

UDC 502.7

SCOPUS CODE 2303

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-1-314-321>

მათემატიკოსების გადამწყვეტი როლი ეკოლოგიური პროცესების შესწავლისას

- 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** ნავთობისა და გაზის ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75
E-mail: r.managadze@gtu.ge
- დimitრი 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, სტუ-ის ჰიდროგეოლოგიისა და საინჟინრო გეოლოგიის ინსტიტუტის აკად. დოქტორი
E-mail: z.varazashvili@gtu.ge

თ. ბარაბაძე, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის პროფესორი, აკად. დოქტორი
E-mail: t.barabadze@gtu.ge

ანოტაცია. გარემოს დაცვის პრობლემა ყოველ წელს უფრო და უფრო აქტუალური ხდება, ვინაიდან XXI საუკუნის დასაწყისი ხასიათდება ეკოლოგიური არამდგრადობით, გარემოში ეკოლოგიური წონასწორობის დარღვევით, რაც მოითხოვს ბუნებაში მიმდინარე პროცესების დეტალურ შესწავლასა და სამომავლოდ შესაბამისი სოციალური დისციპლინების განვითარებას. ხშირად წამოიჭრება ისეთი საკითხი, რომელზეც ამომწურავი პასუხის გაცემა ვერ ხერხდება, რადგან ირკვევა, რომ საზოგადოებ-

რივი მეცნიერებების წარმომადგენლთა დიდი ნაწილი არ აღმოჩნდა საკმარისად მომზადებული არსებული პრობლემის გასააზრებლად.

ხშირად, გარემოს კვლევისას ზოგიერთი საკითხი იმდენად მოულოდნელია, რომ მას არც მიიჩნევენ საზოგადოებრივი მეცნიერებების გადასაწყვეტ პრობლემად. ამასთანავე, ზოგიერთი ეკოლოგიური პროცესის არსის გასაგებად საჭიროა ექსპერიმენტულად განისაზღვროს მის საფუძველში არსებული კანონზომიერებები და დაკვირვებებისა და კვლევების მეშვეობით, მდგომარეობის პროგნოზირების

სათვის მოხდეს მისი წარმოდგენა მათემატიკური მოდელის სახით. შემდგომ კი შევძლოთ ვმართოთ ეკოლოგიური წონასწორობა გეოლოგიურ გარემოსა და ტექნოგენურ პროცესებს შორის. აღნიშნული საკითხების შესწავლისას, მათემატიკოსებს დიდი როლი ენიჭებათ.

საკვანძო სიტყვები: გარემო; ეკოლოგია; ეკოლოგიური სისტემები; მათემატიკური მოდელი.

შესავალი

არსებული განვითარებადი სისტემების შესწავლისას, რომლებსაც მიეკუთვნება ნებისმიერი ეკოლოგიური ობიექტი, იყენებენ სისტემურ კვლევებს [1]. ეკოლოგიური სისტემა განიხილება არა როგორც ერთი მთლიანი, განუყოფელი, არამედ ერთმანეთთან დაკავშირებული ელემენტების სისტემა. მათ რიცხვს მიეკუთვნება ადამიანის სამეურნეო საქმიანობის ყველა მიმართულება (მრეწველობა, სამეურნეო ინდუსტრია, კომუნალური მომსახურება და სხვ.) ყველა მათგანი წარმოადგენს მაღალორგანიზებულ, განავითარებად იერარქიულ სტრუქტურებს, რომლებიც აერთიანებენ როგორც მრავალ ერთგვაროვან, ისე სხვადასხვა ტიპის საწარმოებს, რომელთა ფუნქციონირება გაერთიანებულია ერთი საერთო მიზნით.

მათემატიკაში ობიექტს, რომლებიც შეიცავს რამდენიმე ქვეობიექტს, რომელთა ფუნქციონირება ქვემდებარება სხვადასხვა კანონზომიერებას, ეწოდება დიდი სისტემა [2].

