

ნატალია გარუჩავა, თინათინ გაბრიჭიძე, დავით გელოვანი
**გლობალური დათბობის და ყინულის დნობის როლი ინფექციური დაავადებების
 ხელახალ გავრცელებაში (მიმოხილვითი სტატია)**

თსუ ეპიდემიოლოგიისა და ბიოსტატისტიკის დეპარტამენტი

Doi: <https://doi.org/10.52340/jecm.2025.04.26>

NATALIA GARUCHAVA, TINATIN GABRICHIDZE, DAVIT GELOVANI

**THE ROLE OF ICE MELTING IN THE RE-EMERGENCE OF INFECTIOUS DISEASES UNDER
 GLOBAL WARMING (A LITERATURE REVIEW)**

Department of Epidemiology and Biostatistics, Tbilisi State Medical University

SUMMARY

The article discusses the public health risks associated with the melting of permafrost as a result of global warming. Pathogenic microorganisms (bacteria and viruses) have been preserved in ice for thousands of years, and their reactivation is possible as the ice thaws. A notable example of this phenomenon is the 2016 anthrax outbreak in the Yamal Peninsula, which clearly illustrates the resurgence of infection from soil previously trapped under permafrost. The review highlights the viability and infectious potential of giant viruses and spore-forming bacteria. It demonstrates that global warming increases the risk of zoonotic and vector-borne diseases, particularly in climate-vulnerable regions. In conclusion, the article emphasizes the necessity of bio safety, preventive strategies, and the adaptation of healthcare systems in response to these emerging threats.

Keywords: global warming, ice melting, infectious diseases

შესავალი: კლიმატის ცვლილება წარმოადგენს 21-ე საუკუნის ერთ-ერთ უმთავრეს გლობალურ გამოწვევას. გლობალური დათბობის შედეგად მნიშვნელოვნად იკლებს პოლარული და მაღალმთიანი რეგიონების მუდმივი ყინულის საფარი, რაც იწვევს ყინულის ზედაპირული და ქვედა ფენების ბიოლოგიური მასალის დეგრადაციას. ამ პროცესმა ყურადღება მიიპყრო არა მხოლოდ ეკოლოგიური თვალსაზრისით, არამედ საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის მიმართულებითაც – კერძოდ, იმ პათოგენების რეაქტივაციის რისკით, რომლებიც ათასობით წლის განმავლობაში კრიოგენურ გარემოში ინახებოდა [1].

კვლევის მიზანია შეაფასოს ყინულის დნობის პირობებში ინფექციური დაავადებების გავრცელების საფრთხე, განიხილოს უკვე ცნობილი შემთხვევები და გააანალიზოს პათოგენური აგენტების გამოვლენისა და გავრცელების პოტენციური სცენარები.

კვლევის მასალა: მიმოხილვაში წარმოდგენილია უახლესი სამეცნიერო მტკიცებულებები კრიოკონსერვირებული პათოგენების, მათ შორის ჯილეხის, გიგანტური ვირუსების და სხვა აგენტების რეაქტივაციის შესაძლებლობაზე, და განიხილება პოტენციური საფრთხეები საზოგადოებრივი ჯანმრთელობისთვის.

საკუთარი კვლევის შედეგები: გაყინული ნიადაგი ანუ პერმაფროსტი წარმოადგენს კრიოგენურ გარემოს, სადაც ათასობით წლის განმავლობაში ინახებოდა ბაქტერიები, ვირუსები და სხვა მიკროორგანიზმები. მრავალმხრივი კვლევები ადასტურებს, რომ ამ შრეებში შემონახული მიკრობთა ნაწილი სიცოცხლისუნარიანია და გარკვეული პირობების შემთხვევაში კვლავ აქტიურდება. ეს ნიშნავს, რომ პათოგენები, რომლებიც ათასწლეულების განმავლობაში ინახებოდა ყინულში, შესაძლოა კვლავ იქცნენ გადამდებ აგენტებად როგორც ადამიანისთვის, ისე ცხოველებისათვის.

