

მდინარე ჭოროხის ატმოსფერულ ჰაერში ტყვიის შემცველობის სეზონური კვლევა

თამარ ტეტემაძე¹, იზოლდა მაჭუტაძე², ნათელა ტეტემაძე³

¹ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა და ჯანდაცვის ფაკულტეტი, ეკოლოგიის მაგისტრანტი, Tetemadze93@gmail.com, +995 595 024 890; ²ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიტოპათოლოგიის ინსტიტუტის მთავარი მეცნიერთანამშრომელი; ³ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიტოპათოლოგიის ინსტიტუტის მეცნიერთანამშრომელი

აბსტრაქტი

კვლევის მიზანს წარმოადგენდა მდინარე ჭოროხის აუზის ატმოსფერულ ჰაერში ტყვიის (Pb) შემცველობის სეზონური ცვლილების შეფასება და გარემოზე მისი შესაძლო ზემოქმედების განსაზღვრა. მდინარე ჭოროხის აუზი ეკოლოგიურად მნიშვნელოვანი ტრანსსასაზღვრო სისტემაა, სადაც ინტენსიურად მიმდინარეობს სატრანსპორტო, სამრეწველო და სამეურნეო საქმიანობა, რაც მძიმე მეტალებით დაბინძურების რისკს ზრდის. კვლევის ფარგლებში გამოყენებული იქნა სფაგნუმით აქტიური ბიომონიტორინგის მეთოდი, რომელიც ეფუძნება ხავსის უნარს ატმოსფერული ჰაერიდან მძიმე მეტალების აკუმულაციისა. სფაგნუმის ჩანთები განთავსდა 6 საკვლევ ლოკაციაზე. ტყვიის კონცენტრაციის განსაზღვრა განხორციელდა ატომურ ადსორბციული სპექტრომეტრიის (AAS) მეთოდით. მიღებული შედეგების მიხედვით, ტყვიის მაქსიმალური კონცენტრაცია დაფიქსირდა ზამთარში 0,041მგ/კგ, ხოლო მინიმალური შემოდგოაზე - 0,020მგ/კგ. კვლევის შედეგებმა დაადასტურა, რომ ატმოსფერულ ჰაერში ტყვიის შემცველობა სეზონურად იცვლება და მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული, როგორც ანთროპოგენულ, ასევე კლიმატურ ფაქტორებზე. სფაგნუმის ბიომონიტორინგის მეთოდი ეფექტურ საშუალებას წარმოადგენს ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის შეფასებისთვის.

საკვანძო სიტყვები: ტყვია, ატმოსფერული ჰაერი, ბიომონიტორინგი, სფაგნუმი.

მდინარე ჭოროხი წარმოადგენს სამხრეთ დასავლეთ კავკასიის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ტანსასაზღვრო ჰიდრო სისტემას, რომელიც სათავეს იღებს თურქეთის ტერიტორიაზე, ლაზისტანის ქედზე, ზ.დ დაახლოებით 2700 მ სიმაღლეზე და 438 კმ-ის შემდეგ შავ ზღვას უერთდება ქ. ბათუმის სამხრეთით [1]. მდინარის ქვემო 26 კმ საქართველოში ტერიტორიაზე, აჭარის რეგიონში მიედინება. ჭოროხი ხასიათდება მაღალი დინამიკურობით, ღრმა კანონური ხეობებითა და მნიშვნელოვანი ჰიდროენერგეტიკული პოტენციალით. ამავე დროს, იგი წარმოადგენს ეკოლოგიურად სენსიტიურ სისტემას, რადგან მისი აუზი განიცდის ინტენსიურ ანთროპოგენულ ზემოქმედებას, სამთო მოპოვებით, მეტალორგიული და ენერგეტიკული საქმიანობა [1][2].