ამჟამად, სისტემური ანალიზის ჩატარებისას, მათი შესწავლის ძირითადი მეთოდია მათემატიკური

მოდელირების მეთოდი. დიდი სისტემის მოდელირება იქმნება იმისათვის, რომ უკეთ გავიაზროთ და გამოვყოთ მისი ძირითადი ასპექტები; ამის შემდეგ, უკვე შესაძლებელია აბსტრაქტული სისტემის კვლევის შედეგები, გარკვეული წესების გათვალისწინებით, გადავიტანოთ რეალურ ეკოლოგიურ სისტემაში. სწორედ ესაა სისტემური ანალიზის გამოყენების არსი. მოდელის შექმნა ეკოლოგიური სისტემის კვლევის ძირითადი ეტაპია იმის გასათვალისწინებით, რომ კვლევის ანალიზის შედეგები მთლიანად დამოკიდებულია მოდელის ხარისხზე [3,4].

ძირითადი ნაწილი

როგორც ნებისმიერი ტიპის მოდელირება, ეკოლოგიურ-მათემატიკური მოდელირებაც ემყარება ანალოგიის პრინციპს, ანუ ხდება ძნელად შესასწავლი ეკოლოგიური ობიექტის შეცვლა სხვა, მსგავსი და უფრო მარტივი ობიექტით. ჩვენს შემთხვევაში, ასეთი ხელმისაწვდომი ობიექტია ეკო-მათემატიკური მოდელი. მოდელის შექმნისას გარკვეული თეორიები ან ჰიპოთეზები უფრო თვალსაჩინო ხდება და ხელს უწყობს შესასწავლი გარემოს დაცვითი პრობლემების შემუშავების უკეთ გააზრებას.

მათემატიკური მოდელირების ძირითადი პრაქტიკული ამოცანებია: ეკოლოგიური ობიექტის (სისტემის) ანალიზი, გარემოს ეკოლოგიური მდგომარეობის ცვლილების პროგნოზირება და მართვის გადაწყვეტილებების შემუშავება [5].

მოდელების აგების შემდეგ, ისინი აუცილებლად უნდა შემოწმდეს, ანუ შემოწმდეს მათი შესაბამისობა მოდელირებულ ეკოლოგიურ სისტემასთან. ასეთი შედარება გარკვეულწილად პირობითია, რადგან, ცხადია, შეუძლებელია რეალური სის-

ტემის მოდელთან სრულ შესაბამისობაში ყოფნა. მოდელირებისას ადეკვატურობას ვგულისხმობთ არა ზოგადად, არამედ მოდელის იმ თვისებების მიხედვით, რომლებიც ეკოლოგიური გარემოს ძირითად მახასიათებლებს წარმოადგენს.

ჩვენი აზრით, ეკოლოგიაში მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ ორი ტიპის მოდელი: ანალიტიკური, რომელიც ეფუძნება ექსპერიმენტულად დადგენილ არაერთ ნიშან-თვისებას და ემპირიული, რომელიც როგორც წესი, ეფუძნება ექსპერიმენტული მონაცემების სტატისტიკური დამუშავების შედეგებს.

ანალიტიკური მეთოდები შესაძლებელს ხდის მივიღოთ ობიექტების, ეკოლოგიური სისტემების მათემატიკური აღწერილობა მისი პარამეტრების ცვლილებების ფართო სპექტრში. უნდა აღინიშნოს, რომ თითოეული კონკრეტული შემთხვევისათვის მათემატიკური აღწერა ინდივიდუალური მიდგომის საგანია.

დღეისათვის არ არსებობს უნივერსალური ალგორითმი მოდელის ანალიტიკური წესით ასაგებად, მაგრამ შესაძლებელია გამოვყოთ ზოგიერთი საერთო მახასიათებელი და აღვწეროთ მისი აგების მეთოდიკა.

ეკოლოგიური სისტემის მოდელი შეიძლება წარმოდგენილი იყოს, როგორც სიდიდეების ერთობლიობა, რომელიც აღწერს რეალური სისტემის ფუნქციონირების პროცესს და ქმნის შემდეგ ქვეჯგუფებს: გამომავალი, მმართველი ზემოქმედება და შემაშფოთებელი ზემოქმედება პროცესზე.

