

ნალექთა ხელოვნური რეგულირების რეტროსპექტული ანალიზი

¹კაპანაძე ნ., ¹მკურნალიძე ი., ^{1,2}ფიფია მ.

¹საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
knaili1990@gmail.com

²ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
მიხეილ ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი

ნალექთა ხელოვნური რეგულირება გულისხმობს ღრუბლებზე ზემოქმედების შედეგად ატმოსფერული ნალექების ინტენსივობისა და რაოდენობის მიზანდასახულ შემცირებას, გაზრდას ან სტიმულირებას, რაც აღმოსავლეთ საქართველოს ბუნებრივი პირობებისთვის ყველაზე აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს.

საქართველოს ტერიტორიაზე ატმოსფერული ნალექებისა და მათი რეჟიმის ცალკეული მახასიათებლების შესწავლას საუკუნეზე მეტი ხნის ისტორია გააჩნია. ბოლო პერიოდში ამ პრობლემის გამოკვლევას მიემდვნა რიგი შრომებისა, რომლებშიც განხილულია სეტყვის პროცესების თავისებურებანი აღმოსავლეთ საქართველოში [1], ნალექთა განაწილების კავშირი რელიეფთან, [2], დამოკიდებულება აეროსინოპტიკურ პირობებზე [3,4], ცვლილება სიმაღლის მიხედვით და კავშირი მიკროციკლური პროცესებთან [5], თოვლის საფარის ფორმირების პირობები [6], ნალექთა კლიმატური განაწილება საქართველოს ტერიტორიაზე [7], კონვექციურ ნალექთა დინამიკის თავისებურებანი [8], უხვი ნალექების ფორმირებისა და პროგნოზირების საკითხები [9,10,11], ნალექთა რეგიონალური განაწილება და კავშირი მიკროციკლური პირობებთან [12], კონვექციურ ნალექთა გეოგრაფიული განაწილება და პროგნოზირების ცალკეული საკითხები [13], ნალექთა საუკუნობრივი მსვლელობა [14,15]. ცალკე აღნიშვნას იმსახურებს ნალექთა სტატისტიკური სტრუქტურის დეტალური ანალიზი, რომელიც ჩაატარეს ალიბეგოვამ და ელიზბარაშვილმა [16] ამიერკავკასიისა და, კერძოდ, საქართველოს ტერიტორიისთვის. რიგ შრომებში შესწავლილ იქნა აგრეთვე კონვექციურ ღრუბელთა ენერგეტიკული [17] და რადიოლოკაციური მახასიათებლები [18,19].

მთელი რიგი შრომებისა მიემდვნა ნალექთა ხელოვნური გაზრდისა და სეტყვასთან ბრძოლის სხვადასხვა ასპექტების დამუშავებას აღმოსავლეთ საქართველოს ცალკეული რეგიონებისათვის [20,21,22]. შესწავლილ იქნა სეტყვისა და თხევად ნალექთა კლიმატოლოგიური პარამეტრების სტატისტიკური მახასიათებლები [23,24,25] კონვექციური ღრუბლების განვითარებასთან დაკავშირებული აეროსინოპტიკური პირობები [26], აღნიშნული ტიპის ღრუბლების რიგი რადიოლოკაციური მახასიათებლებისა [27], ღრუბლებზე ზემოქმედებისას მაკრისტალური და ჰიგროსკოპული რეაგენტების დოზირების გავლენა ნალექთა ხელოვნური გაზრდის ეფექტურობაზე.

ბაზე [28], ნხგ ეფექტურობის შეფასების საკითხები [29,30], სეტყვის საწინააღმდეგო ოპერაციების გავლენა ნალექების რეჟიმზე [22,31,32] და სხვ.

როგორც ცნობილია, ღრუბლებში ნალექწარმოქმნელ პროცესებზე უშუალო ზემოქმედების პირველი ცდები გასული საუკუნის 30-იან წლებში ჰოლანდიასა და საბჭოთა კავშირში იქნა ჩატარებული, რომელთა მეცნიერულ დასაბუთებას დიდად შეუწყო ხელი იმავე პერიოდში ბერჟერონისა და ფინდაიზენისა მიერ ნალექთა წარმოქმნის თეორიის დამუშავებამ. ნალექთა ხელოვნური რეგულირების (ნხგ) სამუშაოთა განვითარებას მნიშვნელოვანი სტიმული მისცა 1946 წელს შეფერისა და ვონეგატის მიერ ვერცხლის იოდიდისა (AgI) და მშრალი ყინულის (მყარი CO₂) ყინულწარმოქმნელი თვისებების აღმოჩენამ, რასაც 1947 წლიდან მოჰყვა ნხგ საწარმოო პროექტების დაწყება ჩრდილო ამერიკაში, სამხრეთ აფრიკაში, ავსტრალიაში და სხვ. მსგავსი სამუშაოები გართოდ გავრცელდა სხვა ქვეყნებშიც (აშშ, სსრკ, ისრაელი, ინდოეთი, მექსიკა, კანადა, ჩინეთი, ცენტრალური ამერიკისა და აფრიკის რიგი ქვეყნებისა). ხოლო 70-იანი წლების ბოლოს და 80-იანი წლების დასაწყისში მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის მიერ (მმო) მიერ ესპანეთში ჩატარებულ იქნა ნალექთა გაზრდის საერთაშორისო ექსპერიმენტი, რომელმაც ცხადყო, თუ რა დიდი სამეცნიერო, ტექნიკური და ორგანიზაციული ამოცანებია ჯერ კიდევ გადასაწყვეტი აღნიშნული პრობლემის თანამედროვე დონეზე დასამუშავებლად [33].

სეტყვასთან ბრძოლის (სბ) პრაქტიკული სამუშაოები პირველად გასული საუკუნის 50-იანი წლების დასაწყისში ორგანიზებულ იქნა იტალიასა და საფრანგეთში. შემდეგში ამ სამუშაოების დანერგვა დაიწყო აშშ, სსრკ, ჩინეთში, კანადაში, სამხრეთ ამერიკასა და შვეიცარიაში. ამჟამად კი სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოები მიმდინარეობს გერმანიაში, ბულგარეთში, უნგრეთში, ყოფილ იუგოსლავიის ზოგიერთ რესპუბლიკაში, საბერძნეთში, ესპანეთში, არგენტინასა და ყოფილი საბჭოთა კავშირის რიგ რესპუბლიკებში.

კონვექციური პროცესების შესწავლა საბჭოთა კავშირში დაიწყო 1953-1954 წლებში საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ალაზნის ექსპედიციაში ა. ბუხნიკაშვილისა და ა. ქარცივაძის ხელმძღვანელობით. 1956 წლიდან ამ პროფილის სამუშაოებმა ჩამოყალიბება იწყო საკავშირო მეცნიერებათა აკადემიის იალბუზის ექსპედიციაშიც, რომელსაც ხელმძღვანელობდა პროფ. ა. სულაქველიძე. 1957 წელს ალაზნის ექსპედიციის მუშაობაში ჩაება თბილისის (1963 წლიდან - ამიერკავკასიის) სამეცნიერო-კვლევითი ჰიდრომეტეოროლოგიური ინსტიტუტიც, რომლის დირექტორი 1975 წლამდე იყო ვ. ლომინაძე. ამ პერიოდში ჩატარებული თეორიული და საველე გამოკვლევების შედეგად 1960 წლისთვის საბჭოთა კავშირში ჩამოყალიბებული იქნა მძლავრი კონვექციური ღრუბლის რამდენიმე ნახევრადემპირიული მოდელი, რომელთა საფუძველზე დამუშავდა სეტყვის პროცესებზე ზემოქმედების წინასწარი მეთოდოლოგია. მის ჩამოყალიბებაში აქტიური მონაწილეობა მიიღო აგრეთვე სსრკ ჰიდრომეტეოროლოგიური სამსახურის რიგმა წამყვანმა სამეცნიერო დაწესებულებებმა (ცენტრალურმა აეროლოგიურმა ობერვატორიამ, გამოყენებითი გეოფიზიკურმა ინსტიტუტმა და სხვ.). ზემოთაღნიშნული ორგანიზაციების ძალისხმევითა და და სხვა საკავშირო დაწესებულებების მხარდაჭერით საბჭოთა კავშირში პარალელურად დიდი მუშაობა მიმდინარეობდა ღრუბელში რეაგენტის შემტანი ტექნიკური საშუალებების შესაქმნელად, რის შედეგად 1961 წლისთვის დამუშავდა სპეციალიზებული სეტყვის საწინააღმდეგო რაკეტები: „Облако“, „ПГИ“, და საარტილერიო ჭურვი „Эльбрус“. ეს უკანასკნელი შეიქმნა გ. სულაქველიძის ხელმძღვანელობით ჩრდილო კავკასიაში (მაღალმთიანი

გეოფიზიკის ინსტიტუტი, ნალჩიკი). მოგვიანებით 60-იანი წლების მეორე ნახევარში ა. ქარცივაძის თაოსნობით დამუშავდა მაღალეფექტური სარაკეტო სისტემა „ალაზანი“.

