UDC 502.7

SCOPUS CODE 2303

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2021-3-137-144>

გარემოს ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასება და ეკოლოგიური უსაფრთხოების პრობლემების გადაწყვეტა მათემატიკური ეკოლოგიის მეთოდების და გეოსაინფორმაციო სისტემის პროგრამების გამოყენებით

- ვერა აბზიანიძე** ჰიდროგეოლოგიისა და საინჟინრო გეოლოგიის ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0126, სოფ. დიღომი, მოციქულთა სწორი წმინდა ნინოს ქ. 1
E-mail: verikoabz@mail.ru
- დიმიტრი აბზიანიძე** ჰიდროგეოლოგიისა და საინჟინრო გეოლოგიის ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0126, სოფ. დიღომი, მოციქულთა სწორი წმინდა ნინოს ქ. 1
E-mail: dimitri.abz@mail.ru
- ზურაბ კაკულია** ჰიდროგეოლოგიისა და საინჟინრო გეოლოგიის ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0126, სოფ. დიღომი, მოციქულთა სწორი წმინდა ნინოს ქ. 1
E-mail: zukakulia@yahoo.com

რეცენზენტები:

მ. მარდაშოვა, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: m.mardashova@gtu.ge

ბ. მხეიძე, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: b.mkhheidze@gtu.ge

ანოტაცია. ინდუსტრიის განვითარების და მოსახლეობის რაოდენობის ზრდის პირობებში უდიდესი მნიშვნელობა აქვს გარემოს დაცვას და ბუნებრივი რესურსების სწორ გამოყენებას. ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასებისთვის, მონიტორინგისა და მართვისთვის საჭიროა ყველა მისი კომპონენტების ეკოლოგიური, კარტოგრაფიული და სხვა ტიპის ინფორმაციის მოპოვება, გაანალიზება და

საჭიროების შემთხვევაში სწორი გადაწყვეტილების მიღება. არსებობს სხვადასხვა მეთოდი ამ ამოცანის გადასაწყვეტად. სტატიაში მოყვანილია იმ მეთოდის მოკლე აღწერა, რომელიც ჩვენ გამოვიყენეთ მდ. მტკვრის ერთ-ერთი მონაკვეთის ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასებისთვის, კერძოდ, მძიმე მეტალების შემცველობის განსაზღვრა მონაკვეთზე ზაჰესი – წითელი ხიდი. ანტროპოლოგიური ზემოქმედების ხარისხი მდინარეულ წყლებზე შეფასე-

ბული იყო მათემატიკური მოდელირების თანამედროვე მეთოდების და გეოსაინფორმაციო ტექნოლოგიების გამოყენებით. ინფორმაციის მათემატიკური დამუშავება შეიცავდა მათემატიკური ეკოლოგიის მთელ სპექტრს, დაწყებული მათემატიკური სტატისტიკიდან – დამთავრებული რთული მოდელით. აგრეთვე გამოყენებული იყო გეოსაინფორმაციო პროგრამების ძირითადი ფუნქციები: ინფორმაციის ორგანიზება, დამუშავება, ანალიზი, შემოწმება, ვიზუალიზაცია და სხვა. შედეგად შეიქმნა მათემატიკური რუკები, რომლებიც ასახავს მძიმე მეტალების კონცენტრაციას და აგრეთვე ცვილებების დინამიკას. შემუშავებული მეთოდი შეიძლება გამოვიყენოთ სხვადასხვა ობიექტის შეფასებისთვის, ამ მეთოდის საშუალებით მარტივად და მცირე ხარჯებით შეგვიძლია ვაწარმოოთ ეკოლოგიური მონიტორინგი.

საკვანძო სიტყვები: მათემატიკა; ეკოლოგია; გარემო; გეოსაინფორმაციო სისტემა.