დასასრულ, ჩნდება კითხვა გამომავალი ცვლილების მათემატიკური დამოკიდებულებისა შემავალ მონაცემებზე, რომელიც ხორციელდება გარკვეული

ვეული ოპერატორის გამოყენებით და ეს ყველაზე ხშირად დიფერენციალური ოპერატორია. ამ ოპერატორს ეკოლოგიური სისტემის მათემატიკური მოდელი ეწოდება.

მაგალითად: [2] როგორც ცნობილია, ეკოლოგიური სისტემის მართვის მიზანია როგორც გარემოს სათანადო ხარისხის უზრუნველყოფა, ისე მოსახლეობის ცხოვრების დონის ამაღლება და ბიუჯეტის შემოსავლების ფორმირება. შესაბამისად, ბუნებრივია, მოდელირებისას ეს მიზნები განიხილება როგორც გამომავალი პარამეტრები. ეკოლოგიური კრიზისის გამო, ეკოლოგიური სისტემის მართვა ინვესტიციებით ხორციელდება. გარემოზე მოქმედი შეშფოთებები შეიძლება დავყოთ ბუნებრივად და ანთროპოგენულად.

მათემატიკური მოდელების პრაქტიკული გამოყენება ეკოლოგიური სისტემების მართვის ამოცანების გადასაწყვეტად განიხილება ნაშრომში [6-9].

ახლა დადგა დრო, ვისაუბროთ მეორე ჯგუფის მოდელებზე. მათემატიკური მოდელების ანალიტიკური მეთოდის გამოყენება ზოგჯერ შეუძლებელი ან ძალიან რთულია. განსაკუთრებით კი ისეთი რთული სისტემებისთვის, როგორიცაა ეკოლოგიური სისტემა, მათში მიმდინარე პროცესების ცოდნის ნაკლებობის გამო. ამიტომ, პრაქტიკაში, მათემატიკური აღწერილობის მისაღებად, ფართოდ გამოიყენება ექსპერიმენტული მეთოდები, რომლებიც საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ უფრო გამარტივებული ეკოლოგიური მოდელები.

უნდა აღინიშნოს, რომ ექსპერიმენტულად მიღებული მოდელი, როგორც წესი, ლოკალურია, რადგან იგი სწორად ასახავს შემავალი და გამომავალი

სიდიდეების ურთიერთდამოკიდებულებას მხოლოდ ამ პარამეტრების ცვლილების მცირე ზონებში.

სტატისტიკური მოდელების გამოყენებით ეკოლოგს შეუძლია ჩაატაროს ფართო მასშტაბის ექსპერიმენტული კვლევები, რაც მას საშუალებას მისცემს შეაფასოს ცვლილებები; მაგ., წყლისა და ჰაერის ხარისხის შეფასებისას.

მათემატიკური სტატისტიკის ამოცანები დაყოფილია სამ ეტაპად: ექსპერიმენტულად მიღებული ფარდობითი მონაცემების შეფასება, მათი ერთმანეთთან შედარება, რასაც განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს ექსპერიმენტის ჩატარებისას (მაგ. მდინარის წყლის ხარისხის მონიტორინგისას); სტატისტიკურ მონაცემებს შორის კავშირის კვლევა. ითვლება, რომ დაყოფის ეს ვარიანტი შესაძლებელს ხდის ვიმსჯელოთ შესწავლილი ეკოლოგიური მოვლენების ხასიათზე.

გარემოს ძირითადი დამაბინძურებელი მდინარეების წყლებია, ამიტომ ეკოლოგები გარემოს დაცვის პრობლემების გადაჭრისას მნიშვნელოვან ყურადღებას უთმობენ წყლის მდგომარეობის მონიტორინგსა და კონტროლს, რაც შესაძლებელს ხდის დავაკვირდეთ არსებულ ფაქტობრივ მდგომარეობას, შევაფასოთ ზემოქმედებით გამოწვეული ცვლილებები და მოვახდინოთ გარემოს საერთო მდგომარეობის პროგნოზი. შემდგომში, გარემოსდაცვითი მონიტორინგის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ფუნქციაა დამაბინძურებლების პრიორიტეტულობის დასაბუთება. მათი დასაბუთებისას, შე-

საძლებელია შეფასდეს როგორც კონკრეტული დამაბინძურებელი ნივთიერების კონცენტრაციის წილი სხვადასხვა ფრაქციაში, ისე შეფასდეს მათი ჯამური კონცენტრაცია.

განვიხილოთ გარემოს დაცვის ამოცანის ამოხსნა კონკრეტულ მაგალითზე. ნაშრომში [1] მოყვანილია 2004–2007 წლებში მდ. მტკვრის გაჩიანი-რუსთავი-წითელი ხიდის უბანზე ტოქსიკური ლითონების შემცველობაზე ჩატარებული ჰიდროქიმიური დაკვირვებების მონაცემები. ამ მონაცვეთზე ძირითადი დამაბინძურებლებია ტოქსიკური ლითონები Mn, Co, Cr, Ni. ეს იმით აიხსნება, რომ განსახილველ უბანზე განლაგებულია სხვადასხვა მსხვილი საწარმო და ქარხანა. გარდა ამისა, ამ უბანზე არის მჭიდროდ დასახლებული პუნქტები.

იმისთვის, რომ გამოკვლეულიყო თუ რამდენად არსებითად ან არაარსებითად განსხვავდებოდა დაკვირვებების შედეგები ერთმანეთისგან წლების მიხედვით, თითოეული ქიმიური ელემენტისთვის ჩატარდა შედარებითი ანალიზი სტიუდენტის კრიტერიუმის საფუძველზე. ცხ.1-ში მოყვანილია დაკვირვების შედეგები 2004-2007 წწ.

პირველ ცხრილში, თითოეულ გრაფაში მოყვანილია სტატისტიკის ორი მნიშვნელობა: 1 – გამოთვლილი კრიტერიუმის მიხედვით, ხოლო მეორე მნიშვნელობა აღებულია სტიუდენტის ცხრილიდან. ნიშნები (+, -) აღნიშნავს, რომ საშუალო მნიშვნელობათა შორის სხვაობა აღმოჩნდა არსებითი (+) ან არაარსებითი (-).

დაკვირვების შედეგების შეფასება

მონაკვეთი	წლები ელემენტები	2004/2005	2004/2006	2004/2007	2005/2006	2005/2007	2006/2007
1	2	3	4	5	6	7	8
გაჩიანი	Cr	2.11(2.88) +	0.39(3.01) +	0.36(3.17) +	3.35(2.98) -	1.18(3.50) -	1.40(3.01) +
	Ni	0.74(3.11) +	1(2.98) +	2.01(2.37) +	2.31(2.18) -	2.75(2.23) -	0.79(2.98) +
	Mn	2.38(3.01) +	3.77(3.25) -	3.38(3.25) -	1.53(3.11) +	1.47(3.17) +	0.06(2.95) +
რუსთავი	Co	2.50(3.11) +	0.83(3.25) +	0.75(3.25) +	8.84(3.01) -	8.82(3.05) -	0.35(2.98) +
	Cr	2.18(3.05) +	1.03(2.92) +	2.07(2.98) +	1.84(3.17) +	1.23(3.05) +	1.50(3.36) +
	Ni	2.09(2.90) +	0.24(3.01) +	0.19(2.92) +	3.24(2.92) -	2.87(2.95) +	0.10(3.17) +
	Mn	2.31(2.92) +	3.71(3.17) -	4.06(3.17) -	1.27(3.11) +	1.72(3.05) +	1.21(2.95) +
წითელი ხედი	Co	2.10(3.01) +	0.31(3.17) +	0.46(3.17) +	5.13(3.17) -	5.29(3.05) -	0.68(3.01) +
	Cr	2.34(3.05) +	2.01(2.92) +	1.40(3.11) +	3.93(2.95) -	1.07(2.95) +	3.29(3.36) +
	Ni	1.69(2.9) +	1.13(3.05) +	0.53(3.05) +	2.94(3.11) +	1.84(3.01) +	1.12(2.98) +
	Mn	3.80(2.92) -	9.91(2.95) -	10.08(2.92) -	2.83(3.11) +	2.55(3.25) +	1.23(3.05) +