ყოველივე ამან შესაძლებელი გახადა 1961 წელს კახეთში ჩამოყალიბებულიყო ყოფილ სსრ კავშირში პირველი სეტყვასთან ბრძოლის სპეციალიზებული სამსახური დასაცავი ტერიტორიით 50 ათასი ჰა, რომელიც 70-იანი წლების დასასრულისთვის თითქმის 650 ათასი ჰა -მდე გაიზარდა. ღრუბლებზე ზემოქმედება ამ რეგიონში ტრადიციულად ტარდებოდა მაკრისტალეზული რეაგენტით აღჭურვილი რაკეტების გამოყენებით საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტში დამუშავებული მეთოდის საფუძველზე [34].

პარალელურად, 60-იანი წლების დასაწყისში ამიერკავკასიის სამეცნიერო-კვლევითი ჰიდრომეტეოროლოგიური ინსტიტუტის მიერ საქართველოში დამუშავდა სეტყვასთან ბრძოლის განსხვავებული, ე.წ. „კომბინირებული“ მეთოდი, რომელიც გულისხმობდა სეტყვასაშიში ღრუბლის ერთდროულ დამუშავებას მაკრისტალეზული (AgI) და ჰიგროსკოპული (NaCl) რეაგენტით როგორც გადაცივებულ, ასევე თბილ ნაწილში ნალექწარმომქმნელი პროცესებზე ზემოქმედების მიზნით [35]. ეკოლოგიურად უვნებელი რეაგენტის (NaCl) გამოყენების შედეგად მაკრისტალეზული რეაგენტის შედარებით მცირე ხარჯის გამო ამ მეთოდს გარკვეული უპირატესობა გააჩნდა ცენტრალური აეროლოგიური ობსერვატორიისა და გეოფიზიკის ინსტიტუტის მიერ შემუშავებულ მეთოდთან შედარებით. გასული საუკუნის 60-იანი წლების დასაწყისისთვის ეს მეთოდი წარმატებით გამოიყენებოდა სასოფლო-სამეურნეო კულტურების დასაცავად ქვემო ქართლის ტერიტორიის 200 ათას ჰა ფართობზე, რომელმაც 70-იანი წლებისთვის 400 ათას ჰა-ს მიაღწია. ღრუბლებში ორივე სახის რეაგენტის შესატანად ამ რეგიონში ტრადიციულად მოიხმარებოდა საზენიტო ჭურვები „ელბრუსი“ საზენიტო დანადგარებით კს-19-ით. 1965-1984 წლებში ვერცხლის დეფიციტის გამო კახეთის რეგიონში რეაგენტად გამოიყენებოდა ტყვიის იოდიდი (PbI₂), ქართლის რეგიონში კი, რეაგენტის მცირე ხარჯის გამო - ვერცხლის იოდიდი (AgI) და სუფრის მარილი (NaCl).

საკავშირო ჰიდრომეტსამსახურის ხელმძღვანელობამ, ზემოქმედების მეთოდების უნიფიკაციისა და სარაკეტო სისტემა „ალაზანის“ საზღვარგარეთ დანერგვის აუცილებლობიდან გამომდინარე, გეზი კომბინირებული მეთოდის შეკვეცაზე აიღო, რასაც მოჰყვა 80-იანი წლების შუა პერიოდში მისი ფაქტობრივი ლიკვიდაცია. აქვე აღსანიშნავია, რომ პრაქტიკული გამოცდილებიდან გამომდინარე, ზემოქმედების სარაკეტო მეთოდი უფრო იოლი განსახორციელებელი აღმოჩნდა, ვიდრე საარტილერიო მეთოდი, რომელიც ფიზიკურად და მორალურად მოძველებული სარზენიტო ქვემეხების გამოყენებაზე იყო დამყარებული.

ღრუბლებზე დაკვირვებისა და ზემოქმედების ჩასატარებლად დაინერგა რადიოლოკაციური სადგური МРЛ-5. საერთაშორისო გამოცდილების საფუძველზე დამუშავდა ნალექწარმომქმნელ პროცესებზე ზემოქმედების ძირითადი კონცეფციები როგორც სეტყვასთან ბრძოლის, ასევე (მოგვიანებით) ნალექთა ხელოვნური სტიმულირებისა და ინტენსიფიკაციის მიზნით (ცხრ.1) [36].

თუმცა, ორივე რეგიონში სეტყვის პროცესებზე ზემოქმედების ეფექტურობის კონტროლის საკითხი კვლავ პრობლემად რჩებოდა. სრულფასოვანი საკონტროლო ტერიტორიების უქონლობისა და რანდომიზაციის შეუძლებლობის გამო ჩატარებული სამუშაოების ეფექტურობა ფასდებოდა სეზონის ბოლოს, დასეტყვილი ფართობების შედარების გზით ზემოქმედების დაწყებამ-

დე დასეტყვილ გასაშუალოებულ ფართობებთან. საწარმოო სამუშაოებში ვერ მოხერხდა მართვის ავტომატიზებული სისტემების დანერგვა, ხოლო ზემოქმედების კონტროლისათვის ღრუბელთა მათემატიკური მოდელებისა და სტატისტიკური შეფასებების სხვადასხვა თანამედროვე ხერხებისა და მეთოდების გამოყენება.

ღრუბლებში მიმდინარე მიკროფიზიკური პროცესების შესასწავლად 70-იან წლებში როგორც გეოფიზიკის, ასევე ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში ამოქმედდა საღრუბლო კამერები, მაგრამ ექსპლოატაციის პროცესში წამოჭრილი რთული ტექნიკური ამოცანების დაუძლეველობის შედეგად 80-იანი წლებისთვის მათი გამოყენება სამეცნიერო გამკვლევებში შესუსტდა.

ცხრილი 1. ნალექწარმომქმნელ პროცესებზე ზემოქმედების ძირითად კონცეფციები [36]

N	ზემოქმედების მიზანი	ზემოქმ. ობიექტი	ზემოქმედების ტექნოლოგია	დაკვირვების ტექნოლოგია	ვერიფიკაციის მეთოდები	შენიშვნები
1	ნალექთა ხელოვნური გამოწვევა ან გაზრდა	Cu cong, Cb	AgI, CO ₂ -თვითმფრინავი, მიწისპირა გენერატორები	რ/ლოკატორი, ნალექმზომი ქსელი	რანდომიზაცია, ისტორიული რიგები	გვერდითი ეფექტი - ღრუბლის დაშლა
			AgI, CO ₂ , NaCl-თვითმფრინავი, რაკეტები, ჭურვები	რ/ლოკატორი, ნალექმზომი ქსელი	რანდომიზაცია, ისტორიული რიგები	გვერდითი ეფექტი-ღრუბლის დაშლა
2	სეტყვასთან ბრძოლა	Cb	თვითმფრინავი, რაკეტები, ჭურვები	რ/ლოკატორი, ნალექმზომი ქსელი	რანდომიზაცია, ეკონ.ზარალი, ისტორიული რიგები	გვერდითი ეფექტი-ღრუბლის დაშლა
3	ნალექთა ხელოვნური შემცირება/ღრუბელთა დაშლა შავი ზღვის სანაპირო ზონაში (პროექტი)	Ns, Cb	AgI, CO ₂ თვითმფრინავი	რ/ლოკატორი, ნალექმზომი ქსელი	რანდომიზაცია, ისტორიული რიგები	ზემოქმედება ტარდება ზღვაში, ნაპირთან მიახლოებამდე 30 კმ წინსწრებით

ფართომასშტაბიან პრაქტიკულ სამუშაოებსა და მეცნიერულ გამოკვლევებს შორის წარმოქმნილმა შეუსაბამობამ დაიწყო უარყოფითი შედეგების გამოღება. გასული საუკუნის 70-იანი წლების დასასრულისთვის გაჩნდა ეჭვები ამ მეთოდების არც თუ მაღალი ეფექტურობის თაობაზე. ეს პროცესი გაძლიერდა საკავშირო სისტემისათვის დამახასიათებელი დირექტივების გათვალისწინების გამო, რის შედეგადაც ზემოქმედების არსებული მეთოდების დასახვეწად აუცილებელი სამეცნიერო კვლევების ნაცვლად წარმოებდა დასაცავი ტერიტორიების უწყვეტი ზრდა (ცხრ.2).