შესავალი

დღეს უფრო მეტი ყურადღება ექცევა ეკოლოგიურ მდგომარეობას და მის პრობლემებს. კაცობრიობა აღიქვამს იმ კატასტროფების საშიშროებას, რომლებიც შესაძლოა მოჰყვეს არამდგრად ეკოლოგიურ სიტუაციას. ამავე დროს მეცნიერება ვითარდება და მიაღწია ისეთ დონეს, რომ შეუძლია შინაარსობრივად გააანალიზოს ეკოლოგიური სიტუაციები. ეკოლოგიური უსაფრთხოების მართვა არის რთული კომპლექსი, ვინაიდან მასში არ არის დომინირებული პრობლემები. მის მაჩვენებლად შეიძლე-

ბა ჩაითვალოს მოსახლეობის ჯანმრთელობა და სიცოცხლის ხანგრძლივობა. ეკოლოგიური უსაფრთხოების მიღწევა – ეს არის, რა თქმა უნდა, კაცობრიობის უპირველესი ამოცანა. ამ მიზნის განხორციელების მექანიზმია პროგრამულ-ტექნიკური და ინფორმაციული საშუალებების დამუშავება, ადაპტაცია, ანალიზი და პრაქტიკაში დანერგვა. ერთ-ერთი მნიშვნელოვანია ეკოლოგიური მდგომარეობის (სისტემის) მართვა. ეკოლოგიური მდგომარეობის მათემატიკური მოდელის დამუშავება საშუალებას გვაძლევს შევიშუაოთ სტრუქტურული და ალგორითმული უზრუნველყოფის ძირითადი საკითხები და ამით შესრულდება მოდელირების ძირითადი ამოცანა – ეკოლოგიური სისტემების სიტუაციის ანალიზი, პროგნოზირება და მართვის პრინციპების შემუშავება.

კალმან-მიუსის მოდელის გამოყენებით ვღებულობთ ფილტრაციის ალგორითმებს, რომლებიც გარემოს მდგომარეობას აფასებს ალგორითმის გამოყენება შესაძლებელია ეკოლოგიური მდგომარეობის პროგნოზირებისათვის. ანალიზისთვის გამოვიყენეთ დინამიკური პროგრამირების მოდელი, რომელიც ეფექტურია საწყისი ინფორმაციის ნაკლებობის (არასაკმარისი) შემთხვევაში.

თანამედროვე მათემატიკური ეკოლოგიის და გეოსაინფორმაციო სისტემის სინთეზი საშუალებას გვაძლევს შევქნათ ეკოლოგიური პროცესების მოდელები მინიმალური მონაცემების საშუალებით. შექმნილი მოდელი და მისი ვიზუალიზაცია (რუკები, დიაგრამები, ცხრილები) ხელს გვიწყობს არა მარტო თვალი ვადევნოთ ანტროპოლოგიურ ზეგავლენის ხარისხს, არამედ შევძლოთ მოვლენების პროგნოზირება და პროცესების მართვა

ძირითადი ნაწილი

მათემატიკური მეთოდების გამოყენება ადამიანის საქმიანობის სხვადასხვა სფეროში გულისხმობს კვლევის ახალი მეთოდებით სარგებლობას [1,2]. მათემატიკური კულტურის ზრდასთან გაიოლებულია გამოთვლის ზოგადი თეორიული დებულებებისა და მეთოდების შესწავლა.

კვლევებისათვის აუცილებელია აგრეთვე ამოცანის ამოსავალი ფორმულირების მათემატიკურ ენაზე გადაყვანის გამომუშავება. მნიშვნელოვანია, რომ ეკოლოგმა იცოდეს მათემატიკური აპარატით სარგებლობა. მას უნდა შეეძლოს მრავალრიცხოვან მათემატიკური მეთოდებისა და საშუალებებისგან შეარჩიოს ის მეთოდი, რომელიც საჭიროა მოცემული ამოცანის გადასაწყვეტად და ის სწორად გამოიყენოს. ამისთვის, პირველ რიგში, საჭიროა მათი შესწავლა და განხილვა [2,3]. მათემატიკური ეკოლოგია შედარებით ახალი დარგია, თუმცა მისი შესაძლებლობები და გამოყენების აუცილებლობა უკვე აღიარებულია, შესაბამისად ეკოლოგიურ-მათემატიკური ანალიზი გადაიქცა მეცნიერულ კვლევების მნიშვნელოვან მიმართულებად. ამასთანავე, პრაქტიკაში აღმოჩნდა, რომ მარტო მათემატიკური შემეცნება არ კმარა ამა თუ იმ ამოცანის გადასაწყვეტად.

