

კ. გელაშვილი

# რადიაციული ჰიგიენა

მეორე შვიცაბული და გადაფუთავებული გამოცემა

საქართველოს სსრ უმაღლესი და საშუალო სპეციალური განათლების სამინისტროს მიერ დამტკიცებულია სახელმძღვანელოდ სამედიცინო ინსტიტუტის სანიტარია-ჰიგიენის ფაკულტეტის სტუდენტებისათვის

წინამდებარე სახელმძღვანელო შეესებულება ჰიგიენური, რადიო-ბიოლოგიური და ბირთვული მედიცინის, სანიტარიული პრაქტიკის უახლესი მონაცემებით და გადამუშავებულია რადიაციული ჰიგიენის ახალი სასწავლო პროგრამის მოთხოვნათა შესაბამისად. მასში გათვალისწინებულია ახალი სანიტარიული ნორმატივებისა და რადიოლოგიური დაცვის საერთაშორისო კომისიის უკანასკნელი რეკომენდაციები. მოცემულია ცნობები ბირთვული ფიზიკის, დოზიმეტრიის, ბუნებრივი გამოსხივების წყაროების, მაიონიზებული რადიაციის ბიოლოგიური მოქმედების, რადიაციული გენეტიკისა და სხივური დაზიანების შესახებ, განხილულია ამ უკანასკნელთა შესახებ მეცნიერებაში არსებული თანამედროვე თეორიები და ჰიპოთეზები.

ცალკე თავი აქვს დათმობილი მაიონიზებული გამოსხივების მე-ნე ბიოლოგიური მოქმედებისაგან ადამიანის დაცვის პრობლემას, ზღერულად დასაშვები დოზების განსაზღვრას, გარეგანი და შინაგანი დასხივებისაგან დაცვით ღონისძიებებს. სისტემაშია მოყვანილი დაცვის ტექნიკური, ფიზიკური, ფარმაკოქიმიური, ბიოლოგიური და სხვა საშუალებები ამა თუ იმ სახის დასხივების დროს. განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა რადიოქიური დაბინძურებისაგან ჰერის, წყლის, ნიადაგის დაცვითი ღონისძიებების შემუშავებასა და დაბინძურებული გარემოს დეზაქტივაციას. მოყვანილია სანიტარიულ-ჰიგიენური ფვალსაზრისით ზოგიერთი განსაკუთრებით საინტერესო რადიოქიური იზოტოპის ზღერულად დასაშვები კონცენტრაციები გარემოს სხვადასხვა ობიექტში; განხილულია სამედიცინო, სანიტარიული და დოზიმეტრიული კონტროლის მეთოდები. ცალკე თავადაა გამოყოფილი რადიოქიური იზოტოპების ნაერთები და მათი გამოყენების თავისებურებები მედიცინაში, რაც გააადვილებს დაცვითი ღონისძიებების სწორად გააზრებასა და დაგეგმვას.

რ ე ც ე ნ ზ ე ნ ტ ე ბ ი : მედიცინის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი ი. შენგელია, მედიცინის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი კ. გიორგაძე

## რადიაციული ჰიგიენა—ჰიგიენური მეცნიერების ახალი დარგი

პროფილაქტიკური მედიცინის ერთ-ერთი ახალი დარგია რადიაციული ჰიგიენა. მისი, როგორც მეცნიერების, განვითარება დაკავშირებულია უკანასკნელი რამდენიმე ათეული წლის განმავლობაში სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგში მაიონიზებული გამოსხივების გამოყენებასთან.

XIX საუკუნის დასასრული და XX საუკუნის შუა წლები აღინიშნა უმნიშვნელოვანესი მეცნიერული აღმოჩენებით. 1895 წელს გერმანელმა მეცნიერმა ვილჰელმ კონრად რენტგენმა აღმოაჩინა X-სხივები, 1896 წელს ფრანგმა მეცნიერმა ანრი ბეკერელმა — ბუნებრივი რადიოაქტივობა, ხოლო 1934 წელს ცოლ-ქმარმა ირენ და ფრედერიკ ჟოლიო-კიურიმ აღმოაჩინეს ხელოვნური რადიოაქტივობა. მეცნიერული კვლევა-ძიებით დადასტურდა, რომ რადიოაქტივობა (იქნება ეს ბუნებრივი თუ ხელოვნური) ატომის ბირთვში მიმდინარე - ენერგეტიკული პროცესების შედეგია და მას თან სდევს კორპუსკულური ან ელექტრომაგნიტური გამოსხივება.

ატომური ენერჯის აღმოჩენამ გრანდიოზული პერსპექტივები გადაშალა მისი მშვიდობიანი გამოყენებისათვის. სადღეისოდ ატომური ენერჯიას სახალხო მეურნეობის თითქმის ყველა დარგში გამოიყენებენ. მსოფლიოში ენერგეტიკული კრიზისი ქმნის ბირთვულ ენერჯიაზე გადასვლის აუცილებლობას: ელექტროენერჯიის მისაღებად შექმნილია ბირთვულენერგეტიკული დანადგარები. ასეთი ატომური ელექტროსადგურები მრავალ ადგილასაა დედამიწაზე. საბჭოთა კავშირს ატომური ელექტროსადგურების რაოდენობის მხრივ ერთ-ერთი პირველი ადგილი უკირავს მსოფლიოში. ატომური ელექტროსადგურების მშენებლობას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება არა მარტო როგორც მძლავრ ენერგეტიკულ წყაროს, რომელზეც დამოკიდებულია კაცობრიობის შემდგომი განვითარება და მძლავრი მატერიალურ-ტექნიკური ბაზის შექმნა, არამედ როგორც გარემოს შემდგომი დაბინძურებისაგან დაცვის ერთ-ერთ აუცილებელ პირობასაც. დადგენილია, რომ ატომური ელექტროსადგურების მავნეობა, თბოელექტროცენტრალელებთან შედარებით, 10 000-ჯერ მცირეა. შემუშავებულია ატომური ელექტროსადგურთა ახალი ტიპის პროექტები, რომლებიც ელექტროენერჯიასთან ერთად იძლევიან წყლის განმტკნარების საშუალებასაც,

რითაც ახლო მომავალში უნდა გადაწყდეს კაცობრიობისათვის ესოდენ საჭირო სასმელი წყლის პრობლემა. მსოფლიოში წყლის გამტკნარების პირველი ასეთი ატომური სადგურბ შექმნილია საბჭოთა კავშირში, ქ. შევჩენკოში.

სახალხო მეურნეობის ეკონომიკისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს ატომური ენერჯის გამოყენებას ქიმიური პროცესების წარმოებისათვის (მაგალითად, ნივთიერებათა კატალიზური თვისებების შესწავლა, ბუნებრივი და ხელოვნური ნაერთებიდან ნივთიერებათა გამოყოფა სამრეწველო თვალსაზრისით, ქიმიური შედგენილობის ანალიზი ნეიტრონული აქტივაციის მეთოდით, მაღალმოლეკულური ნაერთების პოლიმერიზაცია, კაუჩუკის ვულკანიზაცია და სხვ.).

მეტალურგიასა და მანქანათმშენებლობაში მათონიშებელი გამოსხივების საშუალებით სწავლობენ ლითონთა გაცვეთის ხარისხს, სხვადასხვა შენადნობში, დეტალში, ჯავშანში ბზარების ან დეფექტების არსებობას, ამოწმებენ ლითონთა გამზადებულ ნაწილებსა და კონსტრუქციებს (ე. წ. სამრეწველო დეფექტოსკოპია).

ატომურ ენერჯიას ფართოდ იყენებენ სოფლის მეურნეობაშიც. მისი საშუალებით სპობენ მავნებელ მწერებს, აჩქარებენ სასოფლო-სამეურნეო კულტურების ზრდა-განვითარებას, ახორციელებენ სელექციას — გამოპყავთ ახალი, გამძლე და უფრო პროდუქტიული ჯიშები, ზორბლეულის, ხილის, ბოსტნეულის დასხივებით ზრდიან მისი შენახვის ვადას და სხვ.

დიდ დახმარებას გვიწევს ატომური ენერჯია და, საზოგადოდ, მათონიშებელი გამოსხივება, კვების მრეწველობის სხვადასხვა ახალი ტექნოლოგიური პროცესის დანერგვაში, როგორც არის საკონსერვო პროდუქტების სტერილიზაცია, კონიაკისა და ღვინის დაძველება, საკვები პროდუქტების — ხორცის, თევზის, ბოსტნეულის შენახვის ვადების გახანგრძლივება, პარაზიტების მოსპობა ხორცის პროდუქტებში და სხვ.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ატომური ენერჯიის გამოყენება მედიცინაში. ნიშანდებული ატომების მეთოდი სადღეისოდ ერთ-ერთი პროგრესული და წამყვანია ამა თუ იმ დაავადების ამოსაცნობად. დღეს წარმოუდგენელია პირველხარისხოვანი სამკურნალო დაწესებულება, სადაც დაავადებათა რთული ფორმების ამოსაცნობად, დიფერენციული დიაგნოსტიკისათვის არ მიმართავდნენ რადიოაქტიური ეზოტოპების გამოყენებას, მაგალითად, ავთვისებიანი ჰიმსივნეებისა და ზოგიერთი სომატური დაავადების დიაგნოსტიკისათვის (გულ-სისხლძარღვთა სისტემის დაავადებანი, ენდოკრინული ჯირკვლების, ღვიძლის, თირკმლებისა და სხვა ორგანოთა დაავადებანი, დერმატოლოგიურ პრაქტიკაში და სხვ.).

მარტო დიაგნოსტიკაში გამოყენებით არ შემოსაზღვრება რადიო-იზოტოპების ფართო გავრცელება სამედიცინო პრაქტიკაში. ატომური ენერგია, ეს უდიდესი დამანგრეველი და გამანადგურებელი ძალა, ჩაყენებულია ადამიანის კეთილდღეობის სამსახურში, მიმართულია ადამიანის სიცოცხლის გადარჩენისაკენ. მას მედიცინაში იყენებენ მკურნალობისათვის. მრავალი დაავადება, განსაკუთრებით ავთვისებიანი, რომელთა მკურნალობა ფარმაკოლოგიური და ქირურგიული მეთოდებით არ იძლევა სათანადო შედეგს, მაიონიზებული გამოსხივების ობიექტი ხდება. ამ მხრივ, თავისი ეფექტურობით, ბუნებრივი და ხელოვნური ბირთვული გამოსხივების წყაროებით მკურნალობა ქირურგიულ მეთოდს უტოლდება, მისი ეკვივალენტურია, ხოლო ზოგი დაავადების მიმართ, როგორცაა, მაგალითად, ლიმფური ჯირკვლების ავთვისებიანი დაავადებანი, მეტასტაზური პროცესები და სხვ. ქირურგიულ მკურნალობასაც კი აღემატება.

უქანასკნელ პერიოდში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება რადიოსტიმულატორების შექმნას გულის ამა თუ იმ სახის ბლოკადის მოსახსნელად და ნორმალური რიტმის აღსადგენად.

ატომური ენერგია, გარდა სადიაგნოსტიკო და სამკურნალო გამოყენებისა, მედიცინაში სხვა მხრივაც არის გამოყენებული, კერძოდ სამეცნიერო-კვლევით დარგში. სადღეისოდ არ არის მედიცინის თითქმის არც ერთი დარგი, რომელიც კვლევა-ძიებაში არ იყენებდეს ნიშანდებულ ატომებს მეცნიერებაში ახალ აღმოჩენათა მისაღწევად.

ცალკე უნდა აღვნიშნოთ რადიოაქტიური იზოტოპების გამოყენება პროფილაქტიკურ მედიცინაში.

პროფილაქტიკურ მედიცინაში გამოყენების ძირითადი მიმართულებაა სტერილიზაცია. სხივური სტერილიზაცია მედიცინის პრაქტიკაში ფართო მასშტაბითაა გამოყენებული. იგი ეხება არა მარტო სხვაგვარადასხვა სახის სამედიცინო მასალის, ბიოლოგიური ქსოვილის, ქირურგიული შესაყერი თუ შესახვევი მასალის, ხელსაწყო-იარაღების სტერილიზაციას, არამედ ფარმაკოლოგიური პრეპარატების, ანტიბიოტიკების, ვიტამინების, ვაქცინებისა და შრატების სტერილიზაციასაც.

მეტად მნიშვნელოვანია სხივური სტერილიზაციის როლი ჰიგიენური ღონისძიებების გატარების საქმეში, რომლის მიზანია მოსახლეობის დაცვა ინფექციური დაავადებებისაგან. ეს უპირველეს ყოვლისა ეხება საკვებ-პროდუქტებში, წყალში პათოგენური მიკროფლორის განადგურებას, აგრეთვე ბრძოლას მავნე მწერებთან, რომლებიც ან თვით არიან დასნებოვნებული და დაავადების წყაროს წარმოადგენენ (კოლო, მოსკიტი, ტილი, ტიპა.) ანდა არიან პათოგენური მიკროორგანიზმების მექანიკური გადამტანები და ხელს უწყობენ ამა თუ იმ ინფექციური დაავადების გავრცელებას (ბუზები).

მეტად დიდი მათონიზებული გამოსხივების როლი ვაქცინებისა და შრატების დამზადებაში. ამ ბიოლოგიური პროფილაქტიკური და სამკურნალო საშუალებების შემუშავებაში მათონიზებულ გამოსხივებას იყენებენ არა მარტო როგორც სასტერილიზაციო აგენტს, მათი დამუშავების ტექნოლოგიის საწყის და საბოლოო ეტაპებზე, არამედ როგორც მძლავრ საშუალებას თვით ამ პრეპარატების დამზადებაში. იგი საკმაოდ დიდ კონკურენციას უწევს შრატებისა და ვაქცინების დამზადების კლასიკურ მეთოდს, რომელიც რთული და ამასთანავე ხანგრძლივი პროცესია.

მეცნიერების დიდ მიღწევად უნდა მივიჩნიოთ ნეიტრონულ-აქტივაციური მეთოდი, რომელსაც ფართოდ იყენებენ ტოქსიკურ ნივთიერებათა უმცირესი კონცენტრაციებისა და ფარმაცოლოგიური პრეპარატების სისუფთავის დასადგენად, რასაც უაღრესად დიდი მნიშვნელობა აქვს ადამიანის ორგანიზმში არასრულად დაწმენდილი წამლის შეყვანის შედეგად განვითარებული გართულებების აცილებისათვის.

რაც უფრო ფართოდ ინერგება ატომური ენერგია სახალხო მეურნეობაში, მით უფრო იზრდება დედამიწაზე იმ წყაროების რიცხვი, რომლებიც იძლევიან მათონიზებულ გამოსხივებას. ბუნებაში ყოველთვის არსებობდა და არსებობს რადიაციული ფონი, რომელიც გარემოს ერთ-ერთი განუყოფელი ნაწილია და მუდმივად მოქმედებდა და მოქმედებს ცოცხალ ორგანიზმებსა და მათ რიცხვში ადამიანზეც ფილოგენეზსა და ონტოგენეზში. ბუნებრივი რადიაციული ფონის არსებობა განპირობებულია იმ რადიოაქტიური ელემენტების გამოსხივებით, რომლებიც უხვადაა გაფანტული ლითონფეროში, ჰიდროსფეროში, ატმოსფეროში, აგრეთვე კოსმოსური გამოსხივებით. ბუნებრივი რადიაციისაგან ბიოსფეროში შექმნილი დოზები ძალზე მცირეა, დაახლოებით 0.1 რადს უდრის წელიწადში. ბუნებრივი რადიაციული ფონის ასეთი სიმძლავრე აუცილებელი პირობაა ადამიანის ნორმალური ცხოველყოფილობისათვის, მაგრამ დღეს ხელოვნურად შექმნილი მათონიზებული გამოსხივების წყაროები საკმაოდ ზრდიან გარემოს რადიაციულ ფონს. იზრდება წარმოებისაგან მიღებულ რადიოაქტიურ ნარჩენთა რაოდენობა ატმოსფეროში, წყალსა და ნიადაგში. პოტენციურ საშიშროებას ქმნის ატომური და თერმო-ატომბირთვული აფეთქებების შედეგად წარმოქმნილი რადიონუკლიდებით ბიოსფეროს დაბინძურება, ვინაიდან იგი ხანგრძლივია, გლობალურად ვრცელდება გეოფიზიკური თავისებურებების გამო და, რაც მთავარია, ამ დაბინძურების აქტივობა საკმაოდ მაღალია.

ამგვარად, იცვლება ის გარემო, რომელშიც ადამიანს უხდება არსებობა. როგორი იქნება გაზრდილი რადიაციული ფონის გავლენა ადა-

მიანებზე, მთელი დედამიწის მოსახლეობაზე? აი საკითხი, რომელიც დღეს აღელვებთ მეცნიერებს.

სახალხო მეურნეობაში ატომური ენერჯის ფართო გამოყენებასთან ერთად იზრდება იმ ადამიანთა რიცხვი, რომლებიც ამა თუ იმ პირობის გამო (პროფესიული, სამედიცინო გამოკვლევა და სხვ.) მჭიდრო კონტაქტში არიან მაიონიზებული გამოსხივების წყაროებთან. რასაკვირველია, ასეთ შემთხვევაში ინდივიდზე მაიონიზებული გამოსხივების მოქმედი დოზა უფრო მეტი იქნება, და, შესაძლებელია, მავნე ბიოლოგიური ზემოქმედებაც კი მოახდინოს.

მაიონიზებული გამოსხივების მავნე ბიოლოგიური მოქმედება შემჩნეული იყო მისი აღმოჩენის პირველივე დღეებიდან. მეცნიერებს, მკვლევარებს, მედიცინის მუშაკებს თუ წარმოებაში მომუშავე პერსონალს, რომლებიც უშუალო კონტაქტში იყვნენ გამომსხივებელ წყაროებთან, უვითარდებოდათ ამა თუ იმ სახისა და ხარისხის სხივური დაზიანებანი. აუცილებელი გახდა მაიონიზებული რადიაციის მავნე ბიოლოგიური მოქმედებისაგან ადამიანისა და ბუნების დაცვა, ამ საკითხის გადასაწყვეტად გარკვეული ჰიგიენური ღონისძიებების ცოდნა და მათი ცხოვრებაში გატარება. ჰიგიენური მეცნიერების წინაშე წამოიჭრა ახალი თეორიული და პრაქტიკული ამოცანები: მოსახლეობის, მაიონიზებელ წყაროებთან მომუშავე პერსონალის, აგრეთვე ბუნების დაცვა ბირთვული გამოსხივების მავნე მოქმედებისაგან და მისი დადებითი თვისებების ადამიანის საკეთილდღეოდ გამოყენება. მაშასადამე, შეიქმნა ახალი ჰიგიენური პრობლემა, რომლის გადაჭრა ტრადიციულ ჰიგიენურ დისციპლინებს არ შეეძლოთ. თანდათანობით, გამოყენებითი რადიაციული მეცნიერების განვითარების პარალელურად, ვითარდებოდა სამედიცინო ჰიგიენური აზროვნება, ჩვევები, რომელთა შედეგადაც ჩამოყალიბდა ჰიგიენის ახალი დარგი — რადიაციული ჰიგიენა.

რადიაციული ჰიგიენის, როგორც მეცნიერების, მიზანია შეისწავლოს ადამიანის ორგანიზმზე სხვადასხვა სახის მაიონიზებული გამოსხივების ზემოქმედების თავისებურებანი და დასახოს ჰიგიენური ღონისძიებანი, რომლებიც სავსებით გამორიცხავენ ან, როცა ეს შეუძლებელია, მაქსიმალურად შეამცირებენ ადამიანის ორგანიზმზე ამ ფაქტორის მავნე ბიოლოგიურ მოქმედებას.

ამ ძირითადი მიზნის მისაღწევად საჭიროა თეორიული და პრაქტიკული საკითხების დამუშავება. კერძოდ, შესწავლილი უნდა იყოს რადიაციური ნივთიერებების ბუნებაში გავრცელება, მიგრაცია, მონაწილეობა ბიოლოგიურ ჯაჭვში, გზები, რომელთა მეშვეობით ხდება ადამიანის ორგანიზმზე მათი ზემოქმედება, ამ ზემოქმედების თავისებურებანი კონკრეტული გარემო პირობებისა და ბიოგეოცენოლოგიუ-

რი ძვრების გათვალისწინებით, ის კლინიკური და გენეტიკური ეფექტები, რომლებიც მოჰყვება ორგანიზმზე რადიაქტიური გამოსხივებისა და სხვა სახის მაიონიზებელი რადიაციის ზემოქმედებას; საჭიროა გარემო ფაქტორებისა და სამუშაო ობიექტების რადიაქტიური დაბინძურებისაგან დამცველი ღონისძიებების, გამოსხივების სფეროში მომუშავე პირთა დასახივებისა და რადიაქტიური დაბინძურებისაგან დაცვის ეფექტური საშუალებების გამომუშავება და პრაქტიკაში დანერგვა; მავნე ბიოლოგიური მოქმედების აცილების მიზნით საჭიროა ეფექტური პროფილაქტიკური საშუალებების გამოძებნა. განსაკუთრებით საპასუხისმგებლოა ბუნებრივ და საწარმოო პირობებში მაიონიზებელი გამოსხივების ზღვრულად დასაშვები დოზების (ზდ), ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციებისა (ზდკ) და ზღვრულად დასაშვები დონეების დადგენა. მათი განსაზღვრა უნდა ხდებოდეს თანამედროვე მეცნიერული კვლევა-ძიების საფუძველზე. სისტემატურ რადიომეტრიულ და დოზიმეტრიულ კონტროლს საჭიროებს გარემოს ფაქტორები — ჰაერი, წყალი, ნიადაგი, საკვები პროდუქტები, მაიონიზებელი გამოსხივების წყაროებზე მომუშავე საწარმოო ობიექტები. რადიაქტიური დაბინძურების ან გამოსხივების აღმოჩენის შემთხვევაში სასწრაფოდ უნდა მიიღონ ზომები მისი გამომწვევი ფაქტორების ლიკვიდაციის, რადიაქტიური დაბინძურების ლოკალიზაციის, დეზაქტივიზაციისა და დასახივების დონის შემცირებისათვის. საჭიროა გამოსხივების სფეროში მომუშავე პირთა სისტემატური სამედიცინო, დოზიმეტრიული კონტროლი და სხვ.

რადიაციული ჰიგიენის წინაშე დასახული თეორიული და პრაქტიკული ამოცანების სწორად გადასაწყვეტად საჭიროა თვით ამ გამოსხივების შესწავლა, მისი ნივთიერებებთან ურთიერთქმედების კანონზომიერების დადგენა. ზემოთქმულიდან გამომდინარე, ნათელი ხდება, რომ რადიაციული ჰიგიენა მჭიდრო კავშირშია ისეთ დისციპლინებთან, როგორცაა რადიობიოლოგია, ბიოფიზიკა, ბირთვული ფიზიკა, ტოქსიკოლოგია, კლინიკა და სხვ. ამიტომ ამ დარგში მომუშავე სპეციალურ ტემმა კარგად უნდა იცოდნენ ამ მეცნიერებათა ძირითადი საკითხები.

რადიაციული ჰიგიენა, როგორც მეცნიერება, სპეციფიკურია. მის სპეციფიკურობას განსაზღვრავს ჯერ ერთი ის, რომ, ყველა იმ მეცნიერებასთან ერთად, რომლებსაც საზოგადოდ ჰიგიენა შეისწავლის, რადიაციული ჰიგიენისტიისათვის აუცილებელია მაიონიზებელი გამოსხივების, ბირთვული ფიზიკის ღრმა ცოდნა. მისი სპეციფიკურობა ისიც, რომ წამოჭრილი საკითხების გადაწყვეტა უნდა მოხდეს კომპლექსურად, ჰიგიენის თითქმის ყველა დარგის გამოყენებით, საჭიროა კომუნალური ჰიგიენის, კვების ჰიგიენის, შრომის ჰიგიენისა და სხვ.



კერძო ჰიგიენების ინტეგრირება, ვინაიდან რადიაციული ჰიგიენის ესა თუ ის საკითხი შეიძლება ერთდროულად მოიცავდეს ყველა ამ დარგს.

რადიაციული ჰიგიენა, როგორც მეცნიერება, ჩამოყალიბდა უკანასკნელი რამდენიმე ათეული წლის მანძილზე. XX საუკუნის დასაწყისში რენტგენისა და რადიუმის სხივების გამოყენება არ იყო დამყარებული ზუსტ მეცნიერულ გამოკვლევებზე. ჭერ კიდევ კარგად არ იცოდნენ ამ სხივების ფიზიკური და ბიოლოგიური მოქმედების თავისებურებანი, არ იყო დამუშავებული დოზიმეტრიის საკითხები. რადიაციული ჰიგიენის საკითხებიც მხოლოდ ჩანასახოვან მდგომარეობაში იყო. ჩვენი უდიდესი თანამემამულე, რადიობიოლოგიის ერთ-ერთი ფუძემდებელი ივანე თარხან-მოურავი (ი. თარხნიშვილი) პირველი იყო, რომელმაც 1904 წელს რადიაციულ-ჰიგიენური გამოკვლევები ჩაატარა რუსეთის ტერიტორიაზე, ცარსკოე სელოში. 1906 წელს რუსმა მეცნიერმა დ. რეშეტილომ გამოაქვეყნა მონოგრაფია, რომელშიც მითითებული იყო დაცვითი ღონისძიებების გატარების აუცილებლობა რენტგენის სხივებზე მუშაობის დროს. გამოსხივების სფეროში მომუშავე პერსონალის შრომის პირობების დაცვაზე იყო გამახვილებული ყურადღება აგრეთვე ონკოლოგიური საკითხებისადმი მიძღვნილ — სრულიად რუსეთის I ყრილობაზე 1914 წელს.

საბჭოთა კავშირი იყო პირველი და ერთადერთი ქვეყანა, რომელმაც 1925 წელს გამოსცა კანონი რენტგენოლოგების ჯანმრთელობის დაცვისა და შრომის უვნებელი პირობების შესაქმნელად. ამ კანონის თანახმად, მაიონიზებელი გამოსხივების წყაროებთან მომუშავე პერსონალისათვის დაკანონებულია შემოკლებული სამუშაო დღე, გახანგრძლივებული შვებულება და ზოგი დარგის სპეციალისტებისათვის უფასო სპეცკვება. ბევრ წამყვან კაპიტალისტურ სახელმწიფოში რენტგენოლოგებისათვის ასეთი შეღავათები დღესაც არ არსებობს.

30-იან წლებში საბჭოთა მეცნიერმა აკადემიკოსმა ა. ლეტავეტმა საფუძველი ჩაუყარა რადიუმის წარმოებაში მომუშავე პერსონალის შრომის პირობებისა და ჯანმრთელობის მდგომარეობის შესწავლას. 1935 წელს მისი, აგრეთვე გამოჩენილი საბჭოთა ჰიგიენისტის ვ. ლევიცის რედაქციით გამოვიდა შრომათა კრებული, რომელშიც რადიუმის წარმოებაში ჩატარებული გამოკვლევების მეცნიერული ანალიზის საფუძველზე შემუშავებული იყო პრაქტიკული რეკომენდაციები რადიაციული დაზიანებების პროფილაქტიკის მიზნით.

რადიოაქტიურ ნივთიერებებსა და მაიონიზებელი გამოსხივების წყაროებთან მუშაობის პირველი სანიტარიული წესები საბჭოთა კავშირში 1953 წელს გამოქვეყნდა. ეს წესები თანდათან უფრო ზუსტდებოდა, იხვეწებოდა მეცნიერების ახალ-ახალი მიღწევების საფუძველზე და

სრულყოფილ სახესღებულობდა. ამჟამად ჩვენს ქვეყანაში მოქმედებს რადიოაქტიური ნივთიერებებისა და მაიონიზებული გამოსხივების წყაროების რადიაციული უშიშროებისა და მათზე მუშაობის ძირითადი სანიტარიული წესები (ОСН, 72/80).

1956 წელს ლენინგრადში დაარსდა რადიაციული ჰიგიენის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი. 1957-58 წლებში სათანადო პროფილის კათედრები და ლაბორატორიები შეიქმნა მოსკოვის, ლენინგრადის, კიევის ექიმთა დახელოვნების ინსტიტუტებსა და ჰიგიენური პროფილის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტებში, მათ შორის საქართველოს ჯანმრთელობის დაცვის სამინისტროს გ. ნათაძის სახელობის სანიტარიისა და ჰიგიენის ინსტიტუტში. სსრ კავშირის ჯანდაცვის რესპუბლიკურ სამინისტროებში ჩამოყალიბდა რადიაციული უშიშროების განყოფილებები, რომლებიც მოქმედებენ რესპუბლიკური, საოლქო და საქალაქო სანიტარიულ-ეპიდემიოლოგიური სადგურების რადიოლოგიური ლაბორატორიების ბაზაზე.

1979 წელს საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიასთან ჩამოყალიბდა რადიაციული ჰიგიენის საპრობლემო კომისია, რომელიც სათავეში ჩაუდგა რადიაციული ჰიგიენის ყველაზე აქტუალური მეცნიერული და პრაქტიკული პრობლემების შემუშავებას.

სამამულო რადიაციული ჰიგიენის განვითარებაში დიდი დამსახურება მიუძღვით პროფესორებს ა. მარეის, პ. რამზაევს, რომლებმაც შეისწავლეს ატომური იარაღის გამოყენების შედეგად წარმოქმნილი რადიონუკლიდების გარემოში მიგრაციის გზები. დიდა პროფესორების ს. გოროდინსკის, ი. მოსკალიოვის, ა. გუსკოვას, ლ. ილინის დამსახურება რადიაციული ჰიგიენის თეორიული და პრაქტიკული საკითხების საფუძვლიან დამუშავებაში. მათ გარკვეული წვლილი შეიტანეს დაცვითი საშუალებების შემუშავებაში, მოსაპირკეთებელი მასალების შექმნაში, საღებავების ეფექტური ნაერთების გამოხატვაში, ზღვრულად დასაშვები დოზებისა და კონცენტრაციების დადგენაში და სხვ. დიდი დამსახურება მიუძღვის აგრეთვე აკად. ფ. კროტკოვს რადიაციული ჰიგიენის, როგორც მეცნიერების, განვითარებისა და სამამულო კადრების მომზადებაში.

თავისებურებების გამო (ატომური იარაღის აფეთქების შედეგად დედამიწის გლობალური დაბინძურება რადიოაქტიური ნივთიერებებით, გაზრდილი რადიაციული ფონი, გენეტიკური მოქმედება და სხვ.) რადიაციული ჰიგიენის საკითხები არ შეიძლება შემოიფარგლოს მხოლოდ ამა თუ იმ სახელმწიფოს ინტერესებით. ხშირ შემთხვევაში იგი სცილდება ამ საზღვრებს და ზოგადასაკაცობრიო მნიშვნელობასღებულობს. ამის გამო საჭიროა ამ დარგში მეცნიერული კვლევა-ძიებისა და

პრაქტიკული მუშაობის კოორდინაცია მსოფლიო მასშტაბით. ამ მოვალეობას ასრულებს რადიოლოგიური დაცვის საერთაშორისო კომისია. (MKP3), რომელიც 1928 წელს ჩამოყალიბდა სტოკჰოლმში რადიოლოგების II საერთაშორისო კონგრესზე.

რადიოლოგიური დაცვის საერთაშორისო კომისია შედის საერთაშორისო ჯანმრთელობის დაცვის ორგანიზაციის შემადგენლობაში (BO3). იგი ეცნობა ყველა სახის დაცვით ღონისძიებას და აღდგენს რეკომენდაციებს ეროვნული კომისიებისათვის, რომლებიც საკუთარი სახელმწიფოს ინტერესებისა და პირობების გათვალისწინებით ნერგავენ მათ პრაქტიკაში.

რადიოლოგიური დაცვის საერთაშორისო კომისია მჭიდრო ურთიერთობაშია რადიაციული ერთეულების საერთაშორისო კომისიასთან (MKPE).

გერთიანებული ერების ორგანიზაციასთან 1955 წელს ჩამოყალიბდა რადიაციული პრობლემების სპეციალური კომიტეტი (IOHECKO), რომელიც მთელი მსოფლიოს მასშტაბით თავს უყრის მასალებს გამოსხივების ბიოლოგიურ მოქმედებაზე, გამოსხივებით გამოწვეულ ეფექტებზე. ზოგიერთი პრაქტიკული საკითხის გადაწყვეტას იგი ავალებს რადიაციული დაცვისა და რადიაციული ერთეულების საერთაშორისო კომისიებს (MKP3, MKPE).

ატომური ენერჯის გამოყენებასთან დაკავშირებულ დაცვითი ღონისძიებების შემუშავებასა და განხორციელებას ხელმძღვანელობს ატომური ენერჯის საერთაშორისო სააგენტო (МАГАТЭ).

## ბირთვული ფიზიკის საფუძვლები

ბუნებრივი რადიოაქტივობის აღმოჩენა. ფრანგმა მეცნიერმა ანრი ბეკერელმა 1896 წელს დაადგინა, რომ ბუნებაში არსებობს ელემენტები, რომელთაც აქვთ თავისთავადი გამოსხივების უნარი. ამ თვისებას მან ბუნებრივი რადიოაქტივობა უწოდა. ეს აღმოჩენა დაკავშირებული იყო ერთ მცდარ მეცნიერულ ჰიპოთეზასთან. 1895 წელს გერმანელმა მეცნიერმა ვილჰელმ კონრად რენტგენმა X-სხივები აღმოაჩინა (რომელთაც შემდგომში რენტგენის სხივები უწოდეს). მეცნიერებმა დაუშვეს ჰიპოთეზა, რომ X-სხივები ფლუორესცენციის შედეგია. ამ ჰიპოთეზის დასადასტურებლად ბეკერელი იღებდა კრისტალს (შემთხვევით ეს კრისტალი ურანის მარილი იყო), მას შავ ქაღალდში გახვეულ ფოტოფირზე დებდა და რამდენიმე საათით მზის სხივებით ასხივებდა. ამის შემდეგ ფირს სახავდა და მასზე ნათლად ჩნდებოდა კრისტალის ფორმის შავი ლაქა. ამით ბეკერელი ამტკიცებდა, რომ მზის სხივების მოქმედებით კრისტალში წარმოიქმნება ფლუოროსცენ-

ციის სხივები, რომლებიც გადიან შავ ქალაქში (X-სხივების მსგავსად) და იძლევიან ანაბეჭდს ფოტოფირზე. ერთხელ ღრუბლიან ამინდში ბეკერელმა ცდა ვერ ჩაატარა და შავ ქალაქში გახვეულ ფოტოფირზე დადებული კრისტალი კარადაში შეინახა. რამდენიმე დღის შემდეგ მან გამოსახა ფოტოფირი, რომელზედაც კრისტალის ფორმის ძალზე ინტენსიური მკაფიო გამოსახულება აღმოჩნდა. ნათელი იყო, რომ მზით დასხივებას ამ სხივების წარმოქმნაში პრაქტიკული როლი არ მიუძღოდა. ეს რაღაც ახალი სახის სხივები თვით ურანიდან უნდა ყოფილიყო წარმოქმნილი. ბეკერელის სხივები თვისებებით რენტგენის სხივებს ჰგავდა: მოქმედებდა ფოტოფირზე, გადიოდა შავ ქალაქში და ზოგიერთი ლითონის თხელ ფენაში, მაგრამ მათ შორის იყო ძალიან დიდი განსხვავებაც. რენტგენის სხივები წარმოიქმნებოდა კათოდური სხივების დამუხრუჭებით, ურანის სხივები კი — თავისთავად, ყოველგვარი ზემოქმედების გარეშე. ბეკერელის სხივები ურანიდან გამოიტყორცნებოდა მუდმივად.

მეცნიერების წინაშე დადგა საკითხი, მხოლოდ ურანი იძლევა ასეთ სხივებს? ეს კითხვა დააყენა პოლონელმა მეცნიერმა ქალმა მარია სკლოდოვსკაია-კიურიმ. ორი წლის შრომის შემდეგ (1898 წელს) მან დაადგინა, რომ ლითონი თორიუმიც წარმოქმნის ისეთ სხივებს, როგორსაც ურანი.

ნივთიერებათა გამოსხივების უნარს მ. კიურიმ რადიაქტივობა უწოდა (ლათ. radius — სხივი).

1898 წელს ცოლ-ქმარმა მარია და პიერ კიურიმ აღმოაჩინეს მეორე ელემენტი, რომელიც ურანის მსგავსად ასხივებდა. ამ ელემენტს უწოდეს პოლონიუმი (მარია სკლოდოვსკაიას სამშობლოს სახელი). ამავე წლის დეკემბერში ურანის მადნიდან მათ მიიღეს ელემენტი, რომელიც ურანზე მილიონჯერ უფრო აქტიურად ასხივებდა და მას რადიუმი უწოდეს. ეს იყო რადიუმის მარილი — ქლორიანი რადიუმი ( $RaCl_2$ ). სუფთა სახით რადიუმი მ. კიურიმ მიიღო 1910 წელს რადიუმის ქლორიდის ელექტროლიზით.

რადიუმისა და მისი გამოსხივების ზოგადი ფიზიკურ-ქიმიური და ბიოლოგიური დასახეათება. რადიუმი ვერცხლისფერი ლითონია. მართალია, ბუნებაში იგი მცირე რაოდენობითაა, მაგრამ ფართოდაა გავრცელებული. მისი შიღება შეიძლება ურანის მადნიდან, რომლის 1 ტონა შეიცავს 0,2 გრამ რადიუმს. აქედან გასაგებია, თუ რა ძნელი და ძვირია რადიუმის მოპოვება ურანის მადნიდან.

რადიუმის მარილები სიბნელეში ანათებს; რადიუმის სხივები იწვევს ქიმიურ რეაქციას; წყალი, რომელშიც გახსნილია რადიუმის მარილები, იშლება წყალბადად და ჟანგბადად, ამონიაკი იშლება წყალბადად და აზოტად. ჟანგბადი გადადის ოზონში და სხვა. ზოგი-

ერთი არაგამტარი (მაგალითად, პარათინი) ამ სხივების მოქმედების შედეგად ხდება ელექტრობის გამტარი.

რადიუმის სხივებს ახასიათებს გამოხატული ბიოლოგიური მოქმედება: აზიანებს ცოცხალ უჯრედებს, შლის ქსოვილებს, კლავს ბაქტერიებს და სხვ.

ყველა ეს თვისება დადგენილი იყო რადიუმის აღმოჩენისთანავე. დადგენილია აგრეთვე რადიუმის ორი შესანიშნავი თვისება: 1) იგი გამუდმებით გამოყოფს საკმაოდ დიდ ენერგიას: 1 საათის განმავლობაში 1 გ რადიუმი იძლევა 140 კალ. სითბოს, რის გამოც რადიუმის პრეპარატს ყოველთვის უფრო მაღალი ტემპერატურა აქვს, ვიდრე იმავე პირობებში მყოფ სხვა საგნებსა და ჰაერს, 2) არაერთი ფიზიკური ძალით, გარდა მისი სხვა ელემენტად გარდაქმნისა, მაგალითად, ბირთვული რეაქციის შედეგად, არ შეიძლება ვიმოქმედოთ რადიუმის გამოსხივების უნარზე, არ შეიძლება მისი არც გაზრდა, არც შეწყვეტა. ეს შესაძლებელია მოხდეს მხოლოდ მისი ბუნებრივი დაშლის შედეგად დროთა განმავლობაში.

გაუგებარი იყო, საიდან მოდის ეს მუდმივი და უცვლელი ენერგია. რა პროცესები მიმდინარეობს რადიუმში, რომლის შედეგადაც ასე უსასრულოდ დიდხანს გამოიყოფა ენერგია.

შემდგომში გამოკვლევებმა, კერძოდ ელექტრული და მაგნიტური ველების ზემოქმედებამ გამოავლინა, რომ ეს სხივები არ არის ერთგვაროვანი, ისინი სხვადასხვა ბუნების სხივებისაგან შედგება. ამ სხივებს უწოდეს  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - სხივები.

**ალფა-, ბეტა-, გამა-სხივების დახასიათება.** ალფა- და ბეტა-სხივები კორპუსკულების ნაკადია, ხოლო გამა-სხივები, ისევე როგორც რენტგენის სხივები, ელექტრომაგნიტური რხევები ან მაღალი ენერჯიის მქონე ფოტონების ნაკადია. ალფა-ნაწილაკი ორმაგი დადებითი მუხტის მქონე ჰელიუმის ბირთვია. მისი მასა უდრის 4, ხოლო მოძრაობის სიჩქარე არ აღემატება 30 000 კმ/წამში. ალფა-ნაწილაკის ენერგია, ისევე როგორც სხვა სახის გამოსხივების ენერგია, იზომება ელექტრონვოლტებში. ერთი ელექტრონვოლტი არის ენერგია, რომელსაც იძენს ელექტრონი 1 ვოლტი პოტენციალის სხვაობის მქონე ელექტრულ ველში გავლის დროს. ეს საკმაოდ მცირე სიდიდეა, რის გამოც ხმარობენ მისგან წარმოებულ ერთეულებს — კეე — კილოელექტრონვოლტი, ანუ ათასი ელექტრონვოლტი და მეე — მეგაელექტრონვოლტი, ანუ მილიონი ელექტრონვოლტი. ერთი და იმავე ელემენტთა ალფა-ნაწილაკების ენერგია ერთნაირია, ხოლო სხვადასხვა ელემენტს სხვადასხვა ენერჯიის (და, მაშასადამე, სიჩქარის) ალფა-ნაწილაკები აქვს. მაგალითად, რადიუმის ალფა-ნაწილაკების ენერგია 4,79 მეე-ს უდრის, ხოლო რადონისა — 5,49 მეე-ს.

აღფა- ნაწილაკს ნივთიერებაში შეღწევადობის დიდი უნარი არა აქვს, ვინაიდან, მიუხედავად დიდი ენერჯისა, შედარებით მძიმე ნაწილაკია და არა აქვს დიდი სიჩქარე. მისი ნივთიერებაში შეღწევადობის მანძილი დამოკიდებულია ამ ნაწილაკის საწყის ენერჯიაზე, ნივთიერების სიმკვრივეზე, ამ ნივთიერების შემადგენელი ელემენტების რიგით ნომერსა და ატომურ წონაზე. ნორმალური წნევის პირობებში ჰაერში აღფა-ნაწილაკის განარბენი მანძილი 7—12 სმ-ს უდრის. 0,1 მმ სისქის ალუმინი სავსებით აკავებს აღფა- სხივებს, ასევე ქირურგიული რეზინის ხელთათმანებიც. ადამიანის ქსოვილში მისი შეღწევადობა 50 მიკრონით განისაზღვრება. აღფა-ნაწილაკები მოძრაობენ სწორხაზოვნად და მიმართულებას მხოლოდ იმ შემთხვევაში იცვლიან, თუ ატომებს დაეჭახებინან. იმის გამო, რომ აღფა-ნაწილაკს დიდი მუხტი და მცირე სიჩქარე აქვს, იგი ძალზე ენერჯიულად ურთიერთმოქმედებს იმ ნივთიერების ელექტრონებთან, რომელზეც ზემოქმედებს, იწვევს ამ ნივთიერების ატომებისა და მოლეკულების აგზნებასა და იონიზაციას. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ ეს პროცესი მიმდინარეობს ძალიან მცირე მოცულობაში, რის გამოც აღფა-ნაწილაკს ახასიათებს იონიზაციის დიდი სიმჭიდროვე, ანუ იონების დიდი რაოდენობა განვლილი მანძილის ერთეულზე. მაგალითად, ჰაერში 1 მმ-ზე იგი ქმნის 6000 წყვილ იონს. იონიზაციის დიდი სიმჭიდროვეთ აიხსნება აღფა-ნაწილაკის ბიოლოგიური მოქმედების ძალზე დიდი ეფექტი.

ბეტა-სხივები ელექტრონების ნაკადია. ერთი და იმავე ელემენტის ბეტა-ნაწილაკებს ენერჯია სხვადასხვა აქვს, რის გამო მათი მოძრაობის სიჩქარე სხვადასხვაგვარია და შეიძლება აღწევდეს 270 000—260 000 კმ/წამში. მიღებულია, რომ ამა თუ იმ ელემენტის ბეტა-ნაწილაკის საშუალო ენერჯია ( $\bar{E}_\beta$ ) მაქსიმალური ენერჯიის 1/3 ტოლია.

$$\bar{E}_\beta = 1/3 E_\beta \text{ მაქს.}$$

ბუნებრივი ბეტა-ნაწილაკების მაქსიმალური ენერჯია შეიძლება 3 მეგ-ს აღწევდეს. მათ მთლიანად შთანთქავს 0,5 მმ სისქის პლატინის ფირფიტა.

ვინაიდან ბეტა-ნაწილაკის მასა, აღფა-ნაწილაკის მასასთან შედარებით, ძალიან მცირეა, მას ადვილად მიიზიდავს იმ ნივთიერების ატომგულები, რომელშიც მოძრაობს. ამის გამო მისი მოძრაობის მიმართულება ნივთიერებაში ტუხილია, ზიგზაგისებრი. ბეტა-ნაწილაკებს ნივთიერებაში შეღწევადობის უფრო მეტი უნარი აქვს, ვიდრე აღფა-ნაწილაკებს. ჰაერში მათი განარბენი მანძილი რამდენიმე მეტრს აღწევს, ხოლო ქსოვილებში, რამდენიმე მილიმეტრს, 1 მმ სისქის ალუმინი მათ სავსებით აკავებს, ნივთიერებაში გავლის დროს იწვევს ატომებისა და მოლეკულების აგზნებასა და იონიზაციას. იონიზაციის

სიმქიდროვე ჰაერში დიდი არ არის, განსაკუთრებით, როცა ბეტა-სხივების ენერგია (და შესაბამისად სიჩქარე) მაღალია. 1 მმ მანძილზე ჰაერში ისინი ქმნიან დაახლოებით 6 წყვილ იონს. მაშასადამე, ბეტა-ნაწილაკებით გამოწვეული იონიზაციის სიმქიდროვე, ალფა-სხივებთან შედარებით, 1000-ჯერ ნაკლებია.

თავისი ბუნებით გამა-სხივები რენტგენის სხივების იდენტურია, ე. ი. ელექტრომაგნიტური რხევებია, მხოლოდ მათი ტალღის სიგრძე გაცილებით უფრო ნაკლებია, ვიდრე რენტგენის სხივებისა. გამა-სხივის ტალღის სიგრძე იზომება ანგსტრემებში —  $\text{Å}$  (ანგსტრემი სანტიმეტრის ასიმემილიონედია, ანუ  $1 \text{ Å} = 10^{-8}$  სმ). გამა-სხივის გავრცელების სისწრაფე წაშში 300 000 კმ-ია. სხვადასხვა იზოტოპის გამა-სხივის ენერგია სხვადასხვაგვარად ცვალებადობს — 0,1-დან 2,6 მეგ-მდე. მას აქვს ნივთიერებაში შეღწევის ბევრად დიდი უნარი, ვიდრე ალფა-და ბეტა-ნაწილაკებს, 1 მმ სისქის ალუმინში სრულიად თავისუფლად გადის, ხოლო 5 მმ სისქის ალუმინის ფირფიტა უმნიშვნელოდ აკავებს. 15 სმ სისქის ტყვია მას თითქმის მთლად აკავებს. ნივთიერებაში გავლის შედეგად გამა-გამოსხივების ინტენსივობა მცირდება და მისი ენერგია სხვა სახის ენერგიაში გადადის.

ალფა-, ბეტა-, გამა-სხივების ზოგიერთი ფიზიკური პარამეტრი მოყვანილია 1 ცხრილში.

ალფა-, ბეტა-, გამა-სხივების წარმოქმნის მექანიზმი. როგორც ცნობილია, ყოველი ნივთიერება შედგება ატომებისაგან, ხოლო ატომი — ბირთვისა და ელექტრონული გარსისაგან. ატომის რადიუსი  $R_a \cdot 10^{-8}$  სმ, ხოლო ბირთვისა —  $R_n \cdot 10^{-12}$  სმ. ბირთვი, თავის მხრივ შედგება ელემენტარული ნაწილაკებისაგან — ნეიტრონებისა და პროტონებისაგან, ელექტრონული გარსი კი — ორბიტებზე მოძრავი ელექტრონებისაგან (ელექტრონთა „ღრუბლებისაგან“). ელექტრონი ყველაზე მსუბუქი ელემენტარული ნაწილაკია. ყველა ელექტრონის უძრავობის მასა ერთნაირია და უდრის

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-28} \text{ გ.}$$

ყველა დანარჩენი ნაწილაკის მასა გამოისახება ელექტრონის უძრავობის მასით. ნეიტრონისა და პროტონის მასა 1800-ჯერ უფრო მძიმეა, ვიდრე ელექტრონის მასა.

$$m_n(p) \approx 1800 m_e$$

ელექტრონის მუხტი უმცირესი მუხტია და უდრის:

$$-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ კულონს.}$$

ყველა დანარჩენი ელემენტის მუხტი ან ნულის ტოლია ან უდრის ამ მუხტის მთელ რიცხვს. 1

ალფა-, ბეტა-, გამა-სხივები წარმოიქმნება ბირთვში მიმდინარე პროცესების შედეგად.

ატომის ალფა-გარდაქმნის დროს (ალფა-სხივის გამოტყორცნისას) ბირთვი კარგავს 4 მასურ ერთეულს და 2 დადებით მუხტს, ვინაიდან ალფა-ნაწილაკი ჰელიუმის ატომის ბირთვია; მაშასადამე, ბირთვი კარგავს 2 პროტონს (P) და ორ ნეიტრონს (n<sup>0</sup>). ბირთვის ამგვარი გარდაქმნის შედეგად, რასაკვირველია, იცვლება თვით ელემენტის თვისებაც. ფაქტიურად წარმოიქმნება ახალი ელემენტი, რომელიც მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში 2 უჯრით მარცხნივ მდებარეობს, ვინაიდან ელემენტის რიგითი ნომერი, რომელიც ბირთვის პროტონების რიცხვით განისაზღვრება, ორი ერთეულით შემცირდა. ამ ახალწარმოქმნილი ელემენტის მასა 4 ერთეულით ნაკლები იქნება წარმომქმნელი ელემენტის მასაზე. ასეთ ბირთვულ გარდაქმნას ეწოდება გადახრა მარცხნივ ორი უჯრით.

ცხრილი 1

მ მვე ენერგიის მქონე შაიონიზებული გამოსხივების ზოგიერთი სახეობის დახახათება

გამოსხივების სახეობა	მასა. აბსოლუტური ერთეულში	მუხტი (ელექტრონის მუხტთან შეფარდებით)	ჰაერში გარბენის მანძილი მეტრობით	იონიზაციის ხაზოვანი სიმჭიდროვე ჰაერში	სიჩქარე (კმ წმ)
ალფა-ნაწილაკი (ჰელიუმის ბირთვი)	4	2	0,01	6000	30000
ბეტა-ნაწილაკი (ელექტრონი)	$\frac{1}{1840}$	—1	10	6	≈300000
ნეიტრონი	1	—	150	0,4	—
გამა-კვანტი	—	—	600	0,1	300000

მასის აბსოლუტური ერთეული—განზღადის ატომის მასის 1/16, ანუ  $1,66035 \cdot 10^{-24}$  გ. ელექტრონის მუხტი— $4,803 \cdot 10^{-10}$  ელექტროსტატიკურ ერთეულს, ანუ  $1,6 \cdot 10^{-19}$  კულონს.

ბეტა-გამოსხივება, როგორც აღვნიშნეთ, ელექტრონების ნაკადია. საიდან წარმოიქმნებიან ისინი ბირთვში? ვიცით, რომ ელექტრონები ბირთვში არ არის. საქმე ის არის, რომ ბეტა-გამოსხივების დროს ბირთვში არსებული ერთ-ერთი ნეიტრონი გარდაიქმნება პროტონად და ელექტრონად.



$$n^0 \rightarrow P^+ + \beta^-.$$

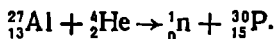
ამ გამოსხივების დროს გამომსხივებელი ელემენტი სხვა ელემენტად გადაიქცევა, ვინაიდან მის ბირთვში მატულობს პროტონების რიცხვი, ხოლო, როგორც ცნობილია, სწორედ პროტონების რიცხვი განაპირობებს. ამას თუ იმ ელემენტის აღვიღს მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში. ახლად წარმოქმნილი ელემენტის მასა უცვლელი იქნება. ამ გარდაქმნას ეწოდება გადახრა მარჯვნივ ერთი უჯრით, ვინაიდან ამ ელემენტს ერთი პროტონით უფრო მეტი ექნება, ვიდრე მის წარმოქმნელ ელემენტს.

ბირთვული გამოსხივების დროს გამა-გამოსხივება დამოუკიდებლად არ გამოიტყორცნება. იგი თან სდევს ალფა- ან ბეტა-გამოსხივებას. ბირთვულ ალფა- ან ბეტა-გარდაქმნებს ყოველთვის თან სდევს ბირთვის ენერგეტიკული დონის ცვლილება და ჰარბი ენერჯიის გამოტყორცნა გამა-კვანტის სახით.

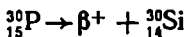
მაშასადამე, ბირთვული გარდაქმნების შედეგად ერთი ელემენტიდან წარმოიქმნება სხვა ელემენტი. ეს მეორე ელემენტი ასევე შეიძლება რადიაქტიური იყოს (ე. ი. ჰქონდეს ბირთვის თავისთავადი გარდაქმნის უნარი), რომელიც დაშლის შედეგად კვლავ წარმოქმნის რადიაქტიულ ელემენტს და ა. შ. ამგვარად წარმოიქმნება რადიაქტიურ ელემენტთა მთელი ოჯახი, რომელსაც ერთი დედა-ელემენტი აქვს. ასეთი ოჯახი ბუნებაში სამია: ურანის, თორიუმის, აქტინიუმის. არსებობს კიდევ ერთი ოჯახი, რომლის შვილეული ელემენტები ბუნებაში მოიპოვება, მაგრამ დედა-ელემენტი აღარ არის. უკანასკნელ წლებში ეს ელემენტი ხელოვნურად იყო მიღებული. ეს არის მენდელეევის პერიოდული სისტემის 95-ე ელემენტი — ამერიციუმი.

ამგვარად, ზემოთქმულის საფუძველზე შეიძლება ითქვას, რომ რადიაქტიუობა ქიმიური ელემენტის ატომების ბირთვების თავისთავადი გარდაქმნაა, რასაც თან სდევს სხვადასხვა სახის გამოსხივება.

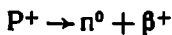
**ხელოვნური რადიაქტიუობის აღმოჩენა.** 1934 წელს მარია და პიერ კიურის ქალიშვილმა ირენ კიურიმ და მისმა მეუღლემ ფრედერიკ ჟოლიომ საინტერესო მოვლენა შეამჩნიეს: ალუმინის ფირფიტაზე ალფა-სხივებით ზემოქმედების შედეგად (ალფა-გამომსხივებლად ხმარებული იყო ბერილიუმი) ღებულობდნენ ფოსფორის იზოტოპს და ნეიტრონს.



მაგრამ აღმოჩნდა, რომ ფოსფორის ეს იზოტოპი არ არის მყარი, იშლება. იგი გამოასხივებს პოზიტრონს და გარდაიქმნება სილიციუმის იზოტოპად



ამგვარად, ზემოთ აღწერილი ბირთვული რეაქციის შედეგად, რომელიც ხელოვნურად აწარმოეს, მიიღეს ახალი ელემენტი (იზოტოპი), რომელიც აღმოჩნდა რადიოაქტიური, გარდაიქმნა და გამოასხივა პოზიტრონი ( $\beta^+$ ). ამ გარდაქმნის დროს ბირთვში მიმდინარეობს შემდეგი რეაქცია: ფოსფორის ერთი პროტონი გარდაიქმნება ნეიტრონად და პოზიტრონად



ვინაიდან ფოსფორის ატომის ბირთვში პროტონების რიცხვი ერთი ერთეულით შემცირდა, ამიტომ წარმოიქმნება ახალი ელემენტი, რომელიც ფოსფორიდან ერთი უჯრით მარცხნივ მდებარეობს. ეს ელემენტია სილიციუმი. ასეთ გარდაქმნას (პოზიტრონულ გარდაქმნას) ეწოდება მარცხნივ გადახრა ერთი უჯრით.

აღსანიშნავია, რომ მარჯვნივ და მარცხნივ გადახრის დროს წარმოიქმნება კიდევ ერთი უმარტივესი ნაწილაკი — ნეიტრიно ( $\nu$ ), რომელიც სიმარტივისათვის ტოლობის მარჯვენა მხარეში მოყვანილი არა გვაქვს. მისი მასა ელექტრონის უძრაობის მასის  $\frac{1}{2000}$ -ს უდრის.

ასე აღმოაჩინეს მსოფლიოში პირველად ხელოვნური რადიოაქტივობა. პირველი ხელოვნური რადიოაქტიური ელემენტი, რომელიც კაცობრიობამ მიიღო, ფოსფორის იზოტოპი იყო —  $^{30}\text{P}$  (როგორც ცნობილია, ბუნებაში არსებული სტაბილური ფოსფორის ატომური წონა უდრის  $31 = ^{31}\text{P}$ ).

ამგვარად, ბუნებრივი ან ხელოვნური რადიოაქტიური ელემენტების ბირთვებში რადიოაქტიური გარდაქმნების დროს ( $\beta^+$  ან  $\beta^-$ ) მიმდინარეობს ნეიტრონებისა და პროტონების ურთიერთგარდაქმნა. გამომდინარე აქედან, მიაჩნიათ, რომ ბირთვი შედგება ელემენტარული ნაწილაკებისაგან — ნუკლონებისაგან, რომლებიც ამა თუ იმ პირობების გამო თავს იჩენენ ხან როგორც პროტონები, ხან როგორც ნეიტრონები.

უნდა აღვნიშნოთ, რომ თეორიული ფიზიკის უკანასკნელი წლების მანძილზე ჩატარებული კვლევების საფუძველზე დადგენილია, რომ ნუკლონები (პროტონები, ნეიტრონები) არ შეიძლება მივიჩნიოთ ელემენტარულ ნაწილაკებად. ისინი რთული ნაწილაკებია და შეიცავენ უფრო მარტივ ნაწილაკებს, რომლებსაც მეცნიერებმა კვარკები უწოდეს. კვარკის მუხტი ელექტრონის მუხტის სიდიდის  $1/3$ -ს უდრის. კვარკების არსებობის შესახებ მოსაზრება პირველად 1964 წელს გამოითქვა, თუმცა დღემდე ექსპერიმენტატორების მიერ იგი „ხელშესახებად“ რეგისტრირებული არ არის.

ხელოვნური რადიაქტივობის აღმოჩენის შემდეგ მეცნიერებმა შეძლეს ხელოვნური გზით მიეღოთ მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში არსებული ყველა ელემენტის რადიაქტიური იზოტოპი, რისთვისაც გამოიყენეს ბომბარდირება ამ ელემენტების ალფა-ნაწილაკებით, ნეიტრონებით, პროტონებით, დეიტრონებით. ამავე გზით მიიღეს ტრანსურანული ელემენტებიც.

ხელოვნური რადიაქტიური იზოტოპები განსხვავდებიან ბუნებრივ რადიაქტიური ელემენტებისაგან. ეს განსხვავება, პირველ ყოვლისა, იმით გამოიხატება, რომ ხელოვნური რადიოიზოტოპები ბუნებაში თავისთავად არ მოიპოვება. ისინი არ გამოასხიევენ ალფა-სხივებს, ელექტრონული ( $\beta^-$ ) ან პოზიტრონული ( $\beta^+$ ) და გამა-გამომსხივებლები არიან, არ ქმნიან რადიაქტიურ ოჯახებს, ისე როგორც ამას ვხვდებით ბუნებაში. ხელოვნური რადიაქტიური ელემენტის დაშლის შედეგად მიიღება მეორე, მაგრამ უკვე სტაბილური იზოტოპი.

სტაბილური და რადიაქტიური იზოტოპები. იზოტოპები ერთი და იმავე ქიმიური ელემენტის ატომებია, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან ატომური რიცხვით, მაგრამ აქვთ ბირთვის ერთი და იმავე რაოდენობით მუხტი, ე. ი. ერთი და იმავე რაოდენობით პროტონები, რის გამოც მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში მათ ერთი და იმავე ადგილი უჭირავთ. ამას თვით სახელწოდება მეტყველებს: „იზოტოპი“ ბერძნული სიტყვაა და ნიშნავს ერთსა და იმავე ადგილს. იზოტოპის ატომური რიცხვის (ანუ ატომური წონის) სხვადასხვაობას განაპირობებს ატომში ნეიტრონთა სხვადასხვა რაოდენობა.

არსებობს სტაბილური და რადიაქტიური იზოტოპები. სტაბილურია ისეთი იზოტოპი, რომლის ბირთვის თავისთავადი გარდაქმნა არ ხდება. რადიაქტიურია ისეთი, რომლის ბირთვი გარდაიქმნება და ამის შედეგად წარმოიქმნება ახალი ელემენტი და კორპუსკულური ან ელექტრომაგნიტური ბუნების გამოსხივება.

სტაბილობის კოეფიციენტი. მენდელეევის პერიოდული სისტემის ყველა ელემენტს ახასიათებს სტაბილობის კოეფიციენტი, რომელიც მუდმივია ყოველი ელემენტისათვის  $\frac{n}{p} = \text{const.}$

ამ ფორმულის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ ნეიტრონების რიცხვის შეფარდება პროტონების რიცხვთან ყოველი ელემენტისათვის გარკვეული მუდმივი სიდიდეა. თუ ეს კოეფიციენტი იცვლება, მაშინ ელემენტი ხდება არამდგრადი და ბირთვი იშლება.

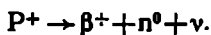
არასტაბილობის მიზეზი შეიძლება იყოს: ა) ნეიტრონების უკმარისობა ან ბ) ნეიტრონების სიჭარბე.

განვიხილოთ მაგალითი სტაბილურ ფოსფორზე ( $^{31}\text{P}$ ) და მის რადიაქტიურ იზოტოპებზე ( $^{30}\text{P}$  და  $^{32}\text{P}$ ). ფოსფორი მენდელეევის პერი-

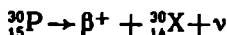
ოდული სისტემის მე-15 ელემენტი, ე. ი. მის ბირთვში არის 15 პროტონი და 31—15=16 ნეიტრონი, მისი სტაბილობის კოეფიციენტი უდრის  $\frac{16}{15} = 1,06$ .

ხელოვნურად მიღებულ რადიოაქტიურ ფოსფორში —  $^{30}\text{P}$  15 პროტონია და 30—15=15 ნეიტრონი, ე. ი. მისი სტაბილობის კოეფიციენტი უდრის  $\frac{15}{15} = 1$ : როგორც ვხედავთ, ფოსფორის სტაბილობის

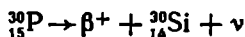
კოეფიციენტი შემცირდა: ნაცვლად 1,06-ისა გახდა 1. რასაკვირველია, ეს ატომი არ იქნება სტაბილური, იგი გარდაიქმნება. როგორ ხდება მისი გარდაქმნა? როცა სტაბილობის კოეფიციენტი მცირდება, მაშინ აღინიშნება პროტონის გარდაქმნა და პოზიტრონის გამოსხივება, რის შედეგადაც მოხდება ერთი უჯრით მარცხნივ გადახრა



მაშასადამე, ფოსფორი გარდაიქმნება ახალ ელემენტად

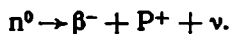


პერიოდულ სისტემაში მე-14 ელემენტი სილიციუმია, მაშასადამე, ფოსფორი გარდაიქმნა სილიციუმად და გარდაქმნის დროს გამოასხივა პოზიტრონი

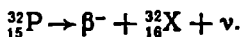


ფოსფორის მეორე რადიოაქტიურ იზოტოპში —  $^{32}\text{P}$  — პროტონების რიცხვი იგივეა — 15, ხოლო ნეიტრონებისა — 32—15=17. ამ შემთხვევაში სტაბილობის კოეფიციენტი გაზარდილია —  $\frac{17}{15} = 1,1$ . რასაკვირვე-

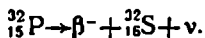
ლია, ეს ბირთვიც არ იქნება მდგრადი, დაიშლება, მაგრამ იმ განსხვავებით, რომ, როცა სტაბილობის კოეფიციენტი მატულობს, ხდება ნეიტრონის გარდაქმნა პროტონად და ელექტრონად



მაშასადამე, ბირთვში მომხდარი გარდაქმნის შედეგად მატულობს პროტონების რიცხვი, რის გამოც გადახრა გვექნება ერთი უჯრით მარჯვნივ:



მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში კი მე-16 ელემენტი გოგირდია, მაშ წარმოიქმნება სტაბილური გოგირდის იზოტოპი



ე. ი. თუ ელემენტის სტაბილობის კოეფიციენტი იზრდება, მაშინ აღინიშნება ნეიტრონის გარდაქმნა და ელექტრონის გამოსხივება.

**მასის დეფექტი.** როგორც ცნობილია, ატომის მასა შედგება ნეიტრონების და პროტონების მასების ჯამისაგან (ელექტრონების მასა უგულებელყოფილია):

$$M = M_p + M_n.$$

ეს განტოლება აბსოლუტურად ზუსტი არ არის, რადგან ბირთვში ნეიტრონებისა და პროტონების შეკიდულობის მისაღებად საჭიროა გარკვეული ენერჯიის დახარჯვა. ეს ენერჯია წარმოიქმნება ნეიტრონებისა და პროტონების მასის ხარჯზე. ამიტომაც ატომის მასა შედარებით უფრო მცირეა, ვიდრე მასში არსებული ნეიტრონებისა და პროტონების ჯამი:

$$M_p + M_n > M_{\text{ატ.}}$$

მასის ამ ნაკლებობას მასის დეფექტს უწოდებენ.

ატომის დაშლის ან გახლეჩის დროს (ე. ი. ზემოთ აღწერილი პროცესის საწინააღმდეგო შემთხვევაში) გამოყოფილი ენერჯია სწორედ ამ მასის დეფექტის ეკვივალენტურია და მისი რაოდენობრივი დამოკიდებულება მასასთან გამოისახება ფორმულით:

$$E = ma^2,$$

სადაც:  $E$  — გამოყოფილი ენერჯიაა,  $m$  — მასა,  $a$  — სინათლის სხივის სიჩქარე. ამ ფორმულიდან ჩანს, რაოდენ დიდია წარმოქმნილი ატომური ენერჯიის სიდიდე.

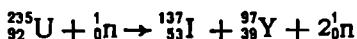
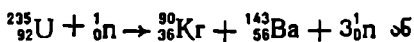
#### ბირთვული გარდაქმნის სხვა სახეები

**K** — ჩაჭერა. ამ პროცესის დროს აღინიშნება ბირთვის მიერ **K** ორბიტაზე მოძრავი ორბიტული ელექტრონის ჩაჭერა. **K**-ჩაჭერის დროს ბირთვში ხდება ისეთივე გარდაქმნა, როგორც პოზიტრონული გამო-სხივებისას, ე. ი. გადახრა მარცხნივ ერთი უჯრით ბირთვის მასის შეუცვლელად. ჩაჭერილი ელექტრონისა და ბირთვში არსებული ერთ-ერთი პროტონის ურთიერთქმედებით ეს უკანასკნელი გარდაიქმნება ნეიტრონად, მაშასადამე, პროტონების რიცხვი კლებულობს, ხოლო ნეიტრონებისა მატულობს ერთი ერთეულით, რის გამოც წარმოიქმნება ახალი, იმავე ატომური წონის მქონე, მაგრამ მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში ერთი უჯრით მარცხნივ მდებარე ელემენტი. **K**-ჩაჭერის დროს ბირთვიდან გამოიტყორცნება ნეიტრინო ( $\nu$ ).

ბირთვის ამ ხასიათის გარდაქმნას თან სდევს მახასიათებელი რენტგენის გამოსხივება, ვინაიდან **K**-ორბიტაზე გათავისუფლებულ ადგილ-

ზე გადმონაცვლებს დაშორებული ორბიტის ელექტრონი, რომლის ენერგეტიკული დონე უფრო მაღალია, და ამ გადმონაცვლების დროს გამოასხივებს ჰარბ ენერგიას რენტგენის სხივის სახით.

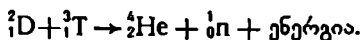
**ბირთვის თავისთავადი გახლეჩა.** არსებობს კიდევ ბირთვული გარდაქმნის ერთი სახე — ბირთვის თავისთავადი გახლეჩა. ეს პროცესი ახასიათებს დიდი ატომური წონის ელემენტებს, მაგალითად, ურანს —  $^{235}\text{U}$ , პლუტონიუმს —  $^{239}\text{Pu}$  და სხვ. თავისთავადი გახლეჩა ხდება ამ ელემენტის ბირთვის მიერ წელი (სითბური) ნეიტრონის შთანთქმის შემთხვევაში. ასეთი ნეიტრონები ბუნებაში უხვადაა. ბირთვში ზედმეტი ნეიტრონის არსებობა იწვევს ბირთვის არამდგრადობას და იგი იხლიჩება ნამსხვრევეებად. ეს ნამსხვრევეები პერიოდული სისტემის დაახლოებით შუა ნაწილში განლაგებული ელემენტებია, ვინაიდან პროტონებისა და ნეიტრონების რიცხვი დაახლოებით თანაბარ ნაწილებად იყოფა. სხვადასხვა ბირთვის გაწყვეტა პროტონ-ნეიტრონების რიცხვთა რაოდენობაზე შესაძლებელია სხვადასხვაგვარად განვითარდეს. მაგალითად,  $^{235}\text{U}$ -ის ბირთვის თავისთავადი გახლეჩის დროს შესაძლებელია რეაქციები შემდეგნაირად წარიმართოს:



მაშასადამე, ერთ შემთხვევაში ვლდებულობთ კრიპტონსა და ბარიუმს, მეორე შემთხვევაში კი — იოდსა და იტრიუმს. ყველა ამ რეაქციას თანსდევს ნეიტრონული გამოსხივება.

ბირთვული გახლეჩის დროს გამოიყოფა უდიდესი სიძლიერის ენერგია, ე. წ. ატომური ენერგია, რომლის სიდიდე მძიმე და ახლად წარმოქმნილი მსუბუქი ელემენტების ბირთვებში ნაწილაკების კავშირის ენერგიის სხვაობის ტოლია.

**თერმოატომგულური რეაქცია.** იგი შესაძლებელია განვითარდეს ძალზე მაღალი ტემპერატურის (რამდენიმე მილიონი გრადუსი) გავლენით. ამ დროს დიდი კინეტიკური ენერგიის განვითარების გამო ზოგიერთი მსუბუქი ელემენტის ბირთვები ერთმანეთს მკიდროდ მიუახლოვდება და გაერთიანდება. წარმოიქმნება შედარებით მძიმე ბირთვი და გამოიყოფა ძალზე დიდი რაოდენობის ენერგია, რომელიც ატომის დაშლის ან გახლეჩის დროს წარმოქმნილ ენერგიას ბევრად აღემატება. ამ პრინციპზეა აგებული თერმოატომბირთვული იარაღის მოქმედება. მაგალითისათვის მოვიყვანთ დეიტერიუმისა და ტრიტიუმის შეერთების რეაქციას:



ასეთი რეაქციების განსახორციელებლად მაღალი ტემპერატურა განვითარდება ატომური ენერჯის საშუალებით.

### ნახევარდაშლის პერიოდი

რადიაქტიური გამოსხივების დროს ატომის ბირთვი გარდაიქმნება, დაიშლება. მაშასადამე, ამა თუ იმ ელემენტის ატომების რიცხვი თანდათან კლებულობს. რადიაქტიური ნივთიერება მცირდება გეომეტრიული პროგრესიის მიხედვით, რაც იმას ნიშნავს, რომ თუ რომელიმე ელემენტისათვის გარკვეული პერიოდის გავლის შემდეგ რადიაქტიური გარდაქმნის შედეგად დარჩება პირვანდელი რაოდენობის ნახევარი, შემდგომი ასეთივე პერიოდის შემდეგ დარჩება ამ ნახევარის ნახევარი და ა. შ. ის დრო, რომლის განმავლობაში გარდაიქმნება ყველა რადიაქტიური ატომის ნახევარი (და, მაშასადამე, დარჩება ნახევარი), ცნობილია, როგორც ნახევარდაშლის პერიოდი (T).

სხვადასხვა იზოტოპისათვის ნახევარდაშლის პერიოდი სხვადასხვაგვარია, ერთი და იმავე ელემენტისათვის კი — მუდმივი. მაგალითად, ურანის ნახევარდაშლის პერიოდი  $4,5 \cdot 10^9$  წელია, რადიუმისა — 1600 წელი, ტყვიის ერთ-ერთი იზოტოპისათვის  $RaD$  — 22 წელი, რადონისათვის — 3,82 დღე,  $RaA$  — 3 წუთი. ინდიუმის  $^{114}In$  — 72 წმ.  $RaC'$  —  $10^{-6}$  წამი და ა. შ. ნახევარდაშლის პერიოდის ხანგრძლივობის მიხედვით რადიაქტიური ელემენტები იყოფა ხანმოკლე და ხანგრძლივი არსებობის იზოტოპებად. პირველს მიეკუთვნება ისეთი იზოტოპები, რომელთა ნახევარდაშლის პერიოდი განისაზღვრება წამებიდან დღეებამდე, მეორესი კი — თვეებიდან მილიარდ წლებამდე.

რადგან ვიცით ურანის ნახევარდაშლის პერიოდი, შეიძლება გამოვიანგარიშოთ დედამიწის გეოლოგიური წლოვანება. ურანის დაშლის საბოლოო პროდუქტია ტყვიის სტაბილური იზოტოპია  $RaG$  და ჰელიუმი. თუ ურანი ნიადაგში ისეა ჩართული, რომ მისი დაშლის პროდუქტი, კერძოდ, ტყვია, იქვე რჩება და არ გამოირეცხება ნიადაგქვეშა წყლებით, ნალექებით, ქართა და სხვ., მაშინ, თუ განესაზღვრავთ ურანისა და ტყვიის რაოდენობას ამ ნიადაგში, შეიძლება ურანის ნახევარდაშლის პერიოდის მიხედვით გავიგოთ, რა დრო უნდა გასულიყო, რომ ამდენი რაოდენობით ტყვია მიგვეღო ურანისაგან. ამ გზით გამოანგარიშებულია, რომ დედამიწის გეოლოგიური წლოვანება  $2,7 \cdot 10^9$  წელია.

გარდა ფიზიკური ნახევარდაშლის პერიოდისა, რადიაქტიურ ნივთიერებას ახასიათებს ბიოლოგიური ნახევარდაშლის პერიოდი. ეს ის პერიოდია, რომლის განმავლობაში რადიაქტიური ნივთიერება, როგორც ქიმიური ნივთიერება, ნახევარი რაოდენობით გამოიყოფა ორ-

განიზმიდან. ამ ორი ფაქტორის — ფიზიკური ნახევარდაშლის პერიოდისა და ბიოლოგიური ნახევარგამოყოფის პერიოდის ერთად მოქმედება იძლევა ეფექტური ნახევარდაშლის პერიოდს. ეს ის პერიოდია, რომლის განმავლობაში რადიაქტიური ნივთიერება ფიზიკური დაშლისა და ბიოლოგიური გამოყოფის შედეგად ორგანიზმში ნახევარი რაოდენობით რჩება. მისი დადგენა შეიძლება შემდეგი ფორმულით:

$$T_{\text{ფე}} = \frac{T_0 \times T_b}{T_0 + T_b}$$

რადიაქტიური დაშლის კანონი. რადიაქტიური დაშლის შედეგად ელემენტთა ატომების რიცხვი თანდათან კლებულობს. რა კანონს ექვემდებარება აქტიური, ატომების შემცირება დროის გავლასთან დაკავშირებით?

ვთქვათ, გვაქვს აქტიური ატომების  $N$  რიცხვი. მცირე  $\Delta t$  დროის გავლის შემდეგ ატომების რაღაც რაოდენობა  $\Delta N$  (ეს რაოდენობაც მცირე იქნება იმიტომ, რომ მცირე დრომ გაიარა) დაიშალა. მაშასადამე. დროის ერთეულში დაიშალა  $\frac{\Delta N}{\Delta t}$  ატომი. ცდები გვიჩვენებს, რომ ეს რაოდენობა თავდაპირველად არსებული აქტიური ატომების რიცხვის პროპორციულია:

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N$$

$\lambda$  — დაშლის მუდმივაა. იგი გვიჩვენებს, რომ დროის ერთეულში იშლება ელემენტის გარკვეული რაოდენობა, მთელის გარკვეული მუდმივი ნაწილი. ნიშანი მინუსი მიუთითებს, რომ აქტიური ატომების რიცხვი დროის გავლასთან ერთად კი არ მატულობს; არამედ კლებულობს.

ზემომოყვანილი გამოსახულების გაინტეგრალებით ვღებულობთ, რომ  $N = N_0 e^{-\lambda t}$ , სადაც  $N$  — აქტიური ატომების რიცხვია  $t$  დროისათვის,  $N_0$  — თავდაპირველად ( $t_0$  შესაბამის დროში) არსებული აქტიური ატომების რიცხვი,  $e$  — ნატურალური ლოგარითმების ფუნქცია. ამ გამოსახულების გალოგარითმებით ვღებულობთ, რომ

$$\lambda = \frac{0,693}{T}, \quad \text{ხოლო } T = \frac{0,693}{\lambda},$$

სადაც  $T$  — ნახევარდაშლის პერიოდია.

ამგვარად, რადიაქტიური დაშლის კანონი ასე გამოითქმება: დროის ერთეულში დაშლილი ატომების რიცხვი აქტიური ატომების რიცხვის



პირდაპირპროპორციულია. ამ კანონის შინაარსი იმაში მდგომარეობს, რომ თუ, მაგალითად, მოცემული იზოტოპის 50 000 ატომიდან 1 წამში იშლება 500 ატომი, ე. ი. 1%, მაშინ იმავე იზოტოპის 5000 ატომიდან დაიშლება ისევე 1%, ანუ 50 ატომი.

არსებობს გარკვეული დამოკიდებულება ამა თუ იმ იზოტოპის წონით რაოდენობასა და მის აქტივობას შორის:

$$Q = \frac{N \cdot A}{6,02 \cdot 10^{23}}$$

სადაც  $Q$  — იზოტოპის წონაა,  $N$  — აქტიური ატომების რიცხვია და იგი უდრის —  $\frac{C}{\lambda}$  (სადაც  $C$  არის აქტივობა, გამოსახული ერთეულით დაშლა/წუთში),  $A$  — იზოტოპის ატომური წონა,  $6,02 \cdot 10^{23}$  — ავოგადროს რიცხვი, ანუ ატომების რიცხვი 1 გრამ/ატომში.

ზემომოყვანილი ფორმულიდან ირკვევა, რომ რაც უფრო დიდია ნახევარდაშლის პერიოდი ( $T$ ), ან მცირეა დაშლის მუდმივა ( $\lambda$ ), ერთი და იმავე აქტივობის მქონე სხვადასხვა რადიოაქტიური ელემენტის წონითი რაოდენობა მატულობს. მაგალითად,  $^{131}\text{I}$ -ის ნახევარდაშლის პერიოდია 8 დღე,  $^{226}\text{Ra}$ -სა — 1600 წელი, ხოლო  $^{238}\text{U}$ -ის 4,5 მილიარდი წელი. შესაბამისად 1 კიური აქტივობის მქონე იოდ —  $^{131}\text{I}$ -ის წონაა 0,008 მგ, რადიუმისა — 1 გ, ხოლო ურანისა — 3 ტონა.

წინასწარ იმის თქმა, თუ როდის მოხდება ამა თუ იმ ატომის დაშლა, შეუძლებელია. შეიძლება მხოლოდ ვივარაუდოთ, თუ დროის რა მონაკვეთში დაიშლება ეს ატომი. ვინაიდან სხვადასხვა ატომის არსებობის ხანგრძლივობა სხვადასხვაა, შემოღებულია ცნება არსებობის საშუალო ხანგრძლივობის შესახებ. თუკი ატომების რიცხვის ნახევარი არსებობს ნახევარდაშლის პერიოდის განმავლობაში, ხოლო მეორე ნახევარი — ნახევარდაშლის პერიოდზე გაცილებით მეტხანს, რასაკვირველია, ატომების არსებობის საშუალო ხანგრძლივობა ნახევარდაშლის პერიოდზე მეტი იქნება. გამოთვლებით დადგენილია, რომ ატომების არსებობის საშუალო ხანგრძლივობასა და ნახევარდაშლის პერიოდს შორის შემდეგი დამოკიდებულებაა:

$$T_{\text{საშ}} = 1,45 \cdot T$$

რადიოაქტიური ნივთიერებების აქტივობა. რადიოაქტიურ ნივთიერებას, გარდა ნახევარდაშლის პერიოდისა, ახასიათებს აგრეთვე აქტივობა, ანუ ატომების დაშლის რიცხვი დროის ერთეულში. ე. ი. რადიოაქტიური ნივთიერებების აქტივობა დროის ერთეულში დაშლილი ატომების რიცხვია. აქტივობა რადიოაქტიური წყაროს შინაგანი მდგომარეობის დამახასიათებელი სიდიდეა, და რო-

გორც აღენიშნეთ, გამოსახავს ამ წყაროს ატომთა რადიოაქტიური გარდაქმნის სისწრაფეს.

აქტივობის არასისტემურ საერთაშორისო ერთეულად მიღებულია კიური (Ci). კიური (კ) ისეთი აქტივობაა, როდესაც 1 წამში აღინიშნება  $3,7 \cdot 10^{10}$  ატომის დაშლა (ანუ  $2,22 \cdot 10^{12}$  ატომის დაშლა ერთ წუთში).

სამედიცინო პრაქტიკაში იხმარება კიურიდან წარმოებული შემდეგი ერთეულები: მეგაკიური MCi ( $10^6$  Ci), კილოკიური k Ci ( $10^3$  Ci), ჰექტაკიური — h Ci ( $10^2$  Ci), დეკაკიური d Ci (10 Ci), მილიკიური m Ci ( $10^{-3}$  Ci), ანუ  $3,7 \cdot 10^7$  ატომის დაშლა წამში, მიკროკიური  $\mu$  Ci ( $10^{-6}$  Ci), ანუ  $3,7 \cdot 10^4$  ატომის დაშლა წამში, ნანოკიური nCi ( $10^{-9}$  Ci), ანუ 37 ატომის დაშლა წამში, და პიკოკიური pCi ( $10^{-12}$  Ci), ანუ საშუალოდ 2,2 ატომის დაშლა წუთში. საზოგადოდ ამ ერთეულებით იზომება კორპუსკულური გამოსხივება.

ერთეულ კიურის ამჟამად აღარ იყენებენ. საერთაშორისო კომისიის მიერ მიღებულია ახალი სისტემური ერთეული (სი-სისტემაში) — ე. წ. ბეკერელი Bq. ბეკერელი წყაროს ისეთი აქტივობაა, როდესაც ყოველ წამში ხდება ერთი ატომის რადიოაქტიური გარდაქმნა, დაშლა. კიურისა (Ci) და ბეკერელს (Bq) შორის შემდეგი დამოკიდებულებაა:

$$1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}, \text{ ხოლო } 1\text{Bq} = 3,7 \cdot 10^{-10} \text{ Ci}$$

იმისათვის, რომ კიურით გამოსახული აქტივობა გადავიყვანოთ ბეკერელად, საჭიროა ეს აქტივობა გავამრავლოთ  $3,7 \cdot 10^{10}$ -ზე, მაგალითად, აქტივობა 0,8 Ci ბეკერელით გამოისახება შემდეგნაირად:

$$0,8 \times 3,7 \cdot 10^{10} = 2,96 \cdot 10^{10} \text{ Bq.}$$

თუ გვინდა ერთეული ბეკერელის გადაყვანა კიურად, მაშინ სიდიდე, გამოსახული ბეკერელით, უნდა გავყოთ  $3,7 \cdot 10^{10}$ -ზე. მაგალითად, აქტივობა 11,1 Bq კიურით გამოისახება შემდეგნაირად:

$$11,1 : (3,7 \cdot 10^{10}) = 3,0 \cdot 10^{-10} \text{ Ci.}$$

სამედიცინო პრაქტიკაში მიღებულია აგრეთვე კუთრი აქტივობის განსაზღვრა. კუთრი აქტივობა მასის ერთეულის ან მოცულობის ერთეულის აქტივობაა და იზომება კიური/გ ან კიური/ლ ან Bq/გ. Bq/ლ და ა. შ.

რადიოაქტიური ნივთიერებების. გამა-აქტივობის დასახასიათებლად შემოღებულია ერთეული — რადიუმის მილიგრამეკვივალენტი (რადიუმის მგრ. ეკვ.). რადიუმის მილიგრამეკვივალენტი რადიოაქტიური ნივთიერების ისეთი აქტივობაა, რომლის გამა-გამოსხივება 1 სმ-ზე იძლევა დოზის ისეთსავე სიმძლავრეს, როგორსაც 1 მილიგრამი რადიუმი

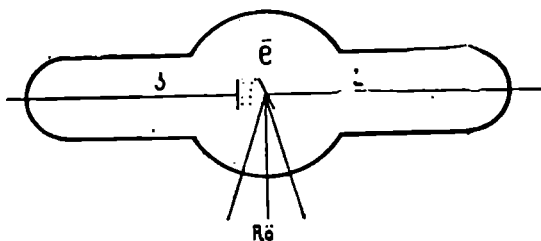
ჩასმული 0,5 მმ სისქის პლატინის ფილტრში (ანუ 8,4 რენტგენი /საათში).

### რენტგენის სხივები

რენტგენის სხივები თავისი ფიზიკური და ბიოლოგიური თვისებებით გამა-სხივების მსგავსია: ორივე ელექტრომაგნიტური რხევაა (განსხვავებაა ტალღის სიგრძესა და რხევის სიხშირეში. რენტგენის სხივებს უფრო გრძელი ტალღა და რხევის ნაკლები სიხშირე აქვს, ე. ი. მათი ფოტონების კინეტიკური ენერგია უფრო მცირეა, ვიდრე გამა-სხივებისა). ნივთიერებაზე ზემოქმედების დროს ორივე იწვევს ამ ნივთიერების შემადგენელი ატომებისა და მოლეკულების იონიზაციას. ორივეს ახასიათებს მსგავსი ბიოლოგიური მოქმედება და სხვა. მაგრამ ეს ორი სხივი პრინციპულად განსხვავდება ერთმანეთისაგან თავისი წარმოქმნის მიხედვით. რენტგენის სხივები წარმოიქმნება კათოდური სხივების ან აჩქარებული ელექტრონების დამუხრუჭებით ანდა ატომის ელექტრულ გარსებში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების შედეგად. გამა-სხივები კი, როგორც ცნობილია, წარმოიქმნება ბირთვში მიმდინარე პროცესების შედეგად.

არჩევენ ორგვარი წარმოშობის რენტგენის სხივებს: დამუხრუჭებითსა და მახასიათებელს.

განვიხილოთ დამუხრუჭებითი რენტგენის სხივების წარმოქმნა: რენტგენის მილი (სურ. 1) ჰაერამოტუმბული მინის მილია შიგ ჩაბ-



სურ. 1. რენტგენის მილის სქემატური გამოსახულება:

ა — ანოდი, კ — კათოდი, ე — კათოდურ სხივები, R — რენტგენის სხივები.

რახნილი ანოდითა და კათოდით: კათოდი მაღალი ლღობის ტემპერატურის მქონე ელექტროგამტარის ხვიაა. ამ ხვიაში დაბალი ძაბვის დენის გატარება იწვევს კათოდის გავარვარებას და კათოდური მასალის ელექტრონების ემისიას, ე. ი. კათოდი, გახურების შედეგად იწვევს ელექტრონების გამოსხივებას. ეს ელექტრონები ელემენტის

ატომის გარსზე არსებული ელექტრონებია. ისინი ლაგდებიან იქვე, კათოდთან ახლოს. ელექტრონული ემისიის შიღების შემდეგ ჩართავენ მაღალი ძაბვის დენს. პოტენციალთა დიდი სხვაობა ანოდსა და კათოდს შორის იწვევს ელექტრონების ძლიერ მიზიდვას ანოდისაკენ. ელექტრონები დიდი სისწრაფით მიემართება ანოდისაკენ, დაეჯახება მას და დამუხრუჭდება. ამ დამუხრუჭების დროს მათი კინეტიკური ენერგიის უდიდესი ნაწილი (99%) გადადის სითბურ ენერგიაში. ანოდი ხურდება, ხოლო კინეტიკური ენერგიის მცირე ნაწილი გარდაიქმნება ელექტრომაგნიტურ რხევად და გამოსხივდება მინის მილიდან. სწორედ ეს არის ე. წ. დამუხრუჭებითი რენტგენის სხივები.

განვიხილოთ მეორე სახის რენტგენის სხივების — მახასიათებლის წარმოქმნა. ნივთიერების ატომზე (ან მოლეკულაზე) რაიმე ენერგიის ზემოქმედების დროს რომელიმე ორბიტაზე მოძრავი ელექტრონი ამ ენერგიას მთლიანად ან ნაწილობრივ შთანთქავს. ამით ელექტრონის ენერგია იზრდება, რის გამოც იგი გადაინაცვლებს უფრო შორსმდებარე ორბიტაზე (რაც უფრო დაშორებულია ორბიტა ატომის ბირთვს, მით მაღალია მისი ენერგეტიკული დონე). ამ მოვლენას ატომის ან მოლეკულის აგზნება ეწოდება. მაგრამ, ელექტრონს არ შეუძლია ჰკარბო ენერგიით დიდხანს არსებობა. იგი ცდილობს დაუბრუნდეს თავის სტაბილურ ენერგეტიკულ მდგომარეობას და უბრუნდება კიდევ აგზნებულ მდგომარეობაში ატომი  $10^{-6}$  წამის განმავლობაშია. ძველ ორბიტაზე დაბრუნების დროს ელექტრონი თავის ზემოეტ ენერგიას გამოასხივებს ელექტრომაგნიტური რხევის სახით, ანუ რენტგენის სხივის სახით. მახასიათებელი ამ სხივს იმიტომ ეწოდება, რომ გამოსხივებული ენერგიის კვანტი თავისი ზიდიდით შეესაბამება ენერგეტიკულ დონეთა იმ სხვაობას, რომელიც დამახასიათებელია მხოლოდ და მხოლოდ ამ ელემენტის ატომების ან ამ ნივთიერების მოლეკულებისათვის. რენტგენის გამოსხივების კვანტის ენერგია არ აღემატება 250 კევ-ს. ამაზე მეტი ენერგიის კვანტს უ—გამოსხივებას უწოდებენ.

### რადიოაქტიური გამოსხივების ნივთიერებასთან ურთიერთქმედება

რადიოაქტიური გამოსხივება, როგორც დავინახეთ, ელემენტარული ნაწილაკების ან მათი კავშირების ნაკადია. ელემენტარული ნაწილაკები თავისი ბუნებით ორი სახისაა: 1. ელემენტარული ნაწილაკები, რომელთაც მოძრაობის სიჩქარე ნებისმიერი აქვთ, მაგრამ უფრო ნაკლები, ვიდრე სინათლის სხივის სიჩქარეა (სინათლის სხივის სიჩქარეა —  $3 \cdot 10^{10}$  სმ/წმ), ამასთან ახასიათებთ შესაბამისი კინეტიკური მასა. ამ ელემენტებს შეუძლიათ უძრავადაც ყოფნა და შესაბამისად აქვთ უძრავობის საბოლოო მასა. მათ მიეკუთვნება ელექტრონი, პროტონი,

ნეიტრონი; ამ ელემენტებს კორპუსკულურ ნაწილაკებსაც უწოდებენ; 2. ელემენტარული ნაწილაკები, რომლებსაც შეუძლიათ მოძრაობა მხოლოდ სინათლის სხივის სიჩქარით, უძრავად არსებობა არ შეუძლიათ. მათი უძრავობის მასა ნულის ტოლია. ამ ნაწილაკებს აქვთ ელექტროტალღური ბუნება. მათ მიეკუთვნება ფოტონი და ნეიტრინო. ამ გამოსხივებას ელექტრომაგნიტური ბუნების გამოსხივებას უწოდებენ.

ამა თუ იმ სახის გამოსხივების ნივთიერებაზე ზემოქმედების დროს ხდება გარკვეული სახის ურთიერთქმედება გამოსხივების ნაწილაკებსა (კვანტებსა) და ნივთიერების შემადგენელ ატომებს შორის.

განვიხილოთ ჭერ კორპუსკულური გამოსხივების (ა, ბ) მოქმედება ნივთიერებასთან.

ამ ნაწილაკების ატომებთან დაჯახების დროს ხდება ატომების: 1. აგზნება, 2. იონიზაცია, 3. დამუხრუჭებითი რენტგენის სხივის წარმოქმნა, 4. სტაბილური ელემენტის გარდაქმნა რადიოაქტიურ იზოტოპად.

**აგზნება.** ალფა- ან ბეტა-ნაწილაკის ამა თუ იმ ნივთიერების შემადგენელ ატომებზე ზემოქმედების დროს ორბიტაზე მოძრავი რომელიმე ელექტრონი ქარბ ენერგიას იძენს და გადაადგილდება შორეულ ორბიტაზე, რასაც ატომის აგზნება ეწოდება. მაგრამ ამ მდგომარეობაში ატომს დიდხანს არ შეუძლია ყოფნა. იგი ცდილობს დაიბრუნოს პირვანდელი ენერგეტიკული დონე. როდესაც ელექტრონი კვლავ უბრუნდება თავის ორბიტას ერთბაშად ორბიტების გავლით, ხდება ქარბი ენერგიის გამოსხივება მახასიათებელი რენტგენის სხივების სახით. შესაძლებელია ტალღის სიგრძის მიხედვით ეს გამოსხივება იყოს ულტრაიისფერი ან ხილვადი სხივიც.

**იონიზაცია.** კორპუსკულური გამოსხივების ატომებსა ან მოლეკულებზე მოქმედების დროს ელექტრონებისადმი გადაცემული ენერგია შესაძლებელია იმდენად დიდი აღმოჩნდეს, რომ მან გადალახოს ელექტრონისა და ბირთვის შორის არსებული კულონის მიზიდულობის ძალა, დატოვოს ატომი ან მოლეკულა და დაიწყოს თავისუფალი მოძრაობა. ატომი ან მოლეკულა, რომელმაც დაკარგა ელექტრონი, ელექტრონეიტრალური მდგომარეობიდან გადადის დადებითად დამუხტულ ნაწილაკად. თავისუფლად მოძრავი ელექტრონი კი საბოლოოდ რომელიმე ატომს ან მოლეკულას მიუერთდება და ელექტრონეიტრალურიდან გადააქცევს უარყოფითად დამუხტულ ნაწილაკად. ამგვარად, ნივთიერებაში წარმოიქმნება დადებითად და უარყოფითად დამუხტული ატომები და მოლეკულები, ანუ იონები.

**დამუხრუჭებითი გამოსხივების წარმოქმნა.** ეს პროცესი ანალოგიურია რენტგენის მილში მიმდინარე კათოდური სხივების დამუხრუჭებისა ანოდის ნივთიერებაზე. ამ შემთხვევაში ალფა- ან ბეტა-სხივი

მუხრუქდება იმ ნივთიერების ატომებსა და მოლეკულებზე, რომელზეც მოქმედებს. წარმოქმნილი გამოსხივება ტალღის სიგრძის მხრივ რენტგენის გამოსხივებაა.

სტაბილური ელემენტის გარდაქმნა რადიოაქტიურ იზოტოპად. ნივთიერებაზე ალფა-ნაწილაკის ზემოქმედებისას შესაძლებელია იგი მოხვედეს რომელიმე ატომის ბირთვში. ასეთ შემთხვევაში ამ ატომის ბირთვის შედგენილობა გაიზრდება 4 მასური ერთეულით — 2 პროტონითა და 2 ნეიტრონით. წარმოიქმნება ახალი ელემენტი, რომელიც მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში 2 უჯრით მარჯვნივ მდებარეობს (ვინაიდან 2 პროტონი ატომის რიგით ნომერს გაზრდის 2 ერთეულით). ეს ახლად წარმოქმნილი ელემენტი არასტაბილური იქნება, რადგან მისი სტაბილურობის კოეფიციენტი შეიცვლება. ამიტომ იგი გარდაქმნება და ამ დროს გამოტყორცნის რომელიმე მაღალი კინეტიკური ენერგიის მქონე ნაწილაკს—პოზიტრონს, ელექტრონს, ნეიტრონს, ფოტონს გამაკვანტის სახით და სხვ. თუ სტაბილობის კოეფიციენტი გადიდება, მაშინ ელექტრონები გამოსხივდება, ხოლო თუ სტაბილობის კოეფიციენტი შემცირდება, პოზიტრონები გამოსხივდება.

ბეტა-სხივების ნივთიერებაზე ზემოქმედებით სტაბილური ელემენტიდან რადიოაქტიური იზოტოპი, ჩვეულებრივ, არ წარმოიქმნება, მაგრამ, თუ მოქმედებს ხელოვნურად აჩქარებული, ანუ დიდი ენერგიის მქონე ბეტა-ნაწილაკები, მაშინ მათი ნივთიერებასთან ურთიერთქმედების შედეგად ბირთვიდან გამოიტყორცნება ე. წ. ფოტონეიტრონები, რომელთაც ნივთიერებაში შეღწევადობის ძალზე დიდი უნარი და მაღალი შეფარდებითი ბიოლოგიური ეფექტურობა ახასიათებთ. მათი შემდგომი მოქმედების შედეგად წარმოიქმნება რადიოაქტიური ელემენტები.

ნეიტრონების ნივთიერებაზე ზემოქმედებისას შესაძლებელია მათი გაბნევა ენერგიის შემცირებით ან შეუმცირებლად, აგრეთვე ბირთვული ურთიერთქმედება.

თუ ენერგიის ნაწილს ნეიტრონი ნივთიერებაზე ზემოქმედების დროს გადასცემს იმ ატომს, რომელსაც დაეჯახა (გაბნევა ენერგიის შემცირებით), აღინიშნება შესაბამისი რეაქცია — ატომის აგზნება ან იონიზაცია.

ბირთვული ურთიერთქმედების დროს, იმისდა მიხედვით თუ რა ენერგიისაა ნეიტრონი — შედარებით მცირე ან საშუალო (ე. წ. ნელი ნეიტრონები, სითბური ნეიტრონები და სხვ.), თუ დიდი (ე. წ. სწრაფი ნეიტრონები), შესაბამისად მოხდება ან სხვადასხვაგვარი ბირთვულა გარდაქმნები, ან ბირთვის გახლეჩა. ეს უკანასკნელი იმ შემთხვევაშია მოსალოდნელი, როცა სწრაფი ნეიტრონი მოქმედებს მძიმე ბირთვზე.

ბირთვული გარდაქმნები ვითარდება ბირთვის მიერ ნეიტრონის ჩაქერის შედეგად, რის გამოც ირღვევა ელემენტის სტაბილობის კოეფიციენტი, წარმოიქმნება არამდგრადი ბირთვი, რომელიც გარდაიქმნება და გამოასხივებს რომელიმე სხივს —  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $n$ ,  $p$ . ამ მოვლენას ინდუცირებული, ანუ ზეგავლენითი რადიაქტივობა ეწოდება. მძიმე ბირთვის გახლეჩისას წარმოიქმნება ბირთვის ნამსხვრევები.

ელემენტის ბირთვებთან ნეიტრონების დაჯახებისას ისინი ძირითადად კარგავენ ენერგიის 10—15% -ს, გამონაკლისია წყალბადის ბირთვი. პროტონთან დაჯახების შემდეგ ნეიტრონის ენერგია 50% -ით კლებულობს. ამიტომაც, რომ ნეიტრონული გამოსხივებისაგან დასაცავად გამოყენებულია ნივთიერებანი, რომელთა შედგენილობაში დიდი რაოდენობითაა წყალბადი — წყალი, პარაფინი, გრაფიტი და სხვ. იგივე მიზეზით აიხსნება ნეიტრონების მაღალი ბიოლოგიური მოქმედება. ქსოვილში არსებულ წყალბადის იონებთან დაჯახების დროს წარმოიქმნება დიდი ენერგიის მქონე პროტონები, რომლებიც იწვევენ ქსოვილთა ძლიერ იონიზაციას (მეორეული იონიზაცია), აგრეთვე ინდუცირებულ რადიაქტივობას.

ნეიტრონი განეკუთვნება მაღალი სიმკვრივის იონიზაციის წარმომქმნელ გამოსხივებას.

აქვე უნდა აღვნიშნოთ კიდევ ერთი სახის კორპუსკულური გამოსხივება, რომელსაც ბუნებაში ვხვდებით და რომლის ხელოვნური მიღება ხდება სინქროციკლოტრონებში. ეს არის ე. წ. მეზონები (შუამდებარე). ამ ნაწილაკთა მასა, თუ შეიძლება ასე ითქვას, შუამდებარეა ელემენტარული ნაწილაკების — ელექტრონისა და ნუკლონის მასებს შორის. მათი მასა ელექტრონის მასაზე მეტია, ნუკლონის მასაზე ნაკლები. ისინი შეიძლება იყვნენ მუხტის მტარებლები ან ელექტრონეიტრალური. ცნობილია დადებითი და უარყოფითი მიუ-მეზონები (η-მეზონი), დადებითი, უარყოფითი და ნეიტრალური პი-მეზონები (π-მეზონი), K-მეზონები და სხვ.

ამჟამად გარკვეულ ინტერესს იწვევს უარყოფითი პი-მეზონები (π-მეზონი). მათი მასა ელექტრონის მასაზე 273-ჯერ მეტია, ენერგია უდრის 25—100 მეგ-ს. პი-მეზონებისათვის დამახასიათებელია ნივთიერებასთან ურთიერთქმედება ნივთიერებაში გარბენილი მანძილის ბოლო მონაკვეთზე. ამ მონაკვეთზე ხდება ე. წ. „მიკროაფეთქება“ დიდი რაოდენობით ენერგიის გამოყოფით. ნივთიერებაში შემავალი ატომის ბირთვი, რომელიც განიცდის π-მეზონის დაჯახებას, ირღვევა, წარმოიქმნება დიდი რაოდენობით პროტონები, ნეიტრონები, α-ნაწილაკები და სხვადასხვა ელემენტის იონები (Li, Be, B და სხვ.). უარყოფითი π-მეზონების ეს თვისება დიდ პერსპექტივებს სახავს ონკოლოგიური დაავადებების სხივური თერაპიის პრაქტიკაში.

განვიხილოთ გამა-გამოსხივების ნივთიერებასთან ურთიერთქმედება. გამა-კვანტის ნივთიერებაზე ზემოქმედების დროს აღინიშნება შემდეგი მოვლენები: 1. ფოტოეფექტი; 2. კლასიკური გაბნევა; 3. კომპტონის ეფექტი; 4. წყვილის წარმოქმნა; 5. ბირთვული ურთიერთქმედება.

**ფოტოეფექტი.** გამა-კვანტის ატომთან ურთიერთქმედების დროს იგი თავის ენერგიას გადასცემს ელექტრონს, რის გამოც ელექტრონი გამოიტყორცნება ატომის შედგენილობიდან. ამ ელექტრონს ფოტოელექტრონი ეწოდება.

ფოტოეფექტი აღინიშნება იმ შემთხვევაში, თუ გამა-კვანტის ენერგია მცირეა, რამდენიმე ათეული კილოელექტრონვოლტი (ყვე, ანუ ათასი ელექტრონვოლტი).

**კლასიკური გაბნევა.** ეს მოვლენა აღინიშნება ძალზე მცირე ენერგიის მქონე გამა-სხივის ნივთიერებაზე ზემოქმედების დროს და როცა ნივთიერების რიგითი ნომერი (Z) მაღალია. ასეთ შემთხვევაში ატომთან შეჯახების შემდეგ გამა-კვანტი იცვლის თავის მიმართულებას ისე, რომ ატომის აგზნებასაც კი არ იწვევს.

**კომპტონის ეფექტი, ანუ კომპტონის გაბნევა.** ნივთიერებასთან ურთიერთქმედების დროს გამა-სხივი იწვევს ატომის აგზნებას ან იონიზაციას. ამ დროს იგი კარგავს ენერგიის ნაწილს, იცვლის მიმართულებას, ეჯახება სხვა ატომს ან მოლეკულას, მოქმედებს მასზე, იწვევს მის აგზნებას ან იონიზაციას, კვლავ კარგავს ენერგიის ნაწილს, იცვლის მიმართულებას და ა. შ., სანამ მისი ენერგია საბოლოოდ დაიხარჯება რომელიმე ატომის აგზნებაზე ან იონიზაციაზე.

**წყვილის წარმოქმნა.** ზოგ შემთხვევაში გამა-სხივის ნივთიერებაზე ზემოქმედების შედეგად წარმოიქმნება წყვილი — ელექტრონ-პოზიტრონი, ე. ი. ელექტრომაგნიტური რხევისაგან წარმოიქმნება მატერია. ამ მოვლენაში პარადოქსული არაფერია, ვინაიდან დიალექტიკური მატერიალიზმიდან ცნობილია, რომ ელექტრომაგნიტური რხევა მატერიის არსებობის ერთ-ერთი ფორმაა, ე. ი. მატერიის ერთი ფორმა მეორეში გადადის.

გამა-კვანტიდან წყვილის წარმოქმნა ე. წ. „ანიჰილაციის“ საწინააღმდეგო მოვლენაა. ცნობილია, რომ ელექტრონი და პოზიტრონი გარკვეულ პირობებში შეიძლება შეერთდნენ და „შეწყვიტონ“ არსებობა. სინამდვილეში აქ მატერიის ანიჰილაციასთან კი არა გვაქვს საქმე, როგორც ეს იდეალისტებსა და მეტაფიზიკოსებს მიაჩნიათ, არამედ, ლენინის განსაზღვრით, აღინიშნება მატერიის ერთი ფორმის გადასვლა მეორეში. კერძოდ ელექტრონ-პოზიტრონის შეერთებისას გამოიყოფა ენერგია გამა-კვანტის სახით.



გამა-სხივის ნივთიერებაზე ზემოქმედების შედეგად ელექტრონ-პოზიტრონის წყვილი წარმოიქმნება იმ შემთხვევაში, თუ გამა-კვანტის ენერგია უდრის 1.022 მეგაელექტრონვოლტს ან ამაზე მეტია ( $h\nu \geq 1,022$  მეგ). ელექტრონის მასის ენერგეტიკული ეკვივალენტი 0,511 მეგია (ე. ი. ელექტრონის მასა რომ მთლიანად ენერგიად გარდაქმნათ, იგი 0,511 მეგ-ის ტოლი იქნება და, მაშასადამე, წყვილი ბეტა-ნაწილაკის —  $\beta^- + \beta^+$  წარმოსაქმნელად საკიროა ორჯერ მეტი ენერგია. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ ე. წ. „ანიჰილაციის“ დროსაც, ანუ ელექტრონ-პოზიტრონის შეერთებისას გამოიყოფა სულ მცირე 1,022 მეგის ტოლი ენერგია.

ზოგ შემთხვევაში შესაძლებელია წარმოიქმნას ტრიპლეთი — ელექტრონპოზიტრონი და ატომის გარსიდან გამოტყორცნილი ის ელექტრონი, რომელთანაც ურთიერთქმედების დროს გამა-კვანტმა წარმოქმნა წყვილი. ტრიპლეთი წარმოიქმნება იმ შემთხვევაში, თუ გამა-კვანტის ენერგია 10 მეგ-ზე მეტია.

**ბირთვული ურთიერთქმედება.** ეს მოვლენა აღინიშნება იმ შემთხვევაში, თუ გამა-კვანტის ენერგია უფრო დიდია, ვიდრე შიგაბირთვული კავშირის ენერგია. ამ შემთხვევაში ბირთვიდან გამოიტყორცნება ფოტონეიტრონი.

ყველა ზემოაღწერილ პროცესს საბოლოო ჯამში მივყავართ იმ ნივთიერების ატომებისა და მოლეკულების იონიზაციისაკენ, რომელზედაც მოქმედებს გამოსხივება. იმისათვის, რომ ნივთიერებაში იონიზაცია მოხდეს, ნაწილაკის ენერგია უნდა იყოს საკმარის მდარე — 10—15 ევ. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მძიმე ნაწილაკის ტრეკი (განარბენი მანძილის მიმართულება) ნივთიერებაში სწორხაზოვანია, მსუბუქისა — ტეხილი.

იონიზაცია პირველადი და მეორეულია. პირველადია იონიზაცია, როცა იგი გამოწვეულია თვით გამოსხივების ატომებსა და მოლეკულებზე ზემოქმედების შედეგად, მეორეულია, როცა იონიზაციას იწვევს ატომიდან ან მოლეკულიდან გამოტყორცნილი ელექტრონი. მეორადი იონიზაცია ელექტრომაგნიტური რხევების ბუნების მქონე გამოსხივების — გამა- და რენტგენის სხივების დამახასიათებელია.

ამგვარად, ალფა-, ბეტა-, გამა- (ასევე რენტგენის, ნეიტრონებისა და სხვ.) სხივები ნივთიერებაზე ზემოქმედების შედეგად იწვევს მასში იონების წარმოქმნას, ე. ი. იონიზაციას (პირველად ან მეორეულ), ამიტომაც ამ სხივებს უწოდებენ მაიონიზებელ გამოსხივებას. მაშასადამე, მაიონიზებელი გამოსხივება ელექტრომაგნიტური (გამა-, რენტგენის) ან კორპუსკულური (ალფა-, ბეტა-, ნეიტრონული) გამოსხივებაა, რომელიც ნივთიერებასთან ურთიერთქმედების შედეგად პირდაპირ ან არაპირდაპირ, მეორეულად, იწვევს მასში დამუხტული ატომების ან

მოლეკულების, ანუ იონების წარმოქმნას. მაიონიზებელ გამოსხივებას, რომელიც წარმოიქმნება რადიაქტიური იზოტოპების ბირთვებიდან, ეწოდება რადიაქტიური გამოსხივება.

იონიზაციის სიმკიდროვე, ანუ იონთა რიცხვი ფართობის ერთეულზე, როგორც აღვნიშნეთ, ყველაზე მაღალი ალფა-გამოსხივებას აქვს. ჰაერში 1 სმ სიგრძის გავლის დროს იგი წარმოქმნის ათასობით წყვილ იონს, ხოლო ბეტა-ნაწილაკები და ელექტრონები, რომლებიც გამა-სხივების ნივთიერებაზე ზემოქმედების შედეგად წარმოიქმნებიან (ფოტოეფექტი, კომპტონ-ეფექტი, წყვილების წარმოქმნა) და რომლებიც მეორეულად იწვევენ იონიზაციას, 1 სმ ჰაერში გავლის დროს საშუალოდ ქმნიან ერთეულებიდან რამდენიმე ათეულ იონს.

მაიონიზებელი გამოსხივების მარტივ ნივთიერებაზე (როგორცია ალუმინი, ტყვია და სხვ.) მოქმედების დროს ამ უკანასკნელში არ ხდება ქიმიური ცვლილებები ზოგიერთი გამონაკლისის გარდა. ეს აიხსნება იმით, რომ მარტივ ნივთიერებაში წარმოქმნილი იონები გარკვეული პერიოდის შემდეგ (წამის ნაწილები) კვლავ უერთდება ერთმანეთს. აღინიშნება ე. წ. რეკომბინაცია და კვლავ წარმოიქმნება ელექტრონიტრალური ატომები. მაშასადამე, შთანთქმული ენერგია ქიმიურ ძვრებს კი არ იწვევს, არამედ მთლიანად გადადის სითბურ ენერგიაში, ე. ი. იწვევს ნივთიერების ტემპერატურის მომატებას. გამონაკლისები (ე. ი. მარტივი ნივთიერების ქიმიური გარდაქმნა) აღინიშნება იმ შემთხვევაში, თუ გამოსხივების ნივთიერებაზე ზემოქმედების შედეგად ბირთვებში შეიცვლება პროტონთა რაოდენობა (გადახრა მარცხნივ ან გადახრა მარჯვნივ), ან ბირთვი გაიხლიჩება.

მაიონიზებელი გამოსხივების რთულ ნივთიერებაზე მოქმედების შედეგად, იქნება ეს ორგანული ცოცხალი უჯრედების სტრუქტურული ან ფუნქციური ცილები, ცხიმები, ნუკლეინმჟავები და ა. შ. თუ არაორგანული ნივთიერება (წყალი), ვითარდება ქიმიური რეაქცია. ეს განპირობებულია იმით, რომ რთულ ნივთიერებებზე მაიონიზებელი გამოსხივების მოქმედების შედეგად წარმოიქმნება მრავალი სახეცხვაობის რთული იონები, რომლებიც შემდეგში ერთმანეთთან შედიან რეაქციაში და წარმოქმნიან სრულიად სხვა ქიმიური ბუნების ახალ ნივთიერებებს.

**დასხივების დოზა.** ორგანიზმზე მაიონიზებელი გამოსხივების მოქმედება იწვევს ბიოლოგიურ რეაქციას. ექსპერიმენტული მასალა გვიჩვენებს, რომ ბიოლოგიური რეაქციის ეფექტი დამოკიდებულია ყოველი 1 სმ<sup>2</sup> ქსოვილის მიერ შთანთქმული ენერგიის რაოდენობაზე.

1 სმ<sup>2</sup> ქსოვილის მიერ შთანთქმულ ენერგიას დასხივების დოზა (D) ეწოდება; ხოლო ენერგიას, რომელსაც შთანთქავს 1 სმ<sup>2</sup> ქსოვილი

დროის ერთეულში (t), დასხივების დოზის სიმძლავრე (P). დასხივების დოზის სიმძლავრე გამოისახება ფორმულით:

$$P = \frac{D}{t}$$

თუ ქსოვილი სხივდება მუდმივი სიმძლავრით, მაშინ დასხივების დოზა უდრის სიმძლავრეს გამრავლებულს დასხივების დროზე:

$$D = P \cdot t$$

არჩევენ შთანთქმულ დოზას და ექსპოზიციურ დოზას. შთანთქმული დოზა დასხივებული ობიექტის მასის ერთეულის მიერ (კგ, გ) შთანთქმული ენერჯიაა. შთანთქმული დოზის ერთეულებია: ჯოული/კგ და რადი. ჯოული/კგ შეესაბამება 1 კგ დასხივებული ნივთიერების მიერ 1 ჯოული ენერჯიის შთანთქმას.

რადი ისეთი შთანთქმული ენერჯიის დოზაა, როდესაც დასხივებული ნივთიერების ყოველი 1 გ შთანთქავს 100 ერგ ენერჯიას.

რადსა და ჯოული/კგ შორის შემდეგი დამკვიდრებულებაა: 1 რადი =  $10^{-2}$  ჯოული/კგ.

შთანთქმული დოზის სიმძლავრეა ვატი/კგ-ზე და რადი/წამში. 1 რადი/წამში =  $10^{-2}$  ვატი/კგ.

1 რადი ენერჯიით მოქმედებისას  $1 \mu^3$  ქსოვილში საშუალოდ 2 მოლეკულის იონიზაცია ხდება. ერთი უჯრედის მოცულობა დაახლოებით  $50 \mu^3$ , ე. ი. 1 რადით მოქმედებისას მასში მოხდება 100 მოლეკულის იონიზაცია.

ამჟამად ერთეული რადი უარყოფილია და შემოღებულია ჰაერთა-შორისო ერთეული სი-სისტემაში გრეი — G. 1 G გამოსახავს 1 კგ ნივთიერების მიერ 1 ჯოული ენერჯიის შთანთქმას. გრეი 100 რად-ის ტოლია (მაშასადამე, შესაბამისად 1 რადი = 0,01 G).

კვანტური გამოსხივების ექსპოზიციური დოზა სიდიდეა, რომელიც განისაზღვრება ჰაერის იონიზაციის მიხედვით (ელექტრონული წონასწორობის პირობებში). იგი წყაროს გარშემო არსებული ველის მახასიათებელია და მიუთითებს ამ ველში იონიზაციის ხარისხზე ნორმალური ტემპერატურისა და წნევის პირობებში.

ექსპოზიციური დოზის ერთეულებია კულონი/კგ და რენტგენი. კულონი/კგ კვანტური გამოსხივების ისეთი ექსპოზიციური დოზაა, რომლის მოქმედების დროს 1 კგ მშრალ ჰაერში წარმოიქმნება ყოველი ნიშნის (+ და —) ერთი კულონი ელექტრობა.

რენტგენი კვანტური გამოსხივების ისეთი ექსპოზიციური დოზაა, როდესაც 1 სმ<sup>3</sup> მშრალ ჰაერზე 0° ტემპერატურისა და 760 მმ ვერცხლისწყლის სვეტის წნევის დროს წარმოიქმნება 2,08,  $10^9$  წყვილი

იონი (ორივე ნიშნის ცალ-ცალკე), რომელთაც აქვთ 1 ელექტროსტატიკური ერთეულის ტოლი ჯამური მუხტი.  $1 \text{ რენტგენი} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ კულონი/კგ.}$

ექსპონიციური დოზის სიმძლავრეებია ამპერი/კგ და რენტგენი/წამში.  $1 \text{ რენტგენი/წამში} = 2,57976 \cdot 10^{-4} \text{ ამპერი/კგ.}$

აღსანიშნავია, რომ 1 რენტგენის (რ) ტოლი დოზის 1 სმ<sup>3</sup> ჰაერზე მოქმედების დროს 0,11 ერგი ენერგია შთაინთქმება, ხოლო 1 სმ<sup>3</sup> ქსოვილზე მოქმედების დროს —  $0,11 \times 770 = 85$  ერგი, ვინაიდან ქსოვილის სიმკვრივე დაახლოებით 770-ჯერ უფრო მეტია ჰაერის სიმკვრივეზე. მაშასადამე, ერთეული „რენტგენი“ შეიძლება სხვაგვარადაც გამოითქვას: ეს არის გამოსხივების ისეთი რაოდენობა, რომლის 1 სმ<sup>3</sup> ქსოვილზე მოქმედების შედეგად შთაინთქმება 85 ერგი ენერგია.

„რენტგენის“ ფიზიკური განმარტებიდან ნათელი ხდება, რომ ამ ერთეულის გამოყენება შეიძლება ყოველგვარი მაიონიზებელი გამოსხივების მიმართ. ვინაიდან ერთეული „რენტგენი“ მიღებული იყო მხოლოდ რენტგენისა და გამა-გამოსხივების მიმართ, ამისათვის სხვა სახის მაიონიზებელი გამოსხივებისათვის სარგებლობენ განზოგადებული ერთეულით — რენტგენის ფიზიკური ეკვივალენტით (რფე).

ცხრილი 2

სხვადასხვა სახის მაიონიზებელი გამოსხივების შეფარდებითი ბიოლოგიური ეფექტურობა

გამოსხივების სახეობა	შეფარდებითი ბიოლოგიური ეფექტურობა
გამა- და რენტგენის სხივები	1
ბეტა-ნაწილაკები და ელექტრონები	1
პროტონები და ალფა-ნაწილაკები	10
მრავალმუხტიანი იონები და უკუბირთვითი ბირთვები	20
სიბზური წეიტრონები	3
ჩქარი ნეიტრონები	10

რენტგენის ფიზიკური ეკვივალენტი სხვადასხვა სახის მაიონიზებელი გამოსხივების ისეთი რაოდენობაა, რომლის მოქმედების დროს ნორმალურ პირობებში 1 სმ<sup>3</sup> მშრალ ჰაერზე წარმოიქმნება  $2,08 \cdot 10^9$  წყვილი იონი, რომელთა ჯამური მუხტი 1 ელექტროსტატიკური ერთეულის ტოლია. როგორც ზემოთქმულიდან ჩანს, რფე არაფრით განსხვავდება „რენტგენისაგან“, ამიტომ ალფა-, ბეტა-, ნეიტრონისა და სხვა კორპუსკულური გამოსხივების მოქმედებით მიღებული დოზა შეიძლება რენტგენითაც გაიზომოს.

ამჟამად ექსპოზიციური დოზა უარყოფილია იმ მოსაზრებებით, რომ ამ სიდიდეებით სარგებლობა მართებულია მხოლოდ გარკვეული დიაპაზონის ენერგობით მოქმედების დროს, კერძოდ  $10^{-1}$ — $1,5$  მეგ ენერგიით და ისიც იმ პირობით, თუ დასხივება თანაბარია. თუ დასხივება არათანაბარია, მაშინ მოქმედების ეფექტი მცირდება. ამიტომ შემოღებულია არათანაბრობის კოეფიციენტი, რომელიც გვიჩვენებს სხივის შესასვლელ და გამოსასვლელ ადგილებში დოზის შეფარდების ჯერადობას:

$$K = \frac{D_1}{D_2}$$

სადაც:  $K$ —არათანაბრობის კოეფიციენტი,  $D_1$ —დოზა შესასვლელ ველში,  $D_2$  — დოზა გამოსასვლელ ველში.

არათანაბრობის კოეფიციენტის საშუალებით ანგარიშობენ დოზის შემცირების ინდექსს

$$I = 5^{1 - \frac{1}{k}}$$

იგი მიგვითითებს, თუ რამდენჯერ მცირდება ბიოლოგიური ეფექტი არათანაბარი დასხივების შედეგად. ამ ინდექსის გამოყენება მართებული იქნება ისეთ შემთხვევაში, როდესაც იგი არ აღემატება 4,5-ს. თუ ინდექსი ამ სიდიდეზე მეტია, მაშინ შესასვლელ ველში არსებული ორგანოები დაზიანდება. ამიტომ, ისეთი შემთხვევებისათვის, როცა დასხივება სიგრძეზე არათანაბარია, შემოღებულია ცნება ეფექტური დოზის შესახებ. ამ დოზას იყენებენ, აგრეთვე, როდესაც დასხივება წყვეტილია, ფრაქციული და დასხივებულ ობიექტში დაზიანებასთან ერთად აღდგენითი პროცესებიც ვითარდება. რასაკვირველია, ეს აღდგენითი პროცესები დასხივების ბიოლოგიურ ეფექტს შეამცირებს, იგი გაცილებით უფრო ნაკლები იქნება, ვიდრე იმავე დოზით ერთჯერადი მოქმედებისას. ცხადია, ეფექტური დოზა ექსპოზიციურ ან შთანთქმულ დოზასთან შედარებით ნაკლები რიცხვით გამოისახება. ეფექტური დოზის ერთეულად მიღებულია გრეი — G.

ამგვარად, ეფექტური დოზა ყოველი ცხოველისათვის დამახასიათებელი ბიოლოგიური მნიშვნელობის დოზაა და დამოკიდებულია დასხივებული ობიექტისათვის დამახასიათებელი აღდგენითი პროცესების სისწრაფისა და შეუქცევადი პროცესების თანაფარდობაზე.

#### შეფარდებითი ბიოლოგიური ეფექტრობის კოეფიციენტი

ექსპერიმენტულმა და კლინიკურმა დაკვირვებებმა ცხადყო, რომ სხვადასხვა სახის მათონიზებელი გამოსხივების ერთი და იმავე ფიზი-

კური დოზის მოქმედების დროს (მაგალითად, 1 რფე ალფა-გამოსხივებისა და 1 რ რენტგენის სხივებისა) ვლენბულობთ სხვადასხვა ბიოლოგიურ ეფექტს. აღმოჩნდა, რომ ბიოლოგიური ეფექტი დამოკიდებულყოფილა არა მარტო წარმოქმნილი იონების რაოდენობაზე, არამედ იონიზაციის სიმპიდროვეზეც, ანუ ენერგიის ზაზოვანი გადაცემის სიდიდეზე. განარბენი მანძილის ერთეულზე დაკარგულ ენერგიას უწოდებენ ენერგიის ზაზოვან გადაცემას. მის ერთეულად მიღებულია ენერგიის რაოდენობა კილოელექტრონვოლტებით, დახარჯული 1 მკმ მანძილზე. ენერგიის ზაზოვანი გადაცემა არ არის დამოკიდებული ნაწილაკის ფიზიკურ თვისებებსა ან მასაზე. იგი დამოკიდებულია მხოლოდ და მხოლოდ ნაწილაკის სიჩქარეზე. სიჩქარის შემცირებასთან ერთად ენერგიის ზაზოვანი გადაცემა იზარდება, ხოლო რაც უფრო მეტია ზაზოვანი გადაცემის ენერგია, მით მალალია იონთა სიმპიდროვე.

ენერგიის ზაზოვანი გადაცემის სიდიდის მიხედვით არჩევენ იშვიათ და მალალი სიმპიდროვის გამომწვევ მაიონიზებელ გამოსხივებას. პირველს მიეკუთვნება ყველა სახის ელექტრომაგნიტური გამოსხივება, ხელოვნურად აჩქარებული ნაწილაკები, კოსმოსური გამოსხივება; მეორეს — მძიმე ნაწილაკები, პროტონები, ნეიტრონები, α-სხივები და სხვ. მიღებულია, რომ თუ ენერგიის ზაზოვანი დაკარგვა 10 კეე/მკმ-ზე ნაკლებია, იონიზაციის სიმპიდროვე მცირეა, თუ ამ სიდიდეზე მეტია, მაშინ საქმე გვაქვს მალალი სიმპიდროვის იონიზაციის გამომწვევ გამოსხივებასთან.

იონიზაციის მალალი სიმპიდროვის გამომწვევი გამოსხივების ბიოლოგიური მოქმედება ყოველთვის აღემატება იშვიათი სიმპიდროვის იონიზაციის გამომწვევი გამოსხივების ბიოლოგიურ მოქმედებას. მაგალითად, 1 რფე ალფა-სხივების მოქმედების შემდეგად ბიოლოგიური ეფექტი 10-ჯერ უფრო ძლიერია, ვიდრე 1 რ რენტგენის ან გამა-სხივის მოქმედების დროს. აქედან გამომდინარე, შემოიღეს შეფარდებითი ბიოლოგიური ეფექტურობის კოეფიციენტის ცნება, რომელიც მიუთითებს, თუ რამდენად უფრო ძლიერია თავისი ბიოლოგიური მოქმედებით ესა თუ ის გამოსხივება, რენტგენის, გამა- ან ბეტა- გამოსხივებასთან შედარებით, რომელთა ბიოლოგიური ეფექტურობის კოეფიციენტი მიღებულია ერთის ტოლად.

მე-2 ცხრილში მოყვანილია ზოგიერთი გამოსხივების შეფარდებითი ბიოლოგიური ეფექტურობის კოეფიციენტები.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, შეფარდებითი ბიოლოგიური ეფექტურობის ცნების გამოყენება რეკომენდებულია სხვადასხვა სახის გამოსხივების ბიოლოგიური მოქმედების შეფასებისა და ურთიერთდაპირისპირების მიზნით.

მაგრამ ამ ცნებას მიმართავენ ისეთ შემთხვევებში, როდესაც დასხივების ყველა პირობა ზუსტადაა ცნობილი. სხვა შემთხვევებში, განსაკუთრებით კი გამოსხივებისაგან დაცვითი ღონისძიებების შემუშავებისათვის, სარგებლობენ ხარისხის კოეფიციენტით (როდესაც დასხივების დოზა  $< 5$  ზღ-ზე). ხარისხის კოეფიციენტი (Q) ფიზიკური ერთეული არ არის. იგი შემოღებულია კანონმდებლობით და ისევე, როგორც ბიოლოგიური ეფექტურობის კოეფიციენტი, დამოკიდებულია ენერჯის ხაზოვან დაკარგვაზე (ანუ იონიზაციის სიმჭიდროვეზე). მისი ციფტობრივი მონაცემები იგივეა, რაც მე-2 ცხრილში მოყვანილი შეფარდებითი ბიოლოგიური ეფექტურობის კოეფიციენტები, გარდა α-გამოსხივებისა, რომლისთვისაც იგი 20-ის ტოლია.

ამგვარად, შთანთქმული დოზა (D) თავისთავად ვერ ასახავს სრულად იმ ეფექტებს, რომლებიც დასხივებისას ვითარდება ან შესაძლებელია განვითარდეს. ამიტომ რადიაციულ ჰიგიენაში შემოღებულია ცნება ბიოდოზის შესახებ (მას ექვივალენტურ დოზასაც უწოდებენ), რომელიც შეიცავს მანე ეფექტების შედარებით უკეთ განმსაზღვრელ მაკორეგირებელ სიდიდეებს.

$H = D \cdot Q \cdot N$ , სადაც D — შთანთქმული დოზა, Q — ხარისხის კოეფიციენტი, N — ყველა სხვა მამოდიფიცირებელი კოეფიციენტის ნამრავლი. ამ კოეფიციენტში შეიძლება იყოს დოზის სიმძლავრე, ფრაქციული დასხივება და სხვ. თანამედროვე პირობებში მიღებულია, რომ  $N = 1$ .

ექვივალენტურ დოზებს გამოიყენებენ მხოლოდ მცირე დოზების ბიოლოგიური მოქმედების შესაფასებლად, კერძოდ 5 ზღ-ის ფარგლებში. ამ ზღვარის ზემოთ იყენებენ შთანთქმულ დოზას და შეფარდებითი ბიოლოგიური ეფექტურობის კოეფიციენტს, ამასთანავე, ივლისსმება, რომ ექსპერიმენტის ყველა პირობა ზუსტადაა ცნობილი.