ატმოსფერულ ჰაერში ტყვიის სეზონური დინამიკის კვლევა მნიშვნელოვან გარემოსდაცვით პრობლემას წარმოადგენს, ვინაიდან ტყვია მიეკუთვნება პირველი ხარისხის ტოქსიკურ მძიმე მეტალს რომელიც ადვილად ერთვება კვებით ჯაჭვში, მნიშვნელოვან საფრთხეს უქმნის ეკოსისტემებსა და ადამიანების ჯამრთელობას [5][6]. ატმოსფეროში ტყვია უმეტესად არ გვხვდება თავისუფალი ფორმით, იგი ადსორბირებულია მყარ აეროზოლ ნაწილაკებზე განსაკუთრებით PM10 და PM2.5 ფრაქციებზე. შესაბამისად მისი კონცენტრაცია მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია სეზონურ მეტეოროლოგიურ პირობებზე, ატმოსფერული ცირკულაციის რეჟიმზე, ქარის მიმართულებაზე, ნალექიანობასა და ტემპერატურულ ინვერსიებზე.

ზამთრის პერიოდში ტყვიის კონცენტრაციის ზრდა ხშირად დაკავშირებულია ენერგეტიკული სექტორის აქტივობასთან - ქვანახშირისა და მაზუტის ინტენსიურ წვასთან, აგრეთვე ატმოსფერული ინვერსიის მოვლენასთან, რომელიც აფერხებს ჰაერის ვერტიკალურ ცირკულაციას და იწვევს დამაბინძურებლების დაგროვებას ქვედა ატმოსფერულ ფენებში [5][6].

ტყვიის ეკოტოქსიკოლოგიური მნიშვნელობა განპირობებულია მისი მაღალი ტოქსიკურობით, ბიოაკუმულაციური და ბიომაგნიფიკაციური უნარით. ადამიანის ორგანიზმში მოხვედრის შემდეგ ტყვია გროვდება ძვლოვან ქსოვილში, ღვიძლში, თირკმლებსა და ცენტრალურ ნერვულ სისტემაში. მისი ქრონიკული ზემოქმედება დაკავშირებულია ნერვული სისტემის დაზიანებასთან, კოგნიტური ფუნქციების დაქვეითებასთან, გულ-სისხლძარღვთა დაავადებებთან, ანემიასთან და ბავშვთა განვითარების შეფერხებასთან. მსოფლიო ჯანდაცვის ორგანიზაციის (WHO) და აშშ-ის დაავადებათა კონტროლის ცენტრის (CDC) თანამედროვე შეფასების მიხედვით, ადამიანისთვის ტყვიის უსაფრთხო კონცენტრაცია პრაქტიკულად არ არსებობს, განსაკუთრებით ბავშვთა ასაკობრივ ჯგუფებში [3][5][6][7].

ჭოროხის აუზში ტექნოლოგიური დაბინძურების მნიშვნელოვან წყაროდ განიხილება თურქეთის ტერიტორიაზე არსებული სამთო-მოპოვებითი ობიექტები და

ჰიდროინჟინრული ინფრასტრუქტურა. ლიტერატურის თანახმად მდინარის წყალსა და ფსკერულ ნალექებში აღინიშნება მძიმე მეტალების, განსაკუთრებით კადმიუმისა და ტყვიის, მაღალი კონცენტრაციები. აღნიშნული მიუთითებს იმაზე, რომ მდინარის აუზში მიმდინარეობს მძიმე მეტალების ხანგრძლივი აკუმულაცია. ფსკერული ნალექები, თავის მხრივ შეიძლება მეორადი დაბინძურების წყაროდ იქცეს, რადგან ჰიდროლოგიური რეჟიმის ცვლილებისას ან ძლიერი ქარის პირობებში შესაძლებელია მათი ხელახალი მობილიზაცია და ატმოსფეროში მტვრის სახით გავრცელება [2].