ერთ-ერთი გამორჩეული აღმოჩენა 2014 წელს მოხდა, როდესაც ფრანგმა მეცნიერებმა [1] მოახერხეს *Pithovirus sibericum*-ისა და *Mollivirus sibericum*-ის ლაბორატორიულ პირობებში განახლება, რომლებიც 30 000 წლის წინანდელ ციმბირის ნიადაგში ინახებოდა. ეს ვირუსები

ადამიანისთვის არ არიან პათოგენური, თუმცა მათი მორფოლოგიური და გენეტიკური ანალიზი ცხადყოფს, რომ მსგავსი, მაგრამ პათოგენური ვირუსებიც შეიძლება არსებობდეს მუდმივ გაყინულ ნიადაგში. აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ პათოგენების ხანგრძლივ სიცოცხლისუნარიანობაზე პასუხისმგებელია მათ მიერ ჩამოყალიბებული გამძლე სტრუქტურები – მაგალითად, ბაქტერიებში სპორების ფორმა. ეს განსაკუთრებით ეხება ჯილეხს, რომლის სპორებს შეუძლიათ ათწლეულობით ან საუკუნეებით გაძლონ ექსტრემალურ პირობებში. გარდა ამისა, ზოგიერთ ვირუსს აქვს უნიკალური მემბრანული სტრუქტურა, რომელიც იცავს გენომურ მასალას და საშუალებას აძლევს მათ გაიღვიძონ და განახლდნენ ყინულის დნობასთან ერთად. 2022 წელს გამოქვეყნებულმა კვლევამ (*Nature Communications*) გამოავლინა დნობის შედეგად გათავისუფლებული ვირუსული გენომების მრავალფეროვნება. მკვლევრებმა ასევე დაადგინეს, რომ ზოგიერთი ვირუსი ინარჩუნებს ინფექციურ პოტენციალს ცოცხალი უჯრედების ინფიცირების შესაძლებლობით, რაც ხაზს უსვამს ბიოსაფრთხიანობის მნიშვნელობას მსგავს გარემოში მუშაობისას [2].

გლობალური დათბობის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ეპიზოდად ითვლება 2016 წლის ჯილეხის აფეთქება იამალის ნახევარკუნძულზე (ჩრდილოეთი რუსეთი), რაც მიიჩნევა ყინულის დნობის შედეგად პათოგენების ხელახალი გააქტიურების ერთ-ერთ ყველაზე მკაფიო მტკიცებულებად. შემთხვევამ იმსხვერპლა 12 წლის ბიჭის სიცოცხლე და გამოიწვია მინიმუმ 20 ადამიანის ჰოსპიტალიზაცია. ამასთანავე, დაიღუპა 2 300-ზე მეტი ჩრდილოეთის ირემი. ეპიდემიოლოგიურმა კვლევით დადგინდა, რომ ჯილეხის სპორები, რომლებიც დაახლოებით 75 წლის წინ ინფიცირებული ცხოველის დაღუპვის შემდეგ დარჩენილიყო გაყინულ ნიადაგში, დნობასთან ერთად გააქტიურდა და გავრცელდა ცხოველებში, ხოლო იქიდან ადამიანებზე. ეს შემთხვევა გახდა ბიძგი შორსმდებარე ჰიპოთეზისთვის, რომლის მიხედვითაც მუდმივი გაყინული ნიადაგი წარმოადგენს პათოგენური მიკროორგანიზმების ბუნებრივ რეზერვუარს, რომლის აქტივაციაც შესაძლებელია კლიმატის ცვლილების პირობებში. შესაბამისი გარემო პირობების დროს – მაგალითად, გრუნტის ტემპერატურის 5°C -ზე მეტი მატებისას – სპორები ან ვირუსები ინაქტივირებული მდგომარეობიდან გადადიან აქტიურ ფაზაში. გენომური კვლევებით დადასტურდა, რომ პერფროსტიდან აღდგენილ ვირუსებს და ბაქტერიებს აქვთ სიცოცხლისუნარიანობა და ინფექციურობა. ზოგიერთი მეცნიერი აღნიშნავს, რომ ასეთ გარემოში აღმოჩენილი ზოგიერთი აგენტი (მათ შორის ზოონოზური) შესაძლოა გავლენას ახდენდეს თანამედროვე მიკრობიოტაზე ან თავიანთი გენების რეკომბინაციის გზით მოახდინოს ახალი ვარიანტების წარმოშობა. ეს ნიშნავს, რომ საქმე გვაქვს არა მხოლოდ „უძველესი საფრთხის დაბრუნებასთან“, არამედ ახალ ბიოლოგიურ რეალობასთან, რომელშიც ისტორიულად არააქტიური მიკრობები შესაძლოა დაუპირისპირდნენ თანამედროვე ორგანიზმებს – იმუნური სისტემების ანტიბიოტიკ-რეზისტენტობის გათვალისწინების გარეშე [3].