5 ზღ-ის ფარგლებში მამოდიფიცირებელი ფაქტორები მიჩნეულია ერთის ტოლად, ამიტომ ზემოთაღნიშნული ეკვივალენტური დოზის განმსაზღვრელი განტოლება მიიღებს მარტივ სახეს:

$$H = D \cdot Q$$

ეკვივალენტური დოზის არასისტემური ერთეულია რბე (რენტგენის ბიოლოგიური ეკვივალენტი) ანუ გამოსხივების ისეთი რაოდენობა, რომლის მოქმედება ისეთივე ბიოლოგიურ ეფექტს იწვევს, როგორც 1 რ რენტგენის ან გამა-სხივი. სი-სისტემაში ეკვივალენტური დოზის ერთეულად მიღებულია ზივერტი (Sy). 1 Sy უდრის 1 G-ს (გრეი), შეფარდებულს ხარისხის კოეფიციენტთან.

$$1 \text{ Sy} = \frac{1 \text{ G}}{Q} = \frac{1 \text{ კოული/კგ}}{Q} = \frac{100 \text{ რად}}{Q} = 100 \text{ რბე.}$$

რადიოაქტიური ნივთიერების აქტივობის, გამოსხივების სახეობის, დოზის, მათი ერთეულებისა და გაზომვის საშუალებათა ურთიერთდამოკიდებულება

აქტივობა, დოზა	გამოსხივების სახეობა და წყარო	დოზის (აქტივობის) ერთეულები		განსაზღვრის საშუალებანი		შენიშვნა
		არასისტემური	სისტემური	განაწარმებით	გაზომვით	
1 რადიონუკლიდის აქტივობა	$a, \beta, \gamma$	კიური (Ci) 3,7 · 10 <sup>10</sup> დაწლ/წმ	ბეკერელი (Bq) 1 დაწლ/წმ	+	+	აქტივობა შეიძლება განისაზღვროს, თუ ცნობილია $\lambda$ და $T_{1/2}$
2 ექსპოზიციური დოზა	$R_{10}''(10^{-1} - 1,5 \text{ მუე}) \gamma$	რენტგენი (R) რადი (rad)	კულანი/კგ (c/kg)	+	+	თუ ცნობილია მანძილი—R, ხოლო $\gamma$ -გამოსხივებისათვის, თუ ცნობილია აქტივობა და $k_{\gamma}$ (j—მუდგევა).
3 შიანთქმული დოზა	$a, \beta, \gamma, R_{10}''$ და სხვ.	რადი (rad)	გრეი (G)	+	+	$D_{100} = D_{50} \times X_f$ , სადა $f$ ექსპოზიციური დოზის შიანთქმულში გადასაყვანი კოეფიციენტი. განისაზღვრება ექსპერიმენტულად ფაქტორში. უფრო სწორად $f = 0,9$ (გარდა რბილი დასხივებისა და ძელების, დასხივებისა)
4 ინტეგრალური შიანთქმ. დოზა	$a, \beta, \gamma, R_{10}''$	გ X რადი	გრეი X კგ	+	—	—
5 ეკვივალენტური დოზა	დიაპაზონი < 5 ხ დღ	რბე	ზიერტი (Sy) და ჯოული/კგ	+	—	—
6 ეფექტური დოზა	$a, \beta, \gamma, R_{10}''$	რადი	გრეი	+	—	განსაზღვრა შეიძლება ექსპერიმენტულად
7 კოლექტიური დოზა	$a, \beta, \gamma, R_{10}''$	ადამიანი X რბე	ადამიანი X ზიერტი	+	—	სტატისტიკური განაწარმებით
8 პოპულაციური დოზა	$a, \beta, \gamma, R_{10}''$	ადამიანი X რბე	ადამიანი X ზიერტი	+	—	სტატისტიკური განაწარმებით



ადგილობრივი დასახივეების პირობებში ზოგჯერ სარგებლობენ ინტეგრალური დოზებით. ეს არის ამა თუ იმ თბიქტის მიერ მისი რომელიმე ნაწილის დასახივეების პირობებში შთანქმული ენერგია. ინტეგრალური დოზის ერთეულია გრამ რად. 1 გრამ. რად უდრის 100 ერკს.

რადიაციული ჰიგიენა მაიონიზებელი გამოსხივების მოქმედების შედეგად განვითარებული სტოქასტური ეფექტების შესაფასებლად სარგებლობს აგრეთვე ე. წ. კოლექტიური და პოპულაციური დოზებით. რომლებიც დასახივეების სიდიდეებია, მიღებული ადამიანთა რომელიმე დიდი ჯგუფის ან მთელი პოპულაციის მიერ და გამოისახება ერთეულებით — ადამიანი X ბერ (არასისტემური ერთეული) ან ადამიანი X ზიკერტ (სი-სისტემაში).

მე-3 ცხრილი წარმოდგენას იძლევა რადიაციური ნივთიერების აქტივობის, გამოსხივების სახეობის, დოზის, მათი ერთეულებისა და გაზომვის საშუალებათა ურთიერთდამოკიდებულებაზე.

## მაიონიზებელი გამოსხივების გამოვლინებისა და აღნუსხვის საშუალებები |

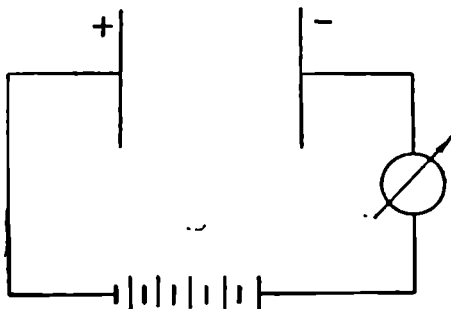
ორგანიზმზე ზემოქმედების შედეგად მაიონიზებელი გამოსხივება პრაქტიკულად არავითარ სუბიექტურ შეგრძნებას არ იწვევს. მას არა აქვს სუნი, გემო, ფერი, ჩვეულებრივ პირობებში იგი ვერ აღირიცხება თვალის ანალიზატორის მიერ და ვერც შეხებით შეგრძნებას იძლევა. ამ სხივების გამოვლინება, მათი ძალისა და დოზის გაზომვა ხდება იმ პროცესების რეგისტრაციისა და რაოდენობრივი ანალიზის საშუალებით, რომლებიც მოჰყვება ნივთიერებაზე მათ ზემოქმედებას, კერძოდ, ატომებისა და მოლეკულების იონიზაციას, აგზნების, მეორეული გამოსხივების ან ამ პროცესების შედეგად მიღებული მეორეული ეფექტების დადგენით.

მაიონიზებელი გამოსხივების აღნუსხვისა და გაზომვის მეთოდებია, რომლებიც დამყარებულია იონიზაციის პროცესების შესწავლაზე, ცნობილია, როგორც იონიზაციური მეთოდი, ხოლო იონიზაციის მეორეული ეფექტების შესწავლა შეიძლება ქიმიური, ლუმინესცენციური, კოლორიმეტრული, კალორიმეტრული, კონდუქტომეტრული და სხვა საშუალებებით.

საიონიზაციო კამერები. ყველაზე მეტად გავრცელებულია იონიზაციური მეთოდი. ამისათვის იყენებენ ე. წ. საიონიზაციო კამერებს (სურ. 2).

საიონიზაციო კამერა ჩვეულებრივ კონდენსატორია, რომელიც შეიცავს ჰაერს ან აირსა და ელექტროდებს. მაიონიზებელი ნაწილაკის

ან კვანტის კამერაში გავლის დროს ხდება ჰაერის იონიზაცია. წარმოქმნილი იონები იწყებს მოძრაობას ელექტროდებისაკენ, უარყოფითად დამუხტული იონები — დადებითი პოლუსისაკენ, დადებითად დამუხტული იონები — უარყოფითი პოლუსისაკენ. ამგვარად, შეიკვრება წრედი და გალვანომეტრის ისრის გადახრა გვიჩვენებს, რომ წრედში დენი წარმოიქმნება. წრედში წარმოქმნილი დენის ძალის სიდიდე და-



სურ. 2. საიონიზაციო კამერის სქემატური გამოსახულება.

მოკიდებულია მოდებული ძაბვის სიდიდეზე. თუ ძაბვა მცირეა, მაშინ ჰაერში წარმოქმნილი იონების ელექტროდებისაკენ მოძრაობის სისწრაფე მცირეა, ამიტომ გზადგზა ხდება მათი რეკომბინაცია და ელექტროდებამდე მიღწეული იონების რიცხვი მცირე იქნება. მაშასადამე, გალვანომეტრის ისრის ჩვენება მცირეა. საიონიზაციო კამერის ვოლტამპერუ-

ლი მრუდის (სურ. 3) ამ მონაკვეთს რეკომბინაციის არე ეწოდება (1). თუ ძაბვა უფრო გაიზრდება, მაშინ იონების სისწრაფე მატულობს, გზადგზა რეკომბინაციას ვეღარ ასწრებენ, ამიტომ ელექტროდებამდე მიაღწევენ ყველა წარმოქმნილი იონი. ამ საიონიზაციო დენს გაჭერების დენს უწოდებენ, ხოლო მრუდის მონაკვეთს (2) — გაჭერების არეს. ამ არეში მომუშავე კამერებს საიონიზაციო კამერები ეწოდება. ეს კამერები ცალკეული კვანტების მიერ წარმოქმნილ იონებს ვერ აღწესსავენ (და, მაშასადამე, ვერც კვანტების რაოდენობას), ვინაიდან თითოეული კვანტის მიერ შექმნილი საიონიზაციო დენი ძალზე მცირეა. ამ ზონაში ზომავენ საიონიზაციო დენის ჯამურ სიდიდეს, ე. ი. ყველა კვანტის ან ნაწილაკის მოქმედების შედეგად წარმოქმნილი იონების ელექტროდებისაკენ მოძრაობით შექმნილ დენის ძალას. ეს კამერები დენის ძალას ზომავს დროის ერთეულში, მაშასადამე, ისინი გვიჩვენებენ დოზის სიმძლავრეს საიონიზაციო კამერების მეშვეობით აღგენენ ალფა-, ბეტა-, გამა- და სხვა სახის გამოსხივების დოზას.

შემდგომ არეს (3) ეწოდება დარტყმითი იონიზაციის არე: ძაბვის გაზრდა იმდენად ზრდის იონების სიჩქარეს, რომ ჰაერის ატომებთან და მოლეკულებთან დაჯახებით იწყებს მეორეულ იონიზაციას. ასეთი გაზრდილი ძაბვის პირობებში არსებობს პირველად და მეორეულად წარმოქმნილ იონების რიცხვს შორის პირდაპირი დამოკიდებულება,

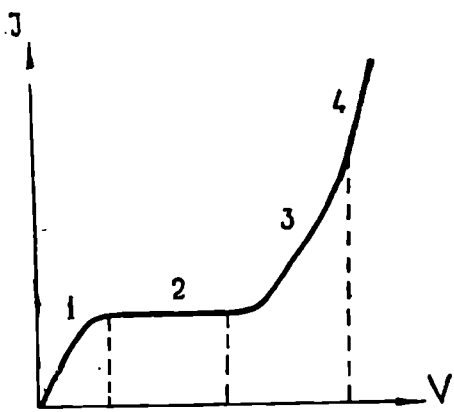
რის გამო ამ არეს კიდევ პროპორციულობის არეს, ხოლო ამ არეში მომუშავე საიონიზაციო კამერებს — პროპორციულობის კამერებს უწოდებენ. ისინი, ძირითადად, გამოყენებულია ალფა- და ნეიტრონული გამოსხივების რეგისტრაციისათვის. ამ კამერების საშუალებით შეიძლება, როგორც დოზის სიმძლავრის, ასევე ცალკეული კვანტების ან ნაწილაკების ენერჯის გაზომვა. თუ ნაწილაკები მძიმეა (ალფა-ნაწილაკები, ნეიტრონი), მათ მიერ შექმნილი იონების რიცხვი საკმარისია რეგისტრაციისათვის, ამიტომ ამ არეში მომუშავე კამერებით მათი ცალკეული რეგისტრაცია შესაძლებელია. მაგრამ თუ მსუბუქ ნაწილაკებთან ან კვანტებთან გვაქვს საქმე, მაშინ მათი ცალკეული რეგისტრაცია ამ მთვლელებსაც არ შეუძლიათ.

ასეთ შემთხვევაში კამერები ზომავენ ჯამურ დოზას ან, უფრო ზუსტად რომ ვთქვათ, — დოზის სიმძლავრეს.

შემდგომი არე თავისთავადი განმუხტვის არეა (4), მას გეიგერ-მიულერის არესაც უწოდებენ. ამ არეში შეიძლება როგორც მძიმე, ასევე მსუბუქი ნაწილაკებისა და კვანტების ცალკეული აღნუსხვა. აქ ძაბვა ისეთი მაღალია, რომ საკმარისია ერთი კვანტის გავლაც კი, რათა წარმოიქმნას იონების ნიაღვარი, რომელიც მიემართება ელექტროდებისაკენ.

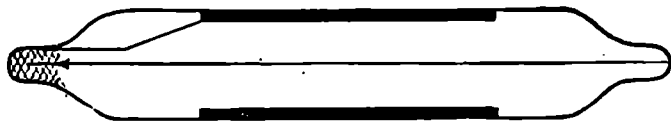
ასეთი რაოდენობით, იონების რეგისტრირება ძალზე ადვილია. ამ არეში მომუშავე მთვლელებს გეიგერ-მიულერის მთვლელები ეწოდებათ.

გეიგერ-მიულერის მთვლელები (სურ. 4.) იგივე საიონიზაციო კამერებია, რომლებშიც ჰაერის ნაცვლად შეყვანილია რომელიმე აირი (უფრო ზშირად ინერტული) გაიშვიათებული წნევით (ვერცხლისწყლის სვეტის 50—600 მმ). თუ ამ კამერაში მოხვდება ერთი კვანტიც კი, იმ დიდი ძაბვის მეოხებით, რომელიც მოდებულია მთვლელის ანოდზე (300—1000 ვოლტი), წარმოიქმნება ელექტრული განმუხტვა. ელექტრული განმუხტვა ხდება იმის გამო, რომ იონები, რომლებიც კვანტის მოქმედების შედეგად წარმოიქმნება მთვლელში



სურ. 3. საიონიზაციო კამერის ვოლტ-ამპერული დახასიათება

არსებულ აირში, დიდი სისწრაფით (ანოდსა და კათოდს შორის არსებულ პოტენციალთა დიდი სხვაობის გამო) დაიწყებს მოძრაობას ელექტროდებისაკენ და გზადაგზა გამოიწვევს მეორეული იონების წარმოქმნას, რომლებიც, თავის მხრივ, გაემართებიან ელექტროდებისაკენ და გამოიწვევენ დამატებითი იონების წარმოქმნას და ა. შ. აიროვანი განმუხტვა თავისთავად არ ჩაქრება, ვინაიდან კათოდისაკენ მიმავალი დადებითი იონები კათოდურ მასალაზე დაჯახების შედეგად მისგან გა-



სურ. 4. გეიგერ-მიულერის მთვლელი.

მოტყორცნის ელექტრონებს, რომლებიც გაემართებიან ანოდისაკენ, გზადაგზა კვლავ წარმოქმნიან იონებს და ასე დაუსრულებლად საჭიროა ამ განმუხტვის ხელოვნურად ჩაქრობა. არსებობს გეიგერ-მიულერის ორი სახის მთვლელი: არათვითჩამქრობი და თვითჩამქრობი.

არათვითჩამქრობ მთვლელს ანოდის მილაკის ქსელში წინაღობას უქმნიან. როგორც კი გეიგერ-მიულერის მთვლელში აიროვანი განმუხტვა დაიწყება, ამ წინაღობაზე ხდება ძაბვის ვარდნა წრედში გამავალი დენის პროპორციულად, მთვლელის ელექტროდებზე მოდებული ძაბვა სწრაფად მცირდება და განმუხტვა შეწყდება (ვინაიდან დაბალი ძაბვისას მთვლელს აღარ შეუძლია მუშაობა), მოხდება იონების რეკომბინაცია. ამის შედეგად ანოდურ ძაბვზე პოტენციალი აღდგება და მთვლელი კვლავ მზად არის ახალი კვანტის აღნუსხვისათვის.

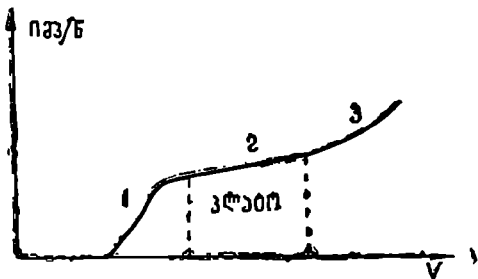
თვითჩამქრობ მთვლელში აირთან ერთად შეყვანილია ორგანული სპირტის ორთქლი (10%). სპირტი შედგება მძიმე მოლეკულებისაგან, ამიტომ მათთან დაჯახების შედეგად იონები მისგან ელექტრონებს ვერ გამოტყორცნის. პირიქით, მათი ენერჯია ამ დაჯახებით მცირდება და უკვე შემდგომ იონიზაციას ვეღარ გამოიწვევს. გარდა ამისა, სპირტის მოლეკულებს აქვს სუსტად შეკავშირებული ელექტრონები, რომლებიც უერთდებიან დადებით იონებს, რის გამოც ეს უკანასკნელნი კათოდისაკენ აღარ მოძრაობენ და არ იწვევენ კათოდური ნივთიერებიდან ელექტრონების გამოტყორცნას. ამასთან ერთად, სპირტის მოლეკულები შთანთქმავს აგზნებული ატომების დამშვიდების დროს მიღებულ ულტრაიისფერ გამოსხივებას, რის გამოც ისპობა მეორეული ელექტრონების წარმოქმნელი კიდევ ერთი დამატებითი წყარო. ამგვარად, მთვლელში ელექტრული განმუხტვა შეწყდება.

ზემოაღწერილი ყველა პროცესი, რასაკვირველია, იწვევს სპირტის მოლეკულების შინაგან გადაჯგუფებას, რის გამოც ეს მთვლელები მალე გამოდიან მწყობრიდან.

გეიგერ-მიულერის მთვლელების „მკვდარი დრო“, ე. ი. ის პერიოდი, რომლის განმავლობაში განმუხტვა მიმდინარეობს და რომლის დროს მთვლელს არ შეუძლია აღიქვას ახალი გამა-კვანტი ან კორპუსკულა, რომელიც მასში გაივლის, ძალზე მცირეა —  $10^{-2}$  —  $10^{-4}$  წამი, რაც ნიშნავს, რომ ამ მთვლელებს შეუძლიათ წამში აღნუსხონ 100-დან 10.000-მდე ნაწილაკი.

თვითჩამქრობ და არათვითჩამქრობ მთვლელებს ახსიათებთ იმპულსთა თვლის მრუდი (სურ. 5). ეს მრუდი გვიჩვენებს მთვლელის მიერ აღნუსხული ნაწილაკების ან კვანტების რიცხვის დამოკიდებულებას ძაბვასთან. როგორც ნახაზიდან ჩანს, მთვლელი იმპულსთა (ანუ ცალკეული კვანტების ამ ნაწილაკების) აღრიცხვას ძაბვის გარკვეული სიდიდიდან იწყებს და ძაბვის მატებასთან ერთად ეს რიცხვიც მატულობს (1). მიუხედავად იმისა, რომ გარკვეული ძაბვის შემდეგ ძაბვის სიდიდე იზრდება, იმპულსთა რიცხვი აღარ მატულობს. მრუდის ამ მონაკვეთს „პლატო“ (ანუ „ზეგანი“) ეწოდება (2). მაშასადამე, ამ მონაკვეთში უნდა შეიჩიოს მთვლელის სამუშაო ძაბვა, ანუ ოპტიმალური პირობები მთვლელში მოხვედრილი ნაწილაკებისა და კვანტების რაოდენობის ზუსტი განსაზღვრისათვის. კარგ მთვლელებში „პლატოს“ სიგრძე 200—300 ვოლტია, ხოლო დახრილობა, ანუ თვლის სისწრაფე „პლატოს“ დასაწყისსა და ბოლოში, არ უნდა აღემატებოდეს ყოველ 100 ვოლტზე რამდენიმე პროცენტს.

სამუშაო ძაბვა, ჩვეულებრივ, „პლატოს“ შუა მესამედის დასაწყისშია. ძაბვის შემდგომი ზრდა იწვევს იმპულსების რიცხვის მატებას (3), მაგრამ მისი გამომწვევია არა მთვლელის მგრძობელობის გაზრდა, არამედ თავისთავადი განმუხტვის წარმოქმნა, რის გამოც ეს არე სამუშაოდ არ გამოდგება.



სურ. 5. გეიგერ-მიულერის მთვლელის იმპულსთა თვლის მრუდი.

გეიგერ-მიულერის მთვლელებს ძირითადად იყენებენ ბეტა- და გამა-სხივების სარეგისტრაციოდ. განმუხტვის დროს მიღებული იმპულსური დენის გასაზომად და განმუხტვათა რაოდენობის აღსანუსხავად

მთვლელები ჩართულია რთული რადიოტექნიკური დანადგარების სექციაში.

### ცნება „სინხსტით სვლის“ შესახებ

ბიოლოგიური ქსოვილების უმრავლესობის ეფექტური ატომური წონა დაახლოებით ჰაერის ეფექტური ატომური წონის ტოლია — 7,64. ამიტომ ქსოვილებისა და ჰაერის მიერ გამოსხივების შთანთქმის უნარი დაახლოებით ერთნაირია.

საიონიზაციო კამერაში საიონიზაციო დენს ქმნის არა მარტო კამერაში მოთავსებული ჰაერიდან წარმოქმნილი იონები, არამედ კამერის კედლიდან გამოტყორცნილი იონებიც. იმისათვის, რომ კამერის შიგნით და კამერის კედლებში იონიზაცია ერთნაირად წარიმართოს, საჭიროა კამერის კედელი ჰაერეკვივალენტური მასალისაგან იყოს დამზადებული. წინააღმდეგ შემთხვევაში ერთი და იმავე დოზის სხვადასხვა ენერგიის მქონე გამოსხივებით მოქმედების დროს საიონიზაციო კამერა სხვადასხვა ჩვენებას მოგვცემს, რადგან სხვადასხვა ენერგიის მქონე კვანტები ან კორპუსკულები სხვადასხვაგვარად შთანთქმება კამერის კედელსა და ჰაერში და სხვადასხვა რაოდენობით მეორეულ ელექტრონებს გამოტყორცნის. ისეთ მოვლენას, როცა საიონიზაციო დენის სიდიდე დამოკიდებულია გამომსხივებლის ენერგიაზე, ეწოდება „სინხსტით სვლა“, ეს მოვლენა დოზიმეტრიაში არასასურველია, ამიტომ საიონიზაციო კამერის კედელს აკეთებენ ჰაერეკვივალენტური მასისაგან (პლექსიგლასი, პოლისტიროლი და სხვ.). კედლის სისქე ისეა შერჩეული, რომ იგი მეორეული ელექტრონების განარბენი მანძილის ტოლი ან ოდნავ მეტი იყოს. ასეთ პირობებში საიონიზაციო კამერებში წარმოიქმნება იონების მაქსიმალური რაოდენობა.

### მაიონიზაელი გამოსხივების აღწერის სინთეტიკური მეთოდი

როგორც ფიზიკური თვისებების დახასიათებიდან ცნობილია, ნივთიერებაში მაიონიზებული რადიაციის გავლის დროს წარმოიქმნება გარკვეული რაოდენობით აგზნებული ატომები, რომლებიც უბრუნდებიან თავიანთ პირვანდელ მდგომარეობას და გამოსხივებენ ამა თუ იმ სიგრძის ტალღის მქონე სხივებს. ნათების უნარი ყველა ნივთიერებას და მათ რიცხვში ბიოლოგიურ ობიექტებსაც აქვს. მაგრამ დოზიმეტრიაში გამოყენებულია ის ნაერთები, რომლებიც საკმაოდ ძლიერი ენერგიის მქონე ტალღებს ასხივებენ — ხილულ ან ულტრაიისფერ სხივებს. ამ თვალსაზრისით იყენებენ გოგირდოვან თუთიას (ZnS), სტილბენს, ანტრაცენს, იოდიდებს, ვოლფრამატებს და სხვ. ამ კრის-

ტალების ნათება მაიონიზებელი რადიაციის მოქმედების შედეგად შეიძლება ვიზუალურადაც აღირიცხოს (ე. წ. სპინტარისკოპებში) ან უფრო ხშირად ისინი სპეციალური ფოტოგამაძლიერებლების საშუალებით დაკავშირებული არიან გადამთვლელ ხელსაწყოებთან, რომლებიც ავტომატურად ითვლიან ნათებათა რიცხვს.

სცინტილაციურ მეთოდს მიეკუთვნება ფოსფორესცენციური მეთოდი, რომელსაც ფართოდ იყენებენ ინდივიდუალური დოზიმეტრიის დროს. ზოგიერთი ნივთიერება დასხივების შედეგად შთანთქმულ ენერგიას დიდხანს ინახავს. ნამოქმედარი დოზის დადგენის მიზნით ამ ნივთიერებას ათბობენ ან აშუქებენ ინფრაწითელი სხივებით, რის შედეგად მის მიერ შთანთქმული ენერგია გამოსხივდება ულტრაიისფერი ან ხილული-სხივების სახით, რომელთა რეგისტრაციით მსჯელობენ დასხივებული დოზის სიდიდეზე.

### ქიმიური დოზიმეტრია

უკანასკნელი წლების განმავლობაში ქიმიურ დოზიმეტრიას განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა. მის სწრაფ განვითარებას ხელა შეუწყო სახალხო მეურნეობაში მაიონიზებელი წყაროების ფართო გამოყენებამ, განსაკუთრებით დიდი დოზებით გამოყენებამ (დეფექტოსკოპია, საკვები პროდუქტების სტერილიზაცია, მცენარეთა მუტაციური ცვლილებების გამოწვევა, ახალი ჯიშების გამოყვანა და სხვ.). ასეთ შემთხვევებში გამოსხივების დოზის სიმძლავრე ათი და ასიათასობით რენტგენია და მათი აღნუსხვა საიონიზაციო კამერების მეშვეობით შეუძლებელია.

ქიმიური დოზიმეტრია დამყარებულია დასხივების შედეგად ნივთიერებაში წარმოქმნილი ქიმიური პროცესების რეგისტრაციაზე. დასხივების შედეგად მიღებულ ქიმიურ პროდუქტებს განსაზღვრავენ სხვადასხვა მეთოდით: ტიტრაციით, სპექტროფოტომეტრიით და სხვ.

ქიმიური დოზიმეტრიისათვის უფრო ხშირად იყენებენ ორვალენტიანი რკინის სულფატს ან ოთხვალენტიან ცერიუმის სულფატს. გამოსხივების ზემოქმედების შედეგად ორვალენტიანი რკინა სამვალენტიანად ვარდაიქმნება, ხოლო ოთხვალენტიანი ცერიუმი — სამვალენტიანად. წარმოქმნილი ელემენტების რაოდენობის განსაზღვრა კი ხდება სპექტრომეტრიებით ან ტიტრაციით. მიღებული შედეგების მიხედვით მსჯელობენ დასხივების შთანთქმულ ენერგიასა და დოზის სიმძლავრეზე.

ქიმიური დოზიმეტრიის საშუალებით შესაძლებელია არა მარტო რენტგენისა და გამა-სხივების რაოდენობრივი გაზომვა, არამედ სითბური ნეიტრონების გამოსხივების გაზომვაც.

ქიმიური დოზიმეტრიის ერთ-ერთი სახესხვაობაა კოლორიმეტრული მეთოდი, რომელიც დამყარებულია გამოსხივების ზემოქმედების შედეგად ზოგიერთი ნივთიერების ხსნარების ფერის შეცვლის უნარზე. ასეთ ნივთიერებებს მიეკუთვნება, მაგალითად, მეთილენის ლურჯი. დასხივებით მისი ხსნარი უფერულდება. ფერის შეცვლის ინტენსივობა დამოკიდებულია დასხივების დოზაზე. რაც მეტია დოზა, მით მეტად გაუფერულდება საღებავი. წინასწარ დამზადებული სტანდარტების საშუალებით და ამ სტანდარტებთან შედარებით შეიძლება დასხივების დოზის სიდიდეზე მსჯელობა.

### ფოტოგრაფიული მეთოდი

ეს მეთოდი ფაქტიურად ქიმიური მეთოდის ერთ-ერთი სახესხვაობაა. იგი დამყარებულია მათონიზებული რადიაციის ფაგვლით ფოტოფირში არსებული ჰალოიდური ვერცხლის ლითონურ ვერცხლად აღდგენაზე.

ფოტოდოზიმეტრიის დროს ხმარობენ სხვადასხვა სისქისა და მგრძობელობის ფოტოემულსიებს, რაც დოზათა ფართო დიაპაზონის დადგენის საშუალებას იძლევა. ფოტოფირებს დებენ ფილტრიან, მრავალველიან კასეტებში სხვადასხვა ენერგიის მქონე გამოსხივების დიფერენცირებისათვის. მოქმედი დოზის შესახებ მსჯელობენ ფოტოფირის გაშავების ინტენსივობის მიხედვით (ე. წ. დენსიტომეტრია). თუ გამოსხივების დოზა მცირეა, მაშინ შესაძლებელია ტრეკების (ტრეკი-ნაწილაკის ან კვანტის ფოტოემულსიაში განარბენი მანძილის ანაბეჭდი) დათვლა. ამასთანავე, ფოტოდოზიმეტრით შესაძლებელია ტრეკის ფორმის დადგენა, ეს კი არა მარტო დასხივების დოზის, არამედ გამოსხივების სახეობის დადგენის საშუალებასაც იძლევა.

ფოტოგრაფიული მეთოდით ხდება ნეიტრონების რეგისტრაციაც. ამ შემთხვევაში იყენებენ კადმიუმის ფილტრიან ძალიან სქელ „ბირთვულ“ ემულსიას. ნეიტრონი თავის „ხელწერას“ კადმიუმის ფილტრიდან გამოტყორცნილი პროტონის მეშვეობით ტოვებს. პროტონი ზემოქმედებს „ბირთვულ“ ემულსიაზე და ტოვებს მის დამახასიათებელ ტრეკს.

ფოტოგრაფიული მეთოდი ამჟამად ფართოდაა გამოყენებული ინდივიდუალური დოზიმეტრიის დროს.

ფოტოგრაფიული მეთოდის ერთ-ერთი სახესხვაობაა ავტორადიოგრაფია და ჰისტორადიოგრაფია, რომელსაც იყენებენ შინაგანი დასხივებისა და რადიოაქტიური ელემენტების ორგანოებსა და ქსოვილებში განაწილების დასადგენად.



მაიონიზებული რადიაციის ნივთიერებაზე ზემოქმედების შედეგად სხივური ენერგია, რომელსაც ეს ნივთიერება შთანთქავს, გარდაიქმნება სითბურ ენერგიადად. კალორიმეტრიული მეთოდის საშუალებით შეიძლება ამ დროს გამოყოფილი სითბური ენერგიის გაზომვა. სითბური ენერგიის გაზომვა ხდება ან თვით მომატებული ტემპერატურის ან ამ გათბობის შედეგად სხეულის გაჭარბოების გაზომვით. ამ გამოკვლევების დროს საჭიროა ყოველგვარი იზოთერმული და ადიაბატური პირობების დაცვა, რათა არ მოხდეს სითბოს გაცემა გარემოში.

დოზიმეტრიის კალორიმეტრიულ მეთოდს უფრო ხშირად იყენებენ სხვადასხვა სახის მთვლელებისა და დოზიმეტრების ზუსტი გრადუირებისათვის.

### მაიონიზებული გამოსხივების ბიოლოგიური მოქმედების ძირითადი კანონზომიერებანი, როგორც რადიაციული ჰიგიენის საფუძვლები

რადიობიოლოგია მეცნიერებაა, რომელიც შეისწავლის მაიონიზებული გამოსხივების ბიოლოგიურ ობიექტებზე მოქმედების მექანიზმებსა და კანონზომიერებებს. რადიობიოლოგიაში განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს მაიონიზებული რადიაციის მავნე ზემოქმედებისაგან დაცვითი ღონისძიებების თეორიული საფუძვლების შემუშავებას, ამიტომ რადიობიოლოგია რადიაციული ჰიგიენის თეორიული საფუძველია.

მაიონიზებულ გამოსხივებას ახასიათებს გარკვეული ბიოლოგიური მოქმედება, რომელიც დადგინდა რენტგენის სხივების აღმოჩენისთანავე. 1896 წელს ი. თარხნიშვილმა აღწერა რენტგენის სხივებით ცენტრალური ნერვული სისტემისა და გონადების დაზიანება. ამავე წელს აღწერილი იყო რენტგენის სხივების ზემოქმედებით გამოწვეული კანის დერმატიტის 23 შემთხვევა, თვლების სხივური დაზიანება და თმის ცვენა, ხოლო 1903 წელს რუსმა მეცნიერმა ე. ლონდონმა დაადგინა ქსოვილთა და ორგანოთა სხვადასხვა რადიომგრძობელობა. 1904 წელს პირველად აღწერეს სისხლის ცვლილებები და სხივური ლეიკოპენია.

შემდგომ წლებში გამოკვლევები ფართოვდებოდა და უფრო ღრმა ხასიათს ღებულობდა. ბუნებრივია, მეცნიერება დაინტერესდა იმ მექანიზმებით, რომლებიც ვითარდებოდა სხივური დაზიანების დროს. დადგინდა, რომ გამოსხივების ბიოლოგიურ მოქმედებას გარკვეული თავისებურებები ახასიათებს.

მაიონიზაციის გამოსხივების ბიოლოგიური სპეციალური  
მომხდელის თავისებურებანი

მაიონიზებელი გამოსხივების ნივთიერებასა და, კერძოდ, ბიოლოგიურ ობიექტზე მოქმედების დროს ამ უკანასკნელში მიმდინარეობს იონიზაციის პროცესი. წარმოქმნილი იონების რიცხვი არ არის დიდი. მაგალითად, დოზები, რომლებიც სასიკვდილოდ არის მიჩნეული, 1 მმ<sup>3</sup> ქსოვილში ქმნის  $10^{15}$  იონს; ათასობით ცილოვანი მოლეკულიდან იონიზაციას განიცდის მხოლოდ ერთი.

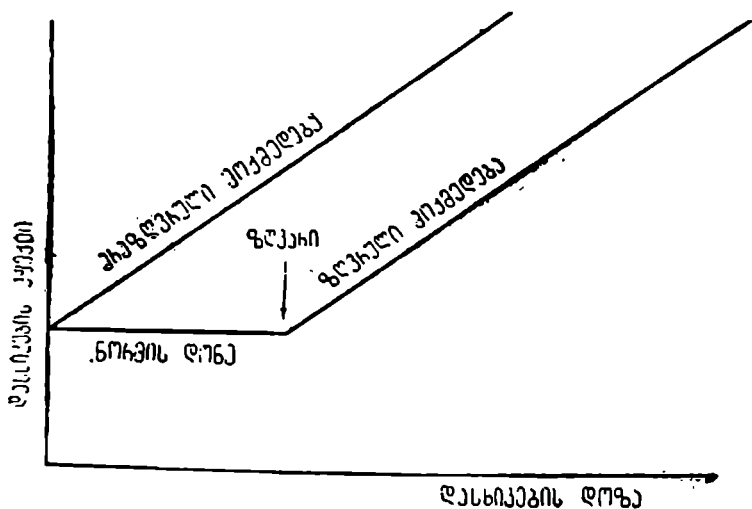
ასევე ძალიან მცირეა შთანთქმული სითბური ენერჯია. ძუძუმწოვრებზე სასიკვდილო დოზით მოქმედების დროს შთანთქმება ენერჯიის ისეთი რაოდენობა, რომელიც სხეულის ტემპერატურას  $0,002^{\circ}$ -ით ასწევს. ადამიანისათვის სასიკვდილო დოზა 50 მცირე კალორიის ეკვივალენტურია. მაშასადამე, არსებობს ერთგვარი შეუთავსებლობა მოქმედ ენერჯიასა და მიღებულ ბიოლოგიურ რეაქციას შორის. მცირე შთანთქმული ენერჯია იწვევს ექსტრემულ რეაქციას. ეს ე. წ. „რადიობიოლოგიური პარადოქსია“.

მაიონიზებელი გამოსხივების სასიკვდილო დოზები უმნიშვნელო ქიმიურ ძვრებს იწვევს და, თუ შემდგომში არ ვითარდება რაიმე ჭაჭვური პროცესი, მიუხედავად საგრძნობი ბიოლოგიური ეფექტისა, შეუძლებელია პირველადი ქიმიური გარდაქმნების აღმოჩენა. თანამედროვე ანალიზური მეთოდებით პირველადი ქიმიური ეფექტების აღმოჩენა ხდება მხოლოდ და მხოლოდ ძალიან დიდი დოზებით მოქმედების დროს (ასიათასობით და მილიონი რენტგენი).

ჩატარებულმა ოდენობითმა ანალიზებმა ცხადყო, რომ შთანთქმული ენერჯიის მხოლოდ უმნიშვნელო ნაწილია ბიოლოგიურად აქტიური. მაგალითად, როდესაც საფუარის გამადასხივების დოზა 5.000 რენტგენს უდრის, ყოველ უჯრედში დაახლოებით 1000 იონი წარმოიქმნება, მაგრამ იღუპება არა ყველა უჯრედი, არამედ მხოლოდ 10%.

ზოგ შემთხვევაში საკმარისია იონიზაციის ერთი აქტივიტი, რომ მკვეთრად გამოისახოს ბიოლოგიური რეაქცია, სხვა შემთხვევებში კი იონიზაციის ერთი აქტივიტი საკმარისი არ არის და საჭიროა რადიაციის გარკვეული ზღვრული დოზით მოქმედება, რომ ეფექტი მივიღოთ. ეს მოვლენა თავისთავად მიუთითებს იმ გარემოებაზე, რომ მაიონიზებელი გამოსხივების მოქმედება ზოგ შემთხვევაში ზღვრული ხასიათისაა, სხვა შემთხვევაში კი ზღვარი გამოსხივების არ არის (სურ. 6). მეცნიერებაში დღემდე მიჩნეული იყო, რომ მაიონიზებელი გამოსხივების მოქმედება სომატური ეფექტების მიმართ ზღვრულია, ხოლო გენეტიკური ეფექტების მიმართ ზღვარი არა აქვს. რადიობიო-

ლოგიური მეცნიერების უკანასკნელი კვლევების საფუძველზე ეს შეხედულება რამდენადმე იცვლება, და ვარაუდობენ, რომ მაიონიზებული გამოსხივების ყოველგვარი დოზა, უმცირესიც კი, ბიოლოგიურ სუბსტრატში ცვლილებებს იწვევს, ე. ი. არ არსებობს ზღვარი, მაგრამ დაზიანებული უბნის თავისებურებების, რეპარაციული პროცესების,

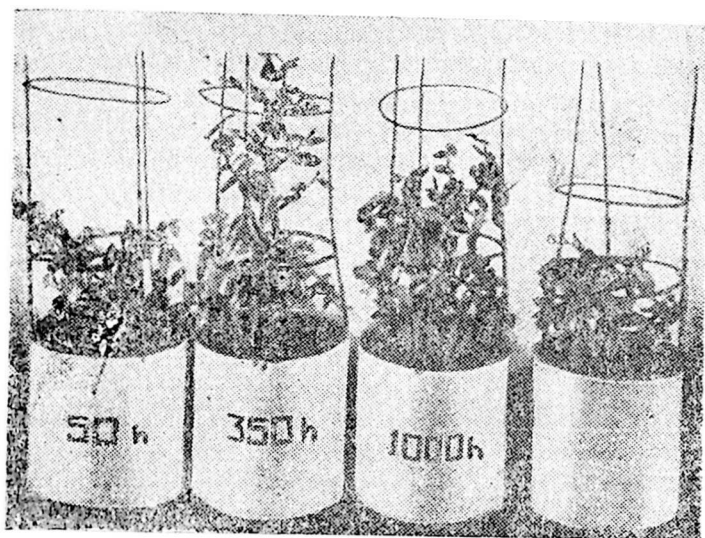


სურ. 6. მაიონიზებული გამოსხივების ზღვრული და არაზღვრული მოქმედების გამომსახველი გრაფიკი.

დასაკვირვებელი ობიექტების, ტესტის სპეციფიკის და სხვ. მრავალი ფაქტორის გავლენით ამ დაზიანებათა რეალიზაცია, ხასიათი, მათი აღმოჩენის შესაძლებლობები სხვადასხვაგვარია. დასხივების ზღვრული ხასიათი უფრო მეტად ვლინდება ორგანიზაციის რთულ საფეხურებზე გადასვლის დროს, კერძოდ უჩრდილდან და ქსოვილიდან ორგანიზმის დონეზე განვითარებული პროცესების შესწავლისას (სიცოცხლის ხანგრძლივობა, კანცეროგენეზი და სხვ.). მაიონიზებული გამოსხივების ზღვრული თუ არაზღვრული მოქმედების საკითხი ჯერჯერობით სადისკუსიოა, საჭიროებს შემდგომ დაკვირვებებსა და მეცნიერულ კვლევას, და მის გადაწყვეტას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს რადიაციული დაცვის მეცნიერული დამუშავებისა და პრაქტიკული რეალიზაციისათვის.

გარემო ფაქტორების სხვადასხვა ოდენობით მოქმედების შეფასებისათვის არსებობს არნდტ-შულცის კანონი, რომლის მიხედვით მცირე

დოზები იწვევს სასიცოცხლო პროცესების სტიმულაციას; საშუალო დოზები ამ პროცესებს აძლიერებს; დიდი დოზები თრგუნავს. ხოლო ძალიან დიდი — ადამბლავებს. მიღებული იყო, რომ მაიონიზებული რადიაციის მოქმედებაზე ეს კანონი არ ვრცელდებოდა. უკანასკნელი გამოკვლევები კი საწინააღმდეგოს ადასტურებს, ე. ი. ეს კანონი ამ ფაქტორის მოქმედებაზეც ვრცელდება (სურ. 7). ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ მცირე დოზების მოქმედება კი არ ამცირებს, არა-



სურ. 7. მუხუდოს განვითარების განსხვავება სხვადასხვა დოზით დასხივების დროს.

მედ ახანგრძლივებს ცხოველების სიცოცხლეს. მე-4 ცხრილში მოყვანილია დაკვირვება მამალი ვირთაგვების სიცოცხლის ხანგრძლივობაზე მათზე მაიონიზებული გამოსხივების მცირე დოზების ხანგრძლივი მოქმედების პირობებში. ცხოველებს მთელი სიცოცხლის პერიოდში ყოველდღიურად ასხივებდნენ რადიაქტიური კობალტის —  $^{60}\text{Co}$  გამა-სხივების 0,8 რენტგენით. ცდამ ცხადყო, რომ ასეთი ცხოველების სიცოცხლის ხანგრძლივობა გაიზარდა. მაგრამ, რა ცვლილებები მოხდება აღნიშნულ ცხოველთა შთამომავლობაში, ჯერჯერობით არ არის ცნობილი.

სიცოცხლის ხანგრძლივობის ზრდა მაიონიზებული რადიაციის  
მცირე დოზების მოქმედების შედეგად

შენახვის პირობები (ტემპერატურა)	სიცოცხლის ხანგრძლივობა (ოღვიჯი)	
	კონტროლი	ცდა
5"	240	305
25"	460	600

მაიონიზებული რადიაციის მცირე დოზებით ზემოქმედებისას სტი-  
მულაციური ეფექტი გამოვლინდა მცენარეებში, კერძოდ, თესლების  
დასხივების შედეგად, ერთუჯრედიან და მრავალუჯრედიან ცხოველებ-  
ში და სხვა, მაგრამ მოქმედების მექანიზმი ჯერ კიდევ ახსნილი არ  
არის. ფიქრობენ, რომ ეს ე. წ. „სტიმულაცია“ გარკვეული მექანიზმე-  
ბის დაზიანების შედეგია.

**უჯრედთა, ქსოვილთა და ორგანიზმთა რადიომგრძობადობა**

მაიონიზებული გამოსხივების ბიოლოგიურ სისტემებზე მოქმედე-  
ბის შედეგად განვითარებული რეაქცია ბევრად არის დამოკიდებული  
რადიომგრძობადობაზე. რადიომგრძობადობა — ეს არის უჯრედის,  
ქსოვილის ან ორგანიზმის დასხივებაზე რეაქციის უნარი. სხვადასხვა  
უჯრედი, ქსოვილი, ორგანიზმი დასხივების მიმართ სხვადასხვა რადიო-  
მგრძობადობას იჩენს. თუ სხვადასხვა სახეობის ბიოლოგიური რეაქ-  
ციის შეფასების კრიტერიუმად ორგანიზმის დაღუპვას ავიღებთ, დავი-  
ნახავთ, რომ დოზები, რომლებიც იწვევს დასხივებულ ცხოველთა  
50%-ის სიკვდილს ( $LD_{50}$ ), ძლიერ ფართო ფარგლებში მერყეობს —  
რამდენიმე ასეული რენტგენიდან ასეულ ათას რენტგენამდე (ცხრი-  
ლი 5). მაგალითად, თუ ბაქტერიებისათვის  $LD_{50}$  150—500 ათასი  
რბეა, ვირთაგვებისათვის იგი 970 რბეა, ადამიანისათვის — 600 რბე,  
ხოლო ძაღლებისათვის — 350 რბე ( $LD$  აღებულია იმიტომ, რომ მაი-  
ონიზებული რადიაციის ზემოქმედების პირობებში იგი ყველაზე უფ-  
რო ზუსტად გამოსახავს დამოკიდებულებას მოქმედ დოზასა და ბიო-  
ლოგიურ ეფექტებს შორის).

მიკროორგანიზმები *micrococcus radiodurans* თავისუფლად არსე-  
ბობენ და მრავლდებიან რეაქტორის აქტიურ ზონაში, სადაც დასხივე-  
ბის დოზის სიმძლავრე დღე-ღამეში 10 მილიონი რად-ია.

რადიომგრძობადობის პრობლემა ცენტრალურია რადიობიოლო-  
გიაში, ვინაიდან მისი ბუნებისა და მექანიზმების შესწავლას აქვს არა  
მარტო ფუნდამენტური, არამედ უდიდესი გამოყენებითი მნიშვნელო-  
ბა, კერძოდ, რადიაციულ ჰიგიენაში, ვინაიდან რადიომგრძობადობის

ხელოვნური მართვა ორგანიზმის დაცვის მძლავრი ღონისძიებების გამოწვევის საშუალებას იძლევა.

სხვადასხვა რადიომგრძობელობის მიზეზი საბოლოოდ დადგენილი არ არის. ცივისსხლიანთა ნაკლებრადიომგრძობელობას ზსნიან სხეულის დაბალი ტემპერატურით და, შესაბამისად, ნივთიერებათა ცვლის დაბალი დონით, თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ ფრინველთა სხეულის ტემპერატურა, შედარებით თბილისსხლიანებთან, მაღალია, მაგრამ რადიომგრძობელობა — დაბალი.

მწერებისა და კიბოსმაგვართა დაბალი რადიომგრძობელობის მიზეზად მიაჩნიათ მათ ორგანიზმში დამცველი ნივთიერებების არსებობა. მაგალითად, მწერის ორგანიზმში დიდი რაოდენობით შეიცავს კატალაზას, რომელიც შლის იონიზაციისა და აგზნების შედეგად წარმოქმნილ ზეჟანგებს. კიბოსმაგვარნი შეიცავენ ამინომჟავებს, ამინებსა და პოლიპეტიდებს, რომლებიც, გარდა ცილის ასიმილაცია-დისიმილაციის პროცესისა, მონაწილეობენ ოსმოსური წნევის რეგულირებაში (თბილისსხლიანებში ეს პროცესი ძირითადად წარიმართება იონების — K, Na, Mg და სხვ. საშუალებით) და ანტირადიანტები არიან.

რადიომგრძობელობის მიხედვით ორგანოები და ქსოვილები ძლიერ განსხვავდება ერთმანეთისაგან. ყველაზე მგრძობიარეა: გონადები, ძვლის წითელი ტვინი, ლიმფური ქსოვილი, წვრილი ნაწლავის ეპითელიუმი, ცენტრალური ნერვული სისტემა; შედარებით ნაკლებ მგრძობიარეა ღვიძლი, ფილტვები, თირკმლები, გული. მგრძობელობის მხრივ ერთ-ერთი უკანასკნელი ადგილი უკავია კუნთებს, ძვალს, ხრტილს.

განსაკუთრებით უნდა აღვნიშნოთ ნერვული ქსოვილის რადიომგრძობელობა. აღრე მიაჩნდათ, რომ ნერვული ქსოვილი თავის რადიომგრძობელობით ერთ-ერთ უკანასკნელ ადგილს იკავებს. მაგრამ საბჭოთა მეცნიერებმა დაადგინეს, რომ ეს არ არის სწორი. მართალია, მორფოლოგიურად, სტრუქტურული ცვლილებების განვითარების მხრივ ნერვული უჯრედები დიდ რადიორეზისტენტობას იჩენენ, მაგრამ ფუნქციური ცვლილებების გამოვლინების თვალსაზრისით მათ ერთ-ერთი პირველი ადგილი უკავიათ. დღეს ნერვული ქსოვილი მაიონიზებელი რადიაციის მოქმედების მიმართ ყველაზე მგრძობიარე ქსოვილადაა აღიარებული. მაგრამ აღნიშნული ფუნქციური ძვრების გამწვები მქანნიზები დღესაც უცნობია და დისკუსია ნერვული სისტემის რადიომგრძობელობის სპეციფიკურობის შესახებ კვლავ გრძელდება. მაიონიზებელი გამოსხივების ნერვულ სისტემაზე მოქმედების შეფასების დროს მხედველობაში მისაღებია ის, რომ ჰემატო-ენციფალური ბარიერის არსებობის გამო ნერვული სისტემის ქსოვი-

ლები შედარებით უკეთაა დაცული მეორეული ტოქსიკური ნივთიერებების შეღწევადობისაგან. ამას გარდა, რადიაქტიური ელემენტები, თუკი ისინი ორგანიზმში მოხვდებიან, ცუდად აღსორბირდებიან ნერვული ქსოვილის მიერ და ამდენად ნერვული სისტემის, როგორც კრიტიკული ორგანოს, შექმნის საშიშროება შედარებით ნაკლებია.

ცხრილი 5

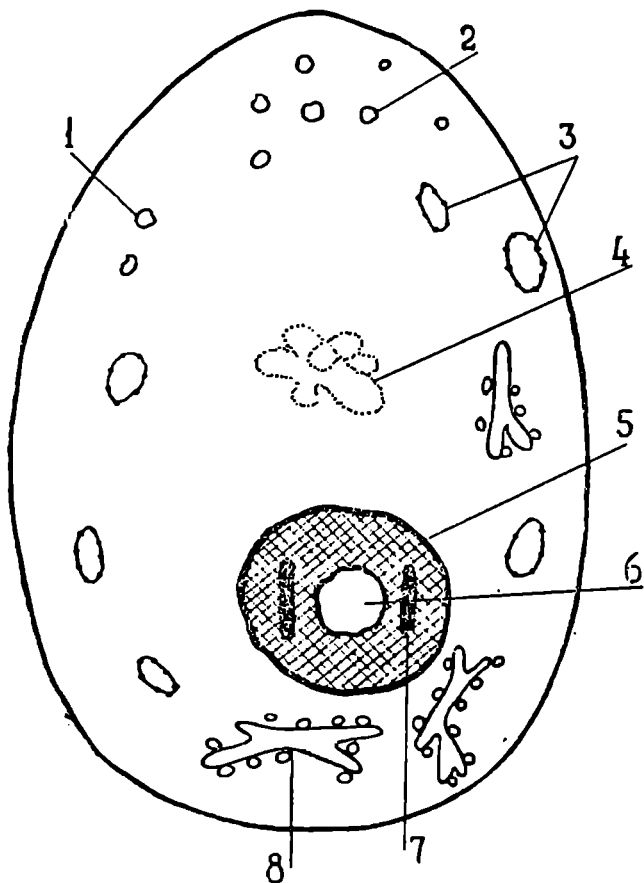
რადიომგრძნობელობის განსხვავება ხახობათა მიხედვით

ორგანიზმები	გამოსხივების სახეობა	(რბე)
ბაქტერიები	გამა-გამოსხივება	150—500 ათასი
ინფუზორიები	რენტგენის სხივები	300—350 "
ამება	"	100 "
საფუარი	"	30 "
კარჩხანა	"	1800 "
ბოცვერი	"	750—825 "
ბაყაყი	"	700 "
მიმიუნნი	"	600 "
ვირთავვა	"	590—970 "
თავვი	"	550—665 "
აღადიანი	"	400—500 "
ძაღლი	"	350 "

რადიომგრძნობელობის შემომოყვანილ დიფერენცირებას საფუძვლად უდევს ძირითადად ფუნქციური ცვლილებები. რაც შეეხება შორფოლოგიურ ცვლილებებს, რადიომგრძნობელობა სხვაგვარად ნაწილდება: 1. მაღალი რადიომგრძნობელობის მქონე ორგანოები (600 რ იწვევს სერიოზულ დაზიანებას): ლიმფური ქსოვილი და ჭირკვლები, ელენთა, ფარისებრი ჭირკვალი, ძვლის ტვინი, სასქესო ჭირკვლები; 2. საშუალო მგრძნობელობის ორგანოები და ქსოვილები (600—3000 რ მოქმედება იწვევს სერიოზულ დაზიანებას): კანი, ლორწოვანი გარსი, თვალის ბროლი, წვრილი ნაწლავები, სისხლძარღვთა ენდოთელიუმი, მზარდი ძვლები; 3. მცირე რადიომგრძნობელობის ორგანოები და ქსოვილები (3000—6000 რ მოქმედებისას სერიოზულად ზიანდება): გარეგანი და შინაგანი სეკრეციის ჭირკვლები, ღვიძლი, თირკმლები, ფილტვები, კუნთები, ძვლები, ცენტრალური ნერვული სისტემა, პერიფერიული ნერვული სისტემა.

განსაკუთრებით მგრძნობიარეა უჯრედი (სურ. 8) დასხივების მიმართ გაყოფის ფაზაში. მიტოზის ყველა სტადიაში (პროფაზა, მეტაფაზა, ანაფაზა, ტელოფაზა, სურ. 9) დასხივება იწვევს უჯრედის ღრმა დაზიანებას, მაგრამ ამ სტადიებშიც არის მგრძნობელობის განსხვავება. ყველაზე მაღალი რადიომგრძნობელობით გამოირჩევა ნაადრევი პროფაზა და მისი შუა პერიოდი (სურ. 10).

მიტოზთან შედარებით ნაკლებ მგრძნობიარეა ინტერფაზა, მაგრამ ავ ფაზაშიც არის პერიოდები, როცა უჭრედი საკმაო მგრძნობელობას იჩენს რადიაციის მიმართ.



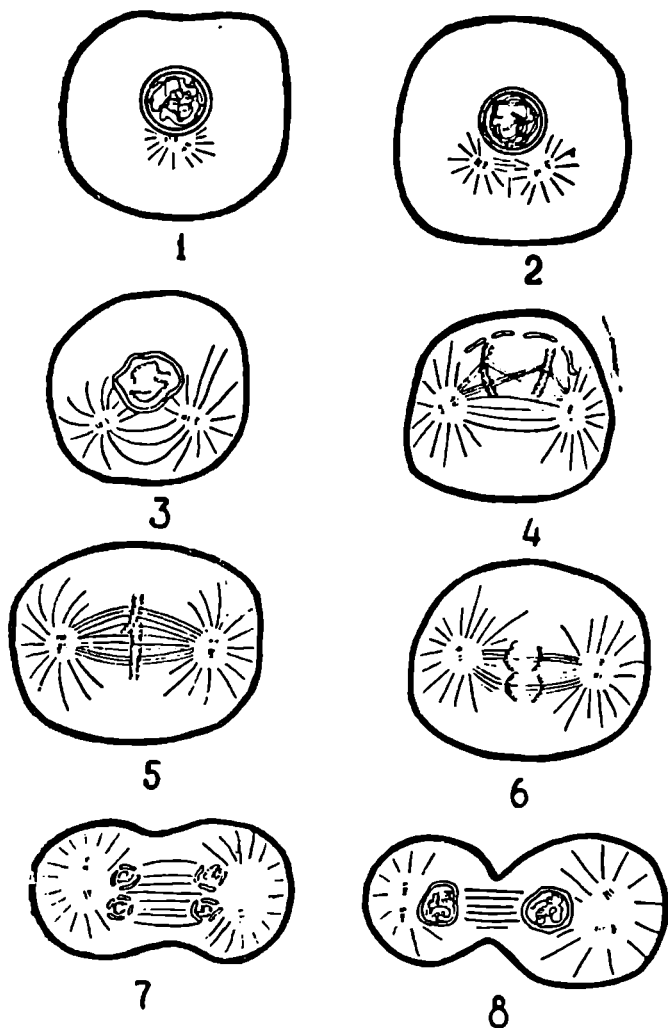
სურ. 8. უჭრედის სქემატური გამოსახულება:

1 — ზიმოგენის გრანულები, 2 — ცენტრიოლი, 3 — მიტოქონდრიები, 4 — გოლჯის აპარატი, 5 — ბირთვი, 6 — ბირთვაკი, 7 — ჰეტეროქრომატინი, 8 — მიკროსომება.

ცნობილია, რომ ინტერფაზა იყოფა სამ სტადიად (სურ. 11)—G<sub>1</sub>, ანუ პრესინთეზური (ანუ პოსტმიტოზური), S — სინთეზისა და G<sub>2</sub>, ანუ პოსტსინთეზური სტადია. აღმოჩნდა, რომ პრესინთეზურ და პოსტსინთეზურ სტადიებში (G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>) უჭრედი საკმაოდ მგრძნობიარეა დასხი-



ვების მიმართ, ხოლო სინთეზის (S) სტადიაში შედარებით რადიორე-  
ზისტენტულია. გ<sub>1</sub> სტადიაში უჩრედი ემზადება დეზოქსირიბონუკ-  
ლეინმეჯავას (დნმ) ახალი სინთეზისათვის. მას ჯერ არა აქვს საკმაო



სურ. 9. უჩრედის მიტოზური გაყოფის სქემა:

1, 2 — ინტერფაზა, 3, 4 — პროფაზა, 5 — მეტაფაზა, 6 — ანაფაზა, 7, 8 — ტელოფაზა  
(მეზიას სქემა).

რაოდენობით ფერმენტები, საშენი მასალა, იგი ამ სტადიაში იწყებს მათ დაგროვებას. ამიტომ თუ უჯრედი ამ პერიოდში დაზიანდება, იგი შემდგომ სტადიაში (S) ვეღარ მოახდენს ღნმ-ს სინთეზს და იღუპება.

S სტადიაში უჯრედი ახდენს ღნმ-ს სინთეზს. თუ ამ პერიოდში უჯრედმა განიცადა დასხივება და მოხდება რაიმე დაზიანება (ვთქვათ, ნუკლეოპეპტიდების გახლეჩა), უჯრედი ნაკლს სწრაფად აღადგენს, ვინაიდან ამ პერიოდში იგი მდიდარია ამისათვის საჭირო საშენი მასალით, რის გამოც მას დაზიანება არ შეეცყობა.

G<sub>2</sub> სტადიაში ღნმ, რნმ უკვე შექმნილია, საშენი მასალა დახარკულია და, თუ ამ პერიოდში იმოქმედა სხივმა, მანეითარებულ დაზიანებას ვეღარ აღადგენს, ღნმ-ს სინთეზი აღარ მოხდება და უჯრედი დაიღუპება.

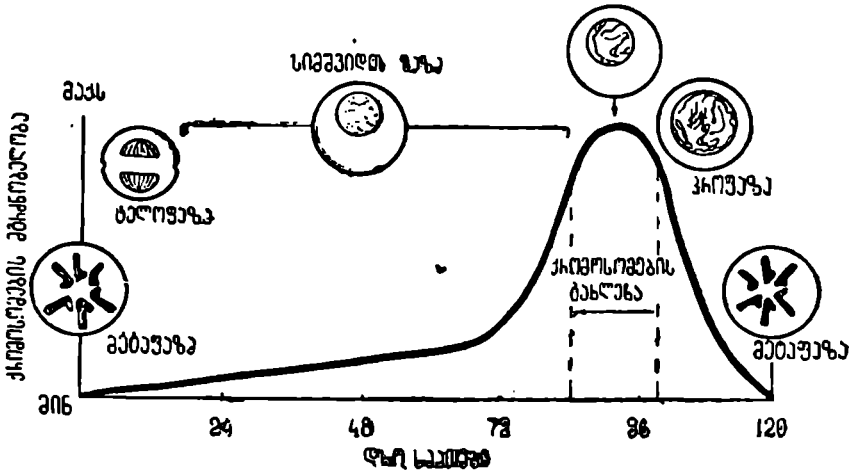
თანამედროვე მეცნიერებამ შეძლო უჯრედის შემადგენელი ნაწილების რადიომგრძობელობის დიფერენცირება. ეს შესაძლებელი გახდა მას შემდეგ, რაც მოხერხდა ბირთვის ან ციტოპლაზმის ეკრანირებით უჯრედის დანარჩენი ნაწილის დასხივება. აღმოჩნდა, რომ ბირთვის რადიომგრძობელობა რამდენიმე ასეულჯერ უფრო მაღალია, ვიდრე ციტოპლაზმის რადიომგრძობელობა.

განსაკუთრებით მგრძობიარეა ბირთვში ქრომოსომული აპარატი, რომელიც შეიძლება დაზიანდეს იონიზაციის რამდენიმე ან ერთეული აქტის შედეგადაც კი. ამიტომაც ქრომოსომათა რიცხვს მნიშვნელობა აქვს უჯრედის რადიომგრძობელობაში, რის გამოც დიპლოიდური უჯრედები ჰაპლოიდურთან შედარებით უფრო მგრძობიარეა. მაგრამ, თუ პლოიდობა ერთნაირია, მაშინ მნიშვნელობა ენიჭება ბირთვის მასას, რაც, თავის მხრივ, დამოკიდებულია დეზოქსირიბონუკლეინმჟავას (ღნმ) რაოდენობაზე. რაც მეტია ბირთვის მასა, მით მეტია ღნმ, მით მეტია მისი პირდაპირი დაზიანების ალბათობა, და, მაშასადამე, რადიომგრძობელობა. გარკვეული მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე ბირთვის მემბრანის ფუნქციურ მდგომარეობას.

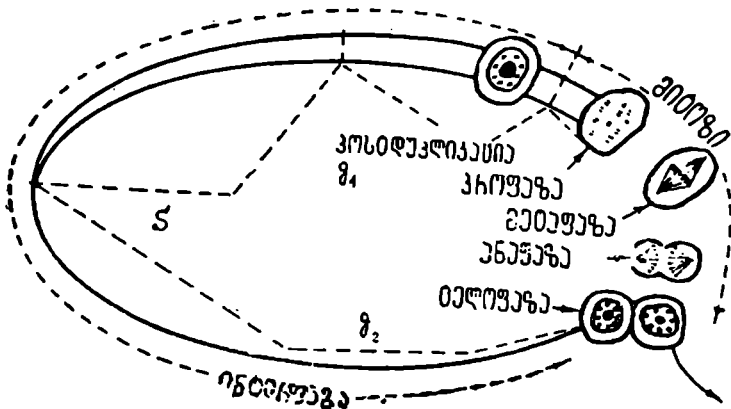
ბერგონიემ და ტრიბონლომ დაადგინეს კანონი, რომლის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ უჯრედი დასხივების მიმართ მით უფრო მგრძობიარეა, რაც უფრო მეტად აქვს გამოხატული პროლიფერაციის უნარი, რაც უფრო ზანგრძლივად მიმდინარეობს მასში კარიოკინეზის პროცესი და რაც უფრო ნაკლებ დიფერენცირებულია მისი მორფოლოგია და ფუნქცია (მგრძობელობაში იგულისხმება მორფოლოგიური ცვლილებები).

სხვადასხვა რადიომგრძობელობა ახასიათებს არა მარტო სხვადასხვა სახის უჯრედს, ქსოვილს, არამედ ერთი და იმავე სახეობის ცხოველს, უჯრედს და სხვ. მაგალითად, ერთი და იმავე ნაყარის თავგებიდან, რომლებიც ერთნაირ პირობებში იმყოფებიან, ზოგი იღუპება

200 რად-ის მოქმედებით, ზოგი კი 800 რად-ით დასხივების შემდეგაც ცოცხალი რჩება; ზოგი ადამიანი იღუპება 300 რად-ის მოქმედებით (ერთეული სასიკვდილო შემთხვევები); 400 რადი იწვევს დასხივებულ ადამიანთა 50%-ის სიკვდილს, დანარჩენები კი ცოცხალი რჩებიან. ადგილობრივი დასხივების პირობებში კანის ერთეული დოზა



სურ. 10. დასხივების მიმართ უჩრდელის მიტოზური ციკლის სხვადასხვა სტადიის შეფარდებითი მგრძობელობა (*Fradescantia*-ს მტვეროვანი უჩრდელი, რომლებმაც განიცადეს დასხივება რენტგენის სხივებით. დასხივების დოზა—200 რ).



სურ. 11 უჩრდელის მიტოზური ციკლი (ხემის სქემა).

სხვადასხვა ინდივიდში 400-დან 1200 რენტგენამდე ცვალებადობს. ასეთი ინდივიდუალური რადიომგრძობელობის მიზეზი ჯერ კიდევ დადგენილი არ არის.

ერთი და იმავე სახეობის უჯრედთა სხვადასხვაგვარი რადიომგრძობელობის მაგალითია საფუარის უჯრედთა მგრძობელობა, რომელიც ზემოთ იყო მოყვანილი. იგივე ითქმის ლიმფოციტებზე: რენტგენის ან გამა-სხივების 50 რ დოზით მოქმედების შედეგად ერთეული ლიმფოციტები იღუპებიან, სხვები კი გაცილებით დიდი დოზების მოქმედებას იტანენ.

რადიომგრძობელობაზე დიდ გავლენას ახდენს ობიექტის ფუნქციური მდგომარეობა დასხივების მომენტში. დადგენილია, რომ ფუნქციური აქტივობის ფაზაში რადიომგრძობელობა უფრო მაღალია. მაგალითად, სარძევე ჯირკვალის ლაქტაციის პერიოდში უფრო მგრძობიარეა დასხივების მიმართ, ვიდრე სხვა დროს, საკვერცხეები განსაკუთრებულ მგრძობელობას იჩენენ ფოლიკულის მომწიფების პროცესში, ასევე მომატებულია მგრძობელობა ორსულობის პერიოდში. მაღალი ფუნქციური აქტივობის შემთხვევაში დაზიანების კომპენსაციისა და რეპარაციის ალბათობაც იზრდება; მაგრამ სხივური დაზიანების ჯამური ეფექტი მაინც უფრო ძლიერად არის გამოხატული. ზოგი ავტორი ამ ფაქტს ხსნის უანგბადის მაღალი შემცველობით ფუნქციურად აქტიურ უჯრედებში სისხლით მომარაგების გაზრდასთან დაკავშირებით.

დადგენილია კავშირი ერთი მხრივ უჯრედის სტრუქტურულ ორგანიზაციასა, და, მეორე მხრივ რადიორადამაზიანებლობას შორის. ასე, მაგალითად, რაც მეტია უჯრედის ორგანოიდები ციტოპლაზმაში, მით უფრო ნაკლებია მისი რადიორადამაზიანებლობა. ეს გასაგებია, ვინაიდან უჯრედის სტრუქტურა განსაზღვრავს მისი მეტაბოლიზმის დონეს და, შესაბამისად, რეპარაციულ შესაძლებლობებს, ე. ი. უჯრედის მდგომარეობას, მისი რადიორადამაზიანებლობის ჭარისხს. ამ პროცესებში რეალიზაციაში წამყვანი როლი მიეკუთვნება სტრუქტურულ რეორგანიზაციაში (დედიფერენცირებაში) უჯრედის ავტორეგულაციის უნარს.

ქსოვილთა რადიომგრძობელობა დამოკიდებულია როგორც უჯრედულ, ასევე უჯრედზედა ფაქტორებზე, ამ ქსოვილის დამახასიათებელ უჯრედთაშორის ურთიერთქმედებაზე (ინტეგრაციაზე), უჯრედთა რადიორადამაზიანებლობის დონეზე, რომელიც, როგორც აღვნიშნეთ, განპირობებულია უჯრედის ორგანიზაციული სტრუქტურით და ავტორეგულაციის შესაძლებლობებით.

რადიომგრძობელობაზე გავლენას ახდენს ასაკი. ცხოველებსა და ადამიანს ყველაზე მაღალი მგრძობელობა დასხივების მიმართ ახასიათებთ ადრეულ ასაკში, განსაკუთრებით ემბრიონული განვითარებისას,

რაც ამ პერიოდში უჭრედთა მიტოვური აქტივობის გაძლიერებით აიხსნება. სქესობრივი მომწიფების დროისათვის იგი რამდენადმე შემცირებულია და რჩება ასეთად გარკვეული პერიოდის განმავლობაში. მოხუცებულობის პერიოდში რადიომგრძნობელობა კვლავ მატულობს, რაც უჭრედთა და ქსოვილთა აღდგენითი უნარის დაკნინებით აიხსნება. მოზრდილი ვირთაგვების 1280 რ გამა-დასხივება იწვევს ცხოველთა 50%-ის სიკვდილს, ხოლო იგივე ბიოლოგიური ეფექტის მისაღებად ახალგაზრდა ვირთაგვების დასხივების დროს საკმარისია 510 რ.

რადიომგრძნობელობაში სქესობრივი განსხვავებაც არსებობს: დედლები, მამლებთან შედარებით, დასხივების მიმართ უფრო მგრძნობიარენი არიან.

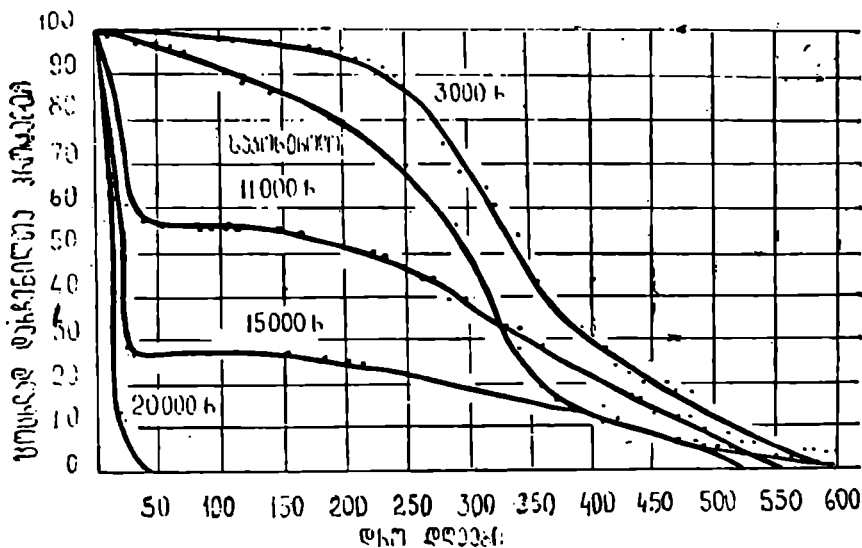
არსებობს აზრი იმის შესახებ, რომ ზოგ ცხოველს, მწერს, თევზს, მღრღნელს აქვს მაიონიზებელი რადიაციის შეგრძნების უნარი და თავს არიდებს იმ ადგილს, სადაც რადიაციის წყაროა, იმალება სოროში, ფულუროში, ე. ი. მიმართავს აქტიურ თავდაცვას.

აღსანიშნავია, რომ ზოგი ავტორი რადიომგრძნობელობასა და რადიოღამაზიანებლობას სინონიმებად მიიჩნევს (მათი ალტერნატივაა რადიომდგრადობა, რადიორეზისტენტობა) და აღნიშნავს, რომ რადიომგრძნობელობა ობიექტის რეაქციაა ნებისმიერ დასხივებაზე, იმის მიუხედავად, თუ რა გავლენას ახდენს დასხივებული ობიექტის სიცოცხლისუნარიანობაზე.

რადიომგრძნობელობა ნიშნავს, რამდენად ღრმა და სწრაფია ორგანიზმის (ორგანოს, ქსოვილის, უჭრედის) რეაქცია დასხივებაზე, ხოლო რადიოღამაზიანებლობა მიუთითებს, თუ რამდენად მდგრადი და სერიოზულია ეს ცვლილებები, აგრეთვე რა მნიშვნელობა ენიჭება მათ სხივურ დაზიანებაში.

**დასხივების დოზის, დროის ფაქტორის, დოზის სიმკვარისა და დასხივებული უჯრის გავლენა გაიონიზებული გამოსხივების ბიოლოგიურ რეაქციაზე**

ბიოლოგიური რეაქციის ფორმა, რომელიც ვითარდება ორგანიზმზე მაიონიზებელი გამოსხივების ზემოქმედების შედეგად, სხვადასხვაგვარი კლინიკური სახით შეიძლება გამოვლინდეს. ეს კლინიკური მრავალფეროვნება ბევრ ფაქტორზეა დამოკიდებული. მაგალითად, განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს დოზას. რაც მეტია დასხივების დოზა, მით უფრო ძლიერია ბიოლოგიური ეფექტი. მე-12 სურათზე მოცემულია ფქვილის ღრაჭუკას სიცოცხლის ხანგრძლივობისა და დასხივების დოზის ურთიერთდამოკიდებულების გრაფიკული გამოსახულება. სურათიდან ჩანს, რომ რაც უფრო მეტია დასხივების დოზა, მით უფრო სწრაფად და დიდი რაოდენობით იხოცებიან ცხოველები.



სურ. 12. ფეხის ღრკუას სიცოცხლის ხანგრძლივობა რენტგენის სხივების სხვადასხვა დოზით მოქმედების დროს. დასხივება 3000 რენტგენით ჩატარებულია 10,3 რ/წუთში სიმძლავრით, ხოლო დასხივება 11000 რენტგენით — 100 რ/დღეში.

მე-6 და მე-7 ცხრილები გვიჩვენებს, თუ რა დიდი მნიშვნელობა აქვს დოზის სიდიდეს ბიოლოგიური რეაქციის ხარისხის ფანჯითარებაში ადამიანის ერთჯერადი ხანმოკლე ან მრავალჯერადი ხანგრძლივი დასხივების პირობებში.

ცხრილი 6

დოზის სიდიდის მნიშვნელობა ადამიანზე მაიონიზებული გამოსხივების ერთჯერადი, ხანმოკლე პერიოდში მოქმედების დროს

დასხივების დოზა	ზემოქმედების შედეგები (მკურნალობის გარეშე)
25 რ-მდე	დაზიანების კლინიკური ვეფექტი არ არის
50 რ	ლიმფოციტების შემცირება, თავის ტკივილი, უხასიათობა
100 რ	თავის ტკივილი, გულისრევა, ღებინება, ნაადრევო დაღლილობა
200 რ	მწვავე სხიური დაავადება (I ხარისხის)
300 რ	ცალკეული სასიკვდილო შემთხვევები
500 რ	სასიკვდილო შემთხვევები 50%-ში
900 რ	სასიკვდილო შემთხვევები 100%-ში

ადამიანის ქრონიკული დასხივების სხვადასხვა დოზით გამოწვეული ხაერარულ შიდეგები (მურნალობის გარეშე)

დასხივების დოზა რბე (წელიწადში)	დასხივების შედეგები
0,1—2,0	ბუნებრივი ფონი. დასხივებით გამოწვეული ცვლილებების დადგენა ძალზე ძნელია
5,0	პროფესიული დასხივების ზღვრულად დასაშვები დონე. ხანგრძლივი დასხივების პირობებში მკაფიო ცვლილებები გამოხატული არ არის
30—60	რამდენიმე წლის განმავლობაში დასხივება არ იწვევს მკაფიო ცვლილებებს. მოგვიანებით — ქრონიკული სხიური დაავადება
100—200	უახლოეს წლებში — ქრონიკული სხიური დაავადება, შემდგომ წლებში — სპეციფიკური შორეული შედეგები (ავთვისებიანი სიმსივნეები, ლეიკოზები და სხვ.)
400—600	პირველი წლის ბოლოს I—II ხარისხის ქრონიკული სხიური დაავადება, შემდგომ წლებში დაავადების მძიმე ფორმები

დოზის აბსოლუტურ სიდიდესთან ერთად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მის სიმძლავრეს, ე. ი. დროის ერთეულში მიღებული დასხივების რაოდენობას. რაც უფრო მცირეა დოზის სიმძლავრე, მით უფრო დიდი დოზის ატანა შეუძლია ორგანიზმს, ვინაიდან დოზის მცირე სიმძლავრის პირობებში ქსოვილში მიმდინარე რეპარაციული პროცესები გავ-

დოზის სიმძლავრის მნიშვნელობა თავების ზოგადი გამა-დასხივების დროს

დოზა რენტგენით	დასხივების პირობები	სიკვდილობა %
772	2530 რ/საათი 0,3 საათის განმავლობაში	50
785	896 რ/საათი 0,88 საათის განმავლობაში	50
800	240 რ/საათი 3,3 საათის განმავლობაში	50
1010	87 რ/საათი 11,6 საათის განმავლობაში	50
1281	87 რ/საათი 31,9 საათის განმავლობაში	50
1658	6 რ/საათი 276 საათის განმავლობაში	50
2760	4,8 რ/საათი 576 საათის განმავლობაში	50

ლენას ახდენს დაზიანების ხარისხზე. დიდი სიმძლავრის პირობებში რეპარაცია ძალიან სუსტად ან თითქმის არ მიმდინარეობს, რის გამოც დაზიანება მეტადაა გამოხატული. ეს დამოკიდებულება კარგად ჩანს მე-8 ცხრილიდან. თუ თავების დასხივების დოზის სიმძლავრე 2530

რ/სთ-ის ტოლია, მაშინ 50%-ის სასიკვდილო დოზაა 772 რ, ხოლო თუ დოზის სიმძლავრეა 4,8 რ/სთ-ში, მაშინ 50%-ის სასიკვდილო დოზა 2760 რ-ს აღწევს.

თუ რა მნიშვნელობა აქვს დოზის სიმძლავრეს ადამიანის კანის ერთემის განვითარებაში, ჩანს მე-9 ცხრილიდან. როცა დოზის სიმძლავრეა 500 რ/წუთში, ერთემის მისაღებად საკმარისია 500 რ, როცა დოზის სიმძლავრეა 5 რ/წუთში — 1300 რ, ხოლო როცა 0,5 რ/წუთ-ში, ერთემის წარმოსაქმნელად საჭირო დოზაა 2250 რ.

ცხრილი 9

დროის ფაქტორის მნიშვნელობა

რეაქციის სახეობა	დოზის სიმძლავრე (რ/წუთში)	დასხივების დრო (წუთი)	დასხივების დოზა (რენტ.)	დოზათა თანაფარდობა
ადამიანის კანის ერთემა	500	1	500	1
	50	15,5	780	1,6
	5	260	1300	2,6
	0,5	4500	2250	4,5

დროის ფაქტორის მნიშვნელობა ბიოლოგიური რეაქციის განვითარებაში გამოიხატება ფრაქციული დასხივების შემთხვევაში. ფრაქციული დასხივება ნიშნავს დასხივების საერთო (ჯამური) დოზის მიღებას გარკვეული ინტერვალებით. ფრაქციული დასხივების დროს ბიოლოგიური ეფექტი ნაკლებად არის გამოხატული, რის მიზეზიც ის აღდგენითი, რეპარაციული პროცესებია, რომლებიც დასხივებულ ობიექტში მიმდინარეობს დასხივებათა შორის ინტერვალებში. მაგალითად, თუ თავგების ერთჯერადი დასხივების სასიკვდილო დოზა 600 რ-ია, მაშინ იგივე დოზა, მიღებული არა ერთჯერადად, არამედ ფრაქციულად, რამდენიმე დღის ინტერვალთ, სიკვდილს აღარ გამოიწვევს (თუ ეს ინტერვალები დიდია). რაც უფრო შემცირდება ინტერვალები დასხივებათა სიანსებს შორის, მით ძლიერ იქნება გამოხატული ბიოლოგიური ეფექტი, ე. ი. დროში გახანგრძლივებულ დასხივებას ნაკლები ბიოლოგიური რეაქცია ახასიათებს.

ბიოლოგიური რეაქციის ფორმაზე გავლენას ახდენს იმ უბნის სიდიდე, რომელიც სხივდება. რაც უფრო მეტია დასხივებული უბანი, მით მაღალია ბიოლოგიური ეფექტურობა. მაგალითად, თუ ადამიანის ზოგადი დასხივების დოზა 600 რად-ია, მკურნალობის გარეშე ეს 100% სასიკვდილო დოზაა. მაგრამ ადამიანის სხეულის ზოგიერთი ცალკეული უბნის დასხივება ბევრად უფრო დიდი დოზებით —



15.000—20.000 რადი — სხივურ დაავადებასაც კი არ იწვევს. აქედან გამომდინარე ნათელი ხდება, რომ რაც მეტია დასხივებული უბანი, მით უფრო ძლიერია ბიოლოგიური რეაქცია.

გარკვეული მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე თვით დასახივებელ უბანს, მიუხედავად იმისა, რომ დასხივებული უბნების სიდიდეები შესაძლებელია ტოლიც იყოს. სიმძიმის მიხედვით ორგანიზმის სხვადასხვა ნაწილის დასხივება შემდეგნაირად ნაწილდება: 1. მუცლის ზედა სართული (სიმძიმეს აპრობებს ელქნთის დასხივება); 2. მუცლის ქვედა სართული (სასქესო ჯირკვლების ჩათვლით); 3. თავი; 4. გულმკერდი; 5. კიდურები.

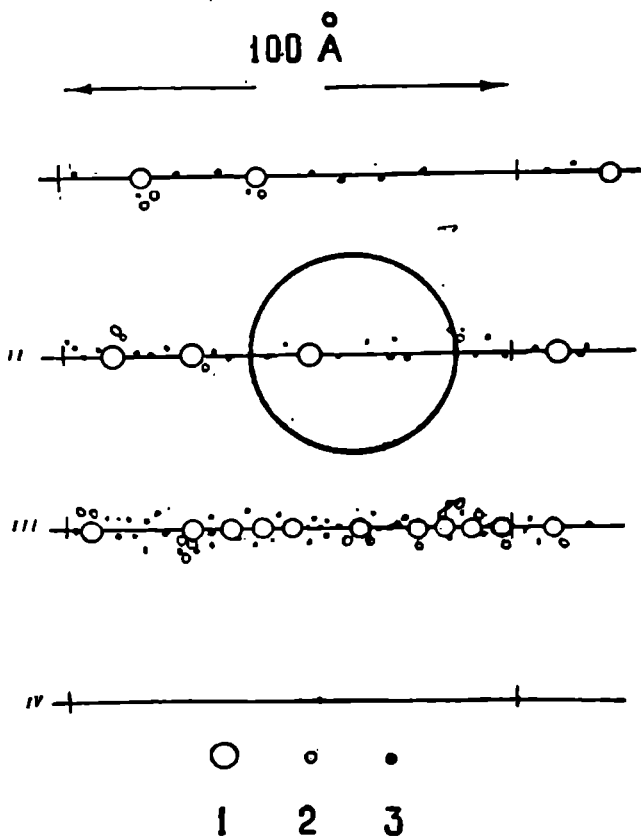
### შეფარდებითი ბიოლოგიური ეფექტურობა

როგორც ცნობილია, ბიოლოგიური რეაქციის განვითარება დამყარებულია უჯრედებში იონიზაციის პროცესის განვითარებაზე. მაგრამ განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება იონიზაციის სიმჭიდროვეს, ხაზვნად შთანქმულ ენერგიას. იონიზაციის სიმჭიდროვე იონების რიცხვია ნაწილაკის განარბენი სიგრძის ერთეულზე. უკვე აღვნიშნეთ, რომ ერთსა და იმავე ექსპოზიციურ დოზებში ალფა- და გამა-დასხივება სხვადასხვა ბიოლოგიურ ეფექტს გვაძლევს. კერძოდ ა-სხივები ბიოლოგიურად 10-ჯერ უფრო აქტიურია, ვიდრე γ-სხივები. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ალფა-სხივის მოქმედებით წარმოქმნილი იონების სიმჭიდროვე 10-ჯერ უფრო მეტია, გამა სხივის მოქმედებასთან შედარებით. სწორედ ამაზეა დამყარებული შეფარდებითი ბიოლოგიური ეფექტურობის კოეფიციენტის შემოღება, რომელიც გვიჩვენებს, თუ რამდენად უფრო ეფექტურია ესა თუ ის გამომსხივებელი. იმავე დოზის რენტგენის ან გამა-სხივის მოქმედებასთან შედარებით. მე-13 სურათზე აღბეჭდილია სხვადასხვა გამომსხივებლის ნივთიერებაში გავლის შედეგად მიღებული ტრეკების, ატომთა იონიზაციისა და აგზნების განაწილების სქემატური გამოსახულება, საიდანაც ჩანს, რომ იონიზაციისა და აგზნების ყველაზე დიდი სიმჭიდროვე ალფა-სხივს ახასიათებს.

ზოგ შემთხვევაში ეს დებულება ფორმალურად არ მართლდება. მაგალითად, ფერმენტ კარბოქსიპეპტიდაზას დასხივებისას ალფა-სხივებით ინაქტივირებული მოლეკულების რაოდენობა 20-ჯერ უფრო ნაკლებია, ვიდრე ბეტა- და გამა-სხივებით დასხივების დროს. იგივე მოვლენა აღინიშნება ერთუჯრედიანი ცხოველების კოლონიების ან უმაღლეს ხერხემლიან ცხოველთა უჯრედების კულტურების დასხივების დროს. ეს გამოწვეულია იმით, რომ, მართალია, ალფა-სხივებს იონიზაციის მეტი სიმჭიდროვე აქვს, მაგრამ მათი შეღწევალობის უნა-

5. კ. გელაშვილი

ჩი ნაკლებია, რის გამოც ისეთი მოლეკულები და უჯრედები, რომლებიც ალფა-ნაწილაკის ბომბარდირების ქვეშ მოჰყვენენ, მცირეა. ბეტა-და გამა-სხივების შეღწევადობის უნარი მეტია და, რასაკვირველია,



სურ. 13. იონიზაციის სიმკვრივის სქემატური გამოსახულება. ნათლად ჩანს იონიზაციისა და აგზნების პქტების განაწილება, ანუ სიმკვრივოვე. I — დეიტრონი, ენერჯიით 3,5 მევ, II — დეიტრონი, ენერჯიით 0,8 მევ, III — ალფა-ნაწილაკი, ენერჯიით 4 მევ, IV — ელექტრონი, ენერჯიით 0,5 მევ, დიდი წრით გამოსახულია საშუალო სიდიდის ცილოვანი მოლეკულა: 1 — პირველადი იონიზაცია, 2 — მეორეული იონიზაცია, 3 — აგზნება.

დაზიანებული უჯრედების რაოდენობაც მეტი იქნება. რადგან ქსოვილის კულტურაში უჯრედებს შორის ურთიერთქმედება მცირეა, იღუპება მხოლოდ ის უჯრედები, რომლებზეც იმოქმედა სხივმა, მაშასადა-

მე, ბეტა- და გამა-სხივებით მოქმედების დროს ასეთი უჯრედები უფრო მეტი იქნება. ამის შედეგად ბეტა- და გამა-სხივების ბიოლოგიური ეფექტურობა უფრო მაღალია. მაგრამ თუ დასასხივებელი ობიექტის, მაგალითად, ფერმენტის ხსნარის სისქეს შევარჩევთ ალფა-სხივების მაქსიმალური შეღწევადობის მიხედვით, ეს მოვლენა არ აღინიშნება და ბეტა- ან გამა-სხივების დამაზიანებელი მოქმედება ნაკლებად იქნება გამოხატული.

სულ სხვა სურათია, როდესაც დასხივდება მთელი ორგანიზმი. ორგანიზმში უჯრედებს შორის ურთიერთკავშირი დიდია, ამიტომ დაზიანებული უჯრედები მეორეულად იწვევს საღი უჯრედების დაზიანებას (უკვე სხვა მექანიზმებით: ქიმიური, ფერმენტული და სხვ.). ვინაიდან იონიზაციის სიმჭიდროვე ალფა-სხივებს მეტი აქვს, ამიტომ იმ უჯრედების დაზიანების ხარისხი, რომლებზეც მათ იმოქმედეს, უფრო მეტია და ამ დაზიანებული უჯრედების დამაზიანებელი გავლენაც საღ უჯრედებზე მეტი იქნება. საბოლოო ჯამში ალფა-სხივის მოქმედებისაგან მიღებული ბიოლოგიური ეფექტი უფრო ძლიერი იქნება, ბეტა- ან გამა-სხივის მოქმედებასთან შედარებით.

შეფარდებითი ბიოლოგიური ეფექტურობის სიდიდეები შესაძლებელია განსხვავებული იყოს არა მარტო სხვადასხვა ქსოვილისა და უჯრედის მიმართ, არამედ ერთი და იმავე უჯრედის ციტოპლაზმისა და ბირთვის მიმართაც.

შეფარდებით ბიოლოგიურ ეფექტურობაზე, გარდა ხაზოვნად შთანთქმული ენერჯისა, გავლენას ახდენს დასხივების დოზა, დასხივების ჭერადობა, ცხოველის სახეობა, დოზის სიმძლავრე, დროის ფაქტორი, დაკვირვებისათვის აღებული ბიოლოგიური ტესტი და სხვ.

სხვადასხვა დამსხივებლის შეფარდებითი ბიოლოგიური ეფექტურობის კოეფიციენტი და შესაბამისად ხარისხის კოეფიციენტი, მოყვანილია მე-2 ცხრილში.

**ბიოლოგიური ეფექტის დამოკიდებულება გამოსხივების  
შეღწევადობის უნარზე. პარამანი და შინაპანი დასხივება**

ბიოლოგიური რეაქციის გამოხატულებაზე გარკვეულ გავლენას ახდენს გამოსხივების შეღწევადობის უნარი.

ელემენტარული ნაწილაკებისათვის ქსოვილებში (ნივთიერებაში) შეღწევადობა მით უფრო მეტია, რაც უფრო მაღალია ენერჯია და მცირეა მათი ზომა. ელექტრომაგნიტური რხევის ბუნების მქონე გამოსხივებისათვის კი შეღწევადობა მით უფრო დიდია, რაც ნაკლებია ტალღის სიგრძე. ყველაზე მცირე შეღწევადობის უნარი ალფა-სხივებს აქვს. ისინი ადამიანის კანის ზერელე ფენებში, პირველსავე მიკრონებ-

ში შთანთქმებიან. ბეტა-ნაწილაკები 3—4 მმ-ს გადის, ხოლო რენტგენის ხისტი და გამა-სხივები ათეულობით სანტიმეტრის სიღრმეში ჩადის. ვინაიდან არსებობს შეღწევადობის ასეთი სხვადასხვაობა, ბიოლოგიური ეფექტიც სხვადასხვაგვარია. რაც უფრო ღრმად შეაღწევს გამოსხივება, მით მეტია დასხივებული ობიექტის მოცულობა და მის მიერ შთანთქმული დოზა, მაშასადამე, მეტია ბიოლოგიური ეფექტურობა.

ალფა-გამოსხივებით გარეგანი დასხივების შემთხვევაში გამოხატული ზოგადი რეაქცია მხოლოდ ძალიან დიდი ენერჯითა და დიდი დოზით მოქმედებისას ვითარდება, ვინაიდან ალფა-ნაწილაკებს მთლიანად შთანთქავს კანის რქოვანი გარსი. ბეტა-გამოსხივების გარეგანი მოქმედება იწვევს კანის სხვადასხვა ხარისხის დაშწვრობას და, თუ დასხივებული უბანი ძალიან დიდია, მას თან სდევს ორგანიზმის ზოგადი რეაქციაც, მაგრამ რეაქცია განსხვავდება მწვავე სხივური დაავადებისაგან (ლეიკოციტოზი, ტემპერატურის მომატება, მოვლენები ცენტრალური და პერიფერიული ნერვული სისტემის მხრივ). გამა- და რენტგენის ხისტი სხივების გარეგანი მოქმედების შემთხვევაში კანზე შესამჩნევი ცვლილება არ ვითარდება, მაგრამ სხივური დაავადება განვითარდება.

თუ დასხივების ფორმა იცვლება, კერძოდ, აღინიშნება არა გარეგანი, არამედ შინაგანი დასხივება, მაშინ ალფა- და ბეტა-გამოსხივებით გამოწვეული დაზიანება სულ სხვა ფორმისაა და სიძლიერით იგი შეიძლება გამა- და რენტგენის სხივებით გამოწვეულ დაზიანებაზე უფრო ღრმაც იყოს იმისდა მიხედვით, თუ რა რაოდენობით იყო ეს ნივთიერებანი ინკორპორირებული. ამ შემთხვევაში თავს იჩენს არა შეღწევადობის თვისება (გამომსხივებელი ნივთიერება თვით არის შეღწეული ორგანიზმში), არამედ იონიზაციის სიმჭიდროვის გავლენა ბიოლოგიურ ეფექტზე.

ბიოლოგიური რეაქციის განვითარებაზე მსჯელობის დროს მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის დრო, რომელშიც მიმდინარეობს დაკვირვება. მაგალითად, რამდენიმე დღეში თავგების 100%-ით დასაღუპად საჭიროა 1000 რადი, მაგრამ რომ გამოვიწვიოთ მათი სიკვდილი უშუალოდ დასხივების მომენტში, ასჯერ მეტი დოზაა საჭირო (100.000 რადი).

ბიოლოგიური ეფექტის განვითარებაში გარკვეულ როლს ასრულებს ჟანგბადის პარციალური წნევა, ქსოვილოვანი pH, მარილების კონცენტრაცია და სხვ. რაც უფრო მდიდარია ქსოვილები ჟანგბადით, მით უფრო ძლიერადაა გამოხატული ბიოლოგიური რეაქცია.

მაიონიზებული გამოსხივების მოქმედებას აქვს ლატენტური პერიოდი, ანუ ის დრო, რომელიც არსებობს დასხივების მომენტსა და ბიოლოგიური ეფექტის გამოვლენებას შორის. ეს პერიოდი განპირობებულია იმით, რომ დასხივებული უჯრედი სწრაფად არ კვდება. გადის გარკვეული პერიოდი, რომლის განმავლობაში ვითარდება სათანადო ცვლილებები, რის გამო უჯრედი აღარ იყოფა, ბერდება, იწყება მისი დეგრადაცია და, ბოლოს, კვდება. მაშასადამე, სხივური მოქმედების ეფექტი გვიან გამოიხატება. მორფოლოგიური ცვლილებების გამოვლინება დამოკიდებულია თვით უჯრედის სიცოცხლის ხანგრძლივობაზე. რაც უფრო გრძელია უჯრედის ინტერფაზის პერიოდი, მით უფრო გვიან ვითარდება სხივური დაზიანება.

საღლეისოდ მიღებულია, რომ მაიონიზებული გამოსხივების ყოველი დოზა, როგორც მცირეც უნდა იყოს, დამაზიანებლად მოქმედებს ორგანიზმზე, უჯრედზე, მაგრამ დაზიანების ხარისხი და გამოვლინების დრო დამოკიდებულია ზემოგანხილულ მრავალ ფაქტორზე.

ძალიან დიდი დოზებით მოქმედების დროს (მილიონობით რენტგენი) უჯრედის სიკვდილს (ე. წ. „სიკვდილი სხივის ქვეშ“) იწვევს მასობრივი მოლეკულური ცვლილებები. უჯრედი მაშინვე კვდება, მას, როგორც სტრუქტურულ ერთეულს, აღარ შეუძლია არსებობა.

თუ მოქმედებს ნაკლები დოზები (ათასობით რენტგენის ფარგლებში), ეს იწვევს დამყანგველი ფერმენტების დაზიანებას. დამყანგველი ფერმენტები უჯრედში არეგულირებს ნივთიერებათა ცვლას. ამ შემთხვევაში სიკვდილის ეფექტი თანდათანობით ვითარდება, ამ პერიოდში აღინიშნება უჯრედის ნივთიერებათა ცვლის მოშლა, ციტოპლაზმის ვაკუოლიზაცია და სხვ.

უფრო ნაკლები დოზები (ასობით რენტგენი) აგრეთვე მომაკვდინებლად მოქმედებს უჯრედზე. სიკვდილის მიზეზი აიხსნება ნუკლეოპროტეიდების დაზიანებით. პირველ რიგში, ზიანდება დნმ. მისი სტრუქტურა იცვლება, იგი იხლიჩება ან კარგავს რედუქლიკაციის უნარს ანომალიური კავშირების წარმოქმნის გამო, კარგავს ნაწილებს. ყველაფერი ეს იწვევს სტრუქტურული და ფუნქციური ცილების სინთეზის მოშლას, გაყოფის აქტის დარღვევას, უჯრედის ზრდა და გამრავლება წყდება. ზოგ უჯრედს აქვს დაზიანების აღდგენის უნარი, რის გამოც შესაძლებელია ასეთ უჯრედში გაყოფაც მოხდეს. თანამედროვე რადიობიოლოგიაში უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება უჯრედის მემბრანების, ე. ი. იმ სტრუქტურული ერთეულების დაზიანებას, რომლებშიც მიმდინარეობს ძირითადი სასიცოცხლო პროცესები. მათ შორის განსა-

კუთრებულ რადიომგრძობლობას იჩენს მიტოქონდრიებისა და ბირთვის შემზარანები.

ზემოაღწერილი პროცესი, გავლენას ახდენს ლატენტური პერიოდის ხანგრძლივობაზე. მაგალითად, სხივური დაავადების დროს ეს პროცესები გრძელდება რამდენიმე დღიდან 3—4 კვირამდე. სხივური კატარაქტა, ლეიკოზი, კიბო შეიძლება გამომჟღავნდეს სხივური ზემოქმედების რამდენიმე წლისა და ათობით წლის შემდეგაც კი. ძალიან დიდი დოზებით მოქმედებისას (50—100 ათასი რ) ლატენტური პერიოდი გამოხატული არ არის და აღინიშნება ე. წ. სიკვდილი „სხივის ქვეშ“, რაც გამოწვეულია ყველა სასიცოცხლო პროცესის მოლეკულური საფუძვლების მოშლით, რის გამოც უჯრედი, ქსოვილი და შესაბამისად ორგანიზმი მთლიანად ბიოლოგიურ არსებობას წყვეტს.

მაიონიზებელ გამოსხივებას ახასიათებს კუმულაციური მოქმედება. განმეორებითი დასხივება ორგანიზმის მიერ ჯამდება, ხდება კუმულაცია, მაგრამ ამ ჯამს აქვს არა მათემატიკური, არამედ ბიოლოგიური ხასიათი და დამოკიდებულია დროის ფაქტორზე.

არსებობს თუ არა ადაპტაცია მაიონიზებელი რადიაციისადმი? მარტივ მცენარეებსა და ცხოველებზე ჩატარებული ცდებით დადასტურებულია, რომ გარკვეული დოზებით ხელშეორე დასხივებით შეიძლება მივალწიოთ უჯრედის (ორგანიზმის) დასხივების მიმართ გამძლეობის გადიდებას. ეს არა მარტო იმის შედეგია, რომ ზდება სხივური მოქმედებისადმი შედარებით უფრო რეზისტენტული უჯრედების (მცენარეების, ცხოველების) შერჩევა, არამედ იმ ცვლილებებისაც, რომლებიც უჯრედში მიმდინარეობს დასხივების შედეგად კომპენსაციის სახით. მაგალითად, თუ დასხივების შედეგად ზდება ფერმენტების სხივური ინაქტივაცია, უჯრედი ან ორგანიზმი მეტი რაოდენობით ახდენს მათ სინთეზს. თუ დასხივებით გამოწვეული ძვრები მემკვიდრეობით სუბსტრატებში ხდება, ამან შეიძლება მემკვიდრეობითი თვისებების შეცვლა გამოიწვიოს. ამ თვისებების გამოყენებით ამჟამად სოფლის მეურნეობაში მიღებულია სხვადასხვა მცენარის რადიორეზისტენტული სახეები. მაგალითად, წიწიბოს რადიოქტიური კობალტის ( $^{60}\text{Co}$ ) გამასხივებით 10-დან 100 კრ დასხივებით მიიღეს ამ კულტურის ახალი, რადიორეზისტენტული ჯიში. დასხივებისადმი „შეგუების“ უკიდურესი მაგალითებიც არის ბუნებაში, კერძოდ, რეაქტორების აქტიურ ზონაში, სადაც გამოსხივების დონე უაღრესად მაღალია, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, აღმოჩენილია *micrococcus radiodurans*, რომლებიც არსებობენ, მრავლდებიან და ამ პირობებში ინარჩუნებენ თავიანთ გენეტიკურ სტაბილობას.

## სხივური ღაზიანების მეთანოზმები

მაიონიზებელი გამოსხივების ზემოქმედების შედეგად მიღებული ღაზიანების მექანიზმების ასახსნელად შემოღებულია სხვადასხვა თეორია: სამიზნეების, პირდაპირი და არაპირდაპირი მოქმედების, ტოქსიკური მოქმედების, გენეტიკური მოქმედების, სტრუქტურულ-მეტაბოლური და სხვ.

### სამიზნეების თეორია, ანუ მგრძნობიარე მოცულობათა თეორია

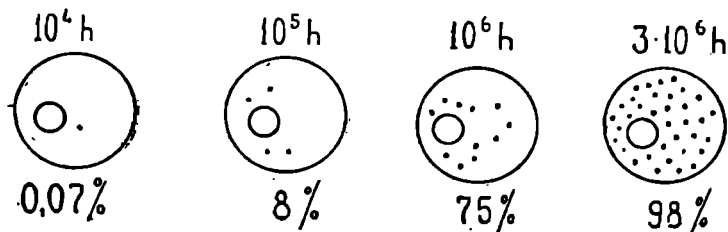
რადიობიოლოგიური ეფექტი დამოკიდებულია როგორც შთანთქმულ ენერგიაზე, ისე (და განსაკუთრებით) ამ ენერგიის შთანთქმის თავისებურებაზე, რაც იმით გამოიხატება, რომ შთანთქმა ხდება მიკროგეომეტრიულ აჩეებში. ამიტომ მაიონიზებელი რადიაციის ბიოლოგიური მოქმედების თავისებურებების განხილვის დროს აღნიშნული რადიობიოლოგიური პარადოქსი — უმნიშვნელო შთანთქმული ენერგიის მიერ ექსტრემული რეაქციის გამოწვევა — იმით უნდა ავხსნათ, რომ უჯრედში, რომელსაც ახასიათებს მაღალი ფიზიკური და ფუნქციური ჰეტეროგენობა, ენერგია შთაინთქმება დისკრეტულად. თუ გავითვალისწინებთ ამ დებულებას, ნათელი ხდება, რომ ფოტონის უჯრედზე მოქმედების შედეგად რეაქცია შესაძლებელია სხვადასხვაგვარად წარიმართოს იმისდა მიხედვით, თუ სად (რომელ მიზანში) მოხდება ამ ენერგიის შთანთქმა. ეს მსჯელობა საფუძვლად დაედო ე. წ. „სამიზნეების“ თეორიას.

ზოგ ავტორს მიაჩნია, რომ ყოველ უჯრედში არსებობს მგრძნობიარე მოცულობა, ე. წ. სამიზნე მოცულობა, რომელიც უჯრედის მოცულობასთან შედარებით ძალიან მცირეა. უჯრედის დანარჩენი ნაწილები კი დასხივების მიმართ ძირითადად არ არის მგრძნობიარე. დამზიანებლად მოქმედებს მხოლოდ ის კორპუსკულური თუ კვანტური ნაწილაკები, რომლებიც მოხვდებიან ამ მგრძნობიარე მოცულობაში. მასში მოხვედრა კი ექვემდებარება შემთხვევითობის კანონს. რაც უფრო დიდია დასხივების დოზა, მით მეტია უჯრედის ღაზიანების ალბათობა. (სურ. 14).

სამიზნეების თეორიის თანახმად, მგრძნობიარე მოცულობანი ზომით სხვადასხვაა, რითაც აიხსნება სხვადასხვა უჯრედის სხვადასხვა რადიომგრძნობელობა. თუ მოცულობა ძალიან მცირეა, მაშინ მასში მოხვედრის შესაძლებლობა ნაკლებია, ე. ი. უჯრედი ნაკლებ მგრძნობიარეა და, პირიქით. მაგრამ მართო სამიზნეების ზომით არ შეიძლება აიხსნას უჯრედის მგრძნობელობა. ამიტომ ამ თეორიის მომხრეებმა დაუშვეს, რომ სამიზნეებს სხვადასხვა რადიომგრძნობელობა აქვთ,

რის გამოც, ზოგ შემთხვევაში უჯრედის დაზიანება ხდება მგრძნობიარე მოცულობაში ერთი იონიზაციის აქტის შედეგად, სხვა შემთხვევაში კი საჭიროა მასში მოხდეს რამდენიმე იონიზაციის აქტი.

სამიზნეების თეორიის მიმდევრებს მიაჩნიათ, რომ უჯრედის ყველაზე მგრძნობიარე ელემენტი ბირთვია, მაგრამ არა მთელი ბირთვი (იგი



სურ. 14. უჯრედის დაზიანების შესაძლებლობის ზრდა დასხივების დოზის ზრდასთან დაკავშირებით (სქემატური გამოსახულება)

ძალზე დიდია), არამედ მისი ნაწილები, კერძოდ ქრომოსომები, ან მასში შემავალი თიმონუკლეინმჟავას მოლეკულები. ზოგი ყველაზე მგრძნობიარედ მიიჩნევს ბირთვაკებს.

უკანასკნელ ხანში დადასტურდა, რომ არანაკლები მნიშვნელობა აქვს ციტოპლაზმის დაზიანებასაც. გენეტიკური ეფექტი, ანუ მუტაციური პროცესი, რომელიც განაპირობებს დაზიანებებს მომდევნო თაობებში და რომელიც მაიონიზებელი გამოსხივების შედეგია, შეიძლება გამოიწვიოს არა მარტო სხივის ბირთვზე პირდაპირმა მოქმედებამ (როგორც აქამდე მიაჩნდათ), არამედ ციტოპლაზმის დასხივებამაც. ზოგ შემთხვევაში ციტოპლაზმის დაზიანების მნიშვნელობა უფრო მეტადაც არის გამოხატული, ვიდრე ბირთვისა.

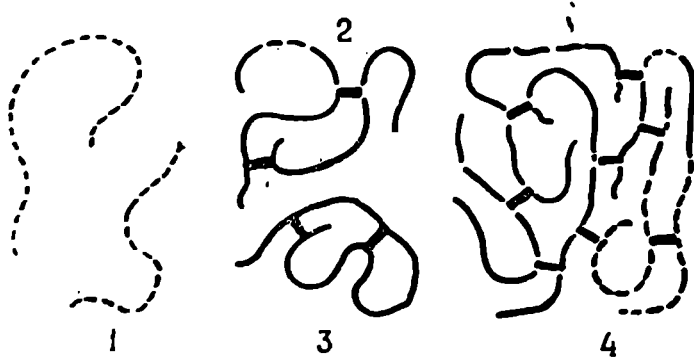
უნდა აღვნიშნოთ, რომ საკითხის ასე დაყენება — რომელი უფრო დაზიანებადია — ციტოპლაზმა თუ ბირთვი — არ არის სწორი. უჯრედი ორგანიზმი მინტეგრირებული ელემენტია და ამა თუ იმ ფაქტორის ზემოქმედების შედეგად ვლინდება ხან ბირთვის, ხან ციტოპლაზმის დაზიანება.

მგრძნობიარე მოცულობების (სამიზნეების) თეორიის ძირითადი ნაკლი ის არის, რომ იგი უჯრედში აღიარებს რაღაც პატარა წამყვან ნაწილს, რომელიც მთელი უჯრედის ცხოველმყოფელობას განაგებს, უჯრედის დანარჩენ ნაწილს მიიჩნევს ინერტულად.

„სამიზნეების“ თეორიის მომხრენი აღიარებდნენ, რომ მგრძნობიარე მოცულობების დაზიანება სხივის პირდაპირი მოქმედებით მოლეკულების იონებად გარდაქმნის შედეგია. ამ თეორიას ამჟამად ბევრი მიმდევარი არა ჰყავს.



მაიონიზებელი გამოსხივების პირდაპირი მოქმედების თეორია დამყარებულია იმ მოსაზრებაზე, რომ დაზიანებანი, რომლებიც ვითარდება გამოსხივების ბიოლოგიურ სუბსტრატზე მოქმედების გამო, ბიომოლეკულებში უშუალოდ წარმოქმნილი იონიზაციისა და აგზნების პროცესების შედეგია. რთული ბიომოლეკულების იონიზაციის შედეგად მათში ვითარდება სტრუქტურული ცვლილებები, რომლებიც შეიძლება გამოიხატოს მოლეკულებში ნაკერების, ანუ ანომალიური ქიმიური კავშირების წარმოქმნით (სურ. 15). ეს კავშირები შეიძლება



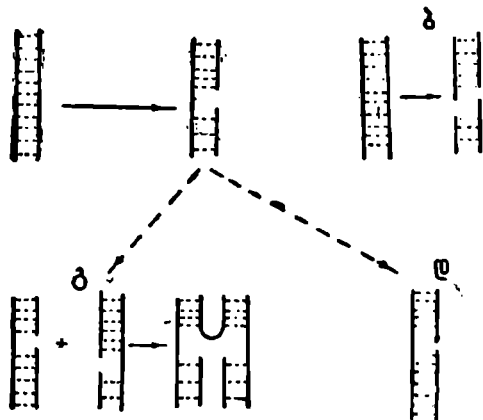
სურ. 15. მოლეკულათა ნაკერების სქემატური გამოსახულება:

1 — მოლეკულები დასხივებამდე, 2 — მოლეკულათშორისო ნაკერი, 3 — მოლეკულის-შიგნითა ნაკერი, 4 — გელის უხსნადი ბადის წარმოქმნა.

იყოს შედარებით მარტივი — მოლეკულშიგა ან უფრო რთული — მოლეკულათშორისო. შესაძლებელია წარმოიქმნას გელის უხსნადი ბადე. გარდა ანომალიური ქიმიური კავშირების წარმოქმნისა, შესაძლებელია განვითარდეს მოლეკულათა უფრო რთული სტრუქტურული ცვლილებები: მოლეკულის გახლეჩა, დესტრუქცია, აქტიური ბოლოს დაქანგვა და სხვ. (სურ. 16).

ზემოაღწერილი ცვლილებები ვითარდება ორგანიზმის რთულ ცილოვან მოლეკულებში, ფერმენტებში, ლიპიდებში, ნახშირწყლებსა და სხვა რთულ ბიოლოგიურ წარმონაქმნებში, მაგალითად, ქრომოსომებში. ასეთი გარდაქმნა იწვევს ცილოვანი ნერთის არსის ცვლილებას, რაც სხივური დაზიანების სახით ვლინდება. მე-16 სურათზე მოცემულია ცვლილებები, რომლებიც ვითარდება მაიონიზებელი გამოსხივების დეზოქსირიბონუკლეინმჟავას მოლეკულაზე მოქმედების შედეგად. დნმ მოლეკულა დასხივების შედეგად შეიძლება გაიხლიჩოს და წარმოიქმნას აქტიური ბოლო (ა), რომელიც, შესაძლოა, შეუერთდეს სხვა

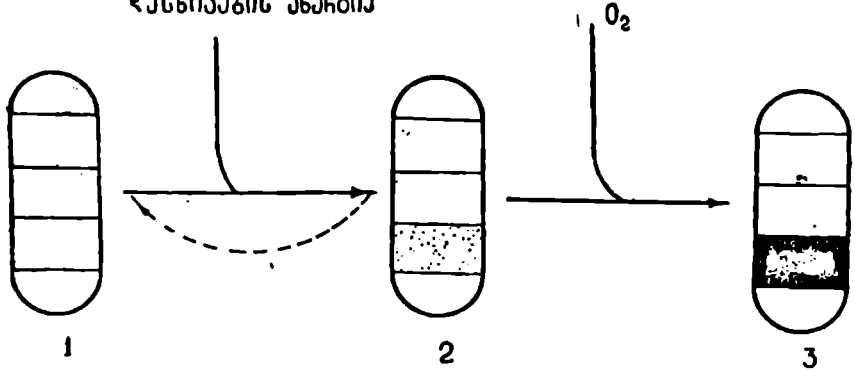
მოლეკულის კომპლემენტურ ბოლოს და შივიდოთ მოლეკულათა ანო-  
მალური შეკავშირება (გ). სხვა შემთხვევაში აქტიური ბოლო შეიძ-  
ლება დაიქანგოს და და-  
კარგოს გარდიგარდმო  
კავშირების შექმნის უნა-  
რი (დ). ეს იწვევს გე-  
ნეტიკური ინფორმაციის  
დამახინჯებას, ცხოველ-  
მყოფელობისათვის აუ-  
ცილებელი რომელიმე  
ფუნქციის ან ფუნქციათა  
მოშლას, რაც საბედისწე-  
რო ხდება უჯრედის არ-  
სებობისათვის. ზოგ შემ-  
თხვევაში დასხივებამ შე-  
იძლება გამოიწვიოს დნმ  
მოლეკულის დესტრუქ-  
ცია (ბ).



სურ. 16. შიონიზებული გამოსხივების პირდაპირი მოქმედების შედეგად ცილოვანი მოლეკულის სტრუქტურული ცვლილებების განვითარება: ა) მოლეკულის გახლეჩა, ბ) მოლეკულის დესტრუქცია, გ) მოლეკულის შეკერვა, დ) აქტიური ბოლოს დაქანგვა.

როლი მიუძღვის ქსოვილოვან ქანგბადს. სქემატურად ეს გამოხატულია მე-17 სურათზე.

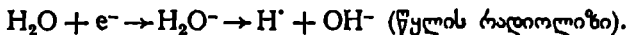
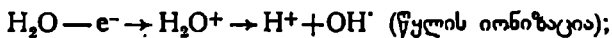
დასნივების უნარი



სურ. 17. ქანგბადის მნიშვნელობა სხივური დაზიანების განვითარებაში. (სქემატური გამოსახულება):

1 — ნორმალური მდგომარეობა, 2 — აგზნებული, მდგომარეობა, 3 — დაზიანება.

ამ თეორიის მიხედვით, მათემატიკური გამოხატულების ბიოლოგიურ ობიექტზე მოქმედების შედეგად ხდება წყლის იონიზაცია და რადიოლიზი.



თეორიულად, როდესაც წყალი მინარევებს არ შეიცავს, ეს ორივე რეაქცია თანაბარი ალბათობით უნდა განვითარდეს და წარმოქმნილი იონებსა და რადიკალებს შორის მოსალოდნელია შემდეგი რეაქციები:  $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{H}^- + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{H}^- + \text{H}^- \rightarrow \text{H}_2$  და  $\text{OH}^- + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$ . ბიოლოგიურად ყველაზე აქტიურია ეს უკანასკნელი ნაერთი.

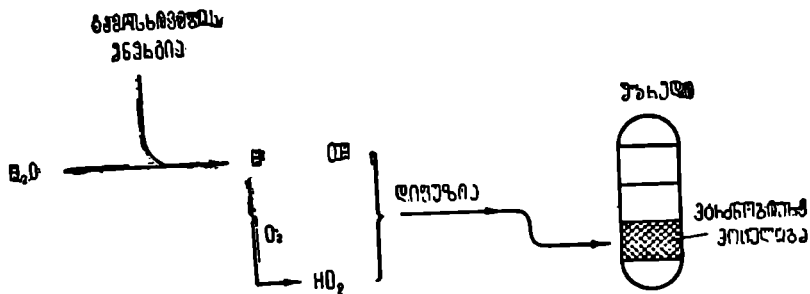
ჰიდროქსილის რადიკალების ურთიერთქმედებით, აგრეთვე, წყალბადისა და უჯრედებში ან ქსოვილში არსებული თავისუფალი ქანგბადის შეერთებით წარმოიქმნება აქტიური დამჟანგველები — წყალბადის ზეჟანგი ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) და ჰიდროპეროქსიდი ( $\text{HO}_2$ ). ჰიდროპეროქსიდის წარმოქმნის რეაქცია  $\text{H}^- + \text{O}_2$  (ქსოვილოვანი)  $\text{HO}_2^-$  მისი რადიკალის მიღებით მთავრდება, ხოლო შემდეგ ვითარდება რეაქცია  $\text{HO}_2^- + \text{HO}_2^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$ , ე. ი. წყალბადის ზეჟანგი და მოლეკულური ქანგბადი. გამოყოფილი ქანგბადი შეიძლება ხელმეორედ ჩაერთოს რეაქციაში, რაც მაღალი სიმკიდროვის, იონიზაციის შემთხვევაში ჭკვეურ რეაქციებსაც იწვევს. ჰიდროპეროქსიდი, ჰიდროქსილის რადიკალი ( $\text{OH}^-$ ) და იონი ( $\text{OH}^-$ ) ძლიერი დამჟანგველები არიან, ხოლო წყალბადის მოლეკულა ( $\text{H}_2$ ), განსაკუთრებით კი მისი რადიკალი ( $\text{H}^-$ ), ძალიან აქტიურად მონაწილეობს აღდგენით რეაქციებში.

არაპირდაპირი მოქმედების თეორიის თანახმად, წყლის იონიზაციისა და რადიოლიზის შედეგად წარმოქმნილი რადიკალები მოქმედებს ბიოლოგიურ სუბსტრატებზე — ცილებზე, ცხიმებზე, ნახშირწყლებზე, ფერმენტებზე, მათ სულფჰიდრილურ ჯგუფებზე, იწვევს მეორეულ დაჟანგვას, დენატურირებას, დაზიანებას. იცვლება უჯრედის ცხოველმყოფელობის გარემო, ირღვევა ნივთიერებათა ცვლა. უჯრედის დაზიანება არაპირდაპირი მოქმედებით სქემატურად გამოხატულია მე-18 სურათზე.

გამოსხივების არაპირდაპირი მოქმედების თეორიის დამამტკიცებელია ის, რომ ბიოლოგიური სუბსტრატები ხსნარებში უფრო ზიანდება, ვიდრე მშრალი სახით.

სხივური დაზიანების განვითარებაში ქსოვილოვანი ქანგბადის მნიშვნელობას ადასტურებს ის გარემოება, რომ უქანგბადო ან ნაკლებ-

უანგბადიან პირობებში რადიაციული დაზიანება ბევრად ნაკლებად არის გამოხატული, მაგრამ უანგბადის ნაკლებობას ამ შემთხვევაში აქვს მნიშვნელობა, როდესაც იგი უშუალოდ დასხივების მომენტშია, ე. ი. როცა რადიაციულ-ქიმიური რეაქცია მიმდინარეობს. თუ ობიექტს და-



სურ. 18. მაიონიზებელი გამოსხივების არაპირდაპირი მოქმედების მარტივი სქემა

ვასხივებთ და უანგბადის პარციალურ წნევას შემდეგ შევამცირობთ, ამას არამტელ დაკვითი ეფექტი არ ექნება, არამედ დაამძიმებს კიდევ სხივურ დაზიანებას, რადგან უანგბადი აუცილებელია იმ აღდგენითი პროცესებისათვის, რომლებიც დაზიანების პარალელურად მიმდინარეობს, განსაკუთრებით პოსტრადიაციულ პერიოდში.

### ბოქსიკური მოქმედების თეორია

მორგანმა და ფილპოტმა წამოაყენეს თეორია, რომლის მიხედვით ორგანიზმის ზოგადი დასხივების დროს წარმოიქმნება ძლიერ ტოქსიკური ორგანული ზეუანგები. მათი ლეტალური დოზა წარმოიქმნება რენტგენის სხივების ლეტალური დოზის მოქმედების დროს. ამ თეორიის საწინააღმდეგოდ მეტყველებს ის ფაქტი, რომ დასხივების შედეგად განვითარებული სიკვდილისა და ამ ზეუანგებით გამოწვეული სიკვდილის სიმპტომები ზნვადასხვავა. ეს თეორია ვერ ხსნის აგრეთვე სხვადასხვავ სახის გამოსხივების მოქმედების შედეგად მიღებულ შეფარდებით ბიოლოგიურ ეფექტს. ამ თეორიის ერთ-ერთი სახეობაა ტარუსოვის ჰიპოთეზა ტოქსიკური ლიპიდებისა და მათში ჯაქვურა რეაქციების წარმოქმნის შესახებ.

### სხივური დაზიანების გენეტიკური თეორია

უჯრედის რადიაციულ დაზიანებაში წამყვანი ადგილი უჭირავს მისი შთამომავლობითი აპარატის დაზიანებას. დასხივების მიმართ ბირთვი

გაცილებით უფრო მგრძობიარეა, ვიდრე ციტოპლაზმა. 20—40 რ მოქმედება დიპლოიდურ უჯრედში უშუალოდ იწვევს ქრომოსომის ერთ გახლეჩას. საბჭოთა მეცნიერის ნ. დუბინინის გამოკვლევებით, 10 რ იწვევს ბუნებრივი მუტაციის სიხშირის გაორკეცებას. ამჟამად, მიღებულია, რომ გენეტიკურ ეფექტებს არსებითი ადგილი უჭირავს სხივური დაზიანების მექანიზმში.

როგორც ცნობილია, შთამომავლობითს ინფორმაციას უჯრედში განაგებს ქრომოსომების გასწვრივ განლაგებული გენები. სქემატურად შეიძლება წარმოვიდგინოთ, რომ მაიონიზებული გამოსხივების მოქმედების დროს გენური მუტაციები, ანუ ცვლილებები ვითარდება ან ქრომოსომათა ცვლილების ნიადაგზე ან დაკავშირებულია გენის ისეთ ცვლილებებთან, როდესაც ქრომოსომის მორფოლოგიური ცვლილებები არ ხდება.

გენური მუტაციები ქრომოსომათა ცვლილებების ნიადაგზე. სხვადასხვა უჯრედში ქრომოსომულ ცვლილებების მისაღებად საჭიროა მაიონიზებული რადიაციის 50—200 რ დოზა. ამ შემთხვევაში უჯრედში ვითარდება ერთი ქრომოსომული აბერაცია მაინც. ზოგი ავტორის აზრით, ადამიანის ქრომოსომების ცვლილებები შეინიშნება უკვე 25 რ მოქმედების დროს (არის მონაცემები, რომ საკმარისია 10 რ მოქმედება).

ქრომოსომების დაზიანება შეიძლება სხვადასხვაგვარი იყოს: ქრომოსომების გასქელება და ქრომატინის ნივთიერების ბელტების წარმოქმნა; შესაძლებელია ქრომოსომების გახლეჩა — მთლიანი, ნაწილობრივი (როცა იხლიჩება ორიდან ერთი ქრომატიდი). ყოველივე ამას შედეგად მოჰყვება ქრომოსომათა აბერაცია.

ყველა ეს დაზიანება დაკავშირებულია რადიაციის გავლენასთან ქრომოსომებში შემავალ დეზოქსირიბონუკლეინმუავეებსა და ცილებზე, რომლებიც კოცხალ უჯრედში დეზოქსირიბონუკლეოპროტეიდის ფუნქციური კომპლექსების სახითაა წარმოდგენილი. ქრომოსომათა აბერაციები (ქრომოსომის გახლეჩის შემდეგ ქრომატიდების ანომალური, ატიპური დალაგება) უჯრედში იწვევს მძიმე ცვლილებებს, რაც გამოიხატება გენეტიკური ინფორმაციის დეფიციტით. ეს კი თავის მხრივ, ზოგიერთი გენის გაქრობის ან მათი სივრცობრივი განაწილების დარღვევის შედეგია. აბერაციები უჯრედის შეუქცევადი ცვლილებების მთავარ მიზეზადაა მიჩნეული.

ვენური მუტაციები გენების ფუნქციური ცვლილებების ნიადაგზე. როგორც ცნობილია, მიტოზის დროს აღინიშნება ქრომოსომების სიგრძივი გაყოფა (სურ. 9), რაც იწვევს შეიღეული უჯრედებისადმი დედის უჯრედის ყველა თვისების თანაბრად გადაცემას. მაგრამ უჯრედებს რომელიმე გენერაციაში (თაობაში) შეიძლება აღმოაჩნდეს (ან

შეიძლება გაქრეს) რომელიმე ნიშანი, რომელიც შემდგომში გადაეცემა შთამომავლობას. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ მოხდა მუტაცია.

მაიონიზებული გამოსხივება, ქრომოსომული აბერაციების გარდა, იწვევს მუტაციებსაც; რასაც თან არ სდევს ქრომოსომების რაიმე მორფოლოგიური ცვლილება. ამ მუტაციებს უწოდებენ გენურ მუტაციებს, ისინი დაკავშირებულია გენის ფუნქციურ ცვლილებებთან, ქრომოსომული აბერაციებით გამოწვეული გენური მუტაციები კი გენების რიცხვის შეცვლის ან სივრცობრივი გადანაწილების შედეგია.

უჯრედის ცხოველმყოფელობის დარღვევა უფრო ღრმად, როდესაც იგი გამოწვეულია ქრომოსომული აბერაციებით. გენური მუტაციებით გამოწვეული ცვლილებები ნაკლებად ღრმად. ამ უკანასკნელის დროს უჯრედს შეუძლია სიცოცხლე და გამრავლებაც კი ან რაიმე ახალი თვისებების შექმნა, რომლებიც გაუადვილებს მის შთამომავლობას გარემო პირობებთან შეგუებას, ან, პირიქით, დააყენებს მათი ცხოველმყოფელობის უნარს. ამავე დროს გენური მუტაციები სწორედ ამ მიზეზით უფრო საშიშია, თუ ის ეხება სასქესო უჯრედებს, ვინაიდან ამ შემთხვევაში გენური მუტაცია არ იწვევს სქესობრივი უჯრედის სიკვდილს და კვერცხუჯრედს ან სპერმატოზოიდს განვითარების საშუალებას აძლევს. ამგვარად, ის ხელს არ უშლის ანომალური ინდივიდის განვითარებას მაშინ, როდესაც ქრომოსომული აბერაციები ხელს უშლის განაყოფიერებული კვერცხუჯრედის ჩამოყალიბებას და ემბრიონის განვითარებას. ზოგ შემთხვევაში მუტაცია შეიძლება მოხდეს ისეთ გენურ სტრუქტურებში, რომელთა ფუნქციონირების გარეშე უჯრედი ვერ უზრუნველყოფს არამცთუ შთამომავლობის წარმოქმნას, არამედ საკუთარ ცხოველმყოფელობასაც კი. ამგვარ მუტაციებს ლეტალური მუტაციები ეწოდება. ეს მუტაციები იწვევს უჯრედის დაღუპვას პირველსავე მიტოზურ ციკლში ან უჯრედის უახლოეს შთამომავლობაში. ამ გზით ხდება მუტანტური კლანის ბიოლოგიური ელიმინაცია.

სომატურ უჯრედებში დასხივება ზოგ შემთხვევაში არ იწვევს ლეტალურ მუტაციებს, მაგრამ შეიძლება გამოიწვიოს უჯრედების მოუწესრიგებელი პროლიფერაცია. ამაზეა დამყარებული მაიონიზებული გამოსხივების კანცეროგენეზის თეორია. მაშასადამე, კანცეროგენეზი გამოწვეულია სომატური უჯრედების მუტაციებით.

რადიაციით გამოწვეულ მუტაციებს არა აქვს რაიმე სპეციფიკური თვისება. ისინი სპონტანური მუტაციების იდენტურია, მხოლოდ დასხივება იწვევს მუტაციების რიცხვის გაზრდას.

მუტაციების რაოდენობრივმა შესწავლამ ცხადყო, რომ არსებობს გარკვეული კანონზომიერებანი მოქმედ დოზასა და მუტაციების სიხშირეს შორის: ა) მუტაციების რიცხვი დასხივების დოზის პროპორ-

ციულია. იგი იზრდება დოზის ზრდასთან ერთად; ბ) ყოველი უმნიშვნელო დოზა, როგორც მცირეც უნდა იყოს იგი, მუტაციის გამომწვევი პოტენციური საშიშროებაა იმისდა მიხედვით, თუ გენის რომელი ნაწილი ან რომელი გენი შთანთქმავს მაიონიზებული რადიაციის ენერჯიას, ან რომელ გენს დააზიანებს იონიზაციის შედეგად წარმოქმნილი რადიკალები და ა. შ. დოზის შემცირებასთან ერთად მუტაციის მიღების ალბათობა კლებულობს, მაგრამ არასოდეს არ ეთანაბრება ნოლს, ე. ი. ერთმა საიონიზაციო აქტმაც კი შესაძლებელია გამოიწვიოს მუტაცია. მაშასადამე, მოქმედების ზღვარი არ არსებობს. ამ შემთხვევაში შეიძლება საქმე გვექონდეს მაიონიზებული გამოსხივების პირდაპირ მოქმედებასთან, „სამიზნის“ თეორიასთან და ეს „სამიზნე“. შესაძლებელია აღმოჩნდეს თვით გენი; გ) ვინაიდან მუტაციები შეუქცევადია და გადაეცემა შვილეულ უჯრედებს (იმ შემთხვევაში, თუ უჯრედს შეუძლია გაყოფა, ე. ი. მუტაცია არ არის ლეტალური), ამიტომ მრავალჯერადი დასხივებით მიღებული ეფექტები განიცდიან კუმულაციას. კუმულაცია მოხდება ყველა შემთხვევაში; რა დიდი პერიოდითაც უნდა იყოს დაშორებული ერთმანეთისაგან დასხივების სესანები; დ) მუტაციების სიხშირეზე გავლენას ახდენს დოზის სიმძლავრე. ერთი და იმავე სიდიდის, მაგრამ სხვადასხვა სიმძლავრის დასხივება იწვევს უფრო დიდი სიხშირის მუტაციებს იქ, სადაც დოზის სიმძლავრე მეტია. აქედან გამომდინარე, მწვავე დასხივება გამოიწვევს უფრო მეტი სიხშირის მუტაციებს, ვიდრე ქრონიკული.

არსებობს ექსპერიმენტული მონაცემები იმის შესახებ, რომ ყოველგვარი იონიზაცია ან მოლეკულური სტრუქტურის პირდაპირი დაზიანება მაღალი ენერჯიის მქონე ნაწილაკით გამოიწვევს გენურ მუტაციას. მნიშვნელობა აქვს ტემპერატურას, ქანგბადის რაოდენობას, სხვადასხვა პროდუქტის არსებობას, გენური აქტივობის დონეს პოსტრადიაციულ პერიოდში და სხვ. ამავე დროს, თუ მგრძობიარე მოცულობათა თეორია სწორია, შესაძლებელია, რომ გენში „სამიზნე“ ძლიერ მცირე ზომის იყოს და იონიზაციის აქტი მოხდეს გენში და არა მის „სამიზნეში“.

