

UDC 502.7

SCOPUS CODE 2303

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-4-280-286>

ეკოლოგიურ-მათემატიკური მოდელების გამოყენება ეკოლოგიური სისტემების უსაფრთხოების მიღწევისთვის

ვერა აბზიანიძე

ჰიდროგეოლოგიისა და საინჟინრო გეოლოგიის ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 0126, სოფ. დილომი, მოციქულთა სწორი წმინდა ნინოს ქ. 1

E-mail: veriko_abz@mail.ru

რუსუდან მანაგაძე

ნავთობის და გაზის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75

E-mail: r.managadze@gtu.ge

დიმიტრი აბზიანიძე

ჰიდროგეოლოგიისა და საინჟინრო გეოლოგიის ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 0126, სოფ. დილომი, მოციქულთა სწორი წმინდა ნინოს ქ. 1

E-mail: dimitri.abz@mail.ru

რეცენზენტები:

ზ. ვარაზაშვილი, ჰიდროგეოლოგიის და საინჟინრო გეოლოგიის ინსტიტუტი, საინჟინრო გეოლოგიის განყოფილების უფროსი, აკადემიური დოქტორი

E-mail: z.varazashvili@gtu.ge

თ. ბარაბაძე, სტუ-ის სამთო-ტექნოლოგიური ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: t.barabadze@gtu.ge

ანოტაცია. თანამედროვე პირობებში ეკოლოგიური უსაფრთხოების პრობლემას სულ უფრო მეტი ყურადღება ექცევა. წარმოიშობა ეკოლოგიური უსაფრთხოებისა და რისკის თეორიის შემდგომი განვითარების აუცილებლობა გამომდინარე იქიდან, რომ, ერთი მხრივ, კაცობრიობა აღიქვამს კატასტროფების საშიშროებას, ხოლო მეორე მხრივ, მეც-

ნიერების განვითარებამ მიაღწია შინაარსობრივი ანალიზისათვის სასურველ დონეს.

ეკოლოგიური უსაფრთხოების მართვა შეიძლება იყოს მხოლოდ კომპლექსური. მის უზრუნველყოფაში არ არის დომინირებული პრობლემები. მათი გადაწყვეტა ვერ მიგვიყვანს სრულ წარმატებამდე. საზოგადოების არასტაბილური განვითარებისას ბუნებრივი და ტექნოლოგიური კატასტროფები მჭიდროდაა დაკავშირებული სოციალურ უბედურებებ-

თან, ამიტომ ეკოლოგიური უსაფრთხოების მართვის მეთოდებისა და ტექნოლოგიების უმეტესობა არაეფექტურია თავისი ვიწრო მიმართულებების გამო. ბევრი სტიქიური უბედურების აცილება შეუძლებელია, ამიტომ საჭიროა სახელმწიფო პოლიტიკის ოპტიმიზაცია ეკოლოგიური უსაფრთხოების სფეროში, განსაკუთრებით პრევენციული ზომების პროგნოზირებისა და რეალიზაციის გზით. რისკების მართვა ნიშნავს რესურსების ოპტიმალურად განაწილებას (უსაფრთხოების მისაღები დონის გათვალისწინებით). ეკოლოგიური უსაფრთხოების მაჩვენებლად შეიძლება ჩაითვალოს მოსახლეობის ჯანმრთელობა, სიცოცხლის ხანგრძლივობა, გარემოს ხარისხი და სხვ.

საკვანძო სიტყვები: ეკოლოგიურ-მათემატიკური მოდელი; ეკოლოგიური სისტემა; ეკოლოგიური უსაფრთხოება.

შესავალი

ეკოლოგიური უსაფრთხოების სფეროში ერთ-ერთ მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ეკოლოგიური სისტემის ოპტიმალური მართვა.

მართვის ზოგადი პრინციპების შესაბამისად, მისი სტრუქტურის ძირითადი მდგენელები წარმოდგენილი უნდა იყოს სამი ელემენტით: მართვის ობიექტი, მართვის საშუალებები და მართვის მიზანი. მართვაში იგულისხმება მმართველ ორგანოსა და მართვის ობიექტს შორის უწყვეტი ურთიერთქმედების პროცესი სისტემის ნორმალური ფუნქციონირების უზრუნველსაყოფად.