ბუნებრივი წყაროებიდან მნიშვნელოვანია ქარის მიერი ეროზია, როდესაც ნიადაგისა და ქანების ზედაპირული ფენებიდან მძიმე მეტალების შემცველი ნაწილაკები ატმოსფეროში გადადის. ჭოროხის აუზის რთული რელიეფი, კლიმატური თავისებურებები და ძლიერი ჰიდრომეტეოროლოგიური პროცესები ხელს უწყობს აღნიშნული მექანიზმის ინტენსიფიკაციას. დამატებით ბუნებრივ ფაქტორებს მიეკუთვნება ბიომასის წვა და რეგიონული ტყის ხანძრები, რომელთა დროს მცენარეულ საფარში აკუმულირებული მეტალები ატმოსფეროში გამოიყოფა [8].

კვლევის მიზანი: ჭოროხის აუზის ატმოსფერულ ჰაერში ტყვიის შემცველობის სეზონური ცვლილებების შესწავლა.

კვლევის ამოცანები და მეთოდები:

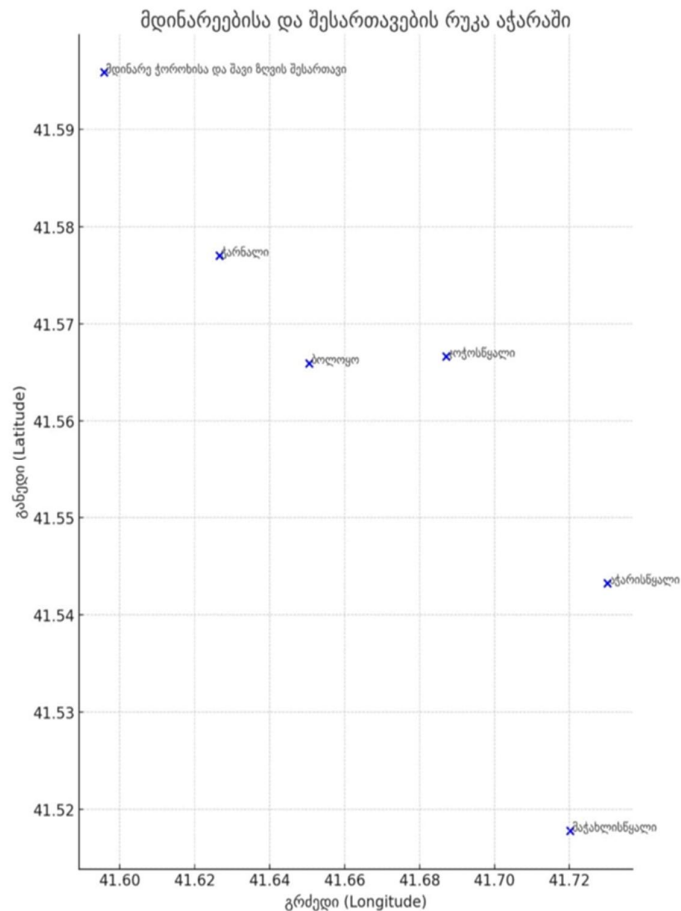
1. სფაგნუმის ჩანთების დამზადება;
2. საკვლევ ტერიტორიაზე განთავსება;
3. ქიმიური ანალიზი;
4. სეზონური მონაცემების შედარება;

სფაგნუმის ბიომონიტორინგის მეთოდი ეფუძნება ხავსის უნარს, ატმოსფერული ჰაერიდან დააგროვოს მძიმე მეტალები, მათ შორის ტყვია. შესაბამისად, სფაგნუმში ტყვიის კონცენტრაციის ზრდა კორელაციაშია ატმოსფერულ ჰაერში ტყვიის შემცველობის ზრდასთან.