გარდა ამისა, ზოგიერთი მონაცემი მიუთითებს იმაზე, რომ ზემოარქტიკულ რეგიონებში მობინადრე ხალხები განსაკუთრებულად მონყვლადნი არიან ასეთ ინფექციურ აგენტებზე, რის გამოც საჭიროა ეთნოგრაფიულად მორგებული პრევენციული და საყოველთაო იმუნიზაციის პროგრამების გადახედვა. ამას ემატება არქტიკაში აღმოჩენილი უძველესი ზოონოზური აგენტები, რომლებიც მომავალი თაობების ჯანმრთელობისთვის საფრთხეს წარმოადგენენ.

პათოგენების რეაქტივაციის ფონზე საზოგადოებრივი ჯანდაცვა დგება რამდენიმე სერიოზული გამოწვევის წინაშე. ერთ-ერთი მთავარი საფრთხე უკავშირდება იმუნურად მოუზადებელ მოსახლეობას — ანუ ადამიანებს, რომელთაც არ აქვთ გადატანილი შესაბამისი ინფექციები და არ არიან ვაქცინირებულნი. ამ შემთხვევაში ინფექციის გავრცელების სისწრაფე და მასშტაბი შესაძლოა დრამატულად გაიზარდოს. მნიშვნელოვანია ისიც, რომ გლობალური დათბობის ფონზე იცვლება ინფექციური აგენტების გადამტანი ვექტორების — კოლოების, ტკიპების

და სხვა ფეხსახსრიანების — გავრცელების არეალი. მათთვის აქამდე არასახასიათო ჩრდილოეთის რეგიონებში ახლა უფრო ხელსაყრელი გარემო იქმნება, რაც ზრდის ზოონოზური და ვექტორთან დაკავშირებული ინფექციების რისკს (მაგ. ლაიმის დაავადება, ყირიმ-კონგოს ცხელება). კიდევ ერთი გამოწვევაა კვების ჯაჭვის რღვევა. ინფიცირებული ცხოველებისგან წამოსული პათოგენები შესაძლოა მოხვდეს ადამიანის კვების სისტემაში — განსაკუთრებით ნადირობის ან თევზჭერის გზით. შედეგად, ჩნდება პათოგენის ზოონოზური გადაცემის უფრო მაღალი რისკი. განსაკუთრებულ ყურადღებას მოითხოვს რეგიონები, როგორცაა იაკუტია, იამალი და ჩრდილოეთ კანადა, სადაც რეგისტრირებულია გრუნტის ტემპერატურის მკვეთრი მატება და უკვე დაფიქსირდა გარემოში ცვლილებები, რაც ხელს უწყობს ინფექციური აგენტების გააქტიურებას. მნიშვნელოვანი გამოწვევაა კვლევითი და ტურისტული ექსპედიციები ამ ტერიტორიებზე, რომლებიც პოტენციურად შეხებაში შედიან პათოგენით დაბინძურებულ გარემოსთან. სათანადო პროტოკოლების არარსებობის პირობებში, მათ შეუძლიათ ინფექცია „გადმოიტანონ“ მოსახლეობით დასახლებულ ტერიტორიებზე.