გარემოს დაცვის მართვის მნიშვნელოვანი თავისებურება არის ის, რომ თვით გარემო არ შეიძლება

იყოს მართვის დამოუკიდებელი ობიექტი, არამედ იგი შეიძლება განვიხილოთ ანთროპოგენური ზემოქმედების ყველა სახეობასთან უწყვეტ ურთიერთკავშირში. ნებისმიერი ქვეყნის ბუნებას ანთროპოგენური პროცესებისადმი წინააღმდეგობის გაწევა მხოლოდ მისი ეკოლოგიური მდგრადობის პოტენციალის შენარჩუნებით შეუძლია.

საქართველოს ეკოლოგიური მდგრადობა მდგომარეობს მისი გარემოსდაცვითი სისუსტეების დაძლევა და ეკოლოგიური უსაფრთხოების უზრუნველყოფაში. ბუნებრივი ეკოლოგიური სისტემების აღდგენა ქვეყნის ნორმალური განვითარების მთავარი პირობაა.

გარემოს დაცვის გლობალური ამოცანების წარმატებულად გადაწყვეტისათვის საჭიროა ვიცოდეთ ყოველგვარი მავნე ნივთიერებებისაგან მისი დაბინძურების ხარისხი. ამიტომ ეკოლოგები მეტ ყურადღებას უთმობენ ექსპერიმენტებს, დაკვირვებებს და გარემოს დაცვის მონიტორინგს. ეკოლოგიური პროცესების მართვისას, როდესაც გადაწყვეტილებები მიიღება თეორიული და ექსპერიმენტული ერთობლივი მონაცემების საფუძველზე, იყენებენ მათემატიკურ მოდელს. მუშა მოდელების შექმნა გლობალური ეკოლოგიის ერთ-ერთი მთავარი ამოცანაა.

ეკოლოგიური პროცესების ამსახველი მათემატიკური მოდელი საშუალებას იძლევა შეირჩეს ეკოლოგიური სისტემის ფუნქციონირების უსაფრთხოების უზრუნველყოფელი მართვის სისტემა.

ხშირად ეკოლოგიური სისტემების გამოკვლევისას, არ არსებობს სრული ან თუნდაც ნაწილობრივი ინფორმაცია ეკოლოგიური სისტემის შესაძლო მდგომარეობის შესახებ. სხვაგვარად რომ ვთქვათ,

ეს ის შემთხვევაა როდესაც სისტემაში ხდება გაუთვალისწინებელი მოვლენები. ამგვარი მოვლენები ეკოლოგიური სისტემებისათვის გარდაუვალია და რაც უფრო რთულია სისტემა, მით მეტია განუსაზღვრელობის ფაქტორი მის შემდგომ განვითარებაში.

ეკოლოგიური სისტემები მიეკუთვნება სტოქასტიკურ სისტემებს, რადგანაც სისტემების შემდგომი განვითარება დიდად არის დამოკიდებული შემთხვევით ფაქტორებზე; ამიტომ ეკოსისტემის ეკოლოგიურ-მათემატიკური მოდელის სახით განიხილება სტოქასტიკური მოდელი. ეს ისეთი მოდელია, რომლის პარამეტრები, სისტემის ფუნქციონირების პირობები და მოდელირებადი სისტემის მდგომარეობის სხვა მახასიათებლები წარმოდგენილია შემთხვევითი სიდიდეებით. მახასიათებლები დაკავშირებული არიან სტოქასტიკური დამოკიდებულებით, რადგან საწისი ინფორმაციაც შემთხვევითი სიდიდეა.

ძირითადი ნაწილი

მოცემულ ნაშრომში ეკოლოგიური სისტემის მოდელი წარმოდგენილია პირველი ხარისხის არაწრფივ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის სახით

$$\frac{dx}{dt} = f[t, x(t), u(t), \theta(t)], \quad (1)$$

სადაც $x(t)$ არის სამგანზომილებიანი მდგომარეობის ვექტორი, რადგანაც ეკოლოგიურმა უსაფრთხოებამ უნდა უზრუნველყოს გარემოზე უარყოფითი ზემოქმედების დონის შემცირება და აგრეთვე საზოგადოების ეკონომიკური განვითარება (მოსახლეობის ცხოვრების დონისა და საბიუჯეტო დონის

ამაღლება). ამიტომ ისინი განიხილება როგორც მდგომარეობის ვექტორის კომპონენტები.

