

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის
თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

გურამ სუპატაშვილი

გარემოს ქიმია

(ეკოქიმია)



თბილისის
უნივერსიტეტის
ბაზოფცემოვა

ნიგნში განხილულია გარემოს დაბინძურების ბუნებრივი და ანთროპოგენური წყაროები, მათ მიერ გენერირებული ნორმირებული ნივთიერებების ემისიის მასშტაბები და დინამიკა დროში; მოცემულია ატმოსფეროს, ჰიდროსფეროს, ნიადაგებისა და მცენარეების ფონური ქიმიური შედგენილობა და მისი ცვალებადობა ტექნოგენური ფაქტორების გავლენით; ნაჩვენებია ქიმიური დაბინძურებისაგან გარემოს დაცვის მეთოდები და ამ მიზნით გატარებული ღონისძიებები; მოტანილია მდიდარი ფაქტობრივი მასალა, რომელიც საშუალებას იძლევა რეალურად შევაფასოთ ეკოქიმიური ვითარება საქართველოში. ნიგნს თან ერთვის გარემოს ქიმიაში გამოყენებული ცნებების და ტერმინების განმარტებითი ლექსიკონი.

რედაქტორი ასისტენტ-პროფესორი ნინო თაყაიშვილი

რეცენზენტები: პროფესორი გია ქაჯაია
დოცენტი ლაშა ცისკარიშვილი

შინაარსი

შესავალი	9
I. ზოგადი ცნებები	11
1.1. გარემო და მასთან დაკავშირებული ეკოლოგიური პრობლემები	11
1.2. ბუნებრივი რესურსები	13
1.3. ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციები	14
1.4. გარემოს დაბინძურების ბუნებრივი წყაროები	16
II. გარემოს დაბინძურების ანთროპოგენური წყაროები	19
2.1. ენერგეტიკა	19
2.1.1. თბოენერგეტიკა	20
2.1.2. ჰიდროენერგეტიკა	23
2.1.3. ატომური ენერგეტიკა	24
2.1.4. ენერგიის სხვა წყაროები	26
2.2. ტრანსპორტი	28
2.2.1. ავტოტრანსპორტი	28
2.2.2. ეთილირებული ბენზინი. ტყვია გამონაბოლქვ აირებში	31
2.2.3. ტრანსპორტის სხვა სახეები	33
2.3. მრეწველობა	35
2.4. სამხედრო-თავდაცვითი საქმიანობა	39
2.5. სოფლის მეურნეობა	41
2.5.1. სოფლის მეურნეობის ქიმიზაცია, მიზანი და ნაკლი	41
2.5.2. მინერალური სასუქების გამოყენების ეკოლოგიური ასპექტი	44
2.5.3. შხამქიმიკატები სოფლის მეურნეობაში	46
2.5.4. პესტიციდები გარემოში, მათი გამოყენების ეკოლოგიური შედეგები	49
2.5.5. სოფლის მეურნეობის სხვა დარგების წილი გარემოს დაბინძურებაში	52
2.6. კომუნალური მეურნეობები	53
2.6.1. მყარი ნარჩენები	53
2.6.2. ჩამდინარე წყლები	55
III. ატმოსფეროს ქიმიკა	57
3.1 ატმოსფეროს ქიმიური შედგენილობა	57

3.2. ჟანგბადი ატმოსფეროში	60
3.3. ოზონი ატმოსფეროში	61
3.3.1. ოზონი ტროპოსფეროში და სტრატოსფეროში.	61
3.3.2. ოზონის ბუნებრივი და ანთროპოგენური წყაროები.	62
3.3.3. ოზონოსფერო, მისი ეკოლოგიური მნიშვნელობა.	64
3.3.4. ოზონის „ხერელი“, მისი გამომწვევი მიზეზები.	65
3.3.5. საერთაშორისო თანამშრომლობა ოზონოსფეროს დაცვის მიზნით.	67
3.4. ნახშირბადის ოქსიდები ატმოსფეროში	68
3.4.1. CO ₂ ატმოსფეროში, მისი ბუნებრივი და ანთროპოგენური წყაროები.	68
3.4.2. CO ₂ -ის შემცველობის დინამიკა ატმოსფეროში.	69
3.4.3. CO ატმოსფეროში.	71
3.5. ატმოსფეროს დაბინძურების გავლენა კლიმატზე სათბურის ეფექტი	71
3.5.1. სათბურის ეფექტი, მისი გამომწვევი მიზეზები.	71
3.5.2. სათბურის ეფექტის მოსალოდნელი შედეგები, მათი აცილების გზები.	73
3.6. გოგირდის ნაერთები ატმოსფეროში	75
3.6.1. გოგირდის დიოქსიდი ატმოსფეროში, მისი წყაროები და დინამიკა.	75
3.6.2. გოგირდის სხვა ნაერთები ატმოსფეროში	77
3.7. აზოტის ოქსიდები ატმოსფეროში	77
3.8. მეთანი და სხვა ორგანული ნაერთები ატმოსფეროში	79
3.9. აეროზოლები ატმოსფეროში	81
3.10. ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შედგენილობა	85
3.10.1. ატმოსფერული ნალექების ფორმირება.	85
3.10.2. გეოგრაფიული და მეტეოროლოგიური ფაქტორების გავლენა ნალექების ქიმიურ შედგენილობაზე.	86
3.10.3. საქართველოს ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შედგენილობა	87
3.11. მჟავა წვიმები	90
3.11.1. მჟავა წვიმები და მათი გამომწვევი მიზეზები.	90
3.11.2. მჟავა წვიმების რეგიონალური განაწილება, ეკოლოგიური შედეგები და მათი აცილების გზები.	93
3.12. ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედება და მისი ეკოქიმიური შეფასება	95

3.12.1. ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების მიზანი და მეთოდები.....	95
3.12.2. ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების სამუშაოების ეკოქიმიური შეფასება.....	97
IV. მყინვარები, მათი ქიმიური შედგენილობა.....	100
4.1. მყინვარები, მათი ფორმირება და მნიშვნელობა	100
4.2. მყინვარების ქიმიური შედგენილობა, მისი ფორმირება	101
4.3. მყინვარების ანთროპოგენური დაბინძურება.....	104
V. ზედაპირული წყლების ქიმიური შედგენილობა	106
5.1. წყალი, მისი თავისებურებები, გავრცელება და გამოყენება.	106
5.2. ზედაპირული წყლების ჰიდროქიმია.....	110
5.3. ტიეტივა ნატანი და ფსკერული ნალექები.....	115
5.4. ანთროპოგენური ფაქტორების გავლენა წყლის ხარისხზე ...	117
VI. მიწისქვეშა წყლების ჰიდროქიმია	120
6.1. მიწისქვეშა წყლები, მათი ფორმირება და შედგენილობა	120
6.2. მინერალური წყლები	122
6.3. საქართველოს მინერალური წყლები	124
6.4. მიწისქვეშა წყლების დაბინძურების მიზეზები და შედეგები	125
VII. ზღვები და ოკეანეები.....	127
7.1. ზღვები და ოკეანეები, მათი ქიმიური შედგენილობა.....	127
7.2. ოკეანე, როგორც ნედლეულის წყარო	132
7.2.1. წყალი და გახსნილი ნივთიერებები.....	132
7.2.2. ოკეანის ფსკერი.	133
7.3. ანთროპოგენური ფაქტორების გავლენა ოკეანის ქიმიურ შედგენილობაზე	135
7.4. ნავთობი და ნავთობპროდუქტები ოკეანეში.....	137
7.4.1. დაბინძურების წყაროები.....	137
7.4.2. ოკეანეში ჩაღვრილი ნავთობის ტრანსფორმაცია.	139
7.4.3. ნავთობი ოკეანეში, მისი ეკოლოგიური როლი.	140
7.4.4. ოკეანის დაცვა ნავთობისაგან.	141
7.5. შავი ზღვა, მისი თავისებურებები. გოგირდწყალბადი შავ ზღვაში.....	143
7.5.1. შავი ზღვის ჰიდროლოგიური და ჰიდროქიმიური თავისებურებები.	143
7.5.2. გოგირდწყალბადი შავ ზღვაში.....	145
7.5.3. გოგირდწყალბადის დინამიკა შავ ზღვაში.	146

7.5.4. შავი ზღვის გოგირდწყალბადის ამოღება-უტილიზაციის პერსპექტივა.	148
VIII. ნიადაგი და მცენარეული საფარი.....	150
8.1. ნიადაგი, მისი მნიშვნელობა, მიწის ფონდი.....	150
8.2. ნიადაგის ქიმიური შედგენილობა	152
8.3. ანთროპოგენური ფაქტორების გავლენა ნიადაგის შედგენილობაზე	154
8.4. ანთროპოგენური ფაქტორების გავლენა მცენარის ქიმიურ შედგენილობაზე	156
IX. გარემოს ანთროპოგენური დაბინძურების აცილების მეთოდები	160
9.1. სამრეწველო აირების განმენდის მეთოდები	160
9.1.1. სამრეწველო აირების განმენდა მტერისგან.	160
9.1.2. სამრეწველო აირების განმენდა გაზობრივი მინარევებისგან.	162
9.2. ჩამდინარე წყლების განმენდის მეთოდები	164
9.3. მყარი ნარჩენების უტილიზაციის მეთოდები.....	166
9.4. ეკოქიმიური ექსპერტიზა	167
ცნებები და ტერმინები.....	172
ლიტერატურა	186

შესავალი

გარემოში ანთროპოგენური ნივთიერებების მზარდი ემისია, მათი შემცირების გზების ძიება და უარყოფითი შედეგების დროული გამოსწორება თანამედროვეობის ურთულესი პრობლემაა. საკითხის რაციონალური მოგვარება გრანდიოზული თანხების, მატერიალური რესურსების და საერთაშორისო თანამშრომლობის გარდა მოითხოვს მაღალკვალიფიციური კადრების მომზადებას. იშვიათი გამოწვევებით ამ სფეროში საკმაოდ ხარვეზები არსებობს, რაც დარგის მრავალპროფილიანობით და გარემოს დაცვის სფეროში პოპულარულ ლიტერატურას გაცნობილი „სპეციალისტების“ მოზღვავეებით აიხსნება. ნაწილობრივ ამას ხელს უწყობს მასმედიაც, რომელიც თავისი სპეციფიკურობის გამო სენსაციური ხასიათის ინფორმაციას ანიჭებს უპირატესობას, რაც საზოგადოებაში აღვივებს ეკოფსიქოზს. ამის შედეგი იყო ხაიმის და ხუდონის ჰიდროელექტროსადგურების, მინაძის და ლაკმეს წყალსაცავების, სხვა სასიცოცხლო ობიექტების მშენებლობის დაბლოკვა. უნდა შეეგუოთ იმ აზრს, რომ ენერგეტიკის, ტრანსპორტის, მრეწველობის და სხვა დარგების განვითარება გააზრებული ეკოლოგიური კომპრომისების გარეშე არ მოხერხდება.

ნაშრომი წარმოადგენს სალექციო კურსს, რომელიც წლების მანძილზე იკითხება ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში. სახელმძღვანელოს ერთ-ერთი ღირსებაა ის, რომ მოტანილი ფაქტობრივი ინფორმაციის დიდი ნაწილი ასახავს ეკოქიმიურ ვითარებას და მის დინამიკას საქართველოში. „გარემოს ქიმიის“ სალექციო კურსი განკუთვნილია უნივერსიტეტების საბუნებისმეტყველო პროფილის ფაკულტეტების სტუდენტებისათვის და ზოგადსაგანმანათლებლო სკოლების პედაგოგებისათვის. წიგნი სასარგებლო იქნება ამ დარგით დაინტერესებული პირებისთვისაც და გაუად-

ვილებთ მათ, რეალურად შეაფასონ ლოკალური თუ გლობალური ხასიათის ეკოქიმიური პრობლემები.

მინდა მადლობა გადაუხადო ნიგნის რედაქტორს, ასისტენტ-პროფესორ ნინო თაყაიშვილს და ქიმიის მაგისტრს მაცაცო შედანიას ხელნაწერის მომზადებაში გაწეული დახმარებისათვის. წიგნზე მუშაობისას სასარგებლო რჩევებს მაძლევდნენ ქიმიის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფ. გიორგი მახარაძე და აწ განსვენებული, ქიმიის მეცნიერებათა კანდიდატი, დოცენტი ლაშა ცისკარიშვილი.

I. ზოგადი ცნებები

1.1. გარემო და მასთან დაკავშირებული ეკოლოგიური პრობლემები

რა იგულისხმება გარემოს დაბინძურებაში? – ტერმინში, რომელიც სულ უფრო ხშირად იხმარება სამეცნიერო თუ სამეცნიერო-პოპულარულ ლიტერატურაში. ერთნიშნა პასუხის გაცემა ამ თითქოსდა მარტივ კითხვაზე არ არის ადვილი.

გარემოს დაბინძურება უნდა გავიგოთ, როგორც არასასურველი მოვლენა, რომლის შედეგად გარემოში ისეთი რაოდენობით ხდება უცხო, მავნე ნივთიერება, რომ იცვლება მისი ფონური კონცენტრაცია, ბუნებრივი პროცესების ჩვეულებრივი მიმდინარეობა, რითაც ცოცხალ ორგანიზმებს არსებობა-განვითარებისათვის ექმნებათ არახელსაყრელი პირობები ან დისკომფორტი.

გარემოს დაბინძურების მიზეზი შეიძლება იყოს ბუნებრივი მოვლენები (ვულკანები, მტვრიანი ქარიშხლები, ტყის ხანძრები და სხვა), ან ანთროპოგენური ფაქტორები (ენერგეტიკა, ