

## სხვადასხვა საშიში და კატასტროფული მეტეოროლოგიური მოვლენის ერთდროული რეალიზაციის სტოქასტიკური პროცესის მოდელირება

\*ელიზბარაშვილი მ., \*\*ელიზბარაშვილი ე., \*\*ელიზბარაშვილი შ.

\*ივანე ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო  
\*\*საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, თბილისი, საქართველო

**ანოტაცია:** წარმოდგენილია საშიში და კატასტროფული მეტეოროლოგიური მოვლენების ერთდროული რეალიზაციის მოდელირების კონცეფცია. განხილულია მოდელირების რამოდენიმე ვარიანტი.

**საკვანძო სიტყვები:** კატასტროფული მეტეოროლოგიური მოვლენა, სტოქასტიკური პროცესი, მოდელირება.

საშიში, ან კატასტროფული მეტეოროლოგიური მოვლენების, რომლებიც ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი არიან, წარმოქმნის ფიზიკურ პროცესს სტოქასტიკური ხასიათი აქვს, ამიტომ ის შეიძლება განხილულ იქნას, როგორც შემთხვევითი პროცესი ალბათობის თეორიაში ცნობილი თეორემების საფუძველზე [2].

სტოქასტიკის ძირითადი დებულებების თანაცმად დამოუკიდებელ მოვლენათა  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ , კომპლექსის ალბათობა შეიძლება გამოთვლილ იქნას ალბათობათა გამრავლების თეორემის თანახმად [1]:

$$P\left(\prod_{i=1}^n A_i\right) = \prod_{i=1}^n P(A_i)$$

ხოლო თავსებადი მოვლენების განხორციელების ალბათობა განისაზღვრება ალბათობათა შეკრების თეორემით;

$$P(\sum A_i) = \sum P(A_i) - \sum P(A_i A_j) + \sum P(A_i A_j A_k) - \dots + (-1)^{n-1} P(A_1 A_2 \dots A_n),$$

სადაც  $P(A_{ij k})$ – არის  $A_{ij k}$ –მოვლენათა ალბათობა,  $ij k = 1, 2, 3, \dots, n$ .

$A$  მოვლენის განხორციელებისას, რომელიც ჩნდება რომელიმე  $H_1, H_2, H_3, \dots, H_n$ , მოვლენასთან ერთად, რომელიც ქმნის მოვლენათა სრულ ჯგუფს,  $H_k$  –მოვლენის ახალი ალბათობები გამოითვლება ბაიესის ფორმულით:

$$P(H_k | A) = \frac{P(H_k)P(A|H_k)}{\sum_{i=1}^n P(H_i)P(A|H_i)}$$

ვთქვათ  $A$  და  $B$  მოვლენა შეიძლება წარმოიქმნას გარკვეული პირობების შესრულებისას და შექმნას ურთიერთ შეუთავსებელი მოვლენათა სრული სისტემა:

$$(AB), (A\bar{B}), (\bar{A}B), (\bar{A}\bar{B}).$$

პირველი მათგანი ნიშნავს, რომ წარმოიშვა ორივე მოვლენა. მეორე ნიშნავს, რომ წარმოიშვა  $A$  მოვლენა და არ წარმოიშვა  $B$  მოვლენა და ა.შ.

თუ ცნობილია მოვლენათა ალბათობები  $P(A)$  და  $P(B)$ , მაშინ გამრავლების თეორემის თანახმად:

$$P(AB) = P(A) P(B)$$

$$P(AB_) = P(A) - P(AB)$$

$$P(A_B) = P(B) - P(AB)$$

$$P(A_B_) = 1 - \{P(AB) + P(AB_) + P(A_B)\}$$

თუ კი განხორციელდა რაიმე  $H$  მოვლენა, რომელიც თავსებადია ( $AB$ ) სისტემის ერთერთ მოვლენასთან მაინც, მაშინ ბაიესის თეორემის თანახმად ახალი პირობითი ალბათობები განისაზღვრება ფორმულით:

$$P\{(AB)|H\} = \{P(AB)P(H|AB)\} / \{P(AB)P(H|AB) + P(H|AB_i)\}$$

ნარმოდგენილი ფორმულების გამოყენებით განვიხილოთ მოდელური გამოთვლების რამოდენიმე ვარიანტი:

**ნალექები-ძლიერი ქარი.** ცხრილში 1 ნარმოდგენილია ნალექების და ძლიერი ქარის (15მ/წმ და მეტი) ერთობრივი რეალიზაციის ალბათობების წლიური სვლა განსხვავებულ ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებში [3,4].

ცხრილი 1. ნალექების და ძლიერი ქარის ერთობრივი რეალიზაციის ალბათობები, %

ალბათობა	პუნქტი (სიმაღლე)	თვეები											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$P(AB)$	სამტრედია(28)	5	4	6	4	2	0.8	0.4	0.8	2	3	3	5
	თბილისი(403)	1.6	1.6	3	2.8	3	2	1.2	0.8	1.2	1.2	0.8	1
	მთა-საბუეთი(1242)	21	21	23	21	21	17	15	18	18	20	18	18
$P(A+B)$	სამტრედია(28)	51	48	53	48	44	41	41	38	43	44	43	51
	თბილისი(403)	28	28	37	44	53	43	33	29	33	33	29	28
	მთა-საბუეთი(1242)	73	72	75	72	73	70	65	66	68	70	66	68
$P(A B)$	სამტრედია(28)	50	44	50	44	40	40	40	40	40	43	37	42
	თბილისი(403)	23	26	30	40	50	40	30	26	30	40	26	20
	მთა-საბუეთი(1242)	54	54	55	50	54	57	47	46	42	48	43	47

ცხრილიდან გამომდინარეობს, რომ აღნიშნული კომპლექსის ალბათობა მნიშვნელოვნად მეტია მთაში და კოლხეთის დაბლობზე და ნაკლებია აღმოსავლეთ საქართველოს ბარში. ამავე დროს კოლხეთის დაბლობისათვის უდიდესი ალბათობა დამახასიათებელია ზამთრისა და გაზაფხულის დასაწყისისათვის, აღმოსავლეთ საქართველოს ბარისათვის – გაზაფხულისა და ზაფხულის დასაწყისისათვის, ხოლო მთებში მთელი წლის განმავლობაში მაღალია და რამდენადმე კლებულობს ივლისიდან სექტემბრის ჩათვლით.

**1. კატასტროფული მეტეოროლოგიური მოვლენები.** ცხრილში 2 ნარმოდგენილია ზოგიერთი კატასტროფული მოვლენის ერთდროული რეალიზაციის ალბათობები.

ცხრილი 2. კატასტროფული მეტეოროლოგიური მოვლენების ერთდროული რეალიზაციის ალბათობები. (%)

რაიონი	R50-Hu		R50-Fd		Hu- Fd		B- Fd	
	P(AB)	P(A+B)	P(AB)	P(A+B)	P(AB)	P(A+B)	P(AB)	P(A+B)
ქუთაისი	0.004	1.4	0.006	2	0.02	2.6	0.002	1.7
თბილისი	0.001	11	0.002	1.7	0.0002	13	0.0008	1.6
მამისონის უღ.	0	0.9	0	44	0.4	45	10	68

აქ **R50**– კატასტროფული ნალექებია, როდესაც მათი დღეღამური ჯამი აღემატება 50 მმ-ს [7], **Hu** – გრივალური ქარია [5], რომლის სიჩქარეც აღემატება 32მ/წმ–ს, **Fd** –საშიში ნისლია, როდესაც ხილვადობის არე არ აღემატება 50მ-ს [8], **B** – ქარბუქია [6]. როგორც ცხრილიდან ჩანს წარმოდგენილი მეტეოროლოგიური კომპლექსებიდან კოლხეთის ბარში ყველაზე ალბათურია გრივალური ქარი – საშიში ნისლი (**Hu- Fd**), აღმოსავლეთ საქართველოს ბარში – კატასტროფული ნალექები – გრივალური ქარი (**R50-Hu**), ხოლო კავკასიონზე – ქარბუქი – საშიში ნისლი (**B- Fd**).

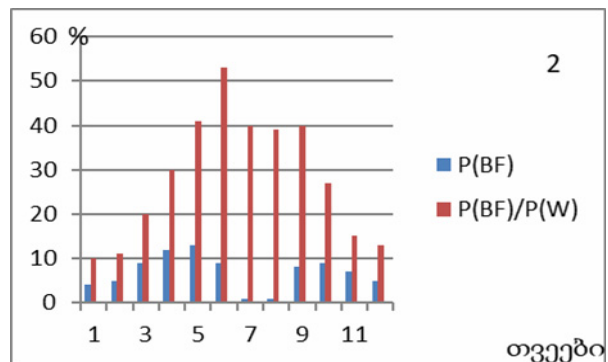
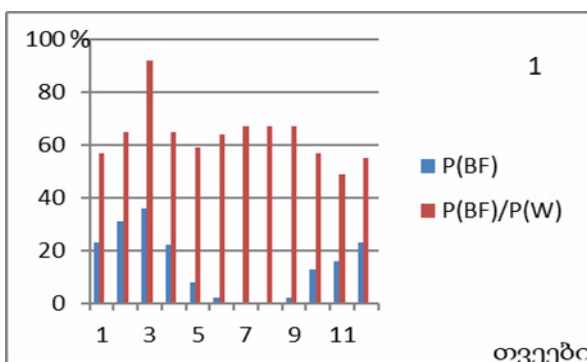
**2. კატასტროფულ მეტეოროლოგიურ მოვლენათა სრული სისტემა.** ცხრილში 3 წარმოდგენილია ზოგიერთი კატასტროფული და საშიში მეტეოროლოგიური მოვლენის ერთდროული რეალიზაციის სხვადასხვა კომბინაციების ალბათობები.

ცხრილი 3. ზოგიერთი კატასტროფული და საშიში მეტეოროლოგიური მოვლენის ერთდროული რეალიზაციის სხვადასხვა კომბინაციების ალბათობები (%) მამისონის უღელტეხილზე

კომბინაცია	R50-Hu	R50-Fd	Ha -Hu	Ha- Fd	Hu- Fd	B- Fd
<b>P(AB)</b>	0	0	0.1	1	0.4	10
<b>P(AB<sub>⊂</sub>)</b>	0	0	2.1	1.2	0.5	13.8
<b>P(A<sub>⊂</sub>B)</b>	0.9	44	0.8	42.8	43.4	33.8
<b>P(A<sub>⊂</sub>B<sub>⊂</sub>)</b>	99.1	56	97	55	55.7	42.4

აქ **Ha** არის სეტყვა, დანარჩენი აღნიშვნები ცნობილია. როგორც ცხრილი 3-დან ჩანს ერთდროული რეალიზაციის ყველაზე მაღალი ალბათობა (10%) შეესაბამება კომპლექსს ქარბუქი – საშიში ნისლი (**B- Fd**), რაც თავისთავად ძალიან სახიფათო მოვლენაა. 14%-მდე ალბათობით მოსალოდნელია მხოლოდ ქარბუქი (**B**), ხოლო 34%-მდე ალბათობით მოსალოდნელია საშიში ნისლი (**Fd**).

**3. სამგანზომილებიანი კომპლექსები.** ნახ.1–ზე წარმოდგენილია ქარბუქის და ნისლის ერთდროული რეალიზაციის ალბათობების წლიური სვლა რეალურ პირობებში და ძლიერი ქარის შემთხვევაში კავკასიონის მაღალმთიან ზონაში, ბაიესის ფორმულის თანახმად.



ნახ.1-ზე წარმოდგენილია ქარბუქის და ნისლის ერთდროული რეალიზაციის ალბათობების წლიური სვლა რეალურ პირობებში **P(BF)** და ძლიერი ქარის შემთხვევაში **P{(BF)|W}**:. 1- მამისონის უღ., 2-ყაზბეგი

ნახ.1-დან ჩანს, რომ ძლიერი ქარის შემთხვევაში ქარბუქის და ნისლის ერთდროული რეალიზაციის ალბათობა მნიშვნელოვნად იზრდება. მაგალითად მამისონის უღელტეხილზე მარტის თვეში ალბათობა გაიზარდა 35-დან 92%-მდე. ალბათობების განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი ზრდა აღინიშნება აპრილიდან ოქტომბრის ჩათვლით. სწორედ ეს პერიოდი

ხასიათდება ქარის შესუსტებით. ამიტომ მიუხედავად თოვლის საფარის არსებობაზე მაღალმთიან ზონაში, ამ პერიოდში ქარბუქის ალბათობა მინიმალურია. ქარის გაძლიერების შემთხვევაში კი წარმოიქმნება ქარბუქის გააქტიურებისათვის ხელსაყრელი პირობები, რაც აისახება მოდელირების შედეგებზე (ნახ.1).

## ლიტერატურა

1. Агемян Т.А. Основы теории ошибок. // Москва, Наука, 1972, 170с.
2. Кобышева Н.В. Косвенные расчеты климатических характеристик. // Ленинград, Гидрометеиздат., 1971, 191 с.
3. Научно-прикладной справочник по климату СССР. // Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6, вып.14, Ленинград, Гидрометеиздат, 1979, 347 с.
4. Справочник по климату СССР. // вып.14, часть 1–5. Ленинград, Гидрометеиздат, 1970, 315с.
5. Элизбарашвили Э. Ш., Варазанашвили О.Ш., Церетели Н.С., Элизбарашвили М.Э. Ураганные ветры на территории Грузии. // Метеорология и гидрология, №3, 2013, с. 43-46.
6. Elizbarashvili E., Elizbarashvili M., Kartvelishvili L., Pipia M., Elizbarashvili Sh., ' Blizzards on the Territory of Georgia. // European Geographical Studies, 5(1), 2018, pp. 50–60.
7. Elizbarashvili E., Elizbarashvili M., Pipia M., Chelidze N. Catastrophic Precipitation in Georgia. // European Geographical Studies, 6(1), 2019, pp. 50–60.
8. Varazanashvili O, Tsereteli N, Amiranashvili A, Elizbarashvili E et al. Vulnerability, hazards and multiple risk assessment for Georgia. // Natural Hazards, vol.64, 2012, pp. 2021-2056.

## MODELING OF THE STOCHASTIC PROCESS OF JOINT IMPLEMENTATION OF VARIOUS DANGEROUS AND CATASTROPHIC METEOROLOGICAL PHENOMENA

Elizbarashvili M.E., Elizbarashvili E.Sh, Elizbarashvili Sh. E.

*Summary:* The concept of modeling the joint implementation of hazardous and catastrophic meteorological phenomena is presented. Several modeling options are considered.

*Key words:* catastrophic meteorological phenomenon, stochastic process, modeling.