$U(t)$ – მმართველი ცვლადი; მართვა ხორციელდება როგორც მისი სანედლეულო ბაზით, ისე ინვესტიციების საფუძველზე.

$\theta(t)$ – შემამოთხლებელი ზემოქმედებები. ეს ისეთი ზემოქმედებებია. რომლებიც არღვევენ სისტემის ნორმალურ ფუნქციონირებასა და განვითარებას.

ამგვარი მოდელების გამოყენება დაკავშირებულია გარკვეულ სირთულეებთან, ამიტომ ყოველთვის ცდილობენ მსგავსი მოდელები შეცვალონ წრფივი მოდელებით. ცხადია, რომ გაწრფივებული მოდელები სრულყოფილად ვერ შეცვლიან არაწრფივს, მაგრამ ზოგადად, გაწრფივებული მოდელის მოქმედება შესაძლოა არაწრფივი მოდელის იდენტური იყოს. მოცემულ ნაშრომში მკითხველი გაეცნობა არაწრფივი მოდელების გამარტივებისა და გაწრფივების მეთოდიკას. აღსანიშნავია, რომ კვლევებისას საკმაოდ ნაყოფიერი აღმოჩნდა წრფივი მოდელების გამოყენება, რადგან წრფივი მოდელებისათვის ანალიზის მეთოდები კარგად არის შესწავლილი მაშინ, როდესაც არაწრფივი მოდელებისათვის ამგვარი მეთოდები საერთოდ არ არსებობს.

გაწრფივებული მოდელის ასაგებად, დროის ინტერვალი (O, T) (სადაც T არის ეკოლოგიური სისტემის ფუნქციონირების დრო) წერტილების თანამიმდევრობით $O = t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_N = T$ დაშვებით h ხანგრძლივობის N ტოლ ინტერვალებად ისე, რომ h -მა მიიღოს მცირე დადებითი მნიშვნელობები. დაყოფის წერტილების ერთობლიობა შეადგენს ბადეს, რომე-

ლიც აღვნიშნოთ W_h -ით, დაყოფის წერტილები $t_n = nh$ არის ბადის კვანძები. ბადის კვანძებში განსაზღვრულ ფუნქციას ეწოდება ბადისებური ფუნქცია.

ამრიგად, ჩვენ შევცვალეთ არგუმენტის უწყვეტი ცვლილების არე ბადით, ანუ არგუმენტის დისკრეტული ცვლილების არით. სხვა სიტყვებით, ჩვენ ვახორციელებთ დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის აპროქსიმაციას ბადისებრი ფუნქციების სივრცით.

თვალსაჩინოებისათვის დავუშვათ, რომ მოდელი (1) დამოკიდებულია მხოლოდ ერთ შემფოთებაზე. თუმცა შეთავაზებული მეთოდიკა მართებულია, როდესაც პარამეტრების რაოდენობა $p > 1$.

მაშინ ვექტორული განტოლება (1) იმის გათვალისწინებით, რომ მესამე კოორდინატი არ არის დამოკიდებული შემფოთებაზე, მიიღებს სახეს:

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= f_1(t, x_1(t), x_2(t), x_3(t); u(t); \theta(t)) \\ \frac{dx_2}{dt} &= f_2(t, x_1(t), x_2(t), x_3(t); u(t); \theta(t)) \\ \frac{dx_3}{dt} &= f_3(t, x_1(t), x_2(t), x_3(t); u(t))\end{aligned}$$

ჩვენ უნდა მოვძებნოთ დიფერენციალური განტოლებების მიახლოებითი ამონახსნი მხოლოდ საკვანძო წერტილებში $t_n \in w_h$. საძებნი ამონახსნები საკვანძო წერტილებში მიიღებს $x_1(n)$, $x_2(n)$, $x_3(n)$ მნიშვნელობებს.