დასაბუთებულად შეიძლება მივიჩნიოთ გენური მუტაციების რეპარაცია. თანამედროვე მოლეკულურ რადიობიოლოგიაში არსებობს უტყუარი მონაცემები იმის შესახებ, რომ გენური დაზიანების აღდგენის, ანუ რეპარაციის ფაქტი შეიძლება მოხდეს არა მარტო უჯრედის დონეზე, არამედ გენომის ტრანსკრიფციის შესწავლის დროს დეზოქსირიბონუკლეოპროტეიდებისა და თვით დეზოქსირიბონუკლეინმჟავას ხსნარების დასხივების შემთხვევაშიც კი, ე. ი. შესაძლებელია განუითარდეს მოლეკულური რეპარაციის მოვლენა.

ბიოლოგიურ მეცნიერებათა სხვადასხვა დარგის — ბიოქიმიის, ბიოფიზიკის, გენეტიკის, ციტოლოგიის, მოლეკულური ბიოლოგიისა და სხვა მიღწევებმა თანამედროვე პერიოდში განაპირობეს მოლეკულურ-ენერგეტიკულ დონეზე გარკვეულიყო ის ფიზიკურ-ქიმიური მოვლენები, რომლებიც ხდება ცოცხალ ორგანიზმში. დადგინდა, რომ ორი ძირითადი პროცესი: ნივთიერების სტრუქტურული მდგომარეობა და ნივთიერებათა ცვლა გარემოსთან, რომლის დროს ყოველთვის ხდება სტრუქტურათა სინთეზი და დაშლა, განაპირობებს ცოცხალს. ყოველი ექსტრემალური ფაქტორი, მათ შორის მაიონიზებელი გამოსხივებაც, ზემოქმედებს ამ ორივე ფაქტორზე — სტრუქტურებსა და ნივთიერებათა ცვლის მიმდინარეობაზე. მდიდარი ექსპერიმენტული მასალა, მიღებული უჯრედამდელ და მოლეკულურ დონეზე, ნათელს ფენს იმ რთულ ურთიერთდაკავშირებულ ცვლილებებს, რომლებიც ვითარდება უჯრედული სტრუქტურების მხრივ მაიონიზებელი გამოსხივების ენერჯიის შთანთქმის დროს. სტრუქტურულ-მეტაბოლური თეორია აერთიანებს დღეისათვის ცნობილ ყველა კანონზომიერებას, რომელიც უჯრედში აღინიშნება მაიონიზებელი რადიაციის ზეგავლენით. ამ თეორიის მიხედვით, მაიონიზებელი რადიაციის უჯრედზე მოქმედების საბოლოო შედეგი გამოწვეულია არა მარტო მაიონიზებელი ნაწილაკის მგრძობიარე სტრუქტურულ ელემენტებზე მოქმედებით, როგორც ამას „სამიზნეების“ თეორია მიიჩნევს. ეს რთული პროცესის მხოლოდ დასაწყისია და შემდგომში განვითარებული რეაქცია სხვადასხვა მიზეზისა და პროცესის, სტრუქტურისა და მექანიზმის დარღვევის, დაზიანების პარალელურად მიმდინარე აღდგენითი პროცესების, დისტანციური მოქმედების, უჯრედში მიმდინარე ყველა პროცესის ინტერფერენციისა და თვით უჯრედის ბიოლოგიური თავისებურებების შედეგია. სტრუქტურულ-მეტაბოლური თეორია აერთიანებს გამოსხივების პირდაპირ და დისტანციურ მოქმედებას, აგრეთვე, უჯრედში მიმდინარე რეპარაციული და დამცველი სისტემის მობილიზაციის პროცესებს. ამ თეორიას წმინდა მეცნიერული ინტერესის გარდა, დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობაც აქვს, ვინაიდან იგი დაცვის, აღდგენისა და სენსიბილიზაციის პროცესებთან დაკავშირებული საკითხების გადაჭრის საწყისებს იძლევა.

სტრუქტურული თეორია

1966 წელს გერმანელმა მეცნიერებმა ო. ჰუგმა და ა. მ. კელერმა შეიმუშავეს სხივური ზემოქმედების სტოქასტური თეორია. ამ თეორიის მიხედვით, ნებისმიერი ბიოლოგიური ობიექტი, მათ შორის უჯ-



რედიც ლაბილური დინამიკური სისტემაა, რომელშიც ხდება განუწყვეტელი გადასვლა ერთი მდგომარეობიდან მეორეში და ამ მუდმივი ცვლილებების პირობებში გაუთვალისწინებელი ფაქტორის მოქმედების შედეგად შესაძლებელია რომელიმე ელემენტარული რგოლის დაზიანება, რაც მთელი სისტემის დაღუპვის მიზეზი ხდება. მაშასადამე, უჯრედის დაღუპვის წინასწარმეტყველება შეიძლება მიახლოებით. ამ ბიოლოგიურ სტოქასტურობას ემატება მეორე რიგის სტოქასტურობა, რაც იმაში მდგომარეობს, რომ მაიონიზებული გამოსხივების ზემოქმედების შედეგად ბიოლოგიურ ობიექტში ელემენტარული რგოლის (ან რომელიმე სხვა პროცესის) დაზიანებისა და შესაბამისად, უჯრედის დაღუპვის ალბათობა, ნორმალურ პირობებთან შედარებით იზრდება. სხვაგვარად რომ ვთქვათ, უჯრედის დასხივებით იზრდება მისი პომეოსტაზის სპონტანური დაზიანების ალბათობა. ამიტომ „დოზა-ეფექტის“ დამოკიდებულების განხილვის დროს აუცილებლად გასათვალისწინებელია ბიოლოგიური სტოქასტიკაც.

სტოქასტური ჰიპოთეზის თავისებურებაა ის, რომ იგი მხედველობაში ღებულობს ბიოლოგიურ ობიექტში მიმდინარე როგორც ფიზიოლოგიურ, ასევე გამოსხივებით გამოწვეულ ცვლილებებს, ამასთანავე გამოსხივებით ინდუცირებული პროცესებიც განხილულია დინამიკაში. აღსანიშნავია აგრეთვე, რომ ეს ჰიპოთეზა უჯრედის დაზიანებაში ერთი რომელიმე მგრძნობიარე მოცულობის (მაგალითად, გენეტიკური აპარატის) დაზიანებას კი არ მიიჩნევს მიზეზად, არამედ აღიარებს დისპერსიულ საწყის დაზიანებას, კერძოდ, ეს შეიძლება იყოს უჯრედული მემბრანების ან სხვა მრავლობითი სტრუქტურების დაზიანება.

სტოქასტური თეორია ეყრდნობა რადიობიოლოგიის თანამედროვე გაგებას შთანთქმული ენერჯის დისკრეტულობაზე, მის მიკროგანაწილებაზე; იგი ითვალისწინებს რადიომგრძნობელობის ფართო ვარიაციულობას. ეს ჰიპოთეზა, სხვა თეორიებთან შედარებით, უფრო „ბიოლოგიურია“, ცხოვრებისეული, თუმცა ყველა რადიობიოლოგიური ეფექტის ახსნა ჯერჯერობით ამ ჰიპოთეზითაც ვერ ხერხდება. მაგალითად, ჯერ კიდევ გაურკვეველია ამ ჰიპოთეზის ურთიერთობა რადიაციულ-გენეტიკურ ექსპერიმენტებთან; ასევე ძნელია რადიაციულ-ჰიგენური ნორმირების პრინციპების ახსნა.

#### მაიონიზებული გამოსხივების ბიოლოგიური მოქმედების მახასიათებელი

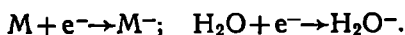
ზემოაღწერილი თეორიების განხილვის შემდეგ მაიონიზებული გამოსხივების ბიოლოგიური მოქმედება შეიძლება შევჯამოთ შემდეგი სახით: ორგანიზმზე მაიონიზებული რადიაციის მოქმედებას ახასიათებს ბიოქიმიური, ბიოფიზიკური და სხვა სახის ერთმანეთთან მჭიდროდ

დაკავშირებული რეაქციები, რომელთა კომპლექსური მოქმედების შედეგად ვლინდება ის ფუნქციური და მორფოლოგიური ცვლილებები, რომლებიც უმაღლეს ზერხემლიან ცხოველებში სხივური დაავადების განვითარებას იწვევენ.

ორგანიზმზე მაიონიზებული გამოსხივების ზემოქმედების შედეგად, პირველ-ყოვლისა, ვითარდება ფიზიკური ეფექტი, რომელიც თავის გამოვლინებას პოულობს იონიზაციისა და აგზნების პროცესში, ეს ეფექტი ვლინდება როგორც ბიომოლეკულაზე, ასევე ორგანიზმში არსებული წყლის მოლეკულებზე მოქმედებით. ეს პროცესები ზოგადად შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგნაირად: ბიომოლეკულები და წყლის მოლეკულები კარგავს ელექტრონს და წარმოიქმნება დადებითი იონები:



გამატყორცნილი ელექტრონები, რომლებიც ცნობილია დელტა-სხივების სახელწოდებით, უერთდება სხვა ნეიტრალურ მოლეკულებს და წარმოიქმნება უარყოფითი იონები:



ეს პროცესი ძლიერ ხანმოკლეა, იგი მიმდინარეობს დაახლოებით  $10^{-13}$  წამის განმავლობაში.

მოლეკულებისა და ატომების იონიზაცია და აგზნება იწვევს მათ შემდგომ ფიზიკურ-ქიმიურ გარდაქმნებს. წარმოქმნილი დადებითი და უარყოფითი იონები არ არის მდგრადი. ხდება მათი დაშლა თავისუფალ რადიკალებად და სტაბილურ იონებად. რთული ცილოვანი მოლეკულები იხლიჩება შედარებით მცირე ზომის მოლეკულებად ან ვითარდება რაიმე სხვა სახის დაზიანებანი (სურ. 16). აღინიშნება წყლის რადიოლიზი.

წარმოქმნილი თავისუფალი რადიკალები ( $OH^\cdot$ ,  $H^\cdot$ ) რეაგირებს როგორც ურთიერთშორის, ასევე ქსოვილოვან ქანგბადთან და წარმოქმნის ძლიერ დამჟანგველებს — წყალბადის ზეჟანგსა და ჰიდროპეროქსიდს ( $H_2O_2$ ,  $HO_2$ ).

თავისუფალი რადიკალები ( $H^\cdot$ ,  $OH^\cdot$ ) და წყალბადის დაჟანგვის პროდუქტები ( $H_2O_2$ ,  $HO_2$ ) მეორეულად მოქმედებს ბიომოლეკულაზე, რომლებიც, თავის მხრივ, წარმოქმნიან რადიკალებს და უფრო მარტივი ბუნების მოლეკულებს. წარმოქმნილი რადიკალები მოქმედებს სხვა მოლეკულებზე და ა. შ. ვითარდება ჭაჭვეური რეაქცია (თუ იონიზაციის სიმჭიდროვე გარკვეულ ზღურბლოვან დონეს აღემატება).

მაშასადამე, უჭრედებსა და ქსოვილებში აღინიშნება რთულ ცილოვან მოლეკულაზე გამოსხივების როგორც პირველადი, ასევე მეო-

რეული დამზიანებელი მოქმედება წყლის იონიზაციისა და რადიოლო-  
ზის შედეგად წარმოქმნილი რადიკალებისა და მათი ქსოვილოვან  
ქანგბადთან ურთიერთობის შედეგად მიღებული წყალბადის ზეჟან-  
გისა და ჰიდროპეროქსიდის მეშვეობით. ბ. ტარუსოვის მიერ პოსტუ-  
ლირებულია მსგავსი რეაქციები ლიპიდურ ფრაქციებში, კერძოდ მემ-  
ბრანების ლიპიდებში.

პირდაპირი მოქმედება უფრო მეტად ვლინდება მყარ ნივთიერე-  
ბებზე, ხოლო არაპირდაპირი — თხიერ სუბსტრატებზე მოქმედები-  
სას. თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ ორგანიზმის უმეტესი ნაწი-  
ლი წყალია (დაახლოებით 60—80%), ნათელი გახდება, თუ რა დიდი  
მნიშვნელობა აქვს ორგანიზმზე მაიონიზებელი რადიაციის დამზიან-  
ებელი მოქმედების არაპირდაპირ გზას.

რთული მოლეკულების დაშლისა და წყლის იონიზაცია-რადიოლო-  
ზის პროცესები ძალიან სწრაფად მიმდინარეობს — 10<sup>-11</sup> წამის გან-  
მავლობაში.

ფიზიკურ-ქიმიური რეაქციის შემდეგ შედევნდება ქიმიური  
ეფექტი, რაც გამოიხატება ნუკლეინმჟავების, ცილების, ლიპი-  
დების, მუკოპოლისაქარიდებისა და სხვა ბიოლოგიურად მნიშვნელო-  
ვანი ნივთიერებების დაჟანგვით, პოლიპეპტიდური კავშირების გაწყვე-  
ტით, სულფჰიდრილური ჯგუფების დისულფიდურ ჯგუფებად გარ-  
დაქმნით და სხვ. ამ რეაქციების შედეგად ვითარდება ბიოქიმიური  
ეფექტი, რაც შესაძლებელია გაგრძელდეს წუთები, საათე-  
ბი. აღინიშნება ციტოპლაზმის ნუკლეინმჟავების ან ბირთვის ნუკლეო-  
პროტეიდების, ღებოქსირიბონუკლეინმჟავების პოლიმეროზაცია. ქსო-  
ვილოვანი ქანგბადის არსებობა ხელს უწყობს ნუკლეინმჟავების დაშ-  
ლას; იცვლება ცილების სორბციული თვისებები, რის გამოც ცილას  
აღარ აქვს უჯრედის ნორმალური ცხოველყოფილობისათვის საჭირო  
კომპლექსების შექმნის უნარი. მცირდება მეთილის ჯგუფის შემცვე-  
ლი ძირითადი ამინომჟავას — მეთიონინისა და, აგრეთვე, ტრიფტოფა-  
ნის რაოდენობა, რასაც მოსდევს ცილოვანი ბიოსინთეზის შეფერხება  
და, მაშასადამე, ცილოვანი ცვლის დარღვევა. ირღვევა ფერმენტთა  
აქტივობა, მათი მონაწილეობით მიმდინარე რეაქციები. აღსანიშნავია,  
რომ ფერმენტთა ცვლილებების ხარისხი სხვადასხვაგვარია, რაც  
იწვევს ნივთიერებათა ცვლის კოორდინირებული პროცესის დარ-  
ღვევას.

ცდებით *in vitro* დადგენილია, რომ ის ფერმენტები, რომლებიც  
შეიცავს სულფჰიდრილურ ჯგუფებს (მაგალითად, ფოსფოროვლიცე-  
რინის ალდეჰიდის დეჰიდრაზა, რომელიც მონაწილეობს ენერგეტი-  
კულ ცვლასა და ნახშირწყლების გარდაქმნაში, ადენოზინტრიფოს-  
ფატაზა, სუქცინოქსიდაზის სისტემა და სხვ.), მცირე დოზებით მოქმე-

დების დროსაც კი ზიანდება. მათი ინაქტივაცია გამოწვეულია სულფ-ჰიდრილური ჯგუფების დისულფიდურ ჯგუფებში გადასვლით, ხოლო ამ ფერმენტების ცილოვანი ნაწილი დენატურაციას განიცდის. ისეთი ფერმენტები, რომლებიც არ შეიცავენ სულფჰიდრილურ ჯგუფებს (ტრიფსინი, კატალაზა და სხვ.), ინაქტივაციას განიცდის *in vitro* მხოლოდ დიდი დოზების მოქმედების შედეგად. აღსანიშნავია, რომ კოფერმენტი A, რომელიც სულფჰიდრილური ნივთიერებაა, დასხივების პირობებში ინაქტივაციას პრაქტიკულად არ განიცდის. მაშასადამე, არსებობს ჯერ კიდევ შეუსწავლელი მექანიზმები, რომელთაც გარკვეული როლი მიეკუთვნებათ სხივური დაზიანების პათოგენეზში.

დასხივების შედეგად ზოგიერთ რეცეპტორულ წარმონაქმნში, სისხლის შრატსა და სხვადასხვა ორგანოს ქსოვილში ქოლინესტერაზის აქტივობა კლებულობს. ქსოვილთა მიერ უანგბადის მოხმარება შემცირებულია ფერმენტულ სისტემათა დაუანგვის შედეგად.

დასხივებისას უჯრედში ირღვევა ფოსფორილების პროცესი, ადენოზინტრიფოსფორმეზას (ატფ) სინთეზი, რომელსაც ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს უჯრედის ნორმალური სასიცოცხლო პროცესების წარმართვაში.

ცვალებადობს შაქრებიც, როგორც მარტივი, ასევე მუკოპოლისაქარიდები: მარტივი შაქრები იშლება ფორმალდეჰიდად და ორგანულ მჟავებად. ჰიალურონმჟავას სიბლანტე იცვლება, იგი კარგავს ცილასთან შეერთების უნარს. ჰეპარინი განიცდის დეპოლემერიზაციას და კარგავს ძირითად თვისებებს. გლიკოგენის რაოდენობა კლებულობს ლვიძლსა და კუნთებში.

დასხივება ცვლილებებს იწვევს აგრეთვე ლიპიდებში. ხდება მათი გადანაწილება ქსოვილებში, აგრეთვე დაშლა, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ზეუანგები.

უჯრედებში, მოლეკულების დაშლისა და ფერმენტების აქტივობის შემცირების გარდა, ვითარდება ახალი, უჯრედისათვის უცხო ნაერთები, რომლებიც ნორმალურ პირობებში მას არა აქვს.

ქსოვილოვან ნივთიერებათა ცვლის დარღვევის შედეგად წარმოქმნილი პროდუქტები გადადის სისხლში და იწვევს ორგანიზმის ინტოქსიკაციას.

ამგვარად, ძირითადი პროცესები, რომლებიც ვითარდება უჯრედში და იწვევს მის სიკვდილს, დნმ მოლეკულის დაშლა, ფერმენტთა ინაქტივაცია, სინთეზის დარღვევა და ტოქსიკური ნივთიერებების წარმოქმნაა.

შესაძლოა მილიონი მოლეკულიდან უჯრედში დაზიანდეს მხოლოდ ერთი, მაგრამ ეს ერთი მოლეკულა იყოს დნმ, რნმ და სხვ., რომლებიც დიდ როლს ასრულებენ უჯრედის ცხოველმყოფელობითი უნა-

რის შენარჩუნებაში და ერთი დაზიანებაც კი საბედისწერო ხდება უჯრედისათვის. ამიტომ არის, რომ ამ სტრუქტურათა არსებობას უჯრედში განსაკუთრებული როლი მიუძღვის მის რადიომგრძობელობაში. თუ, მაგალითად, დნმ მოლეკულათა რაოდენობა გაორკეცებულია, მაშინ ამ მოლეკულათა ნაწილი დასხივებას გადაარჩება და განაგრძობს ნორმალურ ფუნქციონირებას. ამით არის განპირობებული ჰაპლოიდური უჯრედების მეტი რადიოდამზიანებლობა დიპლოიდურთან შედარებით.

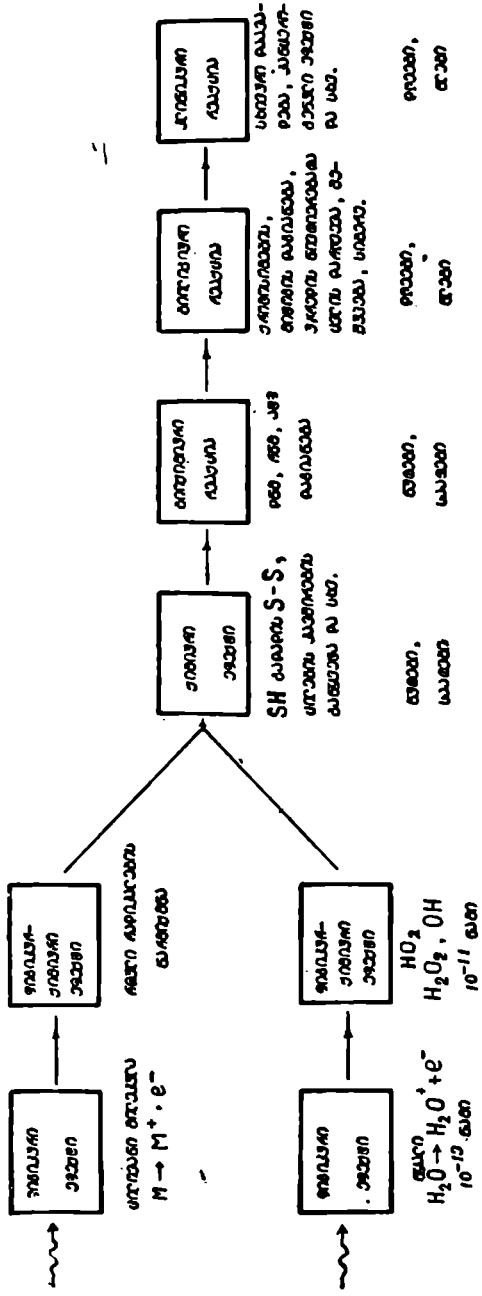
ზემოაღნიშნული პროცესების ჩამოყალიბების შედეგად ვითარდება ციტობიოლოგიური ან ციტოპათოლოგიური ეფექტი, რომლის დროსაც უჯრედი შეშუპდება, ქრომოსომები იხლიჩება, უჯრედის მიტოზური მექანიზმები ზიანდება, უჯრედის ნივთიერებათა ცვლა ირღვევა, ნაადრევი სიბერე ვითარდება და სხვ.

მცირე დოზებით დასხივების დროს ძირითადად ზიანდება უჯრედის მიტოზური ფუნქცია, სხვა ფუნქციები არ განიცდის მკვეთრ ცვლილებებს ან ხდება მათი კომპენსაცია, ანდა რეპარაცია. დიდი დოზებით დასხივება აზიანებს უჯრედის ყველა ფუნქციას, რაც ვლინდება როგორც მორფოლოგიური, ასევე ფუნქციური ცვლილებებით.

იმისდა მიხედვით, თუ როგორია დასხივების ინტენსივობა და უჯრედის საწყისი მდგომარეობა, დაზიანება შეიძლება იყოს შექცევადი და შეუქცევადი. მაგრამ უნდა ვიფიქროთ, რომ ჰეშმარიტი აღდგენა, ალბათ, იშვიათი შემთხვევაა (ძალიან მცირე დოზების მოქმედების დროს), ვინაიდან გენეტიკური ეფექტები, რომლებიც პრაქტიკულად შეუქცევადია, შეიძლება განვითარდეს იონიზაციის ერთი აქტის შედეგადაც კი. ამიტომ შეიძლება უჯრედის გამრავლების უნარიანობა არ დაზიანდეს, მაგრამ შვილეულ ელემენტებში თავს იჩენს სხვადასხვა სახის ანომალიური ძვრები.

ჰეშმარიტი აღდგენისაგან უნდა გავარჩიოთ ფსევდოაღდგენითი რეაქციები, რაც გამოიხატება არა დაზიანებული უჯრედის ან ქსოვილის ქიმიური და მორფოლოგიური მდგომარეობის ნორმალზე აყვანით, არამედ იმავე ჰისტოლოგიური სტრუქტურის მქონე მეზობელი, დაუზიანებელი ქსოვილიდან ახალი უჯრედის წარმოქმნითა და ქსოვილის ფუნქციის აღდგენით. ამგვარ ძვრებს კომპენსაციურ აღდგენასაც უწოდებენ.

ზემოაღწერილ ბიოლოგიურ ეფექტებს საბოლოოდ მივყავართ კლინიკურ ეფექტამდე. კლინიკური ეფექტი შეიძლება გამოვლინდეს ქრონიკული ან მწვავე სხივური დაავადების სახით; სხივური რეაქციის სხვადასხვა ფორმის ჩამოყალიბებით ან კანცეროგენული პროცესის განვითარებით და სხვ.



სურ. 19. ორგანიზმზე მაიონიზებული გამოსხივების მოქმედების შედეგად განითავრებული რეაქციების თანმიმდევრობის სქემატული გამოსახულება.

ის ეფექტები, რომლებიც მაიონიზებული რადიაციის ბიოლოგიური მოქმედების მექანიზმების მთლიანი ჯაჭვის ცალკეულ რგოლებს შეადგენენ და რომელთა შესახებ ამ თავში იყო საუბარი, სქემატურად აღბეჭდილია მე-19 სურათზე. ამ სქემაში ორგანულადაა შერწყმული მაიონიზებული გამოსხივების მოქმედების როგორც პირდაპირი, ისე არაპირდაპირი თეორიები.

#### მაიონიზებული გამოსხივების გენეტიკური და სომატური მოქმედება

ორგანიზმზე მაიონიზებული გამოსხივების ზემოქმედებას ყოველთვის თან სდევს დამზიანებელი ეფექტი, რაგინდ მცირეც უნდა იყოს დასხივების დოზა. ის სტიმულაციური მოქმედებაც კი, რომელიც აღინიშნება მცირე დოზების მოქმედების დროს, დაკავშირებულია გარკვეული მექანიზმების დაზიანებებთან, რითაც თავს იჩენს სხვა ფუნქციების გაძლიერება.

შესაძლებელია ძალიან მცირე დოზებით მოქმედების დროს ინდივიდში ვერ აღმოვაჩინოთ თვალით დასანახი ცვლილებები, თანამედროვე კლინიკურ-ლაბორატორიული გამოკვლევის მეთოდებით ვერ მოხერხდეს მათი, ე. ი. სომატური დაზიანების დადგენა, მაგრამ გენეტიკური ეფექტის თვალსაზრისით არ არსებობს მცირე, ზღვრული დოზა: მაიონიზებული გამოსხივების ნებისმიერი დოზა მავნეა. ხაზგასმით უნდა აღვნიშნოთ, რომ მცირე დოზები არ არის რაიმე განსაკუთრებული იმ პოტენციურ საშიშროებათა შორის, რომლებიც ბიოსფეროს ახასიათებს.

მაიონიზებული გამოსხივების გენეტიკური მოქმედება ის ცვლილებებია, რომლებიც დასხივების შედეგად წარმოიქმნება, გამოვლინდება და გადაეცემა მომავალ თაობებს. ასეთი ცვლილებები ვითარდება ჩანასახოვან უჯრედებში მუტაციური პროცესების განვითარების დროს. ეს ცვლილებები მომავალ თაობებში გამოვლინდება სხვადასხვა დაზიანების სახით, როგორც არის, სიმახინჯე, ავთვისებიანი დაავადება, მკვდრადშობადობა, ფსიქიკური დაავადება, სიცოცხლის ხანგრძლივობის შემცირება, ინფექციური დაავადების მიმართ ორგანიზმის წინააღმდეგუნარიანობის დაქვეითება და სხვ.

აღიარებულია, რომ ბუნებრივი რადიაციული ფონი იწვევს შთამომავლობითი ნივთიერებების — გენების — ცვლილებებს, ე. ი. მუტაციებს. ბუნებაში აღინიშნება ე. წ. „სპონტანური“ მუტაციები. გაანგარიშებულია, რომ ადამიანებსა და ძუძუმწოვრებში „სპონტანური“ მუტაციების დაახლოებით 25% გაპირობებულია ბუნებრივი ფონით.

მუტაციების შედეგად აუცილებელი არ არის, რომ მომავალ თაობებში მხოლოდ მავნე თვისებები გამოვლინდეს. მუტაციების შედეგად შეიძლება თაობებში კარგი თვისებების მიღება და გადაცემა. ამაზეა დამყარებული, მაგალითად, სხვადასხვა ყინვაგამძლე მცენარეული ჯიშის გამოყვანა, სხვადასხვა სახის ვირუსებისა და ბაქტერიების გამოყვანა, ადამიანისათვის სასურველი თვისებების მქონე მცენარეთა და ცხოველთა ჯიშების გამოყვანა და სხვ. მაგრამ დადასტურებულია, რომ ადამიანებში ასეთი კეთილსასურველი ხასიათის მუტაციები ძალიან იშვიათად ხდება. მუტაციები ადამიანებში ძირითადად იწვევს მისთვის მავნე ცვლილებების განვითარებას. ამიტომ, თუ გაიზრდება იმ ადამიანების რიცხვი, რომლებიც ატარებენ შთამომავლობითი ნივთიერებების შეცვლილ სახეს, ეს საფრთხეს უქმნის თვით ადამიანის, როგორც ბიოლოგიური ერთეულის, არსებობას. მით უმეტეს, რომ მნიშვნელობა არა აქვს ცოლ-ქმრიდან ორივეა დასხივებული თუ ერთ-ერთი მათგანი.

მაიონიზებელი გამოსხივების გენეტიკური ეფექტის დასახასიათებლად შემოღებულია ე. წ. გენეტიკური მნიშვნელობის დოზა. ეს ის დოზაა, რომელიც საშუალოდ მოდის ერთ მცხოვრებზე 30 წლის ასაკამდე (იგულისხმება, რომ ადამიანი თავის შთამომავლობას ძირითადად ქმნის 30 წლამდე). ერთი წლის განმავლობაში ბუნებრივი ფონის ხარჯზე იგი საშუალოდ უდრის 100—125 მრბეს (ეს დოზები იწვევს ე. წ. „სპონტანურ“, ანუ ბუნებრივ მუტაციებს), რენტგენოლიაგნოსტიკური პროცედურების ხარჯზე — 23—150 მრბეს-ს, სხივური თერაპიის შედეგად — 5—15 მრბეს-ს, პროფესიული დასხივებით — 0,3 მრბესზე ნაკლებს და გლობალური ნალექებისაგან — 1—3 მრბეს-ს.

ზუსტი დოზა, რომელიც იწვევს მუტაციების სიხშირის გაორკეცებას, ე. ი. გაორკეცებულ გენეტიკურ ეფექტს (ე. წ. გამაორკეცებელი დოზა), დღეისათვის უცხოელი ავტორების მონაცემებით უდრის 30—80 რბეს-ს, ხოლო საბჭოთა მეცნიერის ნ. დუბინინის მონაცემებით — 10 რბეს-ს. მეცნიერები ვარაუდობენ, რომ თუ მთელ დედამიწაზე იმოქმედებს მუტაციების სიხშირის გამაორკეცებელი დოზა, იგი საეკოვოს გახდის კაცობრიობის არსებობას.

მუტაციების წარმოქმნის სიხშირე ჯამური დოზის პროპორციულია. გამოანგარიშებულია, რომ თუ ვაგრძელებდა ატომური იარაღის აფეთქებების გამოცდა ატმოსფეროში ან დედამიწის ზედაპირზე, ამის შედეგად ყოველწლიურად 44.000 ახალშობილს ექნება სხვადასხვა შემკვიდრებითი დაავადება.

მაიონიზებელი გამოსხივების სომატური მოქმედება მჟღავნდება სხვადასხვა სახის სხივური დაზიანებით — მწვავე ან ქრონიკული სხივური დაავადებით, სხივური დამწვრობით, ზოგადი და ადგილობრივი



ხასიათის სხივური რეაქციებით და სხვ. (თუ დაზიანებას განვიხილავთ ორგანიზმისა და ქსოვილთა დონეზე). თუ სომატურ უჭრედში ვითარდება მუტაციური ცვლილებები, ისინი რეალობდება ან უჭრედის დაღუპვის სახით ან იძენენ ატიპური და სწრაფი ზრდა-გამრავლების უნარს, რაც ორგანიზმის კონტროლს აღარ ექვემდებარება, ე. ი. ვითარდება ნეოპლაზმა.

ზოგიერთი სომატური ეფექტის დასახასიათებლად შემოღებულია აგრეთვე ლეიკომოგენური დოზა (ძვლისტვინოვანი საშუალო დოზა). იგი იანგარიშება ისევე ერთ სულ მოსახლეზე ასაკის გაუთვალისწინებლად. ეს ცნება შემოღებულია ლეიკემიის განვითარების სიხშირის დასახასიათებლად, ვინაიდან დაკვირვებები ცხადყოფს, რომ ლეიკემიის სიხშირე გარკვეულ კავშირშია ადამიანის დასხივებასთან. მრღებულია, რომ ბუნებრივი რადიაციული ფონის ხარჯზე დასხივების ეს დოზა შეადგენს 90 მრბე-ს/წელიწადში, რენტგენოლოგიკური პროცედურებისაგან — 35—40 მრბე-ს, სხივური თერაპიისაგან — 3—10 რბე-ს, პროფდასტივებისაგან 0,3 მრბე-ზე ნაკლებს, გლობალური ნალექებისაგან — 3—5 მრბე-ს.

ყოველივე ზემოხსენებულის გამო მიღებულია, რომ იმ ადგილებში, სადაც ატომური ელექტროსადგურები ან რეაქტორები მუშაობს, მაიონიზებული გამოსხივების ფონი მოსახლეობისათვის არ უნდა აღემატებოდეს ბუნებრივი ფონის გაორკეცებულ სიდიდეს.

აქვე უნდა აღვნიშნოთ ადამიანის ორგანიზმზე კიდევ ერთი შედეგი მაიონიზებული გამოსხივების ზემოქმედების — ნაადრევი სიბერე, სიცოცხლის ხანგრძლივობის შემცირება. ფიქრობენ, რომ ეს გავლენაც უჭრედთა გენეტიკურ აპარატზე მოქმედების შედეგი უნდა იყოს. თუმცა, როგორც უკვე იყო მითითებული, ზოგ შემთხვევაში ექსპერიმენტში მცირე დოზებით დასხივების დროს რეგისტრირებულია პარადოქსული მოვლენაც — სიცოცხლის ხანგრძლივობის ზრდა. გამოთქმულია მოსაზრება, რომ ამ დროს წინასწარ დაპროგრამებული სიკვდილის ჰიპოთეზური მექანიზმის დაზიანება ხდება.

ამგვარად, მაიონიზებული გამოსხივება, რაგინდ მცირე ოდენობით უნდა იყოს წარმოდგენილი, იწვევს როგორც სომატურ, ასევე გენეტიკურ დამაზიანებელ მოქმედებას და ეს დაზიანება გამოვლინდება სხვადასხვა კლინიკური სახით.<sup>1</sup>

#### მეზორიონა და ნაყოფზე გავლენა, ტარატოგენული მოქმედება

ემბრიონს, ნაყოფს განსაკუთრებული რადიოდამაზიანებლობა ახასიათებს. დაზიანება მით უფრო ძლიერია, რაც უფრო ნაადრევ პერიოდში ხდება დასხივება. მაღალი რადიოდამაზიანებლობა აიხსნება

ემბრიონში უჯრედთა ინტენსიურად მიმდინარე პროლიფერაციით (რადიობიოლოგიის ერთ-ერთი ძირითადი კანონი, — რომელიც ბერგონი-ესა და ტრიბონდოს ეკუთვნის, მიუთითებს, რომ სხივური ზემოქმედების შედეგად სწორედ ასეთი უჯრედები ზიანდება უფრო მეტად). ემბრიონი ზიანდება ძალიან მცირე დოზებით მოქმედების დროსაც კი, რომელზეც დედული ორგანიზმი სრულებით არ რეაგირებს (მაგალითად, 10—25 რ).

განსაკუთრებით მგრძობიარეა ჩანასახი ჩასახვის პირველი დღიდან 40 დღემდე, როცა იწყება ცალკეული ორგანოს ჩამოყალიბება.

თუ დასხივებული ემბრიონი არ დაიღუპა და მაინც განვითარდა, ბავშვი იბადება მძიმე ფიზიკური და გონებრივი სიმახინჯით — მიკროცეფალიით, ჰიდროცეფალიით, გულის მანკით, დაუნის დაავადებით და სხვ., ე. ი. მკაფიოდაა გამოსახული მაიონიზებული გამოსხივების ტერატოგენული მოქმედება.

არსებობს მოსაზრება, რომ ემბრიონის დასხივებამ მცირე დოზებით შესაძლებელია გამოიწვიოს მისი უჯრედების ფუნქციური ცვლილებები, რომელთა აღნუსხვა თანამედროვე მეთოდებით შეუძლებელია, მაგრამ რომლებიც მომავალში საფუძვლად დაედება დაბადებულ 'ინდივიდში' პათოლოგიურ ძვრებს — სიცოცხლის ხანგრძლივობის შემცირებას, ლეიკემიის განვითარებას, ორგანიზმის წინააღმდეგუნარიანობის დაქვეითებას და სხვ. მაგალითად, დადგენილია ლეიკემიის სიხშირის ზრდა იმ ბავშვებში, რომლებიც დაბადებული არიან დასხივებული დედებისაგან. იგივე უნდა აღვნიშნოთ ემბრიონის შთამომავლობითი უჯრედების დასხივების შესახებ, რომლებიც, რასაკვირველია, უფრო დაზიანებანია, ვიდრე მოზრდილი ადამიანის გონადები. აქედან კი ნათელი ხდება, რომ ემბრიონის დაზიანებული შთამომავლობითი უჯრედები დასაბამს მისცემს შემდგომ თაობაში არასრულფასოვან შთამომავლობითს. ელემენტებს, ე. ი. ისევე გამოვლინდება მძიმე გენეტიკური ტვირთი.

ორსულობის მოგვიანებით პერიოდში, დასხივება შედარებით ნაკლებ დაზიანებელია (ტერატოგენული ეფექტების განვითარების თვალსაზრისით), მაგრამ დაზიანებანი ამ დროსაც არის გამოხატული. აღწერილია იმ ბავშვთა მალალი დაავადებიაანობა, სიკვდილიანობა, რომლებიც დაიბადნენ ორსულობის მეორე ნახევარში დასხივებული დედებისაგან. ყველა ეს მონაცემი ძირითადად შესწავლილია ხიროსიმასა და ნაგასაკის მოსახლეობაში, რომელმაც განიცადა დასხივება ატომური ყუმბარის აფეთქების შედეგად. არსებობს აგრეთვე მონაცემები იმ ბავშვთა შესახებ, რომლებიც დაიბადნენ ორსული დედების რენტგენოლოგიური დასხივების შედეგად.

რადიაციული ჰიგიენისტი ვალდებულია განსაკუთრებული ყურადღება მიაქციოს ზემოაღნიშნულ რადიობიოლოგიურ მონაცემებს და თავისი პრაქტიკული საქმიანობა წარმართოს დიდი სიზუსტით, ყველა დაცვითი ღონისძიების გატარების მოთხოვნით, რომელიც ნებისმიერი პროფილის პრაქტიკოს ექიმმა უნდა შეასრულოს სხივური მედიცინის გამოყენების დროს.

### სხივური კანცეროგენეზი

ექსპერიმენტული და კლინიკური კვლევის საფუძველზე დადგენილია, რომ ორგანიზმზე მაიონიზებული გამოსხივების მოქმედების შედეგად შესაძლებელია განვითარდეს პრაქტიკულად ყველა ორგანოს ავთვისებიანი სიმსივნე, თვით ცენტრალური ნერვული სისტემისაც კი, მაგრამ უფრო მეტად სიმსივნე ვითარდება იმ ქსოვილებში, რომელთა ნორმალური პროლიფერაცია სწრაფად მიმდინარეობს, რაც მიუთითებს დასხივების პროცესში მიტოზის განსაკუთრებულ როლზე ავთვისებიანი სიმსივნის განვითარებაში.

მაიონიზებული გამოსხივების კანცეროგენული თვისება ჯერ კიდევ რენტგენოლოგიის გამოყენების დასაწყისში დაადგინეს, როცა ამ გამოსხივების ბიოლოგიური მოქმედება ცნობილი არ იყო და შესაბამისად არც დაცვითი ღონისძიებები იყო შემუშავებული. ექიმი რენტგენოლოგები იღუპებოდნენ ავთვისებიანი სიმსივნეების განვითარების შედეგად. XX საუკუნის 20-ან წლებში ნიუ-ჯერსის შტატში მანათობელ ციფერბლატზე მომუშავე პერსონალში ძალიან გავრცელებული იყო ოსტეოსარკომა:

მაიონიზებული გამოსხივების ზემოქმედების შედეგად უფრო ხშირად ვითარდება კანის, ძვლების, საკვერცხეების, სარქვევ ქირკვლის სიმსივნეები, აგრეთვე ლეიკოზი. ლეიკემიით დაავადებთა სიხშირე ექიმ-რენტგენოლოგებში 5-ჯერ უფრო მაღალია, ვიდრე სხვა სპეციალობის ექიმებში. დაკვირვებებმა ცხადყო, რომ ეს დაავადება ვითარდება ანკილოზური სპონდილიტის სხივური მკურნალობის შედეგადაც (ზურგის ტვინის დასხივება). რადიოაქტიურ საბადოებში მომუშავე მუშებში (იოახიმშტალი) ხშირია ფილტვის კიბოს შემთხვევები და სხვ. ისეთი რადიოაქტიური ელემენტები, როგორცაა Ra, <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs და სხვ.; ცნობილია ოსტეოტროპულ ელემენტებად. მათი ინკორპორირება ძვლებში ექსპერიმენტში იწვევს ოსტეოსარკომებისა და ლეიკემიის განვითარებას.

კანცეროგენული ეფექტის გამომწვევი დოზების ზუსტი დადგენა შეუძლებელია, ერთი კი ცხადია, რომ დოზის ზრდასთან ერთად სიმსივნის განვითარების სიხშირე მატულობს.

მე-10 ცხრილში მოყვანილია დასხივების დოზისა და ლეიკოზის განვითარების სიხშირის დამოკიდებულება ხიროსიმასა და ნაგასაკის მოსახლეობის მაგალითზე.

ც ხ რ ი ლ ი 10

ლეიკოზის განვითარების სიხშირის დამოკიდებულება დასხივების დოზაზე

დასხივების დოზა (რად)	დაავადებულთა რიცხვი 1 მლნ. ადამიანზე წ.-ში	
	ხიროსიმაში	ნაგასაკში
1400—10000	1366	563
200—1400	308	530
30—200	42	68
1—30	28	37

ამ ცხრილიდან ჩანს აგრეთვე, რომ ხიროსიმაში ნეოპლაზმის განვითარების სიხშირე უფრო მაღალია, ვიდრე ნაგასაკში. ამის ერთ-ერთი მიზეზი შეიძლება იყოს ის, რომ ამ ქალაქში ამერიკელებმა ააფეთქეს ატომური ყუმბარა გამა-ნეიტრონული გამოსხივებით, ხოლო ნაგასაკში — წმინდა გამა-გამოსხივებით, ნეიტრონული გამოსხივების მაღალი ბიოლოგიური მოქმედება კი საყოველთაოდ ცნობილია.

უკანასკნელ წლებში განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა სარძევე ჯირკვლის სხივურ კანცეროგენეზს. თანამედროვე მეცნიერების მონაცემებით, სარძევე ჯირკვლის მიდრეკილება სხივური კიბოს განვითარებისადმი საკმაოდ მაღალია. ვარაუდობენ, რომ რადიოდამაზიანებლობის მხრივ უტოლდება კრიტიკულ ორგანოთა პირველ ჯგუფს. უახლესმა გამოკვლევებმა ცხადყო, რომ რეპროდუქციული ასაკის ქალთა პროფილაქტიკური მამოფლუოროგრაფიული გამოკვლევა პრაქტიკული გამოსავლის მხრივ (ე. ი. აღმოჩენილი სიმსივნეების %-ული რაოდენობით) ბევრად უფრო დაბალია იმ რისკთან შედარებით, რომელიც მოსალოდნელია მამოფლუოროგრაფიის შედეგად სარძევე ჯირკვლის სხივური ავთვისებიანი სიმსივნეების განვითარების მხრივ.

### მაიონიზებული გამოსხივების მოქმედების უმისუსტესებზე (ქიმიური რადიოპროტექტორები)

არსებობს ნივთიერებები, ე. წ. რადიოპროტექტორები, რომელთაც ახასიათებთ მაიონიზებული რადიაციის მავნე ბიოლოგიური მოქმედებისაგან ორგანიზმის დაცვის უნარი. ეს ნივთიერებები მიეკუთვნება ქიმიურ ნაერთთა სხვადასხვა კლასს: ამინომჟავები, სპირტები, ცხიმო-

ვანი მუკებები, ვიტამინები, ანტიბიოტიკები, ჰორმონები, ნემბუტალი, ბარბამილი და სხვ. ისინი იცავენ დაზიანებისაგან როგორც სომატურ, ასევე სასქესო უჯრედებს, მათ შთამომავლობითს ნივთიერებას. სომატურ უჯრედებთან შედარებით დასხივების მავნე ზეგავლენისაგან სასქესო უჯრედების დაცვა გაცილებით ძნელია, ვინაიდან დამცველი ნივთიერების შელწევა სასქესო უჯრედებში შეფერხებულია ორგანიზმის ბარიერული ფუნქციის გამო.

უკანასკნელ წლებში ქართულმა მეცნიერებმა ეს წინააღმდეგობა დაძლიეს და შეიმუშავეს ახალი მეთოდი სასქესო უჯრედების დაცვის მაგნიტური ველის გამოყენებით (რ. ვეფხვაძე, კ. გელაშვილი, ც. გაჩეჩილაძე და სხვ.).

რადიოპროტექტორები განიყოფება ორ ჯგუფად: პირველს მიეკუთვნება ისეთი ნივთიერებანი, რომელთაც ახასიათებთ ხანმოკლე ერთჯერადი მოქმედება. ისინი ორგანიზმში შეყავთ უშუალოდ დასხივების წინ დიდი დოზებით, ხშირად სუბტოქსიკური რაოდენობით და იწვევენ მასში ღრმა ბიოქიმიურ და ფიზიოლოგიურ ძვრებს. მეორე ჯგუფს მიეკუთვნება ე. წ. გახანგრძლივებული მოქმედების ნივთიერებები, რომლებიც დამცველ თვისებას იჩენენ ორგანიზმის დასხივებამდე მათი სისტემატური, ხანგრძლივი გამოყენების შემთხვევაში (ასეთებია, ვიტამინები, ჰორმონები და სხვ.).

რადიოპროტექტორების მოქმედების მექანიზმი ჯერ კიდევ საბოლოოდ დადგენილი არ არის. შესაძლებელია ორგვარი მოქმედება: ან უშუალოდ თვით პროტექტორი ამცირებს სხივის დაზიანებელ ეფექტს, ან იგი ცვლის დასაცავი ობიექტის მგრძობელობას და ხდის მას უფრო რადიორეზისტენტულს. პირველი ჰიპოთეზის მიმდევრები რადიოპროტექტორების მოქმედების მექანიზმის ახსნის ღროს გამომდინარეობენ მაიონიზებული გამოსხივების ბიოლოგიურ ობიექტზე პირდაპირი და არაპირდაპირი მოქმედებიდან: პროტექტორი ურთიერთქმედებს „სამიზნესთან“ (ვთქვათ, ღმ-სთან, რომელიც ქრომოსომული აპარატის ძირითადი სტრუქტურული ელემენტია), წარმოქმნის მდგრად რადიორეზისტენტულ კომპლექსს და შეკავშირების ადგილი თავის თავზე იღებს სხივური ენერგიის ზემოქმედებას, რითაც თვით დეზოქსირიბონუკლეინმუცავს მოლეკულა გადაარჩება დაზიანებას. პროტექტორების მეშვეობით ხდება მნიშვნელოვან ბიოლოგიურ სტრუქტურათა მგრძობიარე ნაწილების (ვთქვათ, სულფჰიდრილური ჯგუფების) ბლოკირება, რის გამოც ისინი აღარ შედიან რეაქციაში წყლის იონიზაცია-რადიოლიზის შედეგად წარმოქმნილ ზეუქანგებთან, რაც ხელს უწყობს წარმოქმნილი რადიკალებისა და იონების რეკომბინაციას. გამორიცხული არ არის აგრეთვე, რომ პროტექტორი შედის რეაქციაში ამ ზეუქანგებთან და იწვევს მათ ინაქტივაციას, რითაც

იცავს ბიოსუბსტრატებს ამ უკანასკნელთა ზემოქმედებისაგან. ზოგ შემთხვევაში რადიოპროტექტორები შთანთქმავს ქსოვილოვან ქანგბადს, იწვევს ადგილობრივ ჰიპოქსიას და ხელს უშლის აქტიური რადიკალების წარმოქმნას.

მეორე ჰიპოთეზის მიხედვით, პროტექტორები ბიოლოგიურ სუბსტრატთან მოქმედებისას წარმოქმნის უჯრედშიგა ნივთიერებებს (ამასთანავე, ეს ნივთიერებები ბუნებრივი ნაერთებია), რომლებიც ჩრდიან ბიოლოგიური ობიექტის რადიორეზისტენტობას. ზოგი ასეთ ნივთიერებებზე მიიჩნევენ გლუტათიონსა და სეროტონინს (ამიტომაც ამ უკანასკნელთ იყენებენ, როგორც რადიოპროტექტორებს).

დადგენილია, რომ განსაკუთრებულად დიდ დამცველ ეფექტს იჩენენ ამინომჟავები, რომლებიც ერთდროულად შეიცავენ სულფჰიდრილურ SH- და ამინო NH<sub>2</sub>- ჯგუფებს — ცისტამინს, ცისტეამინს (მაშასადამე, ორივე ეს ნივთიერება ამინოთიოლია). ამ ჯგუფის რადიოპროტექტორები ზრდის ორგანიზმში ენდოგენური სულფჰიდრილური ჯგუფების რაოდენობასაც, მათ კი დიდი დამცველობითი უნარი ახასიათებთ. ეს დაცვა ხორციელდება ან დაზიანებულ ბიომოლეკულებთან მათი ურთიერთქმედებით (ისინი ამ დაზიანებას აღადგენენ) ან უშუალოდ თვით ქმნიან ბიოლოგიურ ობიექტებში ისეთ პირობებს, რომ დასხივების შედეგად მათში დაზიანება ბოლომდე ვეღარ ვითარდება.

ბიოგენური ამინები, რომლებიც არ შეიცავენ სულფჰიდრილურ ჯგუფებს, — ჰისტამინი, სეროტონინი, მექსამინი და სხვ., ასევე ამჟღავნებენ დასხივების საწინააღმდეგო მოქმედებას, ე. ი. სხივური პროტექტორები არიან. ამ ნივთიერებების მოქმედების მექანიზმი შესაძლებელია ნაწილობრივ დაკავშირებულია მათ მაღალ ფიზიოლოგიურ აქტივობასთან: მათი მოქმედების შედეგად ქსოვილებში ქანგბადის კონცენტრაცია ეცემა, რაც ხელს უშლის სხივური ზემოქმედების პროცესში დამჟანგველი რადიკალების კარბ წარმოქმნას.

დამცველ ნივთიერებებს მიეკუთვნება მერკაპტოეთილამინი (მეა), მერკაპტოპროპილამინი (მპა), მერკაპტოეთილგუანიდინი (მეგ), ამინოეთილიზოთიურონი (აეთ), ამინოპროპილიზოთიურონი (ამპთ), ამინოპროპილამინოეთილიოფოსფატი (აპაეტფ). მეა იწვევს თავის ტვინის ქერქში აგზნებითი პროცესების დაქვეითებას და აძლიერებს შეკავებას.

ცისტამინი და ცისტეამინი წარმოებულია მეა-სგან, კერძოდ, ცისტამინი მეა-ს დისულფიდური ფორმაა — ბეტადიამინოდიეთილსულფიდი, ხოლო ცისტეამინი ბეტამერკაპტოეთილამინია.

გარდა ზემოჩამოთვლილი ნივთიერებებისა, რადიოპროტექტორებს მიეკუთვნება აგრეთვე ცისტეინი, მეთიონინი (გოგირდშემცველი ამინომჟავები), ამბრატინი, RS—10 და სხვ.

რადიოპროტექტორების დამცველი მოქმედება აღინიშნება იმ შემთხვევაში, თუ მათი შეყვანა წინ უსწრებს ორგანიზმის დასხივებას. გამონაკლისია RS—10, რომლის პროტექტორული ეფექტი ვლინდება ორგანიზმის დასხივების შემდეგაც, ე. ი. იგი გვევლინება სამკურნალო საშუალებადაც.

ამჟამად რადიოპროტექტორებიდან, შედარებით ფართოდაა გამოყენებული ცისტამინი, ცისტეამინი, ამბრატინი, RS—10.

### **მაიონიზებული გამოსხივების მოქმედების გამამაღლებელი, ანუ რადიოსენსიბილიზატორები**

არსებობს ნივთიერებები, რომლებიც მაიონიზებული რადიაციის მოქმედებას აძლიერებენ, ზრდიან უჯრედის (ორგანიზმის) მგრძობელობას გამოსხივებისადმი. მათ რადიოსენსიბილიზატორებს უწოდებენ.

მაიონიზებული გამოსხივების მოქმედების გაძლიერებას შეიძლება მივაღწიოთ სხვადასხვა ფიზიკური და ქიმიური მეთოდებით.

ფიზიკურ მეთოდებს ეკუთვნის ადგილობრივი ჰიპერთერმიული და ზოგადი ჰიპოთერმიული მდგომარეობა, დასხივება უჯრედების ჰიპოქსიის პირობებში, უჯრედული ციკლის სინქრონიზაცია.

რადიომგრძობელობის მართვის ქიმიური საშუალებანი იყოფა ორ ჯგუფად: პირველადი რადიაციული დაზიანების გამამაღლებლებად და ნივთიერებებად, რომლებიც მოქმედებენ პოსტრადიაციულ აღდგენაზე.

რადიაციის მოქმედების გაძლიერების მიზნით ფართოდ იყენებენ სხვადასხვა ნივთიერებებს, მაგალითად, მეტოტრექსატს, ჰიდროქსიშარდოვანას, რომლებიც ახდენენ სიმსივნური უჯრედების სინქრონიზაციას ყველაზე მაღალი მგრძობელობის ფაზაში მაიონიზებული გამოსხივების მიმართ. იყენებენ ჰალოგენიზებულ პირიმიდინებს (5-ბრომურაცილს, 5-იოდურიდინს). სინკავიტს, დაკტინომიციტს, ნაფთინოლს (K ვიტამინის სინთეზურ ანალოგს). სინკავიტი აქვეითებს ქანგვავ აღდგენით პროცესებს ისევე, როგორც ცისტეინი, ცისტამინი (რადიოპროტექტორები), რაც მიუთითებს იმაზე, რომ სინკავიტის მოქმედების გამამაღლებელი ეფექტი დამოკიდებული არ არის ქანგვადის ბლოკირების პროცესზე. ამ შემთხვევაში სხვა მექანიზმები უნდა მოქმედებდეს.

დასხივების ეფექტურობის ამალღებას შეიძლება მივალწიოთ ნიტროქსილის თავისუფალი რადიკალებით, ჰემატოპორფირინით, 3—4-ბენზპირენით, იოდაცეტატით და სხვ.

ოქსიშარდოვანა ეკუთვნის იმ პრეპარატებს, რომლებიც მოქმედებენ რადიორეზისტენტულ უჯრედებზე S ფაზაში (დასხივებასთან ერთად). იგი ახდენს ღნმ-ს სინთეზის ინჰიბირებას, რის გამოც უჯრედები ილუპება ამორჩევიტად ღნმ-ს სინთეზის ფაზაში. იგი ამალღებს აგრეთვე იმ უჯრედების რადიომგრძობელობას, რომლებიც მიტოზური ციკლის პრესინთეზურ ფაზაში არიან.

რადიომამოდიფიცირებელი აგენტია აგრეთვე დიჰიდრომონოკალციფოსფატი. ამ ნივთიერების მოქმედების მექანიზმი ცნობილი არ არის. შესაძლებელია ვიფიქროთ, რომ რადგან მონოფოსფატი უჯრედის ბიოენერჯის ერთ-ერთი წყაროა, დიჰიდრომონოკალციფოსფატი ერთვება უჯრედების ნივთიერებათა ცვლის პროცესებში და აძლიერებს რადიაციის მაინჰიბირებელ მოქმედებას.

ნივთიერებებს, რომლებიც ხელს უშლიან პოსტრადიაციულ აღდგენას, მიეკუთვნება 2,4—დინიტროფენოლი, აგრეთვე ის ნივთიერებები, რომლებიც იმიტირებენ ჟანგბადის მოქმედებას და შეიცავენ ნიტროქსილის ჯგუფებს, ანუ ე. წ. სენსიბილიზატორები ელექტრონულაქცეპტორული თვისებებით — მენადიონი, სინკავიტი, მეტრონიდაზოლი.

რადიაციული მოქმედების გამაძლიერებლად გამოყენებულია აგრეთვე ზოგიერთი ვიტამინი, ანტიბიოტიკები — აქტინომიცინი D, მიტომიცინი C, თიოამიცინი, ზლეომიცინი და სხვ.

ყველა ზემოდასახელებულ ნივთიერებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ონკოლოგიურ პრაქტიკაში.

## კომპენსაციური და აღდგენითი პროცესები რადიაციული დაზიანების პირობებში

ისევე, როგორც ყველა სხვა აგენტით გამოწვეული დაზიანების დროს, მაიონიზებელი გამოსხივების მოქმედებით დაზიანებულ ორგანიზმებს აქვს დარღვეული ფუნქციის კომპენსაციისა და აღდგენის უნარი, მაგრამ აღდგენა არ არის სრული, აღინიშნება ნარჩენი მოვლენები. კომპენსაცია ისეთი მქვლენაა, როდესაც დაზიანებული უჯრედები ილუპება, მაგრამ გადარჩენილი უჯრედების პროლიფერაციის ან ფუნქციური გააქტივების ხარჯზე პათოლოგიური ძვრები არ ვითარდება. სუფთა სახით აღდგენა ნიშნავს დაზიანებული უჯრედის შემდგომი ცხოველმყოფელობის პირობებში დასხივებით გამოწვეული ფუნქციური და სტრუქტურული ძვრების ელიმინაციას. მთლიან ორგანიზმსა ან ორგანოში მიმდინარეობს როგორც კომპენსაციური, ასე-



ვე აღდგენითი პროცესები. კლინიკაში აღდგენის ცნებაში, გულისხმობენ აღნიშნული ორი პროცესის ჯამურ ეფექტს.

კომპენსაციური და აღდგენითი პროცესების სისწრაფე სხვადასხვა ცხოველს, ქსოვილს სხვადასხვაგვარი აქვს და გამოიხატება იმ დროით, რომელიც საჭიროა დაზიანებული ფუნქციის 50%-ით აღდგენისათვის. აღდგენითი პროცესის სისწრაფე ყოველი კონკრეტული შემთხვევით განისაზღვრება, ვინაიდან ნებისმიერი ფაქტორი (დოზის სიდიდე, სიმძლავრე და სხვ.), რომელიც გავლენას ახდენს მაიონიზებელი რადიაციით გამოწვეულ ბიოლოგიურ ეფექტზე, მოქმედებს აღდგენითი პროცესის სისწრაფეზე.

თუ თავგს, ვირთავასა და მაიმუნს დავასხივებთ LD<sub>50</sub> დოზით, მათში აღდგენითი პროცესების სისწრაფე შესაბამისად შეადგენს 7,4; 8,5 და 4,8 დღეს, მაგრამ თუ შეიცვლება დასხივების პირობები (დოზის სიმძლავრე, სიდიდე და სხვ.), აღდგენითი სისწრაფე სულ სხვაგვარი იქნება.

### სსივური დაზიანებანი

ორგანიზმზე მაიონიზებელი რადიაციის ზემოქმედებას ყოველთვის თან სდევს დაზიანებული ეფექტი, მაგრამ იმის მიხედვით, თუ როგორი დოზა მოქმედებს, როგორია დასხივებული უბნის მოცულობა, პათოლოგიური პროცესის კლინიკური გამოვლინება სხვადასხვაგვარი იქნება.

არჩევენ ორგანიზმის დაზიანების ზოგად და ადგილობრივ ფორმებს. ზოგადი დაზიანების დროს ვითარდება სხივური დაავადება, ხოლო ადგილობრივი დაზიანება გამოიხატება სხივური რეაქციის განვითარებით, რომელიც ზოგჯერ შესაძლებელია ორგანიზმის ზოგად რეაქციაშიც გადაიზარდოს.

განვიხილოთ სხივური დაზიანებანი.

### სსივური დაავადება

სხივური დაავადება ეწოდება ორგანიზმის ისეთ პათოლოგიურ მდგომარეობას, რომელიც გამოწვეულია მასზე მაიონიზებელი გამოსხივების მოქმედებით. არჩევენ მწვავე და ქრონიკულ სხივურ დაავადებას. თუ მთელ ორგანიზმზე ან მის დიდ ნაწილზე მოქმედებს მაიონიზებელი რადიაციის დიდი დოზა ერთჯერადად ან ხანმოკლე ინტერვალებით (1—4 დღე), მაშინ ვითარდება მწვავე სხივური დაავადება,

რომლის ხანგრძლივობა განისაზღვრება რამდენიმე კვირით, ხოლო თუ ხანგრძლივი დროის განმავლობაში ორგანიზმზე მოქმედებს მათონიშნული გამოსხივების მცირე დოზა, მაშინ ვითარდება ქრონიკული სხივური დაავადება, რომელიც წლობით მიმდინარეობს. სხივური დაავადების გამოწვევა შეიძლება როგორც ელექტრომაგნიტური ბუნების გამოსხივებით — რენტგენისა და გამა-სხივებით, ასევე კორპუსკულური გამოსხივებით — ალფა-, ბეტა-, ნეიტრონული სხივებით. მათ შორის ის განსხვავებაა, რომ რენტგენისა და გამა-სხივებით გამოწვეული დაავადება ვითარდება გარეგანი დასხივების შედეგად, ხოლო თუ ალფა-, ბეტა-, სხივებმა გარეგანად იმოქმედეს, მაშინ სხივური დაავადება კი არ ვითარდება, არამედ — სხივური რეაქცია კანის დამწვრობის სახით. ამ მხრივ გამონაკლისია აჩქარებული ნუკლონები და ელექტრონები. მათი კინეტიკური ენერგია იმდენად შეიძლება გაიზარდოს, რომ შეღწევალობის უნარი და მეორეული გამოსხივების დონე გაუტოლდეს ან აღემატებოდეს კიდევ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების შესაბამის თავისებურებას. ჩვეულებრივ პირობებში ალფა-, ბეტა-ნაწილაკებით სხივური დაავადება ვითარდება იმ შემთხვევაში, თუ მოხდება შინაგანი დასხივება, ანუ როცა ალფა-, ბეტა-გამომსხივებელი მოხვდება ორგანიზმში საკვების, წყლის ან ჰაერის მეშვეობით. რაც შეეხება მალალი ენერგიის მქონე ნეიტრონულ გამოსხივებას, იგი სხივურ დაავადებას იწვევს გარეგანი მოქმედების შედეგად, ისევე როგორც რენტგენისა და გამა-სხივები. ზემოთქმულიდან არ უნდა დავასკვნათ, თითქოს გამა-და ნეიტრონული გამოსხივება შინაგანი დასხივებით არ გამოიწვევს სხივურ დაავადებას. საქმე ის არის, რომ ნეიტრონული გამომსხივებელი რადიოაქტიური იზოტოპი არ არსებობს (ზოგიერთი გამონაკლისის გარდა) და, მაშასადამე, პრაქტიკულად არც მოხდება ორგანიზმის შინაგანი ნეიტრონული დასხივება. ნეიტრონები წარმოიქმნება მხოლოდ ატომური საწვავის ხლეჩის შედეგად რეაქტორებში და ატომური ან თერმობირთვული აფეთქებების დროს. რაც შეეხება გამა-გამოსხივებით შინაგან დასხივებას, სუფთა გამა-გამომსხივებელი იზოტოპი, რომლითაც შესაძლებელია მოხდეს ორგანიზმის ინკორპორირება, თითქმის არ არსებობს. გამა-გამოსხივება თან სდევს ალფა-ან ბეტა-გამოსხივებას, ამიტომაც ხდება ორგანიზმის შინაგანი დასხივება ამ სხივების კომბინაციით და გამა-სხივების მოქმედების შედეგად წარმოქმნილი დოზა ემატება იმ ძირითად დოზას, რომელსაც ალფა- ან ბეტა-სხივების მოქმედება იძლევა.

ამა თუ იმ აგენტის მეშვეობით გამოწვეული სხივური დაავადება ძირითადად წარიმართება ერთნაირად, რაც იმითაა განპირობებული, რომ დაავადების პათოგენეზი ერთნაირია (გამონაკლისია ამა თუ იმ

ორგანოში რადიექტიური ნივთიერებების არჩევითი დაგროვებით გამოწვეული ზოგიერთი შემთხვევა). დაავადების პათოგენეზს საფუძვლად უდევს მაიონიზებული გამოსხივების ბიოსუბსტრატზე მოქმედების შედეგად წარმოქმნილი იონიზაციის პროცესი.

მაიონიზებული გამოსხივების ორგანიზმზე მოქმედების შედეგად წარმოიქმნება პირველადი და მეორეული რეაქციები. პირველადი ბიოლოგიური რეაქცია ის იონიზაცია და ატომებისა და მოლეკულების აგზნებაა, რომლებიც წარმოიქმნება ორგანიზმზე სხივების მოქმედების მომენტში და მათი მოქმედების შეწყვეტასთან ერთად წყდება. ადამიანის სხეულის უმეტესი ნაწილი — 60% წყალია თავისუფალი, ან სტრუქტურული სახით, ხოლო ძირითადი ფიზიოლოგიური პროცესები წყლის ხსნარებსა ან წყლის ფაზაში მიმდინარეობს. ამიტომ ვარაუდობენ, რომ საწყისი ფიზიკურ-ქიმიური ძვრები წყლის იონიზაციაა. იონიზაციის შედეგად წარმოქმნილი რადიკალები ქიმიურად ძლიერ მოქმედია და შედის რეაქციაში ნუკლეინმჟავებთან, ცილებთან, ცხიმებთან, ნახშირწყლებთან, იწვევს მათი ბუნების შეცვლას, დენატურირებას. ეს რადიკალები მოქმედებს ფერმენტებზე, მათ სულფჰიდრილურ ჯგუფებზე, რის გამოც ეს უკანასკნელი კარგავენ თავიანთ პირვანდელ სახეს და ფუნქციას. ახლად წარმოქმნილი ქიმიური ნივთიერებები (დენატურირებული ცილები, ქოლინი, ჰისტამინი, ლიპოტოქსინი და სხვ.), თავის მხრივ, პათოგენური აგენტებია, რომელთა ზემოქმედების, ანუ მეორეული ბიოლოგიური რეაქციის შედეგად უჭრედებში ვითარდება ფუნქციური და სტრუქტურული ცვლილებები.

სხივური დაავადების პათოგენეზი ძლიერ რთულია, ვინაიდან ტოტალურად ზიანდება მთელი ორგანოები და სისტემები. სქემატურად შეიძლება წარმოვიდგინოთ, რომ სხივური დაავადების განვითარების მექანიზმში დიდ როლს ასრულებს სიცოცხლისათვის მნიშვნელოვანი ფუნქციების დაზიანება. კერძოდ, ზემოთ ჩამოთვლილი ფიზიკურ-ქიმიური და ბიოქიმიური პროცესების შედეგად ფერმენტების მოქმედება ითრგუნება, უჭრედების გამავლობა იცვლება; ქსოვილებში ვითარდება უანგბადის უკმარისობა; ირღვევა ნერვული ტროფიკა. ტოქსინების წარმოქმნა და მათი შთანთქმა იწვევს აუტოსენსიბილიზაციას. სხივური დაავადების პათოგენეზში არანაკლები მნიშვნელობა ენიჭება აგრეთვე თირკმელზედა ჯირკვლის ქერქოვანი შრის ნაკლებობას და მთლიანად ადენოჰიპოფიზური სისტემის ფუნქციურ მოშლას.

ზემოჩამოთვლილი პროცესების განვითარების შედეგად ყალიბდება ორგანიზმის პათოლოგიური მდგომარეობა, რომლის კლინიკური გამოხატულება თავს იჩენს სხივური დაავადების სახით.

დღეისათვის მიღებულია, რომ სხივური დაავადების პათოგენეზში წამყვანი ადგილი უჭირავს სისხლძარღვთა გამავლობის დარღვევას და აქტიური შემაერთებელი ქსოვილის ფუნქციის დათრგუნვას, რომელთა შედეგადაც ირღვევა ორგანიზმის ძირითადი სასიცოცხლო ფუნქციები.

როგორც რაპონიხ ქალაქების ხიროსიმისა და ნავასაკის მაგალითებმა გვიჩვენა, მწვავე სხივური დაავადება განსაკუთრებით ხშირია ატომური იარაღის აფეთქებასთან დაკავშირებით. ამ დროს სხივური დაავადება ძირითადად ვითარდება კომბინირებული დაზიანების სახით, ვინაიდან ატომური იარაღის აფეთქებას თან სდევს დარტყმითი ტალღის, ულტრაიისფერი და ინფრაწითელი სხივების მოქმედება, ე. ი. წარმოიქმნება სხეულის მრავალმხრივი დაზიანება-მოტეხილობები, დამწვრობები. გარდა ამისა, თვით სხივური დაზიანებაც კომბინირებული იქნება, რადგან, გარდა გარეგანი დასხივებისა, აღინიშნება ორგანიზმის შინაგანი დასხივება რადიოაქტიური ნივთიერებებით გაბინძურებული საკვების, წყლისა და ჰაერის მეშვეობით. იშვიათად მოსალოდნელია სუფთა ფორმის სხივური დაავადებაც.

სხივური დაავადება სუფთა სახით უფრო ხშირია ავარიული შემთხვევების შედეგად სამეცნიერო-კვლევითს დაწესებულებებში, ბირთვულ რეაქტორებზე, აგრეთვე სხივური თერაპიის არასწორად წარმართვის დროს, როდესაც ხდება სხეულის დიდი ნაწილის დასხივება დიდი დოზებით ორგანიზმის აწეული რადიომგრძობილობის ფონზე.

სხივური დაავადების სიმძიმე დამოკიდებულია იმ დოზაზე, რომელსაც მიიღებს ორგანიზმი: მნიშვნელობა აქვს დოზის სიმძლავრეს, ე. ი. იმ დროს, რომლის განმავლობაშიც მიღებულია ეს დოზა. რაც უფრო მცირეა დრო, რომლის განმავლობაშიც მოხდა მაიონიზებელი გამოსხივების მოქმედება ორგანიზმზე, მით უფრო მძიმედ მიმდინარეობს დაავადება და, პირიქით, რაც უფრო გახანგრძლივებული იქნება დროში მოქმედი დოზა, მით დაავადების სიმძიმე ნაკლები იქნება.

ატომური იარაღის აფეთქების დროს დაავადების სიმძიმე დამოკიდებულია ადამიანის მდგომარეობაზე ეპიცენტრის მიმართ. რასაკვირველია, ყველაფერი ეს დაკავშირებულია ისევ და ისევ მოქმედ დოზასთან, ვინაიდან რაც უფრო ახლოა ეპიცენტრი, მით უფრო მაღალია დასხივების დოზა და, პირიქით, რაც უფრო დაშორებულია ზონა აფეთქების ეპიცენტრს, მით უფრო მცირეა მოქმედი დოზა.

ყოველივე ზემოთქმული მიუთითებს, რომ რაც უფრო მცირეა დასხივების დოზა, მით ნაკლებია დაავადების სიმძიმე. დამოკიდებულება მოქმედ დოზას, დაავადების სიმძიმესა და სიკვდილობის პროცენტს შორის მოყვანილია მე-11 ცხრილში.

სხივური დაავადების სიმძიმისა და ლეტალობის დამოკიდებულება დასხივების დოზაზე (მკურნალობის ფონზე)

გამოსხივების დოზა რენტგენობით	სხივური დაავადების ხარისხი	ლეტალობა
100—200	ძელისტინოვანი ფორმა I (მსუბუქი)	ერთეული შემთხვევები
200—400	II (საშუალო)	20%
400—600	III (მძიმე)	50%
600—1000	IV (ზემძიმე)	50%—100%
1000 და >	V (ელვისებური ფორმები)	100%
1000—5000	კუპ-ნაწლავის ფორმა	100%
5000—10000	ტოქსემიური "	100%
10000—15000	ცერებრული "	100%

ზემომოყვანილი ცხრილიდან ჩანს, რომ არსებობს მწვავე სხივური დაავადების ხუთი ხარისხი: I, ანუ მსუბუქი ხარისხის დაავადება, II, ანუ საშუალო ხარისხის დაავადება, III, ანუ დაავადების მძიმე ხარისხი, IV, ანუ დაავადების ზემძიმე ხარისხი და V ხარისხის, ანუ ელვისებური ფორმა. მწვავე სხივური დაავადების მსუბუქი ფორმა ვითარდება ორგანიზმზე 100—200 რ მოქმედების შედეგად. მეორე ხარისხის, ანუ საშუალო სიმძიმის დაავადება, ვითარდება 200—400 რ მოქმედების შედეგად. მესამე ხარისხის დაავადებას ახასიათებს მძიმე კლინიკური მიმდინარეობა. იგი ვითარდება 400—600 რ მოქმედების დროს. მიღებულია, რომ 400 რ ადამიანის ორგანიზმის დასხივება 50% დასხივებულებში იწვევს სიკვდილს. 600—1000 რ დასხივება იწვევს ზემძიმე ხარისხის მწვავე სხივურ დაავადებას, ანუ IV ხარისხის დაავადებას. აქამდე ადამიანის ორგანიზმის ზოგადი დასხივება 600 რ აბსოლუტურად სასიკვდილოდ იყო მიჩნეული, ე. ი. ყველა შემთხვევაში იგი იწვევდა სიკვდილს. ამჟამად მედიცინა შეიარაღებულია ისეთი ძლიერი სამკურნალო პრესნალით, რომ 600 რ, ზოგ შემთხვევაში მეტიც კი, აღარ არის აბსოლუტური სასიკვდილო დოზა და სათანადო მკურნალობის ჩატარებით შესაძლებელია დაავადება გამოჯანსაღებით დამთავრდეს. აბსოლუტურ სასიკვდილო დოზად დღეისათვის აღიარებულია 1000 რ.

ზემოჩამოთვლილი ოთხი ხარისხის სხივური დაავადების დროს კრიტიკული ორგანოებია სისხლმზადი ორგანოები.

1000-დან 5000 რ-მდე დასხივება იწვევს სხივურ დაავადებას, რომლის სიმპტომატოლოგიაში წამყვანია კუპ-ნაწლავის ტრაქტის პათოლოგია, რის გამოც ირღვევა ელექტროლიტური ბალანსი. დასხივება 5000-დან 10000 რ-მდე იწვევს ცენტრალური ნერვული სისტემისა და მისი მარეგულირებელი ფუნქციების მძიმე, მეორეულ მოშლილობას.

ვითარდება ტრემორი, ატაქსია, კრუნჩხვები, რასაც მოსდევს სიკვდილი. საზოგადოდ, 1000—10000 რ-მდე დასხივება 1—3 დღის განმავლობაში იწვევს სიკვდილს, ხოლო 10000 რ და მეტი დოზით დასხივება იწვევს ცენტრალური ნერვული სისტემის პირველად დაზიანებას, ვითარდება შოკი და სიკვდილი თვით დასხივების პროცესში, ანუ, როგორც მას ხატოვნად უწოდებენ, „სხივის ქვეშ“.

სხივური დაავადება სხვადასხვა ადამიანში სხვადასხვაგვარად მიმდინარეობს. იგი, გარდა დოზის სიდიდისა და სიმძლავრისა, განისაზღვრება ინდივიდუალური მგრძობელობით, ცენტრალური ნერვული სისტემის ფუნქციური მდგომარეობით, ორგანიზმის საერთო მდგომარეობით, ასაკითა და სხვ. ცნობილია, რომ დაძაბუნებული ორგანიზმი უფრო მძიმედ იტანს დაავადებას. ბავშვებსა და მოხუცებში სხივური დაავადება უფრო მძიმედ მიმდინარეობს. ასევე ცნობილია, რომ მთელი ორგანიზმი, მისი ფუნქციური და სტრუქტურული სისტემები, ცალკეული ორგანო, ქსოვილები და უჯრედები მაიონიზებული გამო-სხივების მოქმედებისადმი მით უფრო მგრძობიარენი არიან, რაც უფრო მაღალია მათი ცხოველმყოფელობის დონე დასხივების მომენტში.

კლინიკური მიმდინარეობის მრავალფეროვნების მიუხედავად, მწვავე სხივურ დაავადებაში მაინც შეიძლება შეიმჩნეს ერთგვარი ფაზური მიმდინარეობა. არჩევენ სხივური დაავადების 4 ფაზას: 1. პირველადი, ანუ საწყისი; 2. ლატენტური, ანუ მოჩვენებითი კარგად ყოფნის; 3. დაავადების განვითარების ფაზა, როდესაც მთელი ძალით ყალიბდება დაავადების კლინიკური სურათი; 4. გამოჯანსაღების ფაზა; ზოგ შემთხვევაში შეიძლება გამოიყოს კიდევ მეხუთე ფაზაც, ე. წ. ნარჩენი მოვლენების ფაზა.

პირველი ფაზის დამახასიათებელია ფუნქციური ცვლილებების განვითარება, რის გამოც მას ფუნქციური ცვლილებების განვითარების ფაზას უწოდებენ. დასხივების უახლოეს პერიოდში, ნერვული სისტემის მდგომარეობის მიხედვით, ვითარდება ძილიანობა ან უძილობა, ტაქიკარდია, საერთო სისუსტე, უმადობა, გულის რევვა, თავის ტკივილი, წყურვილი, ცრემლდენა, ნერწყვის გაძლიერებული გამოყოფა, სახის კანის შეწითლება. მოსალოდნელია მოვლენები კუჭ-ნაწლავის ტრაქტის მხრივაც, კერძოდ, დისკინეზია. ამგვარად, ამ პერიოდში აღინიშნება ვეგეტატიურ-ვისცერული ფუნქციის მოშლილობა.

ამ ფაზაში გამოწვეული ცვლილებები ძირითადად განპირობებულია პირველადი რადიაციული ძვრების უშუალო მოქმედებით. გარდა ფუნქციური ცვლილებებისა, I ფაზაში ნახულობენ სისხლის ცვლილებებსაც. კერძოდ, დასხივებიდან 2 საათის შემდეგ პერიფერიულ სისხლში აღინიშნება ლეიკოპენია, რომელიც შთანთქმული დოზის

სიდიდის მიხედვით შეიძლება მკვეთრადაც კი იყოს გამოხატული (2000—3000 ლეიკოციტი 1 მმ<sup>3</sup>). 24 საათის შემდეგ ლეიკოპენია იცვლება ლეიკოციტოზით. ლეიკოციტების რაოდენობამ შეიძლება მიაღწიოს 18—20 ათასს. აღნიშნული დროის შემდეგ ლეიკოციტების რაოდენობა ისევ კლებულობს. როგორც ცნობილია, სხივური დაავადების კლინიკური სურათის გამოხატული მიმდინარეობის დროს კვლავ ლეიკოპენია ვითარდება. იგი უახლოვდება იმ რიცხვებს, რომელიც მე-2 საათზე იყო. ამგვარად, სისხლის მხრივ მე-2 საათის მაჩვენებელს ერთგვარი დიაგნოსტიკური მნიშვნელობა ენიჭება.

I ფაზის ხანგრძლივობას განაპირობებს შთანთქმული დოზის სიდიდე. კერძოდ, შთანთქმული დოზა და დაზიანების ხარისხი საწყისი, ანუ I ფაზის ხანგრძლივობის პროპორციულია: რაც მცირეა დოზა, მით ეს ფაზა ხანმოკლეა და, პირიქით, თუ შთანთქმული დოზა და დაზიანების ხარისხი დიდია, I ფაზის ხანგრძლივობა გადიდებულია.

თუ სხივების მოქმედების შედეგად მძიმე შოკი არ განვითარდა (ე. წ. „სიკვდილი სხივის ქვეშ“, რომლის დროს დაავადების ფაზური მიმდინარეობა წაშლილია, ყველაფერი ერთი ფაზით თავდება და ადამიანი იღუპება), ავადმყოფის ზოგადი მდგომარეობა უმჯობესდება, იგი თავს უკეთ გრძნობს, ჩივილი აღარა აქვს. დგება II ფაზა — მოჩვენებითი კარგად ყოფნის პერიოდი, რომელიც რამდენიმე დღიდან შეიძლება 2—4 კვირაც კი გაგრძელდეს. ამ ფაზის ხანგრძლივობა შთანთქმული დოზის უკუპროპორციულია.

მართალია, ამ დროისათვის ფუნქციური ცვლილებები კლებულობს, შესაძლებელია სრულიადაც გაქრეს, მაგრამ ობიექტურად ამ პერიოდში ნახულობენ გარკვეულ ცვლილებებს სისხლისა და ძვლის ტვინის მხრივ, კერძოდ, გამოხატულია ლეიკოპენია და ძვლის ტვინის მიელოიდური ჩგუფის უჭრედების რაოდენობრივი და ხარისხობრივი ცვლილებები.

მოჩვენებითი კარგად ყოფნის ფაზა ის პერიოდია, როცა დასხივების შედეგად ორგანიზმში ვითარდება ფიზიკურ-ქიმიური, ქიმიური, ბიოქიმიური და ბიოლოგიური ძვრები.

მეორე ფაზის შემდეგ დგება მესამე პერიოდი. ის რაოდენობრივი ძვრები, რომლებიც მეორე ფაზაში განვითარდა, იძლევა თვისებრივ ცვლილებებს: სხივური დაავადება ვლინდება მთელი სიძლიერით. ის ფუნქციური ხასიათის მოვლენები, რომლებიც ავადმყოფს I ფაზაში ჰქონდა, კვლავ იჩენს თავს და აღწევს კულმინაციას. ამას თან ერთვის მეორეული ინფექცია და ამით გამოწვეული ცვლილებები.

სხივური დაავადების დროს ძირითადად ვლინდება ნერვული სისტემის, კუჭ-ნაწლავის ტრაქტის, სისხლისა და სისხლმზადი ორგანოების მხრივი მოვლენები.

ავადმყოფი მივარდნილია, აღინიშნება სისუსტე, თავბრუ, თავის ტკივილი, გულის რევა, ღებინება. შესაძლებელია ცნობიერება დაბინდული ჰქონდეს, ავადმყოფი იძლევა არაადეკვატურ პასუხებს, მასთან კონტაქტში შესვლა გაძნელებულია, ობიექტურად აღინიშნება სტატიკის დარღვევა, ნისტაგმი, პათოლოგიური რეფლექსები.

კუჭ-ნაწლავის ტრაქტის მხრავ აღინიშნება კუჭის ჭირკვლების სეკრეციის დაქვეითება, გულისრევა, ღებინება, რომელიც შემდეგ სისხლიანი ხდება. აგრეთვე სისხლიანი ფაღარათობა. ორგანიზმი ღარიბდება სითხითა და მარილებით. კუჭ-ნაწლავის ტრაქტში შეწოვის პროცესი დარღვეულია, რის გამოც მოშლილია ორგანიზმის კვება, ვითარდება უარყოფითი აზოტური ბალანსი.

მესამე პერიოდისათვის განსაკუთრებით დამახასიათებელია ჰემორაგიული სინდრომის განვითარება: მრავლობითი სისხლჩაქცევები კანში, ლორწოვან გარსებსა და შინაგან ორგანოებში, უმეტესად კუჭ-ნაწლავის ტრაქტის გაყოლებით; პროფუზული სისხლის დენა საშვილოსნოდან, კუჭ-ნაწლავის ტრაქტიდან, ცხვირიდან, ღრძილებიდან, პირის ღრუს ლორწოვანი გარსებიდან. პეტეჩიები ზოგჯერ დიდ უბნებს იკავებს; ვითარდება წყლულოვან-ნეკროზული პროცესები.

სისხლჩაქცევების მექანიზმი აიხსნება როგორც თვით სისხლის ცვლილებებით (თრომბოციტების რაოდენობის შემცირება, შედეგების უნარის დარღვევა), ასევე სისხლძარღვების კედლის დაზიანებით (კაპილარების გამავლობის გაზრდა, კედლის ტროფიკული პროცესის დარღვევა და სხვ.).

ამავე პერიოდში პერიფერიულ სისხლში როგორც ლიმფოციტების, ასევე ნეიტროფილების ხარჯზე გამოხატულია ძლიერი ლეიკოპენია. რაც უფრო შდომე მიმდინარეობისაა დაავადება, მით უფრო მკვეთრადაა გამოხატული ლეიკოპენია. ლეიკოციტების რიცხვი შესაძლოა შემცირდეს 100—200-მდე 1 მმ<sup>3</sup>-ში.

სისხლში კლებულობს ერითროციტების რაოდენობაც, თუმცა ანემიის ნიშნები უფრო მოგვიანებით ვლინდება. მესამე პერიოდის დასაწყისში რეტიკულოციტების რაოდენობა მომატებულია, რაც მიუთითებს ძვლის ტვინის გაღიზიანებაზე; ხოლო შემდგომში მათი რაოდენობაც კლებულობს. ტერმინალურ პერიოდში ერითროციტებისა და ჰემოგლობინის რაოდენობა მკვეთრად მცირდება. თუ ასეთი სურათი ფაზის დასაწყისშივე აღინიშნება, იგი ძლიერ დაზიანებაზე მიუთითებს და ცუდი პროგნოზული მნიშვნელობა აქვს. მცირდება აგრეთვე თრომბოციტების რაოდენობაც. მიმომე შემთხვევებში მათი რიცხვი ერთეულებამდე კლებულობს.

გარდა რაოდენობრივი ცვლილებებისა, სისხლში გამოხატული



თვისებრივი ცვლილებაა: უჯრედების დაშლა, პიკნოზი, ტოქსიკურა მარცვლოვანობა და სხვ.

სისხლში განვითარებული ცვლილებების ძირითადი მიზეზია სისხლმბადი ორგანოების დაზიანება. ზიანდება როგორც ლიმფოიდური ქსოვილი, ასევე ძვლის ტვინი. ამასთანავე, უფრო ნადრეველ ზიანდება ლიმფოიდური ქსოვილი. სამაგიეროდ, აღდგენითი პროცესების დროს ლიმფოიდური ქსოვილი უფრო მალე აღდგება ძვლის ტვინთან შედარებით, რის გამოც გამოჩანს აღდგენის პერიოდში პერიფერიულ სისხლში ლიმფოციტების რაოდენობა უფრო სწრაფად მატულობს, ვიდრე გრანულოციტებისა.

შინაგანი ორგანოების ფუნქცია დარღვეულია: გულ-სისხლძარღვთა სისტემის მხრივ აღინიშნება ტაქიკარდია, გულის საზღვრების გაგანეირება, ტონების მოყრუება, მწვერვალზე ისმის სისტოლური შუილი. ელექტროკარდიოგრამა უჩვენებს გულის კუნთის დისტროფიულ ცვლილებებს. არტერიული წნევა დაქვეითებულია.

დარღვეულია თირკმლების გამომყოფი ფუნქცია, რის გამო მოგვიანებით პერიოდში აზოტემია ვითარდება.

ცვლილებები ხდება ყველა ორგანოსა და ორგანოთა სისტემაში, მათ შორის შინაგანი სეკრეციის ჯირკვლებშიც. გამოხატულია აგრეთვე ტროფიკული ცვლილებები: თმების ცვენა, კანის სიმშრალე, აქერცვლა.

ბიოქიმიური ცვლილებებიდან აღსანიშნავია შაქრის მომატება და ცილების დაკლება სისხლში, ჰიპოქოლესტერინემია და ქლორიდების შემცირება.

სისხლწარმოქმნის პროცესების ძლიერი დაზიანების შედეგია ორგანიზმის წინააღმდეგუნარიანობის დაქვეითება. ქვეითდება ორგანიზმის იმუნობიოლოგიური თვისებები, რის გამოც ინფექცია ადვილად იკიდებს ფეხს. ინფექციის პირველადი კერაა ის მრავალრიცხოვანი წყლულოვან-ნეკროზული უბნები, რომლებიც მრავლადაა ლორწოვან გარსებზე. სეფსისის განვითარებას, იმუნური წინააღმდეგობის დაქვეითებასთან ერთად, ხელს უწყობს ის, რომ ქსოვილთა გამავლობა გაზრდილია, ბაქტერიები თავისუფლად გადის ნაწლავთა ტრაქტიდან. ამგვარად, ორგანიზმის წინააღმდეგუნარიანობის დაქვეითება, სეფსისური კერების არსებობა, ნაწლავთა კედლის გამავლობის ზრდა და სისხლში ბაქტერიების მოხვედრა იწვევს კლინიკურად სეფსისური სურათის განვითარებას. მაღალი, ჰექტიკური ტემპერატურით, რაც თავისთავად კიდევ უფრო აძაბუნებს ისედაც დასუსტებულ ორგანიზმს.

აღწერილი კლინიკური სურათი ეხება სხივური დაავადების მძიმე ფორმას. საშუალო და მსუბუქი ფორმების შემთხვევაში მოვლენები

ნაკლებადა გამოხატული. განსაკუთრებით სისხლმბადი ორგანოებისა და პერიფერიული სისხლის მხრივ.

სხივური დაავადების დროს ლეტალობის მიზეზი ძირითადად მეორეული ინფექციაა — ფილტვების ანთება, სეფსისი და სხვ., ან მძიმე ჰემორაგიული სინდრომი. მესამე ფაზის ხანგრძლივობა 3—4 კვირაა. დაავადების სიმძიმის ზრდასთან ერთად ეს ფაზა უფრო ხანმოკლეა და სწრაფად მთავრდება ლეტალობით.

მეოთხე ფაზა გამოჩანმრთელების პერიოდია: ის მოვლენები, რომლებიც მესამე ფაზაში იყო გამოხატული, თანდათანობით ცხრება. ზოგადი მდგომარეობა უმჯობესდება, ტემპერატურა კლებულობს, სისხლის სურათი გამოსწორდება, ჰემორაგიული სინდრომი კლებულობს, და, ბოლოს, ქრება. ავადმყოფი თანდათანობით გამოჩანმრთელდება.

გამოჩანმრთელების პერიოდში შესაძლებელია აღინიშნოს მეორეულ ინფექციასთან დაკავშირებული რეციდივები.

დაავადების მეოთხე პერიოდი გრძელდება რამდენიმე თვეს. რაც უფრო მძიმეა დაზიანების ხარისხი, მით ეს პერიოდი უფრო ხანგრძლივია. დამოკიდებულება დაავადების სიმძიმესა და ხანგრძლივობას შორის II და III ხარისხის მწვავე სხივური დაავადების დროს მოყვანილია მე-12 ცხრილში.

ზოგ შემთხვევაში არ ხდება სრული\* გაჯანსაღება და დიდი ხნის განმავლობაში, ზოგჯერ წლობით, შესაძლებელია, აღინიშნებოდეს ნარჩენი მოვლენები ცენტრალური ნერვული სისტემის, პერიფერიული სისხლის მხრივ და სხვ. დაავადება ქრონიკულ ფორმას ღებულობს. ამ პერიოდს ნარჩენი მოვლენების ფაზა, ანუ მეხუთე ფაზა ეწოდება. ზოგჯერ მას გამოყოფენ, როგორც შორეული შედეგების პერიოდს. ამ დროს აღინიშნება შრომისუნარიანობის, ინფექციების მიმართ ორგანიზმის წინააღმდეგუნარიანობის დაქვეითება, მეხსიერების დარღვევა, სტერილობა, ნაადრევი სიბერე, თმის ცვენა, კატარაქტა, სიცოცხლის ხანგრძლივობის შემცირება, ავთვისებიანი სიმსივნეების განვითარება.

პერიფერიული სისხლის სურათს ახასიათებს ლაბილობა: ლეიკოციტების რაოდენობა ცვალებადობის დაბალი დონის ფარგლებში, ზოგჯერ კი ვითარდება მყარი ლეიკოპენია (ნეიტროპენია). რეტიკულოციტების რიცხვიც ცვალებადობს; მეორეული ანემია ვითარდება.

შორეული პერიოდის ერთ-ერთი უმძიმესი გართულებაა გენეტიკური ეფექტი. თუ არ განვითარდა მუდმივი სტერილობა და აღდგა რეპროდუქციის უნარი, მაშინ მომდევნო თაობებში თავს იჩენს გენეტიკური ცვლილებები, რომლებიც თაობიდან თაობას გადაეცემა. ეს ცვლილებები ადამიანებში უარყოფითი ხასიათისაა: სხვადასხვაგვარი ფიზიკური სიმახინჯე, გონებრივი განვითარების ჩამორჩენილობა,

ფსიქიკური დაავადება, ლეიკემია და სხვა სახის ავთვისებიანი დაავადებები. მატულობს აგრეთვე მკვეთრად შობილთა რიცხვი. ყველაფერი ეს დიდ საშიშროებას უქმნის კაცობრიობის მომავალს.

ყოველივე ზემოთქმული ნათლად გვიხატავს ატომური იარაღის გამოყენების საშიშროებას. იგი საშიშია არა მარტო თავისი უახლოესი შედეგებით, არამედ არანაკლებ და, შესაძლებელია, უფრო მეტადაც მოქმედების შორეული შედეგებით. ამიტომაც საბჭოთა მთავრობა და მთელი პროგრესული კაცობრიობა ასე დაბეჯითებით მოითხოვს ატომური იარაღის გამოცდისა და გამოყენების აკრძალვას.

ძალიან მძიმე ფორმის სხივური დაავადება სწრაფად, ელვისებურად ვითარდება. დაავადების ფაზური ხასიათი წაშლილია, არ არის ე. წ. მოჩვენებითი გამოჯანსაღების პერიოდი. პირველი ფაზის დაწყებისთანავე. მოვლენები ერთბაშად ძლიერდება და აღწევს კულმინაციას. განსაკუთრებით გამოხატულია სიმპტომები ცენტრალური ნერვული სისტემის მხრივ — თავის ძლიერი ტკივილი, მენინგეალური სიმპტომები, აგზნებადობა, კრუნჩხვები. ასევე ძლიერადაა გამოხატული სიმპტომები კუჭ-ნაწლავის ტრაქტის მხრივაც: შეუჩერებელი ღებინება და ფალარათობა. ავადმყოფი სწრაფად კარგავს ცნობიერებას. ირღვევა ელექტროლიტური ბალანსი, გულ-სისხლძარღვთა ტონუსი და არტერიული წნევა ეცემა. ავადმყოფი იღუპება სწრაფად — 1—3 დღეში ისე, რომ ვერც ჰემორაგიული სინდრომი და ვერც მეორეული ინფექცია განვითარებას ვერ ასწრებს. 1000-დან 5000 რ-მდე მოქმე-

ცხრილი 12

II და III ხარისხის მწვავე სხივური დაავადების კლინიკური მიმდინარეობის ხანგრძლივობა ფაზების მიხედვით

	ფაზები	ხ ა ნ გ რ ძ ლ ი ვ ო ბ ა	
		III ხარისხი	II ხარისხი
1	დასაწყისი პერიოდი	3 დღემდე	არა უმეტ. 1 დღე
2	მოჩვენებითი კარგად ყოფნის პერიოდი	5—10 დღემდე	10—15 და > დღე (3 კვირამდე)
3	დაავადების განვითარების პერიოდი	3—4 კვირა	2—3 კვირა
4	გამოჯანსაღების პერიოდი	რამდენიმე თვე (წ-დე)	2—3 თვე

დების დროს ცენტრალური ნერვული სისტემის დაზიანებასთან ერთად. ყურადღებას იპყრობს ძლიერ გამოხატული სიმპტომები კუჭ-ნაწლავის ტრაქტის მხრივ, ხოლო 5000 რ-ზე მეტი დოზით მოქმედების დროს ვითარდება მოვლენები ცენტრალური ნერვული სისტემის მხრივ. ავადმყოფები იღუპებიან გულ-სისხლძარღვთა სისტემის მწვავე ნაკლებობის მოვლენებით, შოკით.

ორგანიზმში მოხვედრილი რადიოაქტიური ნივთიერებით გამოწვეულ სხივურ დაავადებას ძირითადად ისეთივე კლინიკური მიმდინარეობა ახასიათებს, როგორც გარეგანი დასხივებით გამოწვეულ სხივურ დაავადებას. მაგრამ მას აქვს ზოგიერთი თავისებურება. პირველ ყოვლისა, აღსანიშნავია, რომ კლინიკურ სურათს უფრო დიდი პოლიმორფიზმი ახასიათებს. ასეთი მრავალფეროვნების მიზეზია ის, რომ სხვადასხვა რადიოაქტიური ნივთიერება ორგანიზმში სხვადასხვაგვარად განაწილდება, ვინაიდან ყოველ რადიოაქტიურ ნივთიერებას თავისი გარკვეული ტროპიზმი ახასიათებს. იმისდა მიხედვით, თუ სად ხდება რადიოაქტიური ნივთიერების უმეტესი, ჰარბი დაგროვება, ე. ი. რომელი ორგანო განიცდის ყველაზე მეტი დოზით დასხივებას, დაავადების წამყვანი სიმპტომები ამ ორგანოს დაზიანებიდან იქნება გამომდინარე. მაშასადამე, კრიტიკული ორგანოს სიმპტომატიკა განაპირობებს კლინიკური სურათის ხასიათს. მაგალითად, რადიოაქტიური იოდისათვის კრიტიკული ორგანოა ფარისებრი ჯირკვალი. მაშასადამე, რადიოაქტიური იოდით გამოწვეული სხივური დაავადება წარმართება ფარისებრი ჯირკვლის დაზიანების, კერძოდ, ჰიპოთირეოზის ფონზე.

ისეთი რადიოაქტიური ელემენტი, როგორცაა პოლინიუმი, ორგანიზმში შეყვანის შემდეგ გროვდება თირკმელებში და იწვევს მის ხანგრძლივ დასხივებას, ამიტომ, ამ ორგანიზმში ელემენტის ინკორპორირების შემთხვევაში დაავადების წინა პლანზე წამოწეული იქნება თირკმლის ფუნქციის მოშლილობის სიმპტომები.

რადიოაქტიური აირებით, მაგალითად, რადონით, დაზიანების შემთხვევაში სხივური დაავადების ფონზე გამოიხატება სასუნთქი სისტემის გაღიზიანების მოვლენები, რადგან ორგანიზმში ამ აირების მოხვედრა და გამოყოფა სასუნთქი გზების მეშვეობით ხდება.

არსებობს ისეთი რადიოაქტიური ელემენტები, რომლებიც ორგანიზმში მოხვედრის შემდეგ თანაბრად ნაწილდებიან მთელ სხეულში (მაგალითად, რადიოაქტიური ნატრიუმი  $^{24}\text{Na}$ ). ასეთი რადიოაქტიური ელემენტებით გამოწვეული დაავადება შედარებით უფრო უახლოვდება გარეგანი დასხივებით გამოწვეულ დაავადებას.

მე-13 ცხრილში მოყვანილია იზოტოპების კლასიფიკაცია. მათი ორგანიზმში განაწილების მიხედვით.

რადიოაქტიური ელემენტების ინკორპორირებით გამოწვეული სხივური დაავადების მეორე თავისებურებაა დაავადების არამკაფიო, წაშლილი პირველი ფაზა. დაავადება არ იწყება ერთბაშად, ჩამოყალიბებული სიმპტომატიკით, როგორც ეს ხდება გარეგანი დასხივების პირობებში.

იზოტოპების კლასიფიკაცია ორგანიზმში მათი განაწილების მიხედვით

- I — თანაბარი განაწილების: ტრიტიუმი, ნატრიუმი, ნახშირბადი, ცეზიუმი და სხვ.
- II — ოსტეოტროპული იზოტოპები: ფოსფორი, სტრონციუმი, რადიუმი, პლუტონიუმი და სხვ.
- III — რეტეკულურ-ენდოთელურ ქსოვილში: ოქრო, რუთენიუმი, პოლონიუმი და სხვ.
- IV — ფარისებრ ჭირკვალში: იოდი, ასტატინი, პლატინა და სხვ.
- V — სისხლის უჯრედებში: ღარიშხანი, რკინა, კობალტი, პოლონიუმი და სხვ.

მესამე თავისებურებაა ის, რომ შინაგანი დასხივებით გამოწვეულ სხივური დაავადების დროს უფრო დიდხანს გრძელდება ნარჩენი მოვლენები, განსაკუთრებით მაშინ, თუ ამ ნივთიერების ფიზიკური, ბიოლოგიური და ეფექტური ნახევარდაშლის პერიოდები დიდია.

მეოთხე თავისებურებაა იზოტოპების ინკორპორირების დროს დაავადების ქრონიკულ ფორმაში გადასვლის სიხშირე.

რადიოაქტიური ნივთიერებებით გამოწვეული დაავადების სიმძიმის ხარისხი იმავე მიზეზებზეა დამოკიდებული, რაც განხილული იყო გარეგანი დასხივებით გამოწვეულ სხივური დაავადების შემთხვევაში, კერძოდ, დოზის სიდიდებზე, სიმძლავრეზე, ორგანიზმის ზოგად მდგომარეობაზე, ცენტრალური ნერვული სისტემის მდგომარეობაზე და სხვ. მაგრამ არსებობს მიზეზები, რომლებიც მხოლოდ ორგანიზმში რადიოაქტიური იზოტოპების ინკორპორირების შემთხვევაშია დამახასიათებელი. ერთ-ერთზე უკვე ვილაპარაკეთ: ეს არის რადიოაქტიური ელემენტთა არჩევითი დაგროვება.

შემდეგ განმასხვავებელ მექანიზმს განაპირობებს გამოსხივების სპექტრი. ცნობილია, რომ ალფა-სხივებს იონიზაციის მაღალი სიმჭიდროვე ახასიათებს, ხოლო ბეტა- და გამა-სხივებს იონიზაციის სიმჭიდროვე ბევრად დაბალი აქვს. ცნობილია აგრეთვე, რომ ბიოლოგიური ეფექტი გამომსხივებლის იონიზაციის სიმჭიდროვეზეა დამოკიდებული. სწორედ ამასთან დაკავშირებითაა შემოღებული ბიოლოგიური ეფექტურობის კოეფიციენტი. ალფა-სხივის ბიოლოგიური ეფექტურობის კოეფიციენტი უდრის 10-ს, ხოლო ბეტა- და გამა-სხივებისა — 1-ს, ამიტომაც, თუ ორგანიზმში მოხვდება ალფა-გამომსხივებელი ელემენტი, მის მიერ გამოწვეული დაავადების სიმძიმე, იმავე დოზის ბეტა-, გამა-გამომსხივებელთან შედარებით, გაცილებით უფრო ღრმა იქნება.

შნიშვნელობა აქვს რადიოაქტიური ნივთიერების ფიზიკურ-ქიმიურ მდგომარეობას. მაგალითად, აირივანი ნივთიერებები უფრო ადვილად იწვევს დაზიანებას, ვიდრე აეროზოლები. რადიოაქტიური მტკრით

გამოწვეული დაავადებისას მნიშვნელობა აქვს მტვრის ნაწილაკის სიდიდეს. რაც უფრო მცირეა მტვრის ნაწილაკი, მით უფრო საშიშია იგი დაავადების განვითარების თვალსაზრისით. მსხვილი ნაწილაკების ამოხველება ადვილია და პროცესი ძირითადად შემოიფარგლება ადგილობრივი რეაქციის სახით.

ქიმიური თვისებებიდან უნდა აღენიშნოთ იმ ნაერთის pH, რომლითაც ხდება ორგანიზმის დაბინძურება, ვინაიდან pH-ს დიდი მნიშვნელობა აქვს ამა თუ იმ რადიოაქტიური ნივთიერების შეწოვის პროცესში.

დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მტარებელი ნივთიერების რაოდენობას. საზოგადოდ, ცნობილია, რომ თუ მტარებელი ნივთიერების რაოდენობა დიდია, იგი ერთგვარ „კონკურენციას“ უწევს რადიოაქტიურ ელემენტს კრიტიკულ ორგანოში დაგროვებისას, რის გამოც ამ უკანასკნელში რადიოაქტიური ნივთიერების დაგროვების შესაძლებლობა მცირდება.

ცნობილია აგრეთვე, რომ ნახევარდაშლის პერიოდის ხანგრძლივობას გარკვეული მნიშვნელობა აქვს დაავადების განვითარების დროს. მაგალითად, რაც უფრო ხანმოკლეა ნახევარდაშლის პერიოდი, მით ნაკლებ ტოქსიკურია იგი. ზოგიერთი იზოტოპის ნახევარდაშლის პერიოდები (ფიზიკური, ბიოლოგიური და ეფექტური) მოცემულია მე-14 ცხრილში.

ც ხ რ ი ლ ი 14

ზოგიერთი იზოტოპის T (დღეები)

იზოტოპი	T ფიზიკ.	T ბიოლოგ.	T ეფექტ.
$^{24}\text{Na}$	0,63	11	0,8
$^{32}\text{P}$	14,3	257	13,5
$^{90}\text{Sr}$	10 <sup>4</sup>	$1,3 \cdot 10^4$	$5,7 \cdot 10^4$
$^{131}\text{I}$	8,06	8	7,6
$^{137}\text{Cs}$	$1,1 \cdot 10^4$	100 - 120	100
$^{239}\text{Pu}$	$8,9 \cdot 10^6$	$6,5 \cdot 10^4$	$6,4 \cdot 10^4$

მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე რადიოაქტიური ნივთიერების ორგანიზმში მოხვედრის გზებსაც. რადიოაქტიური ნივთიერებანი ორგანიზმში შეიძლება მოხვდეს სასუნთქი, საკმლის მომწელებელი, სისხლისა და კანის გზით. არსებობს ისეთი რადიოაქტიური ელემენტები, რომლებიც დაუზიანებელი კანის მეშვეობითაც კი ხვდებიან ორგანიზმში, მაგალითად, რადონი და რადიუმი. ყველაზე საშიში გზაა სისხლით მოხვედრა (დაზიანებული კანი, კრილობები და სხვ.). შედარებით ნაკლებ ტოქსიკურია სასუნთქი და კუჭ-ნაწლავის ტრაქტით მოხვედრა.

ორგანიზმში მოხვედრის გზებთან ერთად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება იზოტოპის რეზორბციის კოეფიციენტს (ცხრილი 15). კუჭ-ნაწლავის ტრაქტიდან მოხვედრის შემთხვევაში ყველაზე მაღალი რეზორბციის კოეფიციენტი აქვს ნატრიუმ-24-ს, იოდ-131-სა და ცეზიუმ-137-ს.

ცხრილი 15

ზოგიერთი იზოტოპის რეზორბციის კოეფიციენტი

იზოტოპი	შეყვანის გზა	რეზორბციის კოეფიციენტი
$^{24}\text{Na}$	კუჭ-ნაწლავის ტრაქტი	1,0 (100%)
$^{32}\text{P}$	"	0,75 (75%)
$^{80}\text{Sr}$	"	0,2 (20%)
$^{131}\text{I}$	"	1,0 (100%)
$^{137}\text{Cs}$	"	1,0 (100%)
$^{239}\text{Pu}$	"	0,001 (0,1%)

ანალოგიური მნიშვნელობა აქვს გამოყოფის გზებსაც (ცხრილი 16). ის ორგანოები უფრო მეტად ზიანდება, რომელთა საშუალებითაც გამოიყოფა ესა თუ ის რადიოაქტიური ელემენტი. მაგალითად, პოლონიუმი გამოიყოფა თირკმლების გზით, რაც ადგილობრივად ზრდის მის კონცენტრაციას და თირკმლების დაზიანების შესაძლებლობას. რადიოაქტიური ნივთიერებების გამოყოფა ხდება ყველა ბუნებრივი გამომყოფი გზის: კუჭ-ნაწლავის, ფილტვების, საშარდე გზე-

ცხრილი 16

ზოგიერთი იზოტოპის T ბიოლოგ. და გამოყოფის ძირითადი გზები

იზოტოპი	T ბიოლოგ. (დღეები)	თირკმლებითა და კუჭ-ნაწლავით გამოყოფის შეფარდება
$^{24}\text{Na}$	11	101—1001
$^{32}\text{P}$	257	51—501
$^{80}\text{Sr}$	13000	12—110
$^{131}\text{I}$	8	101
$^{137}\text{Cs}$	100—120	21—101
$^{239}\text{Pu}$	$6,5 \cdot 10^4$	110—120

ბის საშუალებით. აგრეთვე რძითა და ოფლით. პარენტერალურად მოხვედრილი რადიოაქტიური ნივთიერებები გამოიყოფა საშარდე გზებით. ის რადიოაქტიური ელემენტები, რომლებიც ორგანიზმში პერორალურად მოხვდებიან, გამოიყოფიან ძირითადად კუჭ-ნაწლავის ტრაქტით, ხოლო აიროვანი ნივთიერებები — სასუნთქი გზების მეშვეობით.

შესაძლებელია ორგანიზმში არსებობდეს ზოგიერთი რადიაქტიური ნივთიერება, მაგრამ არ გამოიყოს. ეს ისეთი ელემენტებია, რომელთაც ნახევარდაშლის დიდი პერიოდი აქვთ და რომლებიც აქტიურად არ მონაწილეობენ ორგანიზმის ნივთიერებათა ცვლაში, მაგალითად, ურანი, რადიუმი და სხვ.

შინაგანი დასხივებით გამოწვეული სხივური დაავადების ხანგრძლივობა დამოკიდებულია რადიაქტიური ნივთიერების ორგანიზმში დაყოვნებასა და ორგანიზმიდან გამოყოფის სისწრაფეზე.

### ცხრილი 17

ზოგიერთი რადიაქტიური იზოტოპის

შეფარდებითი კანცეროგენობა

იზოტოპი	შეფარდებითი კანცეროგენობა
$^{32}\text{P}$	0,0007
$^{86}\text{Sr}$	0,01
$^{90}\text{Sr}$	0,02
$^{210}\text{Po}$	1
$^{226}\text{Ra}$	1
$^{232}\text{U}$	4
$^{233}\text{U}$	1
$^{238}\text{Pu}$	5

რადიაქტიური ნივთიერებებით გამოწვეული დაზიანების დროს მხედველობაში მისაღებია მათი პირდაპირი, ანუ ადგილობრივი და არაპირდაპირი, ანუ რეფლექსური მოქმედება. პირდაპირია მოქმედება, რომელიც ვლინდება იმ ორგანოს დაზიანების სახით, რომელშიც რადიაქტიური ელემენტი დაგროვდა და დაასხივა. რეფლექსურია ის მოქმედება, რომელიც რეფლექსურად მოჰყვება ამ ორგანოს დაზიანებას ორგანიზმის ზოგადი რეაქციის სახით.

მაგისი კანცეროგენული ეფექტის თვალსაზრისით განსაკუთრებულ ყურადღებას იქცევს ორგანიზმში იზოტოპების მოხვედრა. შედარებით მაღალი კანცეროგენობა ახასიათებს: პლუტონიუმს-239, ურანს-232, პოლონიუმს-210, რადიუმს — 226, ურანს — 233.

### ქრონიკული სხივური დაავადება

ქრონიკული სხივური დაავადება ვითარდება ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში მაიონიზებული გამოსხივების მცირე დოზების ორგანიზმზე მოქმედების შედეგად. იგი ძირითადად, გვხვდება, როგორც პროფესიული დაავადება, რომლის განვითარების მიზეზი კი უსაფრთხოების წესების დაუცველობაა. ასეთ პირობებში შესაძლებელია დასხივების დოზამ გადააჭარბოს დასაშვებს და განვითარდეს ქრონიკული სხივური დაავადება.

ზოგიერთი ონკოლოგიური დაავადების სხივური მკურნალობის დროსაც შესაძლებელია განვითარდეს ქრონიკული სხივური დაავადება, მაგრამ მისი სიმპტომატიკა იმალება ძირითადი დაავადების კლინიკურ სურათში.



ქრონიკული სხივური დაავადება შეიძლება შეგვხვდეს აგრეთვე, როგორც მწვავე სხივური დაავადების შედეგი. ამ შემთხვევაში იგი მეორეულად განვითარებული დაავადებაა.

ქრონიკული სხივური დაავადება ვითარდება როგორც ორგანიზმის მცირე დოზებით გარეგანი დასხივებით ხანგრძლივი დროის განმავლობაში, ასევე ორგანიზმში რადიაქტიური იზოტოპების სისტემატური მოხვედრის შედეგად. შესაძლებელია ქრონიკული სხივური დაავადება გამოიწვიოს რადიაქტიური იზოტოპის ერთჯერადმა მოხვედრამაც. ეს ისეთ შემთხვევაში, თუ იზოტოპი დიდხანს ჩერდება ორგანიზმში, დიდი ნახევარდაშლის პერიოდი აქვს, რითაც განაპირობებს ორგანიზმის ხანგრძლივ დასხივებას.

ქრონიკული სხივური დაავადება, ისევე როგორც მწვავე სხივური დაავადება, მთლიანი ორგანიზმის დაავადებაა. ვითარდება სიმპტომები ცენტრალური ნერვული სისტემის, კუჭ-ნაწლავის ტრაქტის, პერიფერიული სისხლის, გულ-სისხლძარღვთა სისტემის, თირკმლების, ენდოკრინული სისტემისა და სხვა ორგანოთა მხრივ.

მწვავე სხივური დაავადებისაგან განსხვავებით, ქრონიკული სხივური დაავადების განვითარებისას არ არსებობს საწყისი ფაზა, ანუ საწყისი სიმპტომების ფაზა. დაავადება ვითარდება თანდათანობით, შეუმჩნეველად, თვეებისა და წლების მანძილზე.

დაავადების სიმძიმის მიხედვით სხივური პათოლოგიის ამ ფორმაში არჩევენ 3 ხარისხს:

I ხარისხის ქრონიკული სხივური დაავადება მსუბუქი ფორმის დაავადებაა. იგი იწყება თანდათანობით და ახასიათებს სხვადასხვა სახის ფუნქციური ცვლილებები, ე. წ. ასთენიური სინდრომი. ამ ხარისხის სხივური დაავადება არ არის სპეციფიკური, ჩივილი მრავალფეროვანია და სხვადასხვაგვარი ვეგეტო-ვისცერული და ვეგეტო-სისხლძარღვოვანი მოშლილობის ჯამია. აღინიშნება: დაღლილობა, ზოგადი სისუსტე, ძილიანობა დღისით, უძილობა ღამით, თავის ტკივილი, ოფლიანობა. ობიექტურად — პულსი ლაბილური, აღინიშნება ვაზომოტორთა რეაქციის ცვალებადობა, მდგრადი დერმოგრაფიზმი, არტერიული წნევის ლაბილობა, ტაქიკარდია, სინუსური არიტმია.

ფუნქციური ცვლილებები გამოხატულია კუჭ-ნაწლავის ტრაქტის მხრივაც: შეავიანობის დაქვეითება, დისპეფსიური მოვლენები და სხვ.

ამავე პერიოდში მამაკაცები შესაძლებელია უჩიოდნენ სქესობრივ სისუსტეს, ქალები — მენსტრუალურ-ოვარიული ფუნქციის მოშლას.

სისხლის ცვლილებები ამ პერიოდისათვის ძალიან უმნიშვნელოა და მათი შემჩნევა შესაძლებელია იმ შემთხვევაში, თუ მანამდე გაკეთებული იყო პერიფერიული სისხლის ანალიზი. კერძოდ, შესაძლებე-

ლია აღინიშნებოდეს რეტრიკულოციტების მომატება, ლეიკოპენია ლიმფოციტოზით. ლეიკოპენია ზომიერია — 4.000—3 500 1 მმ<sup>3</sup>-ში. შესაძლებელია გამოხატული იყოს თრომბოციტოპენია.

გარდა რაოდენობრივი ცვლილებებისა, შესაძლებელია სისხლში აღმოვაჩინოთ თვისებრივი ცვლილებებიც — ნეიტროფილების ჰიპერსეგმენტაცია, ტოქსიკური მარცვლოვნება და სხვ.

ამ სტადიაში სისხლის დენის მოვლენები დამახასიათებელი არ არის, მაგრამ შესაძლებელია განვითარდეს კაპილარების ადვილი მსხვრევალობა.

ყველა ზემოჩამოთვლილი ჩივილი და ობიექტური მონაცემი მკაფიოდ ჩამოყალიბებულია, ცვალებადია, ხანგამოშვებითი და, რაც მთავარია, არავითარი პათოგნომურობა მას არ ახასიათებს. ასეთი ასთენიური ხასიათის ჩივილი შესაძლებელია სულაც არ იყოს დაკავშირებული სხივურ მოქმედებასთან, ამიტომ ქრონიკული სხივური დაავადების დიაგნოზის დადგენა ამ სტადიაში რთული და საპასუხისმგებლო საკითხია.

როგორც აღვნიშნეთ, I ხარისხის სხივური დაავადების დროს ყველა ეს მოვლენა ფუნქციური ხასიათისაა, ამიტომაც პროცესი შექცევადია. შესაძლებელია ჩივილი მკურნალობის გარეშეც გაქრეს, საკმარისია მხოლოდ ადამიანი მოვაშოროთ ქრონიკული დასხივების წყაროს. თუკი დასხივება გრძელდება და ავადმყოფს მკურნალობა არ უტარდება, დაავადების I ხარისხი თანდათანობით გადადის II ხარისხში, რომელსაც საშუალო სიმძიმე ახასიათებს.

II ხარისხის ქრონიკული სხივური დაავადების დროს ზემოთ ჩამოთვლილი სიმპტომები უფრო მკვეთრადაა გამოხატული და სტაბილურ ხასიათს ღებულობს. ამ პერიოდში ნათლად ჩანს სისხლმბადი აპარატის ფუნქციის დათრგუნვა და ჰემორაგიული მოვლენები. ავადმყოფი უჩივის თავის ძლიერ ტკივილს, თავბრუს, მებსიერების დაქვეითებას, სქესობრივი ლტოლვის შესუსტებას, მენსტრუალური ციკლის მოშლას, სისხლჩაქცევებს კანში, ლორწოვანებში; სისხლის დენას ცხვირიდან, თმის ცვენას, ფრჩხილების მტკრევალობას.

ობიექტურად აღინიშნება: კანის სიმშრალე, ტურგორის დაქვეითება, მრავლობითი პეტეჩიები კანსა და ლორწოვანებზე, ჰემორაგიული სტომატიტი და გინგივიტი. სისხლში როგორც რაოდენობრივი, ასევე თვისობრივი ცვლილებებია. ლეიკოციტების რაოდენობა მცირდება 2000—3000-მდე. თეთრი სისხლის ცვლილებებს ემატება ცვლილებები წითელი სისხლის მხრივაც. აღინიშნება ანიზოციტოზი, პოიკილოციტოზი. ერითროციტებისა და ჰემოგლობინის რაოდენობა შემცირებულია.

ამ პერიოდში ვითარდება დიენცეფალური სინდრომი. გამოხატულია ნივთიერებათა ცვლის სხვადასხვაგვარი მოშლილობა. ობიექტურად ცენტრალური ნერვული სისტემის მხრივ აღინიშნება რეფლექსების შეცვლა მათი აწევის ან დაწევის სახით. მძიმე შემთხვევებში შესაძლებელია გამოხატული იყოს სისხლძარღვოვანი კრიზი.

გულ-სისხლძარღვთა სისტემის მხრივ აღინიშნება გულის საზღვრების გაგანიერება, წნევის დაქვეითება.

კუჭ-ნაწლავის ტრაქტის მხრივ გამოხატულია მადის დაქვეითება, ფაღარათობა, აქილია. კუჭ-ნაწლავის ტრაქტში საკვების შეწოვა დაქვეითებულია, რასაც თან სდევს ორგანიზმის კვების მოშლილობა და სიგამხდრე.

ორგანიზმის იმუნობიოლოგიური წინააღმდეგობა დაქვეითებულია, რის გამოც ხშირია მეორეული ინფექციები, განსაკუთრებით პეპატოქოლეცისტიტი.

ამ პერიოდის დამახასიათებელია ცვლილებები შინაგანი სეკრეციის მხრივაც, კერძოდ, თირკმელზედა ჯირკვლის დაზიანება, რის გამოც არტერიული წნევა დაქვეითებულია, კანზე ვითარდება პიგმენტური ლაქები, 17-კეტოსტეროიდების რაოდენობა შარდში შემცირებულია, იშლება სასქესო ჯირკვლების ფუნქცია. მენსტრუალური ციკლი დარღვეულია, ვითარდება ენდოკრინულ ჯირკვალთა ანსაბლის დეზინტეგრაცია.

თუ ქრონიკული სხივური დაავადება გამოწვეულია რადიაქტიური ნივთიერებების ინკორპორირებით, მაშინ ზემოაღნიშნულ მოვლენებს ემატება „კრიტიკული ორგანოების“ (ამ იზოტოპების მოქმედების მიმართ ყველაზე მგრძობიარე ორგანოების) დაზიანების სიმპტომები. მაგალითად, თუ დაავადება განვითარდა ისეთი რადიაქტიური ნივთიერების მოქმედებით, როგორცაა ოსტეოტროპული ელემენტები (მაგალითად,  $^{90}\text{Sr}$ ) ვითარდება ოსტეოლაგიური სინდრომი—ძვლების ძლიერი ტყვილი, რომლებიც სადღეისოდ ცნობილ მედიკამენტურ და ბალნეოთერაპიულ მკურნალობას პრაქტიკულად არ ექვემდებარება. გარდა ამისა, ამ შემთხვევაში ძვლის ტვინის პირდაპირი დაზიანების საშიშროებაც იქმნება, ვინაიდან  $^{90}\text{Sr}$  ბეტა-გამოსხივების გარდა, თან სდევს დაბალი ენერგიის (0,9 მეე) გამა-გამოსხივებაც.

II ხარისხის ქრონიკული სხივური დაავადების შემთხვევაში ავადმყოფი შესაძლებელია განიკურნოს სათანადო აქტიური მკურნალობისა და დასხივების სფეროდან გამოყვანის შედეგად.

III ხარისხის ქრონიკულ სხივურ დაავადებას ახასიათებს მძიმე, შეუქცევადი ორგანული ცვლილებები. ამ პერიოდში ორგანიზმს მთლიანად აქვს დაკარგული რეგენერაციის თვისებები, რის გამოც ვითარდება ორგანოთა ღრმა დისტროფიული ცვლილებები, სისხლ-

მზადი ორგანოების ფუნქციის ასევე ღრმა დათრგუნვით. ზოგადი მდგომარეობა ძალიან მძიმეა, მოვლენები, რომლებიც აღნიშნული იყო II ხარისხის სხივური დაავადების დროს, III სტადიაში უფრო მკვეთრადაა გამოხატული. ვითარდება მრავლობითი ჰემორაგიები, წყულლოვან-ნეკროზული პროცესები, სისხლის დენა. პერიფერიულ სისხლში მკვეთრი ძვრებია როგორც თეთრი, ასევე წითელი სისხლის მხრივ. ვითარდება პანციტოპენია, ჰიპოქრომული ანემია, ჩნდება მეგალოციტები და მეგალობლასტები.

ნერვული სისტემის მხრივ აღინიშნება ტოქსიკური ანთების მოვლენები — ენცეფალიტი.

გულ-სისხლძარღვთა მხრივ გამოხატულია ძლიერი ქოშინი, ექსტრა-სისტოლია, ტონების ძლიერი მოყრუება, საზღვრების გაგანიერება და სხვ. ელექტროკარდიოგრაფიაზე აღინიშნება გულის კუნთის ღრმა დისტროფიული ცვლილებები; არტერიული წნევა დაქვეითებულია.

კუჭ-ნაწლავის ტრაქტის მხრივ: მადა დაკარგულია, მუცელი შებერილი, ფაღარათობა და შეკრულობა ცვლის ერთმანეთს, ღვიძლი გადიდებულია.

სისხლში მომატებულია ნარჩენი აზოტის რაოდენობა. მოსალოდნელია ტოქსიკური ნეფრიტის-მოვლენები. ვითარდება ენდოკრინული სისტემის ღრმა მოშლილობა.

ქრონიკული სხივური დაავადების ამ სტადიაში ორგანიზმის წინააღმდეგუნარიანობა დაქვეითებულია, რის გამოც მეორეული ინფექცია ვითარდება, რაც ართულებს ავადმყოფის ისედაც მძიმე მდგომარეობას.

ქრონიკული სხივური დაავადების მოგვიანებითი შედეგები შეიძლება იყოს სისხლის სისტემური დაავადების (ლეიკოზი), ავთვისებიანი სიმსივნეების განვითარება. განსაკუთრებით საშიშია ქრონიკული სხივური მოქმედება კანცეროგენული ეფექტის გამო.

ქრონიკული სხივური დაავადების დიაგნოსტიკა რთულია, განსაკუთრებით მის 1 სტადიაში, დიაგნოზის სწორად დადგენას სწორედ ამ სტადიაში აქვს ყველაზე მეტი მნიშვნელობა, ვინაიდან დროულად დადგენილი დიაგნოზი იძლევა სათანადო მკურნალობისა და პროფილაქტიკური ღონისძიებების დროულად ჩატარების საშუალებას.

## სხივური დაავადების მკურნალობის პრინციპები

### მწვავე სხივური დაავადების მკურნალობა

მწვავე სხივური დაავადების მკურნალობა უნდა ჩატარდეს იმ სტადიის შესაბამისად, რომელშიც ავადმყოფი იმყოფება, რასაკვირ-

ველია, დაავადების სიმძიმისა და ინდივიდუალური მიმდინარეობის მხედველობაში მიღებით.

მწვავე სხივური დაავადების მკურნალობის ძირითადი პრინციპებია: 1. თერაპიული ღონისძიებების დროული ჩატარება (დროის ფაქტორს ხშირად სასიცოცხლო მნიშვნელობა ენიჭება); 2. კომპლექსური მკურნალობა, რომლის მიზანია არა მარტო სამკურნალო, არამედ გართულებების ასაცილებლად პროფილაქტიკური ღონისძიებების გატარება; 3. მკურნალობისადმი ინდივიდუალური მიდგომა.

მწვავე სხივური დაავადების სამკურნალო ღონისძიებებია: 1. დეზინტოქსიკაციური საშუალებები; 2. ანტიალერგიული ნივთიერებები; 3. ჰემორაგიული სინდრომის განვითარების საწინააღმდეგო და სამკურნალო საშუალებები; 4. ჰემოსტიმულატორების დანიშვნა; 5. ინფექციის განვითარების საწინააღმდეგო პროფილაქტიკური და სამკურნალო საშუალებები; 6. ორგანიზმში მოხვედრილი რადიაქტიური ნივთიერებების გამომყვანი საშუალებების გამოყენება; 7. სიმპტომური მკურნალობა.

ავადმყოფს უნდა დაუენიშნოთ წოლითი რეჟიმი, მაღალკალორიული და ვიტამინებით მდიდარი საკვები (შეუჩერებელი ლებინების შემთხვევაში საკვებს არ მისცემენ), დიდი რაოდენობით სითხეები (2 ლიტრამდე დღეში), მაწონი, კეფირი ნაწლავის პათოგენური ფლორის დასათრგუნავად.

დეზინტოქსიკაციური საშუალებებიდან კარგ შედეგს იძლევა პირველი 2—3 დღის განმავლობაში 500—700 მლ რაოდენობით სისხლის გამოშვება და იმავე რაოდენობით სისხლის ან სისხლის შემცველი ნაერთის (პოლიგლუკინის და სხვ.) შეყვანა. სისხლის შეყვანა, გარდა დეტოქსიკაციური თვისებისა, ჰემოსტიმულატორულ ფუნქციასაც ავლენს, რითაც აძლიერებს ორგანიზმის დამცველობით უნარს. საჭიროა აგრეთვე ჰიპერტონიული ხსნარის გლუკოზისა და ასკორბინმჟავასთან ერთად შეყვანა.

დესენსიბილიზაციის საშუალებებიდან კარგია კალციუმის ქლორიდის 10%-იანი ხსნარი, დიმედროლი, სუპრასტინი და სხვა ანტიჰისტამინური პრეპარატები.

ჰემორაგიული სინდრომის ასაცილებლად (რომელიც მესამე პერიოდში ვითარდება) საჭიროა პირველ პერიოდშივე სისხლძარღვების სამკურნალო საშუალებები — კალციუმის ქლორიდის ხსნარის, ვიტამინ „P“-ს პრეპარატების (ციტრინი, რუტინი), ჰინჰრის ნახარშის, K ვიტამინის პრეპარატების (ვიკასოლი, მეთინონი), სეროტონინის, ოქსიტრინფტოფანის, ПАКС-ის და სხვათა შეყვანა.

ჰემოსტიმულატორებიდან აღსანიშნავია B<sub>12</sub>, ანტიანემინი, ჰემოსტიმულინი, ლეიკოგენი, თეზანი, მეთილურაცილი და სხვ.

პირველ პერიოდში ავადმყოფები ავზნებული არიან, ამიტომ უნდა დაეუნიშნოთ დამამშვიდებელი. საშუალებები — (sedativa). თუ ავზნება მსუბუქი ფორმებითაა გამოხატული, საკმარისია ბრომი, ვალერიანა, უფრო რთულ შემთხვევებში ქლორალჰიდრატი, ეტაპერაზინი, ფსიქოტროპული საშუალებანი.

საჭიროა მედულოთერაპიის, ანაბოლური რიგის ჰორმონოთერაპიის ჩატარება, ვინაიდან ისინი ხელს უწყობენ ცილის სინთეზს. სტეროიდული რიგის ჰორმონები რეკომენდებული არ არის: დაავადების განვითარების პერიოდში მას ავადმყოფები ცუდად იტანენ.

იმუნობიოლოგიური მდგომარეობის აღდგენის მიზნით ავადმყოფს უნდა დაენიშნოს გამავლობილი და სხვა ზოგადი იმუნოსტიმულატორები.

განსაკუთრებულ ყურადღებას საჭიროებს მთელი ამ არსენალის გამოყენება დაავადების მესამე პერიოდში.

ანტიბაქტერიული მკურნალობისა და გართულებების აცილების მიზნით ფართოდ იყენებენ ანტიბიოტიკებს, უმჯობესია ფარული პერიოდის დამთავრებამდე.