ატმოსფერული ჰაერის აქტიური ბიომონიტორინგისათვის საჭირო ხელსაწყო - „სფაგნუმის ჩანთის“ დამზადების მიზნით გამოვიყენეთ თეთრი ხავსის სახეობა: *Sphagnum papillosum*-ი, რომელიც ავიღეთ ქობულეთის დაცული ტერიტორიიდან - ისპანი 2-დან. ველიდან აღებული ხავსი გავათავისუფლეთ სხვა მცენარეული ნარჩენებისგან და მოვათავსეთ წინასწარ დამზადებულ პოლიეთილენის კონვერტში. კონვერტის ზომა 20X20 სმ [10]. სფაგნუმის ჩანთები განთავსდა მდინარე ჭოროხის მიმდებარედ, წინასწარ შერჩეულ წერტილებზე.

კვლევა ჩატარდა 2025 წლის ზაფხული - შემოდგომა და 2026 წლის ზამთარი - გაზაფხულის სეზონზე, შემდეგ საკვლევ წერტილებზე: მდინარე ჭოროხისა და შავი ზღვის შესართავი: 41,59588 41,59580, ჭარნალი: 41,57704 41,62652, ბოლოყო: 41,56594 41,65055, ჯოჭოსწყალი: 41,56667 41,68710, აჭარისწყალი: 41,5432 41,73017, მაჭახლისწყალი: 41,51782 41,72020.

რუკა 1. საკვლევ ლოკაციების გეოგრაფიული განაწილება მდ.ჭოროხის მიმდებარედ.



სფაგნუმის ჩანთები საკვლევ ტერიტორიაზე განთავსდა სეზონურად. თითოეულ სეზონზე სფაგნუმის ჩანთა განლაგებული იყო ორი კვირის განმავლობაში.

სფაგნუმის ჩანთის ქიმიური ანალიზი შესრულდა ატომურ ადსორბციული სპექტრომეტრით (AAS) [11].

ცხრილი 1. საკვლევ წერტილებზე ტყვიის კონცენტრაცია სეზონების მიხედვით

ტყვიის (Pb) კონცენტრაცია (მგ/კგ) საკვლევ ლოკაციებზე აღებულ სფაგნუმის ხავსში						
	მდ. ჭოროხისა და შავი ზღვის შესართავ ი	ქარნალი	ბოლოყო	ჯოჭოს წყალი	აჭარის წყალი	მაჭახლის წყალი
2025 წ. ზაფხული	0.038±0.01	0.035±0.01	0.03±0.01	0.03±0.008	0.035±0.01	0.04±0.01
2025 წ. შემოდგომა	0.04±0.01	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
2026 წ. ზამთარი	0.041±0.01	0.036±0.01	0.035±0.01	0.03±0.008	0.035±0.01	0.04±0.01
2026 წ. გაზაფხული	0.05±0.011	0.03±0.009	0.036±0.01	0.045±0.01	0.03±0.009	0.041±0.01

შენიშვნა: მონაცემები წარმოდგენილია საშუალო მნიშვნელობის $\pm$ სტანდარტული გადახრის სახით (Mean $\pm$ SD). მნიშვნელობა <0.02 მგ/კგ მიუთითებს, რომ ტყვიის კონცენტრაცია მეთოდის გამოვლენის ზღვარზე დაბალია.

კვლევის შედეგები: ნიმუშების ანალიზის შედეგად დადგინდა, ტყვიის მაქსიმალური შემცველობა ზამთარში, ხოლო მინიმალური კი შემოდგომაზე (იხ. ცხრილი 1). ზამთრის პერიოდში ტყვიის კონცენტრაციის ზრდა ხშირად დაკავშირებულია მდინარე ჭოროხის მიმდებარე ტერიტორიაზე ენერგეტიკული სექტორის აქტივობასთან - ქვა-ღორღის ინტენსიური მოპოვება, ნაშალი სამშენებლო მასალების განთავსება, აგრეთვე ატმოსფერული ინვერსიის მოვლენასთან, რომელიც აფერხებს ჰაერის ვერტიკალურ ცირკულაციას და იწვევს დამაბინძურებლების დაგროვებას ქვედა ატმოსფერულ ფენებში [12]. ინვერსია განპირობებულია დაბალი ტემპერატურით, შესაბამისად იწვევს მძიმე მეტალების ატმოსფეროს მიწისპირა ფენებში დეპონირებას.