(1) სისტემის ამოხსნისათვის ყოველ ინტერვალზე $[t_{n-1}, t_n]$ უნდა დავსვათ საწყისი პირობები:

$$\begin{aligned}x_1(t)/_{t=t_{n-1}} &= x_1(n-1); \quad x_2(t)/_{t=t_{n-1}} = x_2(n-1); \\ x_3(t)/_{t=t_{n-1}} &= x_3(n-1).\end{aligned}$$

ამ შემთხვევაში (2) სისტემის ამონახსნს ექნება შემდეგი სახე:

$$\begin{aligned}x_1(n) &= \varphi_1(t_{n-1}; x_1(n-1); x_2(n-1); x_3(n-1); u(n); \theta(n)); \\ x_2(n) &= \varphi_2(t_{n-1}; x_1(n-1); x_2(n-1); x_3(n-1); u(n); \theta(n)); \\ x_3(n) &= \varphi_3(t_{n-1}; x_1(n-1); x_2(n-1); x_3(n-1); u(n));\end{aligned}\quad (2)$$

საწყისი პირობებს განვსაზღვრავთ შემდეგნაირად: თითოეული გამომავალი ცვლადისთვის განვსაზღვრავთ საზღვრებს, ანუ იმ კრიტიკული მნიშვნელობების სიდიდეებს, რომელთა გადაბიჯებაც ადამიანის სიცოცხლეს საფრთხით ემუქრება.

$$\begin{aligned}x_1(n-1) &\leq \delta_1; \\ x_2(n-1) &\leq \delta_2; \\ x_3(n-1) &\leq \delta_3\end{aligned}\quad (3)$$

δ განისაზღვრება პირობით $\delta = \min(\delta_1, \delta_2, \delta_3)$ და ნებისმიერი n -ისთვის ვირჩევთ ერთსა და იმავე საწყისი პირობებს:

$$\begin{aligned}x_1(n-1) &= \delta \\ x_2(n-1) &= \delta \\ x_3(n-1) &= \delta\end{aligned}$$

ასეთი დაშვებით (3) პირობები შესრულებადია.

თითოეულ (t_{n-1}, t_n) ინტერვალში $\theta(n)$ შემფოთება მცირედ იცვლება (ინტერვალის სიმიცირის გამო), რჩება თითქმის მუდმივი, ამიტომ მას მივიჩნევთ მუდმივ უცნობ θ სიდიდედ.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ განსახილველ ინტერვალზე შემავალი ცვლადი მუდმივია $u(n) = u_n$, მაშინ ასეთი დაშვებებისას მოდელი (3) სტატიკურია:

$$\begin{aligned}x_1(n) &= \varphi_1(\delta, u_n, \theta); \\ x_2(n) &= \varphi_2(\delta, u_n, \theta); \\ x_3(n) &= \varphi_3(\delta, u_n)\end{aligned}\quad (4)$$

მიღებულ მოდელს ვაწვდევთ θ - სთან მიმართებით. განვიხილოთ (4) სისტემის პირველი განტოლება:

$$x_1(n) = \varphi_1(\delta, u_n, \theta)\quad (5)$$

დავშალოთ (5)-ის მარჯვენა ნაწილი ტეილორის მწკრივად θ_0 - ის დასაშვებ დონესთან მიმართებით:

$$x_1(n) = \varphi_1(\delta, u_n, \theta_0) + \frac{\partial \varphi_1(\delta, u_n, \theta_0)}{\partial \theta} (\theta - \theta_0)$$

ან

$$x_1(n) = A_1(u_n) + B_1(u_n)\theta, \quad (6)$$

სადაც c $A_1(u_n) = \varphi_1(\delta, u_n, \theta_0) - \frac{\partial \varphi_1(\delta, u_n, \theta_0)}{\partial \theta} \theta_i$

$$B_1(u_n) = \frac{\partial \varphi_1(\delta, u_n, \theta_0)}{\partial \theta}$$

ანალოგიურად $x_2(n) = A_2(u_n) + B_2(u_n)\theta, \quad (7)$

აქ $A_2(u_n) = \varphi_2(\delta, u_n, \theta_0) - \frac{\partial \varphi_2(\delta, u_n, \theta_0)}{\partial \theta} \theta_0,$

$$B_2(u_n) = \frac{\partial \varphi_2(\delta, u_n, \theta_0)}{\partial \theta}$$

რაც შეეხება (4) სისტემის მესამე განტოლებას, იგი არ არის დამოკიდებული შემფოთებაზე, ამიტომ მას ასეთნაირად გადავწერთ

$$x_3(n) = A_3(u_n), \quad (8)$$

სადაც

$$A_3(u_n) = \varphi_3(\delta, u_n)$$

(6), (7) და (8) ფორმულების საფუძველზე ვღებულობთ

$$\begin{aligned} x_1(n) &= A_1(u_n) + B_1(u_n)\theta \\ x_2(n) &= A_2(u_n) + B_2(u_n)\theta \\ x_3(n) &= A_3(u_n) \end{aligned} \quad (9)$$