თუ დაავადება გამოწვეულია ორგანიზმში რადიაქტიური იზოტოპების მოხვედრით, საჭიროა ზომების მიღება ორგანიზმიდან მათი გამოყვანისათვის. ავადმყოფს უნდა დაეუნიშნოთ დიდი რაოდენობით სითხე, კუჭის ამორეცხვა, გამშენდი ოყნები, სითხის გამოყოფი ნივთიერებანი: დიურეტიკი, ეუფილინი. საჭიროა საადსორბციო საშუალებანი: ნახშირი, ბარიუმის სულფატი, კომპლექსწარმოქმნელი ნაერთები — ЭДТА, კომპლეცინი და სხვ. შეიძლება გამოვიყენოთ ინკორპორირებული რადიაქტიური იზოტოპის სტაბილური კონკურენტებითა და ბიოლოგიური სინერგისტებით ზომიერი დატვირთვა, იმ სტრუქტურების განახლების დაჩქარება, რომლებშიც ხდება იზოტოპების სპეციფიკური დაგროვება ან კონცენტრირება.

სიმპტომური მკურნალობა მიმართული უნდა იყოს მოშლილი ფუნქციის მკურნალობისკენ.

მწვავე სხივური დაავადების დროს განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მივაქციოთ გულ-სისხლძარღვთა სისტემის მდგომარეობას და სათანადო სამკურნალო საშუალებების დანიშვნას.

#### ძრონიკული სხივური დაავადების მკურნალობა

ქრონიკული სხივური დაავადების მკურნალობა უნდა ჩავატაროთ კომპლექსურად სტადიისა და კლინიკური გამოვლინების შესაბამისად. მხედველობაში უნდა მივიღოთ ყველა ავადმყოფის ინდივიდუალური თავისებურება.

I ხარისხის დაავადების დროს მკურნალობა შეიძლება ამბულატორიულად და სტაციონარში. ავადმყოფი უნდა იყოს ჰეჩზე, ატარებდეს ზოგად გამამხნეველ და სპორტულ ვარჯიშებს. კვება უნდა იყოს მაღალკალორიული, ვიტამინებით მდიდარი. საჭიროა ზოგადგამამაგრებელი საშუალებები: ვიტამინები (C, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub>), სეკურარინი, კალციუმის გლიცეროფოსფატი, ფიტინი, ატფ, ენ-შენი და სხვ. ფართოდ უნდა გამოვიყენოთ ბალნეო- და ფიზიოთერაპია. საჭიროების მიხედვით შეიძლება სედატიური საშუალებების გამოყენება. ძილ-ღვიძილის ციკლის მოშლილობის დროს საჭიროა ბარბიტურატები, სისხლში ცვლილებების დროს — თეზანი, ლეიკოგენი. ვიტამინი B<sub>12</sub>, სხვადასხვა ორგანოს სისტემის მხრივ გამოხატული მოშლილობის დროს — სიმპტომური საშუალებანი.

II ხარისხის ქრონიკული სხივური დაავადების მკურნალობა უნდა მიმდინარეობდეს სტაციონარში იმავე, ზემოჩამოთვლილი საშუალებებით. ამას უნდა დაეუმატოთ ჰემოპოეზური საშუალებანი — სისხლის ან მისი შემადგენელი ნაწილების შეყვანა, ლეიკოციტინი, ლეიკოგენი, ჰემოსტიმულინი, B<sub>12</sub> ვიტამინი, ასკორბინმჟავა, კალციუმის ქლორიდი, P ვიტამინის პრეპარატები (ციტრინი, რუტინი), K ვიტამინის პრეპარატები (ვიკასოლი, მეფინონი), ჰინპრის ნახარში. ჰიპოფოზური და თირკმელზედა ჯირკვლების დისფუნქციის შემთხვევაში შესაძლებელია საჭირო გახდეს სტეროიდული ჰორმონები (აკტგ, კორტიზონი). ინფექციური გართულებების დროს — ანტიბიოტიკები დიდი დოზებით.

III ხარისხის ქრონიკული სხივური დაავადების მკურნალობა. ძირითადად მიმართულია ჰემორაგიისა და ინფექციის საწინააღმდეგოდ. ამ პერიოდში განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა სისხლის შეყვანას. ამ სისხლს ახასიათებს შემცველი, ჰემოსტაზური, მასტიმულირებელი და დეტოქსიკაციური მოქმედება. შეიძლება სისხლის შემცველების გამოყენებაც. ფართოდ ხმარობენ დესენსიბილიზატორებს — დიმედროლს, კალციუმის ქლორიდს, სუპრასტინს. ჰემორაგიული სინდრომის საწინააღმდეგოდ უნდა ვიხმაროთ კალციუმის ქლორიდი, ვიტამინები C, P, K და მათი პრეპარატები, ჰინპრის ნახარში, ეელატინის ხსნარი; სისხლის შეყვანა მცირე დოზებით (40—60 მლ). ადგილობრივად — ჰემოსტაზური ღრუბელი, ფიბრინის აპკი, თრომბინის ხსნარი და სხვ. ინფექციის წინააღმდეგ — ანტიბიოტიკების დიდი დოზები. ოსტეალგიური სინდრომის საწინააღმდეგოდ — B<sub>12</sub> ვიტამინი და გოგირდწყალბადის აბაზანები. ფართოდ უნდა გამოვიყენოთ საგულე საშუალებები — კოფეინი, ქაფური, კორლიაპინი.

რადიქტიური ნივთიერებებით გამოწვეული ქრონიკული სხივური დაავადების მკურნალობისას უნდა გავატაროთ ღონისძიებები ამ ნივთიერებათა ორგანიზმიდან გამოსაყვანად, რაც ფრიად რთული ამოცანაა. ავადმყოფს უნდა დაეუნიშნოთ შარდმდენი, ოფლმდენი, ამოსახველებელი საშუალებანი. თუ რადიქტიური ელემენტები კუჭ-ნაწლავის გზით გამოიყოფა, უნდა გამოვიყენოთ აღსორბციული პრეპარატები — ესპატიტი, ბარიუმის სულფატი — აღსორბარი. სტრონციუმის ინკორპორირების შემთხვევაში შედეგანია მაგნიუმის, ფთორისა და კალციუმის დიეტა, აგრეთვე ალგინმჟავას ხმარება. ურანის ინკორპორირების დროს — ტუტე დიეტა; პლუტონიუმის, ცერიუმის, ცირკონიუმის გამოსადევნად გამოყენებულია პენტაცინი.

### სხივური რეაქცია

სხივური რეაქცია ვითარდება ორგანიზმზე მაიონიზებული რადიაციის ლოკალური მოქმედების შედეგად, ე. ი. როცა ორგანიზმის რომელიმე ნაწილია დასხივებული ერთჯერადად ან ფრაქციულად საკმაო დიდი დოზებით.

სხივურ რეაქციას ძირითადად ვხვდებით, როგორც სხივური თერაპიის გართულებას. მოსალოდნელია აგრეთვე მისი განვითარება ატომური იარაღის აფეთქების შედეგად (თუ რადიქტიური ნალექებით ორგანიზმის რომელიმე ნაწილი დაბინძურდება), მშვიდობიან პერიოდშიც თუ, მაგალითად, სხვადასხვაგვარი გეოლოგიური სამუშაოს დროს დაირღვევა შრომის უსაფრთხოების პირობები ან რადიქტიური იზოტოპები დაიკარგება და შემთხვევით მათ პოულობენ სხვა ადამიანები (ხშირად ბავშვები). სხივური რეაქციები გვხვდება აგრეთვე რეაქტორზე მომუშაუებებსა და რადიოლოგებში, რომლებიც არ იცავენ კანონით გათვალისწინებულ დაცვის პირობებს.

არსებობს სხივური რეაქციის ადგილობრივი და ზოგადი ფორმა. ადგილობრივი სხივური რეაქცია შეიძლება იყოს მწვავე და ქრონიკული.

ადგილობრივი მწვავე სხივური რეაქცია სხივური დამწვრობაა. სხივური დამწვრობა შესაძლებელია მიმდინარეობდეს როგორც დამოუკიდებლად, ასევე თან ერთვოდეს სხივურ დაავადებას (იმ შემთხვევაში, თუ ზოგად დასხივებასთან ერთად აღინიშნება ადგილობრივი დასხივბაც).

სხივური დამწვრობა წააგავს ულტრაიისფერი სხივებით გამოწვეულ დამწვრობას, მზით დამწვრობას, მაგრამ მისგან განსხვავდება დაზიანების ხარისხით. პირველ ყოვლისა, აღსანიშნავია, რომ სხივური დამწვრობა უფრო ხანგრძლივად მიმდინარეობს, ვიდრე ულტრაიის-



ფერი სხივებით გამოწვეული დამწვრობა. ამას საფუძვლად უდევს რადიაციული დამწვრობის დროს მიტოზური აქტივობის მკვეთრი დაქვეითება და ადგილობრივი სისხლმომარაგების მოშლა. სხივურ დამწვრობას უფრო ხანგრძლივი ფარული პერიოდი აქვს და იწვევს ღრმა ცვლილებებს.

სხივური დამწვრობის ხანგრძლივობა, დაზიანების ხარისხი და პროგნოზი დამოკიდებულია მოქმედი დოზის სიდიდეზე — რაც მეტია დოზა, მით ღრმაა. დაზიანება და ხანგრძლივად მიმდინარე. დიდი მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე გამოსხივების ბუნებას, სპექტრს, კერძოდ, თუ რომელმა გამომსხივებელმა იმოქმედა კანზე, — ალფა-, ბეტა- თუ გამა-სხივმა. თავის მხრივ, ამ უკანასკნელთა მოქმედება განისაზღვრება იონიზაციის სიმკვიდროვით, სხივის ენერჯით, მისი შეღწევადობით. რაც უფრო ხისტია სხივი, მით უფრო ღრმაა დაზიანება, ვინაიდან ზიანდება ქვეშემდებარე ფენები. ასევე, რაც უფრო მეტი იონიზაციის სიმკვიდროვის წარმოქმნის უნარი აქვს სხივს, მით უფრო მეტია დაზიანების ხარისხი.

სხივური დამწვრობა დამოკიდებულია კანზე, რომელზეც სხივმა იმოქმედა. მაგალითად, ნაზი, თეთრი კანი უფრო მგრძობიარეა დასხივების მიმართ, ვიდრე უხეში და მუქი ფერის. აქედან გამომდინარე, ყელის, საზარდულის, ილიის, მუცლის კანი უფრო მგრძობიარეა დასხივების მიმართ, ვიდრე სხვა უბნები. ასევე ძლიერ მგრძობიარეა ლორწოვანი გარსები. დიდი მნიშვნელობა აქვს კანის (ან ლორწოვანი გარსის) ფუნქციურ მდგომარეობას დასხივების მომენტში. მაგალითად, თანაბარი დოზებით დასხივების დროს ჰიპერემიული კანი უფრო მეტად ზიანდება, ვიდრე ანემიური. გარკვეული მნიშვნელობა ენიჭება აგრეთვე ორგანიზმის ინდივიდუალურ მგრძობელობას სხივების მოქმედების მიმართ.

კანის ყველაზე ღრმა დაზიანებას იწვევს ნეიტრონული დასხივება, შემდეგ გამა- და რენტგენის სხივები; მას მოჰყვება ბეტა-სხივების მოქმედება. ალფა-სხივებით გამოწვეული დამწვრობა ყველაზე ნაკლები სიღრმისაა, მიუხედავად იმისა, რომ იონიზაციის სიმკვიდროვე ძლიერ მაღალია. საქმე ის არის, რომ ალფა-სხივის შეღწევადობა უმნიშვნელოა და ფაქტიურად სხივური რეაქცია ეპიდერმისით იფარგლება. ნეიტრონების მოქმედების შემთხვევაში კი თვით კანის ელემენტებში შეიძლება წარმოიქმნას ხელოვნური რადიაქტიური ნივთიერებები (ზეგავლენითი, ანუ ინდუცირებული რადიაქტივობა) და მათი გამოსხივების ხარჯზე გაძლიერდეს თვით ნეიტრონებით გამოწვეული დაზიანება.

სხივურ დამწვრობაში არჩევენ ფაზურ მიმდინარეობას. აღინიშნება დაავადების ოთხი პერიოდი: 1. ფარული პერიოდი; 2. ჰიპერემიისა

და შეშუპების პერიოდი; 3. ბუშტუკების წარმოქმნის პერიოდი; 4. და-  
ნეკროზების პერიოდი.

ფარული პერიოდი გრძელდება რამდენიმე საათიდან 2—3 კვი-  
რამდე. რაც უფრო დიდია დასხივების დოზა, მით შემოკლებულია  
ფარული პერიოდის ხანგრძლივობა და პირიქით. ფარული პერიოდის  
ხანგრძლივობის მიხედვით შესაძლებელია წინასწარ განისაზღვროს  
დამწვრობის ხარისხი.

ფარული პერიოდის გავლის შემდეგ იწყება ქავილი, რასაც მოს-  
დევს ერთემისა და შეშუპების განვითარება, თმის დროებით გაცვე-  
ნა. შეშუპების განვითარებასთან ერთად ვითარდება ტკივილი, დაბუ-  
ყების გრძნობა, განსაკუთრებით დიდი დოზებით მოქმედების შედე-  
გად. თუ დასხივების დოზა ძლიერ დიდია, ვითარდება წერტილოვანი  
სისხლჩაქცევები როგორც კანზე, ისე კანქვეშ.

500—800 რ მოქმედების დროს პათოლოგიური პროცესი შესაძ-  
ლებელია მხოლოდ ამ ფაზით შემოიფარგლოს და შემდგომში მოხდეს  
უკუგანვითარება. უფრო დიდი დოზებით მოქმედების დროს შემდგო-  
მი ფაზები ვითარდება. კერძოდ, კანი ძლიერ მუქდება, მოლურჯო  
ციანოზურ ელფერს ღებულობს; შეშუპება უფრო ღრმაა და ვითარ-  
დება ბუშტუკები, რომლებიც შემდგომში ერთიანდება. შიგთავსი  
ჩირქდება; ბუშტუკების ადგილზე ვითარდება ნეკროზი და ღრმა  
წყულულოვანი პროცესი.

ზემოაღწერილი კლინიკური სურათის სიმძიმის მიხედვით არჩევენ  
სხივური დამწვრობის ოთხ ხარისხს: I ხარისხის დამწვრობის დროს  
კანი იქერცლება, თმა დროებით ცვივა; მოგვიანებით ვითარდება კანის  
პიგმენტაცია; II ხარისხის დამწვრობის დროს ვითარდება შეშუპება,  
ქავილი, ადგილობრივად კანის ტემპერატურა აწეულია; 2 კვირის შემ-  
დეგ თავს იჩენს ერთემა; დასხივების ადგილზე თმა ცვივა; III ხა-  
რისხის დამწვრობის დროს, დასხივების მე-6—10 დღესვე ვითარდება  
ბუშტუკები, ჭერ სეროზული, ხოლო შემდეგ ჩირქოვანი შიგთავსით;  
IV ხარისხის დამწვრობის დროს დასხივების მესამე დღიდან ნათლად  
გამოიხატება ქსოვილების ნეკროზი.

სხივური დამწვრობა ძლიერ დიდხანს მიმდინარეობს. დანეკროზე-  
ბის ადგილზე რჩება ხანგრძლივად მოუარჩენელი ტროფიკული წყულ-  
ლები.

ქრონიკული ადგილობრივი სხივური რეაქციის მაგალითია ატრო-  
ფია, ტელანგიექტაზია, ჰიპერკერატოზი, ეპითელიომა, ფრჩხილების  
გასწვრივი დახახვა, მათი ადვილად მტვრევა და სხვ. ეს რეაქციები  
შესაძლებელია განვითარდეს როგორც პირველად — მაიონინებელი  
რადიაციის მცირე დოზების ხანგრძლივი ლოკალური მოქმედების შე-

დეგად, ასევე მეორეულად — გადატანილი მწვავე სხიური რეაქციის შედეგად.

სხიური რეაქციის ზოგადი ფორმა ვითარდება სხიური თერაპიის შედეგად, როდესაც ადგილობრივი დასხივების დოზა საკმაოდ დიდ სიდიდეებს აღწევს (მკურნალობის მიზნით ზოგად დასხივებას ამჟამად თითქმის აღარ მიმართავენ). ზოგადი სხიური რეაქციის დროს გამოხატულია გულისრევა, თავბრუ, ღებინება, ზოგადი სისუსტე. სისხლში შესაძლებელია განვითარდეს ლეიკოპენია. ზოგადი სხიური რეაქციის განვითარების მექანიზმში წამყვანი ადგილი უჭირავს ტოქსემიას და ცვლილებებს ცენტრალური ნერვული სისტემის მხრივ.

### რადიაციის გუნებრივი ფონი

ადამიანი ცხოვრობს გარემო პირობებთან მჭიდრო კონტაქტში. გარე სამყაროს ფაქტორები უშუალოდ ზემოქმედებს მის ცხოველ-მყოფელობაზე, 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 გვანტერესებს გარკვეული მოსაზრებითაც, პირველ ყოვლისა, სხიურ დაავადებასთან დაკავშირებული საკითხების მეცნიერული შესწავლის თვალსაზრისით. დიდ ინტერესს იწვევს სხიური ზემოქმედების შედეგად წარმოქმნილი გენეტიკური შედეგების შესწავლაც. დაბოლოს, ერთ-ერთი აქტუალური საკითხია სხიური 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“.

საღლეისოდ არ არსებობს სახალხო მეურნეობის არც ერთი დარგი, რომელშიც ატომური ენერგია არ იყოს ფართოდ გამოყენებული. ყოველივე ეს იწვევს ადამიანთა იმ კონტინგენტის ზრდას, რომელიც უშუალო კონტაქტშია მაიონიზებული 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 მაიონიზებული გამოსხივებით (მაგალითად, დასხივება სხვადასხვანაირი საშენობით გამოკვლევებისათვის მკურნალობის ჩატარების დროს).

ატომური წარმოების, ატომური მრეწველობის განვითარებას თან სდევს რადიაქტიური ნარჩენების წარმოქმნა, რომლებიც იწვევენ ნიადაგის, ატმოსფეროს, წყალსატევების დაბინძურებას ხელოვნური რადიაქტიური ნივთიერებებით. თუ „ატომის საუკუნემდე“ ადამიანი და ყველა ცოცხალი არსება ბუნებრივი რადიაციული ფონიდან სისტემატურად დებულობდნენ დასხივების გარკვეულ დოზას, რომელსაც ისინი მილიონი წლების მანძილზე შეგუებული იყვნენ, როგორი იქნება ბუნებრივი წყაროებიდან მიღებული 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.

### 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 მაღალ-

ენერგეტიკული 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 ენერჯის პროტონებისა და მეზონების ნაკადისაგან; 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 სარტყლების რადიაცია (დედამიწის ორი ასეთი რადიაციული სარტყელი აქვს).

ამ წყაროებისაგან 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 გამოირიცხულია. აქ მოქმედებს ძლიერი, შეუსუსტებელი 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 კომპონენტის ხარჯზე იზრდება 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 მილირადს.

ატმოსფეროს ზედა ფენებში მიმდინარე ზოგიერთმა პროცესმა, როგორცაა ტემპერატურის, წნევის ცვალებადობა, ჰაერის მასების გადაადგილება, შესაძლებელია იმოქმედოს კოსმოსური გამოსხივების ინტენსივობის ხანმოკლე ცვლილებებზე, მაგალითად, წნევის მომატება ვერცხლისწყლის სვეტის 1 მმ-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.

ნიადაკის / გამოსხივებაში ძირითადად მონაწილეობს <sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th და მათი დაშლის პროდუქტების გამოსხივები. დოზა, რომელსაც ქმნის ამ იზოტოპების გამოსხივები, დამოკიდებუ-

ლია მაი, კონცენტრაციაზე ნიადაგში. მაგალითად, რადიუმში წელიწადში იძლევა  $18,4 \cdot 10^{12} \text{S}_{\text{Ra}}$  მილირად დასხივებას, თორიუმი  $\frac{1}{2} 3,1 - 10^6 \text{S}_{\text{Th}}$  მილირადს, ხოლო კალიუმი —  $13,3 \cdot 10^2 \text{S}_{\text{K}}$  მილირადს. ამ სი-

ცხრილი 18

კოსმოსური გამოსხივების დოზის დამოკიდებულება სიმაღლეზე და განედზე (მილირადებით)

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

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

ცხრილი 19

რადიუმის, თორიუმის, კალიუმისა და ურანის შემცველობა ნიადაგებში

მთის ქანების სახეობა	$^{226}\text{Ra} 10^{-12}$ გ/გ	$^{232}\text{Th} 10^{-6}$ გ/გ	$^{39}\text{K} 10^{-2}$ გ/გ	$^{238}\text{U} 10^{-6}$ გ/გ
მაგმური	1,3	12	2,6	4,0
დანალექი ქვიშიანი	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 მყავე და საშუალო სახეობას, ყველაზე ნაკლები — ულტრაფუძოვანს.

ცხრილი 20

მაგმური ქანების სახეობა	$^{226}\text{Ra} 10^{-12}$ გ/გ	$^{232}\text{Th} 10^{-6}$ გ/გ	$^{238}\text{U} 10^{-6}$ გ/გ
მყავე	2,4	20	7,0
საშუალო	1,9	19	5,6
ფუძოვანი	1,0	7,0	3,0
ულტრაფუძოვანი	0,2	2,0	0,6

საზოკადოდ ნიადაგში რადიაქტიური ნივთიერებების შემცველობა სხვადასხვაგვარია. იგი დამოკიდებულია ქვემდებარე ქანებზე, მათ რადიაქტიულობაზე, კოლოიდური ფრაქციების შედგენილობაზე და სხვ. მაგალითად, ურანის შემცველობა შუა რუსეთის მაღლობის ნიადაგში ცვალებადობს  $1,0-18,0 \cdot 10^{-6}\%$ -ის ფარგლებში. თორიუმი გვხვდება  $2,3-14,0 \cdot 10^{-4}\%$ , ხოლო რადიუმი —  $1,1-19,0 \cdot 10^{-11}\%$ . რაც შეეხება ბუნებრივ კალიუმს, იგი ყველაზე დიდი რაოდენობითაა — 1-დან 30 გ/კგ-ზე, ხოლო მის შედგენილობაში რადიაქტიური კალიუმი —  $^{40}\text{K}$  — არის  $0,8 \cdot 10^{-9}-2,4 \cdot 10^{-8}$  Ci/კგ-ზე.

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. გამოანგარიშებულია, რომ დედამიწის ქერქში არსებული რადიაქტიური კალიუმის აქტიუობა აღემატება ყველა დანარჩენ ერთად აღებული რადიაქტიური ელემენტის აქტიუობას.

საბჭოთა კავშირში რადიაქტიური იზოტოპების საშუალო კონცენტრაცია 1 გ ნიადაგში არის — რადიუმისათვის  $10^{-12}$  გ, თორიუმისათვის —  $6 \cdot 10^{-8}$  გ, კალიუმისათვის —  $1,8 \cdot 10^{-2}$  გ. მათი გამა-სხივებისაგან მიღებული დასხივება წელიწადში შესაბამისად 18,19 და 37 მილირადის ტოლია, ხოლო ჯამური დოზა წელიწადში დაახლოებით 74 მილირადია.

არსებობს ქვეყნები, სადაც ნიადაგი ძლიერ მდიდარია რადიაქტიური 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. ბრაზილიის შტატ გოიასში აღინიშნება დედამიწის ზედაპირის ყველაზე მაღალი გამა-გამოსხივება — 12 რადი/წელიწადში.

კოსმოსურ სხივებთან შედარებით, ნიადაგში არსებული რადიაქტიური ელემენტების გამა-სხივების შედარებით ნაკლებია, ამიტომ მათ გარკვეულ ნაწილს სხეულის რბილი ქსოვილები შეაკავენ (ეკრანირების კოეფიციენტი 0,63-ის ტოლია), რის გამო გონალები და

ძელები შთანთქავს შედარებით ნაკლებ დოზას —  $74 \cdot 0,63 = 47$  მილი-  
რადს წელიწადში.

საშენი მასალების გამოსხივება. ვინაიდან რადი-  
აქტიური ელემენტები ნიადაგში ასე ფართოდაა გავრცელებული, რა-  
საკვირველია მათ შეიცავს აგრეთვე საშენი მასალები და, ბუნებრი-

ცხრილი 21

სხვადასხვა ნიადაგის გამა-გამოსხივებისაგან შექმნილი გარეგანი დასხივების  
დოზის სიმძლავრე

ნიადაგები	დოზის სიმძლავრე (მრადი/წელიწადში)	
	საშუალო სიდიდე	ზღვრული მაჩვენებლები
ჩვეულებრივი რაიონები		
მთის ქანები	73	25—120
შუა განედის ნიადაგი	70	48—160
განსაკუთრებული რაიონები		
გრანიტით მდიდარი რაიონები (საფრანგეთი)	265	180—350
კერალის მონაციტური რაიონები (ინდოეთი)	1270	131—2814

ვია, რომ ადამიანი, რომელიც თავისი ცხოვრების უმეტეს ნაწილს  
შენობაში ატარებს, მისი კედლებიდანაც ეღებულობს დასხივების გარ-  
კვეულ დოზას. ეს დოზა წელიწადში დაახლოებით 25—28 მილი-  
რადია.

სხვადასხვა საშენი მასალა სხვადასხვა რაოდენობით შეიცავს რა-  
დიაქტივობას.

ცხრილი 22

ზოგიერთი საშენი მასალის რადიაქტივობა

საშენი მასალა	Ra-ის რადიაქტივობა 1 გ მასალაზე $\times 10^{-12}$ კიურა
აგური	3—13
ბეტონი	1,7—6,7
ბეტონი თიხა-ფიქალით	15—75
ცემენტი	1,8—5,9
კირა	0,1—1,7
ზე	<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 მასალა-  
ში, ამიტომ ქვის შენობაში დასხივების დოზა რამდენჯერმე (დაახლო-  
ებით 2—3-ჯერ) აღემატება დასხივების დოზას ხის შენობაში.



წყალსატევების ბუნებრივი რადიაქტივობა. რადგან ნიადაგი შეიცავს რადიაქტიურ ელემენტებს, იწვევს ღია და მიწისქვეშა წყლებში ამ ელემენტების გადასვლას. წყალსატევების რადიაქტივობაც ძირითადად განისაზღვრება იმავე ელემენტებით, რომლებიც ნიადაგში გვხვდება —  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , აგრეთვე  $^{222}\text{Rn}$ . 23-ე ცხრილში მოცემულია რადიუმისა და ურანის შემცველობა სხვადასხვა ტიპის წყალსატევებში.

ცხრილი 23

ბუნებრივი რადიაქტიური ნივთიერებების შემცველობა ღია წყალსატევებში

წყალსატევის სახე	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	$1.10^{-13}$	$2.10^{-6}$
ზღვის შლამი	$1.10^{-13}$	$0,65.10^{-3}$
	$\cdot 1,59 \cdot 10^{-8}$	

რადიაქტიური ელემენტებით მდიდარი წყალი ცნობილია, როგორც რადიაქტიური. წყალს რადიაქტიურად მიიჩნევენ, თუ მასში რადიაქტიური ელემენტების კონცენტრაცია ასეთია:

$$\text{Rn} > 5 \cdot 10^{-10} \text{ გ/ლ}$$

$$\text{Ra} > 1 \cdot 10^{-11} \text{ გ/ლ}$$

$$\text{U} > 3 \cdot 10^{-5} \text{ გ/ლ}$$

ასეთი წყალი გამოყენებულია კურორტოლოგიაში.

მდინარეების, ტბებისა და ზღვების წყალში, როგორც ეს ცხრილიდან ჩანს, რადიაქტიური ელემენტების კონცენტრაცია შედარებით დაბალია. მათი დამახასიათებელია რადიაქტივობის კონცენტრაციის პერიოდული ცვალებადობა (ძირითადად ეს ეხება მდინარეებსა და ტბებს). გაზაფხულობით ისინი ივსება თოვლისა და ყინულის დნობის შედეგად, რომელთა რადიაქტივობა ძალიან მცირეა, ამიტომ ამ პერიოდში მათი ხვედრითი აქტივობა ეცემა. რადიაქტივობა ასევე დაბალია მიწისქვეშა წყალშიც, მაგრამ, ღია წყალსატევებთან შედარებით, უფრო მაღალია. რასაკვირველია, ამგვარ წყალში მათი კონცენტრაცია დამოკიდებულია ნიადაგზე, საიდანაც ისინი გამოდის. რადიაქტივობა ყველაზე მაღალია იმ წყალში, რომელიც მაგმურ ქანებს გაივლის. რადონის კონცენტრაცია მასში უდრის  $1 \cdot 10^{-9}$  გ/ლ, რადიუმისა —  $2 \cdot 10^{-12}$  გ/ლ-ს, ურანისა —  $7 \cdot 10^{-6}$  გ/ლ-ს. ყველაზე დაბალი კონცენტრაციაა წყალში, რომელიც გამოდის დანალექი კირიანი ქანებიდან. მასში რადონის კონცენტრაცია საშუალოდ აღწევს  $1,5 \cdot 10^{-11}$

კ/ლ-ს, რადიუმისა —  $2 \cdot 10^{-11}$  კ/ლ-ს, ურანისა —  $5 \cdot 10^{-6}$  გ/ლ-ს. ეს ისეთი წყალია, რომელიც ძირითადად გამოყენებულია როგორც სასმელად, ასევე სამეურნეო საჭიროებისათვის. მდინარის წყალში  $^{40}\text{K}$ -ის შემცველობა ძლიერ დაბალია —  $R \cdot 10^{-12}$  კ/ლ. კალიუმის, ურანისა და რადიუმის რაოდენობა საკმაოდ მაღალია მდინარეების, ტბებისა და ზღვების შლამში.

ზღვებისა და ოკეანეების მარილოვანი და, მაშასადამე, რადიაქტიური ელემენტების შედგენილობა დამოკიდებულია კლიმატურ და ჰიდროგეოლოგიურ პირობებზე. ამ წყალში, გარდა ზემოჩამოთვლილი რადიაქტიური ელემენტებისა, შედის აგრეთვე  $^{40}\text{K}$ . მისი კონცენტრაცია დაახლოებით  $3-5 \cdot 10^{-10}$  კ/ლ-ის ტოლია. ურანის რაოდენობა უდრის  $2 \cdot 10^{-8}$  გ/ლ, ხოლო რადიუმისა —  $1 \cdot 10^{-13}$  გ/ლ-ს.

ატმოსფეროს შემოსხვება. ატმოსფეროს რადიაქტივობას ძირითადად განაპირობებს მასში არსებული რადონი —  $^{222}\text{Rn}$ , მაგრამ, გარდა რადონისა, ატმოსფეროს რადიაქტივობის შექმნაში მონაწილეობს ისეთი ელემენტებიც, როგორცაა თორონი —  $^{220}\text{Tn}$ , რადონისა და თორონის დაშლის პროდუქტები (რომლებიც დედისეული აიროვანი ელემენტებისაგან განსხვავებით, მყარი ნივთიერებებია), რადიაქტიური ნახშირბადი —  $^{14}\text{C}$ , რადიაქტიური 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, ნიადაგის ჰაერსა და ატმოსფერულ ჰაერს შორის ცვლის ინტენსივობაზე. ზაფხულობით რადონი ნიადაგიდან ატმოსფერულ ჰაერში უფრო ინტენსიურად გამოიყოფა, ვიდრე ზამთრობით.

რადონის კონცენტრაცია ნიადაგში სიღრმის ზრდასთან ერთად მატულობს, ამიტომ ცუდი ვენტილაციის 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.

რადონისა და თორონის კონცენტრაცია ატმოსფერულ ჰაერში არ არის თანაბარი. იგი მეტია დედამიწასთან უფრო ახლო მდებარე ფენებში, და რაც უფრო ზემოთ ავდივართ, კლებულობს.

რაიონებში, რომლებიც მდიდარია რადიაქტიური საბადოებით, რადონისა და თორონის კონცენტრაცია ატმოსფერულ ჰაერში მაღალია,

და, პირიქით, იმ რაიონებში რომელთა ნიადაგები ღარიბია რადიოაქტიური ელემენტებით, რადონის კონცენტრაცია ჰაერში დაბალია.

რადონის კონცენტრაცია ხმელეთის ჰაერში უფრო მეტია, ვიდრე ოკეანის ატმოსფერულ ჰაერში. მაგალითად, ხმელეთის ატმოსფერულ ჰაერში რადონის შემცველობა საშუალოდ  $1,2 \cdot 10^{-13}$  კ/ლ-ის უდრის, ოკეანის ნაპირთან  $1 \cdot 10^{-14}$  კ/ლ-ს, ხოლო შუაგულ ოკეანის ატმოსფერულ ჰაერში  $1 \cdot 10^{-15}$  კ/ლ-ს.

ატმოსფერულ ჰაერში რადონისა 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, მაშასადამე, მრეწველობის განვითარებას თან სდევს რადონისა და თორონის კონცენტრაციის ზრდა ატმოსფერულ ჰაერში.

#### ცხრილი 24

რადონისა და თორონის საშუალო წლიური კონცენტრაცია ღღამიწის სხვადასხვა რაიონის ჰაერში (კონცენტრაცია ჰაერში  $\times 10^{-15}$  გ/ლ)

ადგილმდებარეობა	რადონი	თორონი	მათი დაშლის პროდუქტები
ვაშიშვტონი	172	2,3	2,1
იოკაზიკა (იაპონია)	54	0,48	0,66
კოლაიკი (ალაისკა)	7,3	0,042	0,16
ანტარქტიდა	1,5	0,01	0,019

ატმოსფეროს ჰაერში რადონის ნორმალური კონცენტრაცია გამაგამოსხივების ხარჯზე წელიწადში კმნის 3,0 მილიარდ დასხივებას, ხოლო თორონი იძლევა ძლიერ უმნიშვნელო დასხივებას — 0,7 მილიარდი/წელიწადში.

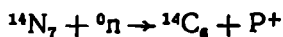
შენობებში, რომელთა განიავება ცუდად ხდება, შესაძლებელია რადონისა და თორონის კონცენტრაცია, ატმოსფერულ ჰაერთან შედარებით; უფრო მეტი იყოს. ამის მიზეზი შენობის კედლებია, რომლებიც შეიცავენ რადიუმსა და თორიუმს და რომელთა დაშლის შედეგად წარმოიქმნება ეს ელემენტები. როგორც ცნობილია, ყველაზე დიდი რაოდენობით რადიოაქტიურ 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, რომლებშიც რადონის კონცენტრაცია დაახლოებით ისეთივეა, როგორიც ატმოსფერულ ჰაერში ( $0,3 \cdot 10^{-13}$  კ/ლ).

როგორც აღვნიშნეთ, ატმოსფერული რადონისა და თორონის გამა-გამოსხივების ხარჯზე გარეგანი დასხივების დოზა შეადგენს  $(3,0+0,7)$  მილირადს წელიწადში. რაც შეეხება გონადებსა და ძვლებს, თუ მხედველობაში მივიღებთ რბილი ქსოვილების ეკრანირების კოეფიციენტს  $(0,63)$ , მაშინ მათ მიერ შთანთქმული დოზა იქნება  $3,7 \times 0,63 = 2,3$  მილირადი/წელიწადში.

აღსანიშნავია, რომ რადონი და თორონი, გარდა ორგანიზმის გარეგანი დასხივებისა, მონაწილეობს შინაგანი დასხივების პროცესშიც. ეს აირები ინერტულია. ისინი შეისუნთქება ატმოსფერულ ჰაერთან ერთად, კარგად იხსნება სისხლსა და ქსოვილოვან სითხეებში, თანაბრად ნაწილდება მთელ ორგანიზმში და იწვევს მის დასხივებას.

რადონისა და თორონის დაშლის შედეგად წარმოქმნილი მყარი ელემენტები ძირითადად ალფა- და ბეტა-გამომსხივებლებია და არსებობის მცირე ხანგრძლივობა ახასიათებს. დიდი ნახევარდაშლის პერიოდის მქონე ელემენტები მცირე რაოდენობით წარმოიქმნება. მათ მიერ შექმნილი დასხივების დოზა უმნიშვნელოა.

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



ვინაიდან ჰაერში არის  $^{14}\text{C}$ , ამიტომ მას გარკვეული რაოდენობით შეიცავს ატმოსფერული ნახშირორჟანგი. რადიაქტიური ნახშირბადის  $^{14}\text{C}$  რაოდენობა ატმოსფერულ ჰაერსა და, აგრეთვე, ორგანულ ნაერთებში მუდმივია, ვინაიდან კოსმოსური გამოსხივების ინტენსივობა ბუნებაში მუდმივია და ერთგვარი წონასწორობაა ჰაერში  $^{14}\text{C}$  კონცენტრაციასა და ნახშირბადოვანი ნაერთების შემცველ ნივთიერებებს შორის, რომლებშიც მიმდინარეობს ნივთიერებათა, კერძოდ, ნახშირბადის ცვლა. თუ ნივთიერებათა ცვლა შეწყდება (ე. ი. ცოცხალი ნივთიერება კვდება), მაშინ მასში  $^{14}\text{C}$ -ის რაოდენობა მისი რადიაქტიური გარდაქმნის გამო კლებულობს. ამაზეა დამყარებული ორგანული ნაერთების ასაკის დადგენის ლიბის მეთოდი.

სამრეწველო ქალაქების ჰაერში  $^{14}\text{C}$ -ის შეფარდებითი რაოდენობა უფრო ნაკლებია, ვიდრე სოფლად, ვინაიდან ქალაქებში გამოყენებულია წიაღისეული საწვავი, რომელშიც რადიაქტიური ნახშირბადის —  $^{14}\text{C}$ -ის რაოდენობა მისი ბუნებრივი დაშლის გამო შემცირებულია. აბსოლუტური მნიშვნელობით კი მრეწველობისა და ტრანსპორტის ინტენსიურ განვითარებასა და გამოყენებას, რასაკვირველია, თან

სდევს ქალაქის ჰაერში  $^{14}\text{C}$ -ის რაოდენობის მატება. დიდია მისი კონცენტრაცია აგრეთვე აეროდრომებთან მიმდებარე ტერიტორიებზე.

ნახშირბადის —  $^{14}\text{C}$ -ისა და ტრიტიუმის —  $^3\text{H}$ -ის გამოსხივებით შექმნილი დოზა ძალიან უმნიშვნელოა.

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

რადიოაქტიური ელემენტების რაოდენობა ჰაერში იცვლება ადგილისა და დროის მიხედვით. ჩვენ უკვე ჩამოვთვალეთ საკმაოდ ბევრი მიზეზი, რომლებზეც დამოკიდებულია ნიადაგისა და შესაბამისად ჰაერის რადიოაქტივობის ცვლილებები. დამატებით უნდა აღვნიშნოთ, რომ ატმოსფერული ჰაერის რადიოაქტივობაზე გავლენას ახდენს ჰაერის მასების გადაადგილებაც.

ც ხ რ ი ლ ი 25

რადიაციის ბუნებრივი წყაროებისაგან წარმოქმნილი საშუალო წლიური დოზები (გარეგანი დასხივება)

წყარო	დოზა გონაღებზე, მრბე	მთელი სხეულის მიერ შთანთქმული ინტეგრალური დოზა გ/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 დასხივების კომპონენტები ქმნის დასხივების გარკვეულ დოზას. 25-ე ცხრილში მოცემულია ამ კომპონენტების მოქმედების შედეგად გონაღების მიერ შთანთქმული დოზა, აგრეთვე მთლიანი ორგანიზმის მიერ შთანთქმული ინტეგრალური დოზები. ეს ცხრილი ნათლად მეტყველებს, რომ ორგანიზმის დასხივება ძირითადად ხდება ნიადაგისა და საშენი მასალების რადიოაქტიური ელემენტების, აგრეთვე, კოსმოსური გამოსხივებით.

ზოგიერთ საკვებ პროდუქტში საერთო კალორუმა და რაოდენობა 40K-ის შემცველობა

პროდუქტის დასახელება	კალორუმის საერთო რაოდენ. (გ%)	40K რაოდ. X10-9 კ/კგ	პროდუქტის დასახელება	კალორუმის საერთო რაოდენ. (გ%)	K <sup>40</sup> რაოდ. X10-9 კ/კგ
<b>ფქვილი</b>			<b>ბოსტნეული:</b>		
ხორბლის ცხელი	243	1,98	კარტოფილი	449	3,40
ხორბლის I ხარისხ.	139	1,13	კომბოსტო	210	1,70
ხორბლის II "	191	1,56	კარხალი	353	2,90
კვავის	340	2,78	სტაფილო	287	2,30
			ხახვი	151	1,20
<b>ბური და ბურის ნაწარმი</b>			კიტრი, პომიდორი	337	2,70
ხორბლის ბური	153	1,125	ტომატი	310	2,50
ფორმის, ცხელი ფქვილიდან	96	0,78	მუხუდო	1229	10,00
ფორმის I ხარისხ. ფქვილიდან	129	1,06	ლობიო	1144	9,40
ფორმის II "			სოიის ფქვილი	2250	18,00
კვავის ბური	235	1,92	კარტოფლის ფქვილი	129	1,00
ფორმის, ცხელი ფქვილიდან	242	1,98	<b>ხილი</b>		
ძირის, ცხელი ფქვილიდან	100	0,82	ჩირი	300	2,40
უბრალე ბატონი I ხარ. ფქვილიდან	63	0,52	ვაშლი	127	1,00
უბრალე ბატონი II ხარ. ფქვილიდან	116	0,95	მსხალი	132	1,10
ფქვილის საკონდიტრო ნაწარმი	83	0,68	ბარბარი	248	2,00
ნამცხვარი "ბიხილი"			ლიმონი	175	1,40
ნამცხვარი "სორტი"			შტოში	149	1,20
"ნაღების"			ხილის წვენი	106	0,80
<b>ბურღულისა და მკარანის ნაწარმი</b>			<b>კონსერვები</b>		
მკარანი	130	1,10	ხორცის	312	2,55
ბურღული წყიბურას	130	1,10	ჩხვრის ჩათუთქული	253	2,07
"	344	2,80	ღორის		

1	2	3.	4	5	6
ბრინჯი - შერის	241 70	1,90 0,60	საქონლის საქონლის მოხარშული	230 316	1,78 2,58
ხორცი და თევზის ნაწარკი:			შემწვარი ხორცი შესკმელებული რძე შაქრით ლურკანა საუთარ წვეწმე კიტა	161 314 260 334 262	1,32 2,57 2,12 2,72 2,16
ხორცი	274	2,20	თართი		
საქონლის	338	2,30	ბოსტნეულის		
ლორის	109	0,90			
ლორის ქონი	169	1,40			
თევზი	262	2,10	მწვანე მუხუღო წიწკაკ ფარშირებული პომიდორი	135 137 260	1,10 1,41 2,12
ხაჭაპლა	422	3,40	პომიდორის წვენი	286	2,34 2,55
რძე და რძის ბროღუქები			ხილ-კენკროვანი		1,08
ძროხის რძე	127	1,04		312	0,70
კარაქი	14	0,10	ხურმის წვენი	133	1,50
ხაჭო	372	3,00	შავი მოცხარის წვენი	86	
არაქანი	126	1,10	მსხლის კომპოტი	183	
ყველი	89	0,70	ვარგარის კომპოტი		

მცენარეთა და ცხოველთა რადიექტივობა. ერთი მხრივ, გარემო სამყაროს, მეორე მხრივ, კი მცენარეთა და ცხოველთა შორის განუწყვეტლივ ხდება ნივთიერებათა ცვლა, რაც იწვევს მცენარეებსა და ცხოველებში რადიექტიური ელემენტების დაგროვებას. ცხოველთა და მცენარეთა რადიექტივობას ძირითადად განსაზღვრავს კალიუმი — 40, რადიუმი — 226, ნახშირბადი — 14, წყალბადი — 3, ურანი — 238.

რადიექტიურ ელემენტთა რაოდენობა სხვადასხვა მცენარეში სხვადასხვაგვარია. შედარებით დიდია მათი შემცველობა პარკოსნებში, ხოლო მარცვლოვნებში რადიექტივობა ნაკლებია. მაგალითად, ლობიოში, მუხუდოში რადიექტიური კალიუმის —  $^{40}\text{K}$  რაოდენობაა  $1 \cdot 10^{-8}$  კ/კგ, ხოლო მარცვლეულში არ აღემატება  $2 \cdot 10^{-9}$  კ/კგ-ს. მცენარეებსა და ცხოველებში რადიექტიური კალიუმის საშუალო შემცველობა  $2,4 \cdot 10^{-9}$  კ/კგ-ია.

ასევე ცვალებადობს რადიუმის ( $^{226}\text{Ra}$ ) შემცველობა. საშუალოდ მიღებულია, რომ მცენარეების ქსოვილები მას შეიცავს  $10^{-12}\%$ , ხოლო ცხოველთა ქსოვილები —  $10^{-13}\%$  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 (მდიდარ ან ღარიბ) ნიადაგზეა იგი მოყვანილი.

### ცხრილი 27

ზოგიერთ ხაკვებ პროდუქტში რადიუმის  $^{226}\text{Ra}$  შემცველობა

პროდუქტის დასახელება	რადიუმის $^{226}\text{Ra}$ შემცველობა ( $10^{-12}$ კ/კგ)
ხორბალი	2,0—2,6
კარტოფილი	6,7—12,5
კომბოსტო	2,4
ძროხის რძე	3,75
საქონლის ხორცი	0,8
ღორის ხორცი	0,8
თევზი	4,0

$^{40}\text{K}$ -სა და  $^{226}\text{Ra}$ -ს ცხოველთა ქსოვილებში სხვადასხვაგვარი განაწილება ახასიათებთ; რადიუმი გროვდება ძირითადად ძვლებში, კალიუმი კი განაწილებულია რბილ ქსოვილებში. რბილი ქსოვილებიდან ყველაზე მეტად დეჰონირდება კუნთებსა და ერითროციტებში. 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.

მცენარეთა და ცხოველთა რადიაქტივობა, როგორც გარეგანი დამსხივებელი ფაქტორი, ადამიანისათვის რაიმე მნიშვნელოვანი წყარო არ არის, მაგრამ მას განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს ადამიანის შინაგანი დასხივების დოზის შექმნისას.

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

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

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

ცხრილი 28

ადამიანის ორგანიზმში შემაჯავლი ბუნებრივი რადიაქტიური ელემენტები

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

ცნობილია, რომ ბუნებრივი კალიუმი შეიცავს 0,0119%  $^{40}\text{K}$ -ს, ანუ კალიუმის თითოეული გრამი შეიცავს  $^{40}\text{K}$ -ის  $8,7 \cdot 10^{-10}$  კიურის. ადამიანი საკვებთან ერთად ყოველდღიურად ღებულობს ბუნებრივი კალიუმის დაახლოებით 2—3 გ-ს, რაც შეესაბამება აქტიური კალიუმის  $1,6 \cdot 10^{-9}$ — $2,4 \cdot 10^{-9}$  კიურის.

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

ორგანო	$^{40}\text{K}$ -ის ხვედრითი აქტივობა ( $\times 10^{-9}$ კ/კგ)
კუნთები	2,9
თავის ტვინი	2,4
ღვიძლი	1,7
ფილტვები	1,2
ცხიმოვანი ქსოვილი	0,5
ძვლოვანი ქსოვილი	0,5

$^{226}\text{Ra}$ -ის შემცველობა ადამიანის ორგანიზმის ზოგიერთ ორგანოსა და ქსოვილში

ორგანო, ქსოვილი	$^{226}\text{Ra}$ -ის ხვედრითი აქტივობა ( $\times 10^{-12}$ კ/კგ)
ძვალი	5,4—9,7
ღვიძლი	2,0—3,4
ფილტვები	1,2—3,5
კუნთები	1,4—2,5
თირკმლები	0,9
საკვერცხეები	0,3—2,6

ორგანიზმში კალიუმის კონცენტრაციაა 0,2% (0,11%-დან 0,3%-მდე), ე. ი. დაახლოებით 140 გ. მაშასადამე, ორგანიზმში  $^{40}\text{K}$  ყოფილა 0,0167 გ-ის რაოდენობით. მისი ჯამური აქტივობა ცვალებადობს  $10,4 \cdot 10^{-8}$ — $6 \cdot 10^{-7}$  კ-ს ფარგლებში. კალიუმის ყველაზე მაღალი კონცენტრაციაა კუნთოვან ქსოვილში — მთელი კალიუმის 0,03%, ხოლო გონადებში — 0,21%. ორგანიზმში მისი შემცველობა სხვა მრავალ ფაქტორთან ერთად დამოკიდებულია კუნთოვანი სისტემის განვითარებაზეც. რაც უფრო მეტადაა განვითარებული კუნთოვანი ქსოვილი, მით მეტია ორგანიზმში  $^{40}\text{K}$ , ორგანიზმის დასხივების დოზა  $^{40}\text{K}$ -ის ჯამური რაოდენობის ბეტა- და გამა-სხივების მოქმედების შედეგად არის 27 მილირბე/წელიწადში.

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. იმავე მიზეზების გამო კალიუმის რაოდენობა მცირდება ასაკის მატებასთან ერთად. პარენქიმულ ორგანოებში სხვადასხვა დისტროფიული პროცესი (განსაკუთრებით კუნთოვან ქსოვილებში) იწვევს კალიუმის რაოდენობის დაკლებას.

დადგენილია, რომ ფუნქციურად აქტიური ქსოვილისათვის კალიუმი, კერძოდ  $^{40}\text{K}$ , მეტად მნიშვნელოვანი ელემენტია. არსებობს მოსაზრება, რომ გულის კუნთის ავტომატურ აგზნებადობაში  $^{40}\text{K}$ -ს განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს. კალიუმის როლი უჯრედის ცხოველმყოფელობაში მეტად დიდია. ცნობილია, რომ კალიუმის იონების გრადიენტზეა დაფუძნებული უჯრედის, როგორც ცოცხალი და აგზნებადი სისტემის, არსებობა. 29-ე ცხრილში მოცემულია  $^{40}\text{K}$ -ის შემცველობა ადამიანის სხვადასხვა ორგანოსა და ქსოვილში.

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.

შემდეგი საყურადღებო ელემენტია, როგორც უინაგანი დასხივების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი წყარო, რადიუმი  $^{226}\text{Ra}$ . ადამიანი სისტემატურად ლებულობს მას საკვებისა და სასმელი წყლის მეშვეობით (დაახლოებით 5 · 10<sup>-12</sup> კიურის რაოდენობით). ორგანიზმში მისი რაოდენობა უდრის 60 · 10<sup>-12</sup> გ-ს. ასეთი ოდენობით მას ორგანიზმში შეიცავს იმ შემთხვევაში, თუ სასმელ წყალში მისი კონცენტრაცია ნორმის ფარგლებშია — 1 · 10<sup>-13</sup> გ/ლიტრში.

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 Ra-ის კონცენტრაცია მაღალია, შესაბამისად მაღალი იქნება იგი ცხოველურ, მცენარეულ პროდუქტებშიც, აგრეთვე სასმელ წყალში, მაშასადამე, შესაბამისად მაღალი იქნება მისი კონცენტრაცია ადამიანის ორგანიზმშიც, კერძოდ ძვლებში. დადასტურებულია, რომ რადიუმის ხვედრითი აქტივობა ძვლებში სქესთან და ასაკთან დაკავშირებით თითქმის არ ცვალბადობს და საშუალოდ უდრის 4 · 10<sup>-13</sup> გ/გ-ს. Ra-ის მიერ ძვლებში წარმოქმნილი დასხივების დოზა წელიწადში 37 მილირბეს ტოლია. თუ რადიუმის რაოდენობა ორგანიზმში მატულობს, იზრდება, არა მთელი ორგანიზმის, არამედ ძირითადად, ძვლების დასხივების დოზა. 30-ე ცხრილში მოყვანილია Ra-ის შემცველობა ზოგიერთ ორგანოსა და ქსოვილში.

ურანისა და თორიუმის ოჯახთა რიგის წარმომადგენლებია რადონი და თორონი, რომლებიც აგრეთვე მონაწილეობენ შინაგანი ფონის შექმნაში. რადონი და თორონი ორგანიზმში ხედება არა მარტო ატმოსფერული ჰაერის შესუნთქვით, არამედ წარმოიქმნება ძვლებში დეპონირებული რადიუმისა და თორიუმის დაშლის შედეგადაც. რადონისა და თორონის მოქმედების კრიტიკული ორგანოა ფილტვები, ვინაიდან მათი საშუალებით ხდება ამ ინერტული აირების შესუნთქვა და გამოყოფა. რადონისა და თორონის გამოსხივების შედეგად ფილტვების მიერ მიღებული დოზა საკმაოდ მაღალია და, რასაკვირველია, იგი არ შეედრება იმ დოზას, რომელსაც ეს აირები ქმნის გარეგანი დასხივების შედეგად 2—3 მილიარდი/წელიწადში. თუ მივიღებთ, რომ რადონი და თორონი წონასწორობაში არიან მათი დაშლის პროდუქტებთან და აქტიური აეროზოლების 60% ფილტვებში კავდება, მაშინ ატმოსფერულ ჰაერში რადონისა და თორონის ნორმალური კონცენტრაციის პირობებში ფილტვების დასხივების დოზა წელიწადში უდრის რადონისაგან 100 მილირბეს, ხოლო თორონისაგან — 330 მილირბეს. მაგრამ პრაქტიკაში წონასწორობა ხშირად დარღვეულია, რის გამოც ფილტვების დასხივების დოზა ფაქტიურად გაცილებით (რამდენიმე ასეულჯერ) ნაკლებია. გონადებისა და ძვლების რადონითა და თორონით დასხივებას არსებითი მნიშვნელობა არა აქვს და მას უგულებელყოფენ.

შინაგანი დასხივების წყაროთა ერთ-ერთი ჯგუფი, როგორც აღვნიშნეთ, ბუნების მიერ „ხელოვნურად“ შექმნილი ელემენტებია —  $^3\text{H}$  და  $^{14}\text{C}$ .  $^3\text{H}$ -ის ხვედრითი აქტივობა ადამიანის ორგანიზმში არ აღემატება  $1,5 \cdot 10^{-11}$  კ/კგ-ს და ქმნის დასხივების მეტად უმნიშვნელო დოზას.

ადამიანი ყოველდღიურად ლებულობს 400 გ-მდე ნახშირბადს; რაც შეიცავს  $3 \cdot 10^{-9}$  კიური  $^{14}\text{C}$ -ს. ადამიანის ორგანიზმის წონის 18% ნახშირბადია,  $^{14}\text{C}$ -ის რაოდენობა კი აღწევს  $1,3 \cdot 10^{-9}$  კ/კგ-ს. რადიოაქტიური ნახშირბადის ნორმალური კონცენტრაცია ორგანიზმში იწვევს მის დასხივებას 1,4 მრადი/წელიწადში. მართალია, შინაგანი დასხივების დოზა დიდი არ არის, მაგრამ უკანასკნელ წლებში მიაჩნიათ, რომ  $^{14}\text{C}$ -ს მნიშვნელოვანი როლი მიეკუთვნება ე. წ. „სპონტანური“ მუტაციების წარმოქმნაში:  $^{14}\text{C}$  შედის გენში არსებულ შთამომავლობითი ინფორმაციის მტარებელი სუბსტანციის — დეზოქსირიბონუკლეინმჟავას (დნმ) მოლეკულაში. ამ ნახშირბადის რადიოაქტიური გარდაქმნით წარმოიქმნება აზოტი (გადახრა მარჯვნივ ერთი უჯრით); დეზოქსირიბონუკლეინმჟავას მოლეკულის ქიმიური სტრუქტურა იცვლება, მასში წარმოიქმნება ზედმეტი აზოტი. გენის ქიმიური ბუნების

შეცვლა კი მისი მუტაციაა, რასაც შედეგად მოჰყვება ახალი თვისება შთამომავლობაში ან რომელიმე თვისების დაკარგვა.

ამგვარად, ორგანიზმი შეიცავს გარკვეული რაოდენობით რადიოაქტიურ იზოტოპებს, რომლებიც იწვევენ მის დასხივებას ალფა-, ბეტა-, გამა-სხივებით. ალფა-გამოსხივების წყაროებია რადიუმი, რადონი, თორონი; ბეტა-გამოსხივების —  $^{40}\text{K}$  და  $^{14}\text{C}$ , ხოლო ორგანიზმის დასხივება გამა-სხივებით ძირითადად ხდება  $^{40}\text{K}$ -ის ხარჯზე. ადამიანის მთელი სხეულის რადიოაქტიური გამოსხივების გაზომვა შესაძლებელია სპეციალური ტყვიის კამერებით (ე. წ. გამა-კამერები). ეს დანადგარები ძირითადად აღნუსხავენ გამა-გამოსხივებას და ნაწილობრივ ხისტ ბეტა-სხივებს. რაც შეეხება ალფა-სხივებსა და რბილ ბეტა-გამოსხივებას, ისინი შთანთქმება ქსოვილების სისქით და მთვლელებამდე აღარ აღწევენ.

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

ამგვარად, მაიონიზებელი 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 რადიონუკლიდური შემადგენლობისაა ნიადაგი, სადაც ის ცხოვრობს, რა რაოდენობით ხვდება რადიოაქტიური ელემენტები მის ორგანიზმში ჰაერიდან, წყლიდან და საკვებით. საშუალოდ მიჩნეულია, რომ ბუნებრივი წყაროებიდან ადამიანის ორგანიზმის მიერ შთანთქმული დოზა წელიწადში შეადგენს  $1/1000$  გრეი-ს, თუმცა ზოგ რეგიონში აღწევს  $1/100$  და მეტ გრეი-ს (საშუალო ეკვივალენტური დოზები —  $130-140$  მილირბე, ანუ  $1,3-1,4$  ზივერტი).

მოსალოდნელია ბუნებრივი დასხივების დოზის გაზრდა, მაგალითად, სასარგებლო წიაღისეულის დამუშავების, დიდ სიმაღლეზე ფრენის, ბუნებრივი რადიონუკლიდების შემცველი სამშენებლო მასალის გამოყენების, ცუდი ვენტილაციის მქონე ბინებში ცხოვრებისა და სხვა შემთხვევებში.

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 დასხივების დონე

გამოსხივების წყარო	დოზა წელიწადში (მრადი) შესაბამის ორგანოზე		
	გონალები	ძვლის ზედაპირული უჯრედები	ძვლის ტვინი
გარეგანი დასხივება კოსმოსური სხივები:			
მაიონიზებული ნაწილაკები	28	28	28
ნეიტრონები	0,7	0,7	0,7
ნიადაგის გამოსხივება (ჰაერის ჩათვლით)	50	50	50
შინაგანი დასხივება			
<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 (ქსოვილებში გახსნილი)	0,3	0,3	0,3
<b>სულ</b>	~100	~99	~96
α-ნაწილაკებისა და ნეიტრონების დოზა, % საერთო დოზიდან	1,3	4,4	1,4

გუნებარივი 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. მართალია, ეს გამოსხივება ე. წ. ბუნებრივი რადიაციული ფონი, რომელიც შედგება მიწიერი (ლითოსფეროს, ჰიდროსფეროს, ატმოსფეროს, ბიოსფეროს) და არამიწიერი (კოსმოსური) წარმოშობის სხივებისაგან, სუსტი სიძლიერისაა, მაგრამ იყო პერიოდები, როდესაც მისი ინტენსივობა საკმაოდ მაღალი იყო. არსებობს სიცოცხლის წარმოქმნის ერთ-ერთი ჰიპოთეზა, რომლის მიხედვით დედამიწის განვითარების რომელიღაც

ეტაპზე არაორგანული აზოტოვანი ნაერთებიდან ცილის სინთეზის შესაძლებლობა შეიქმნა სწორედ მაღალენერგიული მაიონიზებული გამოსხივების დიდი სიმძლავრის დოზების მოქმედების შედეგად. შემდგომში გამოსხივების ინტენსივობა შემცირდა და ადამიანის განვითარება, ევოლუცია ფილონტოგენეზში მიმდინარეობს ამ გამოსხივების ფონზე და დამყარებულია გარკვეული ევოლუციური თანათარლობა.

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 ბუნებრივი რადიაციული ფონის მოქმედება, რაიმე ჰიგიენური დისკომფორტი შემჩნეული არ ყოფილა. მაგრამ მას შემდეგ, რაც აღმოაჩინეს, ბუნებრივი და ხელოვნური რადიაქტივობა და ატომურმა ენერგიამ ფართოდ მოიკიდა ფეხი სახალხო მეურნეობის თითქმის ყველა დარგში, რასაც შედეგად მოჰყვა ბუნებაში ხელოვნური რადიაქტიური ელემენტების დაგროვება და გარემოს რადიაციული ფონის ზრდა, ამასთანავე, ცნობილი გახდა მაიონიზებული რადიაციის ბიოლოგიური მოქმედება, მეცნიერები უკვე გარკვეულ ინტერესს იჩენენ ადამიანსა და ცოცხალ სამყაროზე გარემოს რადიაციული ფონის დასადგენად.

მეცნიერებისათვის დღეისათვის ნათელია, რომ ბუნებრივი მაიონიზებული რადიაცია ერთ-ერთი აუცილებელი კომპონენტია ორგანული სამყაროს კანონზომიერი განვითარებისათვის. აკადემიკოს ვერნალსკის განსაზღვრით, სიცოცხლის განვითარება დედამიწაზე და ბიოსფეროში მიმდინარე სასიცოცხლო პროცესები განპირობებულია ენერჯის ორი წყაროს მეშვეობით — მზით და იმ რადიაქტიური ელემენტებით, რომლებიც უხვადაა გაფანტული მთელ სამყაროში და თვით ადამიანის ორგანიზმშიც.

ბუნებრივი რადიაქტიური ელემენტები შთაინთქმება ორგანიზმში და გარდა ქიმიური მოქმედებისა, ფიზიოლოგიურადაც მოქმედებს. ისინი გროვდებიან 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. ანალოგიურ მოქმედებას იჩენს ორგანიზმის გარეგანი დასხივება ბუნებრივი რადიაციული ფონით.

განსაკუთრებულად შეიძლება შევჩერდეთ ისეთ რადიაქტიურ ელემენტებზე, როგორცაა კალიუმი —  $^{40}\text{K}$ , მის ფიზიოლოგიურ

მნიშვნელობაზე. კალიუმი ძირითადად დაგროვილია კუნთოვან ქსოვილში, მათ შორის გულის კუნთშიც. ჯერ კიდევ ამ საუკუნის 20-ან წლებში გერმანელმა მეცნიერმა ცუაარდმაკერმა დაადგინა, რომ რადიოაქტიურ კალიუმს წამყვანი მნიშვნელობა აქვს გულის კუნთის ავტომატიზმის რეგულაციაში. პერიოდული აგზნებადობა, რომელიც გულის საკუთარ ნერვულ კვანძში — აზოფ-ტრავარას კვანძში აღიძვრება და ტარდება პისის კონაში, რადიოაქტიური კალიუმის გამოსხივების შედეგად წარმოიქმნება. გულის კუნთის სხვადასხვა დაავადების დროს კალიუმის ფართოდ გამოყენება თერაპიულ პრაქტიკაში ვერ ახსნის მისი მოქმედების მექანიზმს სრულად, თუ ეს გარემოებაც (კერძოდ ის, რომ K შეიცავს  $^{40}K$ -ის, ეს უკანასკნელი კი იწვევს გულის კუნთის აგზნებულობას) არ იქნება მხედველობაში მიღებული.

ისეთი მნიშვნელოვანი ელემენტი, როგორცაა  $^{262}Ra$ , ძვლოვან ქსოვილშია დაგროვილი. მისი ფიზიოლოგიური როლი ჯერ კიდევ დაუდგენელია, მაგრამ გამორიცხული არ არის, რომ ა-გამოსხივება, რომელიც Ra-ისა და მისი დაშლის პროდუქტებით გამოსხივდება, ზეგავლენას ახდენს ძვლის წითელ ტვინში მიმდინარე ჰემოპოეზურ პროცესებზე.

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 რადიოაქტიური წყლის მნიშვნელობა ამა თუ იმ სომატური დაავადების მკურნალობაში.

ყველაზე მნიშვნელოვანი თვისებაა მუტაგენური თვისება. მაიონიზებული გამოსხივების მუტაგენური თვისება პირველად 1925 წელს აღმოაჩინა ლენინგრადელი მეცნიერის გ. ა. ნაღსონის ლაბორატორიაში ახალგაზრდა მეცნიერმა გ. ფ. ფილიპოვმა.

ბუნებრივი ფონის მუტაგენური თვისება შეისწავლა მრავალმა მეცნიერმა, მათ შორის ტიმოფეევ — რესოვსკიმ. მან აღმოაჩინა, რომ ბუნებრივი ფონის მოქმედების შედეგად დროზოფილაში ვითარდება ბუნებრივი მუტაციების 0,001-ზე ნაკლები, ე. ი. თითქოსდა პრაქტიკულად ბუნებრივ ფონს, როგორც მუტაგენურ აგენტს მაინცდამაინც მნიშვნელობა არა აქვს. შემდგომში დადგინდა, რომ მუტაციების გაჩენის სიხშირეში მნიშვნელობა აქვს სიცოცხლის ხანგრძლივობას, აგრეთვე იმას, რომ სხვადასხვა სახეობის მგრძობელობა ბუნებრივი ფონის მიმართ სხვადასხვაგვარია; კერძოდ ძუძუმწოვართა მგრძობელობა განსაკუთრებით მაღალია. მაგალითად, დროზოფილებთან შედარებით, თაგვების დასხივების შედეგად 10—20-ჯერ უფრო ხშირად ვითარ-



დება მუტაცია, ხოლო მაიმუნების ჩანასახოვანი უჯრედების მგრძობელობა უფრო მეტია.

ადამიანის რეპროდუქციული პერიოდის ხანგრძლივობა 30 წელია, ე. ი. 1000-ჯერ უფრო ხანგრძლივი, ვიდრე დროზოფილის. სპონტანური მუტაციების სიხშირე ადამიანში 5-ჯერ უფრო მეტია, ხოლო რადიომგრძობელობა — 10—15-ჯერ უფრო მაღალი. ყოველივე ამის შედეგად გამოანგარიშებულია, რომ ადამიანში სპონტანური მუტაციების 25% (ე. ი. 1/4) განპირობებულია ბუნებრივი რადიაციული ფონით.

მუტაციები ადამიანში, თითქმის, როგორც წესი, უარყოფითია, მაგრამ მათი ის სიხშირე, რომელიც ამჟამად გარემოშია, ერთგვარ გაწონასწორებულ თანაფარდობაშია და რაიმე რეალურ საფრთხეს ევოლუციის პროცესში მყოფ ადამიანს არ უქადის. უფრო მეტიც, მცენარეულ და ცხოველურ სამყაროში ბუნებრივი რადიაციული ფონის მუტაგენურობა ხელს უწყობს უფრო ნაყოფიერი, პროდუქტიული და გამძლე ჯიშების წარმოშობასა და შენარჩუნებას.

ამგვარად, ის მცირე მონაცემებიც კი, რომლებიც დღეისათვის აქვს მეცნიერებას, ნათლად მიუთითებს ბუნებრივი რადიაციული ფონის უდიდეს მნიშვნელობაზე დედამიწაზე მიმდინარე ბიოლოგიურ პროცესებში.

## **ბუნებრივი რადიაციული ფონის ზრდის ხელოვნური წყაროები**

მაიონიზებული გამოსხივება, როგორც გარემოს ზემოქმედების ერთ-ერთი ფაქტორი, ახალი აღმოჩენა არ არის. იგი მუდამ არსებობდა და არსებობს დედამიწაზე ბუნებრივი ფონის სახით. მაგრამ ეს ფაქტორი, როგორც კვლევის ობიექტი, არ იპყრობდა ჰიგიენისტების ყურადღებას, ვინაიდან იმ ენდემიურ კერებში, სადაც აღინიშნებოდა რადიოაქტიური ნივთიერებების მაღალი კონცენტრაცია, არ ყოფილა გამოააშკარავებული რაიმე პათოლოგიური გადახრა. მდგომარეობა შეიცვალა მას შემდეგ, რაც აღმოაჩინეს ხელოვნური რადიოაქტიური იზოტოპები, რომელთა საშუალებით დღეს შეიქმნა ბიოსფეროს დაბინძურების, გარემოს რადიაციული ფონისა და ადამიანის დასახივების დოზის ზრდის საშიშროება.

ჩვენი საუკუნე დიდი ქიმიისა და ატომური ენერჯის ეპოქაა. სახალხო მეურნეობის თითქმის ყველა დარგში ქიმიისა და ატომური ენერჯის გამოყენება იწვევს გარე ფაქტორების დაბინძურებას სხვადასხვა ქიმიური ნივთიერებით და რადიონუკლიდებით. შეცვლილი გარემო კი ზეგავლენას ახდენს ადამიანზე და, საზოგადოდ, ყოველი-

ვე ცოცხალზე. ამ ზემოქმედებაში განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს ქიმიური ნივთიერებებისა და მაიონიზებული გამოსხივების მუტაგენურ თვისებას. მაშასადამე, ადამიანის ყოველდღიური საქმიანობით დაბინძურებული გარემოს სხვადასხვა ფაქტორის ზემოქმედების შედეგად შესაძლოა დედამიწაზე ძირფესვიანად შეიცვალოს ევოლუციური ფაქტორების თანაფარდობა და კაცობრიობა, დედამიწის ბიოსფერო ახალი ევოლუციური ცვლილებების წინაშე დადგეს. ამასთან დაკავშირებით დღეს მთელი პასუხისმგებლობით დგება საკითხი დაბინძურებისა და განადგურებისაგან ბუნების დაცვისა და შესაბამისად შეცვლილი გარემოს მავნე ზემოქმედებისაგან კაცობრიობის დაცვის შესახებ. ამ დიდი მისიის შესრულება თვით მსოფლიოს მოსახლეობას, განსაკუთრებით კი მის პროგრესულ ნაწილს აკისრია.

როგორია ის მინიმალური სიდიდე, რომელიც რეალურ საფრთხეს შეუქმნის კაცობრიობას? ასეთ სიდიდედ მიღებულია მუტაციების სიხშირის გამაორკეცებელი დოზა, გენეტიკური ტვირთის გამაორკეცებელი დოზა. მუტაციების გამაორკეცებელ დოზად მაიონიზებული გამოსხივების მიმართ აღიარებულია 10—15 რადი (უკანასკნელი მონაცემებით 70 რადი). მაგრამ, ვინაიდან ადამიანის გენომის ცალკეული ლოკუსების რადიომგრძობელობა ცნობილი არ არის, ამიტომ ამ დოზის აღიარება მეტად დიდ სიფრთხილეს საჭიროებს (ე. ი. გამაორკეცებელი დოზა შეიძლება გაცილებით ნაკლები იყოს).

ხელოვნური რადიაქტიური ელემენტებისაგან შექმნილი დოზები, რომლებიც იწვევენ ზეფონურ დასხივებას, შედგება: 1. გარეგანი დასხივებისაგან, რომელსაც იწვევს ბიოსფეროში გამოლექილი რადიაქტიური ელემენტები (ატომური ბომბის აფეთქების შედეგად, ატომური მრეწველობის ნარჩენები და სხვ.); 2. შინაგანი დასხივებისაგან, რომელსაც ქმნის ფილტვების, კუჭ-ნაწლავის ტრაქტისა და კანის გზით ორგანიზმში მოხვედრილი ხელოვნური რადიაქტიური იზოტოპები.

გარეგანი დასხივების მხრივ ადამიანისათვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება იმ რადიაქტიურ ელემენტებს, რომლებიც გამაქტიურები არიან, ვინაიდან გამა-გამოსხივებას შეღწევალობის დიდი უნარი აქვს. რაც შეეხება ბეტა-გამოსხივებას, მას როგორც გარეგან გამომსხივებელს, თუ რადიაქტიური ელემენტი გარე სამყაროშია დალექილი, პრაქტიკული მნიშვნელობა არა აქვს. მაგრამ თუ ეს ელემენტი დალექილია სხეულის ღია ნაწილებზე, მაშინ დასხივდება ამ ღია ნაწილების კანი და კანქვეშა ქსოვილები. ბეტა-გამოსხივება, როგორც გარეგანი დამსხივებელი, განსაკუთრებით საშიშია (და შესაძლებელია უფრო მეტად, ვიდრე გამა-დასხივება) პატარა ცხოველებისათვის, რად-

გან ამ შემთხვევაში ბეტა-სხივების შეღწევადობა საკმარისია მათი გამ-  
კოლი დასხივებისათვის.

სანიტარიული თვალსაზრისით განსაკუთრებული მნიშვნელობისაა  
დიდი ნახევარდაშლის პერიოდის მქონე იზოტოპები, რომლებიც იწვე-  
ვენ ბიოსფეროს გაბინძურებას პრაქტიკულად უსასრულო პერიოდის  
განმავლობაში. ამ მხრივ ფრიად საყურადღებოა რადიოაქტიური  
სტრონციუმი —  $^{90}\text{Sr}$ , ცეზიუმი  $^{137}\text{Cs}$  და ტუტემიწა ელემენტები. გარ-  
და იმისა, რომ მათ აქვთ გრძელი ნახევარდაშლის პერიოდი ისინი  
აქტიურად მონაწილეობენ ბიოლოგიურ პროცესებში, რომელთა ერთ-  
ერთი რგოლი ადამიანია.

შემოთქმულს უნდა დაემატოს ის, რომ დასხივება, რომელსაც ადა-  
მიანი ლეზიონებს გარემოს რადიაციული ფონიდან, იქნება ეს ბუნებ-  
რივი რადიაციული ფონი თუ ხელოვნურად შექმნილი რადიოაქტიური  
იზოტოპებით ბუნების გაბინძურების ხარჯზე, ემატება დასხივება,  
რომელსაც იგი ლეზიონებს სამედიცინო გამოკვლევებისა და მკურნა-  
ლობის ჩატარების შედეგად. ასეთია რენტგენოლოგიური და რადიო-  
ლოგიური პროცედურები. დასხივების ყველაზე დიდი დოზა რენტგე-  
ნოლიაგნოსტიკური პროცედურებით იქმნება. დადგენილია, რომ რენტ-  
გენოლოგიური გამოკვლევები ბუნებრივი დასხივების დონეს დაახ-  
ლოებით 22%-ით ზრდის.

### ცხრილი 32

რადიაციის ხელოვნური წყაროების ხარჯზე  
ადამიანის სასქესო ჩირკვლებზე მოქმედი  
დასხივების დოზა (ბუნებრივი ფონისაგან  
შექმნილი დოზის პროცენტობით)

ბუნებრივი ფონი	100%
რენტგენოლიაგნოსტიკა	22 "
რადიოთერაპია	9 "
სამედიცინო რადიოლოგია, გამა-სხივე- ბისა და რადიოაქტიური ნივთიერებე- ბის სამრეწველო გამოყენება	1,6 "
ატომური მრეწველობა	0,1 "
მანათობელი ციფერბლატიანი საათები	1 "
ტელევიზორები	1 "

დასხივების დოზის ზრდას ხელს უწყობს აგრეთვე ტელევიზორე-  
ბის წარმოება-ექსპლუატაცია (განსაკუთრებით ფერადი ტელევიზორე-  
ბის), მანათობელი ციფერბლატების წარმოება, ფეხის ზომის დასად-  
გენი რენტგენოლოგიური აპარატურის ექსპლუატაცია და სხვ. 32-ე  
ცხრილში მოცემულია მაიონიზებული გამოსხივების ხელოვნური წყა-  
როების ხარჯზე წარმოქმნილი დოზების რაოდენობა ბუნებრივ რადი-  
აციასთან შედარებით.

აღამიანი ცხოვრების 30 წლის მანძილზე (რეპროდუქციული პერი-  
ოდი) ბუნებრივი ფონის ხარჯზე ღებულობს 4,3 რ დასხივებას, ატო-  
მური ბომბის საცდელი აფეთქებებისაგან — 0,1 რ, ხოლო რენტგენო-  
ლოგიური გამოკვლევებისაგან — 3—4 რ-ს.

მართალია, მეცნიერებამ დაადგინა, რომ მაიონიზებული გამოსხი-  
ვების მცირე დოზები იჩენს სტიმულაციურ მოქმედებას (მაგალითად,  
რადიუმის, თორიუმის, ურანის მცირე რაოდენობა საკვებში იწვევს  
მცენარეებში ნივთიერებათა ცვლის გაძლიერებას, ნახშირწყლებისა  
და ცილების მატებას; მაიონიზებელი გამოსხივების მცირე დოზებით  
სასოფლო-სამეურნეო პროდუქტების დასხივება იწვევს მათი ზრდა-  
განვითარების სტიმულაციას, ჩქარდება მოსავლის აღების ვადები,  
მატულობს მოსავლის რაოდენობა, ხარისხი და სხვ.), მაგრამ ჩვენ  
აღვნიშნეთ, რომ გარემოს დაბინძურებამ და მათ შორის რადიაციული  
ფონის ზრდამ შესაძლებელია მომავალში სერიოზული საფრთხის წი-  
ნაშე დააყენოს კაცობრიობა. ბაკის აზრით, შესაძლოა მაიონიზებელ  
გამოსხივებას, ისევე როგორც სინათლისა და სითბურ გამოსხივებას,  
აქვს თავისი ფიზიოლოგიური და პათოლოგიური დონე. ამიტომ თანა-  
მედროვე თაობამ მეცნიერებისა და ტექნიკის შემდგომი პროგრესის  
პარალელურად ქმედითი ღონისძიებები უნდა დასახოს, რათა არ  
დაუშვას გარემოს დაბინძურება სხვადასხვა მანერე ნივთიერებით, მათ  
შორის რადიონუკლიდებით და გარემოს რადიაციული ფონის არც  
ერთი კომპონენტის (გარეგანი და შინაგანი დასხივება) მატება.

## მაიონიზებული გამოსხივების მანერე ბიოლოგიური მოქმედებისაგან აღამიანის ღაცვის პრობლემა

მაიონიზებული გამოსხივების მანერე ბიოლოგიური მოქმედება ადა-  
მიანზე განისაზღვრება სომატური, გენეტიკური, ტერატოგენური და  
კანცეროგენული მოქმედებით. ყველა ეს დაზიანება შესაძლებელია  
გაერთიანდეს ორ ღიდ ჯგუფად — სომატურ და შთამომავლობითს  
დაზიანებად. სომატურია დაზიანება, რომელიც ვლინდება თვით და-  
სხივებულ ინდივიდში, გენეტიკურია ის დაზიანება, რომელიც დასხი-  
ვებული ინდივიდის შთამომავლობაში გამოქმედდება. რადიაციული  
ღაცვა მიზნად ისახავს გამოსხივების მანერე ბიოლოგიური მოქმედები-  
საგან იმ პირთა ღაცვას, რომლებიც განიცდიან ან შესაძლოა განიცა-  
ღონ დასხივება, აგრეთვე მათი შთამომავლობისა და მთელი კაცობ-  
რიობის ღაცვას. მაიონიზებული გამოსხივების მანერეობა გამოიხატება  
არა მარტომისი მოქმედებით ჯანმრთელობაზე, არამედ სხვა მხრივაც.  
მაგალითად, შესაძლებელია რომელიმე რაიონსა ან მთელ რეგიონშიც

რადიქტიური დაბინძურების შედეგად, საკვები პროდუქტები და სხვ. გამოუსადეგარი გახდეს, გამოყენებისათვის.

უკანასკნელ წლებში რადიაციულ ჰიგიენაში შემოიღეს მაიონიზებული გამოსხივების მავნე ბიოლოგიური მოქმედების დაყოფა სტოხასტურ არასტოხასტურ ეფექტებად. სტოქასტური ეფექტი — არ არის უკვე ჩამოყალიბებული დაზიანება, მას განიხილავენ, როგორც დაზიანების შესაძლებლობას, რომელიც უზღვრო დოზის ფუნქციაა, რაც იმას ნიშნავს, რომ ამ ეფექტის შესაძლებლობა არსებობს ყოველთვის, როგორც მცირე დოზაც უნდა მოქმედებდეს. სტოხასტური დაზიანება უნდა გავიგოთ, არა როგორც ფატალური გარდუვალობა, არამედ როგორც მისი განვითარების შესაძლებლობა, გარკვეული რისკის არსებობა. სტოხასტურისაგან განსხვავებით, არასტოხასტური ეწოდება ეფექტს, რომლის აუცილებლობა დოზასთან დაკავშირებით იცვლება და, მაშასადამე, რომლის მისაღებად საჭიროა გარკვეული დოზა, ე. ი. არსებობს ზღვრული მოქმედება. სტოქასტურ ეფექტებს მიეკუთვნება შთამომავლობითი ეფექტები, მაგრამ ზოგი სომატური ეფექტიც ამ ჯგუფში ერთიანდება და მას სომატოსტოქასტურ ეფექტებსაც უწოდებენ. ეს არის მოგვიანებითი რეაქციები — სიცოცხლის ხანგრძლივობის შემცირება, ორგანიზმის წინააღმდეგუნარიანობის დაქვეითება, სხიური კატარაქტის განვითარება და სხვ. განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ამჟამად ისეთ სომატოსტოქასტურ ეფექტს, როგორცაა სხიური კანცეროგენეზი, ავთვისებიანი სიმსივნეების განვითარება დასხივების მცირე დოზებით, რაც თანამედროვე პერიოდში რადიაციული დაცვის ძირითადი პრობლემაა.

ტერმინი, —სომატოსტოქასტური“ ამ პროცესების ალბათობის შინაარსს გამოხატავს და მათი აღმოჩენა, მეცნიერული დასაბუთება შესაძლებელია მხოლოდ ადამიანთა დიდ კოლექტივებზე ან პოპულაციურ ჯგუფებზე ხანგრძლივი დაკვირვების შედეგად კვლევის სტატისტიკური მეთოდებით.

თუ ადამიანი მთელი სიცოცხლის განმავლობაში ან პროფესიული საქმიანობის პერიოდში მიიღებს მხოლოდ მინიმალურ ბიოდოზას, რომელიც არ აღემატება ზღვრულ სიდიდეს, მაშინ არასტოხასტური ეფექტების განვითარებისაგან დაცვა უზრუნველყოფილი იქნება. რაც შეეხება სტოქასტური ეფექტების მინიმუმამდე დაყვანას, ეს შესაძლებელია იმ შემთხვევაში, როდესაც რეკომენდებული იქნება მხოლოდ მინიმალური და აუცილებელი სხიური მანიპულაციები ყველა ეკონომიკური და სოციალური ფაქტორის გათვალისწინებით. ცნობილია, რომ ადამიანის საქმიანობის ყველა სფეროში გათვალისწინებულია დადებითი და უარყოფითი შეფარდება და საკითხისადმი გონივრული მიდგომით მათი გამოყენების აუცილებლობის გადაწყვეტა. ამას-

თანვე, კაცობრიობა მიისწრაფვის მაქსიმალურად გაზარდოს ამ საქმიანობიდან მიღებული დადებითი შედეგები და მინიმუმამდე დაიყვანოს შესაძლებელი მაენე შედეგები. იგივე ითქმის გამოსხივების, ატომური ენერჯის გამოყენების შესახებაც.

პროფესიულ პირობებში მაიონიზებელი გამოსხივების ორგანიზმზე ზემოქმედების მთლიანი გამორიცხვა შეუძლებელია, ამიტომ დასაშვები დოზების ნორმირების დროს ძირითად ჰიგიენურ პრინციპად უნდა მივიჩნიოთ შემდეგი: არ მოხდეს იმაზე მეტი დაზიანება, ვიდრე სხვა პროფესიების შემთხვევაში.

ამგვარად, რადიაციული ჰიგიენის წინაშე მნიშვნელოვანი ამოცანა დგას: ყოველგვარი საშუალებით გარე სამყაროს რადიაქტიური ნივთიერებებით დაბინძურების აცილება და მოსახლეობის დაცვა იმ შედეგებისაგან, რომლებიც მოპყვება სამყაროს რადიაქტიურ დაბინძურებას ატომური ბომბის აფეთქებით, თუ ატომური ენერჯის მშვიდობიანი გამოყენებით. ამ ამოცანების შესასრულებლად, პირველ ყოვლისა, საჭიროა ამა თუ იმ რადიაქტიური ელემენტის ბუნებაში ბრუნვისა და, აგრეთვე, იმ ფაქტორების შესწავლა, რომლებიც გავლენას ახდენენ ჰაერის, წყლისა და ნიადაგის გზით ადამიანის ორგანიზმში მათ მოხვედრაზე. ამავე დროს უნდა გავითვალისწინოთ რადიაქტიური ნივთიერებების არა მარტო დიდი დოზებით ზემოქმედება, არამედ ორგანიზმში მათი მცირე დოზებით მოხვედრაც, ვინაიდან ამ უკანასკნელს სხვადასხვა თავისებურება ახასიათებს.

ამ ამოცანების შესრულების გარდა, რადიაციული ჰიგიენა მიზნად ისახავს ღონისძიებების შემუშავებას იმ პირების დასაცავად, რომლებსაც უშუალო კონტაქტი აქვთ მაიონიზებელ წყაროებთან პროფესიული საქმიანობის პერიოდში (პერსონალის დაცვა), აგრეთვე, განიცდიან სხიურ ზემოქმედებას ამა თუ იმ სამედიცინო მანიპულაციის ჩატარების დროს (პაციენტის დაცვა). დაცვა უნდა წარიმართოს ისეთი გზით, რომ გამოირიცხოს არასტოქასტური ეფექტის განვითარება და შეზღუდოს სტოქასტური ეფექტების განვითარების შესაძლებლობა იმ დონემდე, რომელიც შეიძლება მისაღებად იყოს მიჩნეული სოციალური და ეკონომიკური მოთხოვნების გათვალისწინებით. უპირველესი და ძირითადი ამოცანაა სწრაფვა არასტოქასტური ეფექტების განვითარების ყოველგვარი შესაძლებლობის მოსპობისაკენ. ამასთანავე, უნდა გვახსოვდეს, რომ სტოქასტური ეფექტისათვის დამახასიათებელია ზღვარის ძალიან დაბალი დონე და პათოლოგიის განვითარების ალბათობის პირდაპირი დამოკიდებულება დოზაზე.

არასტოქასტური ეფექტები ვლინდება ზღვრული დოზების გადაჭარბების შემთხვევაში, ამასთანავე, ეს ზღვარი საკმაოდ მაღალია (100 რ ერთჯერადი ან 50 რ წელიწადში ქრონიკული დასხივების პი-

რობებში). ასეთ შემთხვევებში პირდაპირი დამოკიდებულებაა დაზიანების სიმძიმესა და ზემოქმედ ღირსას შორის.

დაცვითი ღონისძიებები მიმართული უნდა იყოს არა მარტო ერთეული ადამიანების (ან ჯგუფების) მიმართ, არამედ ეხებოდეს დედამიწის მოსახლეობას, როგორც ერთ მთლიანს, ვინაიდან იმ შემთხვევაშიც კი, როცა დასხივდება ადამიანთა მხოლოდ ერთეული ჯგუფები, გენეტიკური ეფექტი ვრცელდება მთელ მოსახლეობაზე დასხივებული და დაუსხივებელი ინდივიდების ქორწინების შედეგად, მაშასადამე, ამოცანა ზოგადსაკაცობრიოა.

### **უღვრულად დასაზიანებ დოზების პროგნოზი, მისი კიბიანობა და საბავშვო**

რენტგენის სხივებისა და ბუნებრივი რადიოაქტივობის აღმოჩენისთანავე შემჩნეული იყო, რომ მაიონიზებული გამოსხივება მავნედ მოქმედებს ადამიანზე. მაშინვე სცადეს გამოენახათ ისეთი დოზები, რომლებსაც ადამიანზე მოქმედებისას არ მოჰყვებოდა მავნე შედეგი. 1942 წლამდე ასეთი დოზების გამონახვით დაინტერესებული იყო სპეციალისტების ვიწრო წრე — რენტგენოლოგები და რადიოლოგები. ამ წელს ამუშავდა მსოფლიოში პირველი რეაქტორი, ხოლო მას შემდეგ რეაქტორების რიცხვმა საკმაოდ იმატა. ცნობილია, რომ ამჟამად ატომურმა ენერჯიამ და მაიონიზებელმა გამოსხივებამ ფართოდ მოიკიდა ფეხი სახალხო მეურნეობის თითქმის ყველა დარგში. ამიტომ იმ ადამიანების რიცხვი, რომლებსაც კონტაქტი აქვთ მაიონიზებელ რადიაციასთან, დიდად გაიზარდა. ესენი არიან არა მარტო რენტგენოლოგები და რადიოლოგები, არამედ ქირურგები, ონკოლოგები, უროლოგები, თერაპევტები, დერმატოლოგები, აგრეთვე ინჟინრები, ქიმიკოსები, მუშები, მეზღვაურები და მრავალი სხვა სპეციალობის მუშაკები. რენტგენორადიოლოგიური სამედიცინო გამოკვლევების შედეგად დასხივებას განიცდიან არა მარტო ამა თუ იმ პროფესიის წარმომადგენლები, არამედ მოსახლეობის ფართო ფენებიც. ამიტომ უპირველესი ამოცანაა ისეთი დოზების დადგენა, რომლებიც მავნე გავლენას არ მოახდენენ ორგანიზმზე.

ადამიანის ჯანმრთელობის დაცვის საფუძველია დასხივების დასაშვები დოზების ჰიგიენური ნორმირება.

ბიოლოგიური დაზიანების ხარისხი, როგორც ცნობილია, ძირითადად განისაზღვრება დასხივების დოზით. მეცნიერების მიერ დადგენილია, რომ გენეტიკური მოქმედების თვალსაზრისით ზღვრული დოზა არ არსებობს. ეს იმას ნიშნავს, რომ რაც უნდა მცირე იყოს დასხივების დოზა, მისი მოქმედება მაინც გამოიწვევს ეფექტს. სომატური

მოქმედების მიმართ კი ერთიანი აზრი არ არის. ზოგს მიაჩნია, რომ არსებობს რაღაც ზღვრული დოზა, რომლის მოქმედება არ იწვევს ეფექტს, სხვები კი ამას უარყოფენ. გარდა ამა თუ იმ მეცნიერული გამოკვლევისა, ამ მოსაზრებას „ზღვრული დოზის“ ისტორიაც ამტკიცებს: 35 წლის მანძილზე ზღვრულად დასაშვები დოზის სიდიდე მრავალჯერ შეიცვალა. იცვლებოდა გამოკვლევების ტექნიკა, მეთოდთა, მეცნიერების დონე და ზღვრულად დასაშვები დოზის სიდიდეც, ვინაიდან ის, რაც გუშინდელი მეთოდებით აღმოუჩენელი იყო, ახალი მეთოდი ადასტურებდა, რომ ეს დოზა ორგანიზმში იწვევდა პათოლოგიურ ძვრებს. მაგრამ აღამინანს არ შეუძლია აღკვეთოს მაიონიზებული გამოსხივების გამოყენება. ამდენად, პრაქტიკული პრობლემა იმაში მდგომარეობს, რომ გამომუშავდეს ზღვრულად დასაშვები ისეთი დოზა, რომელიც არ იქნება საშიში როგორც ერთეული ინდივიდის, ასევე მთელი მოსახლეობისათვის.

დამოკიდებულება ინდივიდის მიერ მიღებულ დოზასა და ამ ინდივიდში განვითარებულ ბიოლოგიურ ეფექტს შორის ე. წ. „დოზა-ეფექტი“ რთულია ძალიან და საჭიროებს დეტალურ შესწავლას. რადიაციული დაცვისათვის ეს რთული დამოკიდებულება რამდენადმე გამარტივებულია. ფიქრობენ, რომ დასხივების ჩვეულებრივ დიაპაზონში არსებობს ხაზოვანი უზღვრო დამოკიდებულება დოზასა და ეფექტის შესაძლებელ გამოწვევას შორის, რომ რადიაციული ეფექტების სიხშირესა და მიღებულ დოზას შორის ხაზოვანად პროპორციული დამოკიდებულებაა და ამავე დროს გამოვლინებული ეფექტის სახეობა (ტიპი) დამოკიდებული არ არის დოზაზე.

დასაშვები დოზების შემუშავებას თავისი ისტორია აქვს. თავდაპირველად ეს დოზა დადგინდა 1902 წელს. იგი იზომებოდა რენტგენის ფირის გაშავების ინტენსივობის მიხედვით. თანამედროვე გადაანგარიშებით ეს დასაშვები დოზა დღეში 10 რენტგენის ტოლი იყო.

1925 წლიდან ზღვრულად დასაშვებ დოზად რეკომენდებული იყო დღეში 0,1—0,2 რენტგენით დასხივება, ხოლო 1934 წელს რადიოლოგიური დაცვის საერთაშორისო კომიტეტმა, რომელიც 1928 წელს ჩამოყალიბდა, დასაშვებ დოზად დააწესა ყოველდღიური დასხივება 0,2 რენტგენით. აღსანიშნავია, რომ ერთეული „რენტგენი“ სწორედ ამ კომიტეტის მიერ იყო შემოღებული.

1936 წლიდან 1948 წლამდე ზღვრულად დასაშვები დოზის სიდიდე შეადგენდა 0,1 რენტგენს დღეში, ხოლო 1948 წელს კვლავ შეიცვალა და მიღებული იყო 0,05 რენტგენი დღეში (კვირაში 0,3 რენტგენი).

საბჭოთა კავშირში 1950 წლამდე დასაშვებ დოზად მიჩნეული იყო დღიური დასხივება 0,1 რენტგენით, ხოლო ამის შემდეგ იგი ორჯერ



შემცირდა: 1950 წელს — 0,05 რენტგენი დღეში (0,3 რენტგენი კვირაში, 15 რენტგენი წელიწადში), 1960 წელს — 0,1 რენტგენი კვირაში (0,017 რენტგენი დღეში). წლიური დასხივების დოზა არ უნდა ყოფილიყო 5 რენტგენზე მეტი.

ზღვრულად დასაშვები დოზების ასეთი ცვლილება დაკავშირებული იყო სამედიცინო აზროვნების განვითარებასთან. იხვეწებოდა და უფრო ნატიფი ხდებოდა კლინიკური გამოკვლევის მეთოდები და ის, რაც წინათ ძველი მეთოდებით შეუძენველი რჩებოდა, გამოკვლევის ახალი მეთოდები ორგანიზმში ამა თუ იმ პათოლოგიური გადახრის აღმოჩენის საშუალებას იძლეოდა. ზღვრულად დასაშვები დოზის ტერმინის განსაზღვრაც სწორედ ამას ემყარებოდა. სანიტარიული წესდების მიხედვით (1960 წ.), ზღვრულად დასაშვები დოზა დასხივების ისეთი დოზაა, რომლის მოქმედება ორგანიზმზე არ იწვევს მასში შეუქცევად სომატურ და გენეტიკურ ცვლილებებს. მაგრამ დღეს მეცნიერება უფრო მაღალ საფეხურზე ავიდა, ამიტომაც ზღვრულად დასაშვები დოზის ცნება შეიცვალა. თანამედროვე გაგებით, ზღვრულად დასაშვები დოზა წლიური ინდივიდუალური ეკვივალენტური დოზის უმაღლესი მნიშვნელობაა, რომელიც 50 წლის მანძილზე თანაბარი მოქმედების პირობებში არ გამოიწვევს პერსონალის ჭანმრთელობაში (კატეგორია ა) თანამედროვე მეთოდებით დასადგენ არასასურველ ცვლილებებს.

დასაშვები დოზების ჰიგიენური ნორმირების დროს მეცნიერება ემყარება იმ ძირითად პუნქტს, რომ მაიონიზებული გამოსხივების ბიოლოგიურ მოქმედებას არა აქვს ზღვარი (მიუხედავად იმისა, რომ ზოგიერთი მეცნიერული მონაცემი მიუთითებს ზღვარის არსებობაზე; ასეთი დამწევა ნაკარნახევია უფრო მეტი სიფრთხილისათვის), განსაკუთრებით მოგვიანებითი სომატური და გენეტიკური ეფექტების მიმართ. მაშასადამე, რაც უნდა მცირე იყოს დასხივების დოზა, ჰიგიენურ მეცნიერებას მიაჩნია, რომ იგი შესაძლებელია მავნე აღმოჩნდეს ადამიანისათვის. ამასთან დაკავშირებით არსებობს გარკვეული ბიოლოგიური რისკი. ამიტომ, უნდა დადგინდეს ისეთი დოზა, რომლის მოქმედების დროს ეს რისკი გამართლებული იქნება როგორც ცალკეული ინდივიდის, ასევე მთელი მოსახლეობისათვის. ასეთად აღიარებულია ზღვრულად დასაშვები დოზა.

არსებობს აბსოლუტური და შეფარდებითი რისკი. აბსოლუტურია პათოლოგიური ეფექტების ის სიხშირე, რომელიც გამოსხივების ზემოქმედების შედეგად ვითარდება. მაგრამ გამოსხივების მოქმედებით რაიმე სპეციფიკური პროცესი არ ვითარდება. ანალოგიური პათოლოგიური პროცესი, მაგალითად, ავთვისებიანი სიმსივნე შესაძლებელია განვითარდეს რომელიმე სხვა ფაქტორის ზემოქმედებითაც. გამოსხი-

ვებით გამოწვეული პათოლოგიური ეფექტის სიხშირის შეფარდებას იმავე პათოლოგიური ეფექტის სიხშირესთან, რომელიც გამოწვეულია სხვა ეტიოლოგიური ფაქტორით (რომელიც შეიძლება ჩვენთვის უცნობი იყოს), შეფარდებითი რისკი ეწოდება.

ამ ცნებების შემოღება საშუალებას იძლევა რაოდენობრივად განვსაზღვროთ გამოსხივების ზემოქმედების მოსალოდნელი რისკი. ეს კი, თავის მხრივ, საშუალებას გვაძლევს დასაშვებ დოზად მივიღოთ ისეთი, რომლის მოქმედებით გამოწვეული მავნეობა შესაძლებელია უგულვებელყოფილი იყოს იმ ზოგადი მავნეობის ფონზე, რომელიც ახასიათებს თანამედროვე განვითარებულ საზოგადოებას (მაგალითად, პესტიციდების ხმარება, დიდი ქიმიის განვითარება, თბოელექტროცენტრალებით ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება, ავტოსაგზაო ტრავმები და სხვ.). დადგენილია, რომ რისკის დონე მაიონიზებელი გამოსხივების დასაშვები დოზების მოქმედების შედეგად გაცილებით უფრო დაბალია, ვიდრე არარადიაციული ფაქტორების მოქმედების შედეგად.

ზოგადი წარმოდგენის მისაღებად საკმარისია მოვიყვანოთ რამდენიმე მაგალითი. ლეიკოზისა და ავთვისებიანი სიმსივნეების სპონტანურ შემთხვევათა რიცხვი დაახლოებით 1000—2000-ია 1 მილიონ ადამიანზე წელიწადში. ამავე დროს გამოანგარიშებულია, რომ იმავე დაავადებების განვითარების რისკი მაიონიზებელი გამოსხივების მოქმედების შედეგად 1 მილიონ ადამიანზე წელიწადში შეადგენს მხოლოდ 3—6 შემთხვევას. რაც შეეხება სიცოცხლის ხანგრძლივობას, თუ საშუალოდ ვიანგარიშებთ 70 წელიწადს, მაშინ ყოველ 1 რად-ზე სიცოცხლის ხანგრძლივობა მცირდება 3 დღით. თუ გენეტიკური ეფექტის შესაფასებლად დავუშვებთ, რომ ბუნებაში იმოქმედებს გამაორკეცებელი დოზა (100 რადი) და მაშასადამე, მთელი პოპულაცია სხივდება 1 რად-ით, მაშინ ყოველ მილიონ შთამომავლობაზე პირველ საფეხურზე მუტაციათა რიცხვი გაიზრდება 2—4 შემთხვევით (0,04 %).

როგორც აღვნიშნეთ, სტოქასტური ეფექტების შესაფასებლად შემოღებულია კოლექტიური და პოპულაციური დოზები.

კოლექტიური დოზა დასხივების სიდიდეა, რომელსაც ლებულობს ადამიანთა საკმაოდ ვრცელი კოლექტივები (მაგალითად, მოსახლეობის რომელიმე ორგანიზებული ნაწილის პროფილაქტიკური ფლუოროგრაფიული გამოკვლევა, პაციენტთა რენტგენოდაგნოსტიკური გამოკვლევა, პროფესიული დასხივება და სხვ.). მაშასადამე, კოლექტიური დოზა იანგარიშება იმ შემთხვევაში, როდესაც მოსახლეობის ჯგუფის დასხივება მცირე დოზებით ხდება. ამ დოზის გაანგარიშების დროს ითვალისწინებენ როგორც თითოეული ინდივიდის დასხივების საშუალო დოზას (D ინდ), ასევე დასხივებულ ადამიანთა რიცხვს (N).

$$D_{კოლ} = D_{ფილ} \times N$$

და გამოსახვენ ერთეულით — ადამიანი  $x$  ბერი (ან ადამიანი  $x$  ზივერტი). კოლექტიური დოზის მატებამ შეიძლება გამოიწვიოს პათოლოგიური პროცესების ზრდა.

თუ კოლექტიურ დოზას გავამრავლებთ რისკის კოეფიციენტზე ( $\Sigma$ ), შესაძლოა განვსაზღვროთ სტოქასტური ეფექტის გამოსავალი (მაგალითად, ავთვისებიანი დაავადებების რაოდენობა, გენეტიკური სიმპტომები და ა. შ.). მაშასადამე, იმისათვის, რომ შემციირდეს სტოქასტური ეფექტების რაოდენობა, საჭიროა შემციირდეს არა მარტო თითოეული ინდივიდის დასახივების დოზა, არამედ თვით დასახივებულ ადამიანთა რიცხვიც. ამ საკითხის გადაწყვეტაში დიდი პასუხისმგებლობა ეკისრებათ ექიმებს, რომლებიც უშუალოდ იყენებენ მაიონიზებელ გამოსხივებას, აგრეთვე რადიაციული ჰიგიენისტების რაციონალურ საქმიანობას.

ზოგიერთი პათოლოგიური პროცესის განვითარების რისკი დამოკიდებულია სქესზე, ასაკზე. ასეთებს მიეკუთვნება სარძევე ჯირკვლის კიბო, შთამომავლობითი დეფექტების განვითარება და სხვ. კიბოს განვითარების რისკი ასაკის მატებასთან ერთად მცირდება, ვინაიდან ავთვისებიანი სიმსივნის განვითარებას სჭირდება საკმაოდ დიდი ლატენტური პერიოდი. მაგრამ ასაკსა და სქესთან დამოკიდებული ვარიაციები არ არის ფართო დიაპაზონის, ამიტომაც რადიაციული უშიშროების თვალსაზრისით ასაკისა და სქესის განურჩევლად ამა თუ იმ ორგანოსათვის დადგენილია დაავადების განვითარების რისკის რაღაც საშუალო „ნომინალური“ ბიოდოზა.

როდესაც სტოქასტური ეფექტების შეფასებას ახდენენ მოსახლეობის დიდ ჯგუფზე (მაგალითად, სახელმწიფოს, მსოფლიოს) და კოლექტიურ დოზებს ანგარიშობენ მთელი მოსახლეობის მიმართ. ამ დოზებს პოპულაციურ დოზებს უწოდებენ.

რადიაციულ ჰიგიენაში შემოღებულია კიდევ ერთი ახალი ცნება — მოსალოდნელი დოზა, „კომიტმენტური დოზა“. მისი შინაარსი იმაში მდგომარეობს, რომ ადამიანის მრავალგვარი თანამედროვე საქმიანობა ქმნის დასახივების დოზებს, რომლებიც მიღებული იქნება მომავალში. ამ ფაქტის გათვალისწინება ამჟამად დიდად საპასუხისმგებლოა, რათა შემდგომმა პროგრესმა არ გამოიწვიოს ადამიანთა ამა თუ იმ ჯგუფის ზედმეტი დასახივება.

ზღვრულად დასაშვები დოზების დასადგენად სარგებლობენ რამდენიმე მეთოდით. ყველაზე მნიშვნელოვანი მეთოდია ადამიანის ორგანიზმზე მაიონიზებელი გამოსხივების ხანგრძლივი მოქმედების მრავალმხრივი შესწავლა და განზოგადება, მაგრამ ასეთი მასალები ძა-

ლიან მცირეა, ვინაიდან ამ საკითხის შესწავლა დაკავშირებულია სიძნელეებთან (დაკვირვების ხანგრძლივობა, გამოკვლევის ძალიან მგრძობიარე და ნატიფი მეთოდები და სხვ.). გარდა ამისა, მეტად რთულია შთამომავლობაზე გავლენის შესწავლა, ამიტომ ზღვრულად დასაშვები დოზების დასადგენად შემოღებულია სხვა მეთოდები: ტოქსიკოლოგიური და მათემატიკური.

ტოქსიკოლოგიური მეთოდი ემყარება ქრონიკულ ექსპერიმენტულ გამოკვლევებს. ექსპერიმენტის საშუალებით აღგენენ იმ მაქსიმალურ დოზებს, რომელთა ხანგრძლივი მოქმედება არ იწვევს ცხოველის ორგანიზმში პათოლოგიურ გადახრებს. მიღებულ შედეგებში შეაქვთ შესწორებები, რომლებიც ითვალისწინებენ სახეობრივ მგრძობიარობას (ცხოველი — ადამიანი).

მათემატიკური გამოთვლის მეთოდი ემყარება დასხივების დოზის მათემატიკურ გაანგარიშებას, რომ არ მოხდეს ამა თუ იმ ორგანოს ან ორგანიზმის დასხივება საშიში დოზებით. როდესაც საქმე ეხება რადიაქტიური ნივთიერების ინკორპორირებას, მაშინ გამოთვლების დროს მხედველობაში ღებულობენ იმ ორგანოს, რომელშიც კონცენტრირდება რადიაქტიური ნივთიერება, რათა არ მოხდეს მისი ე. წ. „კრიტიკული ორგანოს“ დასხივება საშიში დოზებით. ამ გამოთვლების დროს მხედველობაშია მისაღები რადიაქტიური ელემენტის ფიზიკურ-ქიმიური პარამეტრები (კრიტიკულ ორგანოდ მიჩნეულია ის ორგანო, რომელიც თანაბარ პირობებში ყველაზე მეტად ზიანდება დასხივებისაგან და რომლის დაზიანება წამყვანია ორგანიზმის დაავადებაში). თანამედროვე მეცნიერებას მიაჩნია, რომ საკითხისადმი ასეთი მიდგომა დღეისათვის უკვე საკმარისი არ არის. როდესაც ვასხივებთ რამდენიმე ქსოვილს, საჭიროა გავითვალისწინოთ რისკი, რომელიც გამოწვეულია ყველა ამ ორგანოს (ქსოვილის) დასხივებით, და არა მარტო დასხივების მიმართ ყველაზე უფრო მგრძობიარე რომელიმე ერთი ორგანოს (ქსოვილის) დაზიანებით.

**დასხივების უღვრულად დასაშვები დოზების დიფერენციალია  
მოსახლეობის სხვადასხვა ჯგუფის მიხედვით**

იმ შედეგების მიხედვით, რომლებიც მოსალოდნელია მაიონიზებელი გამოსხივების ორგანიზმზე ზემოქმედებით, მოსახლეობა დასხივების მიხედვით დაყოფილია სამ კატეგორიად: კატეგორია ა — პროფესიული პირები, ანუ ის პირები, რომლებიც მუდმივად ან დროებით უშუალოდ მუშაობენ გამოსხივების წყაროებთან. ამ ჯგუფს უწოდებენ აგრეთვე პერსონალს;

კატეგორია ბ — მოსახლეობის განსაზღვრული ნაწილი. ეს პირები უშუალოდ არ მუშაობენ მაიონიზებელ წყაროებთან, მაგრამ საცხოვრებელი პირობების ან სამუშაოს განლაგების მიხედვით შეიძლება განიცდიდნენ დასხივებას იმ წყაროებით, რომლებსაც იყენებენ მეზობლად მდებარე დაწესებულებები, ან გარე ობიექტებში მოხვედრილი რადიოაქტიური გადანაყრებით;

კატეგორია გ — რომელიმე ოლქის, რესპუბლიკის, ქვეყნის მოსახლეობა მთლიანად.

გარეგანი და შინაგანი დასხივების ზღვრულად დასაშვები დოზები ზემოთ აღნიშნული კატეგორიის პირებისათვის დადგენილია კრიტიკული ორგანოების მიხედვით. კრიტიკულია ის ორგანოები (ქსოვილები), რომლებიც ყველაზე უფრო რადიოდანზიანებადი და რომელთა დაზიანება წამყვან როლს ასრულებს დასხივებულ ადამიანში პათოლოგიური პროცესის განვითარებაში.

დადგენილია კრიტიკულ ორგანოთა 3 ჯგუფი:

I ჯგუფს მიეკუთვნება ყველაზე მაღალი რადიომგრძობელობის მქონე ორგანოები (ქსოვილები): მთელი სხეული, გონადები და ძვლის წითელი ტვინი;

II ჯგუფს — საშუალო რადიომგრძობელობის ორგანოები — კუნთები, ფარისებრი ჯირკვალი, ცხიმოვანი ქსოვილი, ღვიძლი, თირკმლები, ელენთა, კუჭ-ნაწლავის ტრაქტი, ფილტვები, თვალის ბროლი და სხვ, გარდა იმ ორგანოებისა, რომლებიც მიეკუთვნებიან I და III ჯგუფს;

III ჯგუფს — დაბალი რადიომგრძობელობის ორგანოები: კანი, ძვლოვანი ქსოვილი, მტევნები, წინამხრები, წვივები, ტერფები.

თანამედროვე გამოკვლევების მიხედვით, სარძევე ჯირკვლებს დიდი რადიომგრძობელობა ახასიათებს. სტოქასტური ეფექტების განვითარების თვალსაზრისით მათ ერთ-ერთი წამყვანი ადგილი უჭირავთ რადიაციულ დაზიანებაში. არის მოსაზრება, რომ ისინი შეტანილ უნდა იყოს კრიტიკულ ორგანოთა I ჯგუფში.

მოსახლეობის ყოველი კატეგორიისათვის დადგენილია დასხივების ნორმატივების სამი კლასი: I კლასი — დოზის ძირითადი ზღვარი; II კლასი — დასაშვები დონე; III კლასი — საკონტროლო დონე.

კრიტიკული ორგანოების ყველა ჯგუფის ა კატეგორიის პირთათვის დოზის ძირითად ზღვარად დადგენილია ზღვრულად დასაშვები დოზა წლის განმავლობაში — (ზ დ დ), ხოლო ბ კატეგორიის პირთათვის — დოზის ზღვარი წლის განმავლობაში (დ ზ). ზღვრულად დასაშვები დოზებისა და დოზების ზღვარის სიდიდეები ა და ბ კატეგორიის პირთათვის კრიტიკული ორგანოების ჯგუფების შესაბამისად მოცემულია 33-ე ცხრილში.

**ზღვრულად დასაშვები დოზებისა და დოზის ზღვარის ხიდიდებები  
ა და ბ კატეგორიის პირთათვის კრიტიკული ორგანოების  
ჩვეულების შესაბამისად**

გარეგანი და შინაგანი დასხივების დოზების ზღვარი ბერი წელიწადში	კრიტიკულ ორგანოთა ჩვეულებები		
	I	II	III
ზღვრულად დასაშვები დოზა ა კატეგორიისათვის, ზ ლ ლ	5	15	30
დოზის ზღვარი ბ კატეგორიისათვის, ლ ზ	0,5	1,5	3

ა კატეგორიის პირთათვის გარეგანი დასხივების დოზის განაწილება წლის განმავლობაში არ არის რეგლამენტებული. გამონაკლისს შეადგენენ რეპროდუქციული ასაკის ქალები (40 წლამდე).

**სხვადასხვა ხაზის გამოსხივებელთა ხარისხის კოეფიციენტის მნიშვნელობები**

გამოსხივების სახეობა	ხარისხის კოეფიციენტი.
რენტგენისა და გამა-სხივები	1
ელექტრონები და პროზიტრონები, ბერა-გამოსხივება	1
პროტონები (ენერჯით 10 მეე)	10
ნეიტრონები (ენერჯით 20 კეე)	3
ნეიტრონები (ენერჯით 0,1—10 მეე)	10
ალფა-სხივები (ენერჯით 10 მეე)	20
უკუბიჭვითი მძიმე ბირთვები	20

აღსანიშნავია, რომ ადრე პროფესიული პირებისათვის ნორმატივებით დასაშვები იყო ერთჯერადი დასხივება წლიური დასაშვები დოზის ნახევარი ოდენობით. ასეთი რეკომენდაცია მიზნად ისახავდა წლიურ დონეზე მეტი დოზა არ დაგროვილიყო ხანმოკლე პერიოდის განმავლობაში. ამჟამად ასეთი რეკომენდაცია უარყოფილია და არ არსებობს შეზღუდვა იმ სისწრაფეზე (სინქარეზე), რომლითაც შეიძლება დოზა დაგროვდეს, რეპროდუქციული ასაკისა და ფეხმძიმე ქალების დასხივების შემთხვევების გარდა. დასხივების დოზის ასაკთან დამოკიდებულება ამჟამად უარყოფილია.

თუ გამოსხივების სპექტრი უცნობია, ეკვივალენტური დოზების დასადგენად საჭიროა ვისარგებლოთ 34-ე ცხრილში მოყვანილი ხარისხის კოეფიციენტის სიდიდეებით, ხოლო თუ სპექტრული შედგენილობა ცნობილია, მაშინ უმჯობესია გამოვიყენოთ სპეციალური

ცხრილები, რომლებშიც მოცემულია დამოკიდებულება გამოსხივების ენერჯისა და ხარისხის კოეფიციენტს შორის.

ოსტეოტროპული  $\alpha$ - აქტიური ელემენტების ეკვივალენტური დოზის განსასაზღვრავად უნდა გავითვალისწინოთ განაწილების კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს რადიონუკლიდის ქსოვილში (ორგანოში) არათანაბარ განაწილებას და მიქს კანცეროგენულ ეფექტურობას  $^{226}\text{Ra}$ -სთან შედარებით.

ალფა-გამომსხივებელი ოსტეოტროპული იზოტოპებისათვის (გარდა  $^{226}\text{Ra}$ -ს) განაწილების კოეფიციენტი მიღებულია 5-ის ტოლი,  $^{226}\text{Ra}$ -ისათვის — 1-ის ტოლი.

ა და ბ კატეგორიებისათვის დაწესებული დასაშვები დონეები (ა-კატეგორიისათვის — რადიონუკლიდის დასაშვები შემცველობა კრიტიკულ ორგანოში, გამოსხივების დასაშვები სიმძლავრე, სიმჭიდროვე, სამუშაო ზონაში რადიონუკლიდის დასაშვები კონცენტრაცია, ზედაპირის დასაშვები გაბინძურება; ბ — კატეგორიისათვის — რადიონუკლიდების სუსუნთქი და საკმლის მომნელებელი გზით მოხვედრის ზღვარი, რადიონუკლიდის დასაშვები კონცენტრაცია ატმოსფერულ ჰაერსა და წყალში, დოზის დასაშვები სიმძლავრე, სიმჭიდროვე) მოცემულია სპეციალურ ცხრილში. ისინი ისეა გაანგარიშებული, რომ ერთი წლის განმავლობაში წონასწორობაში მყოფი რადიონუკლიდების მოქმედებით დოზა კრიტიკულ ორგანოში არ გადააჭარბებს ზღვრულად დასაშვებ დოზებს. თუ საქმე ეხება ისეთი რადიონუკლიდების ონკოპრობირებას, რომლებიც ორგანიზმში მოხვედრისას ადამიანის სიცოცხლის პერიოდში ვერ აღწევენ წონასწორულ მდგომარეობას (მაგალითად  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  და სხვ.), მაშინ ეს სიდიდეები ისეა გაანგარიშებული, რომ ზღვრული შემცველობა (ან დოზის ზღვარი) დაგროვდეს: პროფესიულ პირებში (კატეგორია ა) 50 წლის განმავლობაში, მოსახლეობის ერთეულ პირში კი (კატეგორია ბ) — 70 წლის, ე. ი. მთელი სიცოცხლის განმავლობაში.

დოზების ძირითადმა ზღვრებმა რომ არ მოიმატოს, რადიაციული დაცვის სათანადოდ წარმართვისათვის ყოველი დაწესებულების ხელმძღვანელი ვალდებულია სანიტარიული ზედამხედველობის ორგანოებთან შეთანხმებით დაადგინოს ე. წ. საკონტროლო დონე. ასეთივე საკონტროლო დონეს ადგენენ ბ კატეგორიაში შემავალ პირთათვისაც, მხოლოდ სანიტარიული ზედამხედველობის ორგანოები. საკონტროლო დონე ყოველთვის უფრო დაბალი უნდა იყოს, ვიდრე დასაშვები დონე. ვინაიდან გამორიცხული არ არის არათანაბარი დასხივება დროში, რადიონუკლიდების მოხვედრა ორგანიზმში და სხვ., რომელთა წინასწარი განსაზღვრა შეუძლებელია, ამიტომ უნდა არსებობდეს რაღაც „სათადარიგო მარაგი“. საკონტროლო დონეს განსაზღვრავენ

საშუალო სიდიდეების მიხედვით — ა კატეგორიის პირთათვის დღიური დასხივების დოზა, ბ კატეგორიის პირთათვის — თვიური დასხივების დოზა.

ამგვარად, პერსონალის დასხივების დოზა წელიწადში არ უნდა აღემატებოდეს 5 რბე-ს. თუ პიროვნება დასხივების სფეროში მუშაობს მრავალი წლის განმავლობაში, მაშინ მისი დასხივების ეკვივალენტური დოზა არ უნდა აღემატებოდეს სიდიდეს, რომელიც იანგარიშება ფორმულით —

$$H = \text{ზდლ} \times T \text{ რბე-წელიწადში,}$$

სადაც  $T$  — მუშაობის სტაჟია (გამოსახული წლებში), ხოლო 30 წლის ასაკისათვის ეს დოზა არ უნდა აჭარბებდეს 12 ზ დ დ-ს. თუ წინა წლებში მიღებული დოზები უცნობია, უნდა დაეუშვათ, რომ იმ წლებში ყოველი წლის დოზა შეადგენს იმდროინდელი ნორმატივების 1 ზ დ დ-ს, დანარჩენი წლებისა კი უნდა ვიანგარიშოთ 5 რბე. ჯამური დოზა 30 წლისათვის უნდა შეადგენდეს 12 ზ დ დ-ს. ამ ვიანგარიშების დროს უნდა ვიცოდეთ, რომ 1960 წლამდე 1 ზ დ დ I ჯგუფის კრიტიკული ორგანოებისათვის შეადგენდა წელიწადში 15 რბე-ს, ხოლო შემდეგ — 5 რბე-ს.

გარკვეული შეზღუდვებია შეტანილი რეპროდუქციული ასაკის ქალთათვის (40 წლამდე). იმ შემთხვევაში, თუ სამსახურეობრივი მოვალეობის შესრულების დროს დასხივების სიმძლავრის ზრდის პირობები იქმნება, ეს ზრდა დასაშვებია ისეთი ოდენობით, რომ დოზა მენჯის არეში 2 თვის განმავლობაში არ აღემატებოდეს 1 რბეს, ხოლო ერთი კვარტლის განმავლობაში დოზა არ უნდა აჭარბებდეს 1,3 რბე-ს, ე. ი. ქალთა ამ ასაკისათვის რეგლამენტებულია შედარებით უფრო თანაბარი დასხივება წლის განმავლობაში, მამაკაცებში დასხივების დოზის დაგროვების სიჩქარე კი წლის განმავლობაში ნორმირებული არ არის.

რეპროდუქციული ასაკის ქალებში პროფესიული დასხივება თანაბარი სიმძლავრით უზრუნველყოფს ფეხმძიმობის პირველ ორ თვეში ორგანოგენეზის პერიოდში) დოზას არა უმეტეს 5 mSv. ეს რეკომენდაცია ხელს უწყობს ახალგაზრდა ორგანიზმის დაცვას მისთვის ასეთი მაქსიმალური რადიოდამზიანებლობისა და ამავე დროს საპასუხისმგებლო ფაზაში, მით უფრო, რომ ორი თვის ფეხმძიმობა ხშირად დაუდგენელია. ორი თვის შემდეგ, როცა ორსულობა უკვე დადგენილია, პროფესიული დასხივება ისე უნდა წარიმართოს, რომ დასხივების ჯამური დოზა წლის განმავლობაში არ აღემატებოდეს ბიოდოზის 0,3-ს.



ა კატეგორიის ჯგუფი ფაქტიურად მიღებული დოზის მიხედვით ორ ქვეჯგუფად იყოფა: პირველ ქვეჯგუფს შეეკუთვნებიან პირები, რომელთა დასახივების დონემ წლის განმავლობაში შეიძლება გადააქარბოს ზღვრულად დასაშვები დოზის 0,3-ს. ეს პირები მუშაობენ ე. წ. საკონტროლო ზონაში. მათთვის სავალდებულოა ინდივიდუალური დოზიმეტრიული კონტროლი და სამედიცინო ზედამხედველობა. მეორე ქვეჯგუფს მიეკუთვნებიან პირები, რომელთა წლიური დასახივების დოზა არ აღემატება ზ დ დ-ის 0,3-ს. ისინი მუშაობენ საკონტროლო ზონის გარეთ. ეს ის პირები არიან, რომელთა დაწესებულებები განლაგებულია საკონტროლო ზონის მეზობლად, სანიტარიულ ზონაში. ამ პირთათვის არ არის სავალდებულო ინდივიდუალური დოზიმეტრიული კონტროლის ჩატარება. საჭიროა მხოლოდ სამუშაო გარემოში გარეგანი დასახივების დოზის სიმძლავრისა და რადიონუკლიდების კონცენტრაციის კონტროლი და ამ მონაცემების მიხედვით ვსაჩელობთ პერსონალის დასახივების დონეზე, რაც შეეხება პერსონალს, რომელიც ღია რადიაქტიურ წყაროზე მუშაობს, სანიტარიული კანონმდებლობით ყოველი იზოტოპის მიმართ ა კატეგორიის პირთათვის დადგენილია წლის განმავლობაში ზღვრულად დასაშვები ოდენობის მოხვედრა და ზღვრულად დასაშვები შემკველობა (კონცენტრაცია) კრიტიკულ ორგანოში. კრიტიკულ ორგანოებში რადიონუკლიდების ჩართვის კონცენტრაციები არ უნდა აღემატებოდეს სიდიდეებს, რომლებიც გათვალისწინებულია კანონმდებლობით ყოველი ცალკეული ელემენტისათვის: ეს სიდიდეები ისეა შედგენილი, რომ მათ მიერ კრიტიკული ორგანოს დასახივების შემთხვევაში დოზა არ აღემატება ზღვრულად დასაშვებს. თუ რადიაქტიური იზოტოპი დაგროვდება რამდენიმე ორგანოში, მაშინ ასეთი დასახივება უნდა გათანაბრდეს ორგანიზმის მთლიან დასახივებასთან.

სანიტარიული კანონმდებლობით გათვალისწინებულია აგრეთვე სამუშაო გარემოში რადიაქტიური იზოტოპების დასაშვები კონცენტრაცია, რომლის დადგენას საფუძვლად უდევს ორგანიზმში სასუნთქი გზებით მათი მოხვედრის შესაძლებლობა. დასაშვებ კონცენტრაციაზე ოპერატიული ზედამხედველობისათვის შემოღებულია ე. წ. საკონტროლო დონე, რომელიც, ცხადია, დასაშვებ დონეზე ნაკლები უნდა იყოს.

სანიტარიული კანონმდებლობით გათვალისწინებულია აგრეთვე სამუშაო ზედაპირის დაბინძურების დონე. ნორმატივების დადგენას საფუძვლად უდევს გაანგარიშებანი, რომლებიც მიუთითებენ, რომ ასეთი დაბინძურების შემთხვევაში დასახივების დოზა არ აღემატება ზღვრულად დასაშვებს.

რადიოქტიურ ნივთიერებებთან და მაიონიზებული გამოსხივების სხვა წყაროებთან მუშაობის დროს გამორიცხული არ არის ავარიული სიტუაციები, ამიტომ რადიაციული დაცვის სამსახური ასეთი მდგომარეობისათვის ყოველთვის მზად უნდა იყოს. რადიაციული დაცვა ვალდებულია არ დაუშვას ასეთი მდგომარეობა, მაგრამ თუ ის შეიქმნა, მიიღოს აქტიური, ქმედითი ღონისძიებები მისი ლიკვიდაციისათვის. ეს ღონისძიებები მიმართული უნდა იყოს პერსონალის გარეგანი დასახივების დოზისა და ორგანიზმში რადიოქტიური ელემენტების მოხვედრის მინიმუმამდე დაყვანისაკენ.

თუ ზედმეტი დასახივების ან რადიონუკლიდის ორგანიზმში მოხვედრის გამორიცხვა შეუძლებელია (მაშასადამე წინასწარ გააზრებულია, დაგეგმილია ესა თუ ის სამუშაო), მაშინ რადიაციული დაცვის სამსახური ვალდებულია შეძლებისდაგვარად შეზღუდოს დასახივებულ პირთა რიცხვი, მაქსიმალურად შეამციროს დასახივების დოზა და ყველა ცალკეულ შემთხვევაში გააფრთხილოს პერსონალი.

თუ ავარიული სიტუაციის დროს დასახივების დოზის ზრდა ან რადიონუკლიდების ორგანიზმში მოხვედრა გარდუვალია, მაშინ რადიაციულმა დაცვამ უნდა იხელმძღვანელოს იმ დებულებით, რომ ერთეულ შემთხვევაში კომიტენტური დოზა არ აღემატებოდეს ზღვრულად დასაშვებ დოზას (რადიონუკლიდების რაოდენობას) 2-ჯერ, ხოლო მთელი პროფესიული საქმიანობის პერიოდში 5-ჯერ და დასახივების ჯამური დოზა იყოს მხოლოდ და მხოლოდ  $H = Z$  დ  $L \times T$  ფორმულით გაანგარიშებულ ფარგლებში. როგორც აღვნიშნეთ, თუ ასეთი ზედმეტი დასახივება გამოწვეულია აუცილებლობით, ამის შესახებ პერსონალი წინასწარ უნდა იყოს გაფრთხილებული და უნდა არსებობდეს დაწესებულების ხელმძღვანელობის წერილობითი თანხმობა. სანიტარიული კანონმდებლობით კატეგორიულად გამორიცხულია რეპროდუქციული ასაკის (40 წლამდე) ქალთა წინასწარ გააზრებული ზეზღურბლოვანი დასახივება.

თუ რაიმე მიზეზით მოხდა ზეზღურბლოვანი დასახივება, აუცილებელია ზედმეტი დოზის ნიველირება მუშაობის შემდგომ წლებში: თუ დასახივების დოზა ზღვრულად დასაშვებს აღემატებოდა 2-ჯერ, მაშინ მისი ნიველირება უნდა მოხდეს შემდგომი 5 წლის განმავლობაში, ხოლო თუ დასახივება 5 ზ დ დ-ის ფარგლებში იყო, მისი გათანაბრება საჭიროა შემდგომი 10 წლის განმავლობაში. ორივე შემთხვევაში საბოლოო ჯამური დოზა არ უნდა აღემატებოდეს ზემოთ მოყვანილი ფორმულით გამოანგარიშებულ დოზას.

თუ ერთჯერადი დასახივება აღემატება ზღვრულად დასაშვები დოზის 5-ჯერად სიდიდეს (ან რადიონუკლიდების მოხვედრა ორგა-

ნიშში ასეთი კონცენტრაციით ხდება), მაშინ ასეთი მდგომარეობა მიჩნეულია პოტენციურად საშიშად და დასხივებული პიროვნება უნდა გადაიგზავნოს სამედიცინო გამოკვლევაზე.

მოსახლეობის ცალკეული პირების (კატეგორია ბ) დასხივების ინდივიდუალური ეკვივალენტური დოზები არ უნდა აღემატებოდეს იმ ზღვრულ სიდიდეებს, რომლებიც რეკომენდებულია სანიტარიული ნორმატივებით, კერძოდ I ჯგუფის კრიტიკული ორგანოებისათვის იგი არ უნდა აღემატებოდეს 0,5 რბე-ს წელიწადში (ანუ 5 mSv). ინდივიდუალურ დოზიმეტრიას ამ პირებს არ უტარებენ. მათზე ზედამხედველობა მიმდინარეობს სამუშაო თუ საცხოვრებელი გარემოს რადიაციული მდგომარეობის კონტროლით; სისტემატურად აკონტროლებენ როგორც გამოსხივების დოზას, ასევე რადიონუკლიდების კონცენტრაციას გარემოში; ორგანიზმში ჰაერით, წყლით, საკვები პროდუქტებით მოხვედრილ რადიოაქტიურ ნივთიერებებს.

მოსახლეობის ამ კატეგორიაში გამოყოფილია ე. წ. კრიტიკული ჯგუფი, ანუ ადამიანთა ის კოლექტივი, რომელიც ასაკის, ცხოვრების პირობების ან სხვა რაიმე მონაცემების მიხედვით უფრო მეტად განიცდის რადიაციულ გავლენას დანარჩენ მოსახლეობასთან შედარებით. თუ კრიტიკული ჯგუფის დასხივება არ აღემატება 0,1 დოზის ზღვარს (დ. ზ.), მაშინ რადიაციული კონტროლი შეიძლება შემოიფარგლოს ზედამხედველობით იმ დაწესებულებებზე, რომლებიც ჰაერსა და წყალში გამოყოფენ რადიოაქტიურ გადანაყრებს.

ატმოსფერულ ჰაერსა და წყალში რადიონუკლიდების დასაშვები კონცენტრაციის გაანგარიშება ხდება მათი წყლითა და ჰაერით ორგანიზმში მოხვედრის საშუალებათა საფუძველზე (ამ გაანგარიშების დროს რადიონუკლიდების მიგრაციას გარემოში მხედველობაში არ მიიღებენ). რაც შეეხება გარემოს ობიექტებში საკონტროლო დონის დადგენას, უნდა გაითვალისწინონ ამ რადიონუკლიდების მიგრაცია ბიოლოგიური ჯაჭვით და გარეგანი დასხივების ის დოზა, რომელიც გარემოში ამ ელემენტების დაგროვებისაგან წარმოიქმნება.

