

**ატომური ენერგეტიკის განვითარებასთან დაკავშირებული საქართველოს შავიზღვისპირა
ზონის რადიოეკოლოგიური დაბინძურების საფრთხეები**

***უჩანეიშვილი ს., *ივანიშვილი ნ., **სალუქვაძე ე., ***ტულაშვილი ე., *კალმახელიძე ს.,
*გოგებაშვილი მ.**

**ივანე ბერიტაშვილის სახელობის ექსპერიმენტული ბიომედიცინის ცენტრი, თბილისი, საქართველო
**ვახუშტი ბაგრატიონის გეოგრაფიის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო
***ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო
sofiauchaneishvili@gmail.com*

ანოტაცია. შავი ზღვის აუზის ქვეყნებში, ატომური ენერგეტიკის განვითარებასთან დაკავშირებით, აქტუალური ხდება შესაძლო ტექნოგენური ავარიების დროს რადიოეკოლოგიური რისკების შესწავლა. ნაშრომში განხილულია საქართველოს შავი ზღვის სანაპირო ზონის რადიონუკლიდებით დაბინძურების პროგნოზირების რამდენიმე სცენარი. ჩერნობილისა და ფუკუშიმას ატომურ სადგურებზე მომხდარი ინციდენტებზე დაყრდნობით, შესწავლილია ეკოსისტემებში ანთროპოგენური რადიონუკლიდების მიგრაციისა და აკუმულაციის ზოგიერთი პარამეტრი კონკრეტული ლანდშაფტისთვის დამახასიათებელი ნიადაგის ტიპის გათვალისწინებით.

საკვანძო სიტყვები: რადიონუკლიდური დაბინძურება, ნიადაგი, რადიოეკოლოგიური რისკები

ჩერნობილისა და ფუკუშიმას ატომურ ელექტროსადგურებზე მომხდარი ავარიების მიუხედავად, ატომური ენერგეტიკა აქტიურად ვითარდება მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში. ფორმირდება მთელი რიგი რეგიონებისა, სადაც აღნიშნული ფენომენი მნიშვნელოვან ინტერნაციონალურ ხასიათს იძენს [1,2]. ასეთ რეგიონთა რიცხვს მიეკუთვნებიან შავიზღვისპირა ქვეყნები; კერძოდ, თურქეთში რუსულ-თურქული პროექტის მშენებლობის დამთავრებისა და ქალაქ სინოპში ახალი ატომური ელექტროსადგურის (4 ენერგობლოკი-თითოეულის სიმძლავრე 1140 მეგავატს შეადგენს) პროექტირების შედეგად იქმნება სიტუაცია, რომ შავი ზღვის სანაპიროს ყველა ქვეყანა, გარდა საქართველოსი, აქტიური ბირთვული ენერგეტიკის მქონე ქვეყნად მოიაზრება. ამასთან დაკავშირებით, აქტუალური ხდება საქართველოს შავიზღვისპირა ზონის რადიონუკლიდებით შესაძლო დაბინძურების შესწავლა და პროგნოზირება. აღნიშნულთან მიმართებაში, მეცნიერებს გააჩნიათ ორი გლობალური კატასტროფის გამოცდილება: ფუკუშიმას ავარიის დროს ოკეანის აკვატორიის წყლის დაბინძურების მოდელი და ჩერნობილის ავარიისას სახმელეთო ეკოსისტემების დაბინძურების მაგალითი [3,4].