მიღებულია გამარტივებული და გაწვრივებული მოდელი (9).

იმ შემთხვევაში, როცა წარმოიშობა გაურკვეველი სიტუაცია, მართვას ეწოდება გადაწყვეტილების მიღება გაურკვევლობის პირობებში და გადაწყვეტილების მიმღებს აქვს არჩევანი. მას შეუძლია გამოიყენოს გარკვეული კონკრეტული სტრატეგია ან

გადაწყვეტილება მიიღოს “წილისყრით” და გადაწყვეტილება მიიღება შემთხვევითი კანონით. შესაძლო გადაწყვეტილების შედეგები დამოკიდებულია უცნობ Q პარამეტრზე. აღნიშნული სიტუაცია დამახასიათებელია შემთხვევითი პროცესების მართვის თეორიისათვის ეკოლოგიაში.

გადაწყვეტილების მიღება გაურკვევლობის პირობებში წარმოქმნის (ან თავის თავში მოიცავს) ამოცანის დასმის მრავალფეროვნებას (სიმრავლეს), რომელიც უნდა დაზუსტდეს Q პარამეტრის ცნობილი მონაცემების მითითებებით.

მათემატიკური ამოცანების ნებისმიერ სიტუაციაში ამოხსნის მიდგომაში გამოიყენება ბეიესის მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია არსებული ინფორმაციის მაქსიმალური გამოყენების პრინციპზე, მის უწყვეტ გადახედვასა და გადაფასებაზე. მართვის პროცესი ბეიესის მიდგომით გაგებულია, როგორც სწავლის, ადაპტაციის პროცესი.

ამრიგად, ადაპტირებული მართვა არის ისეთი მართვა, რომელშიც ეკოლოგიური სისტემის მომდევნო მდგომარეობა განისაზღვრება მართვის წინამორბედი პროცესის საფუძველზე.

შემაშფოთებელი ზემოქმედების არსებობამ განაპირობა ადაპტირებული მართვის სისტემის აგების აუცილებლობა, რომელიც უზრუნველყოფს ეკოლოგიური სისტემის ეფექტურ ფუნქციონირებას. ამიტომ, ეკოლოგიური სისტემის მართვასთან დაკავშირებული ერთ-ერთი მთავარი და გადაუდებელი ამოცანაა ოპტიმალური მართვის ადაპტირებული ალგორითმების შემუშავება.

დასკვნა

ეკოლოგიურ-მათემატიკური მოდელი არის ეკოლოგიური სისტემების (ობიექტების) მათემატი-

კური აღწერა. უნდა აღინიშნოს, რომ არ არის დიდი ხანი რაც დაიწყო ამ სფეროში მუშაობა, მაგრამ მისი მნიშვნელობა და აუცილებლობა მალევე აშკარა გახდა და დღეისათვის ეკოლოგიურ-მათემატიკური ანალიზი გადაიქცა მნიშვნელოვან მიმართულებად ეკოლოგიაში.

ამ მიმართულების განვითარება განპირობებული იყო, ერთის მხრივ, მათემატიკური აპარატის განვითარებით, ხოლო მეორე მხრივ, იმ ახალი პრობლემებით, რომლებიც წარმოიშვა ეკოლოგიაში.

შემოთავაზებული ნაშრომი წარმოდგენას გვაძლევს იმის შესახებ, თუ როგორ შეიძლება დღეისათვის მათემატიკური მეთოდების გამოყენება გარემოს დაცვის პრაქტიკული ამოცანების გადასაჭრელად.