1977 წლის სექტემბერში შიდა კახეთის რაიონებს სეტყვის ძლიერმა პროცესმა გადაუარა, რამაც შეიწირა ასაღებად გამზადებული მოსავლის დიდი ნაწილი. სეტყვასთან ბრძოლის სამსახური მოუმზადებელი და უძლური აღმოჩნდა ამ პროცესებთან საბრძოლველად. სპეციალურმა სამთავრობო კომისიამ დეტალურად შეისწავლა საკითხი, მაგრამ მისი დასკვნები არ აღმოჩნდა საკმარისი საქმის გამოსასწორებლად. ამის შემდეგ საზოგადოებრივმა მეურნეობებმა დაიწყეს

სეტყვით მიყენებული ზარალის ხელოვნურად სისტემატური გადიდება საკუთარი ეკონომიკური მდგომარეობის გამოსასწორებლად.

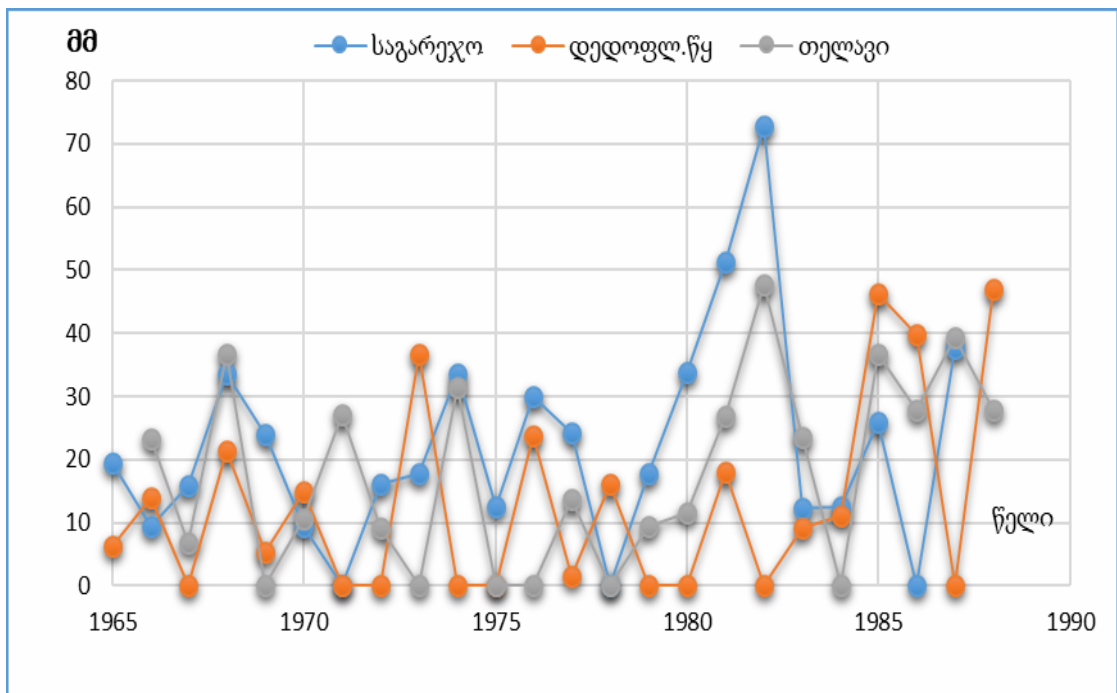
არსებული მეთოდების სუსტი მეცნიერული ბაზისის, აგრეთვე სეტყვასთან ბრძოლის სამსახურების მიერ დაშვებული ტექნიკური შეცდომების შედეგად იმატა დასაცავ ტერიტორიაზე სეტყვის მოსვლის შემთხვევებმაც [37].

ცხრილი 2. კახეთის რეგიონის დასაცავ ტერიტორიაზე 1967-1988 წწ პერიოდში მიმდინარე სეტყვის პროცესებზე ზემოქმედების შედეგები.

წელი	დასაცავი ტერიტორიის ფართობი (ათასი ჰა)	გასროლილი ნაწარმის რაოდენობა ტიპების მიხედვით (ცალი)			დამუშავებული ღრუბლების რაოდენობა	ფაქტიური ზარალი 100%-ით განადგურებაზე გადაყვანით (ათასი ჰა)
		„პგი“	„ობლაკო“	ალაზანი		
1967	340	1665	2017	-	186	1.3
1968	490	2993	2900	-	412	1.8
1969	490	-	2830	-	315	1.7
1970	490	-	2793	700	307	0.4
1971	490	-	938	3150	310	1.4
1972	640	-	-	7853	295	1.0
1973	640	-	-	8526	368	1.3
1974	640	-	-	25227	362	2.1
1975	640	-	-	20707	662	1.6
1976	690	-	-	24356	578	0.74
1977	690	-	-	22521	693	1.85
1978	690	-	-	11742	446	2.05
1979	690	-	-	19487	472	1.7
1980	720	-	-	31973	812	2.05
1981	720	-	-	29904	795	4.0
1982	720	-	-	42100	927	5.98
1983	720	-	-	32736	714	16.4
1984	770	-	-	9320	672	0.87
1985	785	-	-		780	6.8
1986	785	-	-		942	5.6
1987	785	-	-		1220	8.5
1988	785	-	-		1520	3.6
სულ		4658	11478	290302	13788	72.74

აქ აღსანიშნავია ის გარემოებაც, რომ გასული საუკუნის 80-იან წლებში დასაცავი ტერიტორიის 80% დაკავშირებული აღმოჩნდა ზემოლავრი ტიპის პროცესებთან [38], რომელთა

დათრგუნვა იმ დროისათვის არსებული ტექნიკურ საშუალებათა გამოყენებით შეუძლებელი აღმოჩნდა. ეს პროცესები, როგორც წესი, შეიცავენ ე.წ. „სუპერუჯრედიან ღრუბლებს“ დიამეტრით 10-20 კმ და სიმაღლით 15 კმ-მდე. ასეთი გიგანტური მასშტაბების მოცულობებში მაკროსტასტიკური რეაგენტის საჭირო კონცენტრაციის (10^5 - 10^6 მ³) შექმნა მოითხოვს რეაგენტის ფანტასტიკური ინტენსივობით ხარჯვას, რაც ეკოლოგიურად და ეკონომიკურად გაუმართლებელია, ხოლო ტექნიკურად შეუძლებელი. ღრუბელთა არასრული დამუშავებისას კი სეტყვის პროცესის დათრგუნვის ნაცვლად, პირიქით, მისი გაძლიერების საშიშროება იქმნება [39]. სწორედ ამან განაპირობა ნახ. 1-ზე გამოსახული მძლავრი პროცესების დროს მოსული სეტყვის ინტენსივობის ზრდის ტენდენცია და მატერიალური ზარალის უპრეცედენტო გაზრდა. ცხადი გახდა, რომ სეტყვასთან ბრძოლის ეფექტურობის მკვეთრი ამაღლებისათვის საჭირო იყო ზემოქმედების ახალი კონცეფციის დამუშავება და ახალი ტიპის ტექნიკურ საშუალებათა გამოყენება.



ნახ. 1. სეტყვის სახით მოსულ ნალექთა დინამიკა საგარეჯოს, დედოფლისწყაროსა და თელავის მუნიციპალიტეტებში (1965-1988 წწ) [36].

ამასთან ერთად, მოსახლეობაში გაჟონა ინფორმაციამ გასულ წლებში ეკოლოგიურად მავნე რეაგენტის - იოდოვანი ტყვიის ხმარების შესახებ. ყოველივე ამან 1980-იანი წლების დასასრულისათვის კახეთის რეგიონის მოსახლეობა უარყოფითად განაწყო სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოების მიმართ, რასაც ხელი შეუწყო აგრეთვე პოლიტიკური მიზნებით დაინტერესებული რიგი საზოგადოებრივი ორგანიზაციების არაკვალიფიციურმა აგიტაციამაც.

შექმნილი ვითარების გათვალისწინებით, აგრეთვე იმის გამო, რომ ეთნიკური კომფლიქტების ნიადაგზე გახშირდა საცეცხლე პუნქტებზე არსებული მძლავრი სარაკეტო და საარტილერიო ტექნიკის გამოყენება დაპირისპირებულ მხარეთა შორის საბრძოლო ოპერაციებში, 1989 წელს რესპუბლიკის მთავრობამ რამდენიმე წლის ვადით გამოაცხადა მორატორიუმი აქტიური

ზემოქმედების სამუშაოებზე, რითაც ფაქტობრივად შეაჩერა სავლე კვლევების წარმოება ნალექთა რეგულირების დარგში.