გეოსაინფორმაციო სისტემის სხვადასხვა პროგრამით, მათი საშუალებით და ხერხებით შეგვიძლია ჩავატაროთ მონაცემების ანალიზი, რაც აადვილებს გარემოს ეკოლოგიური მდგომარეობის განსაზღვრის, პროგნოზირების და მასზე კომპლექსური ზემოქმედების შეფასების პროცედურების ჩატარებას.

გეოსაინფორმაციო სისტემა შესაძლებელს ხდის მიღებული მონაცემების ვიზუალიზაციის განხორ-

ციელებას. აღსანიშნავია, რომ მონაცემების გაცვლა მათემატიკური მოდელებს და გეოსაინფორმაციო სისტემებს შორის შესაძლებელია იყოს ორმხრივი, მოდელის საწყისი პირობები (მაგალითად, ადგილმდებარეობის კოორდინატები) შეიძლება მივიღოთ გეოსაინფორმაციო სისტემიდან, იგი, თავის მხრივ, აჩვენებს მოდელირების რეზულტატს.

მრავალგანზომილებიანი სტატისტიკური ანალიზი, მათემატიკური ალგორითმები და ლოკალური გეოსაინფორმაციო სისტემა განიხილება როგორც ეკოლოგიური მონიტორინგის კონკრეტული ამოცანების ამოხსნის კომპლექსური საშუალება.

კვლევის მიმდინარეობის დროს გამოვიყენეთ სისტემური ანალიზის მეთოდები [4], მათემატიკური მოდელირების ანალიტიკური მეთოდები [5], მათემატიკური ინდუქციის მეთოდები, ალბათობის თეორიის და მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდები [6,7], რომელშიც შედის დიფერენციალური და ალგებრული განტოლების აპარატი. შემდეგ შეიქმნა ეკოლოგიური მდგომარეობის და პროცესების მათემატიკური იმიტაცია და, რაც მთავარია, აღსანიშნავია, რომ ამ მეთოდით მოდელის აგება მკვიდრდება მინიმალურ მონაცემებზე (საშუალებას გვაძლევს ავიცილოთ შრომატევადი და ძვირადღირებული სამუშაოების ჩატარება.)

იმისთვის, რომ ეკოლოგიაში გამოვიყენოთ მათემატიკა, საჭიროა ჯერ ავაგოთ შესასწავლი პროცესის მოდელი, შემდეგ შევქმნათ შესაბამისი მათემატიკური აპარატი, რომლის მეშვეობით ჩავატარებთ პროცესების ანალიზს და ამ ანალიზის საფუძველზე ჩამოვაყალიბოთ პროგნოზი და შევიშალოთ მართვის პრინციპები [8,9].

მდინარის ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფა-

სებისთვის და წყლის შემადგენლობის და ტექნოლოგიური ცვლილებების გამოვლენისთვის, აღებული იყო სინჯები სამონიტორინგო წერტილებში სხვადასხვა პერიოდში [10]. მასალების დამუშავების ეტაპზე თითოეულ ელემენტზე განხორციელდა შედარებითი ანალიზი სტიუდენტის – კრიტერიუმის საფუძველზე, სიტუაციის მათემატიკური მოდელი აიგო რელიეფის ციფრული მოდელის და რიგი თემატური რუკების საფუძველზე. დამუშავებული დიფერენციალური განტოლების სისტემების მეშვეობით ნებისმიერ წერტილში შეგვიძლია განვსაზღვროთ წყლის დაბინძურების ხარისხი.