ჩერნობილის ავარიის შედეგების ანალიზის საფუძველზე ჩამოყალიბდა ახალი კონცეპტუალური მიდგომები, რომელთა მიხედვით დადგენილი იქნა, საჭირო გზით რადიონუკლიდების დიდ მანძილზე გავრცელების გამო, საქართველოს შავი ზღვის სანაპიროს სახმელეთო ეკოსისტემების მაღალი დაბინძურების დონე. იმისათვის, რომ სამომავლოდ განისაზღვროს, თუ რამდენად დიდ საფრთხეს წარმოადგენს ატმოსფერული გზით გადატანილი რადიონუკლიდების მოხვედრა სანაპიროს ტერიტორიაზე, ჩვენ მიერ შესწავლილი იყო სამარკერო ანთროპოგენური რადიონუკლიდების-¹³⁷Cs და ⁹⁰Sr-ეკოსისტემებში აკუმულაციისა და მიგრაციის ზოგიერთი პარამეტრი კონკრეტული ლანდშაფტისთვის დამახასიათებელი ნიადაგის ტიპის გათვალისწინებით. ამა თუ იმ ეკოსისტემის რადიონუკლიდებით შესაძლო დაბინძურების პროგნოზის მოდელის დამუშავებისას, დიდი მნიშვნელობა ენიჭება რადიონუკლიდების არსებობის მდგომარეობისა და ფორმის შესწავლას, რაც განსაზღვრავს მათ პირველად ურთიერთქმედებას ნიადაგურ-მცენარულ საფართან.

ატმოსფეროდან დალექილი რადიონუკლიდების მიგრაცია ნიადაგურ-მცენარულ საფარში და მათი

მონაწილეობა ნივთიერებათა წრებრუნვის ბიოგეოქიმიურ ციკლში დამოკიდებულია კონკრეტულ ლანდშაფტურ პირობებზე. ამ თვალსაზრისით განსაკუთრებულ ადგილს იკავებს გავრცელების საწყისი სუბსტრატი-ნიადაგი. როგორც ცნობილია, ბიოგეოცენოზური სისტემების რთულ ჯაჭვში ნიადაგი წარმოადგენს მნიშვნელოვან რგოლს, რომელშიც ერთვება ხმელეთზე გაფრქვეული ტოქსიკური კომპონენტები. რადიონუკლიდებთან მიმართებაში ნიადაგის მაღალი სორბციისუნარიანობა იწვევს აღნიშნული ტოქსიკური ნივთიერებების აკუმულაციას ნიადაგის ზედა ჰორიზონტებში.

ნაჩვენებია, რომ ნიადაგის ყველა ის ფიზიკო-ქიმიური მაჩვენებელი, რომელიც განაპირობებს ნიადაგის მიერ რადიონუკლიდების სორბციის უნარიანობის გაზრდას, ამცირებს მათ შეღწევას მცენარეში. ნიადაგის მახასიათებელთა უმრავლესობა მჭიდრო კავშირშია ერთმანეთთან, ამიტომ თითოეული პარამეტრის მოქმედების ხარისხი დამოკიდებულია მთელი კომპლექსის ქმედებაზე. მცენარეში ცეზიუმის იზოტოპის შეღწევაზე არსებით გავლენას ახდენს კალიუმის კათიონებისა (K^+) და ჰუმუსის შემცველობა, რაც განსაზღვრავს ნიადაგის მჟავიანობას. დადგენილია მცენარეში ^{137}Cs -ს გადასვლის კოეფიციენტსა და ნიადაგში მიმოცვლითი კალიუმის (K_2O) შემცველობას შორის უარყოფითი დამოკიდებულება. კალიუმი კონკურენტულ გავლენას ახდენს ცეზიუმის იზოტოპის შეღწევაზე, ანუ რაც უფრო მეტია მიმოცვლითი კალიუმი ნიადაგში, მით ნაკლებია ^{137}Cs -ს შეღწევის ალბათობა მცენარეში.