რაც შეეხება ნალექთა ხელოვნური სტიმულირების ექსპერიმენტებს, სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოებისაგან განსხვავებით, 1970-იანი წლების პირველ ნახევარში ეპიზოდურად ტარდებოდა აღმოსავლეთ საქართველოში ზემდგომი ორგანოების სპეციალური დავალების საფუძველზე. 1977 წელს ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის დირექტორის აკად. გ. სვანიძის ინიციატივით მიღებული იქნა საქართველოს კვ ცენტრალური კომიტეტისა და მინისტრთა საბჭოს დადგენილება №478 ნალექთა ხელოვნური გაზრდის საცდელ-საწარმოო სამუშაოთა ჰიდრომეტინსტიტუტისა და სეტყვასთან ბრძოლის გასამხედროებელი სამსახურის ძალებით ჩატარების შესახებ, რომელიც, უპირველეს ყოვლისა, გამიზნული იყო თბილისისა და სიონის წყალსაცავების წყლის რესურსების კომპლექსური გამოყენების ეფექტურობის ასამაღლებლად (პროექტი „-“ქ“, ნახ.2), ხოლო 1981 წლიდან ანალოგიურმა სამუშაოებმა მოიცვა ფარავნის ტბის აუზი (პროექტი „ფარავანი“, ნახ.3).



ნახ. 2. იორის პოლიგონის რელიეფის რუკა [40].

შემუშავებული იქნა რანდომიზებული მეთოდით ჩატარებული ზემოქმედების ეფექტურობის დადგენის კომპლექსური მეთოდიკა, რომელიც ეყრდნობოდა რადიოლოკაციური, ჰიდროლოგიური და ნალექზომი ქსელის დაკვირვებათა მასალების ერთდროულ გამოყენებას. რანდომიზებული ექსპერიმენტები ზაფხულის კონვექციურ ღრუბლებზე ტარდებოდა 2/3 ალბათობით ზემოქმედების სასარგებლოდ. ღრუბლებში რეაგენტის შესატანად გამოიყენებოდა სარაკეტო (კომპლექსი „ალაზანი“, იორის პოლიგონზე) და საარტილერიო (ხრამი-ფარავნის პოლიგონზე) ტექნიკა. ნალექწარმომქმნელი პროცესების მათემატიკური მოდელირების შედეგების საფუძველზე მაკრისტალეზელი რეაგენტის (AgI) დოზირება შერჩეულ იქნა ერთი რიგით ნაკლები, ვიდრე სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოებში.

1979-1990 წწ. პერიოდში კონვექციური ღრუბლებიდან ნალექთა ხელოვნური სტიმულირების და ინტენსივობის გაზრდის მიზნით ჩატარებული ზემოქმედების საკმაოდ დიდი სერიის (165 ექსპერიმენტული და 80 საკონტროლო ერთეული) გაანალიზების შედეგებმა აჩვენა საცდელ აუზში სეზონური ნალექების საშუალო მომატება 10-15%-ით, სანდობის დონეზე 0.90. ზემოქმედების შედეგად, წყლის პოტენციური დამატებითი რესურსების სიდიდემ წელიწადში 30-70 მლნ ტონა შეადგინა [40-41].



ნახ. 3. ხრამი-ფარავნის პოლიგონის რელიეფის რუკა [40].

სეტყვასთან ბრძოლის სამსახურის პრაქტიკაში ნაღვეთა ხელოვნური გაზრდის სამუშაოების დანერგვასთან დაკავშირებით წამოჭრილი რიგი მეთოდური საკითხების გადაწყვეტის აუცილებლობის გამო იორის პოლიგონზე წლების განმავლობაში ტარდებოდა ახალი გამოკვლევები, მიმდინარეობდა ნაღვეთა ხელოვნური გაზრდის თვალსაზრისით ღრუბლებზე ზემოქმედების სქემის დაზუსტება, ინფორმაციული რადიოლოკაციური პარამეტრების შერჩევა, ზემოქმედების ეფექტურობის კონტროლის მეთოდების დახვეწა და სხვ.

ზემოთ აღნიშნული პროექტების საკვლევ და დამამტკიცებელ ეტაპზე ჩატარებული მთელი რიგი თეორიულ და ექსპერიმენტულ სამუშაოთა ჩატარების შედეგად შესაძლებელი გახდა ნაღვეთა გამოწვევის კრიტერიუმებისა და ზემოქმედების სქემის (რეაგენტის შეტანის ადგილი და ტემპერატურა, დოზა) დაზუსტება; მოსული ნაღვეებისა და კონვექციური ღრუბლების რადიოლოკაციური პარამეტრების სტატისტიკური კავშირის გამოკვლევის საფუძველზე თითოეული ღრუბლიდან მოსული ნაღვეების შეფასების რადიოლოკაციური მეთოდის დამუშავება; თერმოდინამიკური და სინოპტიკური მახასიათებლების ანალიზის საფუძველზე აგებული იქნა დისკრიმინანტული ფუნქცია, რომელიც განასხვავებს მძლავრი გროვა ღრუბლების განვითარების პირობებს, გროვა-საწვიმარი ღრუბლებისაგან, კონვექციურ უჯრედებზე ზემოქმედების შედეგების ფიზიკურ-სტატისტიკური შეფასების ჩატარების მიზნით დამუშავებულია კონვექციური ღრუბლის ერთგანზომილებიანი არასტაციონარული ჰიდროთერმოდინამიკური მოდელი მიკროფიზიკური პროცესების პარამეტრიზაციით, დროებითი ინსტრუქცია, რომლის მიხედვითაც 1987-1990 წწ წარმატებით მიმდინარეობდა ნაღვეთა ხელოვნური გაზრდის მიზნით წარმოებული სამუშაოები სეტყვასთან ბრძოლის გასამხედროებელი სამსახურის ქვედანაყოფებში 500 ათასი ჰა ფართობზე ღრუბლებიდან დამატებითი ნაღვეების მიღების სამუშაოებში.

გარდამავალი სეზონების საღრუბლო სისტემებზე ზემოქმედება ნაღვეთა სტიმულირების მიზნით გასული საუკუნის 70-იან წლებში ეპიზოდურად წარმოებდა „ილ-14“ ტიპის სპეციალურად აღჭურვილი თვითმფრინავის გამოყენებით. 80-იან წლებში იგი შეიცვალა „იაკ-40“-ტიპის მფრინავი ლაბორატორიით, რომელიც საკავშირო ჰიდრომეტსამსახურის მიერ მიმაგრებული იყო ჰიდრომეტინსტიტუტში ამიერკავკასიაში ნაღვეთა ხელოვნური გაზრდის სამუშაოთა ჩასატარებლად. თვითმფრინავზე დამონტაჟებული იყო სხვადასხვა გამზომი აპარატურა, აგრეთვე სისტემა „ACO-2II“ პიროტექნიკური ვაზნების საშუალებით ღრუბელში მაკრისტალური რეაგენტის შესატანად.

1985 წლიდან აღნიშნულმა სამუშაოებმა სისტემატური ხასიათი მიიღო. თვითმფრინავიდან ჩატარებული ზემოქმედების ეფექტურობის კონტროლი წარმოებდა ბორტიდან ჩატარებული ვიზუალური და ფოტოდაკვირვებების საფუძველზე, აგრეთვე ნაღვემზომი ქსელის მონაცემების საშუალებით. დაგეგმილი იყო სინქრონული რადიოლოკაციური დაკვირვებების წარმოება ღრუბელთა და ნაღვეთა ველებზე საქმთავარჰიდრომეტის გასამხედროებელი სამმართველოს რამდენიმე რადიოლოკაციური სადგურის გამოყენებით, მაგრამ ფრენის პროგრამის შეკვეცის გამო მათი ჩატარება ვეღარ მოხერხდა.

აღნიშნული მეთოდის დადებით მხარედ შეიძლება ჩაითვალოს შედარებით დიდ ფართობზე ღრუბელთა დამუშავების შესაძლებლობა. ეს შეეხება როგორც ფენა და ფენა-გროვა ტიპის საღრუბლო სისტემებს, ასევე ცალკეულ კონვექციურ ღრუბლებსაც, რომელთა განვითარების სტადიაში მყოფ მწვერვალებზე ზემოქმედება იწვევს საწვიმარ სტადიაში მათი გადაზრდის დაჩქარებას.