კვლევისთვის გათვალისწინებულია გეოსაინფორმაციო ანალიზის ყველა ეტაპების შესრულება: საჭირო ინფორმაციის მოპოვება, ექსპედიციები, თემატური კარტოგრაფია, საარქივო და ფონდური მასალების მოპოვება, ინფორმაციის პირველადი დამუშავება და სტრუქტურალიზაცია, მონაცემთა ბაზის შექმნა, შევსება, რედაქტირება, სტატისტიკური ანალიზი, მონაცემთა ლოგიკური ორგანიზაციის შერჩევა, ნაკლული მონაცემთა ინტერპოლაცია და ექსტრაპოლაცია, პროცესის კანონზომიერების ანალიზი, ტრენდების და სანდო ინტერვალების გამოვლენა. ბოლო ეტაპია ეკოსისტემის კარტოგრაფიული მოდელირება, შემოწმება, კანონზომიერების გამოვლენა და პროგნოზირება. კვლევებში გამოყენებული იყო სივრცული ანალიზის მთელი რიგი მეთოდები. კვლევის განმავლობაში მეთოდების და ტექნოლოგიების გარდა შეიქმნა მუდმივ რეჟიმში შევსებადი გეოინფორმაციული კატალოგი, რომლის ნაწილია გეომონაცემთა ბაზა, მასში დაცული სხვადასხვა სახის ინფორმაცია: ტოპორუკები, შექმნილი რასტრული და ვექტორული რუკები, კვლევის შედეგები, ინფორმაცია ტერიტორიის მდგომარეობაზე (მოდელი) და ა.შ.

ასეთი მეთოდოლოგიით და მისი ტექნიკური რეალიზაციით შესაძლებელია მოთხოვნისამებრ განვხორციელოთ ანგარიში ახალი მონაცემებით, ოპერატიულად მოვამზადოთ დაზუსტებული ინფორმაცია, შევასრულოთ მისი ვიზუალიზაცია სხვადასხვა სახით. ამდგვარად, კვლევების განხორციელება ხდება ოთხი აუცილებელი კომპონენტით: ნორმატიული ბაზა, მონიტორინგული დაკვირვების მონაცემთა ბაზა, მათემატიკური დამუშავების მეთოდები, რომელიც შეიცავს მთელ სპექტრს, დაწყებული ელემენტარული სტატისტიკიდან, დამთავრებული რთული მოდელით და სივრცული ანალიზით და ვიზუალიზაციით – სრული ფუნქციონადი გეოინფორმაციული სისტემა

მაგალითად, შეგვიძლია მოვიყვანოთ ყველა ეტაპების შესრულების და მონაცემების მათემატიკური დამუშავების შემდეგ მდ. მტკვრის ერთ-ერთ მონაკვეთზე მძიმე მეტალების კონცენტრაციის ამსახველი რუკა, რომელიც აგებულია Surfer – ში. ვიზუალიზაციისთვის გამოვიყენეთ ორი მეთოდის სინთეზი Contour Map და 3D Surface (სურათი).

მაგალითად, შეგვიძლია მოვიყვანოთ ყველა ეტაპების შესრულების და მონაცემების მათემატიკური დამუშავების შემდეგ მდ. მტკვრის ერთ-ერთ მონაკვეთზე მძიმე მეტალების კონცენტრაციის ამსახველი რუკა, რომელიც აგებულია Surfer – ში. ვიზუალიზაციისთვის გამოვიყენეთ ორი მეთოდის სინთეზი Contour Map და 3D Surface (სურათი).

დასკვნა

როგორც სახელმწიფო, აგრეთვე, ორგანიზაციები, და კომპანიები იმაში დაინტერესებულია რომ მიაღწიონ მაღალ ეკოლოგიურ უსაფრთხოებას. ამასთანავე აკონტროლონ თავიანთი ზემოქმედება გარემოზე, აწარმოოს სწორი ეკოლოგიური პოლიტიკა. ორგანიზაციები ეკოლოგიურ ანალიზს და აუდიტებს იმისათვის ატარებს, რომ შეაფასოს თავიანთი უსაფრთხოება და ღონისძიებების ეფექტიანობა. მნიშვნელოვანი ეკოლოგიური ეფექტიანობა შეიძლება მიღწეულ იქნეს იმ შემთხვევაში, თუ ჩატარებული ანალიზი და აუდიტი ქმედითუნარიანი იქნება ანუ შეესაბამება რეალურ მდგომარეობას. ორგანიზაციებმა

პერიოდულად უნდა გააანალიზოს, შეაფასოს ეკოლოგიური სიტუაცია და მათი ანტროპოლოგიური ზემოქმედება გარემოზე იმისთვის, რომ საჭიროებისამებრ მოახდინოს მასზე ზემოქმედება და უზრუნველყოს ეკოლოგიური უსაფრთხოება.