აღნიშნული ეფექტი გასაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს საქართველოს შავიზღვისპირა ლანდშაფტებთან მიმართებაში, ვინაიდან ამ ზონის ნიადაგები ხასიათდებიან კალიუმის შემცველობის შედარებით დაბალი დონით. მეორე მხრივ, ასეთ ნიადაგებში რადიონუკლიდური დაბინძურების ფორმირების სირთულე გამოიხატება ორგანული კომპონენტების მაღალი შემცველობით, კერძოდ, მცენარეში ცეზიუმისა და სტრონციუმის იზოტოპების გადასვლაზე გავლენას ახდენენ ჰუმუსის მჟავები, განსაკუთრებით ჰუმინის მჟავა. ისინი რთულ კომპლექსებს, ანუ ჰუმატებს ქმნიან რადიონუკლიდებთან, ამიტომ ორგანული კომპლექსებიდან სტრონციუმის შეღწევა 2-4-ჯერ მცირდება, ხოლო ცეზიუმის-1,5-ჯერ.

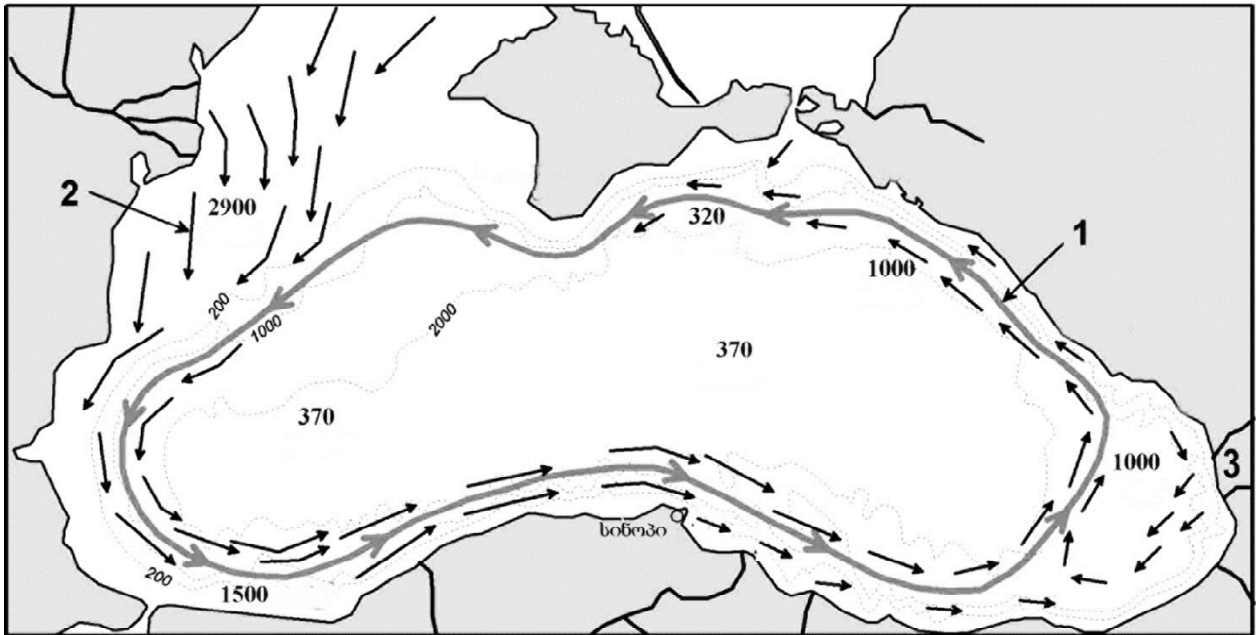
თუმცა კოლხეთისთვის დამახასიათებელ ტორფიან-ჭაობიან ნიადაგებზე რადიონუკლიდების მაღალი ბიოლოგიური შეღწევადობა უკავშირდება ორგანული ნივთიერებების მიერ, ორგანული კოლოიდების ზედაპირზე, რადიონუკლიდების იონების დაფიქსირების უნარს, რის გამოც არ არის უზრუნველყოფილი რადიონუკლიდების მჭიდრო სორბცია და იზრდება მათი შეღწევადობა მცენარეში. გარდა აღნიშნულისა, ტორფიან-ჭაობიან ნიადაგებში მომატებულია მჟავიანობა, რაც უზრუნველყოფს რადიონუკლიდების მარილების კარგ ხსნადობას და შეღწევას მცენარეში. თუ გავითვალისწინებთ, რომ სანაპირო ზონაში ძირითადად გავრცელებულია წითელმიწა, ყვითელმიწა და ჭაობიანი ნიადაგები, იქმნება რადიონუკლიდების დაგროვების მაღალი საფრთხეების სიტუაცია როგორც ნიადაგის შრეებში ხანგრძლივი ფიქსაციის ფორმით, ისე აქტიური ტრანსპორტის სახით სისტემაში ნიადაგი-მცენარე. უკანასკნელი განსაკუთრებულ საფრთხეს უქმნის სანაპირო ზონის სოფლის მეურნეობას.

ცხრილი 1. საქართველოს შავი ზღვის სანაპირო ზონისთვის დამახასიათებელი ნიადაგების მიერ რადიონუკლიდების შთანთქმის დონე (% საკონტროლო ხსნართან მიმართებაში)

ნიადაგის ტიპი	რადიონუკლიდი	
	ცეზიუმ-137	სტრონციუმ-90
წითელმიწა	95,6	87,6
ყვითელმიწა	94,0	80,5
ჭაობიანი	94,9	70,3

არანაკლებ მნიშვნელოვან დაბინძურების წყაროს წარმოადგენენ შავი ზღვის რეგიონის ქვეყნების ბირთვულ ობიექტებზე შესაძლო ტექნიკური ზემოქმედებით გამოწვეული ავარიები. ტექნოგენურ მიზეზებს ემატება სამხედრო კონფლიქტებთან დაკავშირებული ავარიების მაღალი რისკები; ასე მაგალითად, ზაპოროჟიეს (ევროპაში ყველაზე მსხვილი ატომური ელექტროსადგური) განვითარებული მოვლენები არ გამორიცხავენ შავი ზღვის რეგიონის რადიონუკლიდებით დაბინძურების საფრთხეებს. ამ

თვალსაზრისით, მოსალოდნელია წყლის ეკოსისტემების მეშვეობით რადიოიზოტოპების მოხვედრა შავი ზღვის აუზში. მსხვილი მდინარეების ჩადინების გზით, ზღვაში შემოტანილი რადიონუკლიდების დიდი ნაწილი ერთვება დინებაში, რომელიც მიმდინარეობს საათის ისრის მოძრაობის საპირისპირო მიმართულებით შავი ზღვის პერიმეტრის გასწვრივ და გადაიტანება მნიშვნელოვან მანძილზე (სურათი-1).



სურ. 1. შავი ზღვის აკვატორიაში რადიონუკლიდების მიგრაციის მიმართულება (ჩერნობილის ატომური სადგურის ავარიის მოდელის მიხედვით).

1. შავი ზღვის დინების ძირითადი მიმართულება; 2. რადიონუკლიდური ნაწილაკების მიგრაციის მიმართულება; 3. საქართველოს შავიზღვისპირა ზონა (ციფრული მონაცემებით ასახულია ჩერნობილის ავარიის დროს წარმოქმნილი დაბინძურებული ნალექის აქტივობა-ბეკერელი/მ²)

მოძრაობისას რადიონუკლიდები ილექება ფსკერზე და ფორმირდება დაბინძურებული ნალექი, რომელიც საფრთხეს უქმნის სანაპირო ზონას [5]. ასეთი დალექვის დრო და ადგილი იცვლება სანაპირო ზოლის რელიეფისა და წყლის დინების სპეციფიკასთან მიმართებაში.