ბოლო პერიოდში საწვავის ფასების მკვეთრ ზრდასთან დაკავშირებით ზემოქმედების საავიაციო მეთოდის გამოყენება ჩვენთან ეკონომიკურად გაუმართლებელია, თუმცა დასავლეთის ქვეყნებში თვითმფრინავი იყო და კვლავ რჩება ღრუბლებში რეაგენტის შეტანის ძირითად ტექნიკურ საშუალებად.

რაც შეეხება ზამთრის ნალექთა სტიმულირებას, 1980-იანი წლების მეორე ნახევარში ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი მონაწილეობდა ცენტრალური აეროლოგიური ობსერვატორიის მიერ დამუშავებული ზამთრის ნალექების სტიმულირებისთვის გამიზნული სააეროზოლოგენერატორების ავტომატიზებული კომპლექსის “БукеТ“-ის საველე გამოცდებში.

დაიგეგმა კიდევ იორის პოლიგონზე ზამთრის საღრუბლო სისტემაზე ნალექთა ხელოვნური გაზრდის ექსპერიმენტების ჩატარება, რისთვისაც 1989/90 წლების ზამთარში დამონტაჟდა სათანადო აპარატურა და ჩამოყვანილი იქნენ საკავშირო ორგანიზაციებიდან მოწვეული სპეციალისტები. მაგრამ თიანეთის რაიონის მაშინდელმა ხელმძღვანელობამ წინასაარჩევნო კამპანიაში ავტორიტეტის ასამაღლებლად სახალხო ბრძოლა გამოუცხადა ამ სამუშაოებს. საპროტესტო აქციის შედეგად, რომლის მსვლელობაშიც გაიგივებული იყო იოდოვანი ვერცხლი და ვერცხლისწყალი, ხოლო იორის პოლიგონზე მომუშავე რადიოლოკატორს დაბრალდა სიონის წყალსაცავში თევზის რაოდენობის შემცირება, აღნიშნული სამუშაოები შეჩერდა და გადატანილი იქნა სევანის აუზში, სადაც ჩატარდა კიდევ კომპლექსის საველე გამოცდა.

1990 წლიდან შეჩერებული იქნა პროექტი, რომლის შესრულება ინსტიტუტში ერთ-ერთ პრიორიტეტულ მიმართულებად ითვლებოდა და მოიცავდა როგორც საველე ექსპერიმენტებს, ისე თეორიულ სამუშაოებს, რამაც დიდი ზიანი მიაყენა აღნიშნული გამოკვლევების შემდგომ განვითარებას. შეწყდა ექსპერიმენტული მასალის დაგროვება ზემოქმედების ეფექტურობის კონტროლის დარგში, არსებული მეთოდის სრულყოფისათვის გამიზნულ საველე სამუშაოებში. ამავე დროს მნიშვნელოვნად დაზარალდა ქვეყნის სოფლის მეურნეობა და ენერგეტიკა, აგრეთვე სხვა დარგები, რომლებიც განიცდიან წყლის რესურსების მწვავე დეფიციტს.

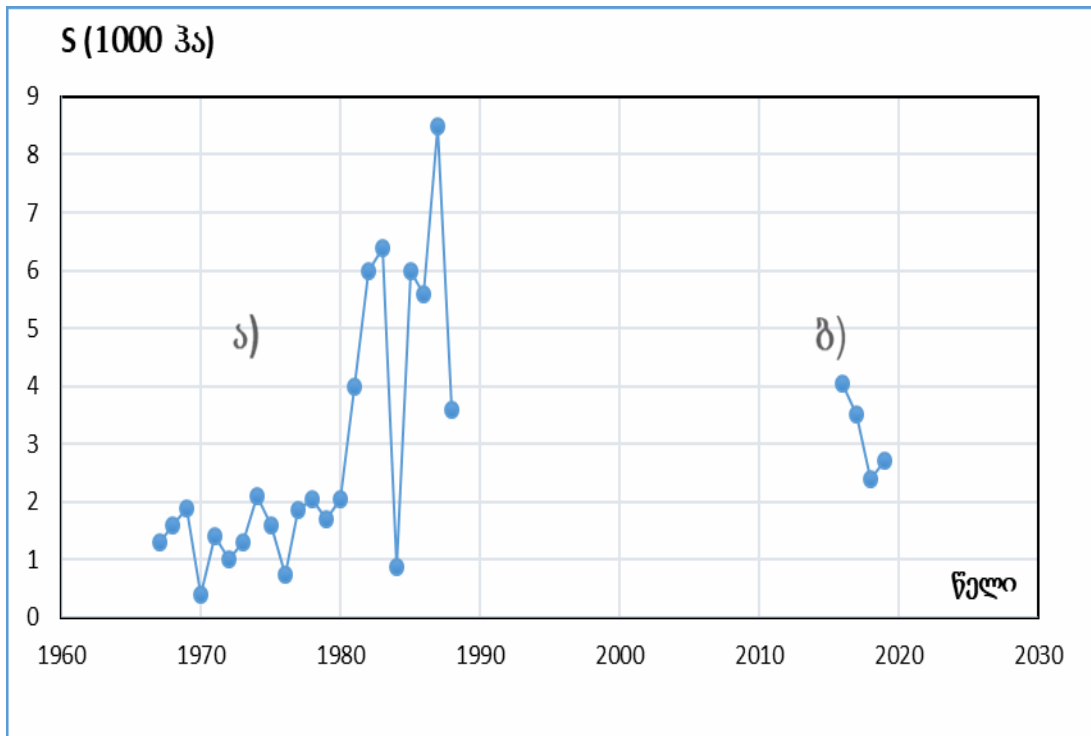
ხანგრძლივი პაუზის შემდეგ [42,43], 2013 წელს საქართველოს მთავრობამ მიიღო გადაწყვეტილება კახეთის რეგიონში სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოთა აღდგენის შესახებ, რომელთა წარმოება დაევალა თავდაცვის სამინისტროსთან არსებული სამეცნიერო-ტექნიკურ გაერთიანება - „დელტას“. 2015 წლის 28 მაისს, თსუ გეოფიზიკის ინსტიტუტის მეთოდური ხელმძღვანელობით, კახეთის რეგიონში, დაახლოებით 650 ათას ჰექტარ ფართობზე ახალი, თანამედროვე ავტომატიზებული სისტემის გამოყენებით გაიშალა სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოები [44-46].

იმედია, ახალი ტექნოლოგიის გამოყენება სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოებში კარდინალურად შეცვალის რადიოლოკაციური დაკვირვების მონაცემების მიღების, დამუშავებისა და არქივირების წესებს, ხოლო ახალი სარაკეტო კომპლექსი, რომელიც ხასიათდება იოდოვანი ვერცხლის ნაწილაკების გენერაციისა და გაბნევის უფრო მაღალი ეფექტურობით, უზრუნველყოფს სეტყვისაგან დიდი ტერიტორიების საიმედოდ დაცვას და, შესაბამისად, ეკონომიკური ზარალის შემცირებას. ამ ოპტიმიზმის საილუსტრაციოდ, ნახ. 4-ზე მოცემულია 100%-ით დაზიანებული ფართობების დინამიკა (ჰა) 1967-1989 წწ. და 2016-2019 წწ. პერიოდებში შესაბამისად.

როგორც ნახაზიდან ჩანს ახალი ტექნოლოგიების გამოყენებით ჩატარებული ზემოქმედების პირობებში ზარალი საკმაოდ შემცირებულია და მოსალოდნელია სეტყვისაგან დაზიანებული სასოფლო-სამეურნეო კულტურების კიდევ უფრო მაღალეფექტური დაცვა სეტყვის პროცე-

სების სტრუქტურის, განვითარების დინამიკისა და მასშტაბების გათვალისწინებით, ღრუბლებზე ზემოქმედების შესაფერისი სტრატეგიის შერჩევისა და განხორციელების პირობებში [47].

ღრუბლებზე ზემოქმედების სამუშაოთა აღდგენამ გარკვეული საფუძველი შექმნა მომავალში ნალექთა ხელოვნური გაზრდის სამუშაოთა განახლებისთვისაც, რადგანაც კონვექციური ღრუბლებზე რადიოლოკაციური დაკვირვების ჩატარებისა და ზემოქმედების წარმოების ტექნოლოგია სეტყვასთან ბრძოლისა და ნალექთა ხელოვნური გაზრდის შემთხვევაში მსგავსია და მხოლოდ რეაგენტის შეტანის დროს, ადგილისა და დოზირების საკითხებშია განსხვავებული. იორის აუზში ნხვ სამუშაოთა შედარებით მცირე მასშტაბის გათვალისწინებით, მათი აღდგენა შექმნილ პირობებში არ არის მოკლებული რეალურ საფუძველს, თუ ეს სამუშაოები უზრუნველყოფილი იქნება რადიოლოკაციური ტექნიკითა და ზემოქმედების საშუალებებით.



ნახ.4. სეტყვისაგან 100%-ით დაზიანებული სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების ფართობების დინამიკა, ა)-1967-1989 წწ. და ბ)-2016-2019 წწ. პერიოდებში.

ნხვ აღდგენის შემთხვევაში, ზამთრის საღრუბლო სისტემებზე ზემოქმედებისთვის მიწის-პირა სააეროზოლო კომპლექსების გამოყენება საგრძნობ წვლილს შეიტანს მთებში თოვლის მარაგის გაზრდაში და შესაბამისი წყალსაცავების საირიგაციო და ჰიდროენერგეტიკული პოტენციალის ამაღლებაში, ხოლო თვითმფრინავის გამოყენება შესაძლებელს გახდის გაიზარდოს თოვლის საფარი აღმოსავლეთ საქართველოს ვაკე რაიონებში, რაც გააუმჯობესებს სასოფლო-სამეურნეო კულტურების გამოზამთრების პირობებს და უზრუნველყოფს გაზაფხულზე ნიადაგს დამატებითი ტენით. წლის თბილ პერიოდში ნხვ პროგრამით ზემოქმედების ჩატარება კონვექციურ ღრუბლებზე გარკვეულ წვლილს შეიტანს სეტყვისაგან ტერიტორიების დაცვაშიც, რადგანაც ხშირ შემთხვევაში ნალექის მომცემი ზემოქმედებაქმნილი ღრუბელი აღარ გადავა სეტყვასა-შიმ სტადიაში და დაიშლება დისიპაციის ბუნებრივი პროცესის შედეგად [48].

აღნიშნული მოსაზრებები იძლევა საფუძველს დაისვას საკითხი აღმოსავლეთ საქართველოში ნალექთა ხელოვნური გაზრდის სამუშაოთა თანამედროვე დონეზე აღდგენის შესახებ.

მიუხედავად გასულ წლებში მიღებული წარმატებისა, ნალექთა ხელოვნური გაზრდის პრობლემაში ჯერ კიდევ ბევრი გადასაწყვეტი ამოცანა რჩება როგორც თეორიულ ასპექტში, ასევე მიღებული შედეგების პრაქტიკაში გამოყენების დარგში. შემდგომ დაზუსტებას მოითხოვს ბუნებრივი და ხელოვნური ნალექწარმოქმნელი პროცესების ფიზიკური საფუძვლები, არასაკმარისადაა შესწავლილი ღრუბელში რეაგენტის გავრცელებისა და საღრუბლო გარემოსთან მისი ურთიერთქმედების მექანიზმები, გამოსაკვლევი კონდენსაციისა და კრისტალიზაციის ბუნებრივი ფონი, ნალექთა ხელოვნური გაზრდის სამუშაოების ჩატარების რაიონში მათი გავრცელების კანონზომიერებანი ატმოსფეროსა და ღრუბლებში. ნხვ სამუშაოთა პროგრესი დამოკიდებულია იმაზე, თუ რამდენად სწორად იქნება შეფასებული სხვადასხვა ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებში განვითარებული, განსხვავებული ფორმის ღრუბლებში მიმდინარე პროცესები.

ნალექთა ხელოვნური რეგულირების სამუშაოების ფართო მასშტაბით წარმოებისას ბუნებრივია იზადება კითხვა გარემოზე მათი გავლენის შესახებ. ნალექთა ხელოვნური გაზრდის შემთხვევაში ეს კითხვები ძირითადად ეხება იმას, მოქმედებს თუ არა მოცემულ რეგიონში სამუშაოთა ჩატარება ამ რეგიონის დატენიანების რეჟიმზე და თუ მოქმედებს, როგორია გადახრის სიდიდე მრავალწლიურ საშუალოდან (ნორმისგან). არანაკლებ მნიშვნელოვანია ნალექთა რეჟიმის შესაბამისი ცვლილების გარკვევა მეზობელ რეგიონებში, ე.ი. ნალექთა გადანაწილების პრობლემის გარკვევა, აგრეთვე ზემოქმედებისთვის გამოყენებული რეაგენტების ეკოლოგიური უვნებლობის საკითხის დადგენა. სეტყვასთან ბრძოლის შემთხვევაში გარემოზე ზემოქმედების ასპექტში ძირითადად ორი კითხვა განიხილება - როგორია შერჩეული რეაგენტების ხმარების შედეგად ეკოლოგიური დატვირთვა ბუნებრივ გარემოზე საკონტროლო ტერიტორიისა და მის მიმდებარე რეგიონების ფარგლებში და როგორ მოქმედებს წარმოებული სამუშაოები აღნიშნული ტერიტორიის ნალექთა რეჟიმის ცვლილებაზე.

გასულ წლებში სეტყვის საწინააღმდეგო ოპერაციებში ტყვიის იოდიდის გამოყენებამ დიდი ზიანი მიაყენა ზემოქმედების სამსახურის სახელსა და ავტორიტეტს, რის შედეგადაც მოსახლეობა უნდობლობით ეკიდება ყველა გამოყენებულ რეაგენტს, მათ შორის გარემოსთვის პრაქტიკულად არასაზიანოს AgI-საც. აქედან გამომდინარე, უპირველეს პრობლემად მიგვაჩნია საზოგადოებრივი აზრისა და მოსახლეობის ფართო ფენების განწყობის შეცვლა განხილულ სამუშაოთა მიმართ, რაც ობიექტური და პირუთენელი ინფორმაციის საფუძველზე უნდა მოხდეს. ინფორმაცია კი უნდა ეყრდნობოდეს მეცნიერული გამოკვლევის შედეგებს.

განხილული სამუშაოების ეკოლოგიური სტანდარტების მსოფლიო დონეზე დასაცავად საჭიროა მათზე კონტროლის დაწესება დამოუკიდებელი უწყების მხრიდან, რომელიც სისტემატურად შეამოწმებს გარემოში ზემოქმედების ოპერაციებში გამოყენებული ელემენტების კონცენტრაციას სამუშაოების დაწყებამდე და მისი მსვლელობის პროცესში.

ამრიგად, განვლილ პერიოდში (1967-1990 წწ.) ჩატარებულ ნალექთა ხელოვნური რეგულირების სამუშაოთა რეტროსპექტულმა ანალიზმა ცხადყო, რომ მსგავსი სამუშაოების განახლების პროცესს წინ უნდა უძღოდეს აღნიშნულ დარგში მიღებული შედეგების დეტალური ანალიზი დადებითი მხარეების შენარჩუნებისა და განვითარების უზრუნველსაყოფად, ხოლო დაშვებული შეცდომების გათვალისწინებისა და აღმოსაფხვრელად. სასურველია ზემოქმედების ჩატარება მოხდეს კომპლექსურად, როგორც ნალექთა სტიმულირების მიზნით, ისე სეტყვასთან ბრძო-

ლის პროგრამით. ექსპერიმენტების გეგმა უნდა ეყრდნობოდეს ზემოქმედების სტატისტიკური მოდელირების შედეგებს, ხოლო ზემოქმედების მეთოდიკა დასაბუთებული უნდა იყოს მძლავრ კონვექციურ ღრუბლებში მიმდინარე პროცესების მათემატიკური მოდელირების საფუძველზე.