ზემომოხსენებული მეთოდი შეიძლება გამოიყენოს ყველა ტიპის ორგანიზაციამ და მარტივად აწარმოოს ეკოლოგიური მონიტორინგი, როგორც დროის ნებისმიერ პერიოდში, აგრეთვე ნებისმიერ მონაკვეთზე, რაც იქნება გარანტი დროული და საჭირო ზომების მიღების ეკოლოგიური ბალანსის შესანარჩუნებლად.

ლიტერატურა

1. Abzianidze, D., Tabatadze, G., Managadze, R., Abzianidze, V., Inanashvili, N. (2015). Thinking of mathematicians about the ecology and its problems. Georgia, Tbilisi: *Social Economics. XXI century's actual problems, January-February*, 273-275. (in Russian);
2. Abzianidze, D., Managadze, R., Poporadze, N., Tabatadze, G. (2015). The use of methods of mathematical ecology for solving problems of environmental protection. Georgia, Tbilisi: *Georgian Technical University*. (in Georgian);
3. Abzianidze, V., Abzianidze, D., Managadze, R. (2018). On efficiency of application of elements of higher mathematics for the solution of practical tasks of ecological systems safety. Georgia, Tbilisi: *Works of GTU*, 4(510), 117-125 (in Russian);
4. Poporadze, N., Abzianidze, D., Dvali, M., Meskhishvili, T. (2010). Significance of mathematical ecology in the protection of ecologic systems safety. Georgia, Tbilisi: *Transaction International Scientific Conference*, 242-244. (in English);
5. Abzianidze, D., Tabatadze, G., Khudadze, N. (2013). About use of mathematical modeling in environmental protection. Georgia, Tbilisi: *Georgian Technical University, Business-Engineering*, (2), 195-197. (in Georgian);
6. Abzianidze, D., Managadze, R. (2014). Application of Kalman-Buss model in processing of observation results of river water conditions. Georgia, Tbilisi: *Georgian oil and gas*, (29), 17-20. (in Russian);
7. Abzianidze, D., Managadze, R., Abzianidze, V. (2015) Application of Kalman filtering during estimation of river water state according to discrete observations. Georgia, Tbilisi: *Georgian oil and gas*, (30), 108-111. (in Russian);
8. Poporadze, N., Abzianidze, D., Dvali, M. (2010). About problems of ecological security and optimization management of ecological sytem. Georgia, Tbilisi: *Transactions of Georgian Technical University*, 2, (476), 59-63. (in Russian);
9. Abzianidze, D., Managadze, R., Abzianidze, V. (2016). Application of dynamic programming model for solving practical problems of ecological systems security. Georgia, Tbilisi: *Georgian oil and gas*, (31), 79-82 (in Russian)
10. Poporadze, N., Abzianidze, D., Dvali, M., Meskhishvili, T. (2010). Efficiency of ecological monitorings in case of the pollution of river Mtkvari by heavy metals. Georgia, Tbilisi: *Transactions Georgian Technical University*, 3 (477), 17-21 (in Georgian).