მთელი მოსახლეობის (კატეგორია გ) დასხივებაზე კონტროლი ძალიან მკაცრია. მას ახორციელებს უშუალოდ სსრ კავშირის ჯანმრთელობის დაცვის სამინისტრო. კონტროლის სიმკაცრე გამოწვეულია მაიონიზებელი გამოსხივების სტოქასტური ეფექტების აცილების მიზნით (გენეტიკური მოქმედება, კანცეროგენული ეფექტი და სხვ.).

მაიონიზებელი გაფოსხივების გენეტიკური მოქმედების დასახასიათებლად შემოღებულია ე. წ. გენეტიკური და გენეტიკური მნიშვნელობის დოზა. დასხივების გენეტიკური მნიშვნელობის დოზა თითოეული ინდივიდის საშუალო გონადური დოზაა, რომელიც განაწილებულია დასხივების შემდეგ მოსალოდნელ დებადებულ თითოეულ

ბავშვზე. გენეტიკური დოზა კი ისეთი დოზაა, რომელიც თითოეული ინდივიდის მიერ მიღებული რომ ყოფილიყო დაბადებიდან საშუალო რეპროდუქციულ ასაკამდე, გამოიწვევდა მთელი მოსახლეობისათვის ისეთსავე გენეტიკურ ეფექტს, როგორსაც იწვევს თითოეული ინდივიდის მიერ მიღებული დასხივების რეალური დოზა.

გარეგანი და შინაგანი დასხივების შედეგად მიღებული გენეტიკური მნიშვნელობის დოზა 30 წლის განმავლობაში არ უნდა აღემატებოდეს 5 რბე-ს (ამ დოზაში არ შედის დასხივება, გამოწვეული ბუნებრივი ფონით და სამედიცინო პროცედურებით). ეს დოზა — 5 რბე 30 წლის განმავლობაში კატეგორიების მიხედვით განაწილებულია შემდეგნაირად:

კატეგორია ა — 1 რბე;

კატეგორია ბ — 0,5 რბე;

კატეგორია გ — 2,0 რბე (გამოწვეული რადიაქტიური იზოტოპების გლობალური დალექვით. აქედან შინაგან დასხივებაზე მოდის 1,5 რბე, გარეგანზე — 0,5 რბე); რეზერვი — 1,5 რბე.

ზოგიერთი რადიონუკლიდი შინაგანი დამსხივებელი გენეტიკური მნიშვნელობის იზოტოპია. მათ მიეკუთვნება იზოტოპები, რომლებიც სხეულში მოხვედრის შემდეგ თანაბრად ნაწილდებიან მთელ ორგანიზმში. ასეთებია  $^3\text{H}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{134-137}\text{Cs}$ .

ვინაიდან ატომური ენერჯიის გამოყენებას მშვიდობიანი მიზნით აგრეთვე სამედიცინო გამოკვლევებს გარკვეული წვლილი შეაქვთ გენეტიკური დოზის შექმნაში, საჭიროა პროფილაქტიკური მასობრივი რენტგენოლოგიური გამოკვლევების მაქსიმალურად შემცირება, განსაკუთრებით ქალების, ბავშვების და მოზარდების მიმართ; მოსახლეობის დასხივება უნდა შეიზღუდოს როგორც დოზის შემცირების, ასევე დასხივებულ პირთა შემცირების გზით. ამა თუ იმ დოზით დასხივების შეფასების დროს საკითხისადმი მიდგომა უნდა წყდებოდეს იმ თვალთახედვით, თუ რამდენად საჭიროა ის ძირითადი საკმე, რომელიც ამ დასხივებას იწვევს. ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში უნდა აიწონ-დაიწონოს ყველა დადებითი და უარყოფითი მხარე.

ავარიული სიტუაციების შექმნის შემთხვევაში ადგენენ ე. წ. დროებით დასაშვებ დონეს. შესაძლოა ეს დონე აღწევდეს მოსახლეობის ცალკეულ პირთათვის (კატეგორია ბ) დაწესებული დასხივების დონის ზღვარს, მაგრამ ეს უნდა მოხდეს უკიდურეს შემთხვევაში. ყველა სხვა შემთხვევაში უნდა ვეცადოთ ამ დოზების ყოველმხრივ შემცირებას და დასხივების კონტინგენტის შემცირებასაც.

ამგვარად, რადიაკოული დაცვის სამსახურის გადაუდებელი ამოცანაა ყველა საშუალებით შეამციროს მოსახლეობის დასხივება მინიმალური დოზებითაც კი. ამ მიზნით საჭიროა მაქსიმალურად შემცირ-

დეს დასხივების დოზები მოსახლეობის რენტგენო-რადიოლოგიური სამედიცინო მომსახურების დროს და ის კონტიგენტი, რომელიც ამ მომსახურებით სარგებლობს. ყველა შემთხვევაში სანიტარიული ზედამხედველობის ორგანოები უნდა ცდილობდნენ მოსახლეობის ხელოვნური დასხივების შეზღუდვას და დოზის შემოფარგვლას მხოლოდ ბუნებრივი ფონის მოქმედებით.

**ჰაერში, წყალსა და საკვებ პროდუქტებში რადიოაქტიურ ნივთიერებათა ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციის ნორმირების კვირეული დასაბუთება**

რადიოაქტიური ნივთიერების ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციის დადგენა ჰაერში, წყალსა და საკვებ პროდუქტებში დამყარებულია ბიოლოგიურ მონაცემებზე. მხედველობაში მიღებულია ორგანიზმში ამა თუ იმ ნივთიერების შეწოვის უნარი, მისი განაწილება, გამოყოფა, გამომსხივებლის ენერგია, ნახევარდაშლის პერიოდი, ხსნადობა, დისპერსიულობა და ტოქსიურობა. როდესაც რადიოაქტიური ნივთიერება ორგანიზმში ხვდება, იგი მოქმედებს იმ ორგანოსა თუ ქსოვილზე, რომელშიც გროვდება, ანუ რომლის მიმართაც ქიმიურ თვისებას იჩენს (კრიტიკული ორგანო). ამიტომ, ამა თუ იმ რადიოაქტიური იზოტოპის ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციის დადგენის დროს ჭერ უნდა დადგინდეს მისდამი კრიტიკული ორგანო.

ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციის დადგენის დროს რადიოაქტიური იზოტოპის რაოდენობა ისე უნდა იყოს გაანგარიშებული, რომ მისი კრიტიკულ ორგანოში მოხვედრის ან ორგანიზმში თანაბარი განაწილების შემთხვევაში არ მოხდეს ამ უკანასკნელთა დასხივება ზღვრულად დასაშვებ დოზაზე მეტი სიდიდით, ხოლო საკონტროლო დონის დადგენის შემთხვევაში, მასზე ნაკლებიც იყოს. დღემდე ცნობილი რადიოაქტიური იზოტოპების მიმართ დადგენილია ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია ატმოსფერულ ჰაერში, სამუშაო დაწესებულების ჰაერსა და წყალში, ორგანიზმში დაგროვების ზღვრული დოზები. ამ სიდიდეების დადგენის დროს მხედველობაში მიღებულია, რომ პერსონალის მიერ ჩასუნთქული ჰაერის რაოდენობა სამუშაო საათების განმავლობაში (დახურულ შენობაში ყოფნის დროს) შეადგენს  $2,5 \cdot 10^6$  ლიტრს/წელიწადში, ხოლო მოზრდილი ადამიანი მოსახლეობიდან ჩაისუნთქავს  $7,3 \cdot 10^6$  ლიტრს/წელიწადში. რაც შეეხება წყალში დასაშვები კონცენტრაციების დადგენას, ამ შემთხვევაში ითვალისწინებენ, რომ მოზრდილი ადამიანი წლის განმავლობაში საშუალოდ ღებულობს 800 ლიტრ წყალს (საკვებში შემცველი წყლის ჩათვლით).

ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციის დადგენის დროს მხედველობაში მიღებულია ელემენტის რადიოტოქსიკურობა, ანუ მისი უნარი ორგანიზმში მოხვედრის შემდეგ გამოიწვიოს ამა თუ იმ ხარისხის დაზიანება. რაც მეტია დაზიანება, მით მაღალია რადიოტოქსიკურობა. რადიოტოქსიკურობა, თავის მხრივ, დამოკიდებულია გამოსხივების სახეობაზე, ენერჯიაზე, ორგანიზმში მოხვედრის გზებზე, ეფექტურ ნახევარდაშლის პერიოდზე, გამოყოფის გზებზე და სხვ.

### რადიოაქტიური ელემენტთა რადიოტოქსიკურობის ჯგუფები

პირში, წყალში, საკვებში რადიოაქტიური ელემენტთა ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციის დადგენის დროს სანიტარიული კანონმდებლობა ითვალისწინებს ამ ელემენტთა რადიოტოქსიკურობას, ანუ უნარს ორგანიზმში მოხვედრის შემდეგ გამოიწვიოს ამა თუ იმ სიმძიმის დაზიანება. შინაგანი დასხივების პოტენციური საშიშროების თვალსაზრისით რადიოაქტიური ელემენტები იყოფა 5 ჯგუფად. რადიოტოქსიკურობის ჯგუფებად გრადაციას საფუძვლად უდევს სამუშაო ადგილზე ზღვრულად დასაშვები აქტივობა, რომელიც არ საჭიროებს სანიტარიულ-ეპიდემიოლოგიური სამსახურის თანხმობას. რადიოტოქსიკურობის ჯგუფებია:

ა ჯგუფი — ძალიან მაღალი რადიოტოქსიკურობის მქონე ელემენტები. ამ ჯგუფს მრეკუთვნება ის იზოტოპები, რომელთა ზღვრულად დასაშვები აქტივობა სამუშაო ადგილზე 0,1 მიკროკიურის უდრის. ასეთებია:  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{233}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{137}\text{Np}$ , Am, Cf და სხვ.

ბ ჯგუფი — მაღალი რადიოტოქსიკურობის მქონე ელემენტები. ამ ჯგუფში შედის იზოტოპები, რომელთა ზღვრულად დასაშვები აქტივობა სამუშაო ადგილზე შეადგენს 1 მიკროკიურის. ასეთებია:  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{126}\text{I}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{170}\text{Tm}$ ,  $^{210}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Bk}$  და სხვ.

გ ჯგუფი — საშუალო რადიოტოქსიკურობის მქონე ელემენტები. მათთვის ზღვრულად დასაშვები აქტივობა სამუშაო ადგილზე შეადგენს 10 მიკროკიურის. ამ ჯგუფს მიეკუთვნება:  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{42}\text{K}$ ,  $^{47}\text{Ca}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{86}\text{Rb}$ ,  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{198}\text{Au}$ ,  $^{203}\text{Hg}$ ,  $^{209}\text{Np}$  და სხვ.

დ ჯგუფი — ამ ჯგუფში შემავალი იზოტოპებისათვის სამუშაო ადგილზე ზღვრულად დასაშვები აქტივობა 100 მიკროკიურია. მაგალითად:  $^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{18}\text{F}$ ,  $^{38}\text{Cl}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{129}\text{Te}$  და სხვ.

ე ჯგუფი — რადიოტოქსიკურობის ამ ჯგუფში გაერთიანებულია ელემენტები, რომელთათვის ზღვრულად დასაშვები აქტივობა სამუ-

შო ადგილზე 1000 მიკროკიურია. ამ ჯგუფს მიეკუთვნება იზოტოპი  $^3\text{H}$ .

ყოველი რადიოაქტიური იზოტოპის ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია ორგანიზმში (კრიტიკულ ორგანოში) და მისი წლიური დაგროვება როგორც ა, ისე ბ, კატეგორიის პირთათვის, აგრეთვე, საშუალო წლიური დასაშვები კონცენტრაცია ჰაერსა და წყალში, მოცემულია რადიაციული უშიშროების ნორმებში (HPB—76). 35-ე ცხრილში მოყვანილია ზოგიერთი რადიონუკლიდის დასაშვები დონე ა და ბ კატეგორიის პირთათვის.

აუცილებელია გვახსოვდეს, რომ მრავალი იზოტოპი შეიძლება ორგანიზმიდან სწრაფად არ გამოიღვენოს და დეპონირდეს მასში თევებისა და წლების განმავლობაში, რითაც იწვევს ხანგრძლივ, ქრონიკულ დასხივებას მცირე დოზებით. გარდა ამისა, ჯერ კიდევ არ არის ცნობილი ისეთი მეთოდები, ნაერთები, რომლებიც ეფექტურად გამოიღვენიან რადიოაქტიურ ნივთიერებებს ორგანიზმიდან. ამიტომ დადგენილი ზღვრულად დასაშვები დოზები და კონცენტრაცია, ორგანიზმში რადიოაქტიური იზოტოპების დაგროვების ზღვრული დონე, არ უნდა გვესმოდეს, როგორც ოპტიმალური პირობები. ყოველნაირად უნდა ვეცადოთ შევამციროთ ადამიანზე მოქმედი გარეგანი თუ შინაგანი დასხივება და შემოვფარგლოთ იგი მხოლოდ და მხოლოდ ბუნებრივი ფონით.

### **შენოჯახის, ტრანსპორტისა და სახლის ღია ნაწილების დაზიანურობის დასაშვები დონე**

სანიტარიული კანონმდებლობა ითვალისწინებს ზღვრულად დასაშვებ დონეს შენობების, ტრანსპორტის, კანის, სპეცტანსაცმლისა და სპეცფეხსაცმლის დაზიანურობის შემთხვევაში. ეს მონაცემები მოყვანილია 36-ე და 37-ე ცხრილებში.

### **რადიოაქტიური იზოტოპათთან და რადიონუკლიდული გამოხივების წყაროებთან მუშაობის დროს უსაფრთხოების დაცვის პრინციპები და მეთოდები**

მაიონიზებული გამოსხივების მოქმედება ადამიანზე შეიძლება იყოს გარეგანი (გარეგანი დასხივება), შინაგანი (შინაგანი დასხივება) და შერეული (გარეგანი და შინაგანი დასხივება). მოქმედების ხასიათს განაპირობებს მაიონიზებული წყაროს თავისებურება, კერძოდ რადიოაქტიური იზოტოპების გამოყენება ღია და დახურული წყაროების სახით. დახურული წყაროები განაპირობებს გარეგან დასხივებას, ღია წყაროები — შინაგან დასხივებას ან კომბინირებულ (შინაგანი და გა-

ზოგიერთი რადიონუკლიდის დასაშვები დონე

რადიონუკლიდი	ნახევარდაშლის პერიოდი	კრიტიკული ორგანო	ჯამ
			დასაშვები შემცველობა კრიტიკულ ორგანოში (მკგ)
ტრიტიუმი (იირი)	12,34 წელი	მთელი სხეული	—
ნახშირბადი—14	5730 წელი	ცხიმები	1,6 · 10 <sup>2</sup>
ფტორი—18 (ხსნადი)	1,87 საათი	კუპ-ნაწლავი	—
ნატრიუმი—24 (ხსნადი)	14,9 საათი	კუპ-ნაწლავი	—
ფოსფორი—32 (ხსნადი)	14,3 დღე	ძვალი	3,1
გოგირდი—35	87,1 დღე	გონადები	0,2
კალციუმი—45	163 დღე	ძვალი	26
ქრომი—51 (ხსნადი)	27,8 დღე	კუპ-ნაწლავი	—
კობალტი—60	5,25 წელი	მთელი სხეული	780
სელენი 75 (ხსნადი)	118,45 დღე	კუპ-ნაწლავი	—
სტრონციუმი—90 (ხსნადი)	28,6 წელი	მთელი სხეული	13
(უხსნადი)		თირკმელები	3,5
იტრიუმი—90 (ხსნადი)	2,68 დღე	მთელი სხეული	98
(უხსნადი)		ძვალი	2,0
ბერკლიუმი—99	6,04 საათი	ფილტვები	0,76
იოდი—131 (ხსნადი)	8,06 დღე	კუპ-ნაწლავი	—
(უხსნადი)		კუპ-ნაწლავი	—
ცეზიუმი—137 (ხსნადი)	30 წელი	კუპ-ნაწლავი	—
		ფარისებრი ჯირკვ.	0,07
		ფილტვები	2,8
		კუპ-ნაწლავი	—
		მთელი სხეული	33
		ღვიძლი	3,5
		ელენთა	0,34
		კუნთები	14
		ფილტვები	2
		კუპ-ნაწლავი	—
ოქრო—198 (ხსნადი)	2,69	კუპ-ნაწლავი	—
(უხსნადი)		კუპ-ნაწლავი	—
ვერცხ. წყ. —203 (ხსნადი)	46,8 დღე	კუპ-ნაწლავი	—
ტყვია 210 (ხსნადი)	22,3 წელი	თირკმელები	0,012
		თირკმელები	0,19
(უხსნადი)		ძვლები	0,016
		ფილტვები	—
პოლონიუმი—210 (ხსნადი)	138,4 დღე	კუპ-ნაწლავი	0,0011
(უხსნადი)		ელენთა	0,0022
		თირკმელი	0,020
		ძვლები	0,0073
		ფილტვები	—
რადიუმი—226 (ხსნადი)	1600 წელი	კუპ-ნაწლავი	0,051
(უხსნადი)		ძვლები	0,0011
		თირკმელები	0,0036
		ფილტვები	—
თორიუმი—232. (ხსნადი)	1,4 · 10 <sup>-10</sup> წ.	კუპ-ნაწლავი	0,021
(უხსნადი)		ძვალი	0,0029
		თირკმელი	0,0087
		ფილტვები	—
ურანი—238 (ხსნადი)	4,5 · 10 <sup>-9</sup> წ.	კუპ-ნაწლავი	3,1 · 10 <sup>-4</sup>
(უხსნადი)		თირკმელები	0,026
		ძვალი	0,0093
		ფილტვები	—
		კუპ-ნაწლავი	—



გორია ა		კატეგორია ბ				საშუალო აღმ. მნიშ. დასაშ. აქტუ. მნიშ.	ჩალაქული საშუალოების რაოდენობა
დასაშვები წლიური ჩართვა ორგანიზმში დასაშვ. თქი გზებით მკ/წელი	დასაშვები კონცენტრაცია საშუალო აღმ. გილას. პაერში კ/ლ	წლიური ჩართვის ზღვარი მკ/წელი		დასაშვები კონცენტრაცია კ/ლ			
		სასუნთქი გზებ.	საქმლის მომწოდებელი გზით	ატმოსფერო ჰაერში	წყალში		
4,8.10 <sup>6</sup>	2,0.10 <sup>-8</sup>	4,8.10 <sup>6</sup>	—	6,6.10 <sup>-8</sup>	—	100	ა
8,7.10 <sup>3</sup>	3,5.10 <sup>-9</sup>	8,7.10 <sup>3</sup>	6,6.10 <sup>2</sup>	1,2.10 <sup>-10</sup>	8,2.10 <sup>-7</sup>	100	ბ
1,3.10 <sup>4</sup>	—	1,3.10 <sup>3</sup>	6,6.10 <sup>2</sup>	—	5,0.10 <sup>-7</sup>	100	გ
3,1.10 <sup>3</sup>	—	3,1.10 <sup>2</sup>	1,5.10 <sup>2</sup>	—	—	10	დ
1,8.10 <sup>3</sup>	—	18	15	2,4.10 <sup>-12</sup>	1,9.10 <sup>-4</sup>	10	ე
6,8.10 <sup>2</sup>	—	68	50	—	6,3.10 <sup>-8</sup>	10	ვ
80	3,2.10 <sup>-11</sup>	8,0	7,3	1,1.10 <sup>-12</sup>	9,1.10 <sup>-11</sup>	10	ზ
2,6.10 <sup>4</sup>	—	2,6.10 <sup>3</sup>	1,3.10 <sup>3</sup>	—	—	100	თ
2,7.10 <sup>4</sup>	—	2,7.10 <sup>3</sup>	—	—	—	—	ი
8.10 <sup>3</sup>	—	80	39	—	—	10	კ
8,7.10 <sup>2</sup>	—	87	—	—	—	—	ლ
3,1.10 <sup>3</sup>	—	3,1.10 <sup>2</sup>	2,4.10 <sup>2</sup>	—	—	—	მ
—	—	—	2,7.10 <sup>2</sup>	—	—	10	ნ
2,9	1,2.10 <sup>-12</sup>	0,29	0,32	4.10 <sup>-11</sup>	4,0.10 <sup>-10</sup>	1	ო
14	—	1,4	—	—	—	—	პ
—	—	—	28	—	—	—	ჟ
3,2.10 <sup>2</sup>	—	32	16	3,5.10 <sup>-12</sup>	2,0.10 <sup>-8</sup>	10	რ
2,6.10 <sup>2</sup>	1,0.10 <sup>-10</sup>	26	16	—	—	—	ს
9,5.10 <sup>4</sup>	—	9,5.10 <sup>3</sup>	4,6.10 <sup>-3</sup>	—	—	100	ტ
10	4.2.10 <sup>-12</sup>	1,0	0,8	1,5.10 <sup>-13</sup>	1,0.10 <sup>-9</sup>	1	უ
8.10 <sup>2</sup>	—	80	—	—	—	—	ფ
8.10 <sup>2</sup>	—	80	51	—	—	—	ქ
1,6.10 <sup>2</sup>	—	16	12	—	1,5.10 <sup>-8</sup>	10	ყ
—	—	—	14	—	—	—	შ
—	—	—	18	—	—	—	ჩ
—	—	—	19	—	—	—	ც
36	1,4.10 <sup>-11</sup>	3,6	—	4,9.10 <sup>-13</sup>	—	—	ძ
—	—	—	35	—	—	—	წ
8,0.10 <sup>3</sup>	—	80	41	—	—	10	ჭ
5,9.10 <sup>2</sup>	2,4.10 <sup>-10</sup>	59	37	8.10 <sup>-12</sup>	4,6.10 <sup>-8</sup>	—	ხ
1,8.10 <sup>2</sup>	7,2.10 <sup>-11</sup>	18	14	2,5.10 <sup>-12</sup>	1,8.10 <sup>-8</sup>	10	ძ
0,15	6,0.10 <sup>-14</sup>	0,015	0,062	2,0.10 <sup>-16</sup>	7,7.10 <sup>-11</sup>	0,1	წ
0,25	—	0,025	0,10	—	—	—	ს
0,27	—	0,027	—	—	—	—	შ
—	—	—	70	—	—	—	ჩ
0,66	—	0,066	0,33	—	—	—	ც
0,60	—	0,060	0,30	—	3,9.10 <sup>-10</sup>	0,1	ძ
8,4	—	0,84	4,2	—	—	—	წ
0,23	9,3.10 <sup>-14</sup>	0,023	—	3,1.10 <sup>-15</sup>	—	—	ჭ
—	—	—	11	—	—	—	ხ
0,37	—	3,2.10 <sup>-2</sup>	4,3.10 <sup>-2</sup>	—	5,4.10 <sup>-11</sup>	0,1	ძ
35	—	3,5	4,6	—	—	—	წ
0,062	2,5.10 <sup>-14</sup>	6,2.10 <sup>-3</sup>	—	8,5.10 <sup>-16</sup>	—	—	ს
—	—	—	13	—	—	—	შ
2,5.10 <sup>-3</sup>	1,0.10 <sup>-15</sup>	1,8.10 <sup>-4</sup>	0,016	2,5.10 <sup>-17</sup>	2,2.10 <sup>-11</sup>	100	ჩ
7,7.10 <sup>-3</sup>	—	6,2.10 <sup>-4</sup>	0,040	—	—	—	ც
0,012	—	1,2.10 <sup>-3</sup>	—	—	—	—	ძ
—	—	—	14	—	—	—	წ
0,18	—	0,018	0,47	—	5,9.10 <sup>-10</sup>	100	ჭ
0,77	—	0,077	2,0	—	—	—	ხ
0,16	6,3.10 <sup>-14</sup>	0,016	—	2,2.10 <sup>-15</sup>	—	—	ძ
—	—	—	14	—	—	—	წ

რეგანი დასხივება). ამიტომ მაიონიზებელი გამოსხივების წყაროებთან მუშაობის დროს უსაფრთხოების დაცვითი ღონისძიებების გატარება დამოკიდებულია ამ წყაროების გამოყენების ხასიათზე.

ღია წყაროდ რადიაქტიური იზოტოპი მიჩნეულია იმ შემთხვევაში, როცა ის ისეთ აგრეგატულ მდგომარეობაშია, რომ შესაძლებელია მისი გავრცელება გარემო სამყაროში. ღია წყაროები ძირითადად გვხვდება იმ დაწესებულებებში, რომელთა ტექნოლოგიური პროცესების თავისებურება საჭიროებს მუშაობას აიროვან, თხიერ ან ფხვნილისებრი აგრეგატული მზგომარეობის რადიაქტიურ ნაერთებთან (მრავალი პროფილის რადიოლოგიური დაწესებულება, მათ შორის სამედიცინოც, სადაც რადიაქტიურ იზოტოპებს იყენებენ სამკურნალო, დიაგნოსტიკური და სხვა მიზნებისათვის), და რადიაქტიური მადნის დამამუშავებელ მაღაროებში, სადაც მიმდინარეობს რადიაქტიური მადნის მოპოვება. ღია წყაროებთან მუშაობის დროს უსაფრთხოების დაცვის თვალსაზრისით უნდა გატარდეს ღონისძიებები, რომლებიც

ცხრილი 36

სამუშაო შენობების, მოწყობილობებისა და ტრანსპორტის გართვა ზედაპირების დასაშვები დაბინძურება

ზედაპირის სახეობა	დაბინძურების დასაშვები დონე (ნაწილაკი /სმ <sup>2</sup> /წამში)		
	აღუა-გამომსხივებელი იზოტოპი		ბეტა გამომს- ხივებელი იზოტოპი
	მაღალ ტოქ- სიკურობის <sup>1</sup>	დანარჩენი	
საკონტროლო ზონაში არსებულ დაწესებულებათა ზედაპირი			
1. პერსონალის მუდმივად სამყოფ ადგილებში	10	40	2000
2. არამუდმივადსამყოფი ადგილები (მეორე ზონის შენობები სამზონოვანი დაგეგმარების დროს)	100	400	8000
ტრანსპორტი <sup>2</sup> კონტეინერების გარეშე (საკონტროლო ზონაში რადიაქტიური იზოტოპების გადამტანი)	10	10	100

<sup>1</sup> მაღალტოქსიკურობის აღუა-გამომსხივებლად მიჩნეულია რადიაქტიური იზოტოპები, რომელთა ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია დაწესებულებების პაერში 2. 10-<sup>15</sup> კ/ლ-ზე აბაბლია.

<sup>2</sup> ტრანსპორტიდან 0,1 მ მანძილზე გამოსხივების სიმძლავრე არ უნდა აღემატებოდეს 0,1 მრ/საათში.

ემყარება შემდეგ პრინციპებს: საწარმოო პროცესების პერმეტულობას, მათ მექანიზაციასა და ინდივიდუალური დაცვითი საშუალებების გამოყენებას.

ცხრილი 37

ინდივიდუალური დაცვითი საშუალებებისა და კანის დასაზღვრება  
დაბინძურება (ნაწილაკი /სმ<sup>2</sup>/ წუთში)

დაბინძურებული ობიექტები	ალფა-ნაწილაკები		ბეტა-ნაწილაკები
	მაღალტოქსიკური	დანარჩენი	
კანის ზედაპირი	5	5	100
სპეცთეთრული და პირსახოცები	5	5	100
ინდ. დაცვის საშუალებათა სახისმიერი ნაწილის შიგნითა ზედაპირი	5	5	100
ძირითადი სპეცტრანსაქმელი დამატებითი ინდ. დაცვის საშუალებანძ შიგნითა ზედაპირი	10	40	800
გარეთა ზედაპირი	10	40	800
სამუშაო ზედაპირები	100	400	8000
	10	40	2000

დახურული წყარო ისეთი გამომსხივებელი ობიექტია, რომლის აგრეგატული მდგომარეობა არა ქმნის გარემოში მისი ვაერცელების საშიშროებას. დახურული წყაროები ორ ჯგუფად იყოფა: 1. წყაროები მულმივი გამოსხივებით, რომლებსაც მიეკუთვნება სხვადასხვა სახის გამა-დანადგარები, ნეიტრონული გამომსხივებლები, ბეტა-წყაროები და სხვ.; 2. წყაროები, რომელთა გამოსხივება არ არის მულმივი, გამოსხივება ხდება დანადგარის ელექტროქსელში ჩართვის შემდეგ, ხოლო გამორთვისას გამოსხივება წყდება. მათ მიეკუთვნება რენტგენის დანადგარები, სხვადასხვა სახის ამჩქარებლები და სხვ.

დახურულ წყაროებთან მუშაობის დროს გარეგანი დასხივებისაგან დაცვის ძირითადი პრინციპები ემყარებან გამოსხივების ნივთიერებასთან ურთიერთქმედების კანონზომიერებათა ცოდნას. თუ გავითვალისწინებთ იმ თავისებურებებს, რომლებიც ახასიათებს მაიონიზებელი გამოსხივების ნივთიერებაზე ზემოქმედებას, გარეგანი დასხივებისაგან დაცვა ხორციელდება შემდეგი პრინციპების გამოყენებით: მუშაობა უნდა მიმდინარეობდეს მაქსიმალურად მცირე აქტივობის მქონე იზოტოპებთან (დაცვა რაოდენობით), გამომსხივებელ წყაროსა და მომსახურე პერსონალს შორის მანძილი რაც შეიძლება დიდი უნდა იყოს (დაცვა მანძილით), ყოველგვარი მანიპულაცია უნდა ტარდებოდეს მაქსიმალურად მცირე დროის განმავლობაში (დაცვა დროით), გამომსხივებელ წყაროსა და პერსონალს შორის მოთავსებული უნდა იყოს დამცველი ფარები (დაცვა ფარებით).

დაცვითი ღონისძიებების გატარება (ღია თუ დახურული რადიაქტიური წყაროს ან მაიონიზებული გამოსხივების მაგნერირებელი რომელიმე დანადგარის შემთხვევებში) უზრუნველყოფილი უნდა იყოს სანიტარიულ-ჰიგიენური, საინჟინრო-ტექნოლოგიური და ორგანიზაციული ხასიათის კომპლექსური მეთოდებით. ყველა შემთხვევაში ძალიან დიდი მნიშვნელობა ენიჭება რადიაქტიურ ნივთიერებებსა და გამოუსხივების წყაროებთან მუშაობის მაღალ კულტურას, პირად ჰიგიენას.

უნდა აღვნიშნოთ, რომ სახალხო მეურნეობის დარგებიდან რადიაქტიური იზოტოპები და სხვა გამომსხივებელი წყაროები ყველაზე ფართოდ არის გამოყენებული მედიცინაში. დაცვითი ხასიათის ღონისძიებები, რომლებიც ტარდება სხვა სახის წარმოებაში მაიონიზებული გამოსხივების გამოყენების შემთხვევაში, პრინციპულად არ განსხვავდება იმ მეთოდებისაგან, რომლებიც თან სდევს მაღალენერგეტიკული დანადგარების გამოყენებას მედიცინაში.

იმისათვის, რომ ნათელი გახდეს რადიაქტიური იზოტოპებისა და მაიონიზებული გამოსხივების წყაროებთან მუშაობის დროს დაცვითი ღონისძიებების გატარების პრინციპები და მეთოდები, გავეცნოთ ზოგიერთ იმ იზოტოპს, რომელიც გამოიყენება მედიცინაში ამა თუ იმ წყაროს სახით და სხივური მკურნალობისათვის. ყველა ეს საკითხი მჭიდროდ არის დაკავშირებული ამა თუ იმ სახის დაცვითი ღონისძიების გატარებასთან.

### **მედიცინაში ხმარებული რადიაქტიური იზოტოპები და მათი გამოყენების პრინციპები**

რადიაქტიურ იზოტოპს სამკურნალოდ იყენებენ ორი გზით: გარეგანი და შინაგანი დასხივებით. გარეგანი დასხივების დროს გამომსხივებელი წყარო დასხივებული ობიექტის მიმართ მოთავსებულია გარკვეულ მანძილზე. შინაგანი დასხივების დროს იზოტოპი შეჰყავთ ორგანიზმში და იგი მონაწილეობს ნივთიერებათა ცვლაში.

რადიაციული მიზნებისათვის რადიაქტიური იზოტოპები ძირითადად შეჰყავთ ორგანიზმში.

მედიცინაში გამოსაყენებელ რადიაქტიურ იზოტოპებს გარკვეული მოთხოვნები წარედგინება, იმისდა მიხედვით, თუ რა მიზნების შესრულებას ემსახურებიან ისინი.

პირველ ყოვლისა, მნიშვნელობა აქვს, თუ რა სახის გამოსხივებას იძლევა ესა თუ ის რადიაქტიური ელემენტი (α, β თუ γ). სადიაგნოსტიკოდ უნდა შეირჩეს ისეთი იზოტოპები, რომელთა სხივებს უნარი აქვთ ორგანიზმში შეყვანის შემდეგ მის ფარგლებს გარეთ გამოაღწიონ, რათა შესაძლებელი იყოს მათი აღრიცხვა სხეულის ზედაპირ-

ზე მოთავსებული რადიომეტრული აპარატურის მეშვეობით. ამ შემთხვევაში უფრო მნიშვნელოვანია  $\gamma$ - და ხისტი  $\beta$ -სხივების გამოყენება.

გამოსხივების სახეობას მნიშვნელობა აქვს იმ მხრივაც, თუ რა სახის დაავადებას ემკურნალობთ და როგორი მეთოდებით. ზოგ შემთხვევაში საჭიროა გამოვიყენოთ ძლიერი შეღწევადობის მქონე სხივები, რათა შესაძლებელი გახდეს ღრმად მდებარე პათოლოგიური პროცესის დასხივება. რასაკვირველია, ამის შესაძლებლობას  $\gamma$ -გამოსხივება იძლევა და მკურნალობის ასეთი ფორმების შემთხვევაში იყენებენ ძლიერ  $\gamma$ -აქტიურ წყაროებს. სხვა შემთხვევაში საჭიროა ზერელედ მდებარე პათოლოგიური უბნის მკურნალობა ისე, რომ არ დაზიანდეს ქვეშემდებარე სალი ქსოვილები. ამ ამოცანის შესრულება შეიძლება,  $\alpha$ -, რბილი  $\beta$ - ან ხისტი  $\beta$ -სხივებით გარედან დასხივების გზით. გამომსხივებელი და მისი სიხისტე შეირჩევა პათოლოგიური უბნის მდებარეობის სიღრმის მიხედვით.

შინაგანი დასხივების დროს უმჯობესია  $\beta$ -აქტიური გამომსხივებლების გამოყენება, ვინაიდან  $\beta$ -ნაწილაკს გარბენის მოკლე მანძილი აქვს და ეს შესაძლებლობას იძლევა დასხივება შემოიფარგლოს მხოლოდ და მხოლოდ დაზიანებული ორგანოს ან ქსოვილის არით.

იზოტოპები, რომლებიც მხოლოდ  $\nu$ -გამომსხივებლებია, შინაგანი დასხივებისათვის არ გამოდგება, ვინაიდან ამ სხივების შეღწევადობა ისე ძლიერია, რომ ფაქტიურად ისინი იწვევენ არა ლოკალურ, არამედ ორგანიზმის ზოგად დასხივებას. რასაკვირველია, ეს ორგანიზმისათვის საზიანო იქნება.

დიდი მნიშვნელობა აქვს გამოსხივების ენერჯიას. იგი ფაქტიურად იმავე მიზანს ემსახურება, რასაც მეტ-ნაკლები შეღწევადობა. მაგრამ ენერჯიის შერჩევის დროს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია რადიაქტიური ელემენტი ძირითადად იყოს ერთი ტიპისა (ან  $\alpha$ , ან  $\beta$ , ან  $\gamma$ ) და ენერჯიის ვიწრო სპექტრის მქონე. გამოსხივების ენერჯიის ფართო სპექტრი (ერთდროულად არსებული მცირე და დიდი ენერჯიის გამოსხივება) იწვევს ქსოვილების დასხივებას სხვადასხვა სიღრმით, ვინაიდან თავისი ენერჯიის მიხედვით სხვადასხვა სიღრმეზე შეკავდებიან და გამოიწვევენ არასასურველ ეფექტს. ეს რომ არ მოხდეს, საარგებლობენ სხვადასხვაგვარი ფილტრებით, რომელთა საშუალებით რბილი ენერჯიის მქონე კვანტები ან კორპუსკულები იფილტრება და ვლებლობით ვიწრო სპექტრის სხივებს.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება იზოტოპის ნახევარდაშლის პერიოდს. თუ რადიაქტიური იზოტოპებს ვიყენებთ სამკურნალოდ, როგორც გარეგან გამომსხივებელ წყაროს, მაშინ ასეთ იზოტოპს უნდა ჰქონდეს საკმაოდ დიდი ნახევარდაშლის პერიოდი. დიდი ნახე-

ვარდაშლის პერიოდი საშუალებას იძლევა ეს იზოტომი დიდხინი განმავლობაში (წლების მანძილზე) გამოვიყენოთ და იშვიათად მოვახდინოთ დანადგარში აქტივობის წყაროს გამოცვლა. ეს საშუალებას გვაძლევს აგრეთვე შედარებით იშვიათად გადავიანგარიშოთ წყაროს სიმძლავრე. რაც შეეხება შინაგანი დასხივებით მკურნალობას ან დიაგნოსტიკაში გამოყენებას, რადიაქტიური იზოტომის დიდი ნახევრად-ვარდაშლის პერიოდი ასეთ შემთხვევაში არ არის ხელსაყრელი. ასეთი იზოტომები იწვევს ორგანიზმის ხანგრძლივ დასხივებას, რასაც შეიძლება მოჰყვეს არასასურველი ეფექტი. იზოტომის შიგნით მიღების შემთხვევაში მისი ნახევარდაშლის პერიოდი არ უნდა აღემატებოდეს საშუალოდ 10 დღეს. ასევე არ არის სასურველი იზოტომის შიგნით მიღების დროს ძალიან ხანმოკლე ნახევარდაშლის პერიოდი (წამები, წუთები), ვინაიდან ასეთ შემთხვევაში იზოტომი სწრაფად იშლება ორგანიზმში, ერთბაშად ქმნის დასხივების დიდ დოზას, ხოლო შემდგომი დასხივება დოზის სიმძლავრის მხრივ ძალიან განსხვავებული (შემცირებული) იქნება, და, ამგვარად, მოხდება ორგანიზმის (ორგანოს, ქსოვილის) არათანაბარი დასხივება დროში, რასაც მოჰყვება არასასურველი სამკურნალო ეფექტი. წმინდა სამედიცინო მოსაზრების გარდა, მცირე ნახევარდაშლის პერიოდის მქონე იზოტომი ეკონომიკური რენტაბელობის თვალსაზრისითაც არასასურველია, ვინაიდან იზოტომის დამზადებასა და მოხმარებას შორის არსებული დრო და მანძილი იწვევს ამ იზოტომის დიდი რაოდენობით დაკარგვას.

რადიაქტიური ელემენტების ბიოლოგიური მოქმედება დაკავშირებულია მხოლოდ და მხოლოდ მათი გამოსხივების უნართან. ისინი, როგორც ქიმიური ნივთიერებანი, თითქმის არაერთად გავლენას არ ახდენენ ორგანიზმზე, ვინაიდან ორგანიზმში შეყვანილი რაოდენობა იმდენად უმნიშვნელოა, რომ პრაქტიკულად შესაძლებელია მათი, როგორც ქიმიური ნივთიერებების, უგულებელყოფა. რადიაქტიური იზოტომის ქიმიური ბუნება განსაზღვრავს ძირითადად მის ნახევარდაშლის პერიოდს და, აგრეთვე, ორგანიზმში შეყვანის შემთხვევაში მის განაწილებას. ცნობილია, რომ რადიაქტიური იზოტომი ორგანიზმში შეყვანის დროს ისევე ნაწილდება, როგორც ამავე ელემენტის სტაბილური იზოტომი. ეს თვისება ძალიან მნიშვნელოვანი მომენტია ამა თუ იმ ორგანოს დიაგნოსტიკაში იზოტომის შესარჩევად. ვინაიდან რადიაქტიურ იზოტომს, როგორც ქიმიურ ელემენტს, ამა თუ იმ ქსოვილის მიმართ გარკვეული ტროპიზმი ახასიათებს, ე. ი. არჩევითად გროვდება რომელიმე ორგანოში, ეს საშუალებას იძლევა რადიომეტრული აპარატით გარედან თვალყურის ვადევნოთ ამ ორგანოში მიმდინარე პროცესებს. ეს თვისება ერთობ მნიშვნელოვანია აგრეთვე ამა თუ იმ ორგანოს ლოკალური თერაპიული დასხივებისათვის, ე. ი.

იქმნება ჩვენთვის საინტერესო ორგანოს სხივური თერაპიის ჩატარების საშუალება ისე, რომ ირგვლივ მდებარე ან რომელიმე დაზარებული სალი ორგანო და ქსოვილი არ დასხივდება.

რადიაქტიური იზოტოპით შინაგანი დასხივებისას ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მომენტია მაღალი ხვედრითი აქტივობა, რაც ამ ქიმიური ელემენტის ძლიერ მცირე რაოდენობით გამოყენების საშუალებას იძლევა.

## მედიცინაში გამოყენებული ხელოვნური რადიაქტიური ელემენტები

მედიცინაში ხმარებული ხელოვნური რადიაქტიური ელემენტების რიცხვი ყოველწლიურად იზრდება. ამჟამად ათობით ელემენტი ფართოდაა დანერგილი როგორც დიაგნოსტიკის, ასევე თერაპიულ პრაქტიკაში.

ხელოვნური რადიაქტიური ელემენტები მედიცინაში გამოყენების თვალსაზრისით შეიძლება დავყოთ ორ ჯგუფად: 1. რადიაქტიური ელემენტები, რომლებსაც შინაგანი დასხივების მიზნით ვიყენებთ და ვხმარობთ ძირითადად ღია წყაროების სახით; 2. რადიაქტიური ელემენტები, რომლებსაც გარეგანი დასხივების მიზნით ვიყენებთ და ვხმარობთ დახურული წყაროების სახით.

### 1. შინაგანი დასხივების მიზნით გამოყენებული ხელოვნური რადიაქტიური ელემენტები

იოდო ( $^{131}\text{I}$ ,  $T=8$  დღე;  $^{132}\text{I}$ ,  $T=2,3$  საათი). იოდო —  $^{131}\text{I}$  ბეტა-და გამა-გამომსხივებელია. ბეტა-გამოსხივება შეადგენს მთელი გამოსხივების 90%-ს. მისი ენერგიაა 0, 252 — 0,605 მევ. გამა-სხივების ენერგიაა 0,08—0,637 მევ, 1 მკ იოდო —  $^{131}\text{I}$ -ის მიერ შექმნილი დოზის სიმძლავრე 1 სმ-ზე 2,38 რ-ს უდრის, სრული დაშლისას კი 1 მკიური  $^{131}\text{I}$  იძლევა ისეთსავე დოზას, როგორსაც 76 მკ რადიუმი 1 საათის განმავლობაში.

სამედიცინო პრაქტიკაში იოდს იყენებენ როგორც დიაგნოსტიკაში, ასევე სამკურნალოდ. დიაგნოსტიკაში გამოყენება დამყარებულია მის გამა-გამოსხივებაზე, ხოლო მკურნალობაში კი ძირითადად წამყვანია  $^{131}\text{I}$ -ის ბეტა-გამოსხივება.

კლინიკაში იყენებენ ნატრიუმის ან კალიუმის მარილის ხსნარს —  $\text{Na}^{131}\text{I}$ ,  $\text{K}^{131}\text{I}$  peros, კუნთებში ან ინტრავენურად. სამკურნალო დაწესებულებებს იოდს უგზავნიან კონტეინერებში მოთავსებული მინის ფლაკონებით, სხვადასხვა ხვედრითი აქტივობით. უკანასკნელ ხანს

დაიწყეს იოდ —  $^{131}\text{I}$ -ის ხსნარების ელათინის კაფსულებში მოთავსება. ამ კაფსულების ხვედრითი აქტივობა 3,5, 10,25 და 100 მ/კიურია. მათ დიდი უპირატესობა აქვთ სხვა სახის დაფასობასთან შედარებით, ვინაიდან სრულიად გამორიცხულია სამუშაო ადგილის დაბინძურება და სამედიცინო პერსონალის დასხივება მინიმუმამდე დაყვანილი:  $^{131}\text{I}$  ძირითადად გამოყენებულია ფარისებრი ჯირკვლის დაავადებათა დიაგნოსტიკასა და მკურნალობაში, ხოლო მისი საშუალებით ნიშანდებული ნაერთები — მრავალი ორგანოს დაავადების ამოსაცნობად.

ფო ს ფო რ ი ( $^{32}\text{P}$ ,  $T=14,3$  დღე) ბეტა-გამომსხივებელია. ბეტა-ნაწილაკების საშულო ენერგიაა 0,685 მევ, მაქსიმალური — 1,69 მევ. ქსოვილებში მათი შეღწევადობა არ აღემატება 3 მმ-ს. კლინიკაში მას იყენებენ  $\text{Na}_2\text{H}^{32}\text{PO}_4$  ხსნადი და  $\text{Cr}^{32}\text{PO}_4$  უხსნადი მარილის სახით, დიაგნოსტიკისა და მკურნალობის მიზნით შინაგან დაავადებათა კლინიკაში, ძირითადად სისხლისა და ლიმფური ჯირკვლების სისტემური დაავადების შემთხვევებში. ქრომის მარილს კოლოიდური ხსნარის სახით ( $\text{Cr}^{32}\text{PO}_4$ ) ხმარობენ ღრუსშიგა მკურნალობის ჩასატარებლად. კლინიკებში მას აგზავნიან პენიცილინის ფლაკონებში დაფასობულს. ფოსფორის ბეტა-გამომსხივებისაგან წარმოიქმნება დამუხრუჭებითი გამა-გამოსხივება, რომელიც საჭიროებს დამატებით დაცვითს ღონისძიებებს, რის გამოც ფოსფორის შემცველი პენიცილინის ფლაკონების ტრანსპორტირება ტყვიის კონტეინერებით ხდება.

ოქრო ( $^{198}\text{Au}$ ,  $T=2,69$  დღე) ძირითადად, — 98,3%-ით ბეტა-გამომსხივებელია, დანარჩენი მოდის გამა-გამომსხივებაზე. ბეტა-ნაწილაკების მაქსიმალური ენერგია 0,96 მევ-ს შეადგენს, ხოლო გამა-კვანტისა — 0,412 მევ-ს. რადიოაქტიურ ოქროს იყენებენ მავთულების ან კოლოიდური ხსნარის სახით ღრუსშიგა, სიმსივნისშიგა, ინტრალიმფური და რადიოქირურგიული მკურნალობისათვის. ოქროს კოლოიდურ ხსნარებს სამკურნალო დაწესებულებები დებულობენ სათანადოდ დაცული ფლაკონებით. ოქროს კოლოიდური ხსნარი მუქი წითელი ფერისაა. ზოგ შემთხვევაში ოქროს ნაწილაკები მოვერცხლილია, ამიტომ აგურისფერია. ასეთ ხსნარს უკეთ შთანთქავს ლიმფური ჯირკვლები.

რადიოაქტიურ ოქროს იყენებენ აგრეთვე პლატინის ფილტრით დაფარული (0,1 მმ) შტიფტების სახით. სპეციალური პისტოლეტებით იგი შეჰყავთ სიმსივნეში.

ვერცხლი ( $^{111}\text{Ag}$ ,  $T=7,6$  დღე). უკანასკნელ ხანებში კლინიკებში ფართოდ იყენებენ რადიოაქტიური ვერცხლის სუსპენზიას, რომელსაც მოყვითალო-ნარინჯისფერი აქვს. მისი გამოყენების ჩვენება ისეთივეა, როგორც რადიოაქტიური ოქროსი.  $^{111}\text{Ag}$  ბეტა- და გამა-გა-



მომსხივებელია. ბეტა-გამოსხივების ენერგიაა 1,07 მევ და 0,7 მევ, გამა-გამოსხივებისა — 0,34 და 0,24 მევ.

ნ ა ტ რ ი უ მ ი ( $^{24}\text{Na}$ ,  $T=14,9$  საათი) ბეტა, გამა-გამომსხივებელია. მას ხისტი გამა-გამოსხივება აქვს — მაქსიმალური ენერგია უდრის 1,36 მევ-ს, იყენებენ შინაგან დაავადებათა კლინიკებში სისხლის მიმოქცევის დიდ და მცირე წრეებში სისხლის დენის სისწრაფის დასადგენად, კორონარული სისხლის მიმოქცევის შესასწავლად, ქსოვილოვანი შეშუპებების ხარისხის დასადგენად და სხვ. რადიოაქტიურ ნატრიუმს იყენებენ  $^{24}\text{NaCl}$ -ის ხსნარის სახით. ტრანსპორტირება ხდება ტყვიის კონტეინერებში მოთავსებული ფლაკონებით.

უკანასკნელ ხანებში მედიცინაში, განსაკუთრებით ონკოლოგიური დაავადებების პრაქტიკაში, ფართო მუშაობაა ჩატარებული ახალი რადიოაქტიური იზოტოპების გამოცდისა და პრაქტიკაში მათი დანერგვის მიზნით, ასეთებია:  $^{74}\text{As}$ ,  $^{62}\text{Zn}$ ,  $^{64}\text{Cu}$ ,  $^{86}\text{Pb}$ ,  $^{86}\text{Sr}$ ,  $^{45}\text{Ca}$ ,  $^{18}\text{F}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{131}\text{Cs}$ ,  $^{103}\text{Pd}$  და სხვ. ნივთიერებათა ცვლის საკითხების შესწავლაში ფართოდაა გამოყენებული  $^{14}\text{S}$ ,  $^{42}\text{K}$ . ჰემატოლოგიურ პრაქტიკაში იყენებენ  $^{59}\text{Fe}$ -ს,  $^{51}\text{Cr}$ -ს და სხვ.

### ნიშანდებული ნაერთები

სამედიცინო პრაქტიკაში, დიაგნოზის დასადგენად იყენებენ სხვადასხვა რთულ შენაერთებს, რომლებიც ნიშანდებულია რომელიმე რადიოაქტიური იზოტოპით. ამ ნაერთების უმრავლესობა ნიშანდებულია რადიოაქტიური იოდით —  $\text{I}-131$ , ასეთი ნაერთების რიცხვი დღეს ძალიან დიდია: დიოდფლუორესცენის — იყენებენ თავის ტვინის სიმსივნეების ლოკალიზაციის დასადგენად; ადამიანის სისხლის შრატის ალბუმინს  $\text{RISA}$  — რომლის საშუალებით ადგენენ სისხლის მიმოქცევის სისწრაფეს, გულის ჰემოდინამიკის მდგომარეობას, სიმსივნურ, კისტოზური და მეტასტაზური წარმონაქმნების არსებობასა და ლოკალიზაციას; ბენგალის ვარდი, ქოლოგრაფინი — გამოყენებულია ღვიძლის, სანაღვლე გზებისა და ნაღვლის ბუშტის დაავადებათა სადიაგნოსტიკოდ; ჰიპურანი, დიოდრასტი, რენოგრაფინი — თირკმლების დაავადებათა დასადგენად; გლიცერინ-ტრიოლეატი — კუჭ-ნაწლავის ტრაქტისა და პანკრეასის გარეგანი სეკრეციის შესასწავლად. ყველა ეს ნაერთი ნიშანდებულია რადიოაქტიური იოდით —  $^{131}\text{I}$ . კუჭ-ნაწლავის ტრაქტის შეწოვის უნარის დასადგენად იყენებენ ნიშანდებულ  $\text{B}_{12}$  ვიტამინს, რომელშიც სტაბილური კობალტი შეცვლილია რადიოაქტიურით —  $^{60}\text{Co}$ -ით. უროლოგიურ პრაქტიკაში ფართოდ იყენებენ ნეოპიდრინს, ნიშანდებულს რადიოაქტიური ვერცხლისწყლით —  $^{203}\text{Hg}$ .

2. ბარებანი დასხივების მიზნით გამოყენებული ხალოვნური  
რადიოაქტიური ელემენტები

კობალტი — ( $^{60}\text{Co}$ ,  $T=5,3$  წელი) მყარი ნივთიერებაა, იძლევა ბეტა- და გამა-სხივებს. ბეტა-ნაწილაკების ენერგიაა 0,31 მეგ, ხოლო გამა-გამოსხივების — 1,1 და 1,3 მეგ. ბეტა-სხივების გასაფილტრად ხმარობენ ნიკელის ან ოქროს ფილტრებს. რადიოაქტიური კობალტისაგან ამზადებენ სხვადასხვა სიგრძისა და დიამეტრის ნემსებს, მილაკებს, მავთულებს, რომლებსაც იყენებენ ღრუსშიგა ან აპლიკაციური მკურნალობის მიზნით. დიდი აქტივობის მქონე  $^{60}\text{Co}$  იყენებენ დისტანციური გამა-თერაპიის ჩასატარებლად. 1 კიური კობალტი ( $^{60}\text{Co}$ ) 1 საათის განმავლობაში 1 მეტრ მანძილზე იძლევა 1,38 რენტგენს, უფრო მეტს, ვიდრე იმავე რაოდენობით რადიუმი.

ცეზიუმი ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $T=30$  წელი) მყარი ნივთიერებაა, ბეტა-, გამა-გამომსხივებელი. მისი გამა-სხივი მონოქრომატულია, ენერგია უდრის 0,662 მეგ-ს, 1 კიური  $^{137}\text{Cs}$  1 მეტრ მანძილზე 1 საათის განმავლობაში ახდენს 0,314 რენტგენის ტოლ დასხივებას. ამჟამად იგი ძირითადად გამოყენებულია ახლოფოკუსური გამა-თერაპიის დანადგარებში  $^{60}\text{Co}$ -ის ნაცვლად. ვინაიდან  $^{137}\text{Cs}$ -ს ნახევარდაშლის პერიოდი, კობალტთან შედარებით დიდი აქვს (შესაბამისად 30 წელი და 5,3 წელი), მუხტის გამოცვლა გამა-დანადგარში უფრო იშვიათადაა საჭირო, რასაც გარკვეული ეკონომიკური მნიშვნელობა აქვს.

ტულიუმის ( $^{170}\text{Tm}$ ,  $T=127$  დღე). გამა-გამოსხივების ენერგიაა 0,084 მეგ. ვინაიდან ნახევარდაშლის პერიოდი დიდია და იძლევა მონოქრომატულ სხივებს, მას იყენებენ პორტატული გამა-გრაფების დასამზადებლად, რასაც დიდი პერსპექტივა აქვს ზოგიერთ რაიონში რენტგენოდანადგარების შესაცვლელად, აგრეთვე საველე პირობებში გამოსაყენებლად, რადგან არ საჭიროებს ელექტროენერგიას.

ირიდიუმის ( $^{192}\text{Ir}$ ,  $T=74$  დღე). მისი გამა-გამოსხივება ფართო სპექტრისაა — 0,41-დან 0,618 მეგ, ამიტომ მონოქრომატული სხივის მისაღებად საჭიროა სხივების გაფილტვრა. ირიდიუმს ხმარობენ მავთულების ან ბურთულების სახით ნეილონის ძაფების შესაჯვებად ან სუსპენზიების დასამზადებლად.  $^{192}\text{Ir}$ -ს იყენებენ ქსოვილშიგა მკურნალობის ჩასატარებლად. 1 კიური ირიდიუმის დოზის სიმძლავრეა 0,5 რ/სთ/მ.

ტანტალი ( $^{182}\text{Ta}$ ,  $T=120$  დღე) ბეტა- გამა-გამომსხივებელია. ბეტა-სხივების გასაფილტრად ხმარობენ პლატინის ფილტრს. იყენებენ მცირე დიამეტრის მავთულის სახით ქსოვილშიგა თერაპიის ჩასატარებლად. 1 მილიკიური  $^{182}\text{Ta}$  დოზის. სიმძლავრე 1 სმ მანძილზე 6,13 რ/საათია.

ყველა ზემოდსახელებულ რადიაქტიურ იზოტოპს იყენებენ, როგორც გამა-გამომსხივებელ წყაროებს. მაგრამ მედიცინაში (განსაკუთრებით ზერელედ მიმდინარე პროცესების მკურნალობის დროს) გარეგანი დასხივებისათვის ხმარობენ აგრეთვე ზოგიერთ ბეტა-გამომსხივებელს, მაგალითად:

ფოსფორი ( $^{32}\text{P}$ ). მისგან ამზადებენ სპეციალურ აპლიკატორებს, რომლებსაც იყენებენ კანისა და ლორწოვანი გარსების დაავადებების სამკურნალოდ.

სტრონციუმი ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $T=27,7$  წელი) ლითონური ნივთიერებაა. მისი ბეტა-სხივის ენერჯიაა 0,65 მევ. ასეთი მჭირე ენერჯიის გამო, ბეტა — სხივის შეღწევალობის უნარი მცირეა და ფაქტიურად ქსოვილებში 3—4 მმ-ზე უფრო ღრმად აღარ აღწევს. ამიტომაც  $^{90}\text{Sr}$ -ისაგან დამზადებულ აპლიკატორებს ხმარობენ კანისა და თვალის ზედაპირული დაავადებების სამკურნალოდ.

ცერიუმი  $^{144}\text{Ce}$ , ( $T=285$  დღე). ბეტა-ნაწილაკების ენერჯია მცირეა, ამიტომ ეს გამოსხივება ქსოვილთა ზედაპირულ ფენებშივე შთაინთქმება. მისი შეღწევალობა არ აღემატება 4 მმ-ს.  $^{144}\text{Ce}$  იყენებენ ისევე როგორც  $^{90}\text{Sr}$ -ს.

გარეგანი ბეტა-თერაპიისათვის იყენებენ აგრეთვე რადიაქტიურ კალციუმს  $^{45}\text{Ca}$  ( $T=152$  დღე), ტალიუმს ( $^{204}\text{Tl}$ ,  $T=7$  წელი), გოგირდს ( $^{35}\text{S}$ ,  $T=87,1$  დღე), პრომეთეუმს ( $^{147}\text{Pm}$ ,  $T=87,1$  დღე). ამ ელემენტებისაგან დამზადებული აპლიკატორები გამოყენებულია კანსა და ლორწოვან გარსებზე ზედაპირულად მიმდინარე პათოლოგიური პროცესების სამკურნალოდ. მათი ბეტა-ნაწილაკების ენერჯია სუსტია, უფრო ნაკლები, ვიდრე რადიაქტიური ფოსფორისა —  $^{32}\text{P}$ , რის გამოც ისინი ძირითადად შთაინთქმება ქსოვილების პირველი 1—2 მმ გავლისთანავე.

### მედიცინაში გამოყენებული ბუნებრივი რადიაქტიური ელემენტები

თანამედროვე პირობებში ბუნებრივ რადიაქტიურ ელემენტებს მედიცინაში თითქმის აღარ იყენებენ. ისინი დღეისათვის შეცვლილია ხელოვნური რადიაქტიური ელემენტებით, მაგრამ ზოგიერთ დაწესებულებაში შეიძლება კვლავ გამოიყენონ, ამიტომ საჭიროა მათ შესახებ ზოგიერთი მონაცემის ცოდნა.

რადიუმი ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $T=1620$  წელს). რადიუმის პრეპარატებს ყოველთვის თან სდევს მისი დაშლის პროდუქტებიც. რადიუმი და მისი შეიღებული პროდუქტები დაშლის შედეგად გამოყოფს ალფა-, ბეტა-, და გამა-სხივებს. რადიუმის აქტივობა პრაქტიკულად მუდმი-

ვია (ერთი წლის განმავლობაში მცირდება 0,9436%-ით). სამკურნალოდ იყენებენ რადიუმის დაშლის პროდუქტების გამა-გამოსხივებას, თვით რადიუმი კი სუფთა ალფა-გამომსხივებელია. ვინაიდან რადიუმის შვილეული პროდუქტების გამა-სხივების სპექტრი ძალიან ფართოა — 0,184-დან 2, 196 მევ, — მონოქრომატული სხივის მისაღებად ხმარობენ პლატინის 0,5 მმ სისქის ფილტრს, რომელიც შთანთქავს ალფა-, ბეტა-, და რბილ გამა-სხივებს. ასეთი ფილტრის პირობებში 1 გ რადიუმი 1 მეტრ მანძილზე 1 საათის განმავლობაში იძლევა 0,84 რენტგენს. რადიუმის პრეპარატებს იყენებენ გარეგანი დასხივების მიზნით (მკურნალობის ღრუსშიგა, ქსოვილშიგა მეთოდები).

**რ ა დ ო ნ ი** ( $^{222}\text{Rn}$ ,  $T=3,825$  დღე) აირივანი ნივთიერებაა და რადიუმის დაშლის პროდუქტია. იყენებენ გარეგანი დასხივების მიზნით პლატინის ან ოქროს ფილტრში ჩასმული ჰერმეტიკული მინის კაპილარების სახით, რომლებშიც მოთავსებულია რადონი. რადონს იყენებენ აგრეთვე ხელოვნური რადიაქტიური აბაზანების დასამზადებლად.

**მ ე ზ ო თ ო რ ი უ მ ი** ( $^{228}\text{Th}$ ,  $T=6,7$  წელი) რადიუმის იზოტოპია, იძლევა ალფა-, ბეტა-, გამა-გამოსხივებას. მონოქრომატული სხივის მისაღებად მეზოთორიუმის პრეპარატს ათავსებენ ფილტრში. ვინაიდან ხანმოკლე ნახევარდაშლის პერიოდი აქვს, მისი აქტივობის დადგენა საჭიროა ყოველწლიურად.

მედიცინაში გამოსაყენებელი რადიაქტიური იზოტოპების ზოგიერთი ფიზიკური პარამეტრი მოყვანილია 38-ე ცხრილში.

ც ხ რ ი ლ ი 38

ზიოლოგიაზე და მედიცინაში ხმარებული იზოტოპები და მათი ზოგიერთი ფიზიკური პარამეტრი

ი ზ ო ტ ო პ ი		ნახევარ-დაშლის პერიოდი (T)	გამოსხივების სახეობა	ნაწილაკების ენერგია (მევ)	კვანტების ენერგია (მევ)
სიმბოლო	სახეწოდ.				
1	2	3	4	5	6
$^3\text{H}$	ტრიტიუმი	12 წელი	β α, γ β, γ β, γ β, γ β, γ β, γ β, γ β, γ β, γ	0,018	—
$^{14}\text{C}$	ნახშირბადი	5730 წელი		0,186	—
$^{18}\text{F}$	ფტორი	1,87 საათი		0,65	—
$^{24}\text{Na}$	ნატრიუმი	14,9 "		1,38	2,76—1,38
$^{32}\text{P}$	ფოსფორი	14,3 დღე		1,71	—
$^{32}\text{S}$	გოგირდი	87,1 "		0,167	—
$^{48}\text{Ca}$	კალციუმი	153 "		0,254	—
$^{47}\text{Ca}$	"	4,7 "		—	1,37
$^{51}\text{Cr}$	ქრომი	27,8 "		—	0,323
$^{59}\text{Fe}$	რკინა	3 წელი		0,46	0,195—1,278
$^{59}\text{Fe}$	"	45 დღე	1,25	1,09	
$^{57}\text{Co}$	კობალტი	270 "	0,26	0,123	

1	2	3	4	5	6
<sup>60</sup> Co	"	5,27 წელი	β, γ	0,31	1,17—1,33
<sup>64</sup> Cu	სპილენძი	12,8 საათი	β, γ	0,657	1,34
<sup>65</sup> Zn	თუთია	245 დღე	β, γ	1,2	1,2
<sup>74</sup> As	დარიშხანი	17,5 დღე	β, γ	1,36	0,59
<sup>76</sup> Se	სელენი	127 "	γ	—	0,076—0,4
<sup>85</sup> Kr	კრიპტონი	10,3 წელი	β, γ	0,672	0,617
<sup>86</sup> Rb	რუბიდუმი	19,5 დღე	β, γ	1,82	1,07
<sup>90</sup> Y	იტრიუმი	64,8 საათი	β	2,26	—
<sup>99</sup> Tc	ტექნეციუმი	6,04 "	γ	—	0,14
<sup>100</sup> Ru	რუტენიუმი	1 წელი	β	0,039	—
<sup>112</sup> Ag	ვერცხლი	8,6 დღე	β, γ	0,7—1,07	0,24—0,34
<sup>123</sup> I	იოდი	14 საათი	γ	—	0,027
<sup>131</sup> I	"	8,08 დღე	β, γ	0,25—0,8	0,08—0,72
<sup>133</sup> Xe	ქსენონი	5,27 დღე	β, γ	0,345	0,08—0,38
<sup>131</sup> Cs	ცეზიუმი	2,2 წელი	β, γ	0,65	0,2—1,37
<sup>137</sup> Cs	"	30 "	β, γ	0,52	0,661
<sup>170</sup> Tu	ტულუმი	127 დღე	β, γ	0,88	0,084
<sup>182</sup> Ta	ტანტალი	120 "	β, γ	0,51	0,1—1,19
<sup>182</sup> Ir	ირიდიუმი	74,4 "	β, γ	0,67	0,28—0,61
<sup>193</sup> Au	ოქრო	2,69 "	β, γ	0,96	0,41—1,09
<sup>203</sup> Hg	ვერცხლის- წყალი	45 "	β, γ	0,20	0,28
<sup>222</sup> Rn	რადონი	3,82 "	α	5,49	—
<sup>226</sup> Ra	რადიუმი	1620 წელი	α	4,78	—

### სხივური მაჰარნალოგის მეთოდები

რადიოაქტიური ნივთიერებებისა და გამოსხივების წყაროებიდან გენერირებული მაიონიზებული რადიაციის სფეროში მომსახურე პერსონალზე მავნე ზემოქმედების აცილება და დაცვითი ღონისძიებები დამოკიდებულია რადიოაქტიური ნივთიერებებისა და გამოსხივების წყაროების გამოყენების მეთოდებზე. როგორც აღვნიშნეთ, ამჟამად სამედიცინო პრაქტიკაში მრავალ რადიოაქტიურ იზოტოპს იყენებენ. ჩვენთვის განსაკუთრებით საინტერესოა ის რადიოაქტიური იზოტოპები, რომლებსაც სამკურნალო მიზნით ხმარობენ, რადგან ამ შემთხვევაში მომსახურე პერსონალის დასხივების უფრო მეტი შესაძლებლობა იქმნება. ამის მიზეზი, პირველ ყოვლისა, ის არის, რომ მკურნალობის დროს იყენებენ რადიოაქტიური იზოტოპების დიდ დოზებს. მაგალითად, სადიაგნოსტიკოდ ხმარებული რადიოაქტიური იზოტოპების დოზები მიკროკიურების ფარგლებში ცვალებადობს, მაშინ როდესაც სამკურნალოდ იყენებენ მილიკიურებით გამოხატულ დოზებს, ანუ 1000-ჯერ უფრო მეტს.

იგივე ითქმის მედიცინაში გამოყენებული გამოსხივების წყაროების შესახებაც. ამ შემთხვევაში უფრო მეტად გვაინტერესებს ის წყაროები, რომლებსაც მკურნალობისათვის იყენებენ, ვინაიდან დიაგ-

ნოტციის დროს (რენტგენოსკოპია, რენტგენოგრაფია) გამოსაკვლევ ობიექტზე ნოქმედებს დოზა ერთეული (უკიდურეს შემთხვევაში რამდენიმე ათეული) რენტგენის ფარგლებში, სამკურნალოდ ხმარებული დოზები კი განისაზღვრება ასეული და ათასეული რენტგენით. ამდენად ეს დანადგარები ძალიან მძლავრია და მომსახურე პერსონალის დასხივების საშიშროება იქმნება.

39-ე და მე-40 ცხრილებში მოცემულია მედიცინაში ყველაზე მეტად გამოყენებული მაიონიზებელი გამოსხივების სამკურნალო წყაროები.

ცხრილი 39

სხივური თერაპიის რენტგენო-აპარატები

აპარატის დასახელება	კონსტრუქციული თავისებურებანი	რენტგენის მილის მუშაობის პარამეტრები	
		ძაბვა, კვ	ანოდური დენი, მა
PYM—13	როტაციული და სტატიკური	250	15
PYM—11	სტატიკური	200	20
PYM—7	სტატიკური (გადასატანი)	60	20
PYM—17	სტატიკური	250	15
Spherotrix	"	250	15
Stabilipan	"	250	15
TUR—60	"	60	20

რადიაქტიური იზოტოპების ან მაიონიზებელი გამოსხივების წყაროების სამკურნალოდ გამოყენებისას მომსახურე პერსონალის დასხივების მეორე, არანაკლებ მნიშვნელოვანი მიზეზია სხივური მკურნალობის მეთოდების მრავალფეროვნება.

ცხრილი 40

სხივური თერაპიის გამა-დანადგარები

დანადგარის დასახელება	კონსტრუქციული თავისებურებანი	წყაროს აქტივობა, კიური	იზოტოპი
ГУТ—Со— 400	სტატიკური	250	<sup>60</sup> Co
ГУТ—Со—1200	"	800	<sup>60</sup> Co
Рокус	როტაციულ-კონვერგენტული	4000	<sup>60</sup> Co
Рад	როტაციული	4000	<sup>60</sup> Co
Луч	სტატიკური	4000	<sup>60</sup> Co
Ритц	"	100	<sup>137</sup> Cs
Вольтрам	როტაციულ-კონვერგენტული	4000	<sup>60</sup> Co
Terratron	"	3500	<sup>60</sup> Co
Mobaltron	"	3500	<sup>60</sup> Co

არჩევენ სხივური მკურნალობის ორ ძირითად სახეს — გარეგანსა და შინაგანს. გარეგანი დასხივების დროს აუცილებელი არ არის, რომ პრეპარატი, გამოსხივების წყარო, მოთავსებული იყოს დასასხივებელი ობიექტის, მისი საზღვრების გარეთ, იგი შეიძლება თვით ობიექტშიც იყოს მოთავსებული. გარეგანი დასხივება გულისხმობს, რომ ობიექტზე მოქმედებს რადიაქტიური წყაროდან მომავალი მაიონიზებული სხივები, ხოლო თვით რადიაქტიური ნივთიერება ორგანიზმთან ბიოლოგიურ კონტაქტს არ ამყარებს (ფიზიკური კონტაქტი კი შეიძლება არსებობდეს).

შინაგანი დასხივების დროს რადიაქტიური ნივთიერება მონაწილეობს ორგანიზმის ნივთიერებათა ცვლაში და ამ ცვლის პროცესში ახდენს ორგანიზმის დასხივებას.

არჩევენ სხივური მკურნალობის შემდეგ მეთოდებს: 1. მკურნალობას მანძილზე — ტელეთერაპიას; 2. ახლოფოკუსურ მკურნალობას; 3. კონტაქტურ, ანუ მკურნალობის აპლიკაციურ მეთოდს; 4. ღრუსშიგა მკურნალობას; 5. ქსოვილშიგა მკურნალობას; 6. შინაგან დასხივებას.

ზემოჩამოთვლილი პირველი ხუთი მეთოდი მიეკუთვნება მკურნალობის გარეგანი დასხივების მეთოდს.

გარეგანი დასხივება შეიძლება დახურული წყაროების მეშვეობით, ხოლო შინაგანი დასხივება — მხოლოდ და მხოლოდ ღია რადიაქტიური წყაროებით.

პიგიენტური თვალსაზრისით უმჯობესია სხივური თერაპიის ეს მრავალფეროვნება დავაჯგუფოთ მკურნალობის ტექნიკის, შრომის ორგანიზაციისა და ავადმყოფთა მომსახურების თავისებურებების მიხედვით. ასეთი დაჯგუფება გამართლებულია, რადგან იგი შეეფარდება თანამედროვე საავადმყოფოებში არსებულ რეალურ მდგომარეობას.

ამგვარად, ყველა სახის სხივური თერაპიის გაერთიანება შეიძლება შემდეგ ჯგუფებად: 1. დისტანციური, ანუ ტელე-, რენტგენო-, გამათერაპია და თერაპია მაღალენერგიული გამოსხივებით; 2. მკურნალობის ღრუსშიგა, ქსოვილშიგა და აპლიკაციური მეთოდები; 3. სხივური თერაპია ღია რადიაქტიური წყაროების გამოყენებით.

ამა თუ იმ მეთოდის გამოყენება დამოკიდებულია პათოლოგიური პროცესის ლოკალიზაციაზე, მისი განლაგების სიღრმეზე, ვინაიდან, იმისდა მიხედვით, თუ რა გამოსხივება იქნება ნახმარი, შთანქმული დოზა სხვადასხვაგვარია.

გამომსხივებელ წყაროებად გამოყენებულია რენტგენის აპარატები, ელექტრონების ხაზოვანი და ციკლური ამჩქარებლები, სხვადასხვა ტიპის გამა-დანადგარები. მაიონიზებული სხივების გენერატორები, ანუ წარმოქმნელებია: რენტგენის აპარატებში — რენტგენის მილი, ბეტატრონებში — ვაკუუმ-კამერები, გამა-დანადგარებში — რადიოქტიური იზოტოპები  $^{60}\text{Co}$  ან  $^{137}\text{Cs}$ .

დისტანციური თერაპიის ყველა ამ დანადგარს ამონტაჟებენ ცალკე შენობებში ან რადიოლოგიური განყოფილების ცალკე ბლოკებში.

როდესაც ორგანიზმში პათოლოგიური უბანი ღრმადია, იყენებენ ღრმა თერაპიას. ამ მიზნისათვის ხმარობენ შემდეგ რენტგენოაპარატებს: PYM-13, PYM-11, PYM-17, Stabilipan. იმავე მიზნებს ემსახურება 36-ე ცხრილში მოყვანილი გამა-დანადგარები, აგრეთვე ელექტრონების ხაზოვანი და ციკლური ამჩქარებლები (ციკლურ ამჩქარებლებს სხვაგვარად უწოდებენ ბეტატრონებს). ელექტრონების ენერგია ხაზოვან ამჩქარებლებში აღწევს 4—36 მეგ-ს, ხოლო ბეტატრონებში — 15—45 მეგ-ს.

ზერელედ მოთავსებული პათოლოგიური პროცესების სამკურნალოდ მიმართავენ ახლოფოკუსურ თერაპიას. ამ მიზნებისათვის გამოყენებულია სამამულო PYM-7 და უცხოური TUR-60 აპარატები.

კონსტრუქციული თავისებურებების მიხედვით გამა-დანადგარები ორი ტიპისაა: 1. სტატიკური დასხივების, როდესაც სხივის კონა და ავადმყოფი ერთმანეთის მიმართ უძრავია; 2. როტაციული ან როტაციულ-კონვერგენციული დასხივების, როდესაც სხივის კონა ბრუნავს ავადმყოფის გარშემო ან ავადმყოფი ბრუნავს სხივის კონის გარშემო.

რენტგენოთერაპიული აპარატების, გამა-დანადგარების ან მაღალენერგიული ნაწილაკების გენერატორების დამონტაჟების დროს მთავარი ამოცანაა მომსახურე პერსონალისა და გარემოს დაცვა მაიონიზებული რადიაციისაგან. ამიტომ სხივური თერაპიისათვის განკუთვნილი შენობა გამოყოფილი უნდა იყოს ორ დამოუკიდებელ ნაწილად. საპროცედურო, რომელშიც ავადმყოფს უტარებენ მანიპულაციებს. და სამმართველო; საიდანაც მომსახურე პერსონალი ახორციელებს დანადგარის დისტანციურ მართვას და ავადმყოფზე დაკვირვებას.

მაღალენერგიული ნაწილაკების გამომსხივებელი დანადგარების მონტაჟი უფრო რთულია. მას შედარებით დიდი ფართობი სჭირდება. საპროცედუროსი და სამმართველოს გარდა, საჭიროა აგრეთვე სააპარატო შენობა, რენტგენოლოგიური ცენტრაციის კაბინეტი და სხვ. ამ



კომპლექსის ცენტრია საპროცედურო, ხოლო დანარჩენი ოთახები მკიდროდ ეკვრიან მას.

აპარატებისა და დანადგარების ჩართვა და მათ მუშაობაზე დაკვირვება მიმდინარეობს სამმართველო ოთახიდან. თუ დასხივებას ატარებენ რენტგენის აპარატი, მაშინ დაკვირვებისათვის საპროცედურო და სამმართველო ოთახებს შორის დატანებულია ფანჯარა, რომელშიც ტყვიანარევი მინაა ჩასმული. თუ მკურნალობა მიმდინარეობს გამადანადგარებით ან ელექტრონების ამჩქარებლებით, მაშინ ავადმყოფზე დაკვირვება და მასთან კონტაქტი პერისკოპული, რადიო ან სატელევიზიო საშუალებებით ხდება.

**დაზარალი რადიაციაში რეაქციით სივრცე თერაპიის  
დრუსშია, კსოვილშია და აალიატიური მეთოდები**

ღ რ უ ს შ ი გ ა მკურნალობას მიმართავენ საშვილოსნოს ყელის, მისი სხეულის, საყლაპავის, ცხვირ-ხახისა და შარდის ბუშტის კიბოს დროს. რადიოაქტიური იზოტოპის დახურულ წყაროს კონფიგურაცია უფრო ხშირად სწორხაზოვანია, თუმცა შესაძლებელია მას სხვაგვარი ფორმაც ჰქონდეს. თუ რაიმე მიზეზით სწორხაზოვანი წყარო არ უზრუნველყოფს სიმსივნური უბნის თანაბარ დასხივებას, მაშინ იყენებენ სფერული ფორმის წყაროებს (ე. წ. „მძივებს“).

ღ რ უ შ ი შეყვანამდე წყაროებს ასტერილებენ. მათი მზადება ხდება რადიომანიპულაციურ მაგიდებზე, ხოლო შეყვანა — ხდება სამანიპულაციო ოთახებში საამისოდ განკუთვნილ სპეციალურ მაგიდებზე. სასურველი დოზის დასადგენად ექიმი განსაზღვრავს წყაროების რაოდენობას და მათ აქტივობას. ამ გაანგარიშების დროს იგი ითვალისწინებს პათოლოგიური უბნის განლაგების სიღრმესა და მის გავრცელებას. პრეპარატების შეყვანის შემდეგ ავადმყოფი გადაჰყავთ სპეციალურ პალატაში, სადაც ის დაჰყოფს წინასწარ განსაზღვრულ დროს, რომელიც დაკავშირებულია სასურველი დოზის მიღებასთან, და აგრეთვე წინასწარ გაანგარიშებულია ექიმის მიერ. პრეპარატები შეჰყავთ რენტგენოლოგიური კონტროლით (რენტგენოგრაფიული ან რენტგენოსკოპიული). საპროცედურო სეანსის ჩათაგების შემდეგ ავადმყოფი კვლავ გადაჰყავთ სამანიპულაციოში, სადაც მას ათავისუფლებენ რადიოაქტიური წყაროებისაგან. შემდეგ პრეპარატებს რეცხავენ და ინახავენ დამცველ კონტეინერებში. თითქმის ყველა მანიპულაციას დისტანციური ხელსაწყოების საშუალებით ატარებენ.

საშვილოსნოს ყელის სამკურნალოდ უფრო ხშირად იყენებენ  $^{60}\text{Co}$ -ის სწორხაზოვან ან მოლუნულ „ჩხირებს“, რომლებიც, გარდა

თვით ყელისა, თაღის არეშიც შეჰყავთ. მათი ფიქსირება ხდება სტერილური დოზბანდის მკიდრო ტამპონადით.

საშვილოსნოს ყელის მკურნალობის ამ მეთოდს თან ერთვის გარეგანი ტელეგამათერაპიაც. პროცედურები ურთიერთშენაცვლებით ტარდება.

საშვილოსნოს სხეულის სიმსივნური პროცესის მკურნალობისათვის, გარდა სწორხაზოვანი წყაროებისა, ხმარობენ აგრეთვე  $^{60}\text{Co}$ -ის სფერულ წყაროებს, რომლებიც მძივის შესგავსად ისხმება პერლონის ძაფზე. თითოეული მძივის აქტივობა 2—8 მილიკიურია. ძაფზე ასხმა ისე ხდება, რომ ყოველი აქტიური სფეროს შემდეგ არააქტიური სფეროა. მძივების ასეთი განლაგება განპირობებულია სიმსივნური უბნის თანაბარი დასხივების მიზნით.

საყლაპავი მილის სიმსივნური პროცესის შემთხვევაში საყლაპავ მილში შეჰყავთ რეზინის ორარხიანი ზონდი, რომლის ერთ არხში მოთავსებულია ხაზოვანი ან სფერული რადიაქტიური წყაროები (უფრო ხშირად  $^{60}\text{Co}$ ). მეორე არხი, რომლის დიამეტრი უფრო მცირეა, მთავრდება თხელი რეზინის ბალონით. ზონდის ერთ არხში პრეპარატის შეყვანის შემდეგ მეორე არხში ტუმბავენ ჰაერს, რათა შეიქმნას გარკვეული მანძილი საყლაპავის ლორწოვანის კედელსა და პრეპარატს შორის.

შარდის ბუშტის სიმსივნური პროცესების მკურნალობის დროს შარდის ბუშტში შეჰყავთ რეზინის ბალონი, რომელშიც მოთავსებულია კობალტის მძივები ან კობალტის მცირე ზომის ბურთულების სუსპენზია ყელესმაგვარ მასაში. ბალონში შეყვანამდე ბურთულები ინახება კონტეინერებში მოთავსებულ მინის ფლაკონებში. ერთ ფლაკონში მოთავსებული ბურთულების საერთო აქტივობა გაანგარიშებულია ერთი ავადმყოფის სამკურნალოდ. მაკროსუსპენზიას ამზადებენ და შეჰყავთ სპეციალური მოწყობილობის საშუალებით.

ქსოვილშიგა სხივური თერაპია ხორციელდება აქტიური წყაროს  $^{60}\text{Co}$ -ის ნემსების ან ნეილონის ძაფების (რომლებშიც ძაბრისა და მაგნიტური ჩხირის საშუალებით ათავსებენ  $^{60}\text{Co}$ -ის მავთულის ნაჭრებს) სიმსივნურ ქსოვილში შეყვანით.  $^{60}\text{Co}$ -ის ნემსების აქტივობა რადიუმის 0,5—10 მგ ეკვივალენტია; მავთულების სიგრძე 3 მმ-ია, აქტივობა კი რადიუმის 0,3—0,5 მგ ეკვივალენტი.

ქსოვილშიგა მკურნალობისათვის იყენებენ აგრეთვე 3 მმ სიგრძისა და 0,5 მმ დიამეტრის რადიაქტიური ოქროს —  $^{198}\text{Au}$ -ის მავთულს. იგი შეჰყავთ სიმსივნურ ქსოვილში ან პისტოლეტების საშუალებით ან მათ წინასწარ ათავსებენ ნეილონის ძაფში და შემდეგ ამ ძაფით ამოკერავენ სიმსივნეს.

მკურნალობის ამ მეთოდს იყენებენ ზუსტი ლოკალური, შემოფარგლული დასხივების (მაგალითად, თვალის შიგნითა კუთხის კიბო)

ან მოძრავი ორგანოს მკურნალობის (მაგალითად, ქუთუთოს, ენის სიმსივნე და სხვ.) დროს. ამ მეთოდს იყენებენ აგრეთვე შარდის ბუშტის მკურნალობისთვისაც. თუ რაიმე მიზეზით არ ხერხდება ამა თუ იმ სიმსივნის რადიკალური მკურნალობა, ქსოვილები უნდა გაკერონ აქტიური ნეილონის ძაფებით.

აქტიური წყაროების შეყვანის, აგრეთვე გამოღების პროცედურები ტარდება საოპერაციოში ასეპტიკისა და ანტისეპტიკის ყველა პირობის დაცვით, ხოლო ნეილონის ძაფების დამზადება — სამანიპულაციოში. ნემსებსა და ძაფებზე მანიპულაციისათვის ხმარობენ სპეციალურ ხელსაწყო-იარაღებს. დასხივების ხანგრძლივობა განისაზღვრება 3—10 დლით (იმის მიხედვით, თუ დასხივების რა დოზის მიღება სურთ). ნეილონის ძაფების განთავისუფლება აქტიური წყაროსაგან ხდება ფენოლმეთანოლის ხსნარით, რომელშიც ნეილონი იხსნება, ხოლო აქტიურ წყაროს რეცხავენ და ინახავენ კონტეინერებში. რაც შეეხება რადიოაქტიურ ოქროს —  $^{198}\text{Au}$ , რომელიც პისტოლეტური მეთოდით შეჰყავთ სიმსივნეში, იგი სამულდამოდ რჩება მასში.

მკურნალობის აპლიკაციური მეთოდი იმაში მდგომარეობს, რომ რადიოაქტიური პრეპარატი თავსდება კანის ან ლორწოვანის ზედაპირზე ან მის სიახლოვეს. ამ მეთოდს უფრო ხშირად იყენებენ კანის დაავადებების მკურნალობის დროს. ამ მიზნით ხმარობენ ბეტა- ან გამა-აპლიკატორებს. გამა-აპლიკატორებს იყენებენ პარაფინული მულაჟების სახით. მისი დამზადების ტექნიკა ასეთია: დაავადებულ უბანს მიაღებენ პარაფინს და გააქეთებენ მისი ზომისა და ფორმის მულაჟს.  $^{60}\text{Co}$ -ის პრეპარატებს ათავსებენ მულაჟში და ამ უკანასკნელს დაამაგრებენ დაზიანებულ არეში. აპლიკატორების სიმძლავრე არ უნდა აღემატებოდეს 50—100 რ/საათში. სეანსი გრძელდება რამდენიმე საათს. სეანსები მეორდება საჭირო დოზის მიღებამდე.

ბეტა-აპლიკატორების დასამზადებლად უფრო ხშირად იყენებენ რადიოაქტიურ ფოსფორს —  $^{32}\text{P}$ . შეიძლება აგრეთვე სტრონციუმის ( $^{90}\text{Sr}$ ), ცერეიუმის ( $^{144}\text{Ce}$ ), კალციუმის ( $^{45}\text{Ca}$ ), ტალიუმის ( $^{204}\text{Tl}$ ), გოგირდის ( $^{35}\text{S}$ ), პრომეთეუმის ( $^{147}\text{Pm}$ ) გამოყენება. აპლიკატორებს ამზადებენ სხივგამძლე პოლიმერული მასალისაგან, რომელშიც თანაბრადაა განაწილებული რადიოაქტიური იზოტოპი. ისინი მოქნილია და მოთავსებულია პოლიეთილენის პაკეტში, რის გამოც გამორიცხულია რადიოაქტიური ნივთიერებით გარემოს დაბინძურება. აპლიკატორები კვადრატული ზომისაა, ინახება კონტეინერებში. მათი სიმძლავრეა 200—400 რადი/საათში. მათგან ჭრიან საჭირო ზომისა და ფორმის აპლიკატორებს და ადებენ დაავადებულ ადგილს.

ბეტა, გამა-აპლიკატორების დამზადებისა და ხმარების ყველა მანუალაცია მიმდინარეობს დამცველი ეკრანებისა და დისტანციური ხელსაწყო-იარაღების მეშვეობით.

### ღია რადიოაქტიური წყაროების გამოყენება

სხივურ თერაპიაში სადღეისოდ ყველაზე ფართოდაა გამოყენებული შემდეგი რადიოაქტიური იზოტოპები:  $^{131}\text{I}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{198}\text{Au}$ .

რადიოაქტიური იოდს იყენებენ ენდოკრინოლოგიურ და ონკოლოგიურ პრაქტიკაში. მას ხმარობენ თირეოტოქსიკოზის, ფარისებრი ჯირკვლის კიბოსა და მისი მეტასტაზების სამკურნალოდ კალიუმის ან ნატრიუმის მარილის ხსნარის სახით per os.

რადიოაქტიურ ფოსფორს იყენებენ  $\text{Na}_2\text{H}^{32}\text{PO}_4$ -ის ხსნარის სახით. ეს მარილი წყალში ხსნადია და იხმარება per os პოლიციტემიისა და ლეიკოზების ზოგიერთი ქრონიკული ფორმის, კერძოდ, მიელოიდური და ლიმფოიდური ლეიკემიების სამკურნალოდ. მას იყენებენ აგრეთვე უშუალოდ სიმსივნურ ქსოვილში შესაყვანად. ამ ხსნარებისაგან შესაძლებელია აპლიკატორების სახელდახელო დამზადებაც. მედიცინაში იყენებენ აგრეთვე რადიოაქტიური ფოსფორის შემცველ მეორე მარბლს — ქრომის ფოსფატს  $\text{Cr}^{32}\text{PO}_4$ , რომელიც წყალში უხსნადია. მისგან ამზადებენ კოლოიდურ ხსნარს, რომელიც შეჰყავთ ავთვისებიან სიმსივნეებში.

რადიოაქტიურ ოქროს კოლოიდური ხსნარის სახით ფართოდ იყენებენ ლიმფურ ჯირკვლებში მეტასტაზების, წინამდებარე ჯირკვლის ავთვისებიანი სიმსივნეების რეციდივების თერაპიაში. იგი შეჰყავთ აგრეთვე პლევრისა და პერიტონეუმის ჭრუბებში გავრცელებული სიმსივნური პროცესების დროს სითხის რაოდენობის შემცირების მიზნით. მას ფართოდ იყენებენ აგრეთვე ღრუ ორგანოების ავთვისებიანი სიმსივნეების სამკურნალოდ.

აღნიშნულ რადიოაქტიურ იზოტოპებს სამკურნალო დაწესებულებები ლეზულობს ამჟღავნებს ან ფლუკონებში. მათი განზავება და დაფასოება ხდება ადგილზე, სამანიპულაციო ოთახებში, დისტანციური პიპეტებით, ხოლო შეყვანა — დამცველი შპრიცებით.

სხივური თერაპიის მეთოდების გაცნობის შემდეგ ნათელი ხდება, რომ ყოველ მათგანს გარკვეული სპეციფიკურობა ახასიათებს. შედარებით ყველაზე უფრო უნიფიცირებულია დისტანციური თერაპია, ამიტომ ამ დარგში უფრო კარგადაა შემუშავებული დაცვის სისტემა. რაც შეეხება ორ დანარჩენ მეთოდს, ამ შემთხვევაში რადიაციული უშიშროების დაცვის გადაწყვეტა შედარებით რთული საკითხია. ამის მიზეზი, პირველ ყოვლისა, ის არის, რომ სამკურნალოდ იყენებენ

შრავალი სახის რადიაქტიურ იზოტოპს, რომელთა გამოსხივების ენერგია სხვადასხვაგვარია. მეორე მიზეზი ის არის, რომ არსებობს ამ იზოტოპების გამოყენების მრავალი ფორმა; და, ბოლოს, სხვადასხვაგვარია აგრეთვე ხმარებელი იზოტოპების დოზა, რომელიც შეიძლება მილიკიურებს აღწევდეს. ყოველივე ზემოთქმულს უნდა დაემატოს ის, რომ პროცედურის მომზადების პერიოდსა და მკურნალობის პროცესშიც საჭიროა რადიაქტიური პრეპარატების ხშირი გადაადგილება. ეს იწვევს მანძილის ცვლას წყაროსა და მომსახურე პერსონალს შორის სამუშაო დღის განმავლობაში, რაც, თავის მხრივ იწვევს დასხივების დოზის ცვლილებებსაც. და, ბოლოს, წყაროს გადაადგილებასთან დაკავშირებული ზოგიერთი ოპერაციის ჩატარების დროს გარკვეული სიძნელებებია, რაც ზრდის მომსახურე პერსონალსა და აქტიურ წყაროს შორის კონტაქტის დროს.

ცხრილი 41

კლინიკური ხაავადმყოფოს ხშივრი თერაპიის განყოფილების ძირითადი დამცველი მოწყობილობების დოზიმეტრიული დახასიათება

დამცველი მოწყობილობის დახასიათება	ეკრანის მიერ შიგნის გამოსხივების შესუსტების წერადობა
<b>სამანიბულაციო მაგიდა:</b>	
1 ა. ძირითადი ეკრანი ბ. ტყვიანარევი შინა გ. ხელების დამცველ ბორტი	125 40 8
<b>ქირურგიული მაგიდის შირმა:</b>	
2 ა. ძირითადი ეკრანი ბ. ტყვიანარევი შუშა	150 4
<b>გინეკოლოგიური შირმა:</b>	
3 ა. ძირითადი ეკრანი	16
4 ბ. შინა	6
5 სტერილიზატორი, გადასატანი, დაკული გინეკოლოგიური სარკის მოძრაობის დროს დამცველი შირმა	150
<b>პერსონალისათვის:</b>	
ა. ძირითადი ეკრანი	10
ბ. ტყვიანარევი შინა	2
<b>ქირურგის დამცველი შირმა:</b>	
ა. ძირითადი ეკრანი	12
ბ. შინა	5
<b>7 სანიტარის დამცველი შირმა პრეპარატების რეცხვის დროს:</b>	
ა. ძირითადი ეკრანი	12
ბ. ტყვიანარევი შინა	4
პრეპარატების სატრანსპორტო კონტეინერი	10

რასაკვირველია, გამომსხივებელი წყაროების დახასიათება არ ამოიწურება მხოლოდ იმ დანადგარებითა და წყაროებით, რომლებიც ზემოთ იყო განხილული. მძლავრ გამომსხივებელ წყაროებს იყენებენ მანქანათმშენებლობაში, მეტალურგიაში, ქიმიურ მრეწველობაში, სოფლის მეურნეობაში და სხვ. ეს არის სამრეწველო რენტგენოდანადგარები, გამა-დენეექტოსკოპები, ამჩქარებლები, დონის გამზომი და სტატიკური მუხტის მომხსნელი რადიოიზოტოპური ხელსაწყოები, ნეიტრონული წყაროები, ბეტა-გამომსხივებლები და სხვა მრავალი. მაგრამ, აღსანიშნავია, რომ პრინციპები, რომლებიც უნდა გატარდეს მაიონიზებელი გამოსხივებისაგან მომსახურე პერსონალის დასაცავად და გარემოს რადიქტიური გაბინძურების ასაცილებლად, ძირითადად იმ პრინციპებისა და მეთოდების მსგავსია, რომლებიც ტარდება მედიცინაში გამოყენებული წყაროების მიმართ. უფრო მეტიც, ამ უკანასკნელის დროს ღონისძიებები უფრო მრავალფეროვანია.

### დაცვითი ხასიათის ღონისძიებები დახურულ წყაროებთან მუშაობის დროს

ბეტა-, გამა- და ნეიტრონების გამომსხივებელ დახურულ წყაროებს ფართოდ იყენებენ სახალხო მეურნეობაში. იმასთან დაკავშირებით, თუ რა დანიშნულებას ემსახურება ისინი, წყაროების აქტივობა სხვადასხვაგვარია და შესაბამისად იცვლება დაცვითი ღონისძიებებიც.

დახურულ წყაროებთან მუშაობის დროს საშიშროება იქმნება მხოლოდ და მხოლოდ გარეგანი დასხივების მხრივ, ამიტომ საჭიროა ისეთი დაცვითი ღონისძიებების: ჩატარება, რომლებიც მინიმუმამდე დაიყვანენ მომსახურე პერსონალის გარეგან დასხივებას და არ დაუშვებენ შენობის გარეთ გამოსხივების დონის ზრდას. გამოსხივების დოზა სამუშაო ადგილებზე და შენობის გარეთ არ უნდა აღემატებოდეს ზღვრულად დასაშვებს. დასაშვები დოზის სიმძლავრე ა კატეგორიის პირთათვის იანგარიშება ფორმულით  $P = \frac{D}{2t}$  მრბე/საათში, სა-

დაც  $D$  — კვირის დოზაა (100 მილირბე/კვირაში), რაც შეესაბამება წელიწადის ზღვრულად დასაშვებ დოზას (5 რბე/წელიწადში);  $t$  — პერსონალის მაიონიზებელ წყაროსთან სამუშაო დროის ხანგრძლივობა (საათი/კვირაში 36-საათიანი სამუშაო კვირის შემთხვევაში).

დასაშვები დოზის სიმძლავრე ა კატეგორიის I ჯგუფის პირთათვის შეადგენს 1,4 მრბე/საათში, ხოლო ბ კატეგორიის პირთათვის — 0,03 მრბე/საათში.

დახურულ წყაროს გარეთა ზედაპირზე გამოსხივების დოზის სიმძლავრე არ უნდა აღემატებოდეს 3 მრ/საათში 1 მ მანძილზე, თუ წყა-

რო მაღალაქტიურია, (თერაპიული დანადგარები, დეფექტოსკოპიის ჩატარება და სხვ.) ან 0,3 მრბეს/საათში 1 მ მანძილზე (ან 10 მრბეს/საათში უშუალოდ წყაროსთან), თუ წყარო შედარებით დაბალაქტიურია (საკონტროლო-ტექნოლოგიური დანადგარები). ზოგ შემთხვევაში დასაშვებია, რომ დოზის სიმძლავრე მაღალაქტიურ დანადგარებს უფრო მეტი ჰქონდეს, მაგრამ ეს მხოლოდ იმ შემთხვევაში თუ პერსონალის სამუშაო დრო, სტანდარტულთან შედარებით, შემცირებულია. ასეთ შემთხვევაში დასაშვები დოზის სიმძლავრე იანგარიშება ზემომოყვანილი ფორმულით ( $P = \frac{D}{2t}$ ; მრბე/საათში სამუშაო დროის ხანგრძლივობაში სათანადო შესწორების შეტანით).

გარეგანი დასხივებისაგან ორგანიზმის დაცვა (ან უფრო სწორად, ორგანიზმის დასხივების მინიმუმამდე დაყვანა) შეიძლება სხვადასხვა საშუალებით. ცნობილია, რომ რადიაქტიური წყაროსაგან წარმოქმნილი დოზა პირდაპირპროპორციულია წყაროს აქტივობისა და დასხივების ხანგრძლივობის (დროის) და წყაროდან სამუშაო ადგილის დაშორების (მანძილის) კვადრატის უკუპროპორციულია:

$$D = \frac{I_j \cdot m \cdot t}{r^2},$$

სადაც  $I_j$  გამა-გამომსხივებელი იზოტოპის საიონიზაციო მუდმივაა და მოცემულია სპეციალურ ცხრილებში;

- $m$  — წყაროს აქტივობა, გამოსახული მილიკიურობით;
- $t$  — დასხივების ხანგრძლივობა გამოსახული საათებით;
- $r$  — მანძილი წყაროსა და ობიექტს შორის, სანტიმეტრობით.

ამ ფორმულიდან გამომდინარე, დაცვა შეიძლება განხორციელდეს შემდეგი ღონისძიებების გატარებით:

1. თუ სამანიპულაციოდ (დასხივებისათვის) ავიღებთ რაც შეიძლება ნაკლები აქტივობის წყაროს (დაცვა რაოდენობით), ვინაიდან დასხივების დოზა წყაროს აქტივობის პირდაპირპროპორციულია. რასაკვირველია, ამავე დროს ეს რაოდენობა საკმარისი უნდა იყოს იმ ძირითადი მიზნების განსახორციელებლად, რისთვისაც მას იყენებენ; თუ ვერ ხერხდება წყაროს აქტივობის შემცირება, მაშინ უნდა ვეცადოთ, რომ სამუშაო სხივი მიმართული იყოს მიწისაკენ, რითაც მინიმუმამდე დაიყვანება სხივებში პირდაპირ მოხვედრის შესაძლებლობა და შემცირდება გაფანტული სხივებიდან მიღებული დოზის რაოდენობა.

2. თუ მომსახურე პერსონალსა და გამომსხივებელ წყაროს შორის მანძილი საკმარის დიდი იქნება (დაცვა მანძილით); ზემომოყვა-

ნილი ფორმულიდან გამომდინარე, მანძილის შეცვლა იწვევს დოზის სიმძლავრის ცვლას და ეს ცვლილება მანძილის ცვლილების კვადრატის უკუპროპორციულია. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ თუ მანძილი დახურულ წყაროსა და მომსახურე პერსონალს შორის გაიზრდება ორჯერ, დასხივების დოზა შემცირდება ოთხჯერ და ა. შ. მანძილის გადიდება შეიძლება სადისტანციო ხელსაწყოების გამოყენებით, სამუშაო პროცესების ავტომატიზაციითა და მექანიზაციით, სადისტანციო მართვის მოწყობით და სხვ;

3. თუ შევამცირებთ დროს, რომლის განმავლობაში მომსახურე პერსონალი კონტაქტშია გამომსხივებელ წყაროსთან (დაცვა დროის მეშვეობით), ვინაიდან წყაროს მიერ შექმნილი დოზა დასხივების დროის პირდაპირპროპორციულია. დაცვის ამ სახის განხორციელება შეიძლება სამუშაო პროცესების ავტომატიზაცია-მექანიზაციით. დიდი მნიშვნელობა ენიჭება აგრეთვე მომსახურე პერსონალის ტრენინგებს. საჭიროა პროცედურების ჩატარება ყალბ წყაროებზე (რომლებიც არ არიან რადიაქტიურნი), რათა პერსონალს გამოუმუშავდეს მანიპულაციების ჩატარების სისწრაფე. ნავარჯიშები ადამიანი ამ მანიპულაციას უფრო სწრაფად ჩატარებს, რის გამოც დრო, რომლის განმავლობაში იგი წყაროსთან კონტაქტშია, მცირდება;

4. თუ გამოყენებული იქნება სხივშთანმთქმელი ნივთიერებებისაგან დამზადებული სპეციალური დამცავი მოწყობილობები (დაცვა ეკრანებით, ფარებით, კონტეინერებით და სხვ.). ეს დამცავი მოწყობილობები გადასატანი ან სტაციონარულია. სტაციონარულია შენობის კედლები, ქერი, იატაკი და სხვ., მათი მასალა და სისქე დამოკიდებულია გამოსხივების სახეობაზე, ენერგიაზე, წყაროს აქტივობაზე, მასთან მუშაობის ხანგრძლივობაზე, დაშორების მანძილზე და სხვ. ასეთი სტაციონარული დაცვა საჭიროა გამა-ნეიტრონული და აჩქარებული ელექტრონების წყაროებისათვის.

დაცვის დაგეგმარების დროს წინასწარ უნდა იყოს გამოთვლილი დასხივების ეკვივალენტური დოზის დასაშვები სიმძლავრე დამცველი მოწყობილობის ზედაპირზე (ცხრილი 42).

გამა-გამოსხივებისაგან დასაცავად კარგ შედეგებს იძლევა მაღალი ატომური ნომრის მქონე ნივთიერებები: ტყვია, ბეტონი, თუჯი და სხვ. ნეიტრონული გამოსხივებისაგან დაცვა სხვადასხვაგვარად ხდება. სწრაფი ნეიტრონების დასაკავებლად იყენებენ წყალბადშემცველ ნივთიერებებს: წყალს, პარაფინს, ბეტონს და სხვ. ამ ნივთიერებებს ისინი გადაჰყავთ სითბურ (ნელ) ნეიტრონებში, რომელთა შთანთქმისათვის გამოყენებულია ისეთი ელემენტები, როგორცაა ბორი, კადმიუმი და სხვ. გამა- და ნეიტრონული გამოსხივების საწინააღმდეგო



დაცვის სისქე საკმაო სიდიდეს აღწევს. მისი გაანგარიშება საჭიროა ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში.

ბეტა-გამოსხივების შთანთქმისათვის ხმარობენ მსუბუქ ნივთიერებებს: ალუმინს, პლასტიკატს, მინას და სხვ. მცირე რიგითი ნომრის მქონე ნივთიერებებისაგან დამზადებული ფარები მიზანშეწონილია იმ

ცხრილი 42

იკვავალენტური დოზის გაანგარიშებელი ხიმძლავრე — P

დასხივებულ პირთა კატეგორია	შენობის დანიშნულება	დოზის სიმძლავრე P (მრბე/საათი)	
		როცა $t=36$ <small>საათი</small> კვირაში	როცა $t=41$ <small>საათი</small> კვირაში
ა კატეგორია	პერსონალის მუდმივსამყოფელი ადგილები	1,4	1,2
	ადგილები, სადაც პერსონალი იმყოფება არა უმეტეს ნახევარი სამუშაო დღისა	2,8	2,4
	სხვა ადგილები	0,1	0,1
ბ კატეგორია	დაკვირების ზონაში არსებული შენობები	0,03	0,03

მოსაზრებით, რომ მაღალი ენერჯის ბეტა-ნაწილაკის შემთხვევაში მაღალი Z-ის მქონე ნივთიერება იძლევა დამუხრუჭებითი რენტგენის გამოსხივებას და მეორეული გამოსხივებისაგან დასაცავად საჭიროა დამატებითი ფარების გამოყენება. ყოველ შემთხვევაში მაღალი ენერჯის ბეტა-სხივებთან მუშაობის დროს გათვალისწინებული უნდა იყოს დაცვა დამუხრუჭებითი გამოსხივებისაგან. დაცვითი კონსტრუქციების სისქე, რასაკვირველია, გამა-გამოსხივებასთან შედარებით, ნაკლებია. მაგრამ უნდა გვახსოვდეს, რომ ბეტა-გამოსხივებისაგან დასაცავად ფარის სისქე ისე უნდა შეირჩეს, რომ იგი მაქსიმალური ენერჯის მქონე ბეტა-ნაწილაკის ამ ნივთიერებაში შედლწვეადობის სიგრძის ტოლი იყოს ან მასზე მეტი.

დაცვითი ღონისძიებების გატარების დროს უფრო ხშირად გამოყენებულია ფენებად დალაგებული რამდენიმე სახის შთანთქმელი, რათა მოხდეს როგორც ნეიტრონების (სწრაფი დნ ნელი), ისე გამა-და, რასაკვირველია, ბეტა-სხივების შთანთქმა.

გადამტანი დამცველი საშუალებებია სხვადასხვა კონსტრუქციის მქონე ფარები, კონტეინერები. მათი კონსტრუქცია დამოკიდებულია იმავე პირობებზე, რაც სტაციონარული დაცვის შემუშავების შემთხვევაში: მუშაობის ხანგრძლივობაზე, მანძილზე, რომელიც აშორებს წყაროს მომსახურე პერსონალისაგან და სხვ.

ინდივიდუალური დაცვა გამა- და ნეიტრონული გამოსხივების წყაროებთან მუშაობის დროს, მცირედ ეფექტურია. რაც შეეხება ბეტა-წყაროსთან მუშაობას, სხივური კატარაქტის თავიდან აცილების მიზნით ინდივიდუალური დაცვისათვის საჭიროა სპეციალური სათვალეების ან თარების გამოყენება.

რადიექტიური იზოტოპები უნდა ინახებოდეს სპეციალურ კონტეინერებში, რომლებიც მდგრადია მექანიკური, ქიმიური და ფიზიკური მოქმედების მიმართ. თუ წყარო შეიცავს ემანაციურ ელემენტს (მაგალითად, რადიუმს), მაშინ მას პერიოდულად უნდა ამოწმებდნენ ჰერმეტიულობაზე.

თუ რადიექტიური წყაროს დოზის სიმძლავრე 1 მეტრ მანძილზე საათში 0,3 მილირბეა ან უფრო ნაკლები, მაშინ რაიმე სპეციალური მოთხოვნა წყაროს დაცვას არ წარედგინება. თუ წყარო ისეთი აქტივობისაა, რომ მის გარეთა ზედაპირზე 1 მეტრ მანძილზე დოზის სიმძლავრე აღემატება საათში 0,3 მილირბეს, მაშინ ის უნდა დადგან ცალკე შენობაში ან ფლიგელში და განახორციელონ სპეციალური დაცვითი ღონისძიებები. კაბინეტში შესვლა შეიძლება ლაბირინთის გავლით. ავადმყოფებზე დაკვირვება მიმდინარეობს პერისკოპით ან რადიო-ტელევიზიით. კარი ბლოკირებული უნდა იყოს აპარატის ჩამართველ მოწყობილობასთან, რათა მასში არავინ შევიდეს იმ პერიოდში, როცა დანადგარი ჩართულია. თუ ასეთი რამ მაინც მოხდა, კარის გაღებისთანავე დანადგარი გამოირთვება, შეწყდება დასხივება და ჩაირთვება ავარიული სიგნალიზაცია.

იმ შემთხვევაში, თუ წყაროს აქტივობა აღემატება რადიუმის 500 გრამეკვივალენტს, უნდა მოეწყოს სპეციალური გამწოვ-შემწოვი ვენტილაცია. ვენტილაციას ჩართავენ მუშაობის დაწყების წინ. თუ წყარო ემანაციის მქონე ელემენტებს შეიცავს, განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიაქციონ შენობის ვენტილაციას.

თუ ჰაერში დაგროვილი ოზონის რაოდენობა აღწევს 0,1 მგ/მ<sup>3</sup>-ს, ხოლო აზოტის ქანგეულებისა — 5 მგ/მ<sup>3</sup>-ს (ოზონი და აზოტი ქანგეულები წარმოიქმნება ჰაერის შემადგენელი აირების რადიოლოზის შედეგად), ასეთ შემთხვევაში ვენტილაცია სადღეღამისო უნდა იყოს.

პრაქტიკა უჩვენებს, რომ დახურულ წყაროებთან მუშაობის დროს საჭიროა ზემოთჩამოთვლილი ყველხ საშუალების კომბინაცია, რათა მაქსიმალურად განხორციელდეს საიმედო დაცვა.

თუ საჭიროა დახურული წყაროს ერთი ადგილიდან მეორეზე გადატანა (მაგალითად, რეფექტოსკოპიის ჩატარება იქ, სადაც უშუალოდ ამზადებენ დეტალს, შენადნობს და სხვ.), უნდა მივიღოთ დამცველი ზომები. კერძოდ, გასაგორებელ ურიკას უნდა ჰქონდეს გრძე-

ლი სახელულები, სხივის გამომავალი ხერელი მიმართული უნდა იყოს მიწისაკენ; იმ გზაზე, სადაც წყაროს გაატარებენ, საჭიროა გამაფრთხილებელი ნიშნების განლაგება და სხვ.

## დაცვითი ხასიათის ღონისძიებები ღია გამომსხივებელ წყაროებთან\_მუშაობის დროს

ღია გამომსხივებელი წყაროები ისეთ რადიაქტიურ ნივთიერებებს ეწოდება, რომელთა აგრეგატული მდგომარეობა ამ ნივთიერების გარე სამყაროში გავრცელების შესაძლებლობას ქმნის. ამის გამო ღია წყაროებთან მუშაობის დროს აღინიშნება არა მარტო გარეგანი დასხივება, არამედ შინაგანი დასხივების საშიშროებაც იქმნება.

შრომის დაცვისა და უსაფრთხოების პირობების დაცვა ღია რადიაქტიურ წყაროებთან მუშაობის დროს ერთობ რთული პრობლემაა, ვინაიდან ძნელია სამუშაო ადგილის, ჰაერის სისუფთავის დაცვა. ისეთ რადიაქტიურ ნივთიერებებთან მუშაობის დროს, რომელთაც აიროვანი ან ფხვნილისებრი აგრეგატული მდგომარეობა აქვთ, რადიაქტიური აეროზოლები წარმოიქმნება არა მარტო ტექნოლოგიური პროცესების მიმდინარეობის დროს (ერთი ჰურჯლიდან მეორეში გადაღება, გადაღენა, გადაყრა, გადასხმა და სხვ.), არამედ იმ შემთხვევაშიც, თუ სამუშაო ადგილები დაბინძურდება განსაკუთრებით საშიშია აიროვან ნივთიერებებთან მუშაობა, აგრეთვე აქროლადი სახის რადიაქტიური ელემენტები — ფოსფორი, იოდი და სხვ. მათთან ყველა მანიპულაცია უნდა ხდებოდეს ჰერმეტიკულად დახურულ ბოქსებში, გამწოვ კარადებში, სათანადო ვენტილაციის პირობებში, ტექნოლოგიური პროცესების ავტომატიზაცია-მექანიზაციით, დისტანციური მართვის საშუალებით, ინდივიდუალური დაცვითი ღონისძიებების ფართო გატარებით, პირადი ჰიგიენის სასტიკი დაცვით.

დაწესებულებების ჰაერში რადიაქტიური აეროზოლების წარმოქმნა, სამუშაო ადგილების დაბინძურების ხარისხი ბევრად არის დამოკიდებული სამუშაოს ხასიათზე, ორგანიზაციაზე, დამცველ მოწყობილობაზე, მათ ხარისხზე, პრეპარატის აქტივობაზე, მის ქროლვადობაზე, ვენტილაციასა და სხვა მრავალ ფაქტორზე, რომლებიც კომპლექსში გამსაზღვრავენ შრომის უსაფრთხოების პირობებს. ღია წყაროებთან მუშაობის დროს შრომის პირობები ისეთი უნდა იყოს, რომ უზრუნველყოფდეს დაცვას არა მარტო გარეგანი დასხივების მხრივ, არამედ გამორიცხავდეს რადიაქტიური იზოტოპების ორგანიზმში მოხვედრის ყოველგვარ საშუალებასაც.

**რადიოტექნიკური ნივთიერებათა ფუნქციონირების კლასები**

იმის მიხედვით, თუ რადიოტექნიკურობის რომელ ჯგუფს მიეკუთვნება რადიოტექნიკური ელემენტი და სამუშაო ადგილზე რა რაოდენობით აქტივობასთან ვვაქვს საქმე, ღია წყაროებთან მიმდინარე სამუშაოები დაყოფილია კლასებად. ამავე დროს კლასებად დაყოფის დროს მხედველობაშია მიღებული მხოლოდ შინაგანი დასახივების საშიშროება და უგულებელყოფილია გარეგანი დასახივება.

სამუშაო ადგილზე არსებული აქტივობის მიხედვით არჩევენ რადიოტექნიკური ნივთიერებებზე მუშაობის 3 კლასს (ცხრილი 43).

ცხრილი 43

რადიოტექნიკურობა	სამუშაო ადგილზე ზღვრულად დასაშვები აქტივობა, რომელიც არ საჭიროებს სეს-ის თანხმობას (მკვიერი)	აქტივობა სამუშაო ადგილზე		
		სამუშაო კლასი		
		I	II	III
ა	0,1	10 <sup>1</sup> -ზე მეტი	10-დან 10 <sup>1</sup> -მდე	0,1-დან 10 -მდე
ბ	1,0	10 <sup>5</sup> -ზე მეტი	100-დან 10 <sup>5</sup> -მდე	1-დან 100-მდე
გ	10,0	10 <sup>10</sup> -ზე მეტი	10 <sup>3</sup> -დან 10 <sup>10</sup> -მდე	10-დან 10 <sup>3</sup> -მდე
დ	100,0	10 <sup>17</sup> -ზე მეტი	10 <sup>1</sup> -დან 10 <sup>17</sup> -მდე	10 <sup>2</sup> -დან 10 <sup>1</sup> -მდე
ე	1000,0	10 <sup>26</sup> -ზე მეტი	10 <sup>5</sup> -დან 10 <sup>26</sup> -მდე	10 <sup>3</sup> -დან 10 <sup>5</sup> -მდე

ამა თუ იმ ლაბორატორიის განლაგებისა და აღჭურვილობის თავისებურებანი დამოკიდებულია იმაზე, თუ რომელ კლასს მიეკუთვნება იგი.

სამუშაოთა კლასების განსაზღვრის დროს, გასათვალისწინებელია ის გარემოება, რომ თუ რადიოტექნიკური ნივთიერებას შერეული სპექტრი ახასიათებს, კერძოდ კი ბეტა- და გამა-გამომსხივებელს შეიცავს, მაშინ საჭიროა სპეციალური ღონისძიებები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ორგანიზმის დაცვას გარეგანი დასახივებისაგანაც.

**ღია რადიოტექნიკური იზოტოპების გამოყენებულ დაწესებულებათა დაგეგმარების ჰიგიენური პრინციპები, მოწყობილობა, მინერალიზაცია, ბათოგრაფია, შალაგონარაგება და კანალიზაცია**

იმ დაწესებულებების დაგეგმარება, რომლებიც რადიოტექნიკური იზოტოპებს იყენებენ ღია სახით, საჭიროებს განსაკუთრებული ჰიგიენური წესების დაცვას. ამ დაგეგმარებაში ძირითადი ის არის, რომ რადიოტექნიკური იზოტოპებთან დაკავშირებული სამუშაოები იზოლირებული უნდა იყოს დანარჩენი სამუშაოსაგან, რათა შემცირდეს პერსონალ-

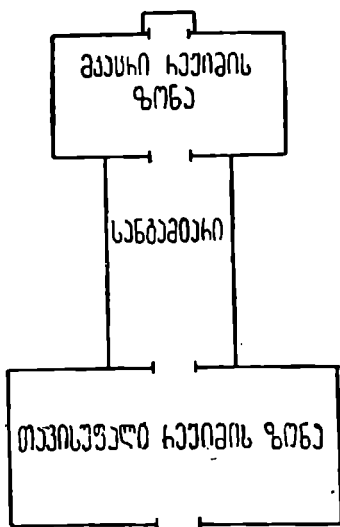
ლის კონტაქტი გამომსხივებელ წყაროებთან. ამისათვის ეს ლაბორატორიები უნდა განლაგდეს ცალკე შენობაში ან შენობის ცალკე ფლიგელში. ამგვარ ზონას „მკაცრი რეჟიმის“ ზონა ეწოდება. ამ ზონიდან გასვლა შეიძლება მხოლოდ სანგამტარის გავლით (სურ. 20), რათა რადიოაქტიური ნივთიერებები გარემოში არ გავრცელდეს.

დაწესებულებებს, რომლებიც იყენებენ ღია რადიოაქტიურ იზოტოპებს, უნდა ჰქონდეს ოთახები, სადაც ტარდება მუშაობა უშუალოდ რადიოაქტიურ იზოტოპებზე (მათი დაფასობა, განაწილება, გასნა და სხვა მანიპულაციები), ე. წ. სამანიპულაციო ოთახები, დოზიმეტრიული ოთახები, სადაც განლაგებულია სათანადო აპარატურა და აკრძალულია რადიოაქტიურ ნივთიერებებთან ყოველგვარი მანიპულაცია; რადიოაქტიური იზოტოპების შესანახი ოთახები, ე. წ. „სეიფები“, დაბინძურებულნი კუროკლის სამრეცხაო და სანგამტარი.

ისეთი ლაბორატორიები, რომლებიც სამუშაოთა მიხედვით მესამე კლასს ეკუთვნიან, დაგეგმარების დროს არ საჭიროებენ რაიმე სპეციალური ჰიგიენური ღონისძიებების გატარებას, მათ აშენებენ ისევე, როგორც ჩვეულებრივ ქიმიურ ლაბორატორიებს.

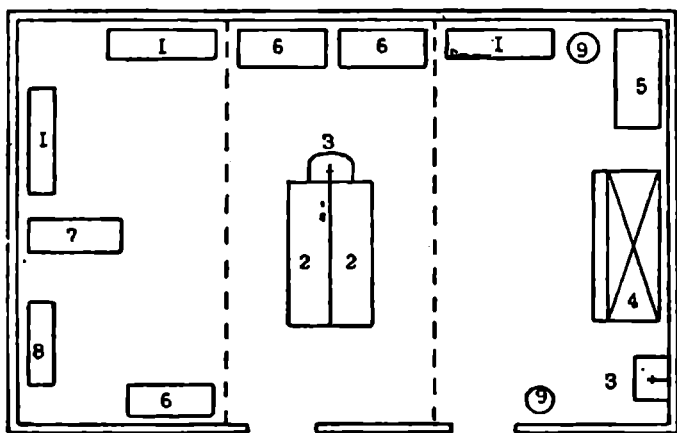
21-ე და 22-ე სურათებზე მოცემულია II და III კლასის რადიოქიმიური ლაბორატორიების გეგმები. 21-ე სურათზე ასახულია ერთოთახიანი ლაბორატორია, რომელიც პირობითად დაყოფილია სამ ზონად: ზონა, რომელშიც ხდება რადიოაქტიური იზოტოპების ძირითადი დოზების დამუშავება. აქ დგას რადიოაქტიური ნივთიერებების შესანახი სეიფები, გამწოვი კარადები და სამუშაო მაგიდები (1); ოთახის შუა ნაწილში — მეორე ზონაში — დგას მაგიდები, რომლებზეც მიმდინარეობს მუშაობა რადიოაქტიური იზოტოპების ინდიკატორულ რაოდენობებთან (2); მესამე ზონაში განლაგებულია აქტივობის გასაზომი რადიომეტრიული აპარატურა (3).

ასეთი ტიპის ლაბორატორიებში პერსონალის არაზუსტი მუშაობის შედეგად სამუშაო ადგილებზე აქტივობის გავრცელებისა და, მასთან



სურ. 20. რადიოლოგიური ლაბორატორიების დაგეგმარების პრინციპი.

დამე, დაბინძურების მეტი შესაძლებლობაა. ეს კი, თავის მხრივ, იწვევს აქტივობასთან პერსონალის კონტაქტის ზრდას, აგრეთვე დოზიმეტრიული დანადგარების არაზუსტ მუშაობას (იცვლება სამუშაო ადგილის ფონი). ამ მხრივ უკეთესი მდგომარეობა იქმნება სამოთახიან ლაბორატორიაში, სადაც ცალკეა გამოყოფილი დოზიმეტრიული ოთახი და განცალკევებულია სამუშაოები ძირითად და ინდიკატორულ აქტივობასთან. რასაკვირველია, ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში, ოთახების რაოდენობა და დანიშნულება დამოკიდებულია ლაბორატორიაში მიმდინარე სამუშაოების ხასიათზე. მაგალითად, სამკურნალო დაწესებულებაში გამოყოფილი უნდა იყოს ავადმყოფებთან მანიპულაციების ჩასატარებელი ოთახები; აუცილებელია დაბინძურებული ჭურჭლის გასარეცხი იზოლირებული კუთხის გამოყოფა და სხვ. II კლასის ლაბორატორიაში აუცილებელია სანგამტარი, რომლიდანაც გამოსვლისას უნდა ჩატარდეს დოზიმეტრიული კონტროლი.



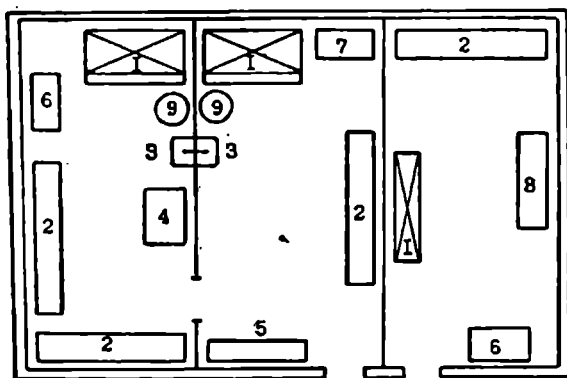
სურ 21. ერთოთახიანი რადიოლოგიური ლაბორატორია:

- 1 — მაგილა, 2 — ლაბორატორიული მაგილა, 3 — ნიჟარა, 4 — გამწოვი კარადა, 5 — სეიფი, 6 — კარადა, 7 — რადიომეტრული დანადგარი, 8 — საწერი მაგილა, 9 — გაღანაყრების შესაგროვებელი.

I კლასის სამუშაოებისათვის ლაბორატორიებს წარედგინება განსაკუთრებული სანიტარიულ-ჰიგიენური მოთხოვნები. საქმე ის არის, რომ ამ კლასის სამუშაოების დროს უმნიშვნელო უზუსტობამაც კი შეიძლება გამოიწვიოს შენობისა და სამუშაო ადგილების გარე ფაქტორების მნიშვნელოვანი დაბინძურება.

I კლასის სამუშაოების ჩატარების დროს მიღებულია ლაბორატორიების სამზონოვანი დაგეგმარება.

I ზონაში განლაგებულია ყველა ის კომუნიკაცია, ბოქსი, კამერა, რომელიც რადიაქტიური დაბინძურების ძირითადი წყაროა. ამ ზონაში დაბინძურება გარდაუვალა. მუშაობის დამთავრების შემდეგ საჭიროა სამუშაო დანადგარების, ხელსაწყო-იარაღების დეზაქტივიზაცია იმ დონემდე მაინც, რომ მათზე შემდგომი მუშაობა არ იყოს სახიფათო.



სურ. 22. სამოთახიანი რადიოქიმიური ლაბორატორია:

1 — გამწოვი კარადა, 2 — ლაბორატორიული მაგიდა, 3 — ნიჟარა, 4 — ხელთათმანების ბოქსი, 5 — ტანსაცმლის კარადა, 6 — საწერი მაგიდა, 7 — სეიფი, 8 — რადიომეტრული დანადგარი, 9 — გადანაყრების შესაგროვებელი.

II ზონა სარემონტო-სატრანსპორტო ზონაა. აქ ხდება ტექნოლოგიური დანადგარების გახსნა, მათი შეკეთება და სხვ. ამ ზონაში დასაშვებია დასხივების დონის პერიოდული ზრდა ზღვრულად დასაშვებ დოზაზე მეტად. მუშაობის დამთავრების შემდეგ საჭიროა პაერის, სპექტანსაცმლისა და სამუშაო ადგილების დეზაქტივიზაცია დასაშვებ დონემდე ან მასზე დაბლა.

III ზონა მომსახურე პერსონალის უმრავლესობის ადგილსამყოფელია. აქ განლაგებულია საოპერატორო პულტები, რომელთა მეშვეობით (ბოქსებში დამონტაჟებული რეზინის ხელთათმანებითა და მანიპულატორებით) სრულდება ყველა სამუშაო რადიაქტიურ იზოტოპებზე. ამ ზონაში ყოველად დაუშვებელია რადიაქტიური დაბინძურება, ხოლო თუ ეს მაინც მოხდა, საჭიროა მისი სასწრაფო ლიკვიდაცია.

იმისათვის, რომ დაბინძურება არ გავრცელდეს I და II ზონიდან III ზონაში, გადასვლის დროს პერსონალმა უნდა გაიაროს სანიტარიული დამუშავება, გამოიცვალოს სპექტანსაცმელი და ფეხსაცმელი.

ზემოთ აღნიშნული სამი ზონა რადიაქტიურ იზოტოპებსა და მიონიზებელი გამოსხივების სხვა წყაროებზე მომუშავე დაწესებულე-

ბების დაგეგმარებას ეხება. არსებობს აგრეთვე ამ დაწესებულებებსა და მათ გარშემო ტერიტორიის სამზონოვანი ლიფერენციაცია. ეს ზონებია:

1. საკონტროლო ზონა — ტერიტორია (ან თვით შენობა), სადაც პერსონალის დასხივება შესაძლებელია აღწევდეს ა კატეგორიის პირთათვის დასაშვები დოზის 0,3-ს. ამ ზონაში სავალდებულოა ყველა პირის სისტემატური ინდივიდუალური დოზიმეტრიული კონტროლი.

2. სანიტარიულ-დამცველი ზონა — ტერიტორია, რომელიც გარს აკრავს მაიონიზებელ წყაროებსა და რადიაქტიურ იზოტოპებზე მომუშავე დაწესებულებებს. ამ ზონაში დაუშვებელია საცხოვრებელი სახლების, საბავშვო დაწესებულებებისა და სხვა ისეთი შენობების აგება, რომლებსაც კავშირი არა აქვთ იმ დაწესებულებებთან, რომლისთვისაც დადგენილია ეს სანიტარიულ-დამცველი ზონა. ამ ზონაში სისტემატურად უნდა ხდებოდეს რადიაციული მდგომარეობის შესწავლა (გარეგანი დასხივების სიმძლავრის დადგენა, ჰაერის, წყლის, ნიადაგისა და სხვ. რადიომეტრიული გამოკვლევა).

3. დაკვირვების ზონა ის ტერიტორიაა, სადაც ცხოვრობს მოსახლეობა და სადაც დასხივების დოზამ შესაძლებელია ზოგჯერ გადააჭარბოს მათთვის დასაშვებ საზღვრებს. ამ ზონაში სავალდებულოა აგრეთვე რადიაციული კონტროლი (გარე ფაქტორების რადიომეტრიულ-დოზიმეტრიული გამოკვლევა).

ღია რადიაქტიურ იზოტოპებზე მომუშავე ლაბორატორიებში არსებულ აღჭურვილობას წარედგინება განსაკუთრებული სანიტარიულ-ჰიგიენური მოთხოვნები, რაც გამოწვეულია დაბინძურებული ზედაპირების დეზაქტივიზაციის სიძნელებით. აღჭურვილობა ისე უნდა იყოს შერჩეული, რომ მას ჰქონდეს გლუვი, სადა ზედაპირი, რომელიც ადვილად ჩამოირეცხება. ნაკეთობებს არ უნდა ჰქონდეს კუთხეები და უსწორმასწორო ზედაპირები. ლაბორატორიის კედლების კუთხეები და კედელთან იატაკის გადასვლის ადგილი მომრგვალებული უნდა იყოს, რათა დაბინძურების შემთხვევაში ადვილი იყოს მათი დეზაქტივაცია.

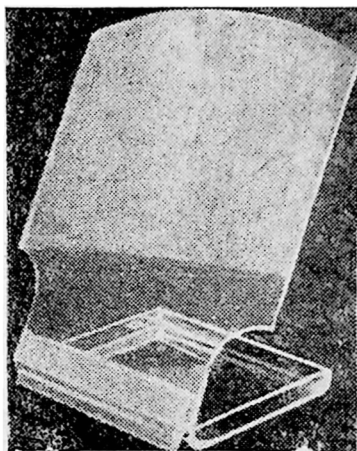
ღია რადიაქტიურ ნივთიერებებზე მუშაობის დროს ყველაზე საუკეთესო მასალად მიჩნეულია მინა, ფაიფური, მინაქარი, უჟანგავი ფოლადი, პლასტიკატი და სხვ. ვინაიდან მათი მექანიკური გარეცხვა-გასუფთავება და დეზაქტივაცია ადვილია. კედლები და ავეჯი შეღებილი უნდა იყოს ზეთის საღებავით ან ნიტრომინანქრით, რომელსაც სორბციის ნაკლები უნარი ექნება. ლაბორატორიაში დგამენ სპეციალური კონსტრუქციის ქიმიურ მაგიდებსა და სკამებს, კარადებს, გამწოვ კარადებს, ბოქსებს, სამანიპულაციო მაგიდებს. აქვე უნდა იყოს სხვადასხვა დამცველი საშუალება — სადისტანციო ხელსაწყო-



ები, ავტოპიპეტები, დამცველი ფილები, ფარები და სხვ. (სურ. 23, 24, 25, 26). ჭურჭლის შესანახად და გადასატანად ლაბორატორია აღჭურვილი უნდა იყოს შუშის კარადებითა და გასაგორებელი მაგი- დებით. რადიაქტიური იზოტოპების შესანახად და გადასატანად ლა- ბორატორიაში უნდა იყოს სპეციალური სეიფები და კონტეინერები. ხელსაბნებს უნდა ჰქონდეს ავტომატური, იდაყვით ან ფეხით ჩამრთვე- ლები. სამუშაო ზედაპირისათვის გამოყენებულია ფილტრის ქაღალ- დები, რომელიც მათ დაიცავს რადიაქტიური დაბინძურებისაგან. იატაკზე ნივთიერების დაღვრის აცილების მიზნით სასურველია მაგი- დის ნაპირები აწეული იყოს.