მიუხედავად იმისა, რომ ზაფხულის სეზონზე მცირდება ატმოსფერული ინვერსია, მდ. ჭოროხის მიმდებარედ გაზრდილია საავტომობილო მოძრაობა, ნიადაგისა და გზის ზედაპირი გამოშრალია და იზრდება მტვის ნაწილაკების მეორეული აწევა, ამას ემატება მიმდებარე ტერიტორიებზე სამრეწველო ზონის გააქტიურებაც. შესაბამისად ზაფხულის კვლევის შედეგებში დაფიქსირდა ზამთრის სეზონთან მიახლოებული შედეგი (0,038მგ/კგ).

ცხრილი 2. მდინარე ჭოროხის ატმოსფერულ ჰაერში ტყვიის (2025-2026 წ) სეზონური კვლევა

სეზონი	Pb სფაგნუმში მგ/კგ	დაბინძურების ინდექსი
ზაფხული	0,038	0,93
შემოდგომა	0,02	0,49
ზამთარი	0,041	1
გაზაფხული	0,025	0,61

დაბინძურების ინდექსის ფორმულის გამოთვლა:

$$I=x/x_{\max}$$

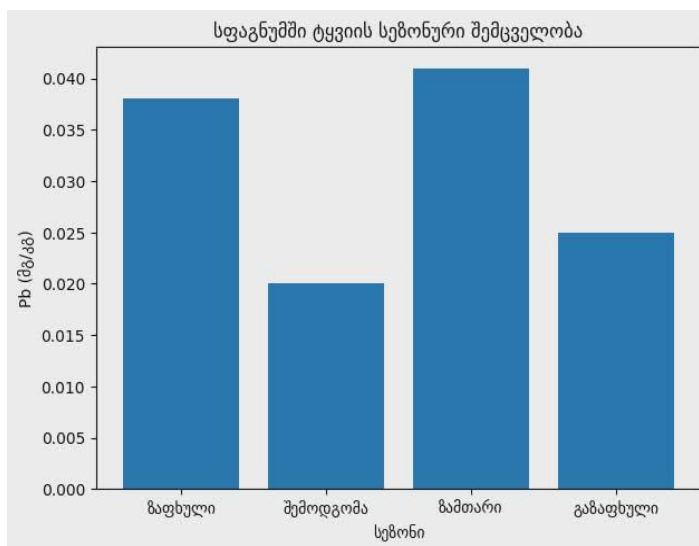
სადაც: I – დაბინძურების ინდექსი ;

x – სეზონური მაჩვენებელი ;

$x_{\max}$ - მაქსიმალური დაფიქსირებული მნიშვნელობა.

მოცემულ კვლევაში $x_{\max}=0,041$ მგ/კგ.

დიაგრამა 1. მდინარე ჭოროხის აუზის საკვლევ წერტილებზე აღებულ ნიმუშებში



ამრიგად, ტყვიის სეზონურ დინამიკაზე გავლენას ახდენს როგორც მეტეოროლოგიური ფაქტორები, ისე ანთროპოგენული წყაროები. მდინარე ჭოროხის აუზის ატმოსფერული ტყვიის სეზონური მონიტორინგი აუცილებელია, როგორც ეკოლოგიური რისკების შეფასებისთვის, ისე ტრანსსასაზღვრო გარემოს დაცვითი პოლიტიკის ფორმირებისთვის. მსგავსი კვლევები შესაძლებლობას იძლევა შეფასდეს მძიმე მეტალების მიგრაციის სივრცულ-დროითი თავისებურებები, განისაზღვროს დაბინძურების ძირითადი წყაროები და შემუშავდეს გარემოსა და მოსახლეობის ჯამრთელობის დაცვის ეფექტური სტრატეგიები.