პათოგენების ხელოვნურად განახლებასთან დაკავშირებული კვლევები საჭიროებს მკაცრ ეთიკურ და ბიოუსაფრთხოების რეგულაციებს. განსაკუთრებით გიგანტური ვირუსების განახლება მოითხოვს ბიოუსაფრთხოების IV დონეს. ზოგიერთი მეცნიერი მიიჩნევს, რომ ასეთი ექსპერიმენტები აუცილებელია პანდემიის საწინააღმდეგო თავდაცვისთვის, სხვები კი ხაზს უსვამენ მათი შემთხვევითი გამოღწევის საფრთხეს [6].

ყინულის დნობასთან დაკავშირებული ინფექციური დაავადებების რისკების შესამცირებლად საჭიროა: კლიმატური და მიკრობიოლოგიური მონაცემების ინტეგრაცია; მონიტორინგის გაძლიერება მაღალი რისკის რეგიონებში; ჯანდაცვის სისტემების მზადყოფნის ამაღლება; მკაცრი ბიოუსაფრთხოების სტანდარტების დაცვა სამეცნიერო კვლევებისას.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Legendre, M. et al. (2014). Thirty-thousand-year-old distant relative of giant icosahedral DNA viruses with a pandoravirus morphology. *PNAS*, 111(11), 4274–4279.
2. Claverie, J.M. et al. (2022). Past and present giant viruses diversity explored through permafrost. *Nature Communications*, 13, 5852.
3. Monir-Shahroudi, M. et al. (2022). Permafrost as a potential pathogen reservoir. *One Earth*, 5(3), 314–327.
4. Revich, B., & Podolnaya, M.A. (2011). Thawing of permafrost may disturb historic cattle burial grounds in East Siberia. *Global Health Action*, 4(1), 8482.
5. Timofeev, V. et al. (2021). Insights from Yamal: molecular epidemiology and ecology of anthrax in permafrost regions. *Journal of Applied Microbiology*, 131(3), 1410–1422.
6. Claverie, J.M. & Abergel, C. (2023). Giant viruses from ancient permafrost: The risk re-emerging infections. *mSystems*, 8(1), e00757-22.
7. Carlson, C.J. et al. (2022). Climate change increases cross-species viral transmission risk. *Nature*, 607(7919), 555–62.
8. The Guardian (2024). Arctic zombie viruses in Siberia could spark terrifying new pandemic, scientists warn.
9. Wired (2016). Bacteria, Methane, and Other Dangers Within Siberia's Melting Permafrost.
10. Nature Climate Change (2022). Over half of known human pathogenic diseases can be aggravated by climate change.

ნატალია გარუჩავა, თინათინ გაბრიჭიძე, დავით გელოვანი
**გლობალური დათბობის და ყინულის დნობის როლი ინფექციური დაავადებების ხელახალ
 გავრცელებაში (მიმოხილვითი სტატია)**
 თსსუ ეპიდემიოლოგიისა და ბიოსტატისტიკის დეპარტამენტი

რეზიუმე

სტატია განიხილავს გლობალური დათბობის შედეგად მუდმივი ყინულის დნობით გამოწვეულ რისკებს საზოგადოებრივი ჯანმრთელობისთვის. ყინულში ათასობით წელიწადს ინახება პათოგენური მიკროორგანიზმები (ბაქტერიები, ვირუსები), რომელთა რეაქტივაცია შესაძლებელია დნობასთან ერთად. განხილულია 2016 წლის ანთრაქსის აფეთქება იამალში, როგორც დამდნარი ყინულის ქვეშ არსებული ნიადაგიდან ინფექციის ხელახალი გავრცელების მკაფიო მაგალითი. მიმოხილვა ეფუძნება გიგანტური ვირუსებისა და სპოროვანი ბაქტერიების სიცოცხლისუნარიანობასა და მათ ინფექციურ პოტენციალს. ნაჩვენებია, რომ გლობალური დათბობა ზრდის ზოონოზური და ვექტორული ინფექციების რისკს, განსაკუთრებით კლიმატურად მონყვლად რეგიონებში. დასკვნაში ხაზგასმულია ბიოსაფრთხიანობის, პრევენციისა და ჯანდაცვის სისტემების ადაპტაციის აუცილებლობა.