ლიტერატურა - REFERENCES - ЛИТЕРАТУРА

1. Гигинеишвили В.М. Градобития в Восточной Грузии, Л., Гидрометеиздат, 1960.
2. კორძაბია მ. საქართველოს ჰავა. საქ.სსრ მეცნ.აკად. გამომცემლობა, თბილისი, 1961, გვ.45-68.
3. Ватьян (Ватиашвили) М.Р., Серафимов В.К. Аэросиноптические условия формирования кучево-дождевой облачности в предгорных и горных районах Восточной Грузии. Труды ВГИ, вып. 77, 1989, с. 60-68.
4. Гуния С.У., Харчилава Ф.Е. Аэросиноптические условия выпадения ливневых осадков в Закавказье и разработка методики их прогнозирования. Труды ЗаКНИГМИ, вып. 10(16), 1962.
5. Хвичия М.С. Атмосферные осадки. Труды ЗаКНИГМИ, вып. 44 (50), 1971, с.109-271, с. 294-300.
6. Папинашвили Л.К. Атмосферные осадки. Снежный покров. Труды ЗаКНИГМИ, вып. 44 (50), 1971, с. 271-294.
7. Чиракадзе Г.И. Климатические параметры естественной влагообеспеченности Закавказья. Труды ЗаКНИГМИ, вып. 44 (50), вып. 50 (56), 1972, с. 7-33.
8. Бартишвили М.Я., Бериташвили Б.Ш. Некоторые вопросы динамики выпадения конвективных осадков на территории Грузии. Труды ЗаКНИГМИ, вып. 47(53), 1973, с. 37-46.
9. Ватьян М.Р., Серафимов В.К. Метод прогноза летних осадков в Восточной Грузии. Методические рекомендации. Гидрометеосентр им. В.П. Ломинадзе Грузинского УГКС, вып. 1, 1986, с. 46-53.
10. Ватьян М.Р., Серафимов В.К. К вопросу о формировании умеренных и сильных летних осадков в Восточной Грузии. Труды Гидрометеоцентра СССР, вып. 292, 1987, с.35-38.
11. Чоговадзе И.В. Прогноз обильных осадков на сутки для Закавказья с использованием принципа аналогичности. Труды ЗаКНИГМИ, вып. 53 (59), с. 49-55.
12. ჯავახიშვილი შ. ატმოსფერული ნალექები საქართველოს ტერიტორიაზე. თსუ გამომცემლობა, თბილისი, 1981, 184 გვ.
13. Сулаквелидзе Я.Г. Ливневые осадки в горных странах на примере Закавказья. Изд. ТГУ, Тбилиси, 1988.
14. მუმლაძე დ. საქართველოს კლიმატის თანამედროვე ცვლილება. თბილისი, „მეცნიერება“, 1991, გვ. 70-100.
15. Папинашвили Л.К. Колебание атмосферных осадков на территории Закавказья. Труды ЗаКНИГМИ, вып. 74(80), 1980, с. 62-71.
16. Алибегова Ж.Д., Элизбарашвили Э.Ш. Статистическая структура атмосферных осадков в горных районах. Л. Гидрометеиздат, 1980.
17. Бериташвили Б.Ш.К энергетической оценке процессов развития конвективных облаков высокогорной зоне. Труды ЗаКНИГМИ, вып. 36 (42), 1971, с.11-14.
18. Ватьян М.Р, Баларджишвили Г.А., Капанაძე Н.И., Каджая Э.В., Квачакиძე А.Ш., Метრელი А.З. Радиолокационное исследование конвективных облаков, пригодных для воздействия в районах Восточной Грузии. Труды ВГИ, вып. 69, 1987, с. 55-62.
19. Ватьян М.Р., Капанაძე Н.И., Менаბდე Ш.Ш., Метრელი А.З., Одикадзе М.Я., Серафимов В.К. Радиолокационный способ индикации мощно-кучевых и кучево-дождевых обл. и расчет количества выпавших из них осадков. „Планирование и оценка эффективн. работ по искусственному увеличению осадков“. М. Гидрометеиздат, 1988, с. 180-187.
20. Бартишвили И.Я., Ватьян М.Р., Капанაძე Н.И., Кирвалидзе Ц.Д., Мирианашвили Н.И., Морчиладзе Н.С., Одикадзе М.Я. Оценка влияния противорадовой защиты на режим осадков защищаемых и контрольных территорий Южной и Восточной Грузии. Труды ГГО., вып. 497, 1986, с. 63-68.
21. Ватьян М.Р., Капанაძე Н.И., Одикадзе М.Я., Цинцадзе Т.Н. К оценке перераспределения осадков при воздействии на грозо-градовые процессы в Центральной части Южной Грузии. Тезисы докладов III Всесоюзного семинара - совещания (11-15 ноября 1986) “Планирование и оценка эффективности работ по искусственному увеличению осадков”, Тбилиси, 1986, с. 48-50.
22. Бартишвили И.Т., Ватьян М.Р., Капанაძე Н.И., Одикадзе М.Я., Серафимов В.К. Исследование влияния противорадовой защиты на режим осадков центральной части Южной Грузии. Материалы Всесоюзного семинара по физике образования градовых процессов и активных возд. на них. М. Гидрометеиздат, 1988, с. 118-123.
23. Ватиашвили М.Р., Бахсолиани М.Г., Газашвили А.Г., Капанაძე Н.И., Микадзе В.Ш., Сиамашвили Н.Р. Исследование градовых процессов в районах Восточной Грузии. Труды Всесоюзного семинара “Активные

- воздействия на грозовые процессы и перспективы усовершенствования льдообразующих реагентов для практики активных воздействий”. М. Гидрометеиздат, 1991, с.251-260.
24. Ватьян М.Р., Капанадзе Н.И., Челидзе Г.С., Одикадзе М.Я., Серафимов В.К. Исследование некоторых климатических характеристик осадков в центральной части Южной Грузии. Тезисы докладов научной конференции (24 декабря 1985). Проблемы развития производительных сил горных областей. Тбилиси, 1986, с.17-18.
 25. Ватьян М. Р., Капанадзе Н.И., Цинцадзе Т.Н. Об учете естественной изменчивости сум осадков в оценках работ по воздействию на конвективные облака в бассейне река Иори. Тезисы доклада III Всесоюзного семинара-совещания “Планирование и оценка эффективн. работ по искусственному увелич. Осадков”. Тбилиси, 1986, с. 45-47.
 26. Ватиашвили М.Р., Беридзе Т.В., Капанадзе Н.И., Одикадзе М.Я., Серафимов В.К. Исследование влияния некоторых циркуляционных процессов и атмосферных фронтов на формирование кучево-дождевой облачности в предгорных и горных районах Восточной Грузии. Труды ВГИ, вып. 81. 1990, с. 99-105.
 27. Априамашвили Н.Ш., Ватьян М.Р., Капанадзе Н.И. К вопросу оценки облачных ресурсов по данным радиолокационных наблюдений в районах Восточной Грузии. молодых учёных и специалистов, посвященной XXVIII съезду Компартии Грузии. Акт. вопр. наук о земле. изд. ТГУ, 1986, с.100-101.
 28. Бартишвили И.Т., Ватьян М.Р., Капанадзе Н.И., Менабде Ш.Ш., Одикадзе М.Я. Оценка влияния некоторых метеорологических факторов и нормы расхода кристаллизующего реагента на результаты работ по увеличению осадков в бассейне р.Иори. Планирование и оценка эффективн. работ по искусственному увеличению осадков. М. Гидрометеиздат, 1988, с. 188-196.
 29. Ватиашвили М.Р., Бахсолиани М.Г., Газашвили А.Г., Капанадзе Н.И., Шавердашвили П.П. К радиолокационной оценке физической эффективности воздействия в работах по увеличению осадков. Сборник работ гидрометеорологического центра им. Ломинадзе Ленинград, Гидрометеиздат, вып.1, 1988, с.124-128.
 30. Сванидзе Г.Г., Ватиашвили М.Р., Капанадзе Н.И., Кудлаев Э.М. К вопросу рандомизированных экспериментов по искусственному увеличению осадков по схеме “Плавающей мишени”. Труды ВГИ, вып. 85, 1992, с.90-96.
 31. ბერიტაშვილი ბ., ვათიაშვილი მ., კაპანაძე ნ. სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოთა გავლენა ნალექთა რეჟიმზე საქართველოს ტერიტორიაზე. საქ. მეცნ. აკადემიის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის მე-40 სამეცნიერო სესიის მასალები. თბილისი, 1995, გვ.11-13.
 32. Ватиашвили М.Р., Капанадзе Н.И., Одикадзе М.Я. Перераспределение осадков в районах Восточной Грузии при воздействии на грозовые процессы. Труды Всесоюзного семинара “Активные воздействия на грозовые процессы и перспективы усовершенствования льдообразующих реагентов для практики активных воздействий”. М. Гидрометеиздат, 1991, с.243-251.
 33. Всемирная метеорологическая организация. Краткий обзор проекта ВМО, Женева, 1987.
 34. Бухникашвили А.В. и др. Методика активных воздействий на грозовые процессы и результаты опытов, проведенных в Алазанской долине. Труды Всесоюзного совещания по актю воздью на грозовые процессы. Тбилиси, 1964, с.281-324.
 35. Бартишвили И.Е. и др. К физическим основам метода ЗакНИГМИ борьбы с градом. Труды ЗакНИГМИ, вып. 67(73), 1978, с. 68-72.
 36. კაპანაძე ნ., მკურნალიძე ი., ფიფია მ. აღმოსავლეთ საქართველოში ნალექთა რეგულირების სამუშაოთა განვითარების ზოგიერთი ასპექტი. ახალგაზრდა მეცნიერთა საერთაშორისო კონფერენცია „დედამიწის შემსწავლელი მეცნიერების თანამედროვე პრობლემები“. (21-22 ნოემბერი, 2022 წ), თბილისი, 2022, გვ. 145-150.
 37. ფიფია მ., კაპანაძე ნ., ქართველიშვილი ლ., ბეგლარიშვილი ნ. სეტყვიან დღეთა რაოდენობა სეტყვის საწინააღმდეგო სამუშაოების წარმოებამდე, წარმოებისას და მის შემდგომ პერიოდში. სტუ ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, თბილისი, ტ. 124, 2017, გვ.42-49.
 38. Абшаев М.Т., Бурцев И.И., Федченко Л.М. Противоградовая защита в СССР. Сб. Активные воздействия на гидрометеорологические процессы. Труды Всесоюзн. Конфер. Гидрометеиздат, Л., 1990, с. 101-108.
 39. Atlas D. The present and future of hail suppression. Proc. II WMO Sci. conf. on weather modification. WMO № 243, Boulder, Colo, pp. 207-216.