ნაშრომი შესრულდა Interreg NEXT შავი ზღვის აუზის გრანტის: BSB00559 CARE SEA „თანამშრომლობა და ცნობიერების ამაღლება დაბინძურებისაგან თავისუფალი და ეკოლოგიურად სუფთა შავი ზღვისათვის“. ქიმიური კვლევა ჩატარდა შპს „მეგატესტის“ ლაბორატორიის ბაზაზე.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. მდინარე ჭოროხი-აჭარისწყლის აუზის მართვის გეგმა სანაპირო და გარდამავალი წყლები (პროექტი); თბილისი, (2016) REC Caucasus.
2. Akkan, T., & Mutlu, T. (2022). Assessment of Heavy Metal Pollution of Çoruh River (Turkey). Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 12(1), 355-367. <https://doi.org/10.31466/kfbd.1073227>
3. Centers for Disease Control and Prevention. (2024a). *Blood lead reference value updates*. U.S. Department of Health and Human Services.
4. I and Prevention (CDC). *Blood Lead Reference Value Updates*. Atlanta, 2024.
5. Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). *Lead Exposure – Level 3 Risk*. Seattle, 2024.
6. World Health Organization (WHO). *Guidelines for Clinical Management of Exposure to Lead*. Geneva, 2021.
7. World Health Organization (WHO). *Exposure to Lead: A Major Public Health Concern*. 2nd ed., Geneva, 2019.
8. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). *Childhood Lead Poisoning Prevention*. Atlanta, 2024.
9. Shoreline Changes (1984–2019) in the Çoruh Delta (Georgia/Batumi), *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*.
10. Makhholm MM, Mladenoff DJ. Efficacy of a biomonitoring (moss bag) technique for determining element deposition trends on a mid-range (375 km) scale. *Environ Monit Assess*. 2005 May;104(1-3):1-18. doi: 10.1007/s10661-005-6398-3. PMID: 15931974.

11. Ferreira, S. L. C., Bezerra, M. A., Santos, A. S., dos Santos, W. N. L., Novaes, C. G., de Oliveira, O. M. C., Oliveira, M. L., & Garcia, R. L. (2018). Atomic absorption spectrometry – a multi element technique. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 100, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.12.012>
12. Roostaei V, Gharibzadeh F, Shamsipour M, Faridi S, Hassanvand MS. Vertical distribution of ambient air pollutants (PM_{2.5}, PM₁₀, NO_x, and NO₂); A systematic review. *Heliyon*. 2024 Oct 24;10(21):e39726. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e39726.

Seasonal study of lead content in the atmospheric air of the Chorokhi River

Tamar Tetemadze¹, Izolda Machutadze², Natela Tetemadze³

¹Shota Rustaveli Batumi State University, Faculty of Natural Sciences and Health, Master's Student in Ecology, Tetemadze93@gmail.com, +995 595 024 890; ²Chief Researcher, Institute of Phytopathology, Shota Rustaveli Batumi State University; ³Researcher, Institute of Phytopathology, Shota Rustaveli Batumi State University

Abstract

The aim of this study was to assess seasonal variations in lead (Pb) concentrations in the atmospheric air of the Chorokhi River basin and determine its potential environmental impact. The Chorokhi River basin is an ecologically important transboundary system with intensive transport, industrial, and agricultural activities, increasing the risk of heavy metal pollution. The study utilized an active biomonitoring based on sphagnum moss, which relies on the moss's ability to accumulate heavy metals from atmospheric air. Bags containing sphagnum moss were placed at six study sites. Lead concentrations were determined using atomic absorption spectrometry (AAS). The results showed that the maximum lead concentration was recorded in winter—0.041 mg/kg—and the minimum—0.020 mg/kg—in autumn. The pollution index showed the greatest significance during the winter period. The study's results confirmed that lead levels in atmospheric air vary seasonally and are significantly influenced by both anthropogenic and climatic factors. Sphagnum biomonitoring is an effective tool for assessing atmospheric air quality.

Keywords: Lead, Atmospheric air, Biomonitoring, Sphagnum.