UDC 502.7

SCOPUS CODE 2303

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2021-3-137-144>

Assessing the Ecological Condition of the Environment and Solving the Problems of Ecological Safety Using Mathematical Ecology Methods and Geoinformation System Programs

Vera Abzianidze	Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Georgian Technical University, Georgia, 0126, Tbilisi, Dighomi Village, 1 Motsikulta Stsori Nino str. E-mail: veriko_abz@mail.ru
Dimitri Abzianidze	Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Georgian Technical University, Georgia, 0126, Tbilisi, Dighomi Village, 1 Motsikulta Stsori Nino str. E-mail: dimitri.abz@mail.ru
Zurab Kakulia	Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Georgian Technical University, Georgia, 0126, Tbilisi, Dighomi Village, 1 Motsikulta Stsori Nino str. E-mail: zukakulia@yahoo.com

Reviewers:

B. Mkheidze, Chief Researcher, Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, GTU

E-mail: b.mkhheidze@gtu.ge

M. Mardashova, Professor, Faculty of Mining and Geology, CTU

E-mail: m.mardashova@gtu.ge

Abstract. With the intensive development of industry and population growth, environmental protection and the correct use of natural resources are of great importance. For a proper assessment, monitoring and management of the environmental situation, it is necessary to possess cartographic, environmental and other information about all its components, analyze this information and make the right decisions. There are various ways to solve this problem. The article provides a brief description of the method that we applied to assess the ecological state in one of the sections of the Mtkvari (Kura), in particular, the content of heavy metals in the waters of the Mtkvari (Kura) River in the Zagesi – Red Bridge section. The degree of anthropogenic impact was assessed by methods of mathematical modeling and modern technologies of the geographic information system. In the mathematical processing of information, a whole range of mathematical modeling tools were used - starting with mathematical statistics and ending with a complex model. The main functions of the geographic information system were also used: information organization, its processing, analysis, verification, visualization, and etc. As a result, thematic maps were created, that clearly show the degree of pollution of the river section, as well as the dynamics of changes in the concentration of heavy metals.

This method can be used for environmental assessment of various objects. With its help, it is possible to carry out environmental monitoring simply and at low cost.

Key words: ecology; environment; GIS; mathematics.

UDC 502.7

SCOPUS CODE 2303

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2021-3-137-144>

Оценка экологического состояния окружающей среды и решение проблем экологической безопасности с использованием методов математической экологии и программ геоинформационных систем

Вера Абзианидзе	Институт гидрогеологии и инженерной геологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0126, Тбилиси, село Дигომი, ул. Св. Нины 1 E-mail: veriko_abz@mail.ru
Димитрий Абзианидзе	Институт гидрогеологии и инженерной геологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0126, Тбилиси, село Дигომი, ул. Св. Нины 1 E-mail: dimitri.abz@mail.ru
Зураб Какулия	Институт гидрогеологии и инженерной геологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0126, Тбилиси, село Дигომი, ул. Св. Нины 1 E-mail: zukakulia@yanhoo.com

Рецензенты:

Б. Мхеидзе, Главный научный сотрудник Института гидрогеологии и инженерной геологии ГТУ
E-mail: m.mardashova@gtu.ge

М. Мардашова, профессор горно-геологического факультета ГТУ
E-mail: b.mkhheidze@gtu.ge

Аннотация. В условиях интенсивного развития индустрии и роста населения большое значение принимают защита окружающей среды и правильное использование природных ресурсов. Для правильной оценки, мониторинга и управления экологической ситуацией необходимо владеть картографической, экологической и другой информацией о всех её компонентах, анализировать эту информацию и принимать правильные решения. Существуют разные пути решения этой проблемы. В статье приведено краткое описание метода, которой мы применили для оценки экологического состояния на одном из участков реки Кура, в частности, содержание тяжелых металлов в водах реки Кура на участке Загеси – Красный мост. Степень антропогенного воздействия оценивалась методами математического моделирования и современными технологиями геоинформационной системы. При математической обработке информации применялся целый спектр средств математического моделирования, начиная с математической статистики и кончая сложной моделью. Также были использованы основные функции геоинформационной системы: организация информации, её обработка, анализ, проверка, визуализация и др. В результате были созданы тематические карты, которые наглядно показывают степень загрязнения участка реки, а также динамику изменения концентрации тяжелых металлов.

Данный метод можно использовать для экологической оценки разных объектов. С его помощью можно просто и с малыми затратами производить экологический мониторинг.

Ключевые слова: геоинформационная система; математика; окружающая среда; экология.

განხილვის თარიღი 10.08.2020

შემოსვლის თარიღი 18.03.2021

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 29.09.2021