40. ბერიტაშვილი ბ., ცინცაძე თ., კაპანაძე ნ. ნალექთა ხელოვნური გაზრდის სამუშაოები საქართველოში. სტუ ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, თბილისი, 2020, 122 გვ.
41. სვანიძე გ., ბეგალიშვილი ნ., ბერიტაშვილი ბ. აღმოსავლეთ საქართველოში ნალექთა ხელოვნური გაზრდის პროექტის შესრულების შედეგები. თბილისის გეოფიზიკური ობსერვატორიის 150 წლისთავისადმი მიძღვნილი შრომათა კრებული. „მეცნიერება“, თბილისი, 1997, გვ. 51-58.
42. ამირანაშვილი ა.გ., ბახსოლიანი მ.გ., ბეგალიშვილი ნ.ა., ბერაძე ნ.ი., ბერიტაშვილი ბ.შ., რეხვაიშვილი რ.გ., ცინცაძე თ.ნ., რუხაძე ნ.პ. О возобновлении работ по регулированию осадков в Восточной Грузии, Тр. Института гидрометеорологии, ISSN 1512-0902, том 108, Тбилиси, 2002, 249-260.
43. ამირანაშვილი ა.გ., ბახსოლიანი მ.გ., ბეგალიშვილი ნ.ა., ბერიტაშვილი ბ.შ., რეხვაიშვილი რ.გ., ცინცაძე თ.ნ., ჩიტანავა რ.ბ. О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии, Межд. научно-техн. конф. «Проблемы гидрометеорологии и экологии», посвящ. 60-летию со дня основания института и 100-летию со дня рожд. его первого директора В.П. Ломинадзе, Тбилиси, 28-30 мая 2013, Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 144 - 152.
44. Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Dzodzuashvili U.V., Ghlonti N.Ya., Sauri I.P. Reconstruction of Anti-Hail System in Kakheti (Georgia). Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.18B, Tbilisi, 2015, pp. 92-106.
45. Amiranashvili A., Burnadze A., Dvalishvili K., Gelovani G., Ghlonti N., Dzodzuashvili U., Kaishauri M., Kveselava N., Lomtadze J., Osepashvili A., Sauri I., Telia Sh., Chargazia Kh., Chikhladze V. Renewal Works of 215 Anti-Hail Service in Kakheti. Trans. of Mikheil Nodia institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. 66, Tb., 2016, pp. 14 – 27, (in Russian).
46. Amiranashvili A.G. History of Active Effects on Atmospheric Processes in Georgia. In the book: Essays of the History of Weather Modification in the USSR and the Post-Soviet Territory, ISBN 978-5-86813-450-0, St. Petersburg, RSHMU, 2017, 352 pp., ill., pp. 234-254, (in Russian), <http://mig-journal.ru/toauthor?id=4644>.
47. Amiranashvili A., Chikhladze V., Dzodzuashvili U., Ghlonti N., Sauri I., Telia Sh., Tsintsadze T. Weather Modification in Georgia: Past, Present, Prospects for Development. International Scientific Conference “Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation”. Proceedings, ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp. 216-222, <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/8613>
48. ბერიტაშვილი ბ., კაპანაძე ნ., ცინცაძე თ. აღმოსავლეთ საქართველოში ნალექთა ხელოვნური გაზრდის სამუშაოთა აღდგენის საკითხისათვის. მ. ნოდიას გეოფიზიკის ინსტიტუტის 80 წლისადმი მიძღვნილი სამეცნიერო კონფერენციის შრომები. თბილისი, 2014, გვ. 103-106.

ნალექთა ხელოვნური რეგულირების რეტროსპექტული ანალიზი

კაპანაძე ნ., მკურნალიძე ი., ფიფია მ.

რეზიუმე

მოცემულ სტატიაში განხილულია 1967-1989 წწ პერიოდში საქართველოს ტერიტორიაზე წარმოებულ ნალექთა ხელოვნური რეგულირების სამუშაოები, როგორც სეტყვასთან ბრძოლის, ასევე ნალექთა ხელოვნური გაზრდის მიმართულებით. თითქმის 3 ათწლეულზე მეტი ხნის განმავლობაში ჩატარებული სამუშაოთა განხილვებამ გვიჩვენა, რომ აღნიშნულ სამუშაოთა განახლების პროცესს წინ უნდა უძღოდეს აღნიშნულ დარგში მიღებული შედეგების დეტალური ანალიზი. უნდა მოხდეს დადებითი მხარეების შენარჩუნება, ხოლო დაშვებული შეცდომების გათვალისწინება და გამოსწორება. სასურველია ზემოქმედების ჩატარდეს კომპლექსურად, როგორც ნალექთა სტიმულირების მიზნით, ისე სეტყვასთან ბრძოლის პროგრამით. ექსპერიმენტების

გეგმა უნდა ეყრდნობოდეს ზემოქმედების შესაბამისი სტატისტიკური მონაცემების ანალიზის შედეგებს, ხოლო ზემოქმედების მეთოდოლოგია დასაბუთებული უნდა იყოს მძლავრ კონვექციურ ღრუბლებში მიმდინარე პროცესების მათემატიკური მოდელირების საფუძველზე.

საკვანძო სიტყვები: ნალექთა ხელოვნური რეგულირება, აქტიური ზემოქმედება, სეტყვას პროცესები, კონვექციური ღრუბლები, ნალექთა რეჟიმი.

RETROSPECTIVE ANALYSIS OF ARTIFICIAL REGULATION OF PRECIPITATION

Kapanadze N., Mkurnalidze I., Pipia M.

Abstract

His article, the work on the artificial regulation of precipitation on the territory of Georgia in the period 1967-1989 is considered, both in the direction of combating hail and in the direction of artificial increase in the amount of precipitation. The analysis of the works carried out for more than 3 decades showed us that the process of renewal of the said works should be preceded by a detailed analysis of the results obtained in the said field. The positive aspects should be preserved, and the mistakes made should be taken into account and corrected. It is desirable that the impact be carried out in a complex manner, both for the purpose of stimulation of precipitation, and with the program of fighting against hail. The plan of experiments should be based on the results of the analysis of statistical data relevant to the impact, and the methodology of the impact should be justified on the basis of mathematical modeling of the processes taking place in strong convective clouds.

Key words: artificial regulation of precipitation, active impact, hail processes, convective clouds, precipitation regime.

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ИСКУССТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ОСАДКОВ

Капанадзе Н., Мкурналидзе И., Пипиа М.

Реферат

В данной статье рассматриваются работы по искусственному регулированию осадков на территории Грузии в период 1967-1989 гг., как в направлении борьбы с градом, так и в направлении искусственного увеличения количества осадков. Анализ работ, проведенных за более чем 3 десятилетия, показал нам, что процессу возобновления указанных работ должен предшествовать подробный анализ результатов, полученных ранее в указанной области. Положительные результаты следует сохранить, а допущенные ошибки учесть и исправить. Воздействие желательно проводить

комплексно, как с целью стимулирования осадков, так и с программой борьбы с градом. План экспериментов должен быть основан на результатах анализа соответствующих статистических данных воздействия, а методика воздействия должна быть обоснована на основе математического моделирования процессов, происходящих в мощных конвективных облаках.

Ключевые слова: искусственное регулирование осадков, активное воздействие, градовые процессы, конвективная облачность, режим осадков.