რადიაქტიური იზოტოპების ჰაერში მოხვედრასთან დაკავშირებულ- ლი სამუშაოები უნდა ჩატარდეს ცხელი. წყლით, კანალიზაციით, ვენ- ტილაციითა და ლუმინესცენციური განათებით უზრუნველყოფილ პერმეტულად დახურულ ბოქსებში (სურ. 27, 28, 29).

ღია რადიაქტიურ იზოტოპებზე მომუშავე დაწესებულებებს უნდა ჰქონდეს სპეციალური ვენტილაცია, რომლის მიზანია სამუშაო ადგი- ლებიდან რადიაქტიური აეროზოლის გატანა და ნორმალური ჰიგიენური პირობების დაცვა. სხვადასხვა კლასის სამუშაოს შესრულების დროს სხვადა- სხვაგვარი სიძლიერის სავენტილა- ციო სისტემა უნდა დაიდგას. მაგალი- თად, თუ სამუშაო პირველი კლასი- საა, მაშინ მეორე ზონაში ჰაერცვლის სიდიდე 10-ჯერადი უნდა იყოს, ხო- ლო მესამე ზონაში — 5-ჯერადი, თუ სამუშაოები მეორე კლასისაა, ჰაერ- ცვლა უნდა იყოს 5-ჯერადი, ხოლო მესამე კლასის სამუშაოების შესრუ- ლების დროს 3-ჯერადი. ჰაერცვლა ისე უნდა იყოს მოწყობილი, რომ ჰა- ერი მიემართებოდეს ნაკლებ დაბინ- ძურებული ადგილიდან შედარებით მეტად დაბინძურებული ადგილისაკენ, რათა არ მოხდეს სამუშაო ადგი- ლების ჰაერის დამატებითი დაბინძურება (III ზონა, II ზონა, I ზონა). ბოქსებში ვენტილაცია 30-ჯერადი უნდა იყოს.

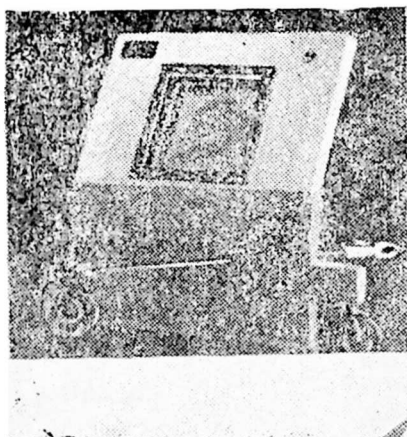


სურ. 23. ალფა- და ბეტა-გა- მოსხივებისაგან დამცველი ფარი.

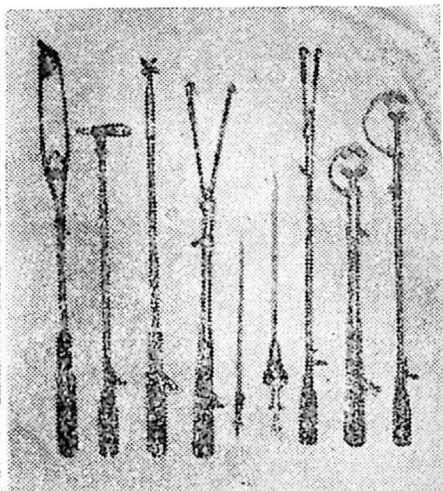
თუ წყარო ინახება წყალქვეშ, მაშინ ვენტილაცია შეიძლება გა- მოირთოს. ჰაერის ახალ-ახალი ულუფები შენობაში უნდა შემოდის-

დეს ქარის მიმართულების გათვალისწინებით, რათა დაბინძურებული ჰაერის მოხვედრა დაწესებულებებში აცილებული იყოს.

I ზონიდან, აგრეთვე გამწოვი კარადიდან ან ბოქსებიდან ატმოსფეროში გაშვების წინ ჰაერი აუცილებლად უნდა გაიფილტროს. რაც შეეხება II—III კლასის სამუშაოებს, ხშირ შემთხვევაში ამ ჰაერის გაშვება შეიძლება პირდაპირ ატმოსფეროში იმ პირობით, თუ აქტივობა არ აღემატება ამ იზოტომის სანიტარიული წესდებით გათვალისწინებულ დასაშვებ ნორმებს. ალფა- და ბეტა- გამომსხიველებთან



სურ. 24. გამა-გამოსხივებისაგან დამცველი ფარი.

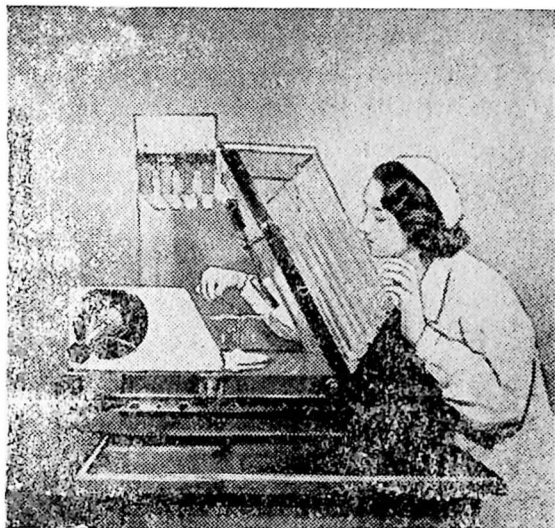


სურ. 25. საღისტანციო ხელსაწყოები.

მუშაობის დროს ფილტრები უნდა დაიდგას უშუალოდ იმ ადგილას, საიდანაც ხდება ჰაერის გაწმენდა, ანუ სამუშაო ადგილზე. თუ სამუშაოები ტარდება ემანაციურ ელემენტებთან, ამ შემთხვევაში ვენტილაცია ჩართული უნდა იყოს სისტემატურად, განუწყვეტილად.

ღია წყაროებზე მომუშავე დაწესებულებებს ათბობენ წყლით ან ჰაერით. II და III კლასის სამუშაოების ჩატარების დროს სასურველია, ხოლო I კლასის სამუშაოს ჩატარების დროს აუცილებელია კედლით ან ჰაერით გათბობა. თუ გათბობა ხდება რადიატორებით, მათ უნდა ჰქონდეთ სადა ზედაპირი, რათა ადვილი იყოს მათი გაწმენდა-გასუფთავება.

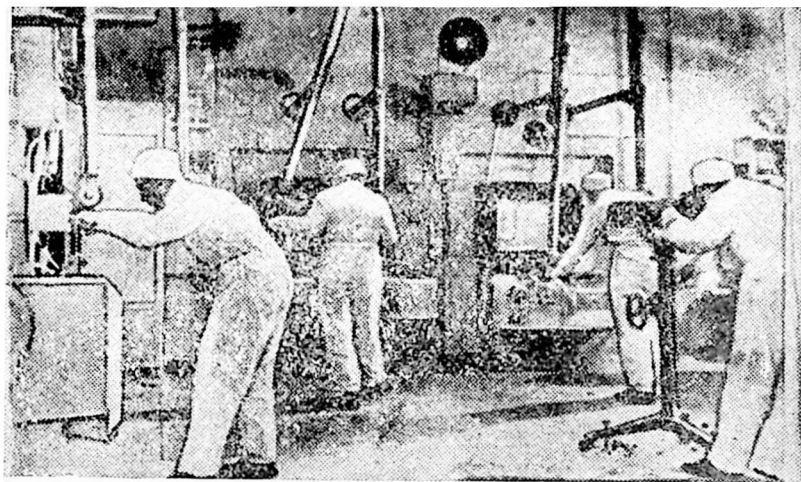
როგორც აღვნიშნეთ ღია წყაროებთან მუშაობის ძირითადი პრინციპია საწარმოო პროცესების ჰერმეტიულობა და მექანიზაცია. საწარმოო პროცესების ჰერმეტიულობას უზრუნველყოფს მუშაობა გამწოვ კარადებში, ხელთათმნიან ბოქსებში, დამცველ კამერებში და სხვ.



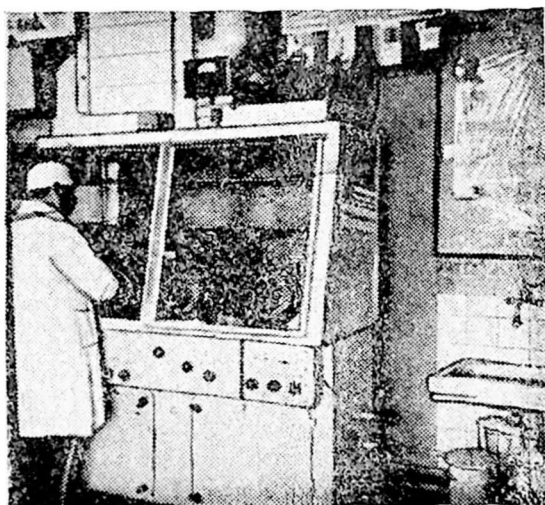
სურ. 26. სამანიპულაციო მაგიდა.

საწარმოო პროცესების მექანიზაცია კი გულისხმობს სადისტანციო ხელსაწყოების გამოყენებას, დისტანციურ მართვას და სხვ.

დაწესებულებები, რომლებიც იყენებენ რადიაქტიურ იზოტოპებს ღია წყაროების სახით, უზრუნველყოფილი უნდა იყოს ცენტრალური წყალმომარაგებითა და კანალიზაციით. გამონაკლისი დასაშვებია იმ შემთხვევაში, თუ ლაბორატორიაში ტარდება ისეთი სამუშაოები, რომლებიც დაკავშირებულია ბუნებრივი რადიაქტივობის განსაზღვრასთან ან საქმე გვაქვს ველზე გასულ საძიებო პარტიებთან, ამიტომაც არ არის ცენტრალური წყალმომარაგება და კანალიზაცია. ყველა კლასის სამუშაოს ჩატარების დროს საჭიროა ლაბორატორიების უზრუნველყოფა ცხელი წყლითაც. I და II კლასის ლაბორატორიებს უნდა ჰქონდეს კანალიზაციის ორი სისტემა: 1) სამეურნეო-საფეკალო და 2) სპეციალური. ამ უკანასკნელის დაგეგმარება აუცილებელია ისეთი შემთხვევებისათვის, როცა ლაბორატორიის ყოველდღიური

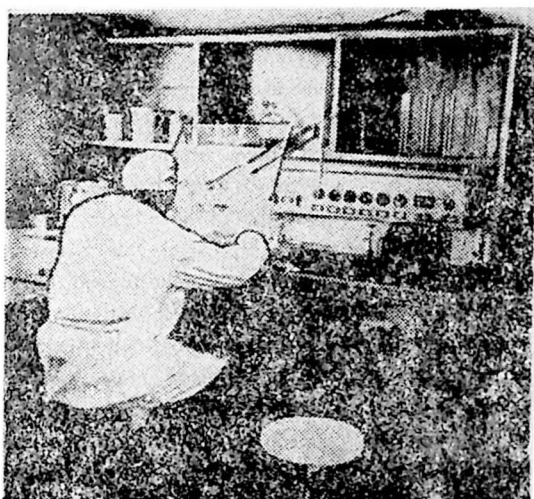


სურ. 27. I კლასის რადიოლოგიური ლაბორატორია.



სურ. 28. II კლასის რადიოლოგიური ლაბორატორია.

რადიექტიური გადანაყარი წყლისათვის დასაშვებ საშუალო წლიურ კონცენტრაციაზე 10-ჯერ მეტი აქტივობის 200 ლიტრს აღმატება (თხიერი ნივთიერება რადიექტიურ გადანაყარად მიჩნეულია იმ შემთხვევაში, თუ მისი აქტივობა მეტია, ვიდრე ამ ელემენტის საშუალო წლიური დასაშვები კონცენტრაცია წყლისათვის). თუ აქტივობა უფრო ნაკლებია, ვიდრე 10-ჯერადი საშუალო წლიური დასაშვები კონცენტრაცია წყლისათვის, ასეთ წყალს გაუშვებენ საერთო კანალიზაციაში, მხოლოდ იმ პირობით, რომ კოლექტორში მოხდება მისი 10-ჯერადი განზავება არაექტიური ნახმარი წყლით. ღია წყალსატევში რადიექტიური ნახმარი წყლის ჩაშვება შეიძლება იმ შემთხვევაში, თუ მისი აქტივობა არ აღმატება წყლისათვის საშუალო წლიურ დასაშვებ კონცენტრაციას. მაგრამ თუ ეს სისტემა უერთდება წყალსაცავს, რომელშიც მოშენებულია თევზი, მაშინ რადიექტივობის შემცველი არავითარი წყლის ჩაშვება არ შეიძლება.



სურ. 29. III კლასის რადიოლოგიური ლაბორატორია.

თუ თხიერი რადიექტიური გადანაყარების რაოდენობა 200 ლიტრზე ნაკლებია, მაგრამ აქტივობა დასაშვებზე 10-ჯერ მაღალი, მაშინ მას ინახავენ სპეციალურ კურორტულში და შემდეგ მიაქვთ დასამარხავად. პერიოდულად საჭიროა საკანალიზაციო წყლის დოზიმეტრიული კონტროლი.

ინდივიდუალურ დაცვითს საშუალებებს იყენებენ რადიაქტიური ნივთიერებების ორგანიზმში მოხვედრის ასაცილებლად. ზოგ შემთხვევაში ინდივიდუალური დაცვითი საშუალებების გამოყენება შესაძლებელია აგრეთვე ხისტი ბეტა-სხივების გარეგანი დასხივებისაგან დასაცავად. მაგალითად, დამცავი სათვალეები, ფარები და სხვა. რაც შეეხება გამა-გამოსხივების საწინააღმდეგო ინდივიდუალურ დაცვითს საშუალებებს, ასეთებს პრაქტიკულად არ იყენებენ, ვინაიდან გამაფოტონების ენერგია იმდენად დიდია, რომ მათ შესასუსტებლად ან შესაკავებლად საჭიროა ძალიან დიდი სისქის (და შესაბამისად წონის) მასალის გამოყენება, რაც უხერხულობას ქმნის.

რადიაქტიურ ნივთიერებათა ინკორპორირება ორგანიზმში ხდება ალიმენტური, ინჰალაციური და დაზიანებული (ზოგჯერ კი დაუზიანებელი) კანის მეშვეობით. ამიტომ ინდივიდუალური დაცვითი საშუალებების მიზანია ამ გზებით რადიაქტიური ნივთიერებების ორგანიზმში მოხვედრის აღკვეთა.

ინდივიდუალური დაცვითი საშუალებანი ორი სახისაა: ძირითადი და დამატებითი. ძირითად დაცვითს საშუალებებს ეკუთვნის ხალათები, კომბინიზონები, ფეხსაცმელი, ზელთათმანები და რესპირატორები (სურ. 30). ამ საშუალებებს იყენებენ ყოველდღიურ საქმიანობაში. დამატებით დაცვითს საშუალებებს ეკუთვნის პლასტიკატის ტანსაცმელი, ბახილები, სასუნთქი ორგანოების დამცველი საშუალებანი და სხვ. (სურ. 31, 32). მათ ხმარობენ არა სისტემატურად, არამედ იმ შემთხვევაში, თუ მოსალოდნელია მუშაობა დიდ აქტივობასთან და შესაბამისად დიდი დოზებით დაბინძურებული ატმოსფეროსა და წყლის საშუალებების შესაკავებელი საშუალებების ჩატარების დროს. ყოველივე ამის გამო ამ საშუა-



სურ. 30. ინდივიდუალური დაცვითი საშუალებანი: ა—სასუნთქი ორგანოებისათვის, რესპირატორი „ლუპესტოკი“. რება ან ავარიული შემთხვევებისა და ბ—II და III კლასის საშუალებებისათვის, გ—I კლასის საშუალებებისათვის.

ლებებს ნივთიერების შეკავების უფრო მეტი ეფექტურობა უნდა ახასიათებდეს. დამატებით დამცველ ტანსაცმელს იცვამენ ძირითადი დაც-



ბ — II და III კლასის სამუშაოებისათვის, გ — I კლასის სამუშაოებისათვის.

ვითი ტანსაცმლის ზემოდან. სამუშაოს დამთავრებისა და სათანადო დე-ზაქტივაციის შემდეგ მათ იხდიან, რათა არ გადაიტანონ რადიოაქტიური დაბინძურება ძირითად სამუშაო ადგილზე.

ამა თუ იმ კლასის სამუშაოს შესრულებისას ხმარობენ მისთვის განკუთვნილ ინდივიდუალურ დაცვას. პირველი და ზოგჯერ მეორე კლასის სამუშაოების ჩატარებისას მოსალოდნელია საცვლების გაბინძურებაც, რის გამოც ინდივიდუალური დაცვის კომპლექტი უნდა შეიცავდეს საცვლებს, ერთჯერადი ხმარების პირსახოცებსა და ცხვირსახოცებს.

მესამე კლასის სამუშაოს შესრულების დროს მომსახურე პერსონალს შეიძლება ეცვას თავისი ფეხსაცმელი, მაგრამ ზემოდან აუცილებლად გადაცმული უნდა ჰქონდეს პლასტიკატის ბახილები ან კალოშები.

ინდივიდუალური დაცვის საშუალებანი უნდა დაამზადონ ისეთი ქსოვილისაგან, რომელთაც დაბალი სორბციული უნარი აქვთ და კარგად განიცდიან დეზაქტივაციას. ამავე დროს ისინი შეიძლებისდაგვარ-

რად უნდა აკმაყოფილებდნენ ზოგადპიგიენურ მიზნებსაც. ამ მიზნით იყენებენ, როგორც ნატურალურ (თეთრი მოლესკინი, დიაგონალი და სხვ.), ისე სინთეტიკურ ქსოვილებს (ლავსანი). დამატებითი სპექტანსაცმლის დასამზადებლად იყენებენ აპკოვან პოლიმერულ მასალებს (პოლივინილქლორიდს, პოლიეთილენს, პლასტიკატებს და სხვ.). ფართოდაა გამოყენებული აგრეთვე განსაკუთრებული ხარისხის რეზინის ან პლასტიკატის ფეხსაცმელი, ჩექმები.

ძალიან მაღალი ეფექტურობა ახასიათებს პოლივინილქლორიდისა და პარაფინის კომბინაციით დამზადებულ კოსტიუმებს. პარაფინი გამოიყოფა კოსტიუმის ზედაპირზე და შემდგომში მასზე აღსორბირებულ რადიექტიურ ნივთიერებასთან ერთად მოსცილდება. ამგვარად, თვით ქსოვლი არ ბინძურდება.

განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს რადიექტიური აეროზოლებისაგან სასუნთქი გზების დაცვას. ამ მიზნით ხმარობენ პნევმოკოსტიუმებს, გამფილტრავ რესპირატორებს, აირწინაღებსა და სხვ.

რესპირატორებს ხმარობენ, როცა ჰერში რადიექტიური აეროზოლების ან რადიექტიური აირების კონცენტრაცია დასაშვებს არ აღემატება 200-ჯერ უფრო მეტად. ამჟამად ფართოდ იყენებენ პეტრიანოვის ფილტრისაგან დამზადებულ უსარქველო რესპირატორს „ლექსტოკ“ (სურ. 30 ა): მას ერთჯერადად ხმარობენ, რის გამოც დეზაქტივაციას არ საჭიროებს. მისი გაწმენდის კოეფიციენტია 99.9%. ამავე დროს იგი სანიტარიულ-პიგიენური თვალსაზრისითაც ს ვსებით დამაკმაყოფილებელია: სუნთქვას არ უქმნის დიდ წინააღმდეგობას. მჩ ტეა, არა აქვს დიდი მოცულობის მავნე სივრცე და სხვ. მრავალჯერადი ხმარებისათვის გამოყენებულია სარქველიანი რესპირატორი „ასტრა“.

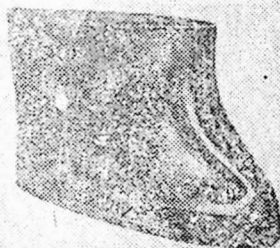
მაღალი კონცენტრაციის აეროზოლების ან რადიექტიური აირების დროს სასუნთქი გზების ინდივიდუალური დაცვის მიზნით ხმარობენ აირწინაღებს ან საიზოლაციო საშუალებებს. საიზოლაციო საშუალებები ორი ხარისხისაა — შლანგიანი და ავტონომიური (სურ. 32).

შლანგიანი საიზოლაციო საშუალებებია პნევმოკოსტიუმები, პნევმოჩაფხუტები, პნევმონიღბები და სხვ.

შლანგიან კოსტიუმებში მუშაობა არ იწვევს დიდ ფიზიოლოგიურ დატვირთვას, სამაგიეროდ, მათ დაცვითი კოეფიციენტი ძლიერ მაღალი აქვთ (დაცვითი კოეფიციენტი მიუთითებს რადიექტიური გაბინძურების გაწმენდის ჯერადობას). მაგალითად, პნევმოკოსტიუმში ЛГ—У-ს დაცვითი კოეფიციენტი 13 000-ია, ხოლო ЛИЗ—КС-სი 5000.

შლანგიანი კოსტიუმების ნაკლი ის არის, რომ ადამიანი შლანგის მეშვეობით დაკავშირებულია კომპრესორთან, საიდანაც სუფთა ჰაერი მოდის და მოძრაობაში, გადაადგილების მანძილში შეზღუდულია. ამ





ს.ერ. 31. დამატებითი დამცველი საშუალებანი:  
 ბ — პლასტიკატის ტანსაცმელი, გ — ბახილე-  
 ბი, დ — ხელთათმანები, ე — ჩექმები.

მზრივ უფრო უკეთესია ავტონომიური პნევმოკოსტიუმების ხმარება. მათი მუშაობის პრინციპი დამყარებულია ჰაერის რეგენერაციაზე. ამ კოსტიუმების დაცვითი კოეფიციენტი 3500.

ინდივიდუალური დაცვის მიზნით იყენებენ აგრეთვე დამხმარე საშუალებებს, პოლივინილქლორიდის წინსაფრებს, სახელოებს, ნახევარხალაიებს, ნახევარკომბინიზონებს და სხვ.



სურ. 32. პნევმოკოსტიუმი.

საჭიროა დაცვის ინდივიდუალური საშუალებების დოზიმეტრიული კონტროლი და მისი სისტემატური დეზაქტივაცია. ამასთან, დეზაქტივაცია უნდა ხდებოდეს დროულად, ეინაიდან მისი ხარისხი დიდადაა დამოკიდებული სპეცტანსაცმლისა და რადიაქტიურ ნივთიერებას შორის კონტაქტის ხანგრძლივობაზე.

რადიაქტიურ ნივთიერებებზე მუშაობის დროს დიდი მნიშვნელობა აქვს პირად ჰიგიენას, ვინაიდან ტანსაცმლის, ხელების ან სხეულის სხვა ღია ნაწილების გაბინძურებამ შეიძლება გამოიწვიოს რადიაქტიური იზოტოპების მოხვედრა კუჭ-ნაწლავის ტრაქტში, მათი გადატანა კანის სუფთა ნაწილებზე და მისი დასხივება, ინკორპორირება ორგანიზმში დაზიანებული ან დაუზიანებელი კანის მეშვეობით. დადგენილია, რომ ზოგიერთი რადიაქტიური ელემენტის (ურანი, თორიუმი, რადიუმი, პოლონიუმი) ხსნადი ნაერთი დაუზიანებელი კანის მეშვეობითაც ადვილად ხვდება სისხლში.

რადიაქტიურ ნივთიერებებთან მუშაობის დროს საჭიროა ყოველგვარი გამაფრთხილებელი წესის დაცვა; პერსონალს უნდა ჰქონდეს მუშაობის მაღალი კულტურა; არავითარ შემთხვევაში არ შეიძლება დაუცველი ხელებით იზოტოპებთან შეხება, ვინაიდან ეს გამოიწვევს არა მარტო ხელების დასხივებას, არამედ დაბინძურებასაც. თუ ხელების კანი დაზიანებულია, ასეთ შემთხვევაში ღია რადიაქტიურ ნივთიერებებთან მუშაობა აკრძალულია, ხელების ან სხეულის ღია ნაწილების დაბინძურების შემთხვევაში საჭიროა დაბინძურებული ადგილის სწრაფი დეზაქტივაცია დასაწყისში თბილი წყლითა და საპნით, ხოლო თუ ამან არ უშველა, განმეორებით სპეციალური ხსნარების გამოყენებით. თუ რადიაქტიური ნივთიერება თვალის არეში მოხვდა, ეს ორგანო უნდა დაამუშაონ წყლით ან რომელიმე ხსნარით.

კუჭ-ნაწლავის ტრაქტში რადიაქტიური ნივთიერების მოხვედრის ასაცილებლად აკრძალულია პიპეტებით ხსნარების შეწოვა, უნდა გამოვიყენოთ ავტოპიპეტები. აკრძალულია აგრეთვე ლაბორატორიაში ჰამა, თამბაქოს მოწევა და სხვ.

რადიაქტიურ ნივთიერებებზე მუშაობის დროს საჭიროა სპეცტანსაცმლის ჩაცმა (ხალათები, რეზინის ხელთათმანები და სხვ.). მაღალ აქტივობასთან მუშაობის დროს სასურველია ორი წყვილი ხელთათმანის ხმარება. ხელთათმანები გახდის წინ კარგად უნდა გარეცხონ თბილი წყლითა და საპნით, ხოლო შემდეგ დაამუშაონ მარილმყავის ან ტუტის 3%-იანი ხსნარით და დიდი რაოდენობის გამდინარე წყლით.

#### სანიტარიული ღაფუშაპების მეთოდები

სხეულის ღია ნაწილების — მტევნების, სახის კანის, ხილული ლორწოვანი გარსების, ტანსაცმლისა და ფეხსაცმლის რადიაქტიური ნივთიერებებისაგან გაუვნებლება ხდება სანიტარიული ღაფუშაგებით.

არსებობს სანიტარიული დამუშავების ორგვარი მეთოდი — ნაწილობრივი და სრული.

ნაწილობრივი სანიტარიული დამუშავების დროს ხდება რადიოაქტიური ნივთიერებით დაბინძურებული ხელების, ხილული ლორწოვანი გარსების, სახისა და კისრის კანის, ტანსაცმლის, ფეხსაცმლის წინასწარი გასუფთავება. ამას აღწევენ ხელების დაბანით, თვლების ამოსუფთავებით, ლორწოვანი გარსების გაბანით, ტანსაცმლის დაბერტყვით. ჩამოსაბერტყად ხმარობენ ცოცხსა და ფეხსაცმლის ჯაგრისს. ასეთი დამუშავების შედეგად შესაძლებელია აქტივობის დიდი ნაწილის მოცილება. ნაწილობრივი სანიტარიული დამუშავების შემდეგ გადადიან სრულ სანიტარიულ დამუშავებაზე, რომლის მიზანია პერსონალისა და სპექტანსაცმლის სრული გასუფთავება რადიოაქტიური ნივთიერებებისაგან. სანიტარიული დამუშავების დროს გამოყენებულია სხვადასხვა სადეზაქტივაციო საშუალება.

პირველი და მეორე კლასის სამუშაოების ჩატარების დროს დაწესებულებებში აუცილებელია სანგამტარი. სანგამტარში გავლის შემდეგ პერსონალს სანდამუშავების ეფექტურობის დასადგენად უნდა ჩაუტარონ დოზიმეტრიული კონტროლი. თუ ეს უკანასკნელი არ იძლევა დამაკმაყოფილებელ მაჩვენებლებს, სანდამუშავება უნდა გაიმეორონ. სანგამტარში გავლის შემდეგ პერსონალს აძლევენ სუფთა ტანსაცმელს, ხოლო ჭუჭყიან სპექტანსაცმელს გზავნიან დეზაქტივაციისათვის. სანგამტარი ისე უნდა იყოს დაგეგმილი, რომ ნახმარი დაბინძურებული ტანსაცმელი სრულიად იზოლირებული იყოს სუფთა ტანსაცმლისაგან. ცალ-ცალკე უნდა იყოს გამოყოფილი სუფთა სპექტანსაცმლისა და საკუთარი ტანსაცმლის კარადები.

მესამე კლასის სამუშაოების შესრულების დროს ლაბორატორიებში საკმარისია შხაპის ან პირსაბნების მოწყობა ხელის ან ფეხის ჩამრთველით. აქვე უნდა იყოს სათანადო სადეზაქტივაციო ხსნარების დიდი მარაგი. ლაბორატორია აღჭურვილი უნდა იყოს საკონტროლო დოზიმეტრიული ხელსაწყოებით.

დაწესებულებების ზონალური დაგეგმარების დროს ზონებს შორის გათვალისწინებულია სანშლუზები (II და III ზონას შორის). ამ სანშლუზების მიზანია პერსონალის უზრუნველყოფა დამატებით ინდივიდუალური დაცვითი საშუალებებით. ამასთან, უნდა ჩაატარონ დაბინძურებული სპექტანსაცმლის წინასწარი დეზაქტივაცია. აქვე დგას დოზიმეტრიული ხელსაწყოები ჩატარებული სანდამუშავების ეფექტურობის დასადგენად.

პროცედურას, რომელიც მიზნად ისახავს რადიქტიური ნივთიერებებით დაბინძურებული საგნების გაწმენდას, იქნება ეს ადამიანის სხეულის ნაწილები, სამუშაო ადგილი, შრომითი იარაღები, სპეცტანსაცმელი თუ სხვ., ეწოდება დეზაქტივაცია. ეს პროცესი არ უნდა გავიგოთ ისე, თითქოს რადიქტივობით დაბინძურებული ობიექტების სადეზაქტივაციო საშუალებებით გაწმენდის დროს ხდება რადიქტიური ნივთიერებების ინაქტივირება. ისეთი პროცესებისაგან განსხვავებით, როგორცაა დეზინფექცია, დეზინსექცია, დერატიზაცია, აგრეთვე, ქიმიური ნაერთების დეზაქტივაცია, რომელთა დროს აღინიშნება მოკმედი საწყისი აგენტების (იქნება ეს ქიმიური თუ ბიოლოგიური ბუნების) გაუვნებლება, ფიზიკური მოსპობა, განეიტრალება, რადიქტიური ნივთიერებით დაბინძურებული ობიექტების დეზაქტივაციის დროს გასუფთავება, გაუვნებლება გულისხმობს ამ ობიექტებისაგან რადიქტიური ნივთიერების მექანიკურ მოშორებას სხვადასხვა საშუალებებით. ობიექტების დეზაქტივაციის შედეგად რადიქტიური ნივთიერებების არსებობა კი არ წყდება, არამედ გადადის ერთი ობიექტიდან მეორეზე (სადეზაქტივაციო ხსნარში).

დეზაქტივაცია ტარდება ისეთ შემთხვევებში, როდესაც ამა თუ იმ ობიექტის დაბინძურებაა რადიქტიური ნივთიერებით და ეს დაბინძურება აღემატება ზღვრულად დასაშვებ დონეს. საჭიროა ავეჯის, სამუშაო სათაესების, ზედაპირების, სპეცტანსაცმლისა და სხვ. დეზაქტივაცია. რადიქტიური დაბინძურების დროს განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიაქციონ ხელების, თვალებისა და სხეულის სხვა დიანაწილების დეზაქტივაციას მათზე რადიქტიური ნივთიერებების მოხვედრის შემთხვევაში.

ავეჯის, იარაღის, ტანსაცმლისა და სხვ. დეზაქტივაცია შედარებით ადვილი პროცესია, ვინაიდან მათი სადეზაქტივაციო პროცედურა შეიძლება ჩატარდეს მრავალჯერადად, სანამ მივალწვეთ სანიტარიული კანონმდებლობით გათვალისწინებულ დონეს. რაც შეეხება ხელების (კანის) დეზაქტივაციას, რამდენაღმე უფრო რთულია, ვინაიდან მრავალჯერადი დეზაქტივაცია, თუნდაც ისეთი მარტივი საშუალებებით, როგორცაა წყალი და საპონი, იწვევს კანის გაშრობას, გაუხეშებას, გაღიზიანებას, ეპიდერმისის დაზიანებას, რაც, თავის მხრივ, მეტად საშიშია, ვინაიდან დაზიანებული კანის მეშვეობით, უფრო ადვილდება ორგანიზმში რადიქტიური ელემენტის ინკორპორირების შესაძლებლობა. თანამედროვე გამოკვლევებმა დაადასტურა, რომ კანის დეზაქტივაცია უნდა მოხდეს მაშინვე, როგორც კი იგი დაბინძურდება რადიქტიური ნივთიერებით, ვინაიდან დაყოვნება იწვევს დეზაქტივა-

ციის ეფექტურობის დაქვეითებას. საქმე ის არის, რომ რადიაქტიური ნივთიერება ღრმად იჭრება კანში და მასში არსებობს არა მექანიკური დაბინძურების სახით, არამედ კანის უჯრედებში შემაჯალ ნივთიერებებთან ქმნის ნაერთებს და მჭიდროდ ფიქსირდება მასში, როგორც უჯრედის შემადგენელი ნაწილი. მისი შემდგომი გამოდევნა შეიძლება უჯრედში მიმდინარე ასიმილაცია-დისიმილაციური პროცესების მეშვეობით, რასაც გარკვეული დრო სჭირდება. რასაკვირველია, ამ ხნის განმავლობაში ეს რადიაქტიური ნივთიერება გამოავლენს მავნე ბიოლოგიურ მოქმედებას. ამიტომ ხელების ან სხეულის სხვა ნაწილების დეზაქტივაცია მათი დაბინძურების შემთხვევაში დაუყოვნებლივ არის საჭირო.

ასევე დაუყოვნებლივ უნდა ჩაატარონ დაბინძურებული ავეჯისა და სამუშაო ადგილების დეზაქტივაცია, ვინაიდან დაყოვნება იწვევს საგნებში რადიაქტიური ნივთიერების ღრმად შეჭრას და ფიქსირებას, რის შედეგადაც დეზაქტივაციის ეფექტურობა მცირდება. მაგრამ ყოველთვის არ არის შესაძლებელი დეზაქტივაციის დაუყოვნებელი ჩატარება, მაგალითად, საბრძოლო პირობებში. ამიტომ, ასეთ შემთხვევაში ჯერ მიმართავენ ე. წ. ნაწილობრივ დეზაქტივაციას, რაც მდგომარეობს იმ ზედაპირების დეზაქტივაციაში, რომელთანაც ჯარის ნაწილები უშუალო კონტაქტშია. ამის შემდეგ ჩაატარებენ სრულ დეზაქტივაციას, რაც გულისხმობს რადიაქტიური ნივთიერებებისაგან სრულ განთავისუფლებას.

არჩევნ დეზაქტივაციის მექანიკურ, ფიზიკურ და ქიმიურ მეთოდებს.

დეზაქტივაციის მექანიკურ მეთოდს მიეკუთვნება გარეცხვა, გაბერტყვა, ხსნარების ფილტრაცია, ფიზიკურ მეთოდს — გახსნა, სორბაცია; ხოლო ქიმიურს — იონგამცვლელი რეაქციების გამოყენება.

სადეზაქტივაციოდ შემოღებულია მრავალი ნივთიერება და ხსნარი. ზოგი მათგანი განკუთვნილია გარკვეული რადიაქტიური ელემენტის ნაერთის მოსაშორებლად, ე. ი. ახასიათებს მეტ-ნაკლებად სპეციფიკური მოქმედება. სადეზაქტივაციო ნივთიერებების ეფექტურობა სხვადასხვაგვარია. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ განმეორებითი დეზაქტივაციის ეფექტურობა ყოველთვის უფრო დაბალია პირველ პროცედურასთან შედარებით.

სადეზაქტივაციო ნივთიერებებად იყენებენ ისეთ ნაერთებს, რომელთაც ახასიათებთ აღსორბეტიული თვისებები (მაგალითად, თეთრი თიხა), ან გამხსნელები არიან (მევათა ან ტუტეთა სუსტი ხსნარები), ანდა აქვთ კომპლექსური ნივთიერების წარმოქმნის უნარი (მაგალითად, ტრილონ-ბ, ანუ ეთილენდიამინტეტრაჰამარმეაჟას ორნატრიუმის მარილი).

**ხელეებისა და სხვალის ღია ნაწილების დეზაქტივაცია; ინაორკორირებადი  
რადიოაქტიური ელემენტების დეზაქტივაცია**

ხელების დეზაქტივაციის ხარისხი დამოკიდებულია დაბინძურების ხარისხზე. თუ დაბინძურება ზღვრულად დასაშვებ დონეს 5—10-ჯერ აღემატება, მაშინ ხელების დაბანა წყლით ან სარეცხის საპნით საკმაოდ ეფექტურია. მაგრამ, თუ დაბინძურების ხარისხი მეტია, მითუმეტეს, თუ დიდი ხნის დაბინძურებაა, როდესაც რადიოაქტიური ნივთიერება არა მარტო მექანიკურად არსებობს კანზე, არამედ შეჭრილია ღრმა ფენებში და ფიქსირებულია უჯრედებში, გარდა ხელების დაბანისა, საჭიროა სპეციალური სადეზაქტივაციო ხსნარების ხმარება.

სადეზაქტივაციო ხსნარების შედგენილობა ისეთი უნდა იყოს, რომ მათმა ხშირმა ხმარებამ არ გამოიწვიოს კანის გაღიზიანება, ვინაიდან ამ დროს დაზიანებული კანიდან რადიოაქტიური ნივთიერების ორგანიზმში შეღწევის საშიშროება უფრო იზრდება.

კანის დეზაქტივაციისათვის შეიძლება რადიოაქტივობით დაბინძურებული წყლის გამოყენებაც, თუ სხვა რაიმე საშუალება (სუფთა წყალი, სადეზაქტივაციო ხსნარი და სხვ.) არა გვაქვს. დადგენილია, რომ ხელების ხვედრითი აქტივობა (მკვ/სმ<sup>2</sup>) თუნდაც დაბინძურებული წყლის ხვედრითი აქტივობის ტოლი რომ იყოს (მკვ/მლ), ასეთი წყლით დაბანა ხელებს ასუფთავებს 90%-მდე.

კანის დეზაქტივაცია ყველა შემთხვევაში უნდა დაეწყოთ გამდინარე წყლითა და საპნით ხელების დაბანით. ძალიან კარგია დასაბანად სარეცხი ფხვნილების „ნოვოსტის“ ან „ერას“ ხმარება. თუ დოზიმეტრიული კონტროლი უჩვენებს, რომ ასეთი დამუშავება საკმარისი არ არის, მაშინ გადადიან კანის სადეზაქტივაციო საშუალებებით დამუშავებაზე. ხელების დეზაქტივაციის ზოგ შემთხვევაში, თუ ცნობილია ნაერთი, რომლითაც დაბინძურდა კანი, შესაძლებელია მისთვის ყველაზე ოპტიმალური სადეზაქტივაციო საშუალების შერჩევა.

კანის სადეზაქტივაციო საშუალებაა იონგამცვლელი ფისების შემცველი საპნისმაგვარი ფხვნილი „ზაშიტა“ და პრეპარატი „116“. „ზაშიტა“ კარგად ასუფთავებს ხელებს ურანის გახლეჩის პროდუქტებისაგან, პლუტონიუმისაგან, შედარებით ნაკლებად — პოლონიუმისაგან. ამ შემთხვევაში კარგ შედეგს იძლევა კომპლექსწარმოქმნელი პრეპარატი უნითიოლი. გაწმენდის ხარისხი 99,5% აღწევს.

ურანის გახლეჩის პროდუქტების მოსაშორებლად კარგია აგრეთვე კომპლექსონ III, კოლინი, სახამებელი, ლაურილსულფატის ნატრიუმის მარილისა და კალცინირებული სოდის ნარევი.

კანის დეზაქტივაციისათვის ხმარობენ პასტა 115-სა და პოლიურეთანსაც.

რადიუმისა და ურანის მარილების მოსაშორებლად გამოყენებულია თხევადი საპონი, ვინძორის საპონი, ლიმონმჟევა ნატრიუმი, ხის ფხვნილი და სხვ.

თუ კანი დაბინძურებულია რადიაქტიური ფოსფორით ან იტრიუმით, სარეცხის საპნით ხელების დაბანის შემდეგ საჭიროა მარილმჟევის 25 %-ანი ხსნარისა და შემდეგ დიდი რაოდენობის სუფთა წყლის გადავლება.

თორიუმით დაბინძურების შემთხვევაში კარგ შედეგს იძლევა ტრილონ-ბ-ს შემცველი საპონი ან „ნოვოსტი“.

უნდა აღვნიშნოთ, რომ საბჭოთა კავშირში კანისა, კერძოდ კი ხელების დაცვისა და დეზაქტივაციის საკითხი პრაქტიკულად გადაწყვეტილია. ხშირ შემთხვევაში სადეზაქტივაციო ხსნარების ხმარება შეიძლება საჭიროც კი არ გახდეს, რადგან ხელების დაბინძურების აცილების მიზნით დამუშავებულია პროფილაქტიკური ღონისძიებები. გარდა ინდივიდუალური დაცვითი საშუალებისა (ხელთათმანები), ხმარობენ მთელ რიგ კრემებს, პასტებს, რომლებიც ხელს უშლიან კანით რადიაქტიური ნივთიერებების სორბციას. ასეთებია ჰიდროფილური და ჰიდროფობური პასტები და კრემები, ე. წ. ბიოლოგიური კრემები.

ჰიდროფილური პასტები კანს იცავენ ორგანული გამხსნელებისაგან, ლაქებისაგან, ცხიმებისაგან, ფისებისაგან და სხვ. მათ მიეკუთვნება: ПМ-1, სელისკის მალამო, „ხიოტ-6“, პასტა „უჩინარი ხელთათმანი“, „ბიოლოგიური ხელთათმანი“ და სხვ.

ჰიდროფობური პასტები კანს იცავს რადიაქტიური ხსნარებისაგან, მჟავებისაგან, ტუტეებისაგან და სხვ. მათ მიეკუთვნება სელისკის № 1, № 2 მალამოები, ჩუმაკოვის პასტა, კოჩერგინის მალამო და სხვ. კარგია აგრეთვე სილიკონზე დამზადებული მალამოები.

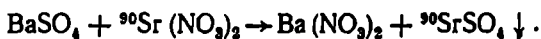
თვალების არისა და თვით თვალების დაბინძურების შემთხვევაში აკვიროს მათი ჩამორეცხვა, ჩამობანა სოდის 3%-იანი ხსნარით, ფრთხილად, რათა აქტივობა არ გადავიდეს მეზობელ ადგილებზე.

რადიაქტიური ნივთიერებების ინჰალაციური მოხვედრის შემთხვევაში ამოსახველებელი საშუალებების დანიშვნა შედარებით ნაკლებ ეფექტურია. უმჯობესია ისეთი საშუალებები, რომლებიც რადიაქტიურ ელემენტებს შეკრავენ კუჭ-ნაწლავის ტრაქტში (ინჰალაციური გზით მოხვედრილი რადიაქტიური ნივთიერებები კუჭ-ნაწლავის ეპითელიუმით გამოიყოფა). აგრეთვე საშუალებები, რომლებიც სისხლში შეამცირებენ რადიაქტიური ნივთიერებების კონცენტრაციას.

კუჭ-ნაწლავის ტრაქტში მოხვედრილი რადიაქტიური სტრონციუმის ადსორბციისათვის ძალიან კარგ შედეგებს იძლევა ადსორბარი (სპეციალური წესით დამუშავებულია  $BaSO_4$ ), პოლისოლმინი და პრეპარატი „B“.



აღსორბარის მოქმედების შედეგად წარმოიქმნება სტრონციუმის სულფატი, რომელიც ნალექის სახით გამოიყოფა და მისი შეწოვა კუჭ-ნაწლავის ტრაქტში აღარ მოხდება.



თუ ამ პრეპარატების გამოყენება მოხდება ორგანიზმში რადიაქტიური ელემენტის მოხვედრიდან ნახევარი საათის შემდეგ მაინც, გაწმენდის კოეფიციენტი 90%-ს აღწევს.

პოლიამინობოლო, ძმარმეავას კომპლექსები კარგად მოქმედებს პოლონიუმითა და პლუტონიუმით მოწამვლის შემთხვევაში.

ყველა ამ ეფექტურ საშუალებას იყენებენ იმ შემთხვევაში, თუ რადიაქტიური ნივთიერების ორგანიზმში მოხვედრიდან გავიდა არა უგვიანეს 0,5 საათისა. დაგვიანებულ შემთხვევებში რადიაქტიური ნივთიერებები დეპონირდება ამა თუ იმ ორგანოსა და ქსოვილში და მათი გამოდევნა საკმაოდ ძნელია.

სტრონციუმი გროვდება ძვლებში და მისი გამოდევნა ნაწილობრივ შესაძლებელია საკვებში კალციუმის მარილების დამატებით. თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ ასეთი დიეტა ეფექტურია იმ შემთხვევაში, თუ ამ პიროვნების საკვები ყოველთვის ღარიბი იყო კალციუმით.

უკანასკნელი გამოკვლევები მიუთითებს, რომ ორგანიზმში, კალციუმის დეფიციტის არარსებობის შემთხვევაშიც მიზანშეწონილია მისი მიღება (კალცინირებული პური) მაიონიზებული გამოსხივების ქრონიკულად მოქმედი მცირე დოზების შორეული შედეგების აცილების მიზნით. იგივე მოქმედება ახასიათებს ფთორირებულ წყალს.

ძვლებიდან სტრონციუმის გამოდევნის მიზნით კარგ შედეგს იძლევა ალგინმეავას ხმარებაც, მაგრამ ეს უკანასკნელი ერთობ დეფიციტურია (მიიღება წყნარ ოკეანეში მობინადრე წყალმცენარეებისაგან).

ნატრიუმის ალგინატს ახასიათებს მაღალი დეკორპორაციული თვისება: ამცირებს ნაწლავებში სტრონციუმის აბსორბციას, ბოჭავს (იკავშირებს) სტრონციუმის 90%-ს. იგი ორგანიზმისათვის უვნებელია, თანამოვლენები არ ახასიათებს, მინერალურ ცვლაზე არ მოქმედებს. უნდა აღინიშნოს აგრეთვე ალუმინის ფოსფატის გელი, რომელიც ამცირებს სტრონციუმის შეწოვას ნაწლავებში.

ინდივიდუალური დაცვითი საშუალებების დანაწილება,  
სამრეცხავი

ინდივიდუალური დაცვითი საშუალებების დეზაქტივაციის მეთოდი დამოკიდებულია იმ მასალის ხასიათზე, რომლისგანაც აზრადებენ

მას. მაგალითად, ბამბის ქსოვილები არაძლიერი დაბინძურების შემთხვევაში კარგად სუფთავდება ჩვეულებრივი გარეცხვით, ხოლო თუ დაბინძურება ძლიერია, გარეცხვა, რასაკვირველია, საკმარისი არ არის, აგრესიული ხსნარებით დამუშავება კი ქსოვილს შლის. ასეთ დამუშავებას შედარებით უკეთ იტანს სინთეზური ქსოვილისაგან დამზადებული სპეცტანსაცმელი (ქლორინი, ლავსანი და სხვ.), განსაკუთრებით კარგად კი — აკოვანი სპეცტანსაცმელი (პოლივინილქლორიდის, პოლიეთილენის და სხვ.).

სპეცტანსაცმლის დეზაქტივაცია უნდა ჩატარდეს სპეციალურ სამრეცხაოებში, სადაც ეს გაბინძურებული ტანსაცმელი რადიაქტიური გაბინძურების ხარისხის მიხედვით დოზიმეტრიული მეთოდით უნდა დაახარისხონ და ამ მონაცემების საფუძველზე გარეცხონ ცალცალკე. დახარისხება გარდა გაბინძურების ხარისხისა, უნდა ჩაატარონ თვით ტანსაცმლის ხასიათის მიხედვითაც (ფეხსაცმელი, ტანსაცმელი, საცვლები და სხვ.), ვინაიდან მათი დეზაქტივიზაციის მეთოდები სხვადასხვაგვარია.

დამხარისხებელი განყოფილების გარდა, სამრეცხაოს უნდა ჰქონდეს სარეცხი, საშრობი და სუფთა ტანსაცმლის გაცემის განყოფილებები.

თუ სპეცტანსაცმლის დაბინძურების ხარისხი არ აღემატება დასაშვებ დონეს, მისი გარეცხვა შეიძლება ჩვეულებრივი სარეცხი მანქანით. თუ დაბინძურება ძლიერია, მაშინ საჭიროა CTM-50 ტიპის სარეცხი მანქანის გამოყენება. აკოვანი ტანსაცმელი უნდა გარეცხონ CTM-1 ტიპის სარეცხ მანქანებში. ზოგჯერ ერთობ ძლიერი დაბინძურების დროს რეცხვის წინ საჭიროა სპეცტანსაცმლის ან ფეხსაცმლის წინასწარი დაღობვა გარკვეული რაოდენობით აქტივობის მოსაცილებლად.

უკანასკნელ ხანებში დაინერგა დეზაქტივაცია ულტრაბგერების გამოყენებით.

#### **უენობავის, საპუშაო ადგილავის, ხელსაწყოავის დეზაქტივაცია**

უენობებს, სადაც მიმდინარეობს მუშაობა ღია რადიაქტიურ წყაროებთან, ყოველდღიურად უნდა ალაგებდნენ სველი წესით, ხოლო თვეში ერთხელ რეცხავდნენ და ასუფთავებდნენ კედლებს, კარებებს, დანადგარებს,

სამუშაოს დამთავრების შემდეგ მომსახურე პერსონალმა უნდა გაასუფთაოს ხელსაწყო-იარაღები, სამუშაო ადგილი და ჩაატარონ მათი დეზაქტივაცია, რადიომეტრულად შეამოწმოს დაბინძურება და დაიყვანოს იგი ზღვრულად დასაშვებ დონემდე.

რადიაქტიური ფხვნილით ან ხსნარით დაბინძურების შემთხვევაში სამუშაო ადგილები, პირველ ყოვლისა, ბამბით, ჩერით ან ფილტრის ქაღალდით უნდა გაასუფთაონ. უმჯობესია ფხვნილი მოწმინდონ სველი ჩერით, ხოლო ხსნარი — მშრალი ჩერით. ორივე შემთხვევაში კარგია მტვერსასრუტის გამოყენება. ძირითადი აქტივობის ალების შემდეგ დაბინძურებული ადგილი უნდა დაამუშაონ რომელიმე საღებვაქტივაციო ხსნარით. დამუშავება უნდა დაიწყონ რაც შეიძლება სწრაფად, ვინაიდან დაყოვნების შემთხვევაში რადიაქტიური ნივთიერება მჭიდროდ ფიქსირდება დაბინძურებულ ნივთიერებაში.

თხევადი რადიაქტიური ნივთიერებით დაბინძურებული ავეჯის დეზაქტივიზაცია უფრო რთულია, ვიდრე ფხვნილისებრი ნივთიერებით, ვინაიდან ხსნარები ფიზიკური და ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების მეშვეობით უფრო მჭიდროდ უკავშირდება დასვერილ ზედაპირს, ვიდრე ფხვნილები.

საღებვაქტივაციო ხსნარები ისე უნდა შეარჩიონ, რომ მათ არ გამოიწვიონ ზედაპირების დაზიანება, ვინაიდან დაზიანებული ზედაპირი მაშინ უფრო მეტად და ღრმად შეისრუტავს რადიაქტიურ ნაერთს.

საღებვაქტივაციო ხსნარი ისეთი შედგენილობის უნდა იყოს, რომ მან რადიაქტიური ნივთიერება გადაიყვანოს ხსნარში და არ მისცეს საშუალება კვლავ დაილექოს გასაწმენდ ობიექტზე. ამიტომ იგი უნდა შეიცავდეს ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებებს (მაგალითად, იონოგენური ნივთიერება OII-7, OII-10, ანიონაქტიური პრეპარატები — სულფანოლი, „ნოვოსტი“ და სხვ.), გამხსნელებს — მჟავებს (მარილის, აზოტის, მჟაუნას, ლიმონისა და სხვ.), ტუტეებსა და, აგრეთვე, კომპლექსწარმოქმნელ ნაერთებს — ტრილონ-ბ-ს, პოლიფოსფატებს და სხვ. კარგია აგრეთვე პეტროვის (ნავთის) კონტაქტი, რომელიც ერთსა და იმავე დროს ზედაპირულად აქტიური ნაერთიც არის და კარგი გამხსნელიც (მასში გოგირდმჟავას არსებობის გამო).

საღებვაქტივაციოდ შემოღებულია სხვადასხვა შედგენილობის ხსნარები:

ხსნარი № 1 — პეტროვის კონტაქტის 30%-ანი ხსნარი;

ხსნარი № 2 — პეტროვის კონტაქტის გარდა, შეიცავს მჟაუნამჟავასა და სუფრის მარილს;

ხსნარი № 3 — შეიცავს „ნოვოსტს“ ან OII-7-ს, მარილმჟავასა და ნატრიუმის ჰექსამეტაფოსფატს; <sup>1</sup>

ხსნარი № 4 — შეიცავს კალიუმის პერმანგანატსა და გოგირდმჟავას;

ხსნარი № 5 — შეიცავს მწვავე ნატრიუმს, ტრილონ B-ს,

ხსნარი № 6 — ლიმონმჟავას ან მჟაუნამჟავას 1—2%-ანი ხსნარი;

ხსნარი № 7 — სამნატრიუმის ფოსფატის ან ნატრიუმის ჰექსამეტაფოსფატის 1—2%-ანი ხსნარი.

თუ ასეთი სტანდარტული შედგენილობის ხსნარები არა გვაქვს, შეიძლება მათი ზოგიერთი შემადგენელი ნაწილის დამოუკიდებლად გამოყენება: ფხვნილი „ნოვოსტი“, პეტროვის კონტაქტი, ОП-7, ОП-10, ტრილონ — ნ, სამნატრიუმის ფოსფატი და სხვ.

დაბინძურებული ადგილების დეზაქტივაცია პრაქტიკულად ხდება სადეზაქტივაციო ხსნარებში დასველებული ტამპონებით, ჯაგრისებით, რბილი ჩვრებით ან დაბინძურებულ ადგილზე პირდაპირ სადეზაქტივაციო ხსნარის დასხმით. შემდგომში ეს ადგილები უნდა აწმინდონ, დეზაქტივაცია უნდა ჩაუტარონ რაც შეიძლება ფრთხილად, შემოსაზღვრულად, რათა დაბინძურება არ გავრცელდეს გარშემო ფართო მოცულობით.

#### რადიაციული უშიშროების საკითხები ავარიული შემთხვევის დროს

ავარიული შემთხვევა გულისხმობს რაიმე, წინასწარ გაუთვალისწინებელი პროცესების შედეგად ამა თუ იმ ობიექტის დიდი რაოდენობის აქტივობით დაბინძურებას. ასეთ შემთხვევაში პერსონალმა დაუყოვნებლივ უნდა დატოვოს ეს ობიექტი, შეამოწმოს თავისი სხეულის დაბინძურება, გაიაროს სანიტარიული დამუშავება და ჩაიცვას სუფთა ტანსაცმელი. ასევე დაუყოვნებლივ საჭიროა მუშაობის დაწყება ავარიის შედეგების ლიკვიდაციისათვის. ამისათვის აცხადებენ „საავარიო რეჟიმს“, რაც იმას ნიშნავს, რომ ავარიულ ზონაში სამუშაოდ შესვლის წინ პერსონალმა უნდა ჩაიცვას დამატებითი დამცველი ტანსაცმელი, ფეხსაცმელი, ხოლო იქიდან გამოსვლის დროს ეს სპეციალურალებანი გაიხადოს. უნდა მოეწყოს ე. წ. „სადისციპლინო ბარიერები“ (სურ. 33) და სანშლუზები (თუ ასეთები თავის დროზე არ იყო გათვალისწინებული).

„სადისციპლინო ბარიერი“ 20—30 სმ-ის სიმაღლის კედელია, რომელიც საზღვრავს საავარიო ზონას და რომლის იქით საჭიროა დამატებითი ფეხსაცმლის ჩაცმა, ხოლო გამოსვლის დროს ეს ფეხსაცმელი უნდა გაიხადონ „სადისციპლინო ბარიერის“ აქეთ.

საავარიო ზონაში ყველა სამუშაო უნდა სრულდებოდეს რადიომეტრიული და დოზიმეტრიული კონტროლის ქვეშ.

#### დაცვის ძირითადი, გეოლოგიური და სხვა სახეობანი

ზემოაღწერილი დაცვის სახეობანი, ფიზიკური და მექანიკური დაცვის საშუალებებია, რომელთა მეშვეობით ხდება მაიონიზებული გამოსხივების ორგანიზმში შეღწევის ან გამოსხივების მქონე რადიოაქ-

ტიური ელემენტების ორგანიზმში მოხვედრის ალკეთა ან შემცირება, მაგრამ ზოგ შემთხვევებში ამის მიღწევა შეუძლებელია (მაგალითად, ატომური იარაღის გამოყენების დროს, კოსმოსური ფრენის, ავარიული სიტუაციების, პროფესიული დასხივების დროს და სხვ.). ასეთ დროს საჭიროა დაცვის ისეთი არსენალის გამოანახვა, რომელიც ორგანიზმში უკვე შეღწეული გამოსხივების (გარეგანი დასხივებით ან რადიოაქტიური ნივთიერებების ინკორპორირებით) ზემოქმედებისაგან დაიცავს მას ან შეამცირებს მანე ბიოლოგიურ ეფექტს. ამ მიზნებს ემსახურება ქიმიური, ბიოლოგიური, კომბინირებული დაცვა და სხვ.

**ქიმიური დაცვა.** დაცვის ერთ-ერთ საუკეთესო საშუალებად მიჩნეულია დაცვა ფარმაკო-ქიმიური პრეპარატებით, რომელთაც რადიოპროტექტორები ეწოდებათ.

რადიოპროტექტორები განსხვავდება ნამდვილი პროფილაქტიკური საშუალებებისაგან (მაგალითად, მალარიის საწინააღმდეგო აკრიქინი, ბიგუმალი, ცოფის საწინააღმდეგო ვაქცინა და სხვ.). ისინი არ იცავენ ორგანიზმს დაავადებისაგან. რადიოპროტექტორები არც ანტიდოტები, რომლებიც ორგანიზმში მოხვედრილი შხამების გასაწმენდად არის გამოყენებული (მაგალითად, დარიშხანით ინტოქსიკაციის დროს ან მძიმე ლითონებით მოწამვლისას და სხვ.).

ქიმიური რადიოპროტექტორები, რომლებიც ექსპერიმენტში საკმაოდ ეფექტურია, მრავალი სახისაა (1500-ზე მეტი). ისინი, როგორც აღვნიშნეთ, ქიმიურ ნაერთთა სხვადასხვა კლასს მიეკუთვნებიან. მათი კლასიფიცირება ძალიან ძნელია, ვინაიდან, გარდა იმისა, რომ სხვადასხვა კლასის წარმომადგენლები არიან, ფარმაკოლოგიური მოქმედებითაც სხვადასხვა ჯგუფს მიეკუთვნებიან. ასევე ძნელია მათი კლასიფიცირება მოქმედების მიხედვითაც, ვინაიდან ჯერ კიდევ საბოლოოდ არ არის დასაბუთებული მათი მოქმედების გზები (თავისუფალი რადიკალებისა და დამჟანგველების კონკურენცია, უჯრედის მგრძობიარე ჯგუფებთან, მაგალითად, ფერმენტებთან ან ცილოვან მოლეკულებთან დროებითი კავშირი და მათი დაცვა დასხივების მოქმედებისაგან, ჯაჭვური რეაქციების დამუხრუჭება, მეორადი ულტრაიისფერი გამოსხივების შთანთქმა, უანგბადის შებოჭვა და სხვ.).

ქიმიური რადიოპროტექტორების უმრავლესობა მოქმედებს პირველად რადიაციულ-ქიმიურ პროცესზე. ამით აიხსნება, რომ მათი მოქმედება ვლინდება იმ შემთხვევაში, როცა ისინი ორგანიზმში შეყავთ უშუალოდ დასხივების წინ.

პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით ქიმიური რადიოპროტექტორები იყოფა სამ ჯგუფად: 1. დიდი დოზებით ერთჯერადი გარეგანი დასხივებისაგან ინდივიდუალური დამცველი საშუალებანი (ასეთი სიტუაციები შესაძლებელია განვითარდეს ატომური იარაღის

ხმარების დროს, კოსმოსური ფრენის პერიოდში მზეზე მიმდინარე პერიოდული აფეთქებების დროს და სხვ.); 2. მაიონიზებული გამოსხივების მცირე დოზების ხანგრძლივი მოქმედებისაგან დამცველი ინდივიდუალური ქიმიური საშუალებანი (ასეთი სიტუაციები შესაძლებელია შეიქმნას რადიოაქტიური ნივთიერებებით დაბინძურებულ გარემოში მოხვედრისას, კოსმოსური ფრენის, სპეციფიკური პროფესიული საქმიანობის პირობებში და სხვ.); 3. სხივური თერაპიის დროს პაციენტის დაცვის საშუალებები.

ყველაზე ფართოდ შესწავლილია (შედგებიც უკეთესია) ცისტამინი და მისი ნაერთები — ცისტეინი და ცისტეამინი. როგორც წინათავე იყო მითითებული, ამ ნაერთთა აქტიური ჯგუფებია სულფჰიდრილური (SH) და ამინოჯგუფი (NH<sub>2</sub>). ერთ-ერთი მათგანის ამოვარდნა მკვეთრად ამცირებს ნივთიერების დამცველ თვისებას.

დაცვითი მოქმედება ფართოდ და მკაფიოდ აქვს გამოხატული აგრეთვე მექსამინს, ხოლო თუ მას გამოვიყენებთ კომბინირებით — ცისტამინი — მექსამინი, ან ცისტეამინი — მექსამინი, მაშინ ეფექტი უფრო ძლიერი იქნება.

ამ პრეპარატთა მოქმედების ეფექტურობისათვის აუცილებელია მათი ხმარება დასხივებამდე 1/2 საათით ადრე ან უშუალოდ დასხივების პროცესში, ძირითადად ერთჯერადად. განმეორებითი შეყვანა არ შეიძლება, ვინაიდან ისინი იჩენენ ტოქსიკურ მოქმედებას.

ამინოთიოლის ჯგუფების ქიმიური რადიოპროტექტორების გამოყენებას მრავალი მეცნიერი სკეპტიკურად უყურებს, ვინაიდან მათ მოქმედებას ერთობ მოკლე ინტერვალი ახასიათებს: პრეპარატის რადიოდამცველი თვისებების დოზები ძალიან ახლოა ტოქსიკურ დოზებთან (მოქმედების დრო ხანმოკლეა, ხელმეორედ შეყვანა კი ტოქსიკურ ეფექტს იძლევა). ასევე გართულებულია მისი პრაქტიკული გამოყენება მოსახლეობის დიდ კოლექტივებში და სხვ. ამიტომ ამჟამად მიმდინარეობს ინტენსიური კვლევა-ძიება პროლონგირებული მოქმედების (ე. წ. დიურანტული) პრეპარატების შესაქმნელად, რათა განხგრძლივდეს დროში ქიმიური რადიოპროტექტორის მოქმედება.

**ბიოლოგიური დაცვა.** ბიოლოგიური დაცვა ხორციელდება ისევე, როგორც ქიმიური — წამლების დანიშვნით, მხოლოდ პირველ შემთხვევაში წამალს სპეციფიკური მოქმედება კი არ ახასიათებს (როგორც ზემოაღნიშნულ რადიოპროტექტორებს), არამედ იწვევს ორგანიზმის წინააღმდეგუნარიანობის მომატებას, ე. ი. აღინიშნება არასპეციფიკური ფარმაკოქიმიური დაცვა. ამ ნივთიერებებს ადაპტოგენებს უწოდებენ.

რადიოპროტექტორებისაგან განსხვავებით, ადაპტოგენები დაცვას იწვევს მრავალჯერადი ხანგრძლივი ხმარების შედეგად, თუ ისინი ორ-

განიზმში შეყვანილია დასხივებამდე რამდენიმე დღისა და კვირის განმავლობაში და ზემოქმედებული დოზა არ არის აბსოლუტურად სასიკვდილო. ადაპტოგენების მოქმედების ეფექტი გამოისახება ყველა სახის დასხივების დროს (ერთჯერადი, მრავალჯერადი, ფრაქციული, ქრონიკული დასხივება), რასაც არ ვხვდებით რადიოპროტექტორების ხმარების შემთხვევაში.

ადაპტოგენებს მიეკუთვნება ვიტამინო-ამინოკომპლექსური ნაერთები, ენ-შენი, ეკლიანი ელემენტაროკოკი, დიბაზოლი და სხვ.

ძელის ტვინის გადანერგვა. ბიოლოგიური დაცვის ერთ-ერთი სახეა ძელის ტვინის გადანერგვა. არჩევენ აუტოლოგიურ (საკუთარ) და იზოლოგიურ (გენეტიკურად ერთი — მაგალითად, ერთი კვერცხუჯრედისგან განვითარებული ტყუბი), ჰომოლოგიურ, ანუ ალოგენურ (ერთი და იმავე სახეობის, მაგრამ გენეტიკურად სხვადასხვა) და ჰეტეროგენულ (სხვა სახეობის ცხოველის) ძელის ტვინს. ეფექტს იძლევა მხოლოდ აუტოლოგიური ძელის ტვინის გადანერგვა (ზოგ შემთხვევაში შეიძლება აგრეთვე იზოლოგიურიც). დანარჩენი სახის გადანერგვა, განსაკუთრებით კი ჰეტეროგენული, საშიშია. თუმცა ექსპერიმენტში ასეთი „რადიაციული ქიმერები“ მიღებულია, ცხოველები ცოცხლობენ, მაგრამ მათი სიცოცხლის ხანგრძლივობა შემცირებულია. ასეთი გადანერგვების დროს საჭიროა რეციპიენტის იმუნოლოგიური რეაქციის დათრგუნვა მით უფრო მეტად, რაც უფრო შორს არიან ერთმანეთისაგან ტაქსონომიურ და გენეტიკურ ურთიერთობაში რეციპიენტი და დონორი.

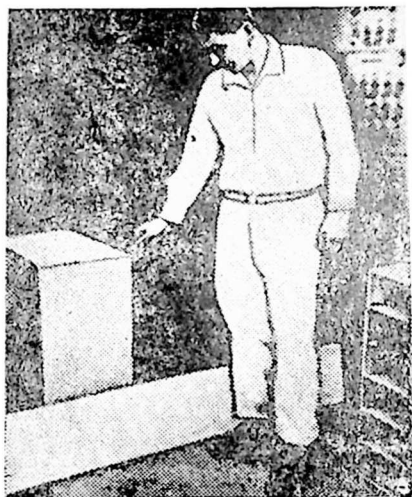
ბიოლოგიური დაცვის ეს სახეობა ფართო პერსპექტივებს იძლევა კოსმოსური ფრენის პრაქტიკაში.

ბიოლოგიური დაცვის ერთ-ერთი სახეა გარკვეული დიამაზონისა და სიხშირის მაგნიტური ველის მოქმედება დასხივებულ ორგანიზმზე, როცა აღდგენითი პროცესები ინტენსიურდება, ქსოვილოვანი სპეციფიკის ნორმალიზაცია, ორგანოთა სტრუქტურისა და ცილის სრული აღდგენა ხდება. ამ მეთოდის ერთ-ერთი უპირატესობაა მისი გამოყენების ეფექტურობა. არა მარტო ორგანიზმის დასხივებამდე, არამედ დასხივების შემდეგ ხმარების დროსაც.

ორგანიზმის დაცვის ერთ-ერთი სახეობაა ლოკალური დაცვა. ამ დროს ფიზიკური (მექანიკური) მეთოდებით ხორციელდება გამოსხვებისადმი მალალი რადიოდამზიანებლობის მქონე ორგანოების დაცვა, ისეთების, როგორიც არის ძელის წითელი ტვინი, ელენთა, წვრილი ნაწლავის ეპითელიუმი და სხვ. ამ დროს დაცული უნდა იყოს სხეულის 10—15% მაინც, ხოლო ეკრანირებით დოზა შემცირდეს არანაკლებ 4-ჯერ. ლოკალური დაცვის დროს ეფექტს განაპირობებს არა

იმდენად დოზის შემცირება, რამდენადაც გადარჩენილი სალი ქსოვილები, რომელთა ფუნქციონირებით ორგანიზმი აღადგენს დანაკლისს.

ზოგ შემთხვევაში ლოკალურ დაცვასთან ერთად ხმარობენ დაცვის ქიმიურ საშუალებებსაც. ეს ე. წ. კომბინირებული დაცვაა. აღსანიშნავია, რომ ამ დროს სხივური დაზიანების სიმპტომები მცირდება ქრონიკული დასხივების დროსაც კი (უფრო მეტად, ვიდრე მწვავე დასხივების დროს). ეს მეთოდი შედარებით ფართოდაა გამოყენებული კოსმოსურ მედიცინაში.



სურ. 33. „სადისციპლინო“ ბარიერი:  
 ა — აქტიურ ზონაში შესვლა, ბ — აქტიური ზონიდან გამოსვლა.

### სანიტარიულ-დოზიმეტრიული კონტროლი, მისი მიზნები და ამოცანები

დაწესებულებაში, სადაც მიმდინარეობს მუშაობა რადიაქტიურ ნივთიერებებზე ან გამოსხივების წყაროებზე, აუცილებელია გეგმური სანიტარიულ-დოზიმეტრიული გამოკვლევების ჩატარება, ხოლო ავარიულ შემთხვევებში — საგანგებო გაზომვები. სანიტარიულ-დოზიმეტრიული კონტროლი ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი პირობაა იმ საწარმოთა ჰიგიენური შეფასების საკითხში, რომლებიც რადიაქტიურ ნივთიერებებსა და გამოსხივების სხვა წყაროებს ხმარობენ. სანიტარი-



ული გამოკვლევის ძირითადი მიზანია დაადგინოს მომსახურე პერსონალისა და ირგვლივ მყოფი მცხოვრებლების მიმართ რადიაციული საშიშროებისა და გარემოს დაბინძურების რეალური გზები. ყოველივე ეს კი, თავის მხრივ, უზრუნველყოფს ნორმალური შრომის პირობების შექმნასა და მომსახურე პერსონალისა და მოსახლეობის ჯანმრთელობის დაცვას.

გეგმურ რადიომეტრიულ და დოზიმეტრიულ კონტროლს ახორციელებს თვით დაწესებულება თავისი საკუთარი ძალებით, ხოლო პერიოდულად ასეთ გამოკვლევებს ატარებს სანიტარიულ-ეპიდემიოლოგიური სადგურები. ხორციელდება წინასწარი და მიმდინარე სანიტარიული ზედამხედველობა. წინასწარი სანიტარიული ზედამხედველობა მიზნად ისახავს როგორც ზოგადპიგიენური, ისე სპეციალური ღონისძიებების შემუშავებას რადიაქტიურ ნივთიერებებსა და მაიონიზებელი გამოსხივების წყაროებზე მომუშავე ახლად ასაშენებელი (ან რეკონსტრუქციისათვის განკუთვნილი) დაწესებულებებისათვის, რათა უზრუნველყოს როგორც მოსახლეობის ნორმალური სანიტარიულ-პიგიენური პირობები, ასევე გამოსხივების სფეროში მომსახურე პერსონალისათვის უვნებელი შრომის პირობები. ეს ღონისძიებები ეხება ადგილმდებარეობის შერჩევას, წყალმომარაგებას, კანალიზაციას, რადიაქტიური გაუვნებლებისათვის განკუთვნილ დანადგართა შერჩევას, რადიაქტიური ნარჩენების გატანა-გაუვნებლებას, მომსახურე პერსონალისათვის ღონისძიებების შემუშავებას მათი შინაგანი და გარეგანი დასხივებისაგან დასაცავად, პროექტების სანიტარიულ ექსპერტიზას და სხვ.

პროექტების სანიტარიული ექსპერტიზა შეიძლება ეხებოდეს როგორც ახლად ასაშენებელ რადიოლოგიურ დაწესებულებებს, ასევე სარეკონსტრუქციო რადიოლოგიურ ობიექტებს. ექსპერტიზის ჩატარებისას განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიაქციონ ობიექტის თავისებურებას — რა დანიშნულებისაა იგი — (სამრეწველო, სამედიცინო, დიაგნოსტიკური, სამკურნალო), როგორი წყაროები იქნება მასში გამოყენებული (ღია; დახურული), რომელი რადიონუკლიდები (საჭიროა ამ რადიონუკლიდების გამოსხივების სპექტრის, ენერჯის ცოდნა), როგორი კატეგორიისაა ეს ობიექტი, რა კლასის სამუშაოებია შეხასრულებელი და სხვ. ამ საკითხების მიხედვით უნდა წყდებოდეს რადიაციული დაცვის ღონისძიებების შეფასება პროექტებში. ამავე დროს გასათვალისწინებელია ობიექტის სამუშაო მოცულობის ზრდის პერსპექტივები. პროექტების სანიტარიული ექსპერტიზა იწყება ადგილმდებარეობის შერჩევაში მონაწილეობით, შემდგომ ამ პროექტების განხილვით. მშენებლობის პროცესში სავალდებულოა სანიტარიული ზედამხედველობის დაწესება ობიექტის მშენებლობაზე, რეკონსტრუქ-

ციასა და მათი ექსპლუატაციის დაწყებაზე. სანიტარიული ექსპერტიზა მოიცავს აგრეთვე ამ დაწესებულებებში დასამონტაჟებელი დანადგარების (რადიაციული წყაროების), მათგან დასაცავი მოწყობილობების, ტექნოლოგიური ხელსაწყოებისა და სხვ. განხილვას და მათი დამონტაჟების თანხმობას. ყველა ამ სამუშაოს ჩატარების შემდეგ მოქმედი სანიტარიული წესდების საფუძველზე გასცემენ დასკვნას და პასპორტს, რომელიც დაწესებულებას რადიაქტიური წყაროების მიწების, ტრანსპორტირების, შენახვისა და გამოყენების უფლებას აძლევს.

მიმდინარე სანიტარიული კონტროლის ამოცანაა თვალყურის დევნება ლეზაქტივაციის ეფექტურობაზე, აეროზოლებისა და ნახშირი წყლის გაწმენდის ხარისხზე, დაკვირვებით ღონისძიებების სრულყოფაზე და სხვ ეს კონტროლი გულისხმობს გამოსხივების დოზის დადგენას სამუშაო ადგილებზე, რადიაქტიური დაბინძურების გაზომვას, ჰაერში აეროზოლისა და რადიაქტიური აირის დადგენას და სხვ.

რადიომეტრიულ-დოზიმეტრიული კონტროლი შეთავსებული უნდა იყოს ზოგადსანიტარიულ კონტროლთან, ვინაიდან წარმოებებში, სადაც იყენებენ რადიაქტიურ ელემენტებს და გამოსხივების წყაროებს, წარმოიქმნება გრძელტალღიანი გამოსხივება, ოზონი, აზოტის უანგეულუები; აღინიშნება ხმაური, ვიბრაცია და სხვ.

ღია წყაროებთან მუშაობის დროს I და II კლასის სამუშაოების შესრულებისას საჭიროა შენობის ჰაერში რადიაქტიური ნივთიერების შემცველობის სისტემატური განსაზღვრა. III კლასის სამუშაოების დროს კი ასეთი კონტროლი უნდა ჩატარონ პერიოდულად. სამუშაო იარაღებისა და ზედაპირების კონტროლს უნდა ახორციელებდნენ მუდმივად ყველა კლასის სამუშაოს შესრულების დროს. ხელებისა და ტანსაცმლის სისუფთავე უნდა შეამოწმონ ყველა შემთხვევაში, როცა პერსონალი გამოდის ლაბორატორიიდან. ყველა კლასის სამუშაოს შესრულების დროს საჭიროა გარეგანი დასხივების ინდივიდუალური ყოველკვირეული კონტროლი (ქამური დოზა), ხოლო საჭიროების დროს — უფრო ხშირადაც.

დახურულ წყაროებთან მუშაობის დროს დოზიმეტრიული კონტროლი მიზნად ისახავს ყოველი პირის ინდივიდუალური დასხივების დოზის სისტემატურ (მთელი კვირის განმავლობაში) გაანგარიშებას. კვირაში ერთხელ უნდა გაზომონ დასხივების დოზა სამუშაო ადგილებზე და თვეში ერთხელ შენობის მიმდებარე ადგილებში.

ბეტა- და გამა-გამომსხივებელ ღია თუ დახურულ წყაროებთან მუშაობის დაწყების წინ საჭიროა დაკვირვებით საშუალებების ეფექტურობის დოზიმეტრიული შემოწმება. დოზიმეტრიული კონტროლი ორი სახისაა: ზოგადი და ინდივიდუალური.

ზოგადი დოზიმეტრიული კონტროლი შეიძლება როგორც სტაციონარული, ასევე გადამტანი ტიპის რადიომეტრ-დოზიმეტრებით (სურ. 34).

ზოგად დოზიმეტრიულ კონტროლს ატარებენ ისეთ დაწესებულებებსა და ადგილებში, სადაც აუცილებელია განუწყვეტელი ან ყოველდღიური დაკვირვება, ვინაიდან იქ მუდმივად მიმდინარეობს მუშაობა რადიაქტიურ იზოტოპზე და სისტემატურად იმყოფება მომსახურე პერსონალიც. აპარატურა ზომავს დასხივების დოზის სიმძლავრეს, ადგენს ჰაერის, სამუშაო ადგილების, იარაღების დაბინძურების დონეს. თუ გამოსხივება ან დაბინძურება გადააჭარბებს ზღვრულად დასაშვებ დოზას ან დონეს, იგი იძლევა გამაფრთხილებელ ნიშანს.

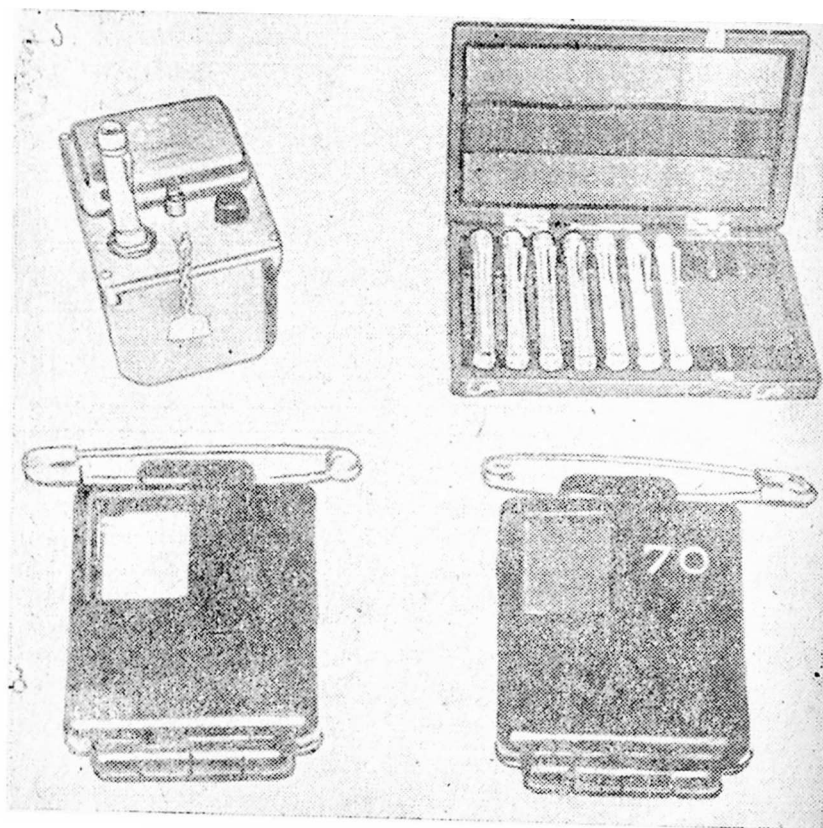
ინდივიდუალურ დოზიმეტრიულ კონტროლს უტარებენ თითოეულ მუშაკს. ამისათვის იყენებენ დოზიმეტრებს (სურ. 35). ინდივიდუალური დოზიმეტრიის მეთოდებს მიეკუთვნება ინდივიდუალური დოზიმეტრიული კონტროლი (საიონიზაციო კამერების გამოყენებით), ინდივიდუალური ფოტოკონტროლი (ფოტოფირების გამოყენებით), ინდივიდუალური ლუმინესცენციური კონტროლი (ფოსფორესცენციის გამოყენებით). რომელი მეთოდითაც უნდა ატარებდნენ ინდივიდუალურ დოზიმეტრიას, ჯიბის დოზიმეტრები უნდა მოათავსონ იმ არეში, სადაც მოსალოდნელია ყველაზე მეტი დასხივება (თავი, გულმკერდი, მუცელი, ხელები და სხვ.).



სურ. 34. დაცვის ეფექტურობის საკონტროლო დოზიმეტრი „THCC“.

ზოგადი დოზიმეტრიული კონტროლი და ინდივიდუალური დოზიმეტრიული კონტროლი საიონიზაციო კამერებისა და ლუმინესცენციური კონტროლით ფიზიკური დოზიმეტრიის ერთ-ერთი სახეა. რაც შეეხება ფოტოფირების გამოყენებას, ეს ქიმიური დოზიმეტრიაა. არსებობს დოზიმეტრიის კიდევ ერთი სახე — ბიოლოგიური, რომელიც დამყარებულია გამოსხივებით კანზე ერთეულის წარმოქმნის უნარზე (ამ მეთოდს იყენებდნენ რენტგენოლოგიისა და რადიოლოგიის, როგორც მეცნიერების ჩამოყალიბების დასაწყისში). ამჟამად იყენებენ ბაქტერიული ან ქსოვილოვანი კულტურის ან ერთუჯრედი-

ნი ცხოველების დასხივებას და შემდეგ დასხივებულ უჯრედებში ქრომოსომული აბერაციების, მიტოზური ინდექსის ან რომელიმე სხვა ციტოლოგიური მაჩვენებლის განსაზღვრას, წინასწარ დადგენილი სტატისტიკური სტანდარტების მიხედვით.



სურ. 35. ინდივიდუალური დოზიმეტრები:

ა — საიონიზაციო კამერები „DK—0,2“ და მათი დამუხტავი მოწყობილობა,  
 ბ — ფოტოდოზიმეტრები, გ — დენსიტომეტრი.

დოზიმეტრიული კონტროლის მონაცემები უნდა შეიტანონ ცალკე ფურცალში, რომლის მიხედვითაც გაიანგარიშებენ პერსონალის მიერ ერთი წლის განმავლობაში მიღებულ ჯამურ დოზას. თითოეულ პირზე ადგენენ ინდივიდუალურ ბარათს, რომელშიც შეაქვთ ეს მონაცემები,

კერძოდ, ინდივიდუალური დასხივების დოზა მთელი მისი პროფესიული საქმიანობის პერიოდში და სამუშაო პირობების რადიოლოგიური დახასიათება (პაერის რადიაქტივობა, სამუშაო ადგილების რადიაქტიური დაბინძურება და სხვ.). დასხივების გადიდებული რაოდენობით მიღების შემთხვევაში გამოსხივების შთანთქმული დოზის შემცირების მიზნით უნდა დასახონ პროფილაქტიკური ღონისძიებანი. შესაძლებელია პერსონალის დროებით გამოყვანაც კი დასხივების სფეროდან.

ამგვარად, სისტემატური დოზიმეტრიული კონტროლი დაბინძურებული ადგილების გამოსხივების მაღალი დონის დროულად დადგენის საშუალებაა, რათა არ მოხდეს მომსახურე პერსონალის დასხივება ზედმეტი დოზებით.

პრაქტიკული ღონისძიებების გატარებაში დიდი მნიშვნელობა აქვს პროფესიულ ინსტრუქტაჟს. ყოველმა მუშაკმა, სანამ დაიწყებს მუშაობას მაიონიზებული გამოსხივების წყაროებთან, უნდა გაიაროს სპეციალური ინსტრუქტაჟი და ჩააბაროს ტექმინიმუმი რადიაციული უშიშროებისა და დაცვის საკითხებზე. 6 თვეში ერთხელ მიმდინარეობს მათი განმეორებითი გამოცდა.

მიმდინარე და წინასწარი სანიტარიული ზედამხედველობის შედეგებს აფორმებენ სპეციალური დოკუმენტების სახით, რომლებიც სხვადასხვა სახისაა. ძირითადი მათგანი სანიტარიული პასპორტია. სანიტარიული პასპორტი სხვადასხვაგვარია იმის მიხედვით, თუ რა სახის წყაროებთან უნდა წარიმართოს მუშაობა ან თუ იმ დაწესებულებაში არის პასპორტი, რომელიც უფლებას აძლევს დაწესებულებას დახურული წყაროების შენახვისა და მათზე მუშაობის. თუ დაწესებულებას ღია წყაროების გამოყენების უფლებას აძლევენ. მაშინ შეავსებენ სხვა სახის პასპორტს. სანიტარიულ პასპორტს ადგენენ აგრეთვე სპეციალიზირებულ მანქანაზე, როდესაც რადიაქტიური ნივთიერების ტრანსპორტირების უფლება ეძლევა. არსებობს დოკუმენტი რადიაქტიური ნივთიერების შესაკვეთად. ყოველ დაწესებულებას, რომელიც გამოიყენებს რადიონუკლიდებს ან თუ იმ სახით, აუცილებლად



3 — დენსიტომეტრი.

უნდა ჰქონდეს ჟურნალი, სადაც შეტანილი იქნება იმ პირთა გვარები, რომლებიც პასუხისმგებელი არიან რადიონუკლიდების მიღებაზე, შენახვაზე და გაცემაზე. ცალკე უნდა არსებობდეს ჟურნალი, რომელშიც აღნიშნავენ რადიაქტიური ნივთიერებების, რადიომეტრიული და დოზიმეტრიული აპარატურის მიღება-გაცემას. რადიაქტიური ნივთიერების დახარჯვაზე აუცილებლად უნდა შეადგინონ აქტი. ასევე უნდა შეიქმნას სპეციალური ჟურნალი რადიაქტიურ გადანაყრებზე და სხვ.

## სამედიცინო კონტროლი

პერსონალი, რომელიც მუშაობს რადიაქტიურ ნივთიერებებსა და მაიონიზებული გამოსხივების წყაროებზე, სავალდებულოა გადიოდეს წინასწარ და პერიოდულ სამედიცინო შემოწმებას.

წინასწარი სამედიცინო შემოწმების მიზანია არ დაუშვას წარმოებაში ისეთი პირები, რომელთაც ჯანმრთელობის მხრივ აღენიშნებათ რაიმე გადახრები. სსრ კავშირის ჯანმრთელობის მინისტრის ბრძანებაში (1969 წელი, № 400) მოყვანილია იმ დაავადებების ნუსხა, რომელთა შემთხვევაში დაავადებული არ დაიშვება სამუშაოდ რადიაქტიურ ნივთიერებებსა და მაიონიზებული გამოსხივების წყაროებთან. ასეთ დაავადებებს მიეკუთვნება: სისხლის სისტემური დაავადებები, ცენტრალური და პერიფერიული ნერვული სისტემის, კუჭ-ნაწლავის ტრაქტის ორგანული დაავადებები, ლვიძლისა და სანაღვლე გზების, თირკმლების, გულ-სისხლძარღვთა, ენდოკრინული სისტემის დაავადებები, ოვარიულ-მენსტრუალური ფუნქციის მოშლა და სხვ. აღსანიშნავია აგრეთვე, რომ სანიტარიული წესდების მიხედვით ასეთი ტიპის საწარმოებში მიიღებიან მუშაკები მხოლოდ 18 წლის ასაკს ზევით.

წინასწარი სამედიცინო შემოწმების შედეგად მიღებული მონაცემები (პერიფერიული სისხლის სურათი, შინაგანი ორგანოების მდგომარეობა და სხვ.), გარდა იმისა, რომ საშუალებას იძლევა სწორად შეარჩიონ ჯანმრთელი კონტინგენტი, ხელს უწყობენ შემდგომი მუშაობის პროცესში მიღებული ცვლილებების ინტერპრეტაციას.

ზოგჯერ პროფესიულ დასხივებასთან დაკავშირებული ცვლილებები ისეთი უმნიშვნელოა და ისე შეუმჩნევლად ვითარდება, რომ თუ არ არსებობს წინასწარი მონაცემები, ე. წ. ფონი, ძალიან ძნელია მათი დადგენა. ამდენად წინასწარი სამედიცინო შემოწმება იძლევა მუშაობის პროცესში პერიოდული სამედიცინო გამოკვლევების შედეგად გამოვლენილი ცვლილებების ნაადრევი შეფასების საშუალებას.

პერიოდული სამედიცინო გამოკვლევა მიზნად ისახავს გამოსხივების წყაროებთან მომუშავე პერსონალის ჯანმრთელობის მდგომარეობის შესწავლას დინამიკაში. იგი საშუალებას გვაძლევს ნაადრევად

აღმოვაჩინოთ პროფესიასთან დაკავშირებული პათოლოგიური ძვრები ორგანიზმში. გარდა ამისა, პერიოდული სამედიცინო კონტროლის მეშვეობით შეიძლება არაპროფესიული ხასიათის დაავადებების დადგენაც. ყოველივე ამის საფუძველზე დროულად იქნება დასახული სამკურნალო-პროფილაქტიკური ღონისძიებები.

პათოლოგიური ცვლილებების დადგენის დროს სამედიცინო დასკვნის გამოტანა საჭიროა მუშაკის მუშაობის სანიტარიულ-ჰიგიენური პირობებისა და დინამიკური დოზიმეტრიული გამოკვლევების გათვალისწინებით, რათა სწორად გადაწყდეს დაავადების ეტიოლოგიური მომენტი, რომელსაც გადაწყვეტი მნიშვნელობა აქვს არა მარტო სამკურნალო-პროფილაქტიკური ღონისძიებების სწორად დაგეგმვასა და გატარებაში, არამედ მუშაკის პროფესიული ბედის გადაწყვეტაშიც.

საბჭოთა კანონმდებლობით დადგენილია, რომ პერიოდული სამედიცინო შემოწმება უნდა ტარდებოდეს წელიწადში ერთხელ. მაგრამ ზოგ შემთხვევაში, როდესაც პერსონალს კონტაქტი აქვს მაღალტოქსიკურ იზოტოპებთან ან ძლიერ მაღალი აქტივობის წყაროებთან, შეიქმნება ავარიული სიტუაციები და სხვ., შესაძლებელია გამოკვლევების უფრო ხშირადაც ჩატარება. ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში ამას გეგმავს დაწესებულების ხელმძღვანელობა სამედიცინო და დოზიმეტრიულ სამსახურთან ერთად.

სამედიცინო შემოწმებაში (როგორც წინასწარ, ასევე მიმდინარე) მონაწილეობენ თერაპევტი, ნევროპათოლოგი, გინეკოლოგი. თუ სპეციალისტს ლეზულობენ მძლავრ გამომსხივებელ წყაროებზე სამუშაოდ (მაგალითად, ამჩქარებლები, რეაქტორი, დეფექტოსკოპია და სხვ.) ან ესა თუ ის პიროვნება მუშაობს ასეთ წყაროებზე, აუცილებელია ოკულისტის მოწვევა, ვინაიდან ცნობილია, რომ ასეთი დასხივება იწვევს კატარაქტას. რიგ შემთხვევაში შესაძლებელია შეიქმნას სხვა სპეციალისტების მოწვევის აუცილებლობაც. რენტგენოლოგიური გამოკვლევების ჩატარება შეიძლება, მაგრამ ამისათვის უნდა იყოს პირდაპირი და აუცილებელი ჩვენება. სხვა შემთხვევებში უნდა ვეცადოთ ამ გამოკვლევების შეზღუდვას, ვინაიდან იგი ქმნის დამატებით დასხივებას, რომელიც ბევრად აღემატება დასაშვებ წლიურ დოზას და, რასაკვირველია, სასურველი არ არის.

ქალები ორსულობის მთელ პერიოდში თავისუფლდებიან გამომსხივებელ წყაროებზე მუშაობისაგან. ხოლო თუ ისინი მუშაობენ ღია წყაროებთან, მაშინ თავისუფლდებიან ლაქტაციის მთელ პერიოდშიც.

წინასწარი და პერიოდული სამედიცინო გამოკვლევის შედეგები შეაქვთ თითოეულ მუშაკზე გახსნილ სამედიცინო წიგნაკში.

**დაცვისა და გამოსხივების დოზის მათემატიკური  
განგარიშების მეთოდები**

წინასწარი სანიტარიული მეთვალყურეობის პროცესში დიდი მნიშვნელობა აქვს რადიქტიურ ნივთიერებებთან და მაიონიზებელი გამოსხივების წყაროებთან მომუშავე დაწესებულებაში დაცვითი დონის დიქციების შემუშავებას და პერსონალზე მოქმედი გამოსხივების დოზის წინასწარ გაანგარიშებას. ამის ჩატარება შესაძლებელია მათემატიკური გაანგარიშების საშუალებით. იმასთან დაკავშირებით, რომ დაცვის საპროექტო გაანგარიშებანი არ არის ზუსტი და ამა თუ იმ გამოსხივების ბიოლოგიური მოქმედების ეფექტურობის შეფასებაც არ შეიძლება იყოს ზუსტი, შემოღებულია ე. წ. თადარიგის კოეფიციენტი, — რომელიც უდრის 2 (K-2). ვინაიდან დაცვა იანგარიშება ერთ-ერთ რომელიმე წყაროზე, ამიტომ ამ კოეფიციენტში არ შედის სხვა წყაროებიდან მიღებული დასხივება, აგრეთვე რადიქტიური ნივთიერებების სორბცია კონსტრუქციულ მასალაზე, წყაროს სიმძლავრის გადიდების პერსპექტივა და სხვ., ამიტომ ამ უკანასკნელთა მხედველობაში მიღება უნდა ხდებოდეს დამატებითი კოეფიციენტის შეტანით.

დაცვის სისქის გაანგარიშებისათვის უნდა გამოვიყენოთ ფორმულა:

$$d = \frac{\ln K + \ln f(d) + 5,124}{u}, \text{ სადაც}$$

d — დაცვის სისქეა სანტიმეტრებით,

K — კოეფიციენტი, რომელიც დამახასიათებელია იმ პირობებისათვის, რომლისთვისაც იანგარიშება დაცვა  $K = \frac{M \cdot t}{R^2}$ , სადაც M გამაეკვივალენტია, გამოხატული რადიუმის მილიგრამ ეკვივალენტობით, t — დასხივების დრო საათობით და R — დასხივების მანძილი სანტიმეტრობით;

f(d) — მატების მამრაველი, რომელიც ითვალისწინებს გაფანტულ გამოსხივებას;

u — ხაზოვანი შესუსტების კოეფიციენტი;

5,124 — დაცვის შემდგომი დასაშვები დოზის სიმძლავრის ლოგარითმი.

დაცვისა და დასხივების დოზების გაანგარიშება ჰიგიენურ პრაქტიკაში ძირითადად გამოყენებულია გამა-, რენტგენისა და ნეიტრონული გამოსხივებისათვის.

წინა თავებში აღნიშნული იყო, რომ პერსონალის დაცვა დასხივე-



ბისაგან შესაძლებელია ოთხი ძირითადი საშუალებით: დაცვა მანძილით (პერსონალსა და წყაროს შორის მანძილის გადიდება), დაცვა დროით (აქტიურ წყაროსთან სამუშაო დროის ხანგრძლივობის შემცირებით), დაცვა რაოდენობით (სამუშაო ადგილზე რაც შეიძლება ნაკლებ აქტივობასთან მანიპულაცია) და დაცვა ეკრანებით. ყველა ჩამოთვლილი შემთხვევის ამ პარამეტრების გაანგარიშება შეიძლება მათემატიკურად.

დაცვა მანძილით. იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ გამომსხივებელ წყაროსა და მომსახურე პერსონალს შორის მანძილი, რომელზეც მუშაობა არ გამოიწვევს პერსონალის დასხივებას დასაშვებზე მეტი დოზით, უნდა ვისარგებლოთ ფორმულით:

$$R_0 = \sqrt{\frac{M \cdot 8,4 \cdot t}{D_0 \cdot 10^4}}, \text{ სადაც}$$

$R_0$  — მანძილია წყაროსა და სამუშაო ადგილს შორის, გამოხატული მეტრებით;

$M$  — იზოტოპის გამა-ეკვივალენტი, გამოსახული რადიუმის მილიგრამ-ეკვივალენტობით;

$t$  — კვირის განმავლობაში ნამუშევარი დრო, გამოსახული საათობით;

$D_0$  — ზღვრულად დასაშვები დოზა, გამოსახული რენტგენი/კვირაში.

უნდა აღვნიშნოთ, რომ დაცვა მანძილით ყველაზე საუკეთესო დაცვაა, ვინაიდან დასხივების დოზის სიმძლავრე უკუპროპორციულ დამოკიდებულებაშია მანძილის კვადრატთან. ეს იმას ნიშნავს, რომ თუ მანძილი გადიდება ორჯერ, დასხივება შემცირდება ოთხჯერ, თუ მანძილი გადიდება ოთხჯერ, დასხივება შემცირდება თექვსმეტჯერ და ა. შ.

დაცვა დროით. გამოსხივების წყაროსთან მუშაობა ისე უნდა იყოს ორგანიზებული, რომ მომსახურე პერსონალი რაც შეიძლება ნაკლები დროის განმავლობაში იყოს მასთან კონტაქტში. თუ დოზის სიმძლავრე აღემატება დასაშვებ დონეს, მაშინ მუშაობა ისე უნდა იყოს რეგულამენტებული, რომ დასხივების დოზა არ აღემატებოდეს ზღვრულად დასაშვებს. ამისათვის გამოყენებულია ფორმულა:

$$t = \frac{D_0 \cdot R^2 \cdot 10^4}{M \cdot 8,4} \text{ საათი/კვირაში, სადაც}$$

$D_0$  — ზღვრულად დასაშვები დოზა (რენტგენი/კვირაში);

$R$  — მანძილი წყაროსა და მუშაკს შორის (მეტრი);

$M$  — იზოტოპის გამა-ეკვივალენტი (მილიგრამ-ეკვივალენტი).

დაცვა რაოდენობით. თუ ცნობილია მანძილი გამომსხივებელ წყაროსა და მუშაკს შორის, აგრეთვე სამუშაო დროის ხანგრძლივობა, იმისათვის, რომ მომსახურე პერსონალმა არ მიიღოს ზღვრულად დასაშვებ დოზაზე მეტი დასხივება, უნდა ვიცოდეთ რადიექტიური ელემენტის ის ზუსტი რაოდენობა, რომელიც შეიძლება იყოს სამუშაო ადგილზე და რომელზეც უნდა ჩატარდეს მანიპულაცია. ამისათვის გამოყენებულია ფორმულა:

$$M = \frac{D_0 \cdot R^2 \cdot 10^4}{8,4 \cdot t}, \text{ სადაც}$$

$M$  — იზოტოპის გამა-ეკვივალენტია მილიგრამ-ეკვივალენტობით;  
 $D_0$  — კვირის ზღვრულად დასაშვები დოზა (რენტგენი/კვირაში);  
 $R$  — მანძილი წყაროსა და სამუშაო ადგილს შორის მეტრობით;  
 $t$  — კვირის განმავლობაში ნამუშევარი დრო საათობით.

დაცვა ფარებით. ფარებით პერსონალის დასაცავად ფარის სისქე უნდა გავიანგარიშოთ. ფარის სისქე მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული, პირველ ყოვლისა, თვით ნივთიერებაზე, რომლისგანაც გვსურს ფარის დამზადება, აგრეთვე გამოსხივების სახეობასა და ენერგიაზე. ეს ნათლად ჩანს 44 ცხრილიდან.

ც ხ რ ი ლ ე 44

ზოგიერთი ნივთიერების დაცვის სისქე (სმ), რომელიც 1000-ქერ ამცირებს სხვადასხვა ენერგიის მქონე გამა-გამოსხივების დოზის სიმძლავრეს

ნ ი ვ თ ი ე რ ე ბ ა	გამოსხივების ენერგია (მეგ)			
	0,1	0,2	0,5	1,0
ტყვია	0,7	1,5	4,4	10,2
ოქინა	4,5	8,2	19,0	20,5
ბეტონი	15,5	28,2	55,2	70,4
წყალი	72,0	92,0	118,0	143,0

ფარის სისქის გაანგარიშებისას მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე რადიექტიური წყაროს აქტივობას და იმ მანძილს, რომელზეც იმყოფება და მუშაობს პერსონალი.

ფარის სისქის გაანგარიშება ნახევარშესუსტების შრეების გამოყენებით. ნახევარშესუსტების შრე ( $\Delta 1/2$ ) ეწოდება ფარის ისეთ სისქეს, რომელიც ასუსტებს გამოსხივებას ორჯერ. ნახევარშესუსტების შრის სისქე, გარდა თვით მასალის ხასიათისა, დამოკიდებულია გამოსხივების ენერგიაზე. ამის საილუსტრაციოდ მოგვყავს ნახევარშესუსტებისა და ათმაგშესუსტების შრის სისქის დამოკიდებულება გამა-გამოსხივების ენერგიის სიდიდეზე.

გამა-გამოსხივების ნახევარშესუსტების ( $\Delta \frac{1}{2}$ ) და ათმაგშესუსტების ( $\Delta 10$ ) შრე მშ-ობით

გამოსხივების ენერგია მევ.	ტყვია		ბეტონი	
	1/2	10	1/2	10
0,1	1,0	3,0	4,7	8,2
0,2	2,0	5,5	7,6	14,6
0,5	5,0	16,0	12,3	25,8
1,0	13,0	38,0	22,9	99,9

ნახევარშესუსტების შრის რაოდენობასა და გამოსხივების შემცირების ჩერადობას შორის დამოკიდებულება მოცემულია 46-ე ცხრილში.

ცხრილი 46

შესუსტების ჩერადობა	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024
ნახევარშესუსტების შრეების რაოდენობა	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

დაეუშვათ, საჭიროა ბეტონის კედლის აგება, რომელიც შეამცირებს 0,5 მევ ენერგიის გამოსხივებას 500-ჯერ. 46-ე ცხრილში ვნახულობთ, რომ მისი სისქე უნდა უდრიდეს 9 ნახევარშესუსტების შრეს. 45-ე ცხრილიდან ვგებულობთ, რომ 0,5 მევ ენერგიის მქონე გამა-გამოსხივების ნახევარშესუსტების შრე ბეტონისათვის არის 12,3 მმ. მაშასადამე, დაცვისათვის საჭირო კედლის სისქე იქნება  $12,3 \times 9 = 110,7$  მმ, ანუ 11,07 სმ.

თუ იგივე გადაანგარიშებას მოვახდენთ ტყვიაზე, აღმოჩნდება, რომ ტყვიის ფარის სისქე უნდა იყოს  $5 \times 9 = 45$  მმ, ანუ 4,5 სმ.

თუ ფარი მზადდება რომელიმე სხვა ნივთიერებისაგან (ალუმინი, წყალი, აგური, თუჯი და სხვ.), მაშინ შეიძლება ამ ნივთიერებათა სიმკვრივის გადაანგარიშება, ამისათვის ვისარგებლოთ ფორმულით:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}, \text{ სადაც}$$

$d_1$  არის ტყვიის (ან ბეტონის) დაცვის სისქე (რომელსაც ზემომოყვანილი წესით განვსაზღვრავთ);

$d_2$  — საძიებელი ნივთიერების ფარის სისქე;

$d_1$  — ტყვიის (ან ბეტონის) სიმკვრივე;

$d_2$  — საძიებელი ნივთიერების სიმკვრივე.

მოგვეყავს დამცველი ფარების დასამზადებლად გამოსაყენებელი ზოგიერთი ნივთიერებების სიმკვრივე:

ჰაერი — 0,00129                      ალუმინი — 2,7

წყალი — 1,0                              თუჩი — 7,2

აგური — 1,4 — 1,9                  რკინა — 7,89

ბეტონი — 2,1—2,7                    ტყვია — 11,34

თუ ზემოთ მოყვანილ მაგალითში ბეტონის დაცვა უნდა შეიცვალოს თუჩით, მაშინ მივიღებთ:  $\frac{11,07}{d_2} = \frac{7,2}{2,7}$ , საიდანაც  $d = \frac{11,07 \cdot 2,7}{7,2} = 4,15$  სმ. მაშასადამე, თუჯისაგან დამზადებული დაცვა უნდა იყოს 4,15 სმ სისქის.

ფარის სისქის გაანგარიშება ცხრილების საშუალებით. იმისათვის, რომ ვისარგებლოთ ცხრილებით, უნდა ვიცოდეთ გამოსხივების შესუსტების ჯერადობის კოეფიციენტი ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში. ამისათვის სამუშაო ადგილზე არსებული გამოსხივების დოზის სიმძლავრე (განსაზღვრული იქნება ეს მათემატიკური გაანგარიშებით თუ დოზიმეტრით) უნდა შევუფარდოთ ზღვრულად დასაშვებ დოზის სიმძლავრეს, ე. ი. ვსარგებლობთ ფორმულით:

$$K = \frac{P}{P_0}, \text{ სადაც}$$

$K$  გამოსხივების შესუსტების ჯერადობის კოეფიციენტი;

$P$  — სამუშაო ადგილზე არსებული გამოსხივების დოზის სიმძლავრე;

$P_0$  — ზღვრულად დასაშვები დოზის სიმძლავრე.

დავუშვათ სამუშაო ადგილზე რადიაქტიური  $^{60}\text{Co}$ -ის წყაროს გამა-დასხივების სიმძლავრე  $P$  არის 78 მკ რენტგენი/წამში. იგი უნდა დავიყვანოთ დასაშვებ სიმძლავრეზე  $P_0$ , კერძოდ, 0,78 მკ რენტგენი/წამში. გამოსხივების შესუსტების ჯერადობა იქნება:

$$K = \frac{78}{0,78} = 100.$$

ცნობილია, რომ კობალტ 60-ის გამა-გამოსხივების ენერგია 1,25 მეგ-ია. ცხრილებში (47, 48, 49) ვნახულობთ, რომ 1,25 მეგ ენერგიის

დროს შესუსტების 100-ჯერადობას შეესაბამება ტყვიის 84,5 მმ ან რკინის 16,1 სმ ანდა ბეტონის 54,5 სმ სისქის ფარი.

კორპუსკულური გამოსხივების (მაგალითად, ნეიტრონული) გარეგანი დასხივების დოზის გამოსაანგარიშებლად გამოყენებულია ფორმულა:

$$P = \frac{f \cdot t}{4\pi R^2}, \text{ საღაც}$$

P გამოსხივების ნაკადია ნაწილაკი/სმ<sup>2</sup>;

f — ნაწილაკების რიცხვი, რომელსაც გამოასხივებს წერტილოვანი წყარო<sup>1</sup> დროის ერთეულში;

t — დასხივების დრო;

R — მანძილი წერტილოვან წყაროსა და დასასხივებელ წერტილს შორის.

გაანგარიშების შედეგად მიღებული სიდიდე უნდა შევადაროთ ზღვრულად დასაშვებ რაოდენობას და, თუ საჭირო იქნება, დავსაბოთ სათანადო ღონისძიებანი.

კვანტური გამოსხივების (რენტგენის ან გამა-სხივები) შემთხვევაში გარეგანი დასხივების დოზა იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$D = \frac{P_0 \cdot t}{R^2}, \text{ საღაც}$$

D გარეგანი დასხივების დოზაა, გამოხატული რენტგენობით;

t — დასხივების დრო (საათობით);

P<sub>0</sub> — წყაროს მიერ 1 სმ მანძილზე შექმნილი დოზის სიმძლავრე, გამოხატული რენტგენ/საათობით;

R — მანძილი წყაროსა და დასასხივებელ წერტილს შორის (სანტიმეტრობით).

ვინაიდან 1 მკ აქტივობის თითქმის ყველა რადიაქტიური იზოტოპის გამა-გამოსხივებით 1 სმ-ზე შექმნილი დოზის სიმძლავრე ცნობილია (მას ეწოდება იზოტოპის გამა-მულდმევა და აღინიშნება K<sub>J</sub>-ით), ამიტომ დასხივების დოზის გაანგარიშება შეიძლება შემდეგი ფორმულით:

$$D = \frac{K_J \cdot Q \cdot t}{R^2}, \text{ საღაც}$$

K<sub>J</sub> იზოტოპის გამა-მულდმევა (გამოისახება  $\frac{\text{რენტგენი სმ}^2}{\text{საათი მილიკიური}}$ );

<sup>1</sup> წერტილოვანი ეწოდება ისეთ წყაროს, რომლის სიგრძივი განზომილებები არ აღემატება დასხივების ობიექტამდე მანძილს 1/7-ს.

ბეტონით დაკეობ ხიხობ (სმ) დამოკიდებულზე გამოსხვიების შუბსტუბის ჭრადობას და გამა-გამოსხვიების ენერჯიაზე (განვიერი კონს ნ=მ,მ გ/სმ<sup>2</sup>)

შუბსტუბი ჭრადობა	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,25	1,5	1,75	2	2,2	3	4	6	8	10	
1,5	2,6	4,7	6,3	7,5	8,2	8,2	8,2	8,2	8,3	8,3	8,5	8,6	8,7	8,7	8,8	8,9	9,4	10,0	11,7	11,7	11,7
2	4,7	7,6	9,9	11,3	12,4	12,4	12,4	12,6	12,7	12,9	13,4	13,6	13,8	14,1	14,3	15,3	16,4	18,8	18,8	18,8	18,8
5	5,6	11,0	15,5	18,8	21,3	21,8	22,3	22,6	23,0	23,5	24,6	25,8	27,0	28,2	29,4	32,9	35,2	38,7	39,3	39,3	39,3
8	7,0	12,9	17,8	22,0	24,6	25,6	26,4	27,2	27,9	28,8	30,5	32,2	33,8	35,2	36,4	39,4	43,4	48,1	48,7	49,3	49,3
10	8,2	14,6	19,7	23,7	25,8	26,8	27,6	28,4	29,1	29,9	31,9	34,0	35,9	37,6	39,0	43,4	47,5	51,6	52,8	54,0	54,0
20	8,2	15,3	21,4	25,8	29,9	31,9	33,6	35,0	36,2	37,0	39,9	42,5	44,8	47,0	48,6	54,0	58,7	64,6	65,7	69,3	69,3
30	8,5	16,4	22,8	27,7	32,9	34,8	36,4	37,8	39,2	40,5	43,7	46,5	49,3	51,6	53,5	59,9	65,7	71,6	72,8	78,1	78,1
40	8,5	17,6	24,2	29,6	34,0	36,2	37,9	39,6	41,3	42,8	45,3	49,8	52,2	55,2	57,3	64,0	69,8	77,5	79,2	84,5	84,5
50	9,9	18,8	25,1	30,8	35,0	37,6	39,4	41,2	42,8	44,6	48,5	52,1	55,2	58,1	60,1	66,9	72,8	81,6	83,9	89,8	89,8
60	11,0	20,0	26,1	31,7	36,4	38,5	40,5	42,5	44,1	45,8	50,1	54,0	57,5	60,5	62,7	69,8	74,0	86,1	88,0	93,9	93,9
80	11,5	21,1	27,9	33,6	38,7	41,1	43,0	44,8	46,5	48,1	52,3	56,4	59,9	63,4	65,7	74,0	81,0	90,4	93,9	100,4	100,4
100	11,5	20,4	28,9	35,2	39,9	43,0	45,3	47,2	48,8	50,5	54,5	58,3	62,2	65,7	68,6	77,5	84,5	95,1	98,0	105,1	105,1
2.10 <sup>2</sup>	12,7	23,5	32,4	39,2	44,6	47,9	50,5	52,6	54,6	56,4	60,8	65,3	69,7	74,0	77,2	88,0	95,7	108,0	112,0	120,9	120,9
5.10 <sup>2</sup>	13,8	24,6	35,2	43,9	50,5	54,5	57,3	58,8	62,5	64,6	69,8	74,8	79,8	84,5	88,5	101,0	110,4	124,4	129,7	139,7	139,7
10 <sup>2</sup>	15,5	28,2	39,2	48,1	55,2	59,2	62,5	65,3	67,8	70,4	76,1	81,7	87,6	92,7	97,0	110,9	120,9	137,9	143,2	155,0	155,0
2.10 <sup>3</sup>	17,6	30,5	42,3	52,4	59,9	64,1	67,4	70,4	73,2	75,7	82,2	88,5	94,6	100,4	104,0	120,9	132,1	150,3	156,1	168,5	168,5
5.10 <sup>3</sup>	18,8	33,1	45,6	56,4	65,7	70,0	74,0	77,0	80,2	82,8	90,2	97,4	104,2	110,9	115,5	132,7	146,8	166,7	173,8	186,7	186,7
10 <sup>3</sup>	18,8	35,2	48,9	60,3	70,3	74,7	79,1	82,9	85,2	89,2	97,2	104,5	111,5	118,6	124,7	143,2	156,7	179,0	187,8	201,3	201,3
2.10 <sup>4</sup>	21,1	38,4	51,9	63,4	72,8	78,2	83,1	87,3	91,1	94,5	102,7	110,8	118,6	126,2	131,7	152,6	167,3	190,8	201,9	216,0	216,0
5.10 <sup>4</sup>	30,5	50,5	64,6	75,1	82,8	88,3	93,5	98,1	102,5	106,8	116,9	126,6	135,7	144,4	150,7	173,8	191,4	218,4	231,3	248,9	248,9
2.10 <sup>5</sup>	38,3	56,7	69,8	79,4	86,9	92,4	97,7	102,8	108,0	112,7	125,1	135,6	145,1	153,8	160,2	177,3	201,9	231,3	245,4	263,0	263,0
5.10 <sup>5</sup>	44,8	61,5	73,7	83,7	91,6	98,1	103,9	109,8	114,8	119,7	133,8	142,5	152,6	162,0	169,2	196,0	214,8	247,1	261,8	281,2	281,2
10 <sup>5</sup>	49,3	66,4	79,8	89,8	97,4	103,7	109,2	114,1	119,5	124,4	140,2	149,8	160,6	171,4	178,6	205,4	225,4	260,6	274,7	296,8	296,8
2.10 <sup>6</sup>	67,6	73,1	84,5	93,3	101,0	107,4	113,6	119,7	125,6	131,5	148,4	157,8	169,6	179,6	187,2	213,7	237,1	272,4	287,6	308,8	308,8
5.10 <sup>6</sup>	59,4	79,7	91,6	100,6	108,0	114,1	120,2	126,0	131,3	133,8	154,7	165,8	178,0	189,0	197,8	227,8	250,1	287,6	302,9	327,5	327,5
10 <sup>7</sup>	64,0	84,9	95,7	130,7	110,3	117,4	123,6	130,0	136,2	142,0	160,0	170,8	183,6	194,9	203,4	236,0	259,4	314,6	340,5		

ტყვიით დაცვის ხარისხი (მ) დამოკიდებულება გამოხსენების შესუბნობის ზედასაზღვრის ზედასაზღვრის და გამაგამოსხმების ენერჯიაზე  
(განვიჩი კონს ნ=11,8 კმ/წმ)

ცხრილი 48

შესუბნობის ქარაღობი	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,25	1,5	1,75	2	2,2	3	4	6	8	10
1,5			1,5	2	2	3	4	6	7	8	9,5	11	12	12	12	13	12	10	9	9
2	1,0	2	3	4	5	7	8	10	11,5	13	15	17	18,5	20	20	21	20	16	15	13,5
3	2	4	6	9	11	15	19	22	25	28	34	38	41	43	44	46	45	38	33	30
4	3	5	8	11	15	19,5	23,5	28	32	35	42	48	52,5	55	57	59	58	50	43	38
5	3	5,5	9	13	16	21	26	30,5	35	38	45	51	56	59	61	65	64	55	49	42
6	3	6	11	15	20	26	32,5	38,5	44	49	58	66	72	76	78	83	82	71	63	56
7	3,5	7	11,5	17	23	30	36,5	45	49,5	55	65	73	80	85	88	93	92	80	72	63
8	4	8	13	18	24	31	38	45	52	58	68,5	78	86	91	91	100	99	87	78	68
9	4	8,5	14	19,5	26	31,5	39,5	46	53	60	72	82	90	96	100	106	105	92	83	73
10	4,5	9	14,5	20,5	27	32,5	42	49,5	56	63	75	85	95	101	104	110	109	97	87	77
11	4,5	10	15,5	21,5	28	37	45	53	60	67	80	92	101	107	111	117	116	104	94	82
12	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
13	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
14	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
15	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
16	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
17	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
18	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
19	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
20	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
21	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
22	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
23	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
24	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
25	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
26	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
27	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
28	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
29	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
30	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
31	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
32	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
33	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
34	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
35	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
36	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
37	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
38	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
39	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
40	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
41	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
42	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
43	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
44	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
45	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
46	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
47	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
48	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
49	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
50	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
51	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
52	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
53	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
54	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
55	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
56	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
57	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
58	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
59	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
60	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
61	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
62	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
63	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
64	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109	99	87
65	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5	106	113	117	122	121	109		

რკინის ფარის ხსების დაშლადობა (მმ) გამოხსნების შესუბტების ჰერადობისა და გამო-გამოხსნების ენერჯიაზე  
 ცხრილი 49  
 (განხორ კონა, ტ=7,80 გ/მმ<sup>2</sup>)

შესუბტების ჰერადობა	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,25	1,5	1,75	2	2,2	3	4	6	8	10
1;5	0,5	0,9	1,2	1,4	1,6	1,7	1,85	2,0	2,05	2,1	2,15	2,2	2,3	2,4	2,5	2,7	2,8	2,9	4,0	2,0
2	0,7	1,2	1,7	2,2	2,5	2,7	2,9	3,1	3,2	3,3	3,45	3,6	3,8	3,9	4,1	4,4	4,5	4,6	4,0	3,4
5	1,4	2,5	3,4	4,1	4,8	5,1	5,5	5,7	6,1	6,4	6,9	7,4	7,8	8,1	8,3	8,9	9,4	9,6	9,0	8,0
8	1,7	3,1	4,2	5,1	5,8	6,3	6,7	7,1	6,5	7,8	8,5	9,1	9,6	10,1	10,3	11,2	11,6	12,1	11,2	10,4
10	1,9	3,5	4,6	5,6	6,3	6,8	7,3	7,7	8,1	8,5	9,3	10,0	10,6	11,0	11,4	12,2	12,6	13,2	12,4	11,4
20	2,3	4,3	5,7	6,8	7,7	8,3	8,8	9,4	9,8	10,3	11,3	12,2	13,0	13,6	14,1	15,3	15,9	16,6	17,0	15,0
30	2,4	4,5	6,2	7,5	8,5	9,2	9,8	10,4	10,9	11,4	12,6	13,6	14,4	15,1	15,6	17,0	17,7	18,6	18,0	17,0
40	2,5	4,8	6,6	8,0	9,1	9,8	10,5	11,1	11,7	12,2	13,3	14,4	15,3	16,1	16,6	18,2	19,1	20,4	19,4	18,4
50	2,9	5,2	7,1	8,4	9,5	10,3	11,0	11,6	12,2	12,7	13,9	15,1	16,1	16,9	17,5	19,1	20,0	21,5	20,6	19,6
60	3,1	5,6	7,5	8,8	9,8	10,7	11,4	12,1	12,7	13,2	14,5	15,7	16,7	17,6	18,2	19,9	21,0	22,4	21,4	20,6
80	3,2	5,9	7,7	9,2	10,4	11,2	12,0	12,7	13,4	14,0	15,5	16,3	17,8	18,7	19,4	21,2	22,2	24,0	23,0	22,0
100	3,4	6,1	8,1	9,6	10,8	11,7	12,5	13,2	13,9	14,5	16,1	17,3	18,5	19,5	20,2	22,1	23,3	25,0	24,0	23,1
2,10 <sup>2</sup>	4,2	7,0	9,1	10,7	12,0	13,1	14,0	14,5	15,6	16,3	18,0	19,6	20,8	22,0	22,6	25,0	26,6	28,4	27,4	26,6
5,10 <sup>2</sup>	4,4	7,7	10,1	12,0	13,7	14,9	16,0	17,0	17,9	18,7	20,6	22,4	23,7	25,0	25,9	28,8	30,6	32,7	32,0	31,2
1,10 <sup>3</sup>	4,5	8,2	11,0	13,2	15,0	16,3	17,5	18,6	19,6	20,5	22,6	24,4	26,1	27,5	28,6	31,7	33,7	36,0	38,4	34,6
2,10 <sup>3</sup>	4,9	9,0	11,1	14,4	16,2	17,7	19,0	20,2	21,2	22,2	24,6	26,5	28,3	30,0	31,2	34,6	36,8	39,2	38,7	37,9
5,10 <sup>3</sup>	5,6	10,1	13,4	15,8	17,7	19,3	20,7	22,0	23,2	24,3	27,0	29,4	31,4	33,3	34,3	38,2	40,7	43,2	43,0	42,2
1,10 <sup>4</sup>	6,8	11,5	14,7	17,1	19,0	20,7	22,3	23,6	24,9	26,0	28,8	31,3	33,6	35,5	36,9	40,9	43,7	46,5	46,3	45,2
2,10 <sup>4</sup>	8,0	12,9	16,0	18,3	20,2	21,9	23,4	24,8	26,3	27,6	30,6	33,2	35,8	37,8	39,2	43,4	46,5	50,8	49,6	48,6
5,10 <sup>4</sup>	8,6	13,8	17,0	19,6	21,8	23,6	25,2	26,9	28,4	29,9	33,0	35,9	38,4	40,8	42,3	47,2	50,4	55,0	54,0	53,0
1,10 <sup>5</sup>	10,0	15,8	18,2	20,8	23,0	24,9	26,7	28,4	30,0	31,5	34,9	38,0	40,7	43,2	44,7	50,0	53,4	58,3	57,2	56,1
2,10 <sup>5</sup>	11,3	15,9	19,3	21,8	24,1	26,1	28,1	29,9	31,6	33,3	36,8	40,1	43,0	45,4	47,1	52,6	56,4	61,8	60,8	59,8
5,10 <sup>5</sup>	12,0	16,9	20,4	23,2	25,6	27,8	29,9	31,8	33,6	35,4	39,1	42,5	45,5	48,3	49,9	55,1	60,2	66,0	65,0	64,0
1,10 <sup>6</sup>	12,8	17,9	21,4	24,2	26,7	28,9	31,2	33,3	35,2	37,0	41,1	44,7	47,8	50,6	52,3	58,8	63,3	69,0	68,0	67,0
2,10 <sup>6</sup>	13,5	18,9	22,1	25,0	27,7	30,3	32,7	34,8	36,8	38,7	42,9	46,6	49,9	52,8	54,7	61,4	66,2	72,3	71,2	70,3
5,10 <sup>6</sup>	14,5	19,4	23,2	26,5	29,3	32,2	34,6	36,7	38,8	40,9	45,5	49,4	52,7	55,7	57,7	64,9	70,3	76,5	75,5	74,8
1,10 <sup>7</sup>	15,0	20,3	24,3	27,6	30,5	33,2	35,8	38,1	40,2	42,4	47,1	51,3	54,8	57,9	60,1	67,5	73,1	79,4	78,8	78,0



Q — წყაროს აქტივობა (მილიკიური);  
 დანარჩენი გამოსახულებანი იგივეა, რაც ზემოთ მოყვანილ ფორ-  
 მულაში.

ზოგიერთი ნივთიერების  $K_j$  მოყვანილია 50-ე ცხრილში.

ცხრილი 50

ზოგიერთი იზოტოპის ნახევარდაშლის პერიოდი, ენერჯია და გამა-მულტივა

იზოტოპი	ნახევარდაშლის პერიოდი	გამა-კვანტის ენერჯია (მეე)	გამა-მულტივა (მიეა Kj)
$^{23}\text{Na}$	14,9 საათი	2,76; 1,38	19,06
$^{60}\text{Co}$	5,27 წელი	1,33; 1,17	13,20
$^{131}\text{I}$	8,08 დღე	0,08; 0,72	2,30
$^{137}\text{Cs}$	30 წელი	0,661	3,55
$^{188}\text{Au}$	2,69 დღე	0,41; 1,09	2,47
$^{226}\text{Ra}$	1590 წელი	1,25	8,4
შვილეული პროდუქტები			

ზოგჯერ წყაროს აქტივობა გამოსახულია რადიუმის მილიგრამ-  
 ეკვივალენტობით. ასეთ შემთხვევაში დასხივების დოზის მათემატიკუ-  
 რი გაიიანგარიშებისათვის უნდა ვისარგებლოთ შემდეგი ფორმულით:

$$D = \frac{8,4 \cdot m \cdot t}{R^2}, \text{ სადაც}$$

$m$  წყაროს აქტივობაა, გამოხატული მილიგრამეკვივალენტობით.

### რენტგენორადიოლოგიური სამედიცინო პროცედურების უსაფრთხოება. პაციენტის დაცვა

რენტგენის სხივებისა და ნიშანდებული ატომების გამოყენება  
 მედიცინაში ერთ-ერთი პროგრესული და წამყვანი მეთოდია ამა თუ  
 იმ დაავადების ამოსაცნობად და სამკურნალოდ. ეს მეთოდები მედი-  
 ცინაში დღეს ფართოდაა დანერგილი. წარმოდგენილია პირველხა-  
 რისხოვანი სამკურნალო დაწესებულება, სადაც დაავადებათა რთული  
 ფორმების ამოსაცნობად, დიფერენციული დიაგნოსტიკისათვის და  
 სამკურნალოდ არ მიმართავდნენ რენტგენის სხივებს და რადიოაქტიურ  
 იზოტოპებს როგორც სომატური, ასევე ავთვისებიანი დაავადებების  
 შემთხვევაში.

მაგრამ მაიონიზებული სხივების ასეთი ფართო გამოყენება იწვევს  
 მოსახლეობის ზედმეტად დასხივებას, რაც ემატება ადამიანის მიერ  
 ბუნებრივი რადიაციული ფონით მიღებულ დოზას, აგრეთვე იმ დო-  
 ზას, რომელიც ბუნებაში იქმნება ხელოვნური რადიონუკლიდების

გარემოში გავრცელების შედეგად (ატომური იარაღის აფეთქება, ხელოვნური რადიქტიური იზოტოპების მშვიდობიანი მიზნით გამოყენება და ა. შ.).

აღსანიშნავია, რომ კაცობრიობის სოციალურ პროგრესთან ერთად რენტგენოლოგიური გამოკვლევების რიცხვი თითოეულ ავადმყოფზე თანდათანობით მატულობს. განვითარებულ ქვეყნებში ერთ სულ მოსახლეზე მოდის 0,26—0,5 გამოკვლევა წელიწადში. ამავე დროს ეს გამოკვლევები მოიცავს მოსახლეობის უფრო ფართო ფენებს, ე. ი. დასხივების კონტინგენტი იზრდება. თვით გამოკვლევები უფრო სპეციალიზებული ხდება, მაშასადამე, იზრდება დასხივების დოზა.

რაც უფრო განვითარებულია ქვეყანა, მით მეტია რენტგენოლოგიურ გამოკვლევათა რიცხვი და ამ გამოკვლევის მასიურობა: 51-ე ცხრილში მოცემულია განვითარებულ ქვეყნებში რენტგენოლოგიურ

ცხრილი 51

ზოგიერთ განვითარებულ ქვეყანაში რენტგენოლოგიურ გამოკვლევათა სიხშირე

ქვეყანა	მოსახლეობის რაოდენობა, მლნ	გამოკვლევათა რიცხვი 1000 მოსახლეზე წელიწადში		
		რენტგენოგრაფია	რენტგენოსკოპია	მასობრივი გამოკვლევები
სსრ კავშირი რუსეთის ფედერაცია, (1964)	82	171	439	183
ამერიკა (1965)	187	475	56	87
ამერიკა (1970)	200	580	65	45
იაპონია (1969)	105	610	191	628
ჩეხოსლოვაკია (1963)	1,5	593	436	—

გამოკვლევათა რაოდენობრივი მონაცემები, საიდანაც ჩანს, რომ გამოკვლევების სტრუქტურა ამ ქვეყნებში ძალიან განსხვავებულია. ამასთან, გამოკვლევის სტრუქტურას განსხვავებული ხვედრითი წონა აქვს მოსახლეობის გენეტიკური მნიშვნელობის დოზით დატვირთვაში (ცხრილი 52).

ყველა სახის გამოკვლევა არ იძლევა დასხივების ერთნაირ დოზას. ყველაზე მაღალია დასხივების დოზა კუჭ-ნაწლავის ტრაქტის გამოკვლევის დროს, სპეციალიზებული გამოკვლევებისას (კონტრასტული გამოკვლევები), ტომოგრაფიული გამოკვლევის ჩატარებისას და სხვ. 53-ე ცხრილი ნათელ წარმოდგენას იძლევა გენეტიკური მნიშვნელობის იმ დოზებზე, რომელთაც პაციენტი ღებულობს ამა თუ იმ სახის დიაგნოსტიკური პროცედურის ჩატარების შედეგად.

მოსახლეობის დასხივების დოზები რენტგენოდიავნოსტიკური პროცედურების შედეგად (რადი/წელიწადში)

დასხივების სახეობა	პროცედურის სახეობა				
	რენტ-გენოსკოპია	რენტ-გენოგრაფია	ფლუოროგრაფია	ჯამური საშუალო ინდივიდუალური დოზა	კოლექტიური დოზა—აღამიანი რადი/წელიწადში
გონადური დოზა	16,6	16,9	0,09	33,6	8,4 × 10 <sup>6</sup>
გენეტიკური მნიშვნელობის	7,7	14,9	0,1	22,7	—
ძვლისტენოვანი	84,5	35,3	11,2	131,0	32,9 × 10 <sup>6</sup>
დოზა ფილტვებზე	7,4	0,28	1,1	8,8	2,2 × 10 <sup>6</sup>
დოზა კუჭ-ნაწლავის ტრაქტზე	76,0	10,0	—	86,0	21,6 × 10 <sup>6</sup>
მთელი სხეულის დასხივება	41,3	7,43	23,0	71,7	18,0 × 10 <sup>6</sup>

განსაკუთრებით საყურადღებოა იმ უბნების სხივური გამოკვლევა, სადაც გონადებია მოთავსებული — გენიტალიუმი. ასეთებია სხვადასხვა სახის უროლოგიური გამოკვლევები, მეტროსალპინგოგრაფია, რეტროპერიტონეუმი და სხვ. მაგრამ უნდა აღვნიშნოთ, რომ გონადებისაგან დაშორებული უბნების სხივური გამოკვლევაც კი გარკვეულ დოზას ქმნის გონადებში გაფანტული გამოსხივებისა და მეორადი იონიზაციის შედეგად. ამიტომ საყურადღებოა აგრეთვე ინტეგრალური დოზის სიდიდეებიც.

დასხივების ზღვრულად დასაშვები დოზები პაციენტისათვის დღეისათვის დადგენილი არ არის. ცალკეული რეკომენდაცია ჯერ კიდევ სათანადოდ არ არის მეცნიერულად დასაბუთებული.

პაციენტის დასხივება აღინიშნება რადიოიზოტოპური დიაგნოსტიკური პროცედურების ჩატარების დროსაც, მაგრამ ეს დოზები შედარებით მცირეა (54-ე ცხრილი), უფრო დიდია დასხივება სხივური თერაპიული პროცედურების დროს. მაგრამ ასეთი დასხივების საშიშროება შედარებით ნაკლებია, ვინაიდან დასხივების ეს სახე შეზღუდულია, მოიცავს მხოლოდ და მხოლოდ მოსახლეობის ვიწრო კონტინგენტს, რომელთათვის ასეთი მკურნალობა პირდაპირი სამედიცინო ჩვენებებით არის. ნაკარნახევი და ადამიანთა ფართო საზოგადოებრიობისათვის საზიანოდ არ შეიძლება იყოს მიჩნეული.

ცხრილი 55 წარმოდგენას გვაძლევს ადამიანის მიერ გამოსხივების სხვადასხვა წყაროთი მიღებულ გენეტიკური მნიშვნელობის დოზებზე. ყველაზე დიდი რაოდენობით, დასხივების დოზას ბუნებრივი ფონის შემდეგ ქმნის რენტგენოდიავნოსტიკური და ნაწილობრივ თერაპიული პროცედურები. დანარჩენზე მოდის უმნიშვნელო რაოდენობა,



პაციენტის მიერ შთანქმული დოზა ზოვერთი რადიონუკლიდის სამედიცინო გამოყენების დროს ერთ გამოკვლევაზე შთანქმული დოზა (მრადი)

გამოკვლევის სახეობა	რადიონუკლიდი	ჩამოური მდგომარეობა	შეყვანილი აქტივობის საშუალო სიღრმე მკ.კ.	ერთ გამოკვლევაზე შთანქმული დოზა (მრადი)	გამოსაკვლევ და (ან) კირტიკული ორგანო	ბონა-დები	ჩონჩხი
ფარისებრ, ჯ. სკენირება ან ფუნქციური ანალიზი	<sup>131</sup> I	იოდლი	2,5	50.000	ფარისებრი ჭირვი	5	10
ფარისებრი ჯ. სკენირება	<sup>99m</sup> Tc <sup>131</sup> I	პერტექნეტი იოდლი	1000 25	600 750	ფარისებრი ჭირვი ფარისებრი ჭირვი	20 2,5	20 2,5
ფარისებრი ჯ. ფუნქცი. ანალიზი	<sup>131</sup> I	იოდლი	20	10	თირკმლები	0,2	0,14
თირკმლების ფუნქცი. ანალიზი	<sup>86</sup> Sr <sup>99m</sup> Sr <sup>99m</sup> Tc	ნიტრატ/კლორიდი ნიტრატ/კლორიდი	100 1000 10.000	1000 50 400	ჩონჩხი ჩონჩხი ჩონჩხი	300 20 400	1000 50 20
თირკმლის სკენირება	<sup>203</sup> Hg <sup>201</sup> Hg <sup>99m</sup> Tc <sup>99m</sup> Tc <sup>197</sup> Hg <sup>99m</sup> Tc <sup>199</sup> Au <sup>99m</sup> Tc <sup>131m</sup> In	პოლიფოსფატი ქვინი ქლორმეოლრინი დარბა პერტექნეტი ქვინი S-კოლოიდი კოლოიდი S-კოლოიდი კოლოიდი კოლოიდი გეთიონინი HsA HsA ქრომატი გაა	100 150 3000 10.000 300 1500 150 1500 1000 200 10 100 100 200	50.000 13.500 120 60 200 3.000 150 6.000 45 600 500 3.000 20 2 40 800	თირკმლები თირკმლები თირკმლები ფარისებრი ჭირვი ფარისებრი ჭირვი ელენა ლენა ლენა ლენა ლენა პანკრეასი მთელი სხეული მთელი სხეული მთელი სხეული ფილტვები	300 60 200 150 7,5 45 15 7,5 15 2 2000 20 2 40 60	1000 50 20 1000 300 60 200 150 15 45 15 10 2000 20 2 40 60
ტვინის სკენოგრაფია ელენის სკენირება	<sup>99m</sup> Tc <sup>197</sup> Hg <sup>99m</sup> Tc <sup>199</sup> Au <sup>99m</sup> Tc <sup>131m</sup> In	პერტექნეტი ქვინი S-კოლოიდი კოლოიდი S-კოლოიდი კოლოიდი კოლოიდი გეთიონინი HsA HsA ქრომატი გაა	1000 300 1500 150 1500 1000 200 10 100 100 200	6.000 120 60 200 3.000 150 7,5 45 600 500 3.000 20 2 40 800	ფარისებრი ჭირვი ფარისებრი ჭირვი ფარისებრი ჭირვი ფარისებრი ჭირვი ფარისებრი ჭირვი ელენა ლენა ლენა ლენა ლენა პანკრეასი მთელი სხეული მთელი სხეული მთელი სხეული ფილტვები	200 60 200 150 7,5 45 15 7,5 15 2 2000 20 2 40 60	200 150 15 45 15 10 2000 20 2 40 60
ფილტვების სკენირება ფუნქციური გამოკვლევა	<sup>131</sup> I <sup>99m</sup> Tc <sup>99</sup> Fe	გაა ქრომატი	3000 15	900 2.250	ფილტვები ელენა	6 750	30 225

თუმცა მათაც გარკვეული წვლილი შეაქვთ ადამიანების ზეფონურ დასხივებაში.

როგორც აღვნიშნეთ, მეცნიერებმა დაამტკიცეს, რომ ბუნებრივი მუტაციების სიხშირის გამაორკვევებელი დოზა ადამიანისათვის დაახლოებით 60—70 ბერია.

ცხრილი 55

გარემოს სხვადასხვა წყაროთი მოსახლეობის დასხივების საშუალო წლიური გენეტიკური მნიშვნელობის დოზა

წყარო	დოზა (მრბე)
ბუნებრივი ფონი	125
სამედიცინო წყარო	
ღიაგნოსტიკური დასხივება	25 — 83
თერაპიული	0,6 — 28
რადიოიზოტოპური	0,02—0,2
სხვა წყაროები:	
პროფესიული (სამედიცინო, საწარმოო და ატომურ-ენერგეტიკული)	0,1 — 0,2 (ამერიკაში 0,8-მდე)

ამგვარად, ადამიანის შრომითს პროცესში წარმოქმნილი დასხივება ჯერ საკმაოდ მცირეა, შორსაა გამაორკვევებელი დოზისაგან, მაგრამ ატომური ენერჯის გამოყენების სადღეისო ტემპები და მითუმეტეს მისი პერსპექტივები კაცობრიობის წინაშე მთელი პასუხისმგებლობით აყენებენ საკითხს — არ დაუშვან ბუნების დაბინძურება რადიონუკლიდებით, მაქსიმალურად გამოიყენონ დაცვითი საშუალებანი იქ, სადაც ადამიანს კონტაქტი აქვს მაიონიზებელ გამოსხივებასთან (პროფესიული პირები), რაციონალურად გამოიყენონ ეს სხივები სამედიცინო პრაქტიკაში, გაატარონ ყოველგვარი პროფილაქტიკური ღონისძიებები, განსაკუთრებით ბავშვთა, მოზარდთა და რეპროდუქციული ასაკის ქალთა დასაცავად.

მოსახლეობის დაცვა მავნე რადიაციული ზემოქმედებისაგან სახელმწიფოს მიერ არის დაკანონებული. საბჭოთა კანონმდებლობით რეგლამენტებულია დოზები როგორც პროფესიული ჯგუფებისათვის, ასევე მთელი მოსახლეობისათვის.

დასხივებისაგან პაციენტის დაცვის პროფილაქტიკური ღონისძიებები რამდენიმე ნაწილად იყოფა. უპირველეს ყოვლისა, აღსანიშნავია საკანონმდებლო ღონისძიებები. საბჭოთა კავშირის სანიტარიულ კანონმდებლობაში ნათქვამია, რომ ვინაიდან სამედიცინო დასხივებით იზრდება გენეტიკური დოზა, საჭიროა მოსახლეობის მასობრივი პროფილაქტიკური გამოკვლევების დროს მაქსიმალურად შეიკვეცოს რენტგენოლოგიური დასხივება, განსაკუთრებით ფეხმძიმე ქალების,

ბავშვებისა და მოზარდების. ასეთი გამოკვლევების დროს უნდა ვეცადოთ სამედიცინო ეფექტს მივალწიოთ დასხივებისაგან მოსახლეობის დაცვით, გენეტიკური მნიშვნელობის დოზის მაქსიმალური შემცირებით.

საკანონმდებლო ორგანოებს მიეკუთვნება რენტგენოლოგიური გამოკვლევების ზუსტი რეგლამენტაცია. მაგალითად, 12 წლის ბავშვთა ასაკამდე რენტგენოლოგიური გამოკვლევა უნდა ჩაუტარდეს აუცილებელი სამედიცინო ჩვენებების მიხედვით, როცა ბავშვის ჭანმრთელობის მდგომარეობა ისეთია, რომ რენტგენოლოგიური გამოკვლევის გარეშე შეუძლებელია დიაგნოზის დადგენა. ამასთან, ეს აუცილებლობა მკურნალმა ექიმმა უნდა დაასაბუთოს წერილობით. გამოკვლევის ძირითადი სახეა რენტგენოგრაფია. იგი შესაძლებელია შეივსოს რენტგენოსკოპიით იმ შემთხვევაში, თუ ეს აუცილებლობითაა ნაკარნახევი.

აკრძალულია ფეხმძიმე ქალების გაშუქება, ვინაიდან ემბრიონს ძალიან დიდი რადიოდამზიანებლობა ახასიათებს. ფეხმძიმე ქალების რენტგენოლოგიური გამოკვლევა დასაშვებია მხოლოდ და მხოლოდ მკაცრი კლინიკური ჩვენებებით ან როდესაც აუცილებელია სასწრაფო, ანდა გადაუდებელი დახმარება. აკრძალულია ორსული ქალების პროფილაქტიკური გაშუქებაც, მათ შორის ფლუოროგრაფიული მეთოდითაც კი. იმ შემთხვევებში, როცა ორსული ქალის გაშუქება აუცილებელია, საჭიროა დაცვის ყოველგვარი საშუალების გამოყენება დასხივების დოზის მაქსიმალური შემცირებისათვის. ფეხმძიმე ქალის რენტგენოლოგიური გამოკვლევა უნდა ხდებოდეს შეძლებისდაგვარად, ორსულობის მეორე ნახევარში (რასაკვირველია, გარდა იმ შემთხვევებისა, როცა აუცილებელია ფეხმძიმობის შეწყვეტა, სასწრაფო ან გადაუდებელი ჩვენებით). ფეხმძიმე ქალის რენტგენოლოგიური გამოკვლევა უნდა გადაწყვიტოს მხოლოდ და მხოლოდ მკურნალმა ექიმმა. გამოკვლევის ძირითადი სახეა რენტგენოგრაფია. ზოგ შემთხვევაში შეიძლება გამოიყენონ მსხვილკადრიანი ფლუოროგრაფია, რენტგენოსკოპიას მიმართავენ აუცილებლობის შემთხვევაში (რენტგენოგრაფიის შესავსებად).

აკრძალულია ტრიხოფიტის სხივური მკურნალობა, რომელიც, როგორც ცნობილია, ბავშვთა ასაკში ტარდებოდა, რადგან ეს დაავადება ძირითადად ბავშვთა ასაკში გვხვდება. ასევე აკრძალულია ჰემანგიომის მკურნალობა რადიუმისა და რენტგენის სხივებით. მკურნალობის ეს მეთოდი შეიცვალა - რბილი სხივების — ბუჯის სხივების, რადიაქტიური ფოსფორის, სტრონციუმის სხივების გამოყენებით.

ზოგი ინსტრუქცია ითვალისწინებს აგრეთვე ორგანოთა მგრძობელობას ფუნქციური აქტივობის მიხედვით. მაგალითად, ქალების

რენტგენოლოგიური გამოკვლევა უნდა ჩატარონ მენსტრუალური ციკლის სტადიურობის გათვალისწინებით.

ცნობილია, რომ მენსტრუალურ ციკლში ორი — სტადია — I ფოლიკულური სტადია, როდესაც ხდება ფოლიკულის მომწიფება და ოოციტის ზრდა. იგი გრძელდება 12—14 დღეს (საშუალოდ) და მთავრდება ოვულაციით, II სტადია — ლუთეინური, ყვითელი სხეულის სტადია — როდესაც შესაძლებელია მოხდეს კვერცხუჯრედის განაყოფიერება და მისი საშვილოსნოში იმპლანტაცია, ე. ი. შესაძლოა ვითარდებოდეს ემბრიონი.

რეპროდუქციული ასაკის ქალის რენტგენოლოგიური გამოკვლევის, განსაკუთრებით მუცლის ღრუს არეში დასხივების შემთხვევაში, (კუჭ-ნაწლავის ტრაქტის გამოკვლევა, უროგრაფია, მენჯის ან მენჯ-ბარძაყის სახსრის გადაღება და სხვ.) მკურნალმა ექიმმა და ექიმმარენტგენოლოგმა უნდა დააზუსტონ მენსტრუალური ციკლის პერიოდები და გამოკვლევა დანიშნონ ციკლის 1-ელ კვირას, ე. ი. მენსტრუაციის შემდეგ პირველ კვირას, როცა ჯერ კიდევ არ არის კვერცხუჯრედი განაყოფიერებული და მაშასადამე, ემბრიონი არ ვითარდება, ვინაიდან, როგორც ვიცით, ემბრიონი განსაკუთრებით მგრძობიარეა დასხივებისადმი.

ასეთივე შეზღუდვებია დაწესებული 16 წლამდე ბავშვთა და რეპროდუქციული ასაკის ქალთა რადიოიზოტოპურ გამოკვლევებზე.

პაციენტთა, განსაკუთრებით კი ბავშვთა დასხივებისაგან დაცვის მნიშვნელოვანი საშუალებაა ტექნიკურ-ორგანიზაციული ხასიათის ღონისძიებები. მთვან, პირველ რიგში, აღსანიშნავია სხეულის დანარჩენი ნაწილების ეკრანირება, განსაკუთრებით კი გონადების ეკრანირება ტყვიანარევი რეზინის მეშვეობით. ცნობილია, რომ ეკრანირება მაინც არ შეცვლის ინტეგრალურ დოზებს, მიუხედავად იმისა, რომ ჯამური დოზები შემცირდება, ამიტომ თვით ინტეგრალური დოზის შესამცირებლად უნდა მივმართოთ სხვა ღონისძიებებს, კერძოდ, რენტგენოლოგიური გამოკვლევების ჩატარებას ხისტი სხივებით (მაშასადამე, საჭიროა სხივების გაფილტვრა), მცირე ექსპოზიციის პირობებში. უპირატესობა უნდა მივცეთ რენტგენოგრაფიას, რენტგენოსკოპიასთან შედარებით (რენტგენოსკოპიის დროს იზრდება დასხივების ინტენსივობა და ექსპოზიცია), ხოლო პროფილაქტიკური გამოკვლევები უნდა ჩავატაროთ ფლუოროგრაფიის მეშვეობით; ორივე ეს მეთოდი ინტეგრალური დოზების შემცირების საშუალებას იძლევა.

თუ რენტგენოსკოპიის ჩატარება აუცილებელია, მაშინ საჭიროა გამოვიყენოთ ვიწრო დიაფრაგმა, გვერდითი და რბილი სხივების გაფილტვრა, დიდი მნიშვნელობა აქვს ექიმ-რენტგენოლოგის ადაპტაციას სიბნელისადმი და მის კვალიფიკაციას, რაც ამცირებს დასხივე-



ბის ექსპოზიციას. შეძლებისდაგვარად უნდა შეიზღუდოს გვერდითი რენტგენოგრაფიები.

პროფილაქტიკურ ღონისძიებათა შორის განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება რენტგენოდანადგართა ტექნიკის გაუმჯობესებას, ახალ-ახალი დანადგარების შექმნას, რომლებშიც დაცულია რენტგენის მიღები. ეს მიღები იძლევა ვიწრო, ხისტ სამუშაო სხივებს, აღჭურვილია მაღალხარისხოვანი ეკრანებით და სხვ., რაც დასხივების ექსპოზიციის შემცირების საშუალებას იძლევა. ასეთ გაუმჯობესებათა რიცხვს მიეკუთვნება სიმულტან — კასეტის ხმარება ტომოგრაფების მიღების დროს, ელექტრონულ-ობიექტური გარდამქმნელების შექმნა, რენტგენოტელევიზიის გამოყენება, რომელთა საშუალებით პაციენტის დასხივების ინტეგრალური დოზა 8—15-ჯერ მცირდება.

დასხივებისაგან დაცვის მნიშვნელოვანი პროფილაქტიკური ღონისძიებაა მავნიტური ლენტის გამოყენება. იგი ამცირებს პაციენტის სხივებქვეშ ყოფნის ექსპოზიციას და ხელმეორე გაშუქების აუცილებლობას (დეტალების დაზუსტება, კონსულტაციის მიღება და სხვ.) სპობს.

განსაკუთრებით საყურადღებოა კვლევის ისეთი ახალი მეთოდების შემუშავება და დანერგვა, რომლებიც მთლიანად შეცვლიან პაციენტის დასხივებას მაიონიზებელი გამოსხივებით. თანამედროვე ეტაპზე რასაკვირველია ამის მიღწევა შეუძლებელია და არც არის საჭირო, ვინაიდან სწორად წარმართული თანამედროვე მეთოდი არ ქმნის რაიმე რეალურ საშიშროებას კაცობრიობისათვის. საჭიროა მხოლოდ მისი გონიერი, რაციონალური მართვა, მაღალმოქალაქეობრივი შეგნებულობისა და განათლებული ექიმების აღზრდა.

იმ სიახლეთა შორის, რომლებიც მიმართულია ზედმეტი დასხივების ასაცილებლად სამედიცინო პროცედურების ჩატარების დროს უნდა დავასახელოთ რადიოჰემატოლოგიური მანიპულაციები (in vitro — ტესტები), როდესაც რადიაქტიური ნივთიერება ადამიანის ორგანიზმში კი არ შეჰყავთ, არამედ სპეციფიკური ბიოქიმიური ტესტების მიხედვით პაციენტისაგან აღებულ სისხლში რადიაქტიური ნაერთების ცვლის ინტენსივობის მიხედვით მსჯელობენ ამა თუ იმ პათოლოგიაზე.

დაბოლოს, უნდა აღვნიშნოთ კვლევის ისეთი ახალი მეთოდი, როგორც არის თერმოგრაფია. იგი პრინციპულად განსხვავდება სხივებით მიღებული სხვა გრამებისაგან. თერმოგრაფიის დროს ორგანოს გამოსახულება მიიღება არა მისი გარედან (ან შიგნიდან) ორგანიზმისათვის უცხო, დამატებითი გამოსხივების მოქმედების გზით (რენტგენის სხივები, α, β, γ — სხივები რადიაქტიური ელემენტების ინკორპორირების შემთხვევაში), არამედ იმ სითბური გამოსხივებით ინფრა-

წითელი სხივების სახით, რომელიც ორგანიზმში, ორგანოში გამომუშავდება ნივთიერებათა ცვლის პროცესში. ადამიანის ორგანიზმის სიმეტრიულ ნაწილებს ერთნაირი ტემპერატურა აქვს, მაგრამ თუ რომელიმე უბანში პათოლოგიური პროცესი წარმოიქმნა, მისი ტემპერატურა შეიცვლება — აიწვეს ან დაიწვეს. სიმეტრიული უბნების თერმოგრაფიით შესაძლებელია დავადგინოთ შეცვლილი უბნები და ვიმსჯელოთ პათოლოგიის ხასიათზე.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ეს მეთოდი სამედიცინო პრაქტიკაში, სადაც რენტგენოლოგიური კვლევა აკრძალულია, მაგალითად, ორსულობის, ნაყოფის მდებარეობის, პლაცენტის მდებარეობის დადგენა და სხვ. პედიატრიაში ამ მეთოდმა ზოგ შემთხვევაში შესაძლებელია სავსებით გამორიცხოს რენტგენოლოგიური კვლევის მეთოდი, მაგალითად, ცხვირის დანამატი ღრუების გამოკვლევის დროს.

ამგვარად, თანამედროვე ექიმში, აღჭურვილი მეცნიერული კვლევაძიების საფუძველზე დაგროვილი მონაცემებით მათონიშნებელი რადიაციის ბიოლოგიური მოქმედების შესახებ, საინჟინრო-ტექნოლოგიური გაუმჯობესებითა და ორგანიზაციული ხასიათის ცოდნით სწორად წარმართავს მოსახლეობის სხივურ სამედიცინო გამოკვლევას, დაიცავს პროფილაქტიკურ ღონისძიებებს და კეთილსინდისიერ სამსახურს გაუწევს თავის ხალხს.

რადიაციული დაცვის ღონისძიებებზე კონტროლი უნდა განახორციელოს თვით რადიოლოგიური დაწესებულებების ხელმძღვანელებამ, ხოლო სანიტარიულ ზედამხედველობაზე — სანეპიდსადგურის რადიოლოგიურმა განყოფილებამ.

## **ზრთვის ჰიგიენა სამედიცინო პრაქტიკაში მათონიშნებელი გამოსხივების გამოყენების დროს. პედაგოგიის დაცვა**

სხივური მედიცინის ფართო გამოყენება თანამედროვე სამედიცინო პრაქტიკაში იწვევს ზემოქმედებას არა მარტო იმ პირებზე, რომელთა მიმართ იყენებენ ამ სხივებს (დიავნოსტიკის ან მკურნალობის მიზნით), არამედ მათზეც, ვინც უშუალოდ ატარებს ამ მანიპულაციებს. ესენი არიან სხვადასხვა სპეციალობის ექიმები: რენტგენოლოგები, რადიოლოგები, ქირურგები, უროლოგები, ფსიქიატრები, დერმატოლოგები, გინეკოლოგები, ენდოკრინოლოგები და მრავალი სხვ. მათთან ერთად სხივური ზეგავლენის ქვეშ ექცევა დამხმარე პერსონალი — ექთნები და სანიტრები. თუ პაციენტი დასხივდება ერთჯერადად ან რამდენჯერმე წლის განმავლობაში, ექიმი და მისი თანაშემწეები, რომლებიც სხივური მედიცინის დარგში მუშაობენ, დასხივების სფეროში იმყოფებიან ხანგრძლივად, თითქმის ყოველდღე, სამუ-

შო საათების განმავლობაში, მაშასადამე, ისინი განიცდიან ქრონიკულ დასხივებას მცირე დოზებით. რასაკვირველია, დასხივების ხანგრძლივობა, ინტენსივობა, დოზის სიდიდე და სხვ. ერთნაირი არ არის სამედიცინო პერსონალისათვის. შრომის პირობები განსხვავებული აქვს არა მარტო სხვადასხვა დარგში მომუშავე პირებს (მაგალითად, რადიოლოგს და ქირურგს), არამედ ერთ დარგში მომუშავე სპეციალისტებსაც (მაგალითად, რადიოლოგი შეიძლება დახურულ წყაროსთან ან ღია წყაროსთან მუშაობდეს). თავისებურია რენტგენოლოგების შრომის პირობებიც, რომლებიც მაიონიზებელი გამოსხივების ზემოქმედებას განიცდიან მხოლოდ დანადგარის ელექტროქსელში ჩართვის დროს. განსხვავებული შრომა განაპირობებს პერსონალის დასხივების დოზის სხვადასხვაობას და, რასაკვირველია, იგივე შრომის პირობები განსაზღვრავენ დაცვითი ღონისძიებების თავისებურებებსაც ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში. 56-ე და 57-ე ცხრილებში მოცემულია პერსონალის დასხივების დოზები რენტგენოლოგიური და რადიონუტოპური პროცედურების ჩატარების დროს.

ც ხ რ ი ლ ი 56

პერსონალის დასხივების ექსპოზიციური დოზა კონტრასტული რენტგენოლოგიური გამოკვლევების დროს (აპარატი „ტურ-1000, მუშაობის რეჟიმში — 50—70 კვ. 1,2—2,0 მა, ექსპოზიცია 1 წთ.).

გამოკვლევის სახეობა	აპარატის შტატივის მდებარეობა	სპეციალისტები, რომლებიც აწარმოებენ გამოკვლევას	დასხივების დოზები (მრ)		
			თავი	მულ-მკერდი	შენჯი
ირიგოსკოპია	პორიზონტალური	რენტგენოლოგი, სანიტარი	5,5 2,0	3,2 2,5	4,0 1,5
ბრონქოგრაფია	ვერტიკალური	რენტგენოლოგი, ექთანი	3,0 —	3,5 —	2,8 —
ბრონქოგრაფია ნარკოზით	პორიზონტალური	ქირურგი, ანესთეზიოლოგი, ექთანი	5,8 4,0 1,0	6,5 3,5 1,0	7,5 1,8 1,5
ანგიოპულმონოგრაფია	პორიზონტალური	ქირურგი, ანესთეზიოლოგი	3,2 1,5	3,0 1,2	1,8 1,0
საღეწოპორტოგრაფია	პორიზონტალური	ქირურგი, ანესთეზიოლოგი	8,0 3,5	5,0 1,5	5,8 2,0
ფლებოგრაფია	პორიზონტალური	ქირურგი, ასისტენტი, ანესთეზიოლოგი	2,5 3,0 5,5	2,2 2,8 2,5	2,0 5,0 3,0
საყლაპავი მილისა და კუჭის რენტგენოსკოპია	ვერტიკალური და პორიზონტალური	რენტგენოლოგი, სანიტარი	2,5 2,0	3,0 1,0	2,0 1,2

პერსონალის დასხივების შედარებით უფრო მაღალი დოზები მიიღება სპეციალიზებული რენტგენოლოგიური კვლევისა და რთული რადიოიზოტოპური მანიპულაციების ჩატარების დროს. პერსონალის მიმართ ჩასატარებელი დაცვითი ღონისძიებები სახელმწიფოს მიერ არის დაკანონებული. ძირითადი დოკუმენტის HPB-76 საფუძველზე გამოშვებულია ინსტრუქციები, ცირკულარები, მეთოდური მითითებები ყველა კონკრეტული შემთხვევისათვის; რომელთა შესრულება უზრუნველყოფს პერსონალის დასხივების შემცირებას, მისი ღონის

ცხრილი 57

სამედიცინო პერსონალის დასხივების წლიური დოზები რადიაქტიური იზოტოპების გამოყენების დროს (გდრ, 1989 წ.).

დოზის ინტერვალი (რადი)	თანამშრომელთა რაოდენობა		
	ქსოვილშივა და ღრუსშივა თერაპია	ღია რადიაქტიური ნივთიერებები	დისტანციური თერაპია
0—0,49	489 (73,3)	343 (94,2%)	105 (94,6%)
0,5—1,49	116 (1,64%)	16 (4,4%)	5 (4,5%)
1,5—4,99	59 (8,9%)	4 (1,1%)	1 (0,9%)
5,0—11,99	3 (0,4%)	1 (0,3%)	—

მინიმუმამდე დაყვანას. ეს ღონისძიებები ეხება კრიტიკული ორგანოების გათვალისწინებით ზღვრულად დასაშვებ დოზებს, რომელთა მომატება ყოველად დაუშვებელია. ამ დოკუმენტის მიხედვით მკაცრი მოთხოვნები აქვთ წაყენებული იმ დაწესებულებებს, რომლებიც მუშაობენ რადიონუკლიდებსა და მაიონიზებელი გამოსხივების წყაროებზე (შენობას, მაიონიზებელ წყაროებს, ხელსაწყოებს, დოზიმეტრიულ აპარატურას, დაცვითს საშუალებებს, ტექნოლოგიური პროცესების ჩატარებას და სხვ.), განიხილება დოზიმეტრიული და სამედიცინო კონტროლის ჩატარების აუცილებლობა და სხვ.

რადიოლოგიურ დაწესებულებებში, სადაც იყენებენ რადიაქტიურ იზოტოპებს ღია ან დახურული წყაროების სახით, დაცვითი ხასიათის ღონისძიებები წარმართება იმ საშუალებათა გამოყენებით, რომლებიც განხილული იყო სათანადო თავებში. რადიონუკლიდების დახურულ და ღია წყაროებთან მუშაობის უსაფრთხოების შესახებ დაცვის ეს სახეობანი განაპირობებს პერსონალის მინიმალურ დასხივებას,

კერძოდ ისეთი დოზებით, რომლებიც გაცილებით უფრო ნაკლებია ზღვრულად დასაშვებ დოზაზე — 5 რბე/წელიწადში, ანუ 0,05 Sv. არის ერთეული შემთხვევები, როცა დასხივების დოზა უტოლდება ან აღემატება ზღვრულად დასაშვებს, მაგრამ ეს ძირითადად ხდება დაცივითი ღონისძიებების უგულებელყოფის შემთხვევაში.

პაციენტის დასაცავად განკუთვნილი ღონისძიებებიდან მრავალი პერსონალის დაცვასაც უზრუნველყოფს. ეს უპირველეს ყოვლისა ეხება ტექნიკურ-ორგანიზაციული ხასიათისა და საინჟინრო ღონისძიებებს, როგორც არის დაცვა ეკრანირებით, წინსაფრებით, ტყვიანარევი ხელთათმანებით, შირმით და სხვ., მუშაობა ხისტ სხივებზე, მცირე დიაფრაგმით, მცირე ექსპოზიციის პირობებში, კარგი ადაპტირება სიბნელესთან, რენტგენოსკოპიული პროცედურების მაქსიმალურად შეცვლა რენტგენოგრაფიული და ფლუოროგრაფიული გამოკვლევებით (როცა ეს შესაძლებელია) და სხვ. დიდი მნიშვნელობა ენიჭება თანამედროვე რენტგენოდიագნოსტიკური დაცული აპარატებით რენტგენოლოგიური კაბინეტების ფართო ქსელის აღჭურვას. ამ მხრივ განსაკუთრებით საყურადღებოა ისეთი აპარატებით აღჭურვა, რომლებშიც გამოყენებულია ტელეხედავა, გაშუქების ჩაწერა მაგნიტურ ფირზე და სხვ., რაც პაციენტზე დაკვირვების საშუალებას იძლევა. მისგან მოშორებით (და შესაბამისად დასხივების თავიდან აშორებას) და გამორიცხავს სხივის ქვეშ განმეორებითი გამოკვლევის აუცილებლობას. ფართოდ უნდა დაინერგოს კვლევის ისეთი მეთოდები, რომლებიც გამორიცხავენ მაიონიზებელი გამოსხივების გამოყენებას — კერძოდ თერმოგრაფია.

ყველა ამ ღონისძიებების ჩატარება პერსონალის დასხივებისაგან დაცვის საიმედო გარანტიაა. გამოკვლევები გვიჩვენებს, რომ რენტგენოლოგთა და რადიოლოგთა 98—99%-ის მიერ მიღებული დასხივების დოზები არ აღემატება ზღვრულად დასაშვები დოზების 1/10-1/3-ს.

სპეციფიკური დაცვის გარდა, რენტგენის კაბინეტებში, ისევე როგორც რადიოიზოტოპურ თერაპიულ კაბინეტებში (განსაკუთრებით დისტანციური თერაპიის კაბინეტებში), გამოსხივების ჰაერთან ურთიერთქმედების შედეგად წარმოქმნილი აზოტის ქანგეულები და ოზონი საჭიროებს დამატებითი ღონისძიებების გატარებას, კერძოდ სათანადო სავენტილაციო მოწყობილობის დადგმას. ვენტილაციის აუცილებლობა იმითაც არის გამოწვეული, რომ მუშაობის დროს რენტგენის კაბინეტში ფანჯრები და კარები დახურულია, პერსონალისა და ავადმყოფთა შეჭვუფება კაბინეტში იწვევს ჰაერის ჰიგიენური მაჩვენებლების დაქვეითებას. ამ მხრივ რასაკვირველია, ვენტილაციასთან ერთად საუკეთესო საშუალებაა ისეთი რენტგენოდანადგარები, რომ-

ლებიც არ საჭიროებენ ოთახის ჩაბნელებას, ე. წ. ელექტრონულ-ოპტიკური გამამძლიერებლები.

უკანასკნელ წლებში ჩვენში ფართოდ იკიდებს ფეხს რენტგენოლოგიური კვლევის ახალი მეთოდი — ელექტრორენტგენოგრაფია. ყველა დადებით თვისებასთან ერთად, მას უარყოფითი მხარეებიც აქვს, რომლებიც დანატებითი ხასიათის დაცვითს და ჰიგიენური ღონისძიებების გატარებას საჭიროებენ. მაგალითად, დაცვას გრაფიტის მტვრისაგან. ეს შედარებით ახალი პრობლემაა და დღეს ჰიგიენური მეცნიერება ეძებს ეფექტურ გზებს მის გადასაწყვეტად. აქვე უნდა აღვნიშნოთ ტყვიის პრობლემა რენტგენოლოგიურ კაბინეტებში; უკანასკნელი გამოკვლევები ადასტურებს, რომ სამუშაო კაბინეტის ჰაერში ტყვიის რაოდენობა რამდენადმე მომატებულია. ამიტომ ყოველად დაუშვებელია ტყვიის ისეთი დაცვითი საშუალებების ხმარება, რომლებიც ზემოდან დაფარული არ არიან სპეციალური საღებავებით, რაც ხელს უშლის ტყვიის გადასვლას ჰაერსა ან პერსონალის ორგანიზმში.

დაცვითი ღონისძიებების ჩატარებაში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება წინასწარ და პერიოდულ სამედიცინო შემოწმებას, რომელიც საშუალებას იძლევა დროულად გამოვაკლინოთ ცვლილებები ორგანიზმში და მივიღოთ სათანადო სამედიცინო თუ საორგანიზაციო-ტექნიკური გადაუღებელი ზომები. იგივე ითქმის პერიოდულ დოზიმეტრიულ კონტროლზეც.

დაცვითი ღონისძიებების განხილვის დროს არ შეიძლება ან აღვნიშნოთ ის შედეგაღებები, რომლებიც სახელმწიფოს მიერ არის დაკანონებული ამ დარგში მომუშავე სპეციალისტებისათვის, მაგალითად, სამუშაო დღის შემკირება, გახანგრძლივებული შვებულება, საკვებ რაციონში რძის დამატება, (უფასოდ), შედეგაღებები ორსულობისა და ლაქტაციის პერიოდში მყოფი ქალებისათვის და სხვ.

ამგვარად, პერსონალისა და პაციენტის დაცვის თანამედროვე სისტემა აერთიანებს საკანონმდებლო, ადმინისტრაციულ, სამედიცინო, ტექნიკურ და საორგანიზაციო-მეთოდურ ღონისძიებებს. პერსონალისა და პაციენტის დაცვის ღონისძიებების მთელი ეს კომპლექსი მიმართულია მაიონიზებელი გამოსხივების სტოქასტური და არასტოქასტური მოქმედების ასაცილებლად.

## პაციენტის უსაფრთხოება და ურთმის ჰიგიენის საკითხები რადონოთერაპიული პროცედურების დროს

რადონის აბაზანების (ბუნებრივი და ხელოვნური) სამკურნალო გამოყენება თანამედროვე პირობებში საყოველთაოდ ცნობილია. რა-

დონოთერაპიის დარგში ერთ-ერთი წამყვანი ადგილი უჭირავს წყალტუბოს, სადაც ყოველწლიურად ათასობით მშრომელს მკურნალობენ ბუნებრივი რადონით მდიდარი წყლით. რადონის აბაზანების სამკურნალო ეფექტს განაპირობებს კანზე დალექილი რადონის დაშლის პროდუქტები, რომლებიც რადიაქტიური არიან და გამოსხივების პროცესში მოქმედებენ კანის რეცეპტორებზე, აგრეთვე ფორებიდან ორგანიზმში დიფუნდირებული რადონი. რადონოთერაპია ძირითადად სამი გზით წარიმართება — აბაზანები, რადონის წყლის დაღვეა და ინჰალაცია. დასხივების დოზა და კრიტიკული ორგანო მკურნალობის ყველა ამ მეთოდის გამოყენებისას სხვადასხვაა. მაგალითად, აბაზანების მიღებისას კრიტიკული ორგანოა კანი, პერორალური მიღებისას — ჯორჯალი, ბადექონი, კუჭი და ელენთა (სისხლმბადი ორგანო), ხოლო ინჰალაციის დროს — ფილტვები. აქედან გამომდინარე, რადონოთერაპია პრაქტიკულ საქმიანობაში უნდა ემყარებოდეს რადიაციულ-ჰიგიენურ კონცეფციებს, კერძოდ, რადონის შემცველი წყლის მეშვეობით სამკურნალო ეფექტი უნდა იყოს იმ დოზების ფარგლებში, რომლებიც რეკომენდებულია მოსახლეობისა და ზოგ შემთხვევაში მოსახლეობის ცალკეული პირებისათვის კრიტიკული ორგანოს გათვალისწინებით, რადიაციული დაცვის სანიტარიული კანონმდებლობის მიხედვით (HPB—76).

ორგანიზმის ყველაზე ნაკლები დოზებით დასხივება ხდება აბაზანებით მკურნალობის დროს. ამავე დროს კრიტიკული ორგანოც (კანი) დაბალი რადიომგრძნობელობისაა შედარებით იმ ორგანოებთან, რომლებიც სხივდება ინჰალაციისა და პერორალური მიღების დროს.

თანამედროვე პირობებში რადონოთერაპიის მეთოდები ისეა დამუშავებული და დახვეწილი, რომ ამ პროცედურების მიღების დროს არ ხდება ადამიანის ორგანიზმის დასხივება იმაზე უფრო მეტი დოზით, რაც ეს რეკომენდებულია სანიტარიული ნორმატივებით მოსახლეობისათვის. დასხივების ზღვარი მოსახლეობისათვის იმ ორგანოებზე, რომლებიც სხივდებიან რადონოთერაპიის ჩატარების დროს, წელიწადში შეადგენს 1,5 რბეს, ხოლო კანისათვის — 3 რბეს. მაქსიმალური დოზები, რომლებსაც რადონოთერაპიის დროს ღებულობენ ავადმყოფები, 10-ჯერ უფრო ნაკლებია, ვიდრე პერსონალის ზღვრულად დასაშვები დოზები. ზოგ შემთხვევაში, თუ მკურნალობის ჩვეულებრივი მეთოდი საკმარის თერაპიულ ეფექტს არ იძლევა, დასაშვებია უფრო მაღალი აქტივობის წყლის ხმარება, მაგრამ ისე, რომ დასხივების დოზა არ აჭარბებდეს პერსონალისათვის დადგენილ ზღვრულად დასაშვებ დოზას (ეს დოზები შეიძლება პირობითად უცნებლად მივიჩნიოთ).

რადონოთერაპიის პროცედურები ბავშვთა ასაკში (მხოლოდ და მხოლოდ 3—5 წლის ზემოთ) მკაცრად რეგლამენტებულია. სამედიცინო ჩვენებანი ამ დროს მკაფიოდ უნდა იყოს გამოკვეთილი.

იმ სამკურნალო დაწესებულებებში, სადაც რადონოთერაპიას იყენებენ, პერსონალი ვალდებულია გაატაროს დაცვის ყველა ღონისძიება, რომელიც ღია რადიაქტიურ წყაროებზე მომუშავე პირს მოეთხოვება. ამასთანავე, მხედველობაში მისაღებია ის გარემოება, რომ რადონი ემანაციის მქონე ელემენტია, რომელიც მოითხოვს ძლიერი სავენტრილაციო დანადგარების არსებობას:

საჭიროა ჰაერში რადონისა და მისი დაშლის პროდუქტებზე სისტემატური დოზიმეტრული კონტროლი. სასურველია დაწესებულებას ჰქონდეს სამზონოვანი დაგეგმარება: სამკურნალო, სამრეწველო „ქუქყიანი“ და სამრეწველო „სუფთა“ ჰაერში რადონისა და მისი დაშლის პროდუქტების კონცენტრაციის მიხედვით. ემანაციური პროცედურები უნდა ჩატარონ ჰერმეტიკულ ბოქსებში, რაც გამორიცხავს რადონის გავრცელებას იქ, სადაც პერსონალია თავმოყრილი. ნახშირი წყლისათვის საჭიროა სპეციალური კანალიზაცია. დაწესებულების გარშემო უნდა იყოს სანიტარიული დამცველი ზონა არანაკლებ 100 მეტრისა. დაცვითი ხასიათის ღონისძიებების კეთილსინდისიერი ჩატარება უზრუნველყოფს პერსონალის დასხივების მინიმალურ დონეს და მათი მუშაობის რადიაციულ უსაფრთხოებას.

## ზრომის ჰიგიენა გამა-დეფექტოსკოპიის დროს

გამა-დეფექტოსკოპია მეთოდია, რომლითაც ლითონთა კონსტრუქციებში, ჯავშანში, შენადნობში და სხვ. დეფექტები ვლინდება ამ ობიექტის γ-სხივებით გაშუქების შედეგად. ამ მეთოდს ფართოდ იყენებენ მრეწველობისა და მშენებლობის სხვადასხვა დარგში — მეტალურგიაში, გემთმშენებლობაში, ნავთობ- და გაზგამდენი ტრასების მშენებლობაზე და სხვ.

γ-სხივების წარმომქმნელ მძლავრ წყაროს გამოსაკვლევი ობიექტიდან გარკვეულ მანძილზე ათავსებენ, საწინააღმდეგო მხარეს კი დგამენ დეტექტორს, რომელიც აღწესსხავს ობიექტში გავლილ γ-სხივებს. დეტექტორი შეიძლება იყოს სპეციალურ კასეტაში (გამაძლიერებელი ეკრანებით) მოთავსებული რენტგენის ფირი, საიონიზაციო გაზის ან სხვა კამერები, სტინტილაციური ეკრანები. რეგისტრირებული γ-სხივების ინტენსივობა სხვადასხვა იქნება იმის მიხედვით, თუ ობიექტი, რომელშიც ეს სხივები გავიდა, არათანაბარი სისქისა და სიმკიდროვის იქნება. ამგვარად, ამ ობიექტებში ბზარების, ჰაერის ბუშ-



ტუკების, ელექტროშედულების დეფექტებისა და სხვ. დადგენის შე-  
საძლებლობა იქმნება.

გამა-დეფექტოსკოპისათვის იყენებენ სხვადასხვა რადიონუკლიდს.  
რადიონუკლიდის შერჩევა საჭიროა იმის მიხედვით, თუ რა სისქისა და  
სიმკვრივის დეტალია გამოსაკვლევი, ვინაიდან სხვადასხვა იზოტოპს  
სხვადასხვა ენერგიის გამა-გამოსხივება აქვს. გამა-დეფექტოსკოპიაში  
იყენებენ შემდეგ რადიონუკლიდებს —  $^{155}\text{Eu}$ ,  $^{170}\text{Tm}$ ,  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{112}\text{Ir}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$   
შედარებით უფრო დიდი სისქის დეტალების საანალიზოდ ძირითადად  
ხმარობენ  $^{137}\text{Cs}$  და  $^{60}\text{Co}$ , თუ დეტალი ძალიან სქელია — 500 მმ-ზე  
მეტი, მაშინ გამოიყენება დამუხრუჭებითი გამოსხივება, რომელიც  
მიიღება სინქროტრონში ან ბეტატრონში ძლიერად აჩქარებული  
ელექტრონების დამუხრუჭებით.  $\gamma$ -დეფექტოსკოპია შეიძლება ჩატარ-  
დეს სტაციონარული ან გადასატანი დანადგარების მეშვეობით.

გამა-დეფექტოსკოპიის წარმოების დროს დაცული უნდა იყოს  
პერსონალის დასხივებისაგან დაცვის ყველა ღონისძიება. ამისათვის  
 $\gamma$  — დეფექტოსკოპიის ლაბორატორია ეწყობა ცალკე გამოყოფილ  
შენობაში ან ფლიგელში, რომელიც აშენებულია ყველა იმ წესის  
დაცვით, რომელიც მოეთხოვება დახურულ წყაროებთან მომუშავე  
დაწესებულებებს (კედლის სისქე, გადახურვა, იატაკი, ავტომატური  
დისტანციური მართვა და სხვ.). აქვემ გათვალისწინებულია ძლიერი  
სავენტილაციო დანადგარები, ვინაიდან  $\gamma$ -გამოსხივების მძლავრი წყა-  
როები ჰაერში იწვევენ ოზონისა და აზოტის ქანგებულების წარმოქმ-  
ნას.

$\gamma$ -დეფექტოსკოპიის ლაბორატორიაში ცალკეა სათავსოები სტაცი-  
ონარული და გადასატანი დანადგარებისათვის, გამაგრამების დამუშა-  
ვებაც ხდება აგრეთვე ცალკე ოთახში, რომელიც მოშორებულია სამა-  
ნიპულაციოს. დანადგარების მართვა ხდება დისტანციურად. მძიმე  
დეტალები გადაიტანება სპეციალური ურიკებისა და ამწეების მეშვე-  
ობით. გადასატანი  $\gamma$ -დეფექტოსკოპის ტრანსპორტირება ხდება ავტო-  
მატურად, სპეციალური ურიკების მეშვეობით, რომელიც ურზუნველ-  
ყოფს პერსონალის დაცვას დასხივებისაგან.

## ზრომის ჰიგიენის საკითხები ატომურ ელექტროსადგურებში

უკანასკნელ წლებში ჩვენს ქვეყანაში დიდ ყურადღებას აქცევენ  
მძლავრი ატომური ელექტროსადგურების მშენებლობას, როგორც  
ელექტროენერგიის მიღების საიმედო, ხანგრძლივ და იაფ წყაროს,  
აგრეთვე ჯანსაღი გარემოს დაცვის საშუალებას.

ატომურ ელექტროსადგურებში ელექტროენერგიის მიღება ხდება  
ატომურ რეაქტორში მიმდინარე ჯაჭვური რეაქციით გამოყოფილი

სითბური ენერჯიის ტრანსფორმირებით ელექტროენერჯიად. ენერჯია მიიღება სითბური ან სწრაფი ნეიტრონების მეშვეობით. ატომური ელექტროსადგურში გამოყენებულია სხვადასხვა ტიპის რეაქტორები — წყლის კონტურიანი, გრაფიტულ-აიროვანი, გრაფიტულ-წყლიანი, მძიმე წყლიანი და სხვ. მაგრამ როგორი ტიპისაც უნდა იყოს, ყველა შემთხვევაში აღინიშნება გამა-და ნეიტრონული გამოსხივება (როგორც პირველადი, ასევე ინდუცირებით წარმოქმნილი) და საჭიროა ეფექტური ღონისძიებების შემუშავება, რომლებიც უზრუნველყოფენ არა მარტო პერსონალის დაცვას, არამედ, გარემო ობიექტების რადიაქტიური დაბინძურების აცილებასაც. ამ მიზნით რეაქტორის გარშემო იქმნება ე. წ. ბიოლოგიური დაცვა. ბიოლოგიური დაცვისათვის მასალის შერჩევა ხდება თვით რეაქტორის ტიპისა და სიმძლავრის მიხედვით.

დამცველი მასალის შერჩევისას ძირითადი ყურადღება უნდა მიაქციონ მასალის სიმკვრივეს, გამა-გამოსხივების შთანთქმისა და სწრაფი ნეიტრონების სითბურში გადაყვანის უნარს; დამცველი მასალის სიმკვრივე (სიმკვრივე) უნდა იყოს ჰომოგენური და თანაბარი დაცვის მთელ სივრცეზე; მასალა დიდი რაოდენობით უნდა შეიცავდეს წყალბადს, რაც უზრუნველყოფს ნეიტრონების სიჩქარის შემცირებას (ჩქარი ნეიტრონების გადაყვანას სითბურში). ამავე დროს ეს მასალა მდგრადი უნდა იყოს გამოსხივების მოქმედებისადმი და ახასიათებდეს ინდუქციური რადიაქტივობის დაბალი დონე. მასალა უნდა იყოს მექანიკურად მდგრადი, სითბოს კარგი გამტარი, წყალგაუმტარი, აირების გატარების მიმართ ჰერმეტიული და სხვ. ყველაზე მეტად ასეთ მოთხოვნებს აკმაყოფილებს წყალი, ბეტონი, რკინა, გრაფიტი, სერპანტინული ქვიშა და მათი ნარევი.

რეაქტორი ჩასმულია ჰერმეტიულ ბოქსში. მისი მართვა ხდება მანძილიდან ავტომატურად. რეაქტორის მუშაობის პროცესში შენობაში (ზონაში) არავინ არ დაიშვება. დანარჩენი ობიექტები (შენობები) რეაქტორისაგან გამოყოფილია ბიოლოგიური დაცვით.

მუშაობის პროცესში ატომური საწვავი — ტველი — იფიტება და პერიოდულად საჭირო ხდება მისი შეცვლა. ნამუშევარ ტველს გზავნიან გადასამუშავებლად. ტველის შეცვლა უნდა მოხდეს მექანიკურად, ლისტანციური მართვის მეშვეობით.

ყოველ ობიექტზე არსებობს რადიაციული დაცვის სამსახური, რომელიც აკონტროლებს პერსონალის მიერ რადიაციული უშიშროების დებულებების ზუსტად შესრულებას. რადიაციული დაცვის სამსახური სისტემატურად აკონტროლებს ატომური ელექტროსადგურის კონტურების ჰერმეტიულობას, დაცვითი მასალების სიმკვრივის ერთგვაროვნებას და სხვ. რადიაქტიური იზოტოპების მცირე ნაწილს, რომ-

ლებიც ამ კონტურებში წარმოიქმნება, სპეციალური მაღალი მილე-  
ბის მეშვეობით ფილტრებზე გაწმენდის ან გაზგოლდერებში დაყოფ-  
ნების შემდეგ გაუშვებენ ატმოსფეროში.

ავარიული სიტუაციის შემთხვევაში ატმოსფეროში შეიძლება გა-  
მოიყოს ჰიგიენურად მეტად საშიში ელემენტები —  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  
ამიტომ რადიაციული დაცვის სამსახური ატომური ელექტროსადგუ-  
რის მიდამოებში და მისგან დაშორებით სისტემატურად აკონტრო-  
ლებს გარემოს (ნიადაგის ჰაერი, წყალი) რადიაქტიურ მდგომარე-  
ობას.

უკანასკნელ წლებში ატომური ელექტროსადგურების მახლობლად  
გარემოს რადიაციულ-ჰიგიენური მდგომარეობის შესაფასებლად შე-  
მოღებულია მსხვილფეხა რქიანი საქონლის ფარისებრი ჯირკვლის  
გამოკვლევა რადიაქტიურ იოდზე —  $^{131}\text{I}$ . ამ უკანასკნელის არსებობა  
მიუთითებს ჰაერში რადიაქტიური იოდის გაყონვაზე და, მაშასადამე,  
ატომური ელექტროსადგურის არაწესიერ ექსპლუატაციაზე.

ატომური ელექტროსადგურის მომსახურე პერსონალს სისტემატუ-  
რად უტარებენ ინდივიდუალურ დოზიმეტრიულ კონტროლს. რეაქ-  
ტორებზე მუშაობა უტოლდება I კლასის სამუშაოებს. სანიტარიული  
დაცვის ზონა — არანაკლებ 1000 მეტრია.

## რადიოაქტიური დაბინძურებისაგან გარემოს დაცვის პრობლემა

გარე ხაზაროს რადიოაქტიური დაბინძურების ჰიგიენური უზრუნველყოფა

როგორც აღენიშნეთ, ბუნებრივი რადიაციული ფონი განპირობე-  
ბულია რადიაქტიური ნივთიერებების გავრცელებით ლითონფეროში,  
ჰიდროსფეროში, ატმოსფეროში და კოსმოსური გამოსხივებით. დოზა,  
რომელსაც ცოცხალი ორგანიზმი ღებულობს ბუნებრივი რადიაციული  
ფონის საშუალებით, არ არის დიდი და მერყეობს საშუალოდ 0,1—  
0,6 რადი/წელიწადში.

უკანასკნელი ორი ათეული წლის განმავლობაში სამყაროს გამო-  
სხივების დოზა საგრძნობლად გაიზარდა. ამის მიზეზია, ძირითადად,  
ატომური მრეწველობისაგან მიღებული რადიაქტიური ნარჩენებითა  
და ატომური იარაღის აფეთქებების შედეგად წარმოქმნილი რადიაქ-  
ტიური ნივთიერებებით დედამიწის დაბინძურება. მართალია, გამოსხი-  
ვების დონე, რომელიც დღეისათვის დაგროვდა ხელოვნური რადიაქ-  
ტიური იზოტოპებისაგან დედამიწის დაბინძურების შედეგად, არ  
არის ისეთი მაღალი, რომ მან რაიმე ფართო მასშტაბის უშუალო,  
სომატური გავლენა მოახდინოს ბიოსფეროზე, მაგრამ არსებობს შე-

მოსაზღვრული, ლოკალური უბნები, განსაკუთრებით ისეთები, რომლებიც ახლოს მდებარეობენ ატომურ წარმოებასთან და რადიაქტიური ნარჩენების გადაყრის ადგილებთან, სადაც დასხივების დოზა რამდენჯერმე აღემატება გარემოს ფონს და, შესაძლებელია, ამ რაიონების ბიოსფეროში რაიმე გარკვეული ცვლილებები გამოიწვიოს. შესაძლებელია მომავალში აღმოჩნდეს, რომ ცვლილებები მავნეა. ამ მოსაზრების დასადასტურებლად მოვიყვანთ წარსული წლების გამოცდილებას, როდესაც ატმოსფეროსა და წყალსაცავებში ქიმიური და სხვა მრეწველობის ნარჩენების გაშვების უკონტროლობამ გამოიწვია ცოცხალი სამყაროს განადგურება მრავალი კილომეტრის მანძილზე.

რადიაქტიური ნივთიერებების გამოყოფა ატმოსფეროში, დალექვა წყალში ან ნიადაგზე ჯერ კიდევ სრულად არ ასახავს ამ ადგილმდებარეობის სანიტარიულ-ჰიგიენურ მდგომარეობას. ბუნებრივი ფაქტორების ზეგავლენით ხდება ამ რადიაქტიური ნივთიერებების გადანაწილება, რამაც შეიძლება არსებითად შეცვალოს ამ ადგილმდებარეობის სანიტარიულ-ჰიგიენური მდგომარეობა. ამ გადანაწილების დროს შესაძლებელია წარმოიქმნას რადიაქტიური ნივთიერებების მაღალი კონცენტრაციის კერები, რომლებიც გამოიწვევენ ადამიანის ორგანიზმის გარეგან დასხივებას, და ამ ნივთიერებების ბიოლოგიურ ჯაჭვში მონაწილეობის გზით, კერძოდ საკვების გზით მოხვდებიან ადამიანის ორგანიზმში და განაპირობებენ მის შინაგან დასხივებას. მაგალითად, ატომური ელექტროსადგურების ექსპლუატაციის შედეგად ატმოსფეროში გამოყოფილი რადიაქტიური იოდის სანიტარიულ-ჰიგიენური მნიშვნელობა გამოიხატება არა მარტო ატმოსფეროს დაბინძურებით, არამედ, ძირითადად, მისი შემცველობით, რძეში. რძეში კი იგი აღმოჩნდება იმის გამო, რომ საქონელი ძოვს ატმოსფეროდან გამოლექილი რადიაქტიური იოდის იზოტოპებით დაბინძურებულ ბალახს. იგივე უნდა ითქვას რადიაქტიურ სტრონციუმზე —  $^{90}\text{Sr}$ , ნაწილობრივ ცეზიუმზე —  $^{137}\text{Cs}$ . ამ უკანასკნელს, ისევე როგორც რადიაქტიურ კობალტს— $^{60}\text{Co}$ , შედარებით განსხვავებული სანიტარიულ-ჰიგიენური მნიშვნელობა აქვს. ეს მნიშვნელობა ფასდება არა მარტო იმით, რომ საკვებში, წყალში მოხვედრის შემდეგ ისინი კვების გზით გადაეცემა ადამიანს და იწვევს მის შინაგან დასხივებას, არამედ ძირითადად გამოსხივების იმ დოზით, რომელსაც ქმნიან ამ ელემენტების გამა-სხივები დედამიწისა და წყალსატევების ზედაპირიდან, ე. ი. გარეგანი დასხივებით.

დღეისათვის დაგროვილი რადიაქტიური ნარჩენები რამდენიმე მილიარდ კიურის აღწევს, მაგრამ მათი რაოდენობა ატომური წარმოების ზრდასთან ერთად იზრდება.

მეცნიერებმა გამოიანგარიშეს, რომ 2000 წლისათვის რადიოაქტიური ნარჩენების რაოდენობა გაუტოლდება დედამიწაზე არსებულ ბუნებრივ რადიოაქტიურ ელემენტთა აქტივობას. თუ სწორად არ იქნება გადაწყვეტილი და ორგანიზებული რადიოაქტიური ნარჩენების გადაყრის პრობლემა, შესაძლოა ბიოსფეროს რადიოაქტიურმა დაბინძურებამ გამოიწვიოს ეკოლოგიური სისტემის ზოგიერთი ორგანიზმის ჯგუფის სრული განადგურება, რასაც შედეგად აუცილებლად მოჰყვება სამყაროს ცვლილება, ვინაიდან ცხოველმყოფელობის სფეროსა და ცოცხალ ორგანიზმებს შორის დაირღვევა ურთიერთკავშირი. ეს ცვლილებები, თავის მხრივ, გავლენას მოახდენს გარემოს მიერ რადიოაქტიური ნივთიერებების შთანქმისა და შეკავების უნარზე, რაც ხელს შეუწყობს რადიოაქტიური ნივთიერებების ფიზიკურ და ბიოლოგიურ მიგრაციას დაბინძურებული სფეროდან არადაბინძურებულისაკენ. ამიტომ მთელი ღონისძიებანი იქით უნდა მივმართოთ, რომ მინიმუმამდე დავიყვანოთ რადიოაქტიური ნივთიერებებით სამყაროს დაბინძურება და, მაშასადამე, ის შედეგები, რომლებიც ამ დაბინძურებას შეიძლება მოჰყვეს.

#### **ზარე სამყაროს რადიოაქტიური დაბინძურების წყაროების დახასიათება**

ზარე სამყაროს რადიოაქტიური დაბინძურება ხდება შემდეგი წყაროს მეშვეობით: 1. ატომური იარაღის გამოცდით; 2. რეაქტორების ქქსპლუატაციით; 3. რადიოაქტიური მადნის მოპოვებით; 4. ბირთვული საწვავის გადამუშავებით; 5. რადიოაქტიური ნარჩენების დამარხვით; 6. რადიოაქტიური ელემენტების გამოყენებით მშვიდობიანი მიზნებისათვის; 7. კოსმოსური პროგრამების შესრულებით; 8. მშვიდობიანი ატომური აფეთქებებით; 9. ავარიული მდგომარეობით.

ზარე სამყაროს რადიოაქტიური დაბინძურების თვალსაზრისით პირველი ადგილი ატომური იარაღის აფეთქებებს უჭირავს. ამ დროს დედამიწის რადიოაქტიური დაბინძურება ვრცელდება არა მარტო ერთეულ საწარმოზე ან რაიონზე, არამედ უმრავლეს შემთხვევაში გლობალურად და რადიოაქტიური დასხივების ქვეშ ექცევა მთელი ბიოსფერო.

როგორც ცნობილია, ატომური იარაღის აფეთქების შედეგად მოქმედებს ხუთი ფაქტორი: 1. დარტყმითი ტალღა; 2. სითბური ენერჯია; 3. ზეგავლენითი ინდუქციური დენი; 4. საწყისი ბირთვული რადიაცია; 5. ნარჩენი ბირთვული რადიაცია.

ორი უკანასკნელი ფაქტორი (და ნაწილობრივ მესამეც) დაკავშირებულია მაიონიზებელი რადიაციის მოქმედებასთან. საწყისი ბირთვული რადიაციის წარმოსაქმნელად იხარჯება ატომური იარაღის

ენერჯის 5%. ეს რადიაცია მოქმედებს სწრაფად, იარალის აფეთქებისთანავე; ეს ყველაზე ნაადრევად მოქმედი ფაქტორია, წინ უსწრებს დარტყმითი ტალღისა და სხივური (სითბური) ენერჯის მოქმედებას. მისი მოქმედება ძირითადად ეპიცენტრით იფარგლება, იწვევს მძიმე და უმძიმესი ფორმის სხივურ დაავადებას, ავადმყოფები ძლიერ მალე იღუპებიან.

რაც შეეხება მეხუთე ფაქტორს — ნარჩენ ბირთვულ რადიაციას, იგი მოქმედებს ხანგრძლივად, თვეებისა და წლების განმავლობაში და ამდენად დიდ ინტერესს იწვევს პიგიენტური თვალსაზრისით.

ნარჩენი ბირთვული რადიაციის წარმოქმნისათვის იხარკება ატომური იარალის აფეთქების ძალის 10%. მას წარმოქმნის შემდეგი წყაროები: 1. ურანის ან პლუტონიუმის გახლეჩის შედეგად წარმოქმნილი რადიონუკლიდები და მათი დაშლის პროდუქტები; 2. ნეიტრონების გარე ბუნებასთან მოქმედების შედეგად წარმოქმნილი რადიაქტივობა, ე. წ. ზეგავლენით, ანუ ინდუცირებული რადიაქტივობა; 3. ურანის ან პლუტონიუმის არაგახლეჩილი ნაწილაკები და მათი დაშლის პროდუქტები.

ურანის ან პლუტონიუმის გახლეჩის შედეგად წარმოიქმნება 200-მდე სახის რადიაქტიური იზოტოპი, რომელთაგან 50%-ის არსებობის ხანგრძლივობა მოკლეა ( $T=1-2$  თვეს); დანარჩენების ნახევარდაშლის პერიოდი განისაზღვრება 1—2 წლით, ხოლო ნაწილისა კი — ასეული და ათასეული წლებით. აი რატომ ვამბობთ, რომ ამ ფაქტორის მოქმედება გრძელდება ძალიან დიდხანს (პრაქტიკულად უსასრულო პერიოდის განმავლობაში).

გახლეჩის შედეგად წარმოქმნილი ელემენტების  $^{89}\text{Sr}$ -ის,  $^{95}\text{Zr}$ -ის,  $^{95}\text{Nb}$ -ის,  $^{103}\text{Ru}$ -ის,  $^{106}\text{Ru}$ -ის,  $^{140}\text{Ba}$ -ის,  $^{140}\text{La}$ -ის,  $^{144}\text{Ce}$ -ის,  $^{144}\text{Pr}$ -ის ჩათვალა დაშლის პერიოდის ხანგრძლივობა განისაზღვრება 1 წლით და უფრო ნაკლებით, ხოლო ისეთ ელემენტებს, როგორიცაა  $\text{Rb}$ ,  $\text{In}$  და სხვ., ძლიერ დიდი ნახევარდაშლის პერიოდი აქვთ —  $5,0 \cdot 10^{10}$ — $6 \cdot 10^{14}$  წელი. ყველა ეს იზოტოპი ქმნის გარე სამყაროს ხანგრძლივი პერიოდით დაბინძურების საშიშროებას.

ხანგრძლივი არსებობის პერიოდის მქონე ელემენტებიდან, რომლებიც ურანის ან პლუტონიუმის გახლეჩის შედეგად წარმოიქმნებიან, სანიტარიული თვალსაზრისით განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია  $^{90}\text{Sr}$ , რომლის ნახევარდაშლის პერიოდი 28 წელია, და  $^{137}\text{Cs}$ , რომლის ნახევარდაშლის პერიოდი 30 წელია. ისინი ძლიერ პოტენციურ საშიშროებას ქმნიან ადამიანისათვის. მათი მოხვედრა ორგანიზმში, გარდა პირდაპირი გზისა, ბიოლოგიური ციკლის მეშვეობითაც ხდება.

სტრონციუმი გროვდება ძვლებში, იწვევს ძვლის ტვინის დასხივებას, რასაც შესაძლებელია მოჰყვეს სისხლნაკლებობა, სისხლის

ავთვისებიანი დაავადებების განვითარება და სხვ. იგი ორგანიზმიდან ძალიან ნელა გამოიყოფა. მისი ნახევარგამოყოფის პერიოდი 18 წელია. გროვდება კუნთოვან ქსოვილში და იწვევს ორგანიზმის ზოგად დასხივებას ბეტა-, გამა-სხივებით. ცეზიუმის ნახევარგამოყოფის პერიოდი 70 დღეა.

ატომური ბომბის აფეთქების შედეგად წარმოქმნილი მოკლე ნახევარდაშლის პერიოდის მქონე იზოტოპებიდან ბიოლოგიურად განსაკუთრებული საშიში ელემენტია რადიაქტიური იოდის იზოტოპები —  $^{126-132}\text{I}$  (მათი რაოდენობა 16% აღწევს). რადიაქტიური იოდი არჩევითად გროვდება ფარისებრ ჯირკვალში, იწვევს მის დასხივებას და ვითარდება ჰიპოთირეოზის დამახასიათებელი სიმპტომატიკა.

ურანისა და პლუტონიუმის გახლეჩის შედეგად წარმოქმნილი იზოტოპები გამოასხივებს ალფა-, ბეტა-, გამა-სხივებს.

ნეიტრონული გამოსხივების ზეგავლენით წარმოქმნილი ე. წ. ინდუცირებული რადიაქტივობიდან ყველაზე მნიშვნელოვანია  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{34}\text{Cl}$ ,  $^{45}\text{Ca}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{14}\text{C}$ . ეს რადიაქტიური იზოტოპები გამოასხივებს ბეტა- და გამა-სხივებს.

გაუხლეჩავე ურანი და პლუტონიუმი (U, Pu) ასხივებს ალფა-, და გამა-სხივებს.

ზემომოყვანილი მოკლე მონაცემები წარმოდგენას გვაძლევს იმის შესახებ, თუ ატომური ბომბის საცდელი ან საბრძოლო აფეთქებების შედეგად რომელი იზოტოპით შეიძლება დაბინძურდეს სამყარო — ჰაერი, ნიადაგი, წყალი, შენობები, საკვები პროდუქტები.

ნარჩენი ბირთვული რადიაცია ვრცელდება გრძელი შლეიფის მსგავსად, ე. ი. არა მარტო აფეთქების ეპიცენტრის გარშემო რადიალურად, არამედ გაბატონებული ქარების მიმართულების მიხედვითაც. რადიაქტიური ელემენტები აღის მალლა სტრატოსფეროში, რამდენჯერმე შემოუვლის დედამიწას და ნელ-ნელა ილექება. დედამიწის ზედაპირზე მათ დალექვას 5—6 და მეტი წელი სჭირდება.

საჰაერო აფეთქების დროს ნალექები გლობალურია, ხოლო მიწის-ზედა აფეთქების დროს — ლოკალური. 50 მიკრონზე უფრო დიდი ზომის ნაწილაკები ილექება 24 საათის განმავლობაში. დაახლოებით 50 კმ რადიუსით. 20—30 მიკრონის ზომის ნაწილაკები ნახევარგლობალურია, ისინი უფრო შორს ვრცელდებიან და ილექებიან 2—3 კვირის განმავლობაში. უწყვილესი დისპერსიული ნაწილაკები გლობალურია და ილექებიან წლების განმავლობაში.

აღიარებულია, რომ ატომური ბომბების უკვე ჩატარებული აფეთქებების შედეგად დედამიწის ფონი 1%-ით გაიზარდა.

გარე სამყაროს დაბინძურების ძირითადი წყაროა აგრეთვე ატომური მრეწველობის საწარმოები — ურანის მადნის გადამამუშავებელი,

ბირთვული საწვავის მწარმოებელი, ატომური ელექტროსადგურები, გემებისა და რაკეტების ბირთვული დანადგარები, აგრეთვე სამეცნიერო-კვლევითი ლაბორატორიები. ყველა ამ წარმოებასა და მოხმარებას თან სდევს რადიოაქტიური ნარჩენების წარმოქმნა. საჭიროა ამ ნარჩენების გადაყრა. ეს გადაყრა კი ხდება გარემოში, რაც იწვევს მათ მოხვედრას ბიოსფეროში და ამ უკანასკნელის დაბინძურებას. გარემო სამყაროს დაბინძურება ასეთ შემთხვევებში ძირითადად ლოკალურია. იგი დამოკიდებულია ურანის მადნის მოპოვებელი და გადამმუშავებელი, ბირთვული საწვავის მწარმოებელი და ატომურ ენერჯიაზე მომუშავე ობიექტების ადგილმდებარეობაზე, გაბატონებული ქარების მიმართულეობაზე, ადგილის რელიეფზე და სხვ.

ტექნოლოგიური პროცესების მიხედვით რადიოაქტიური ნივთიერებები სხვადასხვა აგრეგატულ მდგომარეობაში შეიძლება იყოს: მყარი, თხევადი, აირიანი. მაგალითად, ურანის მადნის მოპოვებელ და დამმუშავებელ ობიექტებზე დიდი რაოდენობით იქმნება მყარი და თხიერი რადიოაქტიური გადანაყრები, რომლებიც შეიცავს ურანს, რადიუმსა და მათი დაშლის პროდუქტებს. დღე-ღამის განმავლობაში ამ გადანაყრების საშუალებით შესაძლებელია გარემოში მოხვედეს საშუალოდ 100 კგ ურანი, 2 მგ რადიუმი და 3 Ci მათი დაშლის პროდუქტები. ურანის მალაროებში გამოიყოფა რადიოაქტიური აირი-რადონი და მისი შვილეული პროდუქტები, რომლებიც სავენტრილაციო დანადგარების მეშვეობით გადადიან ატმოსფერულ ჰაერში და იწვევენ მის დაბინძურებას. იმ რადიოაქტიური ნივთიერებების რაოდენობა, რომლებიც ამ წარმოებათა ექსპლუატაციის შედეგად ხდება გარე სამყაროში, დამყარებულია მათი მუშაობის სიმძლავრეზე, სამუშაოთა ტექნოლოგიაზე. ტექნოლოგიური პროცესების სრულყოფაზე და სხვ.

ატომური რეაქტორებისა და ელექტროსადგურების ექსპლუატაციის დროს ატმოსფეროში დღე-ღამეში გამოიყოფა 100—500 კიური კეთილშობილი რადიოაქტიური აირები, — არგონი, კრიპტონი, ჰსენონი. რაც უფრო დიდია რეაქტორის სიმძლავრე, მით მეტ აირს გამოყოფს. აირის გარდა, ატმოსფეროში დღე-ღამეში გამოიყოფა რადიოაქტიური იოდის იზოტოპების ( $^{126}$ — $^{132}$ I) დაახლოებით 0,05 კიური. რაც შეეხება Sr-სა და Cs, ისინი ნორმალური ექსპლუატაციის დროს ატმოსფეროში არ გამოიყოფა, ჰაერს აბინძურებენ მხოლოდ ავარიულ შემთხვევებში.

რადიოაქტიურ ნივთიერებებს ჰაერში თბოელექტროსადგურებიც გამოყოფს. მაგალითად, ნავთობზე მომუშავე თბოელექტროსადგურები დღე-ღამეში გამოყოფს 1 მკ რადიოაქტივობას, ხოლო ნახშირზე მომუშავე — 30 მკ. თბოელექტროსადგურები ძირითადად გამოყოფს რადიუმს.



გარე სამყაროს დაბინძურებაში გარკვეულ როლს ასრულებს დაწესებულებები, რომლებიც ამ თუ იმ მიზნით გამოიყენებენ რადიოაქტიურ ნივთიერებებს (მაგალითად, სამედიცინო დაწესებულებები). ასეთ რადიოლოგიურ ლაბორატორიებში, ძირითადად გროვდება მყარი და თხიერი რადიოაქტიური გადანაყრები (ნახშირი ამპულები, ბამბა, ფილტრის ქაღალდი, მწყობრიდან გამოსული იარაღები, ექსპერიმენტულ ცხოველთა გვამები და სხვ.). ამავე დაწესებულებებიდან შესაძლებელია ჰაერში მოხვდეს სხვადასხვა რადიოაქტიური ელემენტი (ბოქსებიდან, გამწოვი კარადებიდან, სავენტილაციო დანადგარებიდან), მათ შორის აქროლადი რადიოაქტიური ელემენტებიც — ( $^{131}\text{I}$ ,  $^{32}\text{P}$  და სხვ.).

გარე სამყაროს დაბინძურებაში ყველა ზემოთ ჩამოთვლილ ობიექტს. რასაკვირველია, ერთნაირი მნიშვნელობა არა აქვს. თავისი მასშტაბურობით და აქტივობის დონით ყველაზე მნიშვნელოვანია ატომური იარაღის აფეთქება. ასევე მნიშვნელოვანია (თუმცა არა გლობალური მასშტაბით) ურანის მადნის მომპოვებელი და გადამმუშავებელი წარმოებები. შედარებით ნაკლებ დაბინძურებას იწვევს ის დაწესებულებები, სადაც ხდება რადიოაქტიური იზოტოპების გამოყენება ამა თუ იმ საჭიროებისათვის.

### **ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება რადიოაქტიური ნივთიერებებით**

რადიოაქტიური ნივთიერებებით ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების ძირითადი წყაროა ატომური იარაღის აფეთქებები, ატომური მრეწველობის საწარმოთა ექსპლუატაციის დროს წარმოქმნილი რადიოაქტიური აირებისა და აეროზოლების ატმოსფეროში მოხვედრა, რადიოაქტიური ნივთიერებების გამომყენებელი ზოგიერთი წარმოება-დაწესებულების გამწოვი კარადიდან რადიოაქტიური იზოტოპების გადასვლა ატმოსფერულ ჰაერში და სხვ.

თანამედროვე პერიოდს ახასიათებს გარკვეული თავისებურებები. საბჭოთა კავშირის ინიციატივით 1963 წელს დაიდო ხელშეკრულება ატომური იარაღის ატმოსფეროში, მიწისზედა და წყალქვეშა აფეთქებების აკრძალვის შესახებ. სახელმწიფოები, რომლებმაც ხელი მოაწერეს ამ ხელშეკრულებას, მტკიცედ იცავენ მას.

ეს ძალიან მნიშვნელოვანი ნაბიჯია ატმოსფერული ჰაერის რადიოაქტიური დაბინძურებისაგან დაცვის საკითხში. მოისპო ატმოსფეროს რადიოაქტიური დაბინძურების ერთ-ერთი მძლავრი წყარო. თუმცა ზოგიერთი ქვეყანა, მაგალითად, ჩინეთი, იშვიათად, მაგრამ მაინც ახდენს ატომური იარაღის გამოცდას ატმოსფეროში.

ამჟამად ატმოსფერული ჰაერის ბინძურდება ძირითადად ატომური საწარმოებისა და რადიოაქტიური ნივთიერებების გამოყენებელი ლაბორატორიების ექსპლუატაციის შედეგად. რასაკვირველია, ასეთ პირობებში ატმოსფეროს დაბინძურების ხარისხი და გავრცელება შედარებით ნაკლებია, გლობალური ხასიათის აღარ არის.

როგორც ცნობილია, ატომური ბომბის აფეთქების შედეგად ატმოსფერო ბინძურდება 200-მდე სახის რადიოაქტიური ელემენტებით. წარმოქმნილი. რადიონუკლიდების ბუნება და რაოდენობა დამოკიდებულია ბომბის ტიპზე, სიმძლავრეზე, აფეთქების ხასიათზე (აფეთქება ჰაერში, მიწისზედა, მიწისქვეშა, წყალქვეშა). სანიტარიულ-ჰიგიენური თვალსაზრისით ყველაზე დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ბომბის აფეთქების შედეგად მოქმედ ერთ-ერთ ფაქტორს — ნარჩენ ბირთვულ რადიაციას, რომელიც იწვევს ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებას ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში (თვეები და წლები) რადიოაქტიური ღრუბლის სახით, რომელიც რამდენჯერმე შემოუვლის დედამიწას და ამ მოძრაობის დროს დედამიწის ზედაპირზე ტოვებს დალექილი რადიონუკლიდების კვალს.

ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების ხარისხი, ხანგრძლივობა, გავრცელება გარკვეულ კანონზომიერებას ექვემდებარება. ატომური ბომბის აფეთქების შედეგად პირველ წუთებში წარმოქმნილი რადიოაქტიური ღრუბელი გაივლის ტროპოსფეროს, ტროპოპაუზას და აღწევს სტრატოსფეროს (მეგატონური სიმძლავრის ბომბის აფეთქების დროს). რადიოაქტიური ნაწილაკები, რომელთა სიდიდე სხვადასხვაგვარია — მიკრონის მესხედი ნაწილიდან რამდენიმე მილიმეტრამდე, გადაადგილდება რადიოაქტიურ ღრუბელთან ერთად, ჰაერის მასების მოძრაობასთან ერთად ჰორიზონტალურად, აგრეთვე, გრავიტაციული ძალების მოქმედების შედეგად — ვერტიკალურად. ამ ნაწილაკების გრავიტაციული დალექვის სიჩქარე მათ ზომაზეა დამოკიდებული. თუ სიდიდე 50 მკ-ზე მეტია, მაშინ ტროპოსფეროდან მათი გამოლექვა სწრაფად ხდება, რამდენიმე საათში და ეპიცენტრთან ახლოს რამდენიმე ასეული კილომეტრის მანძილზე, ე. ი. ნალექები ლოკალური ხასიათისაა, ხოლო თუ ნაწილაკების სიდიდე 20 მკ-ზე ნაკლებია, მაშინ მათი დალექვა ხანგრძლივად მიმდინარეობს. თუ ნაწილაკების სიდიდე რამდენიმე მიკრონს უდრის, მაშინ ტროპოსფეროდან (11—16 კმ სიმაღლე) მათი ნახევარგამოყოფის პერიოდი თვეობით გრძელდება. ეს შუამდებარე ტროპოსფერული, ანუ ნახევრად გლობალური ნალექებია. თუ ნაწილაკების სიდიდე მეთაღი და მესხედი მიკრონებით განისაზღვრება, ამ შემთხვევაში მათი დალექვა წლობით მიმდინარეობს. ამასთან, დალექვა ხდება არა გრავიტაციული ძალების მოქმედების შედეგად, არამედ ჰაერის ვერტიკალური პულსაციით (ტურბულენტური მოძრა-

ობით) და ატმოსფერული ნალექების საშუალებით. სანამ დაილექებიან, ისინი ასწრებენ დედამიწის გარშემოვლას რამდენჯერმე, რის გამოც ნალექები გლობალური ხასიათისაა. აეროზოლის ის ნაწილი, რომელიც ტროპოსფეროდან სტრატოსფეროში ხვდება (30 კმ სიმაღლემდე) უფრო ნელა ილექება, ვინაიდან ჰაერცვლა სტრატოსფეროსა და ტროპოსფეროს შორის ძალიან ნელა მიმდინარეობს. აეროზოლების სტრატოსფეროდან ტროპოსფეროში გადასვლა ხდება ციკლონების მოქმედების შედეგად ან ტროპოპაუზაში არსებულ გარღვევებში ჰაერის მასების გავლის გზით. აღსანიშნავია, რომ ამ ნაწილაკების გადაადგილება სტრატოსფეროდან ტროპოსფეროში უფრო სწრაფად ხდება გაზაფხულის პერიოდში, აგრეთვე, ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში. სტრატოსფეროში რადიაქტიური ნაწილაკები კავდება დაახლოებით 6 თვიდან 5 წლამდე.

რადიაქტიური მტერის 60—70% ილექება მშრალი გზით, ხოლო 30—40% — ატმოსფერული ნალექების მეშვეობით.

დალექვის ხანგრძლივობა, ბუნებრივია, გავლენას მოახდენს ატმოსფეროს რადიაქტიური დაბინძურების თვისებრივ ხასიათზე. გლობალური ხასიათის ნალექები შედგება ხანგრძლივი ნახევარდაშლის პერიოდის მქონე ელემენტებისა ( $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{91}\text{Y}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{147}\text{Pm}$ ) და მათი შვილეული ელემენტებისაგან ( $^{90}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{106}\text{Rh}$ ,  $^{144}\text{Pr}$ ,  $^{147}\text{Pm}$ ). დედამიწის ზედაპირული ნაწილი, რომელზეც ეს ელემენტები ილექება, გამა-ფონის გაზრდის წყაროა. მაგრამ, გარდა გამა-ფონის ზრდისა, ამ ელემენტებს ახასიათებს ბიოლოგიური საშიშროებაც. ამ ელემენტებიდან ბიოლოგიურად ყველაზე საშიშია  $^{90}\text{Sr}$  ( $T=28$  წელს),  $^{137}\text{Cs}$  ( $T=30$  წელს) და  $^{14}\text{C}$  ( $T=5568$  წელს), ვინაიდან ისინი მონაწილეობენ ცოცხალი ორგანიზმების ბიოგენურ ცვლაში.

ვინაიდან რადიონუკლიდების გამოლექვა გლობალური ხასიათისაა, ამიტომ მათი კონცენტრაცია ამა თუ იმ ადგილზე ლოკალურად უმნიშვნელოა, რის გამოც ამ ელემენტებისაგან მიღებული დოზის სიმძლავრე დიდი არ არის. ვინაიდან, ისინი ხანგრძლივად არსებობენ, ამიტომ იწვევენ მრავალი შთამომავლობის დასხივებას, რის შედეგადაც მოსალოდნელია შორეული, არა მარტო გენეტიკური, არამედ სომატური ცვლილებებიც.

განსაკუთრებით მნიშვნელობა ენიჭება რადიონუკლიდების კონცენტრაციას ატმოსფეროს იმ ფენებში, რომლებიც დედამიწასთან ახლოს არიან, სადაც ადამიანი უშუალოდ ცხოვრობს და სუნთქავს.

ატომური მრეწველობის ზოგიერთი საწარმოს ექსპლუატაციის დროს რადიაქტიური ნარჩენები გამოიყოფა აირების სახით, რომლებიც საკვამლე და სავენტილაციო მილების საშუალებით ატმოსფეროში ხვდებიან. მაგალითად, ბრუკჰეივენის ლაბორატორიიდან ყოველ-

წლიურად მილიონობით აიროვანი რადიაქტიური ნარჩენი გადის ატმოსფეროში. ატომური ელექტროსადგურების ექსპლუატაციის შედეგად ატმოსფეროში გამოიტყორცნება რადიაქტიური ინერტული აირები და რადიაქტიური იოდის იზოტოპები. მართალია, მოკლე ნახევარდაშლის პერიოდის მქონე ელემენტები დიდ სანიტარიულ საშიშროებას არ ქმნის ადგილმდებარეობის რადიაქტიური დაბინძურების თვალსაზრისით, მაგრამ მხედველობაში მისაღებია, რომ ისინი ატმოსფეროს გამა-ფონს ზრდიან, აგრეთვე, მათი დაშლის შედეგად წარმოიქმნება ხანგრძლივი ნახევარდაშლის პერიოდის მქონე იზოტოპები. მაგალითად,  $^{41}\text{Ar}$  ( $T=1,8$  საათი) საკმაოდ ადიდებს გარემოს გამა-ფონს, ხოლო  $^{90}\text{Kr}$  ( $T=33$  წამი) დაშლის შედეგად წარმოქმნის ხანგრძლივი ნახევარდაშლის პერიოდის რადიაქტიურ აეროზოლებს.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ბიოლოგიურად აქტიურ ელემენტებს — რადიაქტიური იოდის იზოტოპებს. მართალია, მათ ნახევარდაშლის პერიოდი ხანმოკლე აქვთ, მაგრამ იოდი ბიოლოგიურად ძალიან აქტიურია და სწრაფად ხვდება ადამიანის ორგანიზმში.

ატომური მრეწველობის საწარმოთა ექსპლუატაციის შედეგად ატმოსფეროში მოხვედრილ რადიაქტიურ ნივთიერებათა ქიმიური ბუნება და რაოდენობა დამოკიდებულია ამ საწარმოს სამუშაოს მოცულობაზე, ტექნოლოგიური პროცესის ხასიათზე, გამწმენდ დანადგართა მუშაობის ეფექტურობაზე და სხვ. მაგრამ, როგორც დიდი რაოდენობითაც უნდა იყოს გამოყოფილი რადიაქტიური აეროზოლები ან აირები, მათ მიერ გამოწვეული დაბინძურება გლობალური ხასიათის არ არის, რვი ძირითადად ლოკალურია, თუმცა გავრცელების რადიუსი შესაძლებელია საკმაოდ დიდიც იყოს.

თუ სავენტრილაციო მილი მაღალია (100—125 მეტრი), მაშინ რადიაქტიური აირები, ვიდრე დედამიწის ზედაპირზე მათი დალექვა მოხდებოდეს. ასწრებს საკმაო განზავებას ატმოსფეროს დიდ მოცულობაში.

რადიაქტიური აირები და აეროზოლები განსაკუთრებით დიდი რაოდენობით გამოიტყორცნება ატმოსფეროში რეაქტორებზე მომხდარი ავარიების დროს. 1957 წელს უინდსკეილის (ინგლისი) რეაქტორზე მომხდარი ავარიის დროს ატმოსფეროში ერთდროულად გამოიტყორცნა 20 000 კიური  $^{131}\text{I}$ , 600 კიური  $^{137}\text{Cs}$ , 80 კიური  $^{89}\text{Sr}$  და 9 კიური  $^{90}\text{Sr}$ . ეს ყველაზე დიდი ავარიაა, რომელიც დღემდე მომხდარა დედამიწის ზურგზე. მის შედეგად წარმოქმნილი რადიაქტიური ღრუბელი გავრცელდა ასობით კილომეტრზე და ევროპის ბევრ ქვეყანას გადაუარა. თვით უინდსკეილში ღრუბლიდან დალექილი  $^{131}\text{I}$ -ის რაოდენობა ბევრად აღემატებოდა დასაშვებ ნორმებს, რის გამო სასწრაფოდ

გატარდა სპეციალური ღონისძიებები ადგილობრივი მოსახლეობის დასახივების შესამციკრებლად.

სტრატოსფეროდან და ტროპოსფეროდან რადიაქტიური ელემენტები დროთა განმავლობაში ილექება დედამიწის ზედაპირზე. მოკლე ნახევარდაშლის პერიოდის მქონე ელემენტები გარკვეული პერიოდის შემდეგ იშლება, ხოლო საკვამლე მიწებით გაშვებული აეროზოლები და აირები ზავდება ატმოსფეროში. ამ პროცესების შედეგად ხდება ატმოსფერული ჰაერის თვითგაწმენდა.

## ღია და ნიადაგქვეშა წყალსატენების დაბინძურება რადიაქტიური ნივთიერებებით

ღია წყალსატენების (მდინარეები, ტბები და სხვ.) რადიაქტიური დაბინძურება ხდება ატომური მრეწველობის საწარმოთა ნახშირი წყლის ჩაშვებით, აეროზოლებიდან გამოყოფილი რადიაქტიური მტვრის წყლის ზედაპირზე დალექვით, დაბინძურებული ნიადაგის. ნარეცხი წყლისა და ნიადაგქვეშა წყლის წყალსატენებში ჩასვლით, მყარი რადიაქტიური ნარჩენების მათში ჩაშვებით.

წყალში მოხვედრილი რადიაქტიური ნაერთები საშიშროებას უქმნის ადამიანის ორგანიზმს არა მარტო იმიტომ, რომ იგი დასახივების უშუალო წყაროა როგორც გარეგანი, ისე შინაგანი დასახივების თვალსაზრისით (ასეთი წყლის სასმელად გამოყენების შემთხვევაში), არამედ იმიტომაც, რომ წყლიდან რადიაქტიური ნივთიერებების მიგრაციის გზით წარმოიქმნება დამატებითი. საკვები რგოლები, რომლებიც ადამიანის ორგანიზმში რადიაქტიური ელემენტების მოხვედრის პირობებს ქმნიან.

წყალსატენების რადიაქტიური დაბინძურების ხარისხი, ხანგრძლივობა, გავრცელება მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული. ამ ფაქტორებიდან განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს რადიაქტიური ნივთიერებების აგრეგატულ მდგომარეობას, ქიმიურ ბუნებას, ნაწილაკების დისპერსიულობას, ელექტრომუხტს; წყლის რეაქციას (pH), დინების სისწრაფეს, წყლის ფიზიკურ-ქიმიურ შედგენილობას, ტემპერატურას და სხვ. მაგალითად, თხევადი რადიაქტიური ნივთიერება უფრო დიდი მოცულობით დააბინძურებს წყალს, ვიდრე მყარ აგრეგატულ მდგომარეობაში მყოფი ნივთიერება, რომელიც შედარებით ადვილად ილექება. ნაწილაკების ელექტრომუხტსა და დისპერსიულობის ხარისხს დიდი მნიშვნელობა აქვს წყალში არსებულ შეწონილ ნაწილაკებზე, გუმინურ ნივთიერებებზე სორბციისას და ფსკერზე დალექვისათვის. წყლის რეაქციას — pH — გარკვეული მნიშვნელობა ენიჭება ამა თუ იმ ქიმიური ელემენტის, მათ რიცხვში რადიაქტიური ელემენ-

ტის, ხსნარში გადასვლისათვის. მაგალითად, თუ წყლის pH დაბალია, ე. ი. რეაქცია მჟავეა, მაშინ წყალში ადვილად გადადის ისეთი რადი-  
აქტიური ელემენტები, როგორცაა სტრონციუმი, კობალტი, კალციუ-  
მი, რადიუმი და სხვ. თუ წყლის pH მაღალია, ე. ი. რეაქცია ტუტეა;  
მაშინ მასში ადვილად გადადის ისეთი ელემენტები, როგორცაა ურა-  
ნი, ღარიშხანი, ქრომი და სხვ.

ზოგი რადიოაქტიური ნივთიერება წყალსატევში მოხვედრის შემდეგ  
ფსკერზე კი არ ილექება, არამედ გახსნილ მდგომარეობაში რჩება და  
თავისუფლად ერევა წყლის ამა თუ იმ მოცულობას, რაც გამოიწვევს  
წყალსატევის დაბინძურებას განსაზღვრულ მანძილზე, გარკვეული  
კონცენტრაციით. ამ დროს წყლის ხვედრითი აქტივობა ეცემა. ძირი-  
თადი ფაქტორი, რომელიც წყალში რადიოაქტიური ნივთიერების კონ-  
ცენტრაციის კლებას იწვევს, განზავების ფაქტორია. შერევის პროცე-  
სი დროისა და მანძილის თვალსაზრისით სხვადასხვა წყალსატევს სხვა-  
დასხვაგვარი აქვს. ეს პროცესი დამყარებულია დინების სისწრაფეზე,  
მიმართულებაზე, წყლის რაოდენობაზე, ფსკერის რელიეფზე, შენაკა-  
დების არსებობაზე და სხვ. მთის სწრაფი დინების მდინარეები შედა-  
რებით სწრაფად ზავდება, მდორე დინების მდინარეების დაბინძურე-  
ბა კი შეიძლება რამდენიმე ათეული კილომეტრით განისაზღვროს.  
ცხადია, გაუმდინარი წყალსატევები (მაგალითად, ტბები) უფრო მე-  
ტად ბინძურდება, ვინაიდან განზავების ფაქტორის მნიშვნელობა აქ  
შეზღუდულია. ამის გამო აკრძალულია ასეთ წყალსატევებში ისეთი  
ნარჩენების ჩაშვება, რომელთაც მაღალი კონცენტრაცია და ხანგრძლი-  
ვი ნახევარდაშლის პერიოდი აქვთ.

წყლის დიდ მანძილზე დაბინძურებას ხელს უწყობს აგრეთვე ის  
წერილობისპერსიული ნაწილაკები, რომლებიც წყალში შეწონილ  
მდგომარეობაში არიან და რომელზეც ხდება რადიოაქტიური ნივთიე-  
რებების ადსორბირება. ვინაიდან ეს ნაწილაკები ნელა ილექება, მათ  
დიდ მანძილზე გადაქვე წყალსატევებში რადიოაქტივობა. პლანქტო-  
ნები და თევზები, როგორც წყალში რადიოაქტივობის გადამტანი, გა-  
მავრცელებელი ფაქტორები ნაკლებ მნიშვნელოვანია, ვინაიდან მათი  
გადაადგილების რადიუსი შედარებით მცირეა, თუმცა მცირე მოცუ-  
ლობის გაუმდინარე წყალსატევებისათვის ეს ფაქტორიც ყურადსაღე-  
ბია.

რადიოაქტიური ნარჩენების გადაყრა ზღვებსა და ოკეანეებში  
იწვევს მათი კონცენტრაციის ძლიერ განზავებას. ასეთი ძლიერი გან-  
ზავება უსაშიშროების საწინდარია. უკანასკნელ დრომდე ფიქრობ-  
დნენ, რომ ოკეანის ტევადობა პრაქტიკულად განუსაზღვრელია, მაგ-  
რამ ახალი გამოკვლევები ცხადყოფს, რომ ეს ასე არ არის. ოკეანის  
წყლის ვერტიკალური გადაადგილება არცთუ ისე ნელა მიმდინარე-

ობს. ამიტომ რადიოაქტიური ნარჩენების გადაყრა ოკეანის დიდ სიღრმეში, თუნდაც პერმეტული კონტეინერებით, არ უზრუნველყოფს ოკეანის ზედაპირული წყლის დაბინძურების უსაფრთხოებას. დადგენილია, რომ როგორც მტკიცე პერმეტულიც უნდა იყოს კონტეინერი, მისი პერმეტულობა მაინც ირღვევა რამდენიმე ათეული წლის შემდეგ, რასაც მოჰყვება წყლის დაბინძურება და წყალში მცხოვრებ ცოცხალ ორგანიზმთა მიერ რადიოაქტიური ნივთიერებების შთანთქმა. თუ გავითვალისწინებთ იმასაც, რომ ხანგრძლივი ნახევარდაშლის პერიოდის მქონე ელემენტებისათვის, როგორცაა, მაგალითად,  $^{90}\text{Sr}$  და  $^{137}\text{Cs}$ , უსაფრთხო კონცენტრაციების დადგენას სჭირდება ასეული წლები, გასაგები გახდება, რომ არც ოკეანე შეიძლება მივიჩნიოთ რადიოაქტიური ნივთიერებების იდეალურ სამარხად.

ამერიკასა და კანადაში ფართოდ მიმართავდნენ რადიოაქტიური ნარჩენების მდინარეებში ჩაშვებას წინასწარი ლეზაქტივაციის გარეშე. ვინაიდან განზავების კოეფიციენტი ამ შემთხვევაში, ოკეანესთან შედარებით, ძალიან დაბალია, გასაგებია, რომ ეს იწვევს მდინარეებისა და მასში მობინადრე ცოცხალი ორგანიზმების — ჰიდრობიონტების რადიოაქტიურ დაბინძურებას, და ზოგჯერ საკმაოდ მაღალს.

რადიოაქტიური ნივთიერება შესაძლებელია წყალში შერევისთანავე ფსკერსა და ნაპირებზე დაილექოს და იქ დაგროვდეს. ასეთ შემთხვევაში წყლის დაბინძურების ხარისხი და გავრცელება შედარებით სხვაგვარი იქნება. სხვაგვარი იქნება აგრეთვე წყალსატევის ნაპირისა და ფსკერის რადიოლოგიური მდგომარეობა. წყალსატევის ნაპირის დაბინძურება ქარის მოქმედების შედეგად წარმოქმნილი მტვრის-მეშვეობით ხმელეთზე ქმნის რადიოაქტიური ელემენტების მიგრაციის დამატებით გზას.

წყალსატევი (ან წყალსაცავში) მოხვედრილი ზოგი რადიოაქტიური ნივთიერება არაორგანული ბუნების მყარ და თხიერ კომპონენტებს შორის განიცდის ცვლას, ერთი მხრივ, ფსკერისა და ნაპირის ნიადაგსა და მეორე მხრივ, თვით წყალს შორის. ზოგი რადიოაქტიური ნივთიერება ფართოდ მონაწილეობს ჰიდრობიონტების ნივთიერებათა ცვლაში. ეს ფაქტორი დიდ როლს ასრულებს წყლის მეორეულ დაბინძურებაში, როდესაც წყალსატევის რადიოაქტიური დაბინძურების პირველადი წყარო ლიკვიდირებულია, მაგალითად, შეწყვეტილია მასში რადიოაქტიური ნარჩენების ჩაშვება.

წყალსატევის ფსკერის სანიტარიულ-ჰიგიენური მნიშვნელობა, როგორც აღვნიშნეთ, ზოგი რადიოაქტიური ნივთიერება სხვადასხვა ხელშემწყობი პირობის დროს ილექება წყლიდან ფსკერსა და ნაპირებზე. თუ წყალი სისტემატურად არ ბინძურდება რადიოაქტიური ნაერთებით, ფსკერზე, მათი დალექვა იწვევს წყლის ხვედრიითი აქტი-

ვობის დაქვეითებას და, შესაძლებელია, მოხდეს წყლის სრული გასუფთავებაც. მაგრამ, როდესაც გამდინარე წყალი სისტემატურად ბინძურდება რადიოაქტიური ნივთიერებებით, მაშინ ფსკერის რადიოაქტივობა თანდათან მატულობს და დგება გარკვეული მომენტი, როდესაც ფსკერსა და წყალს შორის მიმდინარე იონური პროცესების მეშვეობით მყარდება წყლის დაბინძურების მუდმივი კონცენტრაცია, წარმოიქმნება ე. წ. წონასწორობა.

ფსკერის რადიოაქტივობის ხარისხი დამოკიდებულია მის შემადგენელ ნიადაგზე. თუ ფსკერი ქვიშისაგან შედგება, მაშინ მისი ზედაპირი ძლიერ არ ბინძურდება, ვინაიდან ქვიშა ღრმად ატარებს რადიოაქტიურ ნივთიერებებს. თუ ფსკერი შედგება წყალგაუმტარი ქანებისაგან, მაგალითად, თიხისაგან ან იგი მდიდარია შლაშის ნალექებით, მაშინ ფსკერის ზედაპირი ძლიერ ბინძურდება. მაშასადამე, ფსკერის დაბინძურების სიღრმე დამოკიდებულია იმაზე, თუ რამდენად გამტარია ფსკერის ქანები. იმ ადგილებში, სადაც წყლის ხვედრითი აქტივობა მაღალია, ფსკერი მეტად არის დაბინძურებული. ამ კანონზომიერების ცოდნას გარკვეული მნიშვნელობა აქვს სანიტარიული გამოკვლევების ჩატარების დროს.

აღსანიშნავია, რომ წყლის ხანგრძლივი დაბინძურების შემთხვევაში ფსკერის ზედა ფენებში ძირითადად კონცენტრირდება ცეზიუმი, რომელიც ფსკერის მთელი რადიოაქტივობის დაახლოებით 90%-ია. სტრონციუმს კი მიდრეკილება აქვს ფსკერის სიღრმეში თანაბარი განაწილებისა და წყალში დესორბციისადმი. ამ თავისებურებების ცოდნას გარკვეული სანიტარიული მნიშვნელობა აქვს წყლის მეორეული დაბინძურების შეფასების დროს.

დაბინძურებული ფსკერი წყლის მეორეული დაბინძურების წყაროა. რაგორც აღვნიშნეთ, წყალსა და ფსკერს შორის იონგამცვლელი პროცესების მეშვეობით მყარდება წონასწორობა. თუ ეს წონასწორობა დაირღვა (მაგალითად, აღარ ხდება წყალში რადიოაქტიური ნარჩენების ჩაშვება), მაშინ რადიოაქტიური ნივთიერებები გადაწილდება ფსკერიდან წყლისაკენ. ვითარდება დესორბცია და იგი გრძელდება მანამ, სანამ კვლავ არ დამყარდება წონასწორობა, მხოლოდ ამ შემთხვევაში უკუმიმართულებით წყალში მიმდინარე დესორბციას ხელს უწყობს ფიზიკურ-ქიმიური პროცესები, კერძოდ იონგამცვლელი ადსორბცია, წყლის pH და სხვ. განსაკუთრებით კი pH-ის დაბალი მაჩვენებელი და წყალში ნეიტრალური მარილების არსებობა. თუ წყლის pH ბუნებრივს უახლოვდება და ნეიტრალური მარილების რაოდენობა მცირეა, მაშინ დესორბცია შედარებით დაბალი ტემპით მიმდინარეობს. ზემოთქმულიდან გამომდინარე ნათელია, რომ წყლის

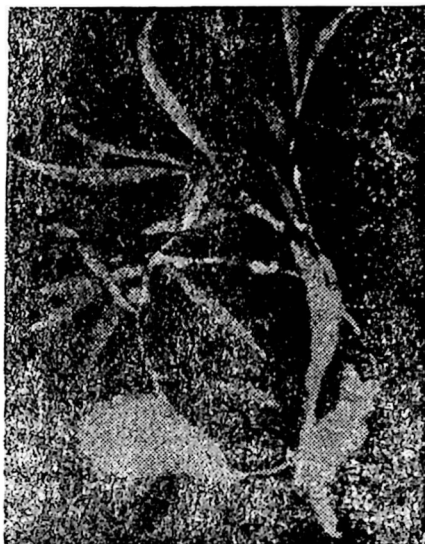


ბუნებრივი რეაქციისა ( $pH=6-8$ ) და ნეიტრალური მარილების შემცველობის პირობებში (150—300 მგ/ლ) მიმდინარეობს დესორბცია.

ზემოთ მოყვანილი კანონზომიერებების ცოდნას დიდი მნიშვნელობა აქვს, ვინაიდან თუ წყალი ერთჯერ მაინც დაბინძურდა რადიოაქტიური ნივთიერებებით (იგულისხმება საკმაო კონცენტრაციით), შემდეგ კი შეწყდა მასში რადიოაქტიური ნარჩენების ჩაშვება, მოსალოდნელია დესორბციით გამოწვეული მეორეული დაბინძურება. ამ საშიშროების აცილების მიზნით უნდა ვერიდოთ წყალში ხანგრძლივი ნახევარდაშლის პერიოდის მქონე იზოტოპების ჩაშვებას, განსაკუთრებით გაუმდინარე წყალსატევებში.

წყალსატევის ნაპირის დაბინძურება გარკვეულ როლს ასრულებს რადიოაქტიური ნივთიერების მიგრაციაში ქარის შედეგად წარმოქმნილი მტვრით. იგი როგორც თვით წყლის მეორეული დაბინძურების, ასევე ხმელეთის რადიოაქტიური დაბინძურების წყაროა.

**წყლის ფლორა და ფაუნა**, — რადიოაქტიური ნივთიერებების მიგრაციისა და წყლის რადიოაქტივობის კონცენტრაციის შემამცირებელი საშუალება. როგორც აღნიშნული იყო, წყალში ჩაშვებული რადიოაქტიური ნივთიერებების ნაწილი ხედება ჰიდრობიონტებში (წყალმცენარეები, პლანქტონი, ბენტოსი, თევზები, მოლუსკები, ბაქტერიები და სხვ., (სურ. 36). ჰიდრობიონტების მიერ რადიოაქტიური ნივთიერებების ათვისება ხელს უწყობს წყლის დეზაქტივაციას; წყლის ხედრითი რადიოაქტივობის შემცირებას, მაგრამ. ამასთან ერთად, ისინი ხდებიან წყლის მეორეული დაბინძურების წყარო, აგრეთვე, ადამიანის ორგანიზმში რადიოაქტიური ნივთიერებების მოხვედრის კიდევ ერთი საშუალება.



სურ. 36. წყალმცენარის ავტორადიოგრაფია. ნათელი ლაქები ფოთლებსა და ღეროებზე მიუთითებს რადიოაქტიური ნივთიერებების ჩართვაზე.

ჰიდრობიონტები ითვისებს წყალში ჩაშვებულ ყველა რადიოაქტიურ ელემენტს, განსაკუთრებით კი ბიოგენურს — ფოსფორს, ნახშირბადს,

კალციუმს; ასევე ინტენსიურად ითვისებენ სტრონციუმსა და ცეზიუმს, რომლებიც ქიმიურად ახლოს დგანან ბიოგენურ ელემენტებთან — კალციუმთან და კალიუმთან. ობიექტის (თევზი, პლანქტონი, ფსკერი და სხვ.) ხვედრითი აქტივობის შეფარდებას წყლის ხვედრით აქტივობასთან დაგროვების კოეფიციენტს უწოდებენ.

ჰიდრობიონტები რადიაქტიურ ნივთიერებებს ითვისებს როგორც ზედაპირული ადსორბციის, ასევე ნივთიერებათა ცვლის პროცესში მათი ჩართვის გზით. მიკროორგანიზმების მიერ ათვისებული რადიაქტიური ელემენტები ძირითადად ცვლითი პროცესის. შედეგია, მაშინ როდესაც მიკროორგანიზმების, მაგალითად, ბაქტერიების რადიაქტივობა ძირითადად განისაზღვრება მათ სხეულზე რადიაქტიური ნივთიერებების ადსორბციით.

სანიტარიულ-ჰიგიენური თვალსაზრისით დიდი მნიშვნელობა აქვს ჰიდრობიონტებში რადიაქტიური ნივთიერებების დაგროვების სისწრაფის, ზღვრული კონცენტრაციისა და უკუგამოყოფის პროცესების თავისებურებების დადგენას. რადიაქტიური ნივთიერებების, კერძოდ კი სტრონციუმის სწრაფი კონცენტრირების დიდი უნარი აქვს ზოომლანქტონს — დაფნიას. უკვე 5 წუთის შემდეგ იგი ითვისებს სტრონციუმის 50—60%—ს (ძირითადად ადსორბციის, ნაკლებად კი ნივთიერებათა ცვლის ხარჯზე), მაშინ როდესაც სხვა ჰიდრობიონტების კონცენტრაციის უნარი დღეებითა და თვეობით განისაზღვრება. აღსანიშნავია, რომ ჰიდრობიონტების მიერ წყლიდან ათვისებული რადიაქტიური ნივთიერებები ასი ათასობით აღემატება მათ კონცენტრაციას წყალში, ე. ი. წყლის მობინადრეებს რადიაქტიური ელემენტების ძალიან დიდი კონცენტრირების უნარი აქვთ. ხმელეთზე არსებული ფლორა კი ნიადაგიდან აითვისებს მქასედ და მეთასედ პროცენტებს. ჰიდრობიონტებში რადიაქტიური ელემენტების კონცენტრირებაზე დიდ გავლენას ახდენს წყალში იმავე დასახელების ელემენტების ან ანალოგების სტაბილური იზოტოპების არსებობა (ე. წ. მტარებელი ნივთიერება).

მაგალითად, რაც ნაკლები იქნება წყალში კალციუმის შემცველობა, მით მეტი რაოდენობით ითვისებენ თევზები რადიაქტიურ სტრონციუმს. ჰიდრობიონტების მიერ რადიაქტიური ელემენტების კონცენტრაციის უნარზე გარკვეულ გავლენას ახდენს წყლის pH, ტემპერატურა, სინათლე, წელიწადის დრო და სხვ. ერთი და იმავე კონცენტრაციის რადიაქტიური დაბინძურების შემთხვევაში ზღვაში მობინადრე თევზები 10-ჯერ უფრო მეტი რაოდენობით ითვისებენ  $^{90}\text{Sr}$ -ს, ვიდრე მტკნარ წყალში მობინადრენი. ამ კანონზომიერების ცოდნას დიდი სანიტარიულ-ჰიგიენური მნიშვნელობა აქვს.

რადიონუკლიდების გამოყოფა წყლის მობინადრეთა ორგანიზმიდან სხვადასხვაგვარად ხდება, რაც დამოკიდებულია თვით ელემენტის ქიმიურ ბუნებაზე, იმ ორგანოზე, რომელშიც დაგროვილია ის და, რასაკვირველია თვით წყლის ფიზიკურ-ქიმიურ მდგომარეობაზე. რადიაქტიური სტრონციუმი —  $^{90}\text{Sr}$  — თევზების შინაგანი ორგანოებიდან უფრო სწრაფად გამოიყოფა, ძვლებიდან კი გვიან; რადიაქტიურა ცეზიუმი  $^{137}\text{Cs}$  — შედარებით უფრო სწრაფად გამოიყოფა, ვიდრე  $^{90}\text{Sr}$ .

ჰიდრობიონტებში კონცენტრირებული რადიაქტიური ნივთიერება, გარდა იმისა, რომ საკვების საშუალებით ადამიანში მოხვედრის ერთ-ერთი გზაა, წყლის მეორეული დაბინძურების წყაროც არის. თუ წყალი გასუფთავდება რადიონუკლიდებისაგან, ხდება წყლის მობინადრეთაგან ამ ნაერთების წყალში გამოყოფა. გარდა იმისა, რომ ეს პროცესი მიმდინარეობს ნივთიერებათა ცვლის საშუალებით, წყლის დაბინძურებას იწვევენ აგრეთვე დალუპული ჰიდრობიონტები, რომელთა ხრწნის შედეგად მათ სხეულში შემაჯალი რადიონუკლიდები გადადის წყალში. ამიტომ ჰიდრობიონტების, როგორც წყალსატევების რადიაქტიური დაბინძურებისაგან გამწმენდი საშუალებების, გამოყენება მაშინ არის ეფექტური, თუ სისტემატურად ხდება წყლიდან მათი ამოღება და მოშორება. წინააღმდეგ შემთხვევაში ფსკერთან ერთად ისინი ხდებიან წყლის მეორეული დაბინძურების წყარო.

წყალსატევების რადიაქტიური დაბინძურების სანიტარიულ-ჰიგიენური შეფასების დროს მხედველობაში მისაღებია მაიონიზებული გამოსხივების ჰიდრობიონტებზე, განსაკუთრებით პლანქტონებზე, ბიოლოგიური მოქმედების შედეგები, ვინაიდან ცნობილია, რომ პლანქტონები წყლის ფილტრატორები და სედიმენტატორები არიან და მათი დალუპვის შემთხვევაში წყლის სანიტარიულ-ჰიგიენური მდგომარეობა გაუარესდება.

რადიაქტიური ელემენტების კონცენტრირების უნარი წყლის ბაქტერიულ ფლორასაც აქვს. როგორც აღვნიშნეთ, ეს კონცენტრაცია ძირითადად ადსორბციის ხასიათისაა და შედარებით ნაკლებად ნივთიერებათა ცვლის შედეგი. რადიაქტიური ელემენტების შემცველი ბაქტერიული ფლორა, თავის მხრივ, ხვდება წყლის მობინადრეთა ორგანიზმში და იწვევს მათში რადიაქტიურ ნივთიერებათა კონცენტრაციის კიდევ უფრო მეტ ზრდას. ვინაიდან ცნობილია, რომ ბაქტერიულ ფლორას განსაკუთრებული როლი მიუძღვის წყლის მინერალიზაციის პროცესში. ამიტომ სანიტარიული თვალსაზრისით გარკვეული მნიშვნელობა აქვს წყალში მოხვედრილ რადიაქტიური ელემენტების მიკროფლორაზე ბიოლოგიურ მოქმედებასაც, მით უმეტეს თუ მხედველობაში მივიღებთ ბაქტერიების მიერ რადიაქტიური ელემენტების

კონცენტრაციის დიდ უნარს, რაც გამოიწვევს მათზე საკმაოდ მაღალი ჯამური დოზის მოქმედებას.

სანიტარიულ-ჰიგიენური ღონისძიებები, რომლებიც მიმართულია წყალსატევების რადიოაქტიური დაბინძურების აცილებისაკენ, ხელს უშლის წყალში მაღალი აქტივობის მქონე კონცენტრაციების შექმნას, ხოლო ის კონცენტრაციები, რომლებიც იქმნება წყალსატევებში, დიდ გავლენას არ ახდენს ჰიდრობიონტებზე, კერძოდ, პლანქტონებსა და ბაქტერიულ ფლორაზე. ამდენად მათი, როგორც წყლის სანიტარიული მდგომარეობის გამაუმჯობესებელი ორგანიზმების ფუნქცია არ ცვალებადობს. საშიშროებას ქმნის მხოლოდ რადიოაქტიური ელემენტების შემდგომი მიგრაცია საკვები რგოლების გზით ადამიანისაკენ.

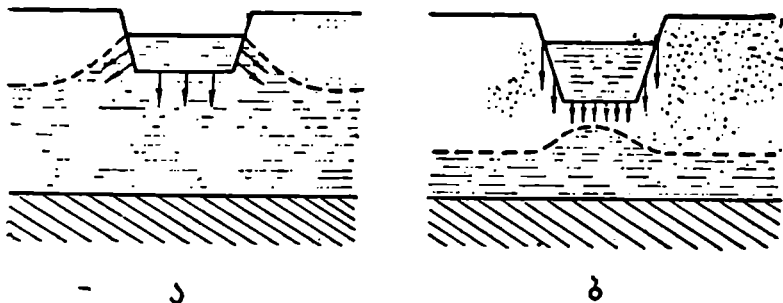
### რადიოაქტიური იზოტოპების მიგრაცია ნიადაგქვეშა წყალში

ნიადაგქვეშა წყალი შედარებით უფრო დაცულია რადიოაქტიური დაბინძურებისაგან. ბევრი ფაქტორი, რომელიც წამყვან როლს ასრულებს ღრა წყალსატევების დაბინძურებაში, ამ შემთხვევაში გამორიცხულია. მაგრამ არის ფაქტორები, რომლებიც იწვევენ მიწისქვეშა წყლის დაბინძურებას. პირველ ყოვლისა, ეს ეხება დაბინძურებული ნიადაგიდან რადიოაქტიური ელემენტების ვერტიკალურ გადაადგილებას სიღრმეში ატმოსფერული ნალექების ზეგავლენით, თოვლის დნობით და სხვა ფაქტორების გავლენით. ამ დროს, მართალია, რადიოაქტიური ნივთიერებების უდიდესი ნაწილი ნიადაგის ზედა ფენებში რჩება და შედის მასთან ურთიერთობაში (აღნიშნული ნიადაგის ნაწილაკების მიერ მათი ადსორბცია, იონური ცვლა და სხვ.); მაგრამ გარკვეული ნაწილი თანდათანობით განიცდის მიგრაციას ნიადაგის ქვემო ფენებში და შეიძლება მიაღწიონ ნიადაგის წყალს, სადაც მოხდება მისი აქტივობის განზავება. ნიადაგის წყლის მეშვეობით რადიოაქტიური ნივთიერებები გადაადგილდება უკვე პორიზონტალური მიმართულებით და შეიძლება მოხვდეს მდინარეებში, წყაროს წყალში. მაგალითად, 1958 წელს ოკ-რიჯში <sup>106</sup>Ru ჩაფლობის შედეგად ნიადაგის წყლის მეშვეობით მდინარე კლინჩში მოხვდა 42 კიური, ხოლო 1961 წელს ეს ციფრი გაიზარდა 2000 კიურამდე.

აღსანიშნავია, რომ ნიადაგქვეშა წყლის დაბინძურების ზემოაღწერილი გზა არცთუ ისე მნიშვნელოვანია და იგი ძალიან ნელა მიმდინარეობს.

ნიადაგქვეშა წყლის დაბინძურება შეიძლება ღია წყალსატევების საშუალებითაც, თუ ეს უკანასკნელნი უშუალოდ არიან დაკავშირებული ნიადაგქვეშა წყალთან ან მათგან გამოყოფილი არიან არცთუ ისე სქელი მიწის ფენით (სურ. 37). ასეთ შემთხვევაში რადიოაქტიური

ნიეთიერებები ნიადაგქვეშა წყალში მოხვედრამდე გარკვეული რაოდენობით შეკავდება ამ ფენაში. ნიადაგქვეშა წყლის დაბინძურების ძირითადი გზაა მათში რადიაქტიური ელემენტების უშუალო მოხვედრა. ეს კი შეიძლება მოხდეს თხიერი თუ მყარი რადიაქტიური გადანაყრების ნიადაგქვეშა წყალში ჩაშვების დროს ჰებისა და ნაპრალების საშუალებით, გეოლოგიური სამუშაოების წარმოების დროს და სხვ.



სურ. 37. ნიადაგქვეშა წყლის დაბინძურების სქემა:

ა — როცა ნიადაგქვეშა წყალსა და დაბინძურებულ წყალს შორის უშუალო კავშირია; ბ — როცა კავშირი არ არსებობს.

არსებობს სხვა მრავალი ფაქტორიც, რომელიც გარკვეულ როლს ასრულებს ნიადაგქვეშა წყალში რადიაქტიური ელემენტების მიგრაციასა და მათი დაბინძურების ხარისხზე, მაგალითად: 1. ელემენტის ფიზიკური ნახევარდაშლის პერიოდი; 2. ნიადაგქვეშა წყლის მიმართულეობა და დინების სისწრაფე; 3. რადიაქტიური ელემენტებისა და ნიადაგქვეშა წყლის შემცველი ქანების ელემენტების ურთიერთქმედება.

თუ ნიადაგქვეშა წყალში მოხვედრილი რადიაქტიური ელემენტების ფიზიკური ნახევარდაშლის პერიოდი ძლიერ ხანმოკლეა, მაშინ ეს დაბინძურება არ არის ხანგრძლივი და, თუ გავითვალისწინებთ აგრეთვე იმ გარემოებასაც, რომ ნიადაგქვეშა წყლის მოძრაობის სიჩქარე ძალიან მცირეა, გასაგები ვახდებთ, რომ რადიაქტიური დაბინძურება არ გავრცელდება დიდი მოცულობით. მაგრამ თუ დინების სისწრაფე დიდია, მაშინ დაბინძურება შედარებით ფართოდ გავრცელდება, თუნდაც ნახევარდაშლის პერიოდი თვეობით განისაზღვრებოდეს. რაც შეეხება ხანგრძლივი ნახევარდაშლის პერიოდის მქონე იზოტოპებს (როდესაც T განისაზღვრება წლებით), დაბინძურება შეიძლება გავრ-

ცელდეს ძალიან დიდი მოცულობით, თუნდაც წყლის დინება მდორე იყოს.

ნიადაგქვეშა წყლის შემცველი ქანები შთანთქავს ზოგიერთ რადი-აქტიურ ელემენტს, რითაც ხელს უწყობენ მათ გასუფთავებას. შთან-თქმა შეიძლება მიმდინარეობდეს მექანიკური, ფიზიკური (აღსორბ-ცია), ფიზიკურ-ქიმიური, და ბიოლოგიური გზით.

მექანიკური შთანთქმის დროს ქანები აკავენ წყალში კოლოიდუ-რი ნაწილაკების სახით არსებულ რადიაქტიურ ნივთიერებებს. რაც უფრო მცირე ზომის მარცვლებისაგან შედგება ქანები, მით მეტად აქვთ გამოხატული შთანთქმის უნარი.

შთანთქმის ფიზიკური პროცესი, ანუ აღსორბცია მიმდინარეობს ქანების შემცველი ნაწილაკებისა და წყლის შეხების ადგილას: ვითარ-დება ზედაპირული დაკიმულობის ძალები, რომლებიც იწვევენ წყალ-ში გახსნილი ელემენტების ამ ნაწილაკებზე კონცენტრირებას, აღსორ-ბციას.

შთანთქმის ფიზიკურ-ქიმიური გზა დამყარებულია კატიონური ცვლის პროცესზე, რომელიც მიმდინარეობს წყალში გახსნილ და ქანების შედგენილობაში შემავალ ზოგიერთ კატიონს შორის. ქანების მიერ რადიაქტიური კატიონების შთანთქმის პროცესთან ერთად შეიძ-ლება განვითარდეს ე. წ. დესორბციაც, ე. ი. შთანთქმული რადიაქტი-ური კატიონების კვლავ წყალში გადასვლა, რომლის მიზეზია წყალში ამ კატიონების კონცენტრაციის შემცირება; მაშასადამე აღინიშნება ე. წ. არამდგრადი წონასწორობა.

ქიმიური შთანთქმის დროს წყალში შემავალ ელემენტებს ან ამ ელემენტებსა და ქანებში შემავალ ქიმიურ ელემენტებს შორის წარ-მოიქმნება უხსნადი ნაერთები. ეს ნაერთები მკვიდროდ ფიქსირდებიან ქანებში და თითქმის არ განიცდიან დესორბციას.

ბიოლოგიური შთანთქმის მნიშვნელობა დიდი არ არის: იგი გუ-ლისხმობს მიკროორგანიზმების მიერ რადიაქტიური ელემენტების შთანთქმას, თუ ასეთები ნიადაგქვეშა წყალში მოიპოვება.

## ნიადაგის გაბინძურება რადიაქტიური ნივთიერებებით

გარე სამყაროში ამა თუ იმ გზით მოხვედრილი რადიაქტიური ნივ-თიერებები საბოლოოდ ნიადაგში იყრიან თავს. ნიადაგის დაბინძურე-ბა, ძირითადად, ხდება აეროზოლებიდან გამოლექილი რადიაქტიური ელემენტებით, აგრეთვე, რადიონუკლიდებით დამტვერიანებული მცე-ნარეებიდან ქარით ან ატმოსფერული ნალექებით მათი გადატანის ან ჩამორეცხვის გზით.

როგორც ცნობილია, რადიოაქტიური მტვერი ილექება ვერტიკალურად — ზემოდან, ქვემოთ. ამიტომაც ქვეშდებარე ლანდშაფტს თითქოსდა არ უნდა ჰქონდეს დიდი მნიშვნელობა. მაგრამ, დადგენილია, რომ მტერის ვერტიკალური დალექვისათვის (გრაფიტაციული ძალების მოქმედებით იქმნება ეს თუ ატმოსფერული ნალექების გზით) ადგილმდებარეობის ხასიათს არა აქვს დიდი მნიშვნელობა, ატმოსფეროს ტურბულენტური დიფუზიით დალექილი ნაწილაკებისათვის კი მას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება. უსწორმასწორო ლანდშაფტი ხელს უწყობს დალექვას. ტურბულენტურ დიფუზიას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება წვრილდისპერსიული აეროზოლებისა და რადიოაქტიური აირების დალექვის საკითხში, ვინაიდან მათი დალექვა გრაფიტაციული და ატმოსფერული ნალექების გზით თითქმის არ ხდება.

ცხრილი 58

ნიადაგის ხაერთო აქტივობა რადიონუკლიდებით დაბინძურების  
 6—12 თვის შემდეგ (ნებისმიერ ერთეულში)  
 6 თვის შემდეგ

სიღრმე, სმ	ნიადაგის სახეობა (ტიპი)		
	თიხა	წვრილი ქვიშა	თიხნარი
0	67,0	85,9	74,9
1	2,6	15,3	5,2
2	1,3	17,5	1,4
3	1,0	9,3	3,9
4	0,6	6,0	0,9
5	1,6	3,2	0,7
12 თვის შემდეგ			
0	92,1	64,5	76,7
1	4,4	23,6	10,9
2,5	1,1	13,8	7,6
4	0,6	6,5	2,2
6	0,1	1,9	0,8
9	0,1	2,3	0,6

დასაწყისში ნიადაგის დაბინძურების სიღრმე 1 სმ-ს არ აღემატება. შემდგომში ნიადაგში მიმდინარე ფილტრაციული პროცესების მეშვეობით, დიფუზიის, წყლის, წვიმის წვეთებისა და ქარის მოქმედების შედეგად რადიოაქტიური ელემენტები უფრო ღრმად ვრცელდება. რადიონუკლიდების ვერტიკალურ მიგრაციაში გარკვეულ როლს ასრულებს ბიოგენური ფაქტორები, კერძოდ, მათი გადაადგილება მცენარეთა ფესვების საშუალებით და სხვ. ვერტიკალური მიგრაცია ძალიან ნელა ხდება. 58-ე ცხრილში მოყვანილია რადიოაქტიური ელემენტების

განაწილება სიღრმის მიხედვით დალექვიდან 6—12 თვის შემდეგ. დაკვირვებები გვიჩვენებს, რომ ატომური ბომბის აფეთქებიდან 4 წლის შემდეგაც კი დედამიწაზე დალექილი რადიონუკლიდების 90% მისი ზედაპირის 0—5 სმ სისქეშია. ხანგრძლივი ნახევარდაშლის პერიოდის მქონე იზოტოპებიდან ყველაზე უფრო სწრაფმოდარავია  $^{90}\text{Sr}$ , მაგრამ ისიც საკმაოდ დიდხანს ჩერდება ნიადაგის ზედა ფენებში. მაგალითად, ცნობილია, რომ დალექილი  $^{90}\text{Sr}$ -ის 90% დღეისათვის განლაგებულია დედამიწის 0—15 სმ სიღრმეზე. გამონაკლისია ქვიშიანი და ქვანახშირიანი ნიადაგები, სადაც დღეისათვის დალექილი  $^{90}\text{Sr}$ -ის 70% განლაგებულია 30—45 სმ სიღრმეზე.

ნიადაგში მოხვედრილი რადიაქტიური ნივთიერების შემდგომი მიგრაციის გზები დამოკიდებულია როგორც მის ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე, მისი ქიმიური ნაერთების ფორმაზე, ასევე იმ გარემოს, ე. ი. ნიადაგის თვისებებზე, რომელშიც იგი მოხვდა. ნიადაგში რადიაქტიური ნივთიერების მიგრაციაზე განსაკუთრებულ გავლენას ახდენს ამ ნივთიერების ხსნადობის უნარი. დადგენილია, რომ რადიაქტიურ სტრონციუმში, ცეზიუმში და იოდი დედამიწაზე ილექება ძირითადად ხსნადი შენაერთების სახით, რის გამოც მათ ადვილად აითვისებს მცენარეები. რაც შეეხება სხვა რადიონუკლიდებს, მათი ნაერთები ძირითადად კოლოიდურ მდგომარეობაშია. მსხვილდისპერსიული არაახსნადი ნაწილაკები ნიადაგის ზედა ფენებში კავდება.

ხსნად ნაერთებს ნიადაგი შთანთქავს ორი გზით: ფიზიკური — როდესაც ხდება რადიაქტიური ელემენტების ნაერთების ნიადაგის ნაწილაკების მიერ აღსორბტა და ქიმიური — როდესაც მიმდინარეობს ნიადაგის შემცველი იონების რადიაქტიური კატიონებით შენაცვლების პროცესი, ე. ი. ვითარდება იონგამცვლელი რეაქცია.

სტრონციუმში და ცეზიუმში ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) ნიადაგში კარგად შთანთქმება (80—95%), მაგრამ ამ ელემენტების შთანთქმის ხასიათი ერთმანეთისაგან განსხვავდება. რადიაქტიური სტრონციუმში არ შედის ნიადაგთან მტკიცე ნაერთში. იგი ადვილად დესორბირდება, მაშინ როდესაც რადიაქტიურ ცეზიუმს შედარებით უფრო მტკიცედ იკავებს ნიადაგი. რადიაქტიური რუტენიუმი ( $^{106}\text{Ru}$ ) და ცირკონიუმი ( $^{95}\text{Zr}$ ) ისეთ მყარ ურთიერთობაშია ნიადაგთან, რომ თითქმის სრულებით არ განიცდის დესორბციას, რის გამოც რადიაციული ჰიგიენის თვალსაზრისით ისინი ნაკლებ საშიში ელემენტებია.

თავისი ქიმიური ბუნებით სტრონციუმში მსგავსია კალციუმის, ხოლო ცეზიუმში — კალიუმის მსგავსი. ამიტომ მათი მიგრაცია ნიადაგში და მის გარეთ ხდება ამ ორ სტაბილურ ელემენტთან — კალციუმთან და კალიუმთან ერთად. ამის გამო კალციუმს სტრონციუმის მტარებელს უწოდებენ, ხოლო კალიუმს — ცეზიუმის მტარებელს.