ზემოაღნიშნული ფაქტორებიდან გამომდინარე, ცნობილია 3 ძირითადი სიტუაცია: ა) ძალიან ძლიერი ჩადინების წყარო (მდინარეები-დუნაი, დნეპრი) ან კონტინენტალურ ფერდობებთან ახლოს მდებარეობა (კავკასიის რეგიონის მდინარეები), რომლებიც საგრძნობლად აბინძურებენ სანაპირო ზოლს; ბ) რადიონუკლიდებით დამაბინძურებელი წყაროს უშუალოდ სანაპირო ზოლში მოხვედრა; გ) რადიონუკლიდების ნაწილაკების ატმოსფეროდან ზღვაში მოხვედრა.

ჩერნობილის კატასტროფის მოდელის მიხედვით, შავი ზღვის აკვატორიაში რადიონუკლიდების მიგრაციის ძირითადი ნაკადი სცდება საქართველოს შავიზღვისპირა ზონას (სურ.1). განსხვავებული სურათია ქალაქ სინოპში დაპროექტებულ ატომურ ელექტროსადგურთან მიმართებაში. თუ გავითვალისწინებთ სინოპში დაგეგმილი ატომური სადგურის ადგილმდებარეობას, რადიონუკლიდებით წყლის დაბინძურების შემთხვევაში, მათი (რადიონუკლიდების) მიგრაციის მიმართულება საფრთხეს უქმნის საქართველოს შავი ზღვის სანაპირო ზოლს. იქმნება სიტუაცია, რომ საქართველოს სანაპირო ზოლი შეიძლება იქცეს რადიონუკლიდებით მაღალი დაბინძურების ზონად, ვინაიდან შავი ზღვის ძირითადი დინებისგან განსხვავებით, სანაპირო ზოლის მეორადი დინებით რადიონუკლიდების მიგრაციას ემატება, კავკასიის რეგიონის მდინარეების ჩადინების გამო, ამ მდინარეებში ატმოსფერული გზით მოხვედრილი რადიოიზოტოპების წყლის მეშვეობით გადაადგილება.

ლიტერატურა

- [1] Langlois L. IAEA Action Plan on nuclear safety. // Energy Strategy Reviews, 2013.
- [2] Gasca R. Quality assurance during design, construction and operation of nuclear power plants. // Infrastructure and Methodologies for the Justification of Nuclear Power Programmes, 2012.
- [3] Benamrane Y., Wybo J.-L., Armand P. Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: what has changed in the use of atmospheric dispersion modeling?. // Journal of Environmental Radioactivity, 2013.
- [4] Waddington P., Thomas J., Vaughan G. J. J-value assessment of remediation measures following the Chernobyl and Fukushima Daiichi nuclear power plant accidents. // Process Safety and Environmental Protection. 2017.
- [5] Есин Н.В., Крыленко В.В. Процессы транспорта и аккумуляции антропогенных радионуклидов в Черном море. // Экология гидросферы, №1 (2), 2018.

DANGERS OF RADIOECOLOGICAL POLLUTION OF THE BLACK SEA COAST OF GEORGIA RELATED TO THE DEVELOPMENT OF ATOMIC ENERGY

*Uchaneishvili S., *Ivanishvili N., **Salukvadze E., ***Tulashvili E., *Kalmaxelidze S., *Gogebashvili M.

** Ivane Beritashvili Center of Experimental Biomedicine, Tbilisi, Georgia*

***Vakhushti Bagrationi Institute of Geography of Ivane Javakishvili Tbilisi State University Tbilisi, Georgia*

****Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
sofiauchaneishvili@gmail.com*

Abstract. The relevance of studying radioecological risks in relation to potential man-made incidents has increased in light of the expansion of nuclear energy in the countries located within the Black Sea basin. This study investigates potential situations pertaining to radionuclide pollution along the coastal regions of Georgia's Black Sea. This analysis examines the mechanisms contributing to the mobility and accumulation of anthropogenic radionuclides in ecosystems, drawing insights from the incidents at the Chernobyl and Fukushima nuclear power plants.

Key words: radionuclide contamination, soil, radioecological risks