ავტორების აზრით, ნაშრომი გამოადგებათ როგორც დარგის დამწყებ მკვლევრებს, ასევე წარმოების სხვადასხვა სექტორის სპეციალისტებს, რომლებიც მოწოდებულნი არიან გარემოს დაცვის პრობლემების გადასაჭრელად.

ლიტერატურა

1. Abzianidze, D., Tabatadze, G., Managadze, R., Abzianidze, V., & Inanashvili, N. (2015, January–February). *Thinking of mathematicians about the ecology and its problems*. Social Economics. XXI Century's Actual Problems, 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*. 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*. Works of Georgian Technical University, (4)510, 117–125. (in Russian)
4. Poporadze, N., Abzianidze, D., Dvali, M., & Meskhishvili, T. (n.d.). *Significance of mathematical ecology in the protection of ecologic systems safety*. In *Transactions of International Scientific Conference* (pp. 242–244). Georgia, Tbilisi. (in English)
5. Abzianidze, D., Tabatadze, G., & Khudadze, N. (2013). *About use of mathematical modeling in environmental protection*. Business-Engineering, (2), 195–197. Georgian Technical University. (in Georgian)
6. Abzianidze, D., & Managadze, R. (2014). *Application of Kalman-Buss model in processing of observation results of river water conditions*. Georgian Oil and Gas, (29), 17–20. Georgia, Tbilisi. (in Russian)
7. Abzianidze, D., Managadze, R., & Abzianidze, V. (2015). *Application of Kalman filtering during estimation of river water state according to discrete observations*. Georgian Oil and Gas, (30), 108–111. Georgia, Tbilisi. (in Russian)
8. Poporadze, N., Abzianidze, D., & Dvali, M. (2010). *About problems of ecological security and optimization management of ecological system*. Transactions of Georgian Technical University, 2(476), 59–63. Georgia, Tbilisi. (in Russian)
9. Abzianidze, D., Managadze, R., & Abzianidze, V. (2016). *Application of dynamic programming model for solving practical problems of ecological systems security*. Georgian Oil and Gas, (31), 79–82. Georgia, Tbilisi. (in Russian)
10. Poporadze, N., Abzianidze, D., Dvali, M., & Meskhishvili, T. (2010). *Efficiency of ecological monitoring in case of the pollution of river Mtkvari by heavy metals*. Transactions of Georgian Technical University, (477), 17–21. Georgia, Tbilisi. (in Georgian)

UDC 502.7

SCOPUS CODE 2303

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-4-280-286>

Using Ecological-Mathematical Models to Achieve the Safety of Ecological Systems

Vera Abzianidze	Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Georgian Technical University, Georgia, 0126, Tbilisi, 1 Tsminda Nino st., Digomi Village E-mail: veriko_abz@mail.ru
Rusudan Managadze	Department of Oil and Gas Technology, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75, M. Kostava str. E-mail: r.managadze@gtu.ge
Dimitri Abzianidze	Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Georgian Technical University, Georgia, 0126, Tbilisi, 1 Tsminda Nino st., Digomi Village E-mail: dimitri.abz@mail.ru

Reviewers:

Z. Varazashvili, Academic Doctor, Head of the Engineering Geology Department, Institute of Hydrogeology and Engineering Geology

E-mail: z.varazashvili@gtu.ge

T. Barabadze, professor, faculty of mining technologies, GTU

E-mail: t.barabadze@gtu.ge

Abstract. In modern conditions, the problem of ecological safety is receiving increasing attention. The need for further development of ecological safety and risk theory arises. Due to the fact that, on the one hand, humanity perceives the danger of disasters, and on the other hand, the development of science has reached the desired level for substantive analysis.

Environmental safety management can only be complex. There are no dominant problems in its provision. Their solution will not lead us to complete success. In the unstable development of society, natural and technological disasters are closely related to social trouble. Therefore, most ecological safety management methods and technologies are not effective due to its narrow direction. Many natural disasters cannot be prevented, so it is necessary to optimize state policy in the field of ecological safety, especially through the prediction and implementation of preventive measures. Risk management – this means optimally allocating resources (considering an acceptable level of security). Indicators of ecological security can be considered the health of the population, life expectancy, environmental quality, etc

Keywords: Ecological-mathematical model; Ecological system; Ecological safety.

განხილვის თარიღი 10.06.2025

შემოსვლის თარიღი 27.06.2025

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24.12.2025