თუმცა მიგრაციის გზები ამ ელემენტებს მსგავსი აქვთ, მაგრამ რადიონობრივად მათი გადასვლა ერთი გარემოდან მეორეში სხვადასხვაგვარად ხდება. მაგალითად, დადგენილია რომ კალციუმისაგან განსხვავებით სტრონციუმი 1,4-ჯერ უფრო მჭიდროდ უკავშირდება ნიადაგს, ხოლო ცეზიუმი თითქმის 30-ჯერ უფრო მეტად, ვიდრე კალიუმი. მაშასადამე, არსებობს გარკვეული დისკრიმინაცია ამ ქიმიურად მსგავსი ელემენტების ათვისებაში. ამ ფაქტის დასახასიათებლად შემოღებულია ე. წ. დისკრიმინაციის კოეფიციენტი, რომელიც გვიჩვენებს, თუ ამ ელემენტების ერთი გარემოდან მეორეში გადასვლის დროს (მაგალითად, ნიადაგიდან მცენარეში) რამდენჯერ მცირდება სტრონციუმის შემცველობა კალიუმთან შედარებით, ან ცეზიუმის შემცველობა კალიუმთან შედარებით.

$$\frac{{}^{90}\text{Sr}}{\text{Ca}} \text{ (თავდაპირველი გარემო): } \frac{{}^{90}\text{Sr}}{\text{Ca}} \text{ (საბოლოო გარემო)}$$

$$\text{ან } \frac{{}^{137}\text{Cs}}{\text{K}} \text{ (თავდაპირველი გარემო): } \frac{{}^{137}\text{Cs}}{\text{K}} \text{ (საბოლოო გარემო).}$$

ნიადაგები ერთმანეთისაგან განსხვავდება რადიოაქტიური ელემენტების შთანთქმის სხვადასხვაგვარი უნარით. ეს თავისებურებანი დამოკიდებულია ნიადაგის რეაქციის ხარისხზე (pH), მექანიკურ, ქიმიურ, და ორგანულ შედგენილობაზე. ყველაზე მაღალი შთანთქმის უნარი აქვს შავმიწა ნიადაგს, რაც, თავის მხრივ, აიხსნება მასში ნეშომპალის არსებობით. რადიონუკლიდებს ყველაზე ნაკლებად ითვისებს ნატრიანი და წითელი მიწა. რაც უფრო მაღალდისპერსიული ნაწილაკებისაგან შედგება ნიადაგი, მით მეტია მისი სორბციული თვისებები და რადიონუკლიდების შეკავების უნარი. თიხა და თიხნარი ნიადაგები უფრო მეტად აკავებს რადიონუკლიდებს, ვიდრე ქვიშიანი ნიადაგი. ნიადაგის შთანთქმის უნარიანობაზე ასევე დიდ გავლენას ახდენს მის მიერ ჰაერისა და წყლის გამტარიანობა. თუ იგი ჰაერისა და წყლის კარგი გამტარია, აეროზოლებისა და ხსნარებისათვის სიღრმეში თავისუფლად გავლის უფრო მეტი საშუალება იქმნება.

როგორც აღვნიშნეთ, რადიოაქტიური ელემენტები დასაწყისში გროვდება ნიადაგის ზედა ფენებში, ხოლო შემდეგ იწყება მათი მიგრაცია უფრო ღრმად მდებარე ფენებში. მიგრაციის სიღრმე დამოკიდებულია ნიადაგქვეშა ფენის ხასიათზე. თუ იქ არის წყალგაუმტარი ფენები, რასაკვირველია, რადიონუკლიდების მიგრაციის სისწრაფე შენელებია.

ნიადაგზე მოხვედრილი რადიოაქტიური ელემენტების განაწილებაში დიდი მნიშვნელობა აქვს ადგილმდებარეობის რელიეფს, კლიმატურ

პირობებს, ბალახისა და მცენარეების გავრცელებას და სხვ. ნიადაგში რადიონუკლიდების მიგრაციას შეიძლება ხელი შეუწყოს აგრეთვე ადამიანის სამეურნეო საქმიანობამაც (მიწის დამუშავება და სხვ.).

## რადიოაქტიური ნივთიერებების მიგრაცია მცენარეულ და ცხოველურ სამყაროში

რადიოაქტიური ნივთიერებების მოხვედრა მცენარეულ სამყაროში. მცენარეებში რადიოაქტიური ელემენტები ხვდება უშუალოდ მათი დაბინძურებით, რომლის დროსაც აღინიშნება ადსორბცია მცენარის მიწისზედა ნაწილების საშუალებით, და ნიადაგიდან, როდესაც რადიონუკლიდების მოხვედრა განპირობებულია ფესვების ცხოველმოქმედების შედეგად (სურ. 38).

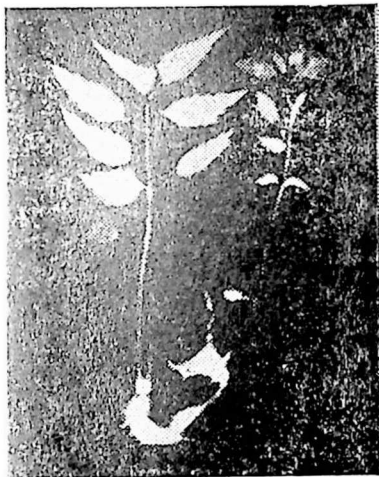
მცენარეების დაბინძურების მიზეზია ატმოსფერულ ჰაერში რადიონუკლიდების არსებობა. აეროზოლებში შემავალი მსხვილი რადიოაქტიური ნაწილაკები გრავიტაციული ძალების მოქმედების შედეგად დაილექება მცენარეებზე. მცირე ზომის ნაწილაკები და აირები ილექება ატმოსფეროს ტურბულენტური გადანაწილებით და ატმოსფერული ნალექების მეშვეობით. მცენარეთა გვირგვინზე რადიონუკლიდების დალექვა ხდება აგრეთვე ინერციული გზით, რაზეც ფაქტურად დამყარებულია მცენარეთა. განსაკუთრებით ტყეების ფილტრაციულ უნარი, ანუ გარე სამყაროს, კერძოდ კი ატმოსფეროს გასუფთავება რადიოაქტიური ელემენტებისაგან.

მცენარეების მიერ რადიოაქტიური ელემენტების შეთვისება აეროზოლებიდან რადიოაქტიური მტერის გამოლექვის დროს ძირითადად ფოთლების გზით მიმდინარეობს, შედარებით ნაკლებად — ნიადაგიდან ფესვების გზით. მცენარეში რადიოაქტიური ელემენტების მოხვედრის ნიადაგის (ფესვების) გზა უფრო ნაკლებია, მაგრამ დროის შემდეგ იგი მცენარეში რადიონუკლიდების მოხვედრის ძირითადი რეზერვუარი ხდება, თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ აბსოლუტურ რიცხვებში ამ გზით მცენარეში გადასული რადიოაქტიური ელემენტები გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე ფოთლების გზით მოხვედრის შემთხვევაში, და აღწევს ამ უკანასკნელის 20%-ს.

მაღალი ტენიანობის დროს მცენარეებში რადიონუკლიდების ჩართვა ფოთლებით უფრო მეტად ხდება. ფოთლებით აბსორბციის შემდეგ რადიოაქტიური ელემენტები თვით მცენარეში სხვადასხვაგვარი სისწრაფით განაწილდება, K, Cr, P სწრაფად ნაწილდება მცენარის დანარჩენ ორგანოებში. მაგალითად, ფოთლებიდან შეწოვილი  $^{137}\text{Cs}$ -ის 30% 12 დღის შემდეგ სხვადასხვა ორგანოშია განაწილებული, ამათგან 50% ფესვებში. რაც შეეხება Sr-ს, Zr-ს, Ru-ს მოძრაობას, ფოთ-

ლებიდან მათი შეწოვა და მცენარეში განაწილება ხდება ძალიან ნელა, არ აღემატება რამდენიმე მეათედ პროცენტს. საზოგადოდ ყველაზე მეტად ფოთლების გზით შეიწოვება  $^{137}\text{Cs}$ , დაახლოებით 100-ჯერ უფრო მეტად, ვიდრე სხვა რადიონუკლიდები.

ფესვების გზით მცენარეებში ძირითადად ისეთი რადიოაქტიური ელემენტები გადადის, რომლებიც ნიადაგში არ არიან მტკიცედ ფიქსირებული და ადვილად ხსნადი ნაერთების სახით არიან, ასეთებია:  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$ .



სურ. 38. ა — ქინძარი, გაზრდილი რადიოაქტიური სტრონციუმით დაბინძურებულ ნიადაგზე. ავტორადიოგრაფია. ბ — ეკალიჟი (ლიჟა), რომლის მიწისზედა ნაწილებზე წასმული იყო რადიოაქტიური სტრონციუმი. ავტორადიოგრაფია.

ფესვების გზით ყველაზე მეტად შეიწოვება სტრონციუმი —  $^{90}\text{Sr}$  და კონცენტრირდება ფოთლებში, ნაკლებად ნაყოფში.  $\text{Cs}$ ,  $\text{Ce}$ ,  $\text{Ru}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Nb}$  ფესვებიდან ნაკლებად შეიწოვება. შეწოვილი ცეზიუმი, სტრონციუმთან შედარებით, თანაბრად ნაწილდება როგორც ფოთლებში, ისე მცენარის სხვა ორგანოებში. რაც შეეხება  $^{106}\text{Ru}$ -ს,  $^{144}\text{Ce}$ -ს,  $^{95}\text{Zr}$ -ს, ისინი ძირითადად ფესვებში რჩება და ნაკლებად გადადის ფოთლებსა და ნაყოფში.

ფოთლებისა და ფესვების გზით რადიონუკლიდების შეწოვისა და მცენარეთა ორგანოებში ამ გზებთან დაკავშირებული განაწილების თავისებურებანი ცნობილია, როგორც ბიოგენური სეპარაცია.

მცენარეთა მიერ რადიაქტიურ ნივთიერებათა ათვისების პროცენტი ბევრადაა დამოკიდებული ნიადაგის ხასიათსა და, აგრეთვე, კულტურის სახეობაზე. მაგალითად, სტრონციუმს ქვიშნარი ნიადაგიდან უფრო მეტად აითვისებს მცენარე, ვიდრე თიხნარიდან. ცერცვისებრნი სტრონციუმსა და ცეზიუმს უფრო მეტად ითვისებენ ნიადაგიდან, ვიდრე მარცვლოვანი კულტურები, ხოლო თუ შთანთქმა მიწისზედა ნაწილებიდან ხდება, მაშინ ჩართვის მაღალი პროცენტი მარცვლოვან მცენარეებს მეტი აქვს, ვინაიდან მათ შეხების უფრო მეტი ზედაპირი აქვთ.

დიდი მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე ნიადაგის რეაქციას — pH. მაგალითად, მცენარეების მიერ სტრონციუმის შთანთქმის მაქსიმუმი აღინიშნება იმ შემთხვევაში, თუ ნიადაგის  $pH=6-6,5$ , ხოლო ცეზიუმისა, როცა  $pH=7$ . რაც შეეხება რუთენიუმსა და ცერიუმს, ამ ელემენტების შთანთქმაში სრულიად საწინააღმდეგო მოვლენას ვხვდებით. მათ მაქსიმალური რაოდენობით ითვისებს მხოლოდ ნიადაგის მჟავე რეაქციის შემთხვევაში.

ექსპერიმენტულმა გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ თუ ნიადაგი შეიცავს კალციუმისა (განსაკუთრებით კი  $CaSO_4$ -ის) და კალიუმის მარილებს, მაშინ ისინი ერთგვარ კონკურენციას უწევენ მცენარეთა მიერ სტრონციუმისა და ცეზიუმის ათვისებას, მაშასადამე ხელს უშლიან ამ რადიონუკლიდების მიგრაციას მცენარეებში. იგივე დამცველი როლი აქისრიბა ნიადაგში ნეშომბალას, სხვადასხვა მინერალური სასუქისა და კალციუმის ფოსფატის შეტანას.

აღსანიშნავია, რომ მცენარეების მიერ რადიაქტიური ელემენტების კონცენტრაციის უნარი ძლიერაა დამოკიდებული ნიადაგის ხვედრით აქტივობაზე, ამასთან, ეს დამოკიდებულება უკუპროპორციულია. ამ მომენტის ცოდნას დიდი სანიტარულ-ჰიგიენური მნიშვნელობა ენიჭება, როდესაც საქმე გვაქვს ნიადაგის მცირე კონცენტრაციით დაბინძურებასთან.

რადიაქტიური ელემენტების გადასვლა ნიადაგიდან მცენარეებში დამოკიდებულია არა მარტო მათ უნარზე აითვისონ ესა თუ ის რადიონუკლიდი, არამედ კონტაქტის ხანგრძლივობაზეც. ცნობილია, რომ სასოფლო-სამეურნეო კულტურები მინდორში რამდენიმე თვეს ხარობს (3—4 თვე), ხოლო საძოვრებზე მოსული ბალახი გაზაფხულიდან გვიან შემოდგომამდე. ჩასაკვირველია, ასეთ პირობებში ბალახებში რადიონუკლიდების კონცენტრაცია უფრო მაღალი იქნება. გარდა ამისა, დამდარი თოვლი ხელს უწყობს ნიადაგის გაჟღენთას მასში არსებული რადიაქტიური ნივთიერებებით და, მაშასადამე, მრავალწლიანი ბალახის ფესვების დაბინძურებასაც. ყამირ მიწებზე მოსული ბალახი გაცილებით მეტი კონცენტრაციით შეიცავს რადიონუკლიდებს,

ვიდრე დამუშავებული მიწის ბალახი, ვინაიდან ყამირ მიწაზე რადიქტიური ელემენტები ზედაპირულ ფენებში კავდება და აქედან ბალახის მოკლე ფესვებში მოხვედრის მეტი შესაძლებლობაა.

ტყის სანიტარიულ-ჰიგიენური ფუნქცია. გარე სამყაროში რადიქტიური ელემენტების მიგრაციაზე დიდ გავლენას ახდენს ტყე. ეს გავლენა გლობალური მასშტაბისაა. სხვა ტიპის ლანდშაფტისაგან განსხვავებით, ტყის დამახასიათებელია რადიქტიური პროდუქტების შეკავება, რითაც იგი დიდ როლს ასრულებს რადიქტიური დაბინძურების გავრცელების აცილებაში. ამასთან, მნიშვნელობა არა აქვს იმ გზას, რომლითაც რადიქტიური ელემენტები ხვდება ტყეში.

ტყე რადიქტიური ნივთიერებების მძლავრი დეპოა იმის გამო, რომ მისი მწვანე მასის მოცულობა, სასოფლო-სამეურნეო კულტურებისა და ბალახების მწვანე მასის მოცულობასთან შედარებით, ბევრად დიდია. ამ მხრივ განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს წიწვოვან მცენარეებს, რომლებსაც ფოთლოვნებთან შედარებით, 2—3-ჯერ უფრო მეტი მოცულობის მწვანე მასა აქვთ.

გარდა იმისა, რომ ტყე აკავებს რადიქტიურ პროდუქტებს მათი ჰაერში ვერტიკალური დაღეჟვის დროს, მას ჰორიზონტალურად მიმართული ჰაერის ნაკადის ხის გვირგვინზე გაფილტვრის დიდი უნარიც აქვს. ამაში გარკვეულ როლს ასრულებს ინერციული დაღეჟვა. განაგარიშებულთა, რომ რადიქტიური მტერის გლობალური დაღეჟვის დროს ტყის რადიქტივობის შეკავების კოეფიციენტი საშუალოდ 35—40%-ია, ზოგ შემთხვევაში კი 100%. ზამთარში ეს კოეფიციენტი კლებულობს ფოთლოვანი საფარის ჩამოცვენის გამო და შეადგენს 20%-ს.

ტყის მასივში მოხვედრილი რადიქტიური პროდუქტები მკვიდროდ ფიქსირდება იქვე. ქარისა და წყლის მეშვეობით მათი შემდგომი მიგრაცია უმნიშვნელოდ ხდება. ტყის დამცველი როლი გრძელდება მიმდებარე უტყეო ზონაში ქარის მიმართულებით ტყიდან 1 კმ-ზე შედარებით სუფთად რჩება აგრეთვე ბუჩქები, ბალახი, ნიადაგი. მაშასადამე, ტყე არის მის გარშემო. ტერიტორიაზე მცხოვრებ მოსახლეთა მეორეული რადიქტიური დაბინძურებისაგან დაცვის მნიშვნელოვანი სანიტარიულ-ჰიგიენური ფაქტორი, მაგრამ ზოგ შემთხვევაში მოსალოდნელია ტყესთან ახლოს მდებარე ტერიტორიისა და საცხოვრებელი ადგილების მეორეული დაბინძურების საშიშროება ტყის დაბინძურების პირველ პერიოდში. ამ დროს რადიქტიური მტვერი ძირითადად მექანიკურად არის დაღეჟილი ფოთლებზე და მოსალოდნელია მისი გავრცელება როგორც ვერტიკალურად — ატმოსფერული ნალექების მეშვეობით, ასევე ქარის ჰორიზონტალური მოქმედებით. მეორეული დაბინძურება შეიძლება მოხდეს ტყის ხანძრის შემთხვევაშიც,

როდესაც ფერფლი ვრცელდება ათობით კილომეტრზე. ტყის სამოსელის დაცვენის შემთხვევაში ბინძურდება ნიადაგის ზედა ფენები.

არსებობს რადიაქტიური ნივთიერებების გავრცელების სხვა სა-  
შიშროება: დაბინძურებული ტყის მასალის გამოყენება მოსახლეო-  
ბის მიერ, რაც სასტიკად უნდა იყოს აკრძალული.

### რადიაქტიური ელემენტების მოხვედრა ცხოველურში

რადიაქტიური ელემენტების ბუნებაში მიგრაციის შემდგომი რგოლია მათი მოხვედრა ბალახის, ხორცის მჭამელ ცხოველებში, და ბოლოს, ადამიანებში ცხოველური და მცენარეული საკვები პროდუქტების გამოყენების გზით. ცხოველთა ორგანიზმში რადიაქტიური ელემენტები ხვდება გარეგანი საფარველის, საკვებისა და ფილტვების გზით. ძირითადი გზა კი ალიმენტურია.

რადიაციული ჰიგიენის თვალსაზრისით ნიადაგში დაღეჭილი რადიაქტიური ელემენტებიდან განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს 46-ე ცხრილში მოყვანილი იზოტოპები, რომლებიც ადამიანის ორგანიზმში ხვდებიან არა მარტო მექანიკური გზით (დაბინძურებული წყლის, საკვების მიღება, სხეულის დამტკვერიანება და სხვ.). ამ ელემენტთა დიდი უმრავლესობა მონაწილეობს ბიოლოგიური ცვლის გრძელ ჯაჭვში, რომლის საბოლოო რგოლი ადამიანია.

კუკ-ნაწლავის ტრაქტში მოხვედრილი რადიაქტიური ნივთიერებები სხვადასხვა რაოდენობით რეზორბირდება. ყველაზე კარგი რეზორბიცია ახასიათებს ცეზიუმს, იოდს, ფოსფორს, ნატრიუმს (100%). შედარებით კარგად რეზორბირდება სტრონციუმი (30—60%). შეწოვილი რადიაქტიური ელემენტები ორგანიზმში სხვადასხვაგვარად ნაწილდება. მაგალითად, ნატრიუმი თანაბრად ნაწილდება მთელ ორგანიზმში, სტრონციუმი გროვდება ძვლებში, ცეზიუმი — კუნთებში, ცერიუმი — ღვიძლში, იოდი — ფარისებრ ჯირკვალში, პოლონიუმი, რუთენიუმი — თირკმლებში და სხვ.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ცხოველთა ორგანიზმში სტრონციუმის დეპონირებას. ცხოველურ ორგანიზმში მოხვედრილი სტრონციუმის 90% ძვლებში გროვდება, 4% — კუნთებში, 4% — იც დანარჩენ ორგანოებსა და ქსოვილებში.  $^{90}\text{Sr}$ -ის გამოყოფა ხდება თირკმლებისა და კუკ-ნაწლავის გზით. აღსანიშნავია, რომ იგი (ისევე როგორც ცეზიუმი), რძის საშუალებით გამოიყოფა, რაც ფრიად უურადასაღები მომენტია, ვინაიდან რძე ადამიანის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი საკვები პროდუქტია.

$^{106}\text{Ru}$ -ისა და  $^{60}\text{Co}$ -ის მიგრაციის შესწავლამ გვიჩვენა, რომ ამ რადიონუკლიდების დაგროვება მცენარეებში ნიადაგიდან 3-ჯერ უფ-

რო მაღალია, ვიდრე  $^{137}\text{Cs}$ -სა. ასევე უფრო ადვილად ხდება მათი, განსაკუთრებით კი  $^{106}\text{Ru}$ -ის, გადასვლა მცენარეებიდან ცხოველთა ორგანიზმში. შემჩნეულია, რომ მტაცებელ ფეხსახსრიანებში რუთენიუმის კონცენტრაცია ორჯერ უფრო მეტია, ვიდრე ბალახის მკამელებში. მაშინ როდესაც ცეზიუმისა და კობალტის კონცენტრაცია ერთი საფეხურიდან მეორეზე გადასვლის დროს თითქმის არ იცვლება.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს რადიაქტიური ელემენტების მიგრაციის შესწავლას საკვები რგოლების მეშვეობით. არქტიკულ ზონაში მოსახლეობა საკვებად ძირითადად იყენებს ირმის ხორცს, ეს ცხოველები იკვებება მლიერებით (ქორაგოზი). მლიერები ატმოსფეროდან დალექილი რადიონუკლიდების ძლიერ კუმულაციას ახდენენ, გაცილებით მეტს, ვიდრე ბალახი. ყოველივე ამის გამო ირმის ორგანიზმში დიდი რაოდენობით გროვდება  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  და  $^{90}\text{Sr}$ , განსაკუთრებით კი  $^{137}\text{Cs}$ . ამ უკანასკნელის შემცველობა ირმის ხორცში 10-ჯერ უფრო მეტია, ვიდრე ბალახით მკვებავ მღრღნელებში. რადგან ჩრდილოეთის მცხოვრებთა საკვები რაციონი ძირითადად ირმის ხორცია, ამიტომ მათ ორგანიზმში  $^{137}\text{Cs}$ -ის რაოდენობა რამდენიმე ათასჯერ უფრო მეტია. ვიდრე ცენტრალურ რაიონში მცხოვრებთა ორგანიზმში, ამიტომ მათ ორგანიზმში მოხვედრილი ხელოვნური რადიაქტიური ელემენტების გამოსხივების მოქმედების შედეგად შთანთქმული დოზის უმეტესი ნაწილი სწორედ  $^{137}\text{Cs}$ -ის გამოსხივებაზე მოდის.

### **ხელოვნური რადიაქტიური იზოტოპების უმცველობა ადამიანის ორგანიზმში და მათ მიერ შექმნილი დასხვიების დოზები**

ბუნებრივი და ხელოვნური რადიაქტივობის აღმოჩენისა და სახალხო მეურნეობაში მათი გამოყენების, განსაკუთრებით კი ატომური და თერმობატომგულური იარაღის აფეთქებების შედეგად გარე სამყაროში გაიზარდა იმ წყაროების რიცხვი, რომლებიც ადამიანის დამატებითი დასხვიების პირობებს ქმნიან. მაშასადამე, გაიზარდა დასხვიების ის დოზა, რომელიც ბუნებრივი ფონის სახით არსებობდა კაცობრიობის განვითარების მთელ პერიოდში და რომელსაც ადამიანი შეგუებული იყო.

ადამიანის დასხვიების დონის ზრდა ორი გზით მიმდინარეობს:

1. იზრდება გარეგანი დასხვიება ატმოსფეროსა და დედამიწის გამოფონის ზრდის ხარჯზე მათში ხელოვნური რადიონუკლიდების არსებობის გამო; 2. იზრდება შინაგანი დასხვიება საკვები პროდუქტების, წყლისა და ჰაერის მეშვეობით, რომლებიც, გარდა ბუნებრივი რადიაქტიური ელემენტებისა, ამჟამად გარკვეული რაოდენობით შეიცავენ

ხელოვნურ რადიაქტიურ ელემენტებს და რომლებიც ბიოლოგიური ციკლის მეშვეობით ადამიანის ორგანიზმში ხვდებიან.

უნდა აღინიშნოს, რომ გარეგანი დასხივების დოზა; რომელიც დამატებით წარმოიქმნება ხელოვნური რადიაქტიური ელემენტების ხარჯზე (ძირითადად  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{41}\text{Ar}$  და სხვ.), დიდი არ არის. მაგალითად, დადგენილია, რომ ატომური იარაღის აფეთქებების შედეგად სტრატოსფეროდან და ტროპოსფეროდან დალექილი ელემენტების გამა-გამოსხივების ხარჯზე დედამიწის გამა-ფონი გაიზარდა მხოლოდ 1%-ით.

შედარებით მეტი მნიშვნელობა აქვს ადამიანის ორგანიზმში ხელოვნური რადიონუკლიდების მოხვედრას და შესაბამისად შინაგანი დასხივების დოზის ზრდას. დღეისათვის შესწავლილია გარე სამყაროში გამოლექილი ხელოვნური რადიაქტიური იზოტოპების უმრავლესობის მიგრაცია და ადამიანის ორგანიზმში მათი მოხვედრის ფიზიკური თუ ბიოლოგიური გზები. ადამიანის ორგანიზმში ისინი შეიძლება მოხვდნენ ალიმენტური გზით, სუნთქვის ორგანოებისა და კანის მეშვეობით. ძნელია უპირატესობა მიეცეს ორგანიზმში რადიაქტიური ნივთიერებების მოხვედრის რომელიმე ამ გზას (რაოდენობრივი დაგროვების თვალსაზრისით), ვინაიდან ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში წამყვანი როლი შეიძლება ჰქონდეს ან ინჰალაციურ, ან ალიმენტურ, ან კანის გზას იმის მიხედვით, თუ გარემოს რომელი ობიექტის დაბინძურება სჭარბობს იმ მომენტისათვის, თუმცა გარემოს ფაქტორების დაბინძურებიდან გარკვეული დროით დაყოვნების შემდეგ ალიმენტური გზა უფრო მეტი მნიშვნელობისაა. ტოქსიკურობის თვალსაზრისით სხვა თანაბარ პირობებში, რასაკვირველია, რადიონუკლიდების ორგანიზმში პარენტერალური გზით მოხვედრა უფრო დამაზიანებელია. ალიმენტური გზით რადიაქტიური ელემენტები ორგანიზმში ხვდება როგორც საკვების, ასევე წყლის მეშვეობით, თუმცა ამ უკანასკნელის ხვედრითი წონა ორგანიზმის დაბინძურებაში შედარებით უფრო ნაკლებია.

გარე სამყაროში არსებული ხელოვნური რადიონუკლიდებიდან სანიტარიულ-ჰიგიენური თვალსაზრისით განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს ის ელემენტები, რომლებსაც ხანგრძლივი ნახევარდაშლის პერიოდი აქვთ, იჩენენ ბიოლოგიურ თვისებას ადამიანის ორგანიზმის მიმართ, რითაც გარკვეულ პოტენციურ საშიშროებას ქმნიან ადამიანის როგორც სომატურ დაზიანებაში, ასევე გენეტიკური შედეგების თვალსაზრისით. ამ ელემენტებს ძირითადად მიეკუთვნება  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{14}\text{C}$  და სხვ. რასაკვირველია, არსებობს სხვა ბიოგენური ელემენტები, რომელთა ჩართვა ნივთიერებათა ცვლის პროცესში ძლიერ (და შესაძლებელია უფრო მეტადაც) აქტიურად მიმდინარე-



ობს. მაგალითად,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{24}\text{Na}$  და სხვ. მაგრამ ეს ელემენტები არ ქმნიან დიდ საშიშროებას, ვინაიდან მათი ნახევარდაშლის პერიოდი ხანმოკლეა (14,3 დღე და 14,9 საათი შესაბამისად), ისინი სწრაფად იშლებიან, გამოიყოფიან ორგანიზმიდან და პრაქტიკულად ადამიანის ხანგრძლივ შინაგან დასხივებას არ განაპირობებენ. თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ რიგ შემთხვევაში ზოგი ელემენტი, რომელთა ნახევარდაშლის პერიოდი ხანმოკლეა, განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს სანიტარიულ-ჰიგიენური თვალსაზრისით. ასეთ ელემენტებს მიეკუთვნება  $^{41}\text{Ar}$ , I-ის იზოტოპები (126-დან 132-მდე)  $^{80}\text{Kr}$  და სხვ. ინერტული აირები  $^{41}\text{Ar}$  და  $^{80}\text{Kr}$  სისტემატურად გამოიყოფა გარემოში ატომური ელექტროსადგურებისა და რეაქტორების ექსპლუატაციის შედეგად.  $^{41}\text{Ar}$  გამა-გამომსხივებელია და მას გარკვეული წვლილი შეაქვს გარემოს გამა-ფონის ზრდაში, ხოლო  $^{80}\text{Kr}$  რადიოაქტიური გარდაქმნის შედეგად წარმოქმნის ხანგრძლივი ნახევარდაშლის პერიოდის მქონე სხვა რადიოაქტიურ ელემენტებს. რაც შეეხება რადიოაქტიური იოდის იზოტოპებს ( $^{128}$ - $^{132}$ ), თუმცა მათი ნახევარდაშლის პერიოდი ხანმოკლეა, მაგრამ მათ განსაკუთრებული ადგილი უჭირავთ ბიოგენურ ცვლაში, ამიტომ უკანასკნელ წლებში არის მოსაზრება შემოფარგლული (ლოკალური) ადგილების რადიაციული მდგომარეობის შესაფასებლად (იქ, სადაც ატომური მრეწველობაა) მიმდინარე სანიტარიული ზედამხედველობისას განსაკუთრებული ყურადღება მიექცეს რადიოაქტიური იოდის განსაზღვრას ცხოველთა ფარისებრ ჭირკვალში, როგორც ბიოსფეროს დაბინძურების პირდაპირ და არაპირდაპირ მაჩვენებელს (უკანასკნელ შემთხვევაში მისი რაოდენობის მომატება მიუთითებს რეაქტორების ექსპლუატაციის შედეგად ატმოსფეროში სხვა რადიონუკლიდების შესაძლო გამოყოფაზე).

ჰიგიენური თვალსაზრისით გარე სამყაროს დაბინძურებაში  $^{137}\text{Cs}$ -სა და  $^{90}\text{Sr}$ -ს ერთ-ერთი პირველი ადგილი უჭირავს. ამ რადიოაქტიური ელემენტებით გარე სამყაროს დაბინძურების საშიშროებას განაპირობებს არა მარტო ის, რომ მათ ახასიათებთ ნახევარდაშლის ხანგრძლივი პერიოდი (შესაბამისად 28 და 30 წელი), რითაც ქმნიან ორგანიზმის ხანგრძლივი დასხივების საშიშროებას, და რომ მათ ორგანიზმში მოხვედრის პირდაპირი გზის გარდა, აქვთ არაპირდაპირი, ბიოლოგიური გზაც, არამედ ისიც, რომ ორგანიზმში მოხვედრის შემდეგ დიდხანს დეპონირდებიან მასში (განსაკუთრებით  $^{90}\text{Sr}$ ). აღსანიშნავია, რომ ორგანიზმში  $^{137}\text{Cs}$ -ის წონასწორობა (როდესაც ორგანიზმიდან გამოიყოფილი რაოდენობა უტოლდება საკვებით მიღებულ რაოდენობას) შედარებით სწრაფად დგება, რამდენიმე ეფექტური ნახევარდაშლის პერიოდის გავლის შემდეგ ( $T_{\text{eff}}^{137}\text{Cs-თვის} = 140$  დღეს); ამიტომ თუ საკვები რაციონიდან  $^{137}\text{Cs}$  გამოირიცხება, ორგანიზმი შედარებით

სწრაფად გათავისუფლდება ამ ელემენტისაგან. იგივე არ ითქმის  $^{90}\text{Sr}$ -ზე. მისი ეფექტური ნახევარდაშლის პერიოდი 49 წელია, რის გამოც მისი დაგროვება ადამიანის ორგანიზმში პრაქტიკულად მიმდინარეობს მთელი სიცოცხლის განმავლობაში, ამიტომაც  $^{90}\text{Sr}$  უფრო საშიში ელემენტია, ვიდრე  $^{137}\text{Cs}$ .  $^{90}\text{Sr}$  და  $^{137}\text{Cs}$  Ca-ისა და K-ის ბიოლოგიური ანალოგებია, ამიტომ ორგანიზმში მოხვედრისას ისინი ისევე ნაწილდებიან, როგორც Ca და K კონკურენციას უწევენ ამ ელემენტებს.

ბიოლოგიური ჯაჭვის საწყისი რგოლი იწყება ნიადაგიდან ან ჰაერიდან ამ ელემენტების მცენარეში მოხვედრით. შემდგომი რგოლია ცხოველის. და აქედან ადამიანის ორგანიზმში მათი მოხვედრა. ცხოველი, რომელიც იკვებება მექანიკურად დაბინძურებული მცენარით ან ისეთი მცენარით, რომელიც შეიცავს  $^{90}\text{Sr}$ -ის გარკვეულ კონცენტრაციას, თავისი სხეულის შედგენილობაში მიიღებს სტრონციუმს. იგი დეპონირდება ძვლებში და გამოიყოფა რძის მეშვეობით, ამიტომ საშიშია ასეთი ცხოველისაგან მიღებული რძის დალევა. შემდგომში სტრონციუმი ძვლებიდან გადანაწილდება ორგანოებში. თუ ცხოველი საკვებთან ერთად სტრონციუმს აღარ ღებულობს, ეს ელემენტი რძის მეშვეობით მაინც გამოიყოფა მისი ძვლებიდან ორგანოებში გადანაწილების გამო. დადგენილია, რომ სტრონციუმ-90 რძით ნახევარგამოყოფის პერიოდი 350 დღეს უდრის.

ამრიგად, ცხადია თუ რა საშიშროებას ქმნის სტრონციუმის ასეთი ხანგრძლივი გამოყოფა იმ რაიონების ცხოველთა მიერ, სადაც მოხდება ნიადაგის დაბინძურება სტრონციუმით.

ადამიანის ორგანიზმში რადიოაქტიური სტრონციუმის მოხვედრის საშიშროების განხილვის დროს არ უნდა დავივიწყოთ კიდევ ერთი გზა. ეს არის ზღვის, ოკეანეების, მდინარეების მობინადრენი — თევზები და წყალმცენარეები. ამ ფაქტორს ძლიერ დიდი მნიშვნელობა აქვს, ვინაიდან თევზებით, მოლუსკებით, წყალმცენარეებით ადამიანთა დიდი ნაწილი იკვებება. საშიშროებას ქმნის ის გარემოებაც, რომ აღმოჩენილია ამ მობინადრეთა ფრიალ საინტერესო თვისება: მათ თავიანთ ორგანიზმში  $^{90}\text{Sr}$ -ის კონცენტრირების დიდი უნარი აქვთ. ეს კონცენტრაცია 100—1000-ჯერ აღემატება  $^{90}\text{Sr}$ -ის კონცენტრაციას იმ წყალში, რომელშიც თვითონ იმყოფებიან (მაშასადამე, დისკრიმინაციის კოეფიციენტი 1-ზე მეტია). ეს თვისება ძლიერ ასხვავებთ მათ ხმელეთის მობინადრეთაგან, რომელთაც ნიადაგიდან რადიოაქტიური ელემენტთა კონცენტრაციის დაბალი უნარი აქვთ: მეათედი და მეასედი პროცენტებით (დისკრიმინაციის კოეფიციენტი ყოველთვის 1-ზე ნაკლებია).

$^{137}\text{Cs}$ , ისევე, როგორც  $^{90}\text{Sr}$ , ადამიანის ორგანიზმში ხვდება პირდაპირი და არაპირდაპირი გზით, ანუ ბიოლოგიური ჯაჭვის მეშვეობით. სანიტარიულ-ჰიგიენური თვალსაზრისით  $^{137}\text{Cs}$ -ის საშიშროება უმთავრესად გამოწვეულია იმით, რომ იგი ღეღამიწის გამა-ფონს ზრდის, მაგრამ, ამასთან ერთად, მას გარკვეული როლი მიეკუთვნება ადამიანის შინაგანი დასხივების ფონის გაზრდაშიც. თუმცა უფრო ნაკლები, ვიდრე  $^{90}\text{Sr}$ -ს.

$^{137}\text{Cs}$ -ის მონაწილეობას ბიოლოგიურ ჯაჭვში გარკვეული თავისებურება ახასიათებს. პირველ ყოვლისა, ეს გამოიხატება იმით, რომ  $^{137}\text{Cs}$  ნიადაგში ფიქსირდება ისეთი სახით, რომელიც ნაკლებ აითვისება მცენარის მიერ, ნაკლებად მონაწილეობს მცენარეთა ნივთიერებათა ცვლაში. მაგრამ, მიუხედავად ამისა, ძროხის რძეში იგი 5-ჯერ უფრო მეტი რაოდენობით გადადის, ვიდრე  $^{90}\text{Sr}$  (ორგანიზმში მოხვედრილ რაოდენობასთან შეფარდებით). თავისებურებაა აგრეთვე ის, რომ  $^{137}\text{Cs}$  ადამიანის ორგანიზმში ხვდება ხორცის მეშვეობითაც, ვინაიდან მისი საკმაოდ დიდი ნაწილი ცხოველთა კუნთებში ფიქსირდება.  $^{137}\text{Cs}$ -ის განაწილება ორგანიზმში რამდენადმე განსხვავდება კალიუმის განაწილებისაგან: იგი თითქმის 2-ჯერ უფრო მეტი კონცენტრაციით გროვდება ძვლის ტვინში, ვიდრე კუნთებში (როგორც ვიცით კალიუმის ძირითადი დეპო ორგანიზმში კუნთებია). ზოგიერთი მეცნიერის აზრით ამის მიზეზია, ადამიანის ძვლის ტვინში ერთიერთი დულთან შედარებით მიელოიდური უჯრედების სიჭარბე (ადამიანში შ/ე = 1,6):

აღსანიშნავია, რომ ამ ელემენტების საკვებით მიღებულ რაოდენობაზე გავლენას ახდენს კულინარული დამუშავების წესები. მაგალითად, თუ წყლის pH ნეიტრალური ან ოდნავ ტუტეა (როგორც ჩვეულებრივ არის ბულიონების დამზადების დროს), მაშინ ხსნარში გადადის სტრონციუმის 10%, მაგრამ თუ მზადდება მჟავე წენიანი, რომლის pH=3—4, მაშინ წვეწვში გადასული სტრონციუმის რაოდენობა მატულობს 40%-მდე. აღსანიშნავია, რომ თუ რძე შეიცავს სტრონციუმს, მისგან დამზადებული კარაქი ამ ელემენტისაგან თითქმის სულ თავისუფალია, ვინაიდან სტრონციუმი მთლიანად გადადის შრატში.

როგორც ზემომოყვანილი მონაცემებიდან, აგრეთვე წინა თავებში განხილული მასალიდან ჩანს, ამ რადიოაქტიურ ელემენტებს ადამიანი ითვისებს ძირითადად საკვები რაციონის მეშვეობით, კერძოდ, პურით, ხორცითა და რძით. სოფლის მოსახლეობის რაციონი მათი კვების თავისებურების გამო უფრო მდიდარია ამ ელემენტებით. საკვებ რაციონში ამ ელემენტების რაოდენობა ატომურ იარაღის ექსპერიმენტული აფეთქებების შედეგად 1966 წლამდე მატულობდა, ყველაზე

მაღალი იყო 1964 წელს, 1966 წელს კი შემცირდა თითქმის ორჯერ. ასეთი სურათი აღინიშნებოდა მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში, საბჭოთა კავშირსა და საქართველოშიც. 1965 წლიდან საქართველოში საკვებ პროდუქტებში აღინიშნება სტრონციუმის რაოდენობის საგრძნობი კლება. მაგალითად, 1969 წლისათვის პურში მისი აქტივობა დაეცა 31 პიკოკიური/კგ-დან 12 პიკოკიური/კგ-მდე, რძეში—57,7 პიკოკიური/ლ-დან 7,2 პიკოკიური/ლ-მდე, ხოლო ყველში — 416 პიკოკიური/კგ-დან 19,9 პიკოკიური/კგ-მდე.

ამ ელემენტების რაოდენობა ადამიანის ორგანიზმში ატომური იარაღის საცდელი აფეთქებების შემდეგ (განსაკუთრებით ინტენსიურად ეს აფეთქებები მიმდინარეობდა 1962 წელს) ყოველწლიურად მატულობდა. ეს მატება შეიმჩნეოდა 1963—1966 წლებში, ხოლო შემდეგ დაიწყო კლება 1970 წლამდე. 1970 წლიდან კვლავ შეინიშნება მათი რაოდენობის მატება, ვინაიდან ზოგიერთი ქვეყანა, რომელმაც ხელი არ მოაწერა ატომური იარაღის გამოცდის აკრძალვას სამ სფეროში (საფრანგეთი, ჩინეთი), კვლავ განაგრძობს ამ იარაღის გამოცდას, რამაც გამოიწვია ადამიანის ძვლებში სტრონციუმის კონცენტრაციის რამდენადმე მომატება (შესაბამისად მომატებულია მისი რაოდენობა საკვებ რაციონშიც).

ადამიანის ორგანიზმში მოხვედრილი სტრონციუმი გროვდება ძვლებში, იწვევს მათ, და აგრეთვე მათში მოთავსებული ქსოვილების, ორგანოების (ძვლის ტვინი, ჰიპოფიზი და სხვ.) ქრონიკულ დასხივებას. ცეზიუმი კუნთებში გროვდება და იწვევს ორგანიზმის შედარებით თანაბარ დასხივებას.

სტრონციუმის დაგროვება ძვლებში განსაკუთრებით ინტენსიურად მიმდინარეობს ბავშვებში. ეს გასაგებიცაა, ვინაიდან ბავშვებში ხდება ძვლოვანი ქსოვილის ფორმირება, მათი გამდიდრება კალციუმის მარილებით, ხოლო სტრონციუმი, როგორც კალციუმის ბიოლოგიური ანალოგი, კალციუმთან ერთად აქტიურად მონაწილეობს ძვლოვანი ქსოვილის ნივთიერებათა ცვლაში. ყველაზე ნაკლები რაოდენობით აღინიშნება სტრონციუმი 20 წელზე მეტი ასაკის ადამიანთა ძვლებში (1966 წლის მონაცემებით, 5,95 და 1,55 პიკოკიური/1 გ Ca-ზე შესაბამისად).

წლიური დასხივების საშუალო დოზა ძვლებში დაგროვილი სტრონციუმისაგან ყველაზე მაღალ სიდიდეებს აღწევდა 1964 წელს და სხვადასხვა ასაკის ადამიანებში ცვალებადობდა წელიწადში 3,32 მრბე-დან 19,2 მრბე-მდე. დასხივების ყველაზე მაღალი დონე აღინიშნებოდათ 1962 წელს დაბადებულ ბავშვებს.

ცეზიუმის რაოდენობა ქალებში უფრო ნაკლებია, ვიდრე მამაკაცებში, ვინაიდან ქალებს კუნთოვანი ქსოვილი ნაკლებად აქვთ განვი-

თარებული. ცეზიუმით დასხივების დოზა კრიტიკულ ორგანოებში (კერძოდ გონალებში) საშუალოდ შეადგენს 1 მრბე-ს წელიწადში.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ბიოსფეროში  $^{14}\text{C}$ -ის რაოდენობის ზრდას. ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში ატომური იარაღის გამოცდის შედეგად ატმოსფეროს რადიაქტივობა  $^{14}\text{C}$ -ის ხარჯზე გაიზარდა 50%-ით.  $^{14}\text{C}$ -ის სანიტარიულ-ჰიგიენური მნიშვნელობა განსაკუთრებულია. ცნობილია, რომ იგი რბილი ბეტა-გამომსხივებელია, ამდენად საშიშროება იქმნება არა ატმოსფეროდან გარეგანი დასხივების დოზის ზრდისა  $^{14}\text{C}$ -ის ხარჯზე, არამედ მისი დიდი ხვედრითი წონისაგან ორგანულ სამყაროში მიმდინარე ნივთიერებათა ცვლაში, ბიოლოგიურ ჯაჭვში, რომლის ერთ-ერთი რგოლია ადამიანი.  $^{14}\text{C}$ -ის რაოდენობის ზრდა ადამიანის ორგანიზმში ქმნის პოტენციურ საშიშროებას გენეტიკური ინფორმაციის შეცვლის თვალსაზრისით, ვინაიდან ლეზოქსირიბუნუკლეინმჟავას (რომელიც გენეტიკური ინფორმაციის მტარებელია) შედგენილობაში  $^{14}\text{C}$ -ის რადიაქტიური გარდაქმნა იწვევს ამ რთული ბიომოლეკულის ქიმიური სტრუქტურის შეცვლას, რასაც შესაძლოა მოჰყვეს სათანადო გენეტიკური ეფექტი. ეს საკითხი დღეს მეცნიერებისათვის მეტად აქტუალურია და გამოკვლევის პროცესშია.

რადიაქტიური ნალექებით ლოკალური დაბინძურება მოსახლეობის დასხივების თვალსაზრისით დიდ საშიშროებას არა ქმნის. ამის დამადასტურებელია ყველაზე დიდი ავარია მსოფლიოში — უინდსკეილის ავარია. ამ რაიონში ჩატარებულმა გაზომვებმა ცხადყო, რომ მიუხედავად რადიონუკლიდების დიდი რაოდენობით გამოყოფისა, მოსახლეობის გარეგანი და შინაგანი დასხივების დოზები არ იყო დიდი (გამონაკლისი იყო პოტენციური საშიშროება, შექმნილი დიდი რაოდენობით იოდის გამოყოფით და მისი ჩართვით ფარისებრ ჯირკვალში რძითა და რძის პროდუქტების მიღების შედეგად).

ატომური საწვავის მომპოვებელ და გადამმუშავებელ დაწესებულებებში ისე კარგადაა დამუშავებული და პრაქტიკაში დანერგილი გარემოს ობიექტების რადიაქტიური დაბინძურებისაგან დაცვითი ღონისძიებები, ქმედითი წინასწარი და მიმდინარე სანიტარიული ზედამხედველობა, რომ გარემოს ფაქტორების ლოკალური დაბინძურების რეალური საშიშროება მათი ყოველდღიური ექსპლუატაციის პირობებში თითქმის გამორიცხულია.

## გარე სამყაროს ობიექტების სანიტარიულ-დოზიმეტრიული კონტროლი

რადიონუკლიდებისა და მაიონიზებული გამოსხივების სხვა წყაროებზე მომუშავე დაწესებულებების სანიტარიულ-დოზიმეტრიული

კონტროლი მოიცავს გარემოს ობიექტებზე — ჰაერზე, წყალზე, ნიადაგზე, საკვებ პროდუქტებზე სისტემატურ რადიოლოგიურ ზედამხედველობას ქალაქის, ოლქის ან რესპუბლიკის მასშტაბით. ეს ზედამხედველობა ტარდება სანიტარიულ-ეპიდემიოლოგიური სადგურების რადიოლოგიური ლაბორატორიების მეშვეობით, და მიზნად ისახავს გარემოს დაცვას გაბინძურებისაგან, მოსახლეობის რადიაციული უშიშროების უზრუნველყოფას. გარემოს დაბინძურების აცილება, ზრუნვა მოსახლეობის ჯანმრთელობაზე სახელმწიფოებრივი და საზოგადოებრივი დაწესებულებებისა და ორგანიზაციების სისხლხორცეული საქმეა.

გარემოს ობიექტებზე სანიტარიულ-დოზიმეტრული კონტროლი ტარდება სათანადო მეთოდური მითითებების საფუძველზე პერიოდულად. მიმდინარეობს ჰაერის, ნიადაგის, ატმოსფერული ნალექების, წყლის, საკვები პროდუქტების სინჯების აღება, მათი დამუშავება სათანადო წესით და რადიომეტრირება. რადიაქტივობის საერთო დონის (ჯამური სიდიდის) დადგენის გარდა, აუცილებელია ამა თუ იმ სინჯის გამოსხივების იდენტიფიკაცია. ეს განსაკუთრებულად აქტუალურია ისეთ შემთხვევებში, როდესაც ამა თუ იმ სინჯის — ჰაერის, ნიადაგის, საკვები პროდუქტისა და სხვა აქტივობის დონე ბუნებრივს აჭარბებს. საჭირო ხდება ზეფონური დასხივების იდენტიფიცირება, რაც ძირითადად წარმართება რადიოქიმიური ანალიზების მეშვეობით. დღეისათვის მეცნიერება აღჭურვილია ამა თუ იმ რადიაქტიური ელემენტის ქიმიური გზით გამოყოფის მეთოდებით. ბიოგენური და ჰიგიენური თვალსაზრისით განსაკუთრებით საშიში რადიონუკლიდებია  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{131}\text{I}$  და სხვ.

უკანასკნელ წლებში დიდი ყურადღება ეთმობა, აგრეთვე გარემოს დაბინძურებას ანტროპოგენული წარმოშობის ბუნებრივი რადიაქტიური ელემენტებით. კაცობრიობა ყოველდღიური საქმიანობის პროცესში წიაღისეული ენერგეტიკული წყაროების გამოყენების შედეგად (მრეწველობისა და ტრანსპორტის განვითარება, მათი ექსპლუატაცია) იწვევს გარემოს დაბინძურებას არა მარტო ქიმიური ნაერთებით, არამედ ისეთი რადიონუკლიდებით, როგორცაა  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{210}\text{Po}$  და სხვ. სანიტარიულ-დოზიმეტრიული კონტროლის ამოცანაა ამ ანთროპოგენური რადიონუკლიდების დონის სისტემატური დადგენა გარემოს ობიექტებში, განსაკუთრებით იქ, სადაც განვითარებულია მრეწველობა, ტრანსპორტი და დიდი რაოდენობით იყენებენ საწვავს — ქვანახშირს, ნავთობს, გაზს.

გარემოს ობიექტების რადიოლოგიური კონტროლისათვის გამოყოფილი უნდა იქნას დაკვირვების მუდმივი საკონტროლო უბნები ან რაიონები. ეს უბნები ან რაიონები ისე უნდა იყოს შერჩეული, რომ

ისინი ტიპურად გამოხატავდნენ ადგილმდებარეობის ხასიათს და დაშორებული იყვნენ დასახლებულ ობიექტებს არანაკლებ 100 მეტრით. სინჯების აღებას, მათ გადაგზავნას, რადიომეტრიულ და რადიოქიმიურ ანალიზებს უნდა ახორციელებდნენ სსრ კავშირის ჯანდაცვის სამინისტროს მიერ დამტკიცებული მეთოდებით.

მიღებული შედეგების მიხედვით იქმნება შთაბეჭდილება დაკვირვებული ადგილმდებარეობის რადიაციული მდგომარეობის შესახებ და გამოსხივების დონის ზრდის შემთხვევაში ისახება სათანადო ღონისძიებები მათი ლიკვიდაციისათვის. ასეთი სისტემატური კონტროლი გარემოს გლობალურ დაბინძურებაზე მუდმივი მეთვალყურეობის საშუალებასაც იძლევა.

### **რადიაქტიური დაბინძურებისაგან გარე სამყაროს დაცვითი ღონისძიებები**

რადიაქტიური დაბინძურებისაგან გარე სამყაროს დაცვა ერთ-ერთი აქტუალური პრობლემაა, რომელიც მკიდროდ არის დაკავშირებული ნარჩენების გაუვნებლებისა და გადაყრის პრობლემასთან.

გარე სამყაროს დაცვა რადიაქტიური დაბინძურებისაგან სახელმწიფოებრივი საქმეა და მიმართულია ისეთი ღონისძიებების განხორციელებისაკენ, რომელთა მეშვეობით ბუნება დაცული იქნება რადიაქტიური ნივთიერებებით დაბინძურებისაგან. ეს არის „რადიაქტიურ ნივთიერებებთან და მაიონიზებელი გამოსხივების სხვა წყაროებთან მუშაობის ძირითადი სანიტარიული წესები“ (ОСП — 72/80) და „რადიაციული უშიშროების ნორმები“ (НРБ — 76).

რადიაქტიური დაბინძურებისაგან გარე სამყაროს დაცვის ღონისძიებები, პირველ ყოვლისა, ითვალისწინებს სამუშაოების ისე ჩატარებას, რომ რაც შეიძლება მინიმალური იყოს თხიერ ან აიროვან მდგომარეობაში მყოფი ნარჩენები როგორც რაოდენობრივად, ასევე მოცულობით. ამ ღონისძიებების გატარებით ხდება რადიაქტიური ნარჩენების გაუვნებლება ან, თუ ეს უკანასკნელი ვერ ხერხდება, მათი კონცენტრაციის უვნებლობამდე დაყვანა.

ყოვლად დაუშვებელია საკანალიზაციო სისტემაში მაღალაქტიური ნაერთების გაშვება. თუ ტექნოლოგიური პროცესების დროს იქმნება ისეთი პირობები, რომელთაც თან სდევს რადიაქტიური ნივთიერებების გამოყოფა აირების ან აეროზოლების სახით, ეს პროცესები უნდა წარიმართოს პერმეტულობის პირობების დაცვით.

რადიაქტიური დაბინძურებისაგან გარე სამყაროს დაცვა ითვალისწინებს მყარ რადიაქტიური ნივთიერებების მიმართ ისეთი ღონისძიებების გატარებას, რომლებიც არ დაუშვებენ მათ გავრცელებას გარე

სამყაროში, ალკვეთენ მათ დამახასიათებელ სამიგრაციო გზებს, რითაც უზრუნველყოფილი იქნება ადამიანთა რადიაციული დასახიერების უსაფრთხოება.

### სანიტარიული დაცვითი ზონები

ყველა ის ღონისძიება, რომელიც მიმართულია რადიოაქტიური ნივთიერებებისაგან გარე სამყაროს დაბინძურების თავიდან აცილებისაკენ, ვერ უზრუნველყოფს მის სრულ დაცვას. ხელოვნური თუ ბუნებრივი რადიოაქტიური ელემენტები გარკვეული რაოდენობით მაინც ხვდება ატმოსფერულ ჰაერში, წყალში, ნიადაგში და შემდგომი მიგრაციით გამორიცხული არ არის ადამიანის ორგანიზმში მათი მოხვედრა. ზოგ შემთხვევაში რადიოაქტიურ იზოტოპებსა და მათიონიზებელი გამოსხივების სხვა წყაროებზე მომუშავე საწარმოთა ექსპლოატაციის შედეგად მიმდებარე ტერიტორიაზე გარეგანი დასახიერების დონამ შესაძლებელია გადააჭარბოს მოსახლეობის ცალკეული პირებისათვის დასახიერების დასაშვებ დონეს ან რადიოაქტიურ ნივთიერებათა კონცენტრაცია მეტი იყოს ჰაერსა და წყალში, ვიდრე ეს გათვალისწინებულია ამ პირებისათვის სანიტარიული კანონმდებლობით. ამიტომ არასასურველი შედეგების აცილების მიზნით კანონმდებლობა ითვალისწინებს ასეთი საწარმოების გარშემო სანიტარიული დაცვითი ზონების შექმნას:

სანიტარიულ-დაცვითი ზონა ის ტერიტორიაა, რომელიც გარს ერტყმის საწარმოს, სადაც მიიღებენ ან გამოიყენებენ რადიოაქტიურ იზოტოპებს. ამ ტერიტორიაზე, როგორც აღნიშნული იყო, აკრძალულია საცხოვრებელი სახლების, ბავშვთა დაწესებულებების, სამრეწველო და სხვა დამხმარე ობიექტების მშენებლობა, რომლებსაც უშუალო კავშირი არა აქვთ იმ წარმოებასთან, რომლისთვისაც გამოყოფილია ეს სანიტარიულ-დაცვითი ზონა. სანიტარიულ-დაცვითს ზონაში სისტემატურად მიმდინარეობს რადიაციული მდგომარეობის კონტროლი. ამ ზონის ფართობს გამოყოფს სსრ კავშირის ან რესპუბლიკური ჯანმრთელობის დაცვის სამინისტროს მთავარი სანიტარიულ-ეპიდემიოლოგიური სამმართველო. მიღებულია, რომ I კატეგორიის საწარმოსათვის ეს ზონა არ უნდა იყოს 500 მეტრზე ნაკლები, II კატეგორიისათვის — 100 მეტრზე, ხოლო III კატეგორიისათვის — ჩვეულებრივი ნორმატივების მიხედვით. (H—101—54).

რეაქტორებისათვის, რომელთა სიმძლავრე 500-დან 5000 კვტ-მდეა და რომლებსაც იყენებენ სასწავლო და სამეცნიერო მუშაობისათვის, სანიტარიული დაცვის ზონა უნდა იყოს 1000 მეტრი.



სანიტარიული-დაცვითი ზონის რადიუსს ადგენენ ყველა კერძო შემთხვევისათვის სანიტარიულ-საზედამხედველო ორგანოებთან შეთანხმებით.

საწარმოსათვის ადგილმდებარეობას გამოყოფენ ყველა იმ ღონისძიების გათვალისწინებით, რომლებიც მოცემულია  $H=101=54$  ნორმატივებით, ქალაქის დასახლებული ადგილების მიმართ ქართა გაბატონებული მიმართულების გათვალისწინებით. საჭიროა აგრეთვე წყალსატევების არსებობისა და მდებარეობის გათვალისწინება, რომლებშიც შესაძლებელია წინასწარ გაუენებელი ნახმარი წყლის ჩაშვება და სხვ.

სანიტარიულ-დაცვითი და ზედამხედველობის ზონის ფართის დაგეგმვას საფუძვლად უდევს ახლომდებარე ტერიტორიაზე არსებული რადიაქტიური იზოტოპებისა და მაიონიზებული გამოსხივების სხვა წყაროების გამოყენებელი დაწესებულებების მიერ გარემოში გამოყოფილი რადიონუკლიდების რაოდენობა, გამწმენდი დანადგარების არსებობისა და ამ დაწესებულებათა მუშაობის მოცულობის ზრდის პერსპექტივების გათვალისწინებით, აგრეთვე მოსახლეობის ცალკეულ პირთათვის დადგენილი სასუნთქი გზებით რადიაქტიულ ნივთიერებათა წლიური ზღვარის სიდიდეები.

**რადიოაქტივობის უზავალი ნახმარი წყლის, მხარი ნივთიერებაებისა და აირების გაუენებლობა საანონიზებლო ღონისძიებების გატარების გზით**

წარმოების ტექნოლოგიური თავისებურებების გამო რადიაქტიური ნარჩენები შეიძლება იყოს მყარ, თხევად ან აიროვან აგრეგატულ მდგომარეობაში.

საჭიროა ვიცოდეთ, რომ მყარი ნარჩენები რადიაქტიურად მიჩნეულია იმ შემთხვევაში, როცა ზედაპირის ყოველი 100 სმ<sup>2</sup>-დან წუთში 500 ალფა-ნაწილაკი ან 5000 ბეტა-ნაწილაკი გამოიტყორცნება ან თუ მათი ხვედრითი აქტივობა 100-ჯერ მეტია, ვიდრე საშუალო წლიური დასაშვები კონცენტრაცია წყლისათვის, ანდა მათი ხვედრითი გამა-ეკვივალენტი ყოველ კილოგრამზე რადიუმის  $10^{-7}$  გრამ-ეკვივალენტზე მეტია და გამა-გამოსხივების სიმძლავრე უშუალოდ ზედაპირთან აღემატება საათში 0,3 მრბე-ს.

თხიერი გადანაყრები რადიაქტიურად მიჩნეულია იმ შემთხვევაში, თუ მათი აქტივობა აღემატება წყლისათვის საშუალო წლიურ დასაშვებ კონცენტრაციას. ატომური ენერჯის საერთაშორისო სააგენტოს მიერ რეკომენდებულია თხიერი რადიაქტიური გადანაყრების შემდეგი კლასიფიკაცია: მაღალი აქტივობის (ხვედრითი აქტივობა 1 კ/ლ-ზე მეტია), საშუალო აქტივობის (ხვედრითი აქტივობა  $1 \cdot 10^{-6}$ — $1,0$  კ/ლ

ფარგლებშია) და მცირე აქტივობის (ხვედრითი აქტივობა არაუმეტეს 1. 10<sup>-6</sup> კ/ლ). ასეთი კლასიფიკაცია მყარი რადიაქტიური ნარჩენების მიმართ ჯერჯერობით შემუშავებულ არ არის.

რასაკვირველია, ნარჩენების სრული განთავისუფლება რადიაქტივობისაგან არ ხერხდება და ეს არც არის საჭირო. საჭიროა გამოსხივების დონის შემცირება ისეთ ოდენობამდე, რომ იგი არ იყოს საშიში ადამიანისა და გარე სამყაროში არსებული ცოცხალი ორგანიზმებისათვის. ამიტომ, თუ ჰაერში გაუშვებენ მცირე კონცენტრაციის რადიაქტიური მინარევების მქონე აეროზოლებს ან საერთო საკანალიზაციო სისტემაში ჩაუშვებენ მცირე აქტივობის ნახმარ წყალს, რომელიც კიდევ უფრო ზავდება კოლექტორებსა და საკანალიზაციო სისტემაში, ეს არავითარ საშიშროებას არა ქმნის გარემოს დაბინძურების თვალსაზრისით. ძირითადი ყურადღება უნდა მიაქციონ საშუალო და მაღალი აქტივობის რადიაქტიური გადანაყრების ღეზაქტივიზაციას და მათ ჩაფლობას.

რადიაქტიური ნარჩენების გაუვნებლების სისტემა ცენტრალიზებულია. იგი ითვალისწინებს გადანაყრების შეგროვებას, დროებით შენახვას, ტრანსპორტირებას და დამარხვას. ცენტრალიზებული პრინციპი შემოღებულია იმისათვის, რომ მისი საშუალებით შესაძლებელია რადიაქტიური ნარჩენების გაუვნებლების სანიტარიული წესდების სრული გატარება, უსაფრთხოების ტექნიკის დაცვა, ისეთი პუნქტებისა და შესაბამისად რადიაქტიური ნივთიერებებით დაბინძურებული ტერიტორიების რაოდენობის შეზღუდვა, რომლებიც რადიაქტიურ სამარხებად იქნება გამოყენებული, მათზე სათანადო სანიტარიული და რადიაციული ზედამხედველობის დაწესების გაადვილება.

#### რადიაქტიური ნარჩენების გაუვნებლობის, ანუ ღეზაქტივიზაციის მეთოდები

არსებობს რადიაქტიური ნარჩენების გაუვნებლების შემდეგი მეთოდები: 1. მექანიკური, 2. ფიზიკური, 3. ქიმიური, 4. ბიოლოგიური.

ამ მეთოდების გამოყენება შეიძლება ცალკე ან კომბინირებით. რომელიმე ამ მეთოდის ან მეთოდთა კომბინაციის გამოყენება განისაზღვრება ყოველი ცალკეული კონკრეტული შემთხვევით. მეთოდის შერჩევა დამოკიდებულია რადიაქტიური ნარჩენის აგრეგატულ მდგომარეობაზე (მყარი, თხევადი, აირი), ქიმიურ შედგენილობაზე, აქტივობის სიდიდეზე და სხვ.

გაუვნებლების მექანიკური მეთოდი გულისხმობს რადიაქტიური ნივთიერებების მექანიკური გზით მოშორებას. მაგალითად, მყარ დაბინძურებულ ობიექტს შესაძლებელია მექანიკური გზით მოშორდეს აქტიური ფენა; რადიაქტიური აეროზოლიდან შესაძლებელია მექანი-

კური გზით რადიაქტიური ფენის დალექვა და სხვ. გაუვნებლების მექანიკურ მეთოდს მიეკუთვნება აგრეთვე, მაღალი აქტივობის ხსნარის განზავება და მისი დასაშვებ კონცენტრაციამდე დაყვანა, შემდეგში კი მდინარეში ჩაშვება.

დეზაქტივაციის ფიზიკური მეთოდი დამყარებულია რადიაქტიური ნივთიერების ფიზიკური ნახევარდაშლის პერიოდის გამოყენებაზე. როგორც ცნობილია, სადღეისოდ მეცნიერებას არა აქვს ისეთი საშუალებები, რომლებიც შესაძლებელს გახდიდა ამა თუ იმ ელემენტის რადიაქტივობის შეწყვეტას, ე. ი. „დეზაქტივაციის“ ჩატარება ამ სიტყვის სრული გაგებით, როგორც, მაგალითად, ქიმიური შხამების განეიტრალების დროს. როგორც წინა თავებში იყო აღნიშნული, არავითარი ფიზიკური თუ სხვა მოვლენით ადამიანს დღეს არ შეუძლია შეწყვიტოს მიმდინარე თავისთავადი გარდაქმნითი პროცესები, რასაც თან სდევს რადიაქტიური გამოსხივება. მაგრამ, ცნობილია, რომ დროის გავლასთან ერთად ატომების დაშლის შედეგად რადიაქტიური ნივთიერების აქტივობა მცირდება. მაშასადამე, გარკვეული დროის შემდეგ რადიაქტიური ნივთიერება პრაქტიკულად დეზაქტივირებულნი ხდება. მაგრამ ეს ეხება მხოლოდ იმ იზოტოპებს, რომელთაც ხანმოკლე ნახევარდაშლის პერიოდი აქვთ. სწორედ ეს ფიზიკური პრინციპები უდევს საფუძვლად მათ გაუვნებლებას: ასეთი იზოტოპებია  $^{181}\text{I}$ ,  $^{132}\text{I}$ ,  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{198}\text{Au}$  და სხვ. რაც შეეხება ისეთ ნარჩენებს, რომელთაც ხანგრძლივი ნახევარდაშლის პერიოდი აქვთ, პირველ ყოვლისა, საჭიროა აქტივობის დიდი მოცულობიდან მცირეში გადაყვანა, ვინაიდან მცირე მოცულობის დამარხვა უფრო ადვილია. ამ მიზნის მიღწევაც ფიზიკური მეთოდებით ხდება (მაგალითად, აორთქლება, სითხის მყარ მდგომარეობაში გადაყვანა, ე. ი. აგრეგატული მდგომარეობის შეცვლა და სხვ.).

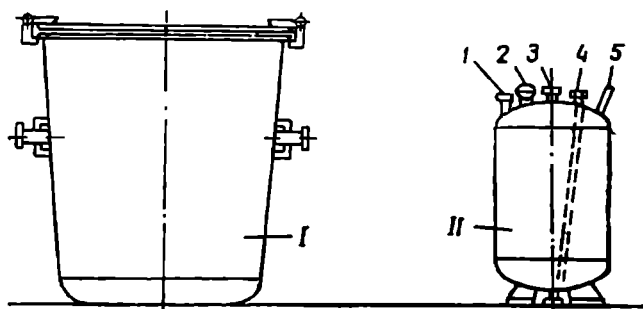
გაუვნებლების ქიმიური მეთოდი დამყარებულია სხვადასხვა ქიმიური ნაერთების უნარზე რეაქციაში შევიდნენ რადიაქტიურ ელემენტებთან, გადაიყვანონ უხსნად მდგომარეობაში და გამოლექონ ისინი ხსნარიდან. ქიმიურ მეთოდებზეა დამყარებული აგრეთვე კოაგულაციის მეთოდები და სხვ. ეს მეთოდები არ არის სპეციფიკური. სანიტარიულ პრაქტიკაში მათ იყენებენ ნახშირი წყლისა და აეროზოლების ქიმიური მინარევებისაგან გაწმენდის დროს. რადიაქტიური იზოტოპისაგან განთავისუფლების ქიმიური მეთოდის თავისებურება ამ შემთხვევაში ის არის, რომ გამოიძებნოს ისეთი ქიმიური ნაერთი, რომელიც შეაკავშირებს რადიაქტიურ ელემენტს ან ელემენტთა ნაერთს.

ზოგ ჰიდრობიონტს მიდრეკილება აქვს შთანთქმას რადიაქტიური ელემენტები. ასეთივე თვისებები ახასიათებს ზოგ მიკროორგანიზმსაც.

ისინი ხსნარებიდან ხარბად ითვისებენ რადიაქტიურ ელემენტებს, თუნდაც ამ უკანასკნელთა კონცენტრაცია მცირე იყოს, ე. ი. რადიაქტიური ნივთიერებების კონცენტრაციის უნარი აქვთ. მათი სხეულის რადიაქტივობა მატულობს ხსნარის კონცენტრაციის დაქვეითების ხარჯზე და ეს კონცენტრაცია, შესაძლებელია ასი ათასობით აღემატებოდეს წყალში არსებულ რადიაქტიურ ნივთიერებათა კონცენტრაციას. მიკრო-და მაკროორგანიზმების ეს უნარი გამოყენებულია გაუვნებლების ბიოლოგიური მეთოდის სახით.

### მყარი რადიაქტიური ნარჩენების გაუვნებლება და მიწაში ჩაფლობა

მყარი რადიაქტიური ნარჩენების შეგროვება, ტრანსპორტირება და ჩაფლობა ხდება სპეციალური კონტეინერებით (სურ. 39), ჩვეულებრივი სამეურნეო ნაგვისაგან იზოლირებულად. თუ ნარჩენები შეიცავს რადიაქტიურ იზოტოპებს, რომელთა ნახევარდაშლის პერიოდი 15 დღეზე მეტი არ არის, ისინი უნდა შეინახონ ადგილზე, სანამ მათი აქტივობა დაეცემა სანიტარიული კანონმდებლობით გათვალისწინებულ სიდიდეებამდე და შემდეგ გაიტანონ ჩვეულებრივ სამეურნეო ნაგავთან ერთად.

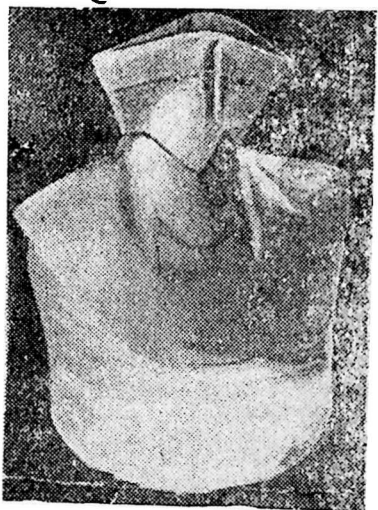


სურ. 39. კონტეინერები მყარი (I) და თხიერი (II) რადიაქტიური ნარჩენებისათვის: 1 — დონის ელექტრული მაჩვენებელი, 2 — სააერო ფილტრი, 3 — ჩასასხმელი ხერელი, 4 — გადმოსაღვრელი ხერელი, 5 — სახელური.

პრაქტიკულად მიღებულია, რომ 10 ნახევარდაშლის პერიოდი საგნებით საკმარისია ხანმოკლე ნახევარდაშლის პერიოდის მქონე ელემენტების გაუვნებლებისათვის. მაგალითად,  $^{24}\text{Na}$ -ის დაყოვნებისათვის საკმარისია 7 დღე,  $^{131}\text{I}$ -თვის — 83 დღე,  $^{32}\text{P}$ -სათვის 143 დღე და ა.შ.

მყარ ნარჩენებს აგროვებენ ერთჯერადი ხმარების პლასტიკატის ან მკვრივი ქალაღის პარკებში (სურ. 40). მათ შესანახად გამოყო-

ფილია სპეციალური ადგილი, რომელიც უზრუნველყოფილია გამა-  
და ხისტი ბეტა-გამოსხივებისაგან დამცველი მოწყობილობით, რათა  
მათ მიღმა დასხივების დოზა არ აღემატებოდეს დასაშვებს. შემდგომი  
ტრანსპორტირებისათვის პარკები გადააქვთ სპეციალურ კონტეინე-  
რებში. გადანაყრების პარკების კონტეინერებში მოთავსება მიზანშე-  
წონილია მათი ზედმეტი დაბინძურების აცილების მიზნით. ამავე  
დროს, რაც ნაკლებ იქნება დაბინძურებული კონტეინერის შიგნითა  
ზედაპირი, მით მისი დეზაქტივაცია ადვილია. გარდა ამისა, ვინაიდან  
რადიოაქტიური ნარჩენების ერთი ტარიდან მეორეში გადაყრა არ ხდე-  
ბა, გარემოს დაბინძურებაც გამორიცხულია.



სურ. 40. პლასტიკატის პარკები მყარი გადანაყრებისათვის.

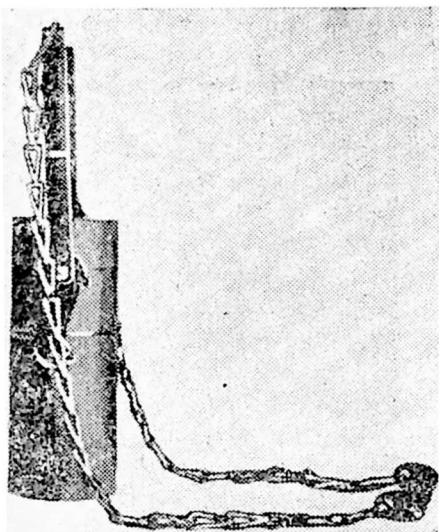
რადიოაქტიური ნარჩენების ტრანსპორტირება თვით დაწესებულე-  
ბის შიგნით უნდა ხდებოდეს მექანიზებული წესით და კონტეინერე-  
ბით (სურ. 41). თუ მექანიზაცია არ არის და გადატანა ხელით ხდება,  
მაშინ საჭიროა ყოველგვარი დაცვითი ღონისძიების მიღება. ურიკაზე,  
რომლის საშუალებითაც ხდება ნარჩენების გადატანა, უნდა დადგან  
დამცველი ფარები. მართვა უნდა იყოს „დისტანციური“ (ე. წ. „გრძე-  
ლი ხელბე“).

რადიოაქტიური ნარჩენების ტრანსპორტირება სამარხში ხდება  
სპეციალური მანქანით. მანქანაზე დგას კონტეინერები და ამწე მექა-  
ნიზმი. კონტეინერები მრგვალი ფორმისაა, იხურება ჰერმეტიულად:

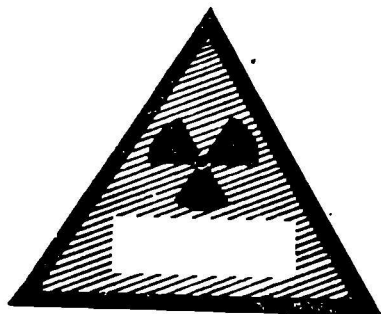
მისი შიგნითა ზედაპირი უქანგავი ფოლადისაა, რათა მკავეებითა და საღებავებითა ხსნარებით დამუშავების შემდეგ არ მოხდეს კოროზია, რაც მისი შემდგომი დეზაქტივაციის პროცესს შეაფერხებს.

მსხვილგაბარიტიანი რადიაქტიური ნარჩენების ტრანსპორტირება შეიძლება მანქანით, რომლის ძარა ლითონისაა. ძარასა და კაბინას შორის მოწყობილია სპეციალური დაცვა მომსახურე პერსონალის დასახივების აცილების მიზნით. გამოსხივების დოზა კონტეინერების

გარეთ არ უნდა აღემატებოდეს 10. მრბე/საათში. ყველა სპეციალიზებულ მანქანას უნდა ჰქონდეს რადიაციული საშიშროების განმასხვავებელი ნიშანი (სურ. 42). დაუშვებელია ამ მანქანების გამოყენება სხვა მიზნებისათვის ისევე, როგორც



სურ. 41. რადიაქტიური ნივთიერებების გადასატანი კონტეინერი.



სურ. 42. რადიაციული საშიშროების ნიშანი.

სხვა, არასპეციალურად მოწყობილი მანქანების გამოყენება რადიაქტიური ნარჩენების გადასატანად.

### ნახმარი წყლის გაუვნებლავის ძირითადი მეთოდები და მათი პიგიურული დახასიათება

ნახმარი წყლის გაუვნებლავების მნიშვნელობა გარე სამყაროს რადიაქტიური დაბინძურების აცილების მიზნით ყველასათვის ნათელია. ამიტომ ამ წყლის დეზაქტივაციის მეთოდების გაუმჯობესებისა და სრულყოფის მნიშვნელობაც ძალიან დიდია. ნახმარი წყლის დეზაქტი-

ვაკისათვის იყენებენ ყველა ზემოთ აღწერილ მეთოდს (მექანიკურს, ფიზიკურს, ქიმიურსა და ბიოლოგიურს).

ყველაზე უფრო ადვილმისაწვდომი და უბრალო მეთოდია ფიზიკური მეთოდი — რადიოაქტიური ნარჩენების დაყოვნება, რომლის შედეგად რადიოაქტიური ნივთიერება ფიზიკური ნახევარდაშლის პერიოდის მეშვეობით გარკვეული დროის შემდეგ პრაქტიკულად უვნებელი ხდება. მაგრამ ამ მეთოდის გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ ისეთი წყლის მიმართ, რომელიც შეიცავს ხანმოკლე ნახევარდაშლის პერიოდის მქონე იზოტოპებს (მაგალითად,  $^{24}\text{Na}$ ,  $T = 15$  საათი,  $^{32}\text{P}$ ,  $T = 14$  დღე,  $^{198}\text{Au}$ ,  $T = 3$  დღე,  $^{131}\text{I}$ ,  $T = 8$  დღე და ა. შ.).

ნახმარ წყალს აყოვნებენ სპეციალურ კონტეინერებში, რეზერვუარებში. აუზებში და სხვ. პრაქტიკულად უვნებლად შეიძლება მივიჩნიოთ 10 ნახევარდაშლის პერიოდის განმავლობაში დაყოვნებული ასეთი იზოტოპი.

თუ წყალი შეიცავს ხანგრძლივი ნახევარდაშლის პერიოდის მქონე იზოტოპებს, მაშინ საჭიროა ამ იზოტოპების გადაყვანა მცირე მოცულობაში, მაგალითად, აორთქლების გზით ან, თუ შესაძლებელია, უნდა მოხდეს რადიოაქტიური ნაერთების გამოყოფა წყლიდან. ამ მიზნის მისაღწევად ყველაზე იოლი გზაა წყლის კოაგულაცია შემდგომი ფილტრაციით. ნახმარი წყალი, რადიოაქტიური ნივთიერებების გარდა, ყოველთვის შეიცავს მინარევს სხვადასხვა ორგანული და პრაორგანული ბუნებისას. კოაგულაციის დროს წარმოქმნილი ფიფქები თან წარიტაცებს წყალში შეწონილ მსხვილ ნაწილაკებს, რადიოაქტიურ მინარევებს და დაილექება (სურ. 43). დალექვის შემდეგ წყალს ფილტრავენ ქვიშაან ფილტრებზე. კოაგულანტად შეიძლება ალუმინის სულფატის, რკინის ან ალუმინის ჰიდროქსიდის, კირიანი ფოსფატების და სხვათა გამოყენება. ყველაზე კარგ შედეგს იძლევა ნახმარი წყლის დამუშავება ფოსფატით მთრამლავი მკვავასა და კირის დამატებით. ასეთ შემთხვევებში ალფა-გამომსხივებელი წყალს დაახლოებით 99%-ით სცილდება, ბეტა-გამომსხივებელი კი—87%-ით. რადიოაქტიური სტრონციუმისა და ცეზიუმის დასაღებად კარგ შედეგს იძლევა ნატრიუმის სულფატის ხმარება. მიღებულია, რომ კოაგულაციისა და ქვიშის ფილტრებზე შემდგომი ფილტრაციით გაწმენდა ხდება საშუალოდ 70—80%-ით. აღსანიშნავია, რომ რადგან ქვიშას შეხების შედარებით მცირე ზედაპირი აქვს, მისი ეფექტურობა შედარებით სწრაფად კლებულობს.

არსებობს ნახმარი წყლის დეზაქტივაციის თანდალექვის მეთოდიც. მას ძირითადად იყენებენ ხსნარიდან სტრონციუმ — 90-ის გამოსაღებად (წყლის სიხისტის შერბილება. სოდის ხსნარით და  $^{90}\text{Sr}$ -ის თანადა-

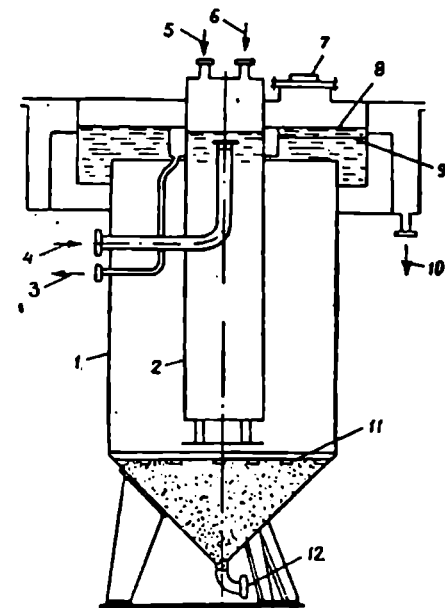
ლექვა კალციუმთან ერთად ხსნარში კირის ჩამატებით). ასეთი დამუშავებით წყლიდან გამოილექება სტრონციუმის 90%-ზე მეტი.

ნახმარი წყლის გაუვნებლების მაღალი ეფექტურობა ახასიათებს იონგამცვლელ ფილტრებზე გაფილტვრას. ამ მიზნით იყენებენ სინთე-

ზურ ორგანულ ფისებს, რომლებიც შეიძლება იყოს კათიონიტები ან ანიონიტები. ანიონიტებს მიეკუთვნება: ელე-10, AB-16, ამბერლიტი, 1 RA-400, 1RA-410 და სხვ., კათიონიტებს — Ky-2, CBC, KB-4 დაუკს-50, ამბერლიტი 1 R-100 და სხვ. ანიონიტის ან კათიონიტის გამოყენება შეიძლება ცალ-ცალკე ან შესაძლებელია ორივე იყოს ფილტრის შედგენილობაში.

კათიონიტი შედგება მრავალრიცხოვანი წყალბადის დისოცირებული კატიონისა და მყავას მაღალმოლეკულური უხსნადი ანიონისაგან. თუ ასეთ ფილტრზე გავატარებთ რადიაქტიური ნაერთების შემცველ ხსნარს, რომელშიც რადიაქტიური ელემენტი კატიონის სახითაა, იგი შეჩერდება ფილტრზე და ხსნარში გადავა წყალბადის იონები.

ანიონიტი შედგება მსუბუქი, მოძრავი ანიონისაგან, რომელსაც ცვლის დიდი უნარი აქვს — ჰიდროქსიდის



სურ. 43. დამლქეების სქემატური გამოსახულება:

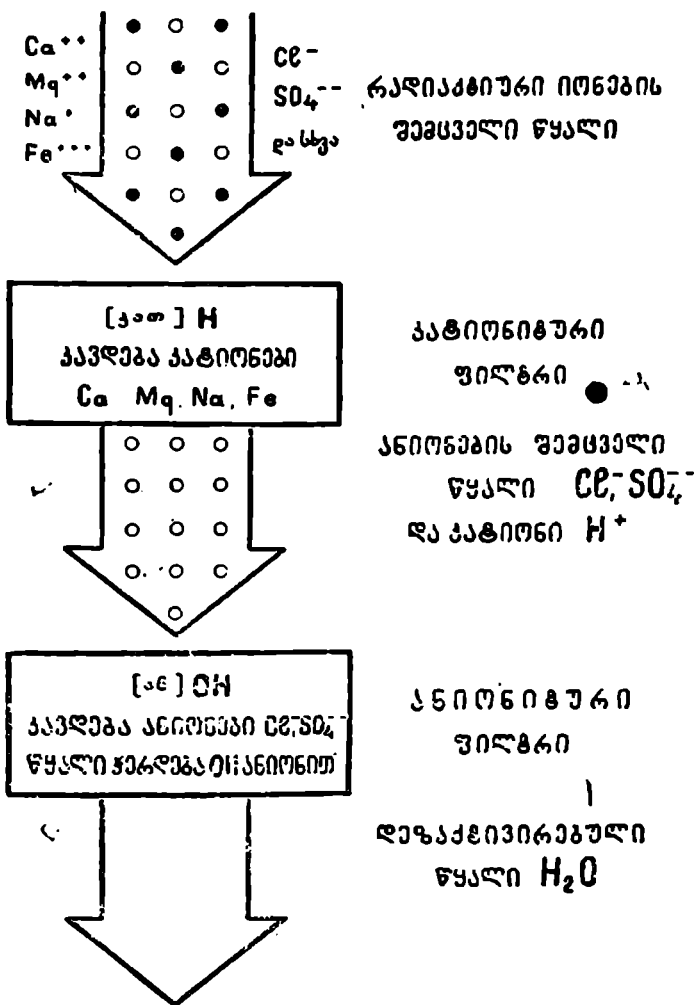
- 1 — კორპუსი, 2 — ცენტრალური მილი, 3 — ცხიმის გამოსაყვანი, 4 — ნახმარი წყლის შესაყვანი მილი, 5 — საპაერო, 6 — რეაგენტების შესაყვანი, 7 — სახურავი, 8 — ცხიმის დონე, 9 — წყლის დონე, 10 — გასუფთავებული ნახმარი წყლის გამოსასვლელი, 11 — ნალექის დონე, 12 — ნალექის გამოშტანი მილი.

ჯგუფი — და ფუძის მაღალმოლეკულური, უხსნადი კატიონისაგან. ასეთ ფილტრზე გატარებული ხსნარი, რომელიც შეიცავს რადიაქტიურ ელემენტებს, ანიონის შედგენილობაში თავისუფლდება რადიაქტიური ანიონისაგან, ეს უკანასკნელი ჩერდება ფილტრზე, ხოლო ხსნარში გადადის ჰიდროქსიდის ჯგუფი (სურ. 44).

თუ ცნობილი არის ხსნარში შემავალი რადიაქტიური ელემენტი



რა სახითაა წარმოდგენილი — ანიონის თუ კატიონის, ან ხსნარი შეიცავს რადიკატიურ ელემენტებს როგორც კატიონის (მაგალითად,  $2 \cdot \text{Na Cl}$ ), ასევე ანიონის (მაგალითად,  $\text{Na}_2\text{H}^{32}\text{PO}_4$ ) სახით, მაშინ გა-



სურ. 44. იონური ცვლის მეთოდით წყლის დეჰაქცივირების სქემა.

მოიყენება როგორც კატიონიტის, ასევე ანიონიტის შემცველი ფილტრი. იონგამცვლელი ფილტრების დეჰაქცივირების კოეფიციენტია  $10^5$ .

იონგამცვლელ ფილტრებზე მიმდინარე პროცესი არ არის რადიექტიური ელემენტებისათვის სპეციფიკური. იონგამცვლელ ფილტრებზე ილექება აგრეთვე სტაბილური იზოტოპი, ამიტომ მათი მუშაობის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია ნახმარ წყალში არსებულ ქიმიურ მინარევებზე. მუშაობის ეფექტურობას განსაკუთრებით აქვეითებს ხსნარში არსებული ცხიმები, ზეთები, საპონი და სხვა, რომლებიც შედიან იონიტის ფორებში, პოხავენ მას, ამცირებენ შეხების ზედაპირს და ხელს უშლიან იონგამცვლელი პროცესის შესრულებას. ამიტომ ნახმარი წყალი ჯერ უნდა გაასუფთაონ ამ მინარევებისაგან და შემდეგ შეიძლება დეზაქტივაციის ჩატარება იონგამცვლელ ფილტრებზე.

გარკვეული რაოდენობით იონგამცვლელი ფილტრები ხსნარების გატარების შემდეგ ვეღარ ასრულებს თავის დანიშნულებას გაჯერების გამო, ამიტომ საჭიროა მათი რეგენერაცია მჟავებსა ან ტუტეებში გარეცხვით იმისდა მიხედვით, თუ რომელი ფილტრია — კატიონიტი თუ ანიონიტი. გარეცხვის შედეგად იონიტზე არსებული მთელი რადიექტივობა გადადის რეგენერაციულ ხსნარში. საბოლოოდ საჭიროა ამ ხსნარის ჩაფლობა მიწაში. თუ ხსნარის რაოდენობა დიდია, წინასწარ ახდენენ მის აორთქლებას, რითაც ამცირებენ მოცულობას. რეგენერირებული ხსნარის, ანუ რეგენერატის კონცენტრირების მიზნით სხვა მეთოდსაც მიმართავენ, მაგალითად, კირით დამუშავებას. წარმოიქმნება კალციუმის კარბონატის ნალექი, რომელთან ერთად ილექება რადიექტიური ნივთიერებები, კერძოდ, რადიექტიური კატიონები. შეიძლება აგრეთვე სორბენტის, მაგალითად, გააქტივებული ნახშირის, მანგანუმის ორჟანგის, ალუმინის ქანგის გამოყენება. ასეთ შემთხვევაში გამოილექება ანიონები. მიღებულ ნალექებს მიწაში ჩაფლობენ.

ნახმარი წყლის გაუვნებლობის ერთ-ერთი მეთოდია ელექტროლიზური მეთოდი, რომელსაც თუმცა მაღალი ეფექტურობა ახასიათებს, მაგრამ ჯერ კიდევ არ არის ფართოდ გამოყენებული ტექნოლოგიური პროცესის სიძვირის გამო. ეს მეთოდი დამყარებულია ხსნარში ელექტროდენის გატარებაზე, რის შედეგადაც წარმოქმნილი უარყოფითი და დადებითი იონები შემდგომში გამოილექება ნახევრად გამტარ ფილტრებზე. ამ მეთოდის ეფექტურობა 100%-ს აღწევს. მისი დადებითი მხარეა ის, რომ რადიექტიური ნალექი მცირე მოცულობის სახით მიიღება, რაც აადვილებს მის შემდგომ ჩაფლობას.

არსებობს ნახმარი წყლის დეზაქტივაციის დესტილაციის მეთოდი, რომელიც შედარებით ადვილად შესასრულებელია. აორთქლების შედეგად რადიექტივობა მცირე მოცულობით რჩება. ზოგ შემთხვევაში დესტილაცია განმეორებით ტარდება, სანამ მოცულობა ძალიან არ შემცირდება. თუ ნახმარი წყალი შეიცავს აქროლად რადიექტიურ

იზოტოპებს (მაგალითად,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{32}\text{P}$ ), მაშინ დესტილაციის პროცესში ჩართული უნდა იყოს მათი დამკერი ფილტრები. გაუფნებლების ამ მეთოდის ნაკლია მისი სიძვირე.

ზოგ შემთხვევაში ნახმარი წყლის დეზაქტივაციის მიზნით იყენებენ ბიოლოგიურ მეთოდებს, — აეროტენკებსა და ბიოფილტრებს. ასეთ დანადგარებში არაბიოგენური რადიაქტიური ელემენტებისაგან გაწმენდა ხდება აღსორბციული პროცესის ხარჯზე. ხოლო თუ ნახმარი წყალი ბიოგენურ ელემენტებს შეიცავს, მაგალითად,  $^{32}\text{P}$ -ს, მაშინ, გარდა აღსორბციისა, აღინიშნება ბიოფილტრში შემავალი ცოცხალი ორგანიზმების მიერ ამ ელემენტების ასიმილაცია. აეროტენკებსა და ბიოფილტრებზე დეზაქტივაციის ეფექტურობა 70—80%-ია, მაგრამ თუ ნახმარი წყალი შეიცავს სარეცხ ნაერთებს, მაშინ ბიოლოგიური დეზაქტივაცია სრულიად არაეფექტურია.

როგორც აღნიშნული იყო, აქტიური კონცენტრაციები, რომლებიც ნახმარი წყლის გაუფნებლების შედეგად მიიღება, უნდა ჩაფლან მიწაში, რომ არ მოხდეს ნიადაგში მათი რაიმე მიზნით გაბნევა. უკანასკნელ ხანს შემოღებულია ამ კონცენტრაციების მყარ, ფიქსირებულ მდგომარეობაში გადაყვანა. ამ მიზნით მათ გადააქცევენ კერამიკულ, შუშისმაგვარ ან ცემენტის მასალ და ასე ჩაფლავენ, რათა აიცილონ რადიაქტიური ნივთიერებათა მიგრაცია გარემოში.

ნახმარი წყლის ჩაშვება შეიძლება მხოლოდ და მხოლოდ გამდინარე წყალში — მდინარეებში (რასაკვირველია, სათანადო კონცენტრაციით). გაუმდინარე წყალსატევებსა და წყალსაცავებში (მაგალითად, ტბები) ხანგრძლივი ნახევარდაშლის პერიოდის იზოტოპების შემცველი წყლის ჩაშვება არ შეიძლება, თუნდაც რადიაქტიური ნივთიერებების კონცენტრაცია დასაშვები იყოს, რადგან ასეთი წყლის სისტემატური ჩაშვება გამოიწვევს წყალში რადიაქტივობის კონცენტრაციის ზრდას და ჰიდრობიონტებში რადიაქტიური ნივთიერებების დეპონირებას.

ნახმარი წყლის გაუფნებლებისა და კონცენტრაციების მიწაში ჩაფლობის ზემოაღწერილი მეთოდების გარდა, არსებობს მათი ნიადაგში გაშვების მეთოდიც (მიგდებული მალარობები, ქები და სხვ.), რომელიც ფართოდ ვერ გავრცელდა, ვინაიდან, ჯერ ერთი, ამ მიწისქვეშა რეზერვუარების მოცულობა არ არის საკმაო ყველა ნახმარი წყლის ჩაშვებად, მეორეც, არსებობს ნიადაგქვეშა წყლის დაბინძურების საშიშროება.

ზემოაღწერილი მეთოდებიდან დღეისათვის პრაქტიკაში ყველაზე ფართოდაა გამოყენებული ნახმარი წყლის გაწმენდა კოაგულაციით შემდგომი გაფილტვრით ქვიშიან ფილტრებზე და იონგამცვლელ ფილტრებზე გატარება.

ფილტვების გზით მოხვედრილ რადიოაქტიურ ნივთიერებებს განსაკუთრებული ტოქსიკურობა ახასიათებს. ამიტომ ჰაერში გაშვებული აეროზოლები ძალიან უმნიშვნელო კონცენტრაციით უნდა შეიცავდეს რადიოაქტიურ ნივთიერებებს.

ჰაერის გაწმენდა რადიოაქტიური მინარევებისაგან რთული პრობლემაა. ეს სირთულე, პირველ ყოვლისა, დაკავშირებულია რადიოაქტიური ნაწილაკების წვრილდისპერსიულობასთან. ცნობილია, რომ რაც უფრო დიდია შეწონილი ნაწილაკები, მით უფრო ადვილია მათი გამოლექვა სხვადასხვაგვარი მექანიკური დანადგარების მეშვეობით. რადიოაქტიური ნაწილაკების დისპერსიულობა კი ცვალებადობს 0,05—20 მიკრონის ფარგლებში. ჰაერის გაწმენდის მეორე სირთულეა ის, რომ დანადგარები, რომლებსაც იყენებენ აეროზოლების გაწმენდის მიზნით, თვით ხდებიან რადიოაქტიური გამოსხივების საკმაოდ მაღალი აქტივობის წყარო.

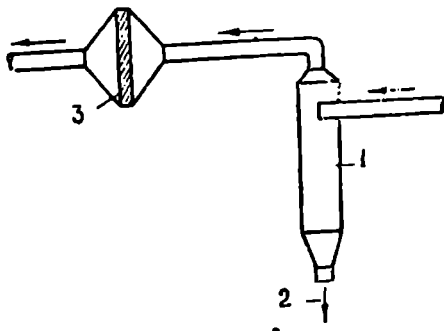
რადიოაეროზოლებისა და ჰაერის რადიოაქტიური აირის გაწმენდის რამდენიმე საშუალება არსებობს. ეს არის ინერციული კოლექტორების გამოყენება, სხვადასხვაგვარი კონსტრუქციის დამკერების ხმარება და დაყოვნების მეთოდი. ყველა ეს მეთოდი ვარგისია აეროზოლების გასაწმენდად, რადიოაქტიური აირის გაუფნებლებისათვის კი ძირითადად ხმარობენ უკანასკნელ მეთოდს — დაყოვნებას სპეციალურ გაზგოლდერებში, აგრეთვე, გააქტივებული ნახშირის ფილტრებს — აღსორბერებს.

ინერციული კოლექტორების მუშაობის პრინციპი დამყარებულია აეროზოლის სისწრაფის შენელებაზე, რის გამოც სიმძიმის ძალის მეშვეობით ხდება ჰაერში შეწონილი ნაწილაკების დალექვა. ამ კოლექტორების მუშაობის ეფექტურობა ძალიან დაბალია. შედარებით უკეთეს შედეგს იძლევა ციკლონ-სეპარატორები (სურ. 45) და მულტიციკლონები. მაგრამ ისინი ეფექტური არიან ძირითადად მსხვილდისპერსიული — 6—10 მიკრონის სიდიდის ნაწილაკების დალექვისათვის. რაც შეეხება წვრილდისპერსიულ ნაწილაკებს, ისინი აირს გამოყვებიან. ასეთი დანადგარების მუშაობის ეფექტურობა არ აღემატება 41—73%-ს, ამიტომ ამ მეთოდებს ძირითადად იყენებენ, როგორც აეროზოლების დეზაქტივაციის წინასწარ მეთოდებს.

გარდა მშრალი დამკერებისა, არის სველი ინერციული დამკერებიც, ე. წ. სკრუბერები (სურ. 46), რომელთა მუშაობის პრინციპი დამყარებულია მცირე ზომის მყარი ნაწილაკების წყლის წვეთის ზედაპირზე განლაგების უნარზე. გამოყენებულია სხვადასხვა ტიპის სკრუბერები, რომელთა ეფექტურობა ზოგ შემთხვევაში 90—98%-ს

აღწევს, თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ 1 მიკრონზე მცირე ნაწილაკების დაჭერის ეფექტურობა მაინც დაბალია.

სკრუბერების გამოყენება რეკომენდებულია ისეთ საწარმოებში, სადაც აეროზოლების გამოყოფა არ ხდება დიდი რაოდენობით და დისპერსიულობის ხარისხი არ არის ძალიან მცირე.

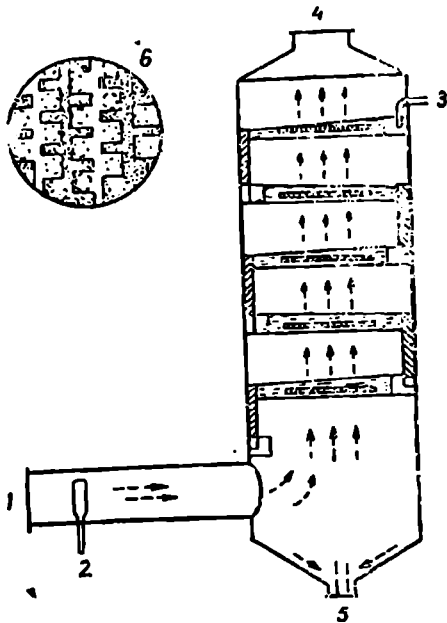


სურ. 45. ციკლონ-სეპარატორი, რომელიც იცავს ძირითად ფილტრს: 1—ციკლონ-სეპარატორი, 2—მსხვილი რადიაქტიული ნაწილაკების მოსაშორებელი მილი, 3—ძირითადი ფილტრი, რომელიც იჭერს მცირე ზომის (1 მიკრონზე ნაკლები) რადიაქტიურ ნაწილაკებს.

დამჭერი ფილტრების მუშაობის პრინციპი დამყარებულია ან აირში შეწონილი ნაწილაკების მოცულობის გაზრდის გზით მათი სიმძიმის ძალის გაზრდაზე, რაც გრავიტაციული ძალების მოქმედების შედეგად იწვევს ამ ნაწილაკების დაღევეას; ან ამ შეწონილი ნაწილაკების რაიმე ზედაპირზე დაჭახების შედეგად მის დაღევეაზე. ნაწილაკების სიდიდის გაზრდა შეიძლება მათზე წყლის ორთქლის კონდენსაციით (ე. წ. ორთქლის ინჟექცია, მაღალი ტემპერატურისა და ტენიანობის აირის სწრაფი გაცივება ან აირის ადიაბატური გაგანიერება) ან ნაწილაკების აგლომერაციის გზით (მაგალითად, ბგერითი აგლომერაცია). ამ ფილტრების მეშვეობით შესაძლებელია 1 მიკრონზე მცირე ზომის ნაწილაკების სიდიდის 5 მიკრონამდე მიყვანა, რის გამოც მათი შემდგომი დაღევეა შედარებით უფრო ადვილია. ვთქვათ, იგივე სკრუბერების გამოყენებით. ამიტომ აეროზოლების გაწმენდის ამ მეთოდებს იყენებენ სკრუბერებთან ერთად, ან როგორც წინასწარ გამწმენდ მეთოდს ჰაერის სკრუბერში შემდგომი გატარებით, ან პირიქით, სკრუბერში ჰაერის წინასწარი გაწმენდის შემდეგ დამჭერ ფილტრში გატარებით.

რადიაქტიური მტკრის დაჭერის ყველაზე მაღალი ეფექტურობა ახასიათებს ელექტროფილტრებს, რომელთა მუშაობის პრინციპი დამ-

ყარებულია მტერის ნაწილაკების დამუხტვაზე, დამუხტული ნაწილაკების ელექტრულ ველში გატარებაზე, რომლის დროს ეს ნაწილაკები ელექტრონიტრალური ხდებიან და გამოილექებიან. ელექტროფილ-



სურ. 46. ხუთსაფეხურიანი პერფორირებული სკრუბერი, რომელშიც დამონტაჟებულია ორთქლის ინექტორი:

1 — დამტვირთიანი ჰაერის შეშება, 2 — ინექტორი, 3 — ცივი წყლის შეშვები, 4 — სუფთა ჰაერის გამოშვები, 5 — წყლის გამოშვები, 6 — პერფორირებული ფირფიტა ამსხლეტებით.

არსებობს ფილტრის რამდენიმე სახე.

მ რ ა ვ ა ლ ჩ ა რ ჩ ო ი ა ნ ი ფ ი ლ ტ რ ე ბ ი დამზადებულია რომელიმე ბოქოვანი ქსოვილისაგან (მაგალითად, ქალაღი), ახასიათებს წერილდისპერსიული მტერის (0,8—0,08 მიკრონი). დაჭერის მაღალი ეფექტურობა — 95—99,98%. მისი ნაკლია ის, რომ იგი ტენიანობისა და შაკროზირებელი აირის მოქმედებით იშლება. მუშაობის ხანგრძლივობა ამ ფილტრებს დიდი არა აქვს. გამოყენებულ ფილტრებს მიწაში ჩაფლობენ.

ტრების მუშაობა გაანგარიშებულია გარკვეულ პირობებზე. გასაწმენდ ჰაერს უნდა ახასიათებდეს სათანადო ტემპერატურა, მტერის ნაწილაკების სიდიდე და ტიპი (იგულისხმება მტერის ნაწილაკების ელექტრული წინააღმდეგობა). თუ ეს გარკვეული პირობები იცვლება, მაშინ ელექტროფილტრის ეფექტურობა ქვეითდება, ამიტომ ელექტროფილტრის გამოყენება შეიძლება იმ შემთხვევაში, თუ მისი მუშაობისათვის გაანგარიშებული ყველა პირობა უცვლელია.

რადიაქტიური აეროზოლების გაწმენდის ერთ-ერთი საუკეთესო მეთოდია მტვერდამქერი ფილტრების გამოყენება (სურ. 47.) ფილტრებს აქვს მცირე ზომის ფორები, რომლებშიც მტერის ნაწილაკები ჩერდებიან.

მსხვილფენიანი ფილტრები დამზადებულია სხვადასხვაგვარი ფოროვანი და ბოქოვანი მასალისაგან (დაფხვნილი ქვა, ქვიშა, კოქსი და სხვ.). მისი მუშაობის ხანგრძლივობა უფრო მეტია, ვიდრე ქალაღის ან ქსოვილის ფილტრისა. უძლებს ტენიანობას და მაკროზირებელი აირების მოქმედებას. გაწმენდის ეფექტურობა 98—99%-ია.

პაკოვანი ფილტრები. გამოყენებულია მცირე რადიქტივობის, მაგრამ მაღალი კონცენტრაციის მტერის შემცველი აირების გასაწმენდად. მათი ეფექტურობა უფრო ნაკლებია, ვიდრე ზემოჩამოთვლილი ფილტრებისა.

აქტიური აეროზოლების დამკერი ძლიერი ეფექტური ფილტრებია ФПП, ФПА ფილტრები. ისინი აკავებენ 0,08 მკ ზომის ნაწილაკებს. რადიქტიური აეროზოლების გაწმენდის ხარისხი 99,9%-ს აღწევს. ფილტრის მუშაობის ხანგრძლივობა იზომება მის მიერ ჰაერის გაწმენდის უნარის დაქვეითებით. როცა სამუშაო ადგილზე ჰაერში აქტივობა იზრდება, ეს ნიშნავს, რომ ფილტრმა დაკარგა დამკერუნარიანობა.

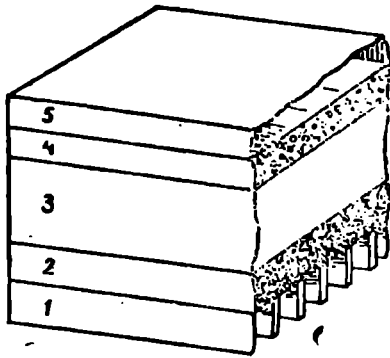
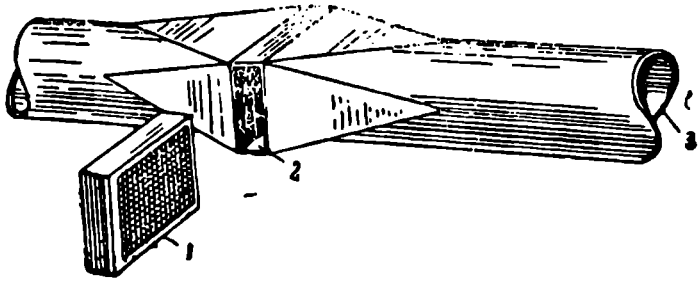
ინერტული აირები ფილტრზე არ ჩერდება. ამიტომ მათი გაშვება ატმოსფერულ ჰაერში უნდა ხდებოდეს მაღალი მილის საშუალებით, იმ ანგარიშით, რომ მათი განზავება ატმოსფერულ ჰაერთან რადიქტივობას დაიყვანს დასაშვები ღონების ფარგლებამდე.

რადიქტიური, კერძოდ კი ინერტული აირების აქტივობის შესამცირებლად. ძირითადად იყენებენ გაზგოლდერებს, განსაკუთრებით ისეთებისათვის, რომელთა ნახევარდაშლის პერიოდი მოკლეა. გაზგოლდერებში რადიქტიური აირი ყოვნდება ათჯერადი ნახევარდაშლის პერიოდის განმავლობაში და შემდეგ უშვებენ ატმოსფერულ ჰაერში. კარგ შედეგს იძლევა აგრეთვე გააქტივებული ნახშირის ფილტრის გამოყენება დაბალი ტემპერატურის პირობებში.

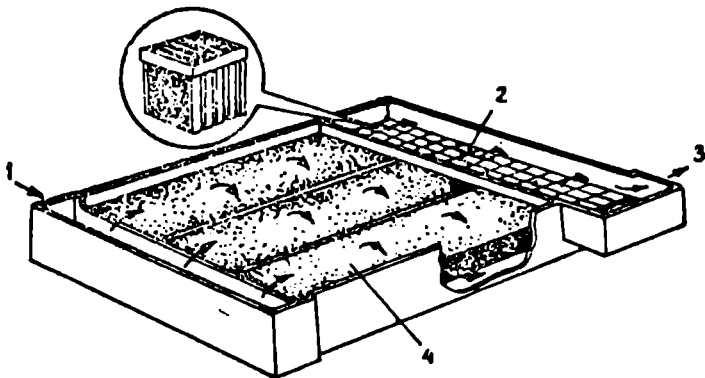
გაზგოლდერების გამოყენება შესაძლებელია აგრეთვე წვრილდის-პერსიული აეროზოლის გასაუვნებლადაც, თუ მისი აქტივობის შემცირება არ ხერხდება არც ერთი ზემოაღწერილი მეთოდით.

ისეთი აქროლადი ელემენტები, როგორცაა იოდი და ფოსფორი, კარგად კავდება გააქტივებული ნახშირის მეშვეობით.

ატმოსფერული ჰაერის რადიქტიური გაბინძურებისაგან დაცვის ერთ-ერთი საშუალებაა აგრეთვე უკვე გაწმენდილი ჰაერის გაყვანა ატმოსფეროში მაღალი მილების საშუალებით, რითაც კონცენტრაციის მეტი განზავებისა და დედამიწასთან ახლომდებარე ჰაერის ფენებში მათი ნაკლები მოხვედრის შესაძლებლობა იქმნება. მილების დადგმის დროს საჭიროა გაბატონებული ქარების მიმართულების გათვალისწინება.



სურ. 47. მტვერდამკერი ფილტრები.  
 ა — უბრალო, ბ — მსხვილფენოვანი: 1 —  
 გამანაწილებელი, 2 — საძირკველი, 3 —  
 ფილტრაციული ფენა, 4 — დამაფიქსირე-  
 ბელი ფენა, 5 — თავისუფალი სივრცე,  
 გ — ჰაერის გასაწმენდი ფილტრი: 1 — შე-  
 სასვლელი, 2 — საბოლოო გაწმენდის  
 ფილტრი (შედგება სხვადასხვა მარკის  
 ქსოვილებისაგან — „B“, „AA“). 3 — გა-  
 მოსასვლელი, 4 — წინასწარი გაწმენდის  
 ფილტრი (შედგება 115 K მარკის ქსოვი-  
 ლისაგან).





რადიაქტიური ნივთიერებებით რაც შეიძლება მკირე ტერიტორიის დაბინძურების მიზნით ქალაქის ან მთელი ოლქისათვის აწყობენ ნარჩენების სამარხს, სადაც რადიაქტიური ნარჩენების ტრანსპორტირება და ჩაფლობა ხდება ცენტრალიზებული წესით. ამ პროცესის ცენტრალიზება ხელს უწყობს აგრეთვე მომსახურე პერსონალის ნაკლები რიცხვის დასახიებებას მაიონიზებული რადიაციით. საერთო წესიდან შეიძლება გაკეთდეს გამონაკლისი ისეთი საწარმოებისათვის, რომლებსაც დიდძალი რადიაქტიური გადანაყრები უგროვდებათ. ასეთ საწარმოებს დასაშვებია მისცენ თავის ტერიტორიაზე სამარხის მოწყობის უფლება.

სამარხისათვის გამოყოფილი ტერიტორია ქალაქიდან დაშორებული უნდა იყოს 20 კმ-ით. სასურველია ეს ადგილი ტყეში იყოს. მისი სანიტარიული დაცვის ზონა უნდა შეადგენდეს 1000 მეტრს. ნიადაგის შერჩევის დროს გასათვალისწინებელია მისი ტოპოგრაფიული მდებარეობა. იგი არ უნდა მდებარეობდეს ახლოს ღია წყალსატევებთან, მათ შორის მანძილი 500 მეტრზე ნაკლები არ უნდა იყოს. ადგილმდებარეობა არ უნდა იყოს დასერილი ხეებით. აგრეთვე მხედველობაში მისაღებია ქარის მიმართულება სამარხისა და დასახლებულ ადგილებს ან საძოვრებს შორის. ნიადაგი უნდა იყოს თიხიანი ან სხვა წყალგაუმტარი ქანებისაგან შედგენილი, ნიადაგქვეშა წყალი ღრმად გადიოდეს, სამარხის ადგილმდებარეობის გეოლოგიურ და ჰიდროგეოლოგიურ შეფასებას უნდა მიექცეს სათანადო ყურადღება. ყველა ზემოაღნიშნული პირობა მიზნად ისახავს რადიაქტიური ნივთიერების მიგრაციის არა შეზღუდვას, არამედ სრულ შეწყვეტას.

სამარხის ფართობის დაგეგმარების დროს მხედველობაში უნდა იყოს მიღებული არა მარტო არსებული მოთხოვნები, არამედ მომავლის პერსპექტივებიც, რის გამოც სამარხი პრაქტიკულად მუდმივი უნდა იყოს.

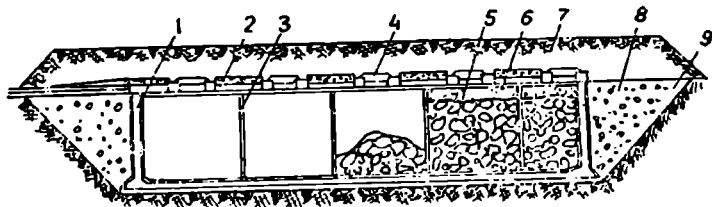
სამარხის ტერიტორია შემოფარგლული და დაცული უნდა იყოს. შესასვლელში ჰკიდებენ რადიაციული საშიშროების ნიშანს (სურ.42).

მისასვლელი გზები და თვით სამარხის ტერიტორიის გზები უნდა იყოს კეთილმოწყობილი და დეზაქტივაციის ჩატარების გასაადვილებლად მოასფალტებული, სათანადო დაქანებით ნარეცხი წყლის მოსაგროვებლად.

სამარხის ტერიტორიაზე არ შეიძლება არავითარი სასოფლო-სამეურნეო კულტურების გაშენება, ცხოველების გაშენება, საცხოვრებელი ბინების მშენებლობა.

სამარხის ტერიტორია გაყოფილი უნდა იყოს ორ ზონად — სუფთა და ჭუჭყიან ზონებად. სუფთა ზონაში განლაგებულია ნაგებობები.

რომლებიც უშუალოდ არ არიან დაკავშირებული რადიაქტიური ნივთიერების მიღებასა და დამარხვასთან: დოზიმეტრიული პუნქტი, მომსახურე პერსონალის ადგილსამყოფელი, ღებჯექტივირებული მანქანის გარეუი, საქვაბე, სანგამტარი და სხვ. ქუჭყიანი ზონა გაყოფილია ორ ნაწილად. ერთ ნაწილში მოთავსებულია თვით სამარხი, აგრეთვე საკრემაციო ღუმელი. საკრემაციო ღუმელს სამარხის ტერიტორიაზე აშენებენ ისეთ შემთხვევებში, როცა დიდი რაოდენობითაა რადიაქტიუ-



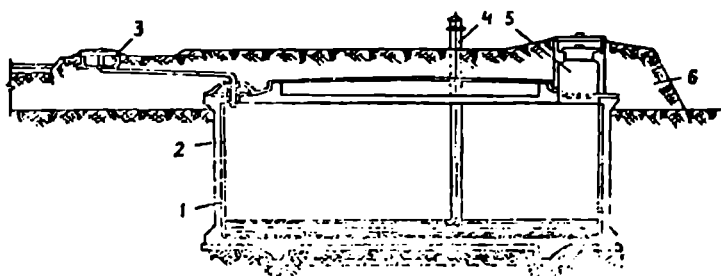
სურ. 48. მყარი რადიაქტიური ნარჩენების სამარხი:

- 1 — რკინაბეტონის კარკასი, 2 — გადახურვა, 3 — ხის ტიხარი, 4 — სახურავი, 5 — მყარი ნარჩენები; 6 — ბეტონის სისქე, 7 — ზედა გადახურვა (მიწის ნაყარი) 8 — გრუნტი, 9 — სამარხის საზღვარი.

რად დაბინძურებული საექსპერიმენტო ცხოველების გვამები ან დაბინძურებული ქაღალდი და სხვა ისეთი ნივთები, რომლებიც ადვილად იწვის. საკრემაციო ღუმლის არსებობისას მხედველობაში მისაღებია, რომ დაწვის შედეგად წარმოქმნილი აირების კონცენტრაცია არ აღემატებოდეს ზღვრულად დასაშვებს. გარდა ამისა, ღუმლის ავსება და ნაცრის გატანა უნდა ხდებოდეს მექანიზებულად, რომ არ მოხდეს მომსახურე პერსონალის დასხივება ზედმეტი დოზებით. ქუჭყიანი ზონის მეორე ნაწილში გამოყოფილია ადგილები მანქანების მისაღებად, კონტეინერებისა და მანქანების ღებჯექტივაციისათვის. მათი ღებჯექტივაციის შედეგად მიღებული ქუჭყიანი წყალი გროვდება სპეციალურ მიმღებებში, რომლებსაც მიწაში ფლობენ. სანგამტარიდან მიღებული წყალი იწმინდება ჩვეულებრივი მეთოდებით.

სამარხი აუცილებლად უნდა იყოს მიწისქვეშ (სურ. 48, 49, 50). თითოეული სამარხის სიდიდე ისე უნდა იყოს გაანგარიშებული, რომ ის სულ მცირე 10 წლის განმავლობაში მაინც ფუნქციონირებდეს. სამარხის კედლები და ფსკერი სპეციალური კონსტრუქციისაა, რომელიც არ უშვებს რადიაქტიური ნივთიერების მიგრაციას ნიადაგში, ნიადაგქვეშა წყალში, ხოლო რომ არ მოხდეს ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება ან ატმოსფერული ნალექების ჩასვლა, აგრეთვე მომსახურე პერსონალის დასხივება დიდი დოზებით სამარხის ტერიტორიაზე მიმდინარე საბუშაოების პროცესში საჭიროა გადახურვა ბეტონის

ფილით ან მიწის ნაყარით. ამასთანავე, გადახურვის სისქე ისე უნდა იყოს გამოანგარიშებული, რომ მისგან 1 მეტრის დაშორებით დასხივების ღრვა არ აღემატებოდეს 28 მრბეს/საათში.

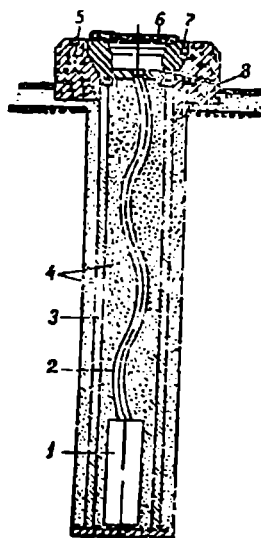


სურ. 49. თხევადი რადიაქტიური გადანაყრების სამარხი:

1 — უქანგავი ფოლადის მოპირკეთება, 2 — რკინაბეტონის რეზერვუარი, 3 — თხევადი გადანაყრების ჩასასხმელი ძაბრი, 4 — სითხის ღრის მარჯვენა ტივტივა, 5 — სამონტაჟო კრიკა, 6 — მიწაყრილი.

თხევადი რადიაქტიური ნივთიერებანი ჩაფლობის წინ გადაკეფთ მყარ აგრეგატულ მდგომარეობაში, რათა აიცილონ მათი მიგრაცია ნიადაგში.

სამარხის ტერიტორიაზე სისტემატურად მიმდინარეობს ატმოსფერული ჰაერის, ნიადაგისა და ნიადაგქვეშა წყლის კონტროლი რადიაქტიურ სისუფთავეზე. ამ მუშაობას ასრულებენ ქალაქის ან რესპუბლიკის სანეპიდსადგურები. რადიაქტიური გადანაყრების სამარხზე მუშაობა უთანაბრდება 1 კლასის სამუშაოებს.



სურ. 50. ვადაგასული რადიაქტიურ მუშაობების სამარხი:

1 — რეზერვუარი, 2 — დაკლანკილი მილი, 3 — რკინაბეტონის მილი, 4 — დატყეპილი ქვიშა, 5 — ბეტონის საფუძველი, 6 — სახურავი, 7 — თუჯის ბუდე, 8 — კონდენსატის გადმოსაღერელი მილი.

## შინაარსი

<b>რადიაციული ჰიგიენა- ჰიგიენური მეცნიერების ახალი დარგი</b>	<b>3</b>
<b>პირთული ფიზიკის საფუძვლები</b>	<b>11</b>
ბირთული გარდაქმნის სხვა სახეები	21
ნახეარდაშლის პერიოდი	23
რენტგენის სხივები	27
რადიოაქტიური გამოსხივების ნივთიერებასთან ურთიერთქმედება	28
შეფარდებითი ბიოლოგიური ეფექტურობის კოეფიციენტი	37
<b>მაიონიზებული გამოსხივების გამოვლინებისა და აღნუსხვის საშუა- ლებები.</b>	<b>41</b>
ცნება „სიხისტით სელის“ შესახებ	46
მაიონიზებული გამოსხივების აღნუსხვის სცინტილაციური მეთოდი	46
ქიმიური დოზიმეტრია	47
ფორტოგრაფიული მეთოდი	48
კალორიმეტრიული მეთოდი	49
<b>მაიონიზებული გამოსხივების ბიოლოგიური მოქმედების ძირითადი კა- ნონზომიერებანი, როგორც რადიაციული ჰიგიენის საფუძვლები.</b>	<b>49</b>
მაიონიზებული გამოსხივების ბიოლოგიურ სუბსტრატზე მოქმე- დების თავისებურებანი	50
უჯრედთა, ქსოვილთა და ორგანიზმთა რადიომგრძნობელობა	53
დასხივების დოზის, დროის ფაქტორის, დოზის სიმძლავრისა და დასხივებული უბნის გავლენა მაიონიზებელი გამოსხივების ბიო- ლოგიურ რეაქციაზე.	61
შეფარდებითი ბიოლოგიური ეფექტურობა.	65
ბიოლოგიური ეფექტის დამოკიდებულება გამოსხივების შეღწევა- დობის უნარზე. გარეგანი და შინაგანი დასხივება	67
მაიონიზებული გამოსხივების მოქმედების ლატენტური პერიოდი და კუმულაციური მოქმედება. ადაპტაცია.	69
<b>სხივური დაზიანების შექანიზმები</b>	<b>71</b>
საფიზიკური თეორია, ანუ მგრძნობიარე მოკულობათა თეორია	71
მაიონიზებული გამოსხივების პირდაპირი მოქმედების თეორია	73
მაიონიზებული რადიაციის არაპირდაპირი მოქმედება	75
ტოქსიკური მოქმედების თეორია	76
<b>სხივური დაზიანების გენეტიკური თეორია</b>	<b>76</b>
სტრუქტურულ-შეტაბოლური თეორია	80
სტოქასტური თეორია	80
მაიონიზებული გამოსხივების ბიოლოგიური მოქმედების მექანიზმი	81
მაიონიზებული გამოსხივების გენეტიკური და სომატური მოქ- მედება	87
ემბრიონსა და ნაყოფზე გავლენა, ტერატოგენული მოქმედება	89
სხივური კანცეროგენეზი	91
<b>მაიონიზებული გამოსხივების მოქმედების შემსუსტებლები (ქიმიური რადიოპროტექტორები)</b>	<b>92</b>

მაიონიზებული გამოსხივების მოქმედების გამაძლიერებლები, ანუ რადიონახიზების ბიოლოგია	95
კომპენსაციური და აღდგენითი პროცესები რადიაციული დაზიანების პირობებში	96
სხივური დაზიანებანი	97
სხივური დაავადება	97
რადიქტიური ნივთიერებების ინკორპორირებით გამოწვეული სხივური დაავადება	108
ქრონიკული სხივური დაავადება	112
სხივური დაავადების მკურნალობის პრინციპები	116
მწვავე სხივური დაავადების მკურნალობა	116
ქრონიკული სხივური დაავადების მკურნალობა	118
სხივური რეაქცია	120
რადიაციის ბუნებრივი ფონი	123
ბუნებრივი რადიაციული ფონის კომპონენტები	124
ბუნებრივი რადიაციული ფონის მნიშვნელობა	142
ბუნებრივი რადიაციული ფონის ზრდის ხელოვნური წყაროები	145
მაიონიზებული გამოსხივების მანე მოქმედებისაგან აღმზიანის დაცვის პრობლემა	146
ზღვრულად დასაშვები დოზების პრობლემა, მისი ჰიგიენური დასაბუთება	151
დასხივების ზღვრულად დასაშვები დოზების დიფერენციალური მოსახლეობის სხვადასხვა ჯგუფის მიხედვით	156
ბერსონალის ავიარიული დასხივება	162
პერსონალის, წყალსა და საკვებ პროდუქტებში რადიქტიურ ნივთიერებათა ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციის ნორმირების ჰიგიენური დასაბუთება	165
რადიქტიურ ელემენტთა რადიოტოქსიკურობის ჯგუფები	166
შენიშვნის, ტრანსპორტისა და სხეულის ღია ნაწილების დაზიანების დასაშვები დოზები	167
რადიქტიურ იზოტოპებთან და მაიონიზებული გამოსხივების წყაროებთან მუშაობის დროს უსაფრთხოების დაცვის პრინციპები და მეთოდები	167
მედიცინაში სმარებული რადიქტიური იზოტოპები და მათი გამოყენების პრინციპები	172
მედიცინაში გამოყენებული ხელოვნური რადიქტიური ელემენტები	175
1. შინაგანი დასხივების მიზნით გამოყენებული ხელოვნური რადიქტიური ელემენტები	175
ნიშანდებული ნაერთები	177
2. გარეგანი დასხივების მიზნით გამოყენებული ხელოვნური რადიქტიური ელემენტები	178
მედიცინაში გამოყენებული ბუნებრივი რადიქტიური ელემენტები	179
სხივური მკურნალობის მეთოდები	181
დისტანციური, ანუ ტელე-რენტგენო, და გამათერაბი; თერაპია მაღალენერგიული გამოსხივებით.	184
დახურული რადიქტიური წყაროებით სხივური თერაპიის დრუს-შიგა, ქსოვილშიგა და ალიკაციური მეთოდები	185
ღია რადიქტიური წყაროების გამოყენება	188

დაცვითი ხასიათის ღონისძიებები დახურულ წყაროებთან მუშაობის დროს	190
დაცვითი ხასიათის ღონისძიებები ღია გამომსხივებელ წყაროებთან მუშაობის დროს	195
რადიაქტიურ ნივთიერებებზე მუშაობის კლასები	196
ღია რადიაქტიური იზოტოპების გამოყენებულ დაწესებულებათა დაგეგმარების ჰიგიენური პრინციპები, მოწყობილობა, ვენტილაცია, გათბობა, წყალმომარაგება და კანალიზაცია	196
ინდივიდუალური დაცვითი საშუალებანი	206
პირადი ჰიგიენის საკითხები	211
სანიტარული დამუშავების მეთოდები ;	211
დეზაქტივაცია, მისი არსი და ჩვენებები	213
ხელებისა და სხეულის ღია ნაწილების დეზაქტივაცია; ინკორპორირებული რადიაქტიური ელემენტების დეზაქტივაცია	215
ინდივიდუალური დაცვითი საშუალებების დეზაქტივაცია; სამარეცხაობები	217
შენობების, სამუშაო ადგილების, ხელსაწყობის დეზაქტივაცია	218
რადიაქტიული უშიშროების საკითხები ავარიული შემთხვევის დროს	220
დაცვის ქიმიური, ბიოლოგიური და სხვა სახეობანი	220
ხანტიარიულ-დოზიმეტრიული კონტროლი, მისი მიზნები და ამოცანები	224
სამედიცინო კონტროლი	230
დაცვისა და გამოსხივების დონის მათემატიკური გაანგარიშების მეთოდები	232
რენტგენორადიოლოგიური სამედიცინო პროცედურების უსაფრთხოება. პაციენტის დაცვა	241
შრომის ჰიგიენა სამედიცინო პრაქტიკაში მაიონიზებული გამოსხივების გამოყენების დროს. პერსონალის დაცვა	250
პაციენტის უსაფრთხოება და შრომის ჰიგიენის საკითხები რადონოთერაპიული პროცედურების დროს ;	254
შრომის ჰიგიენა გამა-დეფექტოსკოპიის დროს	256
შრომის ჰიგიენის საკითხები ატომურ ელემენტოსადგურებში	257
რადიაქტიური დაბინძურებისაგან გარემოს დაცვის პრობლემა	259
გარე სამყაროს რადიაქტიური დაბინძურების ჰიგიენური შეფასება	259
გარე სამყაროს რადიაქტიური დაბინძურების წყაროების დახასიათება	261
ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება რადიაქტიური ნივთიერებებით	265
ღია და ნიადაგქვეშა წყალსატევების დაბინძურება რადიაქტიური ნივთიერებებით	269
რადიაქტიური იზოტოპების მიგრაცია ნიადაგქვეშა წყალში	276
ნიადაგის დაბინძურება რადიაქტიური ნივთიერებით	278
რადიაქტიური ნივთიერებების მიგრაცია მცენარეულ და ცხოველურ სამყაროში	282
რადიაქტიური ელემენტების მოხვედრა ცხოველებში	286
ხელოვნური რადიაქტიური იზოტოპების შემცველობა ადამიანის ორგანიზმში და მათ მიერ შექმნილი დასხივების დონები	287
გარე სამყაროს ობიექტების სანიტარულ-დოზიმეტრიული კონტროლი	293
რადიაქტიური დაბინძურებისაგან გარე სამყაროს დაცვითი ღონისძიებები	295
სანიტარული დაცვითი ზონები	296

რადიაქტივობის შემცველი ნახშირი წყლის, მყარი ნოეთიერებებისა და აირების გაუვნებლობა საკანონმდებლო ღონისძიებების გატარების გზით	297
რადიაქტიური ნარჩენების გაუვნებლების, ანუ დეზაქტივაციის მეთოდები	298
მყარი რადიაქტიური ნარჩენების გაუვნებლება და მიწაში ჩაფლობა	300
ნახშირი წყლის გაუვნებლების ძირითადი მეთოდები და მათი ჰიგიენური დახასიათება	302
ატმოსფერული ჰერის დაცვა რადიაქტიური აირებითა და აეროზოლებით დაბინძურებისაგან.	308
რადიაქტიური ნარჩენების სამარხი	313



**Гелашвили Клара Дмитриевна**  
**РАДИАЦИОННАЯ ГИГИЕНА**  
(На грузинском языке)

ИБ № 1675

რედაქტორი ც. შინდაგორიძე  
მხატვრული რედაქტორი ე. ქიშმარაია  
ტექნიკური რედაქტორი რ. გოგოშვილი  
უფრ. კორექტორი ე. ბაბალაშვილი  
კორექტორი ც. ნოზაძე  
გამომშვები ლ. დავითური

გადაეცა წარმოებას 18.03.82. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 16.11.83. ქალაქის ზომა 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. საბეჭდი ქაღალდი № 2. ნაბეჭდი თაბახი 20. სააღრიცხვო-საგამომცემლო თაბახი 18,27.

უე 00479. ტირაჟი 3.000. შეკვეთა № 3651.

ფასი 95 კაპ.

გამომცემლობა „განათლება“, თბილისი, ორჯონიკიძის ქ. № 50.  
Издательство «Ганатлеба», Тбилиси, ул. Орджоникидзе, 50.  
1983

საქართველოს სსრ გამომცემლობათა, პოლიგრაფიისა და წიგნით ვაჭრობის საქმეთა სახელმწიფო კომიტეტის თბილისის ო. ქავეკეაძის სახ. წიგნის ფაბრიკა, შეგობრობის გამზირი № 7.

Тбилисская книжная фабрика им. И. Чавчавадзе Государственного комитета Грузинской ССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, пр. Дружбы № 7.