როგორც სტატისტიკურმა ანალიზმა აჩვენა, სამ ელემენტზე (**Co**, **Cr**, **Ni**) 2004 წლის დაკვირვების შედეგები არაარსებითად განსხვავდება 2005, 2006 და 2007 წლების მონაცემებისაგან. თუმცა ამ ელემენტებზე დაკვირვების შედეგები 2005 წელს მნიშვნელოვნად განსხვავდება 2006 და 2007 წლის მონაცემებისგან.

რაც შეეხება 2006 და 2007 წლებს, ამ პერიოდში მნიშვნელოვნად განსხვავებულია მხოლოდ **Co**-ის მნიშვნელობა გაჩიანში. შემდგომში, თუ ეკოლო-

გები გამოიყენებენ უფრო ძლიერ ვილსონ-მანას კრიტერიუმს, რომელიც ცვლის სტიუდენტის კრიტერიუმს, მათ საშუალება ეძლევათ ყოველი ტოქსიკური ლითონისთვის გამოიანგარიშონ აგრეთვე ფონური კონცენტრაცია [1]. ამისათვის უნდა განისაზღვროს კვარტალური და სეზონური ელემენტების კონცენტრაცია. მე-2 ცხრილში მოცემულია წლების მიხედვით განაწილებული კვარტალური, სეზონური და ფონური კონცენტრაცია თითოეული ტოქსიკური ლითონისათვის.

კვარტალური, სეზონური და ფონური კონცენტრაციების განაწილება წლების მიხედვით

მონაკვეთი	წელი	კვარტ. კონც.	სეზ. კონც.	ფონური კონც.	კვარტ. კონც.	სეზ. კონც.	ფონური კონც.
1	2	3	4	5	6	7	8
გაზიანი	Co მკგ/ლ				Cr მკგ/ლ		
	2004	1.40	1.40	1.40	2.76	2.83	2.83
	2005	0.69	0.54	0.69	5.50	5.89	5.89
	2006	0.82	0.82	0.82	3.25	2.82	3.25
	2007	0.7	0.7	0.7	2.93	2.93	2.93
	Ni მკგ/ლ				Mn მკგ/ლ		
	2004	4.88	4.32	4.88	60.98	64.08	64.08
	2005	5.68	6.57	6.57	31.55	25.76	31.55
	2006	2.75	2.82	2.82	20.92	16.64	20.92
	2007	2.44	2.44	2.44	15.11	15.11	15.11
რუსთავი	Co მკგ/ლ				Cr მკგ/ლ		
	2004	0.85	0.85	0.85	2.56	2.56	2.56
	2005	0.50	0.33	0.5	8.16	5.95	8.16
	2006	0.75	0.75	0.75	3.20	2.58	3.20
	2007	0.7	0.7	0.7	3.47	3.47	3.47
	Ni მკგ/ლ				Mn მკგ/ლ		
	2004	3.96	3.96	3.96	97.93	39.05	97.95
	2005	6.81	6.72	6.81	40.08	34.88	40.08
	2006	3.46	3.08	3.46	18.46	21.07	21.07
	2007	3.45	3.45	3.45	15.50	15.50	15.50
წითელი ხიდი	Co მკგ/ლ				Cr მკგ/ლ		
	2004	0.91	0.90	0.91	3.08	3.08	3.08
	2005	0.65	0.44	0.65	6.41	5.42	6.41
	2006	0.75	0.75	0.75	2.36	2.32	2.36
	2007	0.7	0.7	0.7	4.14	4.14	4.14
	Ni მკგ/ლ				Mn მკგ/ლ		
	2004	3.26	3.26	3.26	40.21	40.64	40.64
	2005	7.83	7.15	7.83	35.28	40.99	40.99
	2006	3.50	3.21	3.50	16.50	14.49	16.50
	2007	3.42	3.42	3.42	14.76	14.76	14.76

მე-2 ცხრილის მიხედვით, შეგვიძლია დავასკვნათ: მდ. მტკვრის დაბინძურების დონე საკმაოდ მაღალია. არსებული მდგომარეობის გასაუმჯობესებლად აუცილებელია გამწმენდი ნაგებობების გამოყენება [10].

სტატიების შეზღუდული მოცულობის გათვალისწინებით, შევეცადეთ, გამარტივებულად, სამეცნიერო-პოპულარული ენით გვესაუბრა ეკოლოგიაში მათემატიკური მოდელების მეთოდების გამოყენების თეორიის შესახებ.

დასკვნა

შემოთავაზებული ნაშრომი მიეკუთვნება სამეცნიერო დარგს. იგი არ შეიცავს მათემატიკურ ფორმულ

ლებს; მასში განიხილილია დღეისათვის არსებული გარემოს ეკოლოგიური მდგომარეობა და პრობლემები, რაც სრულიად ბუნებრივია, რამდენადაც სამეცნიერო პუბლიკაციის ჟანრს სულ უფრო და უფრო მეტი მნიშვნელობა ენიჭება.

წარმოდგენილი სტატია არ შეიცავს რაიმე კვლევით სიახლეს. მასში შევეცადეთ გამარტივებულად, სამეცნიერო-პოპულარული ენით გვეყვებინა ეკოლოგიაში მათემატიკური მეთოდების გამოყენების ის თეორიული ასპექტები, რომლებიც ეხება გარემოს ეკოლოგიური მდგომარეობის კვლევის პრობლემებს.

ლიტერატურა

1. Abzianidze, D., Tabatadze, G., Managadze, R., Abzianidze, V. & Inanashvili, N. (2015). Thinking of mathematicians about the ecology and its problems. Social Economy. Actual Problems of the XXI Century, 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. Tbilisi: Publishing House 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 GTU, N4(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. Tbilisi: Business-Engineering, N2, 195-197. (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, N29, 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. Georgian oil and gas, N30, 108-111. (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, N2 (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. Georgian oil and gas, N31, 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. Transactions of Georgian Technical University, N3 (477), 17-21. (In Georgian);

UDC 502.7

SCOPUS CODE 2303

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-1-314-321>

The Crucial Role of Mathematicians in the Study of Ecological Processes

- Vera Abzianidze** Institute of Hydrogeology and Engineering Geology. Georgian Technical University, Georgia, 0126, Tbilisi, Digomi Village, 1, The Apostles' Creed Tsminda Nino st.
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, Digomi Village, 1, The Apostles' Creed Tsminda Nino st.
E-mail: dimitri.abz@mail.ru

Reviewers:

- Z. Varazashvili**, Doctor of Technical Sciences, Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, GTU
E-mail: z.varazashvili@gtu.ge
- T. Barabadze**, professor, Doctor of Technical Sciences, Faculty of Mining Geology, GTU
E-mail: t.barabadze@gtu.ge

Abstract. The problem of environmental protection is becoming more and more urgent every year; the problem is explained by the fact that the beginning of the 21st century is characterized by ecological instability (instability), a violation of the ecological balance in the environment, which requires a detailed study of the processes taking place in nature and, in the future, the development of relevant social disciplines from a scientific point of view. Often, a question arises that cannot be answered exhaustively, since it turned out that a large part of the representatives of social sciences were not sufficiently prepared to understand the severity of the existing problem.

Often, some problems in environmental research are so unexpected when posed that they are not even considered to be within the competence of social sciences to solve problems. In addition, in order to understand the essence of some ecological processes, it is necessary to experimentally determine the laws underlying them and then, with the help of observations and research, present them in the form of a mathematical model in order to predict the state of the environment and manage the processes of ecological equilibrium between the geological environment and technogenic processes. Mathematicians play a major role in studying these issues.

Keywords: ecological systems; ecology; environment; mathematical model.

განხილვის თარიღი 12.11.2024

შემოსვლის თარიღი 04.12.2024

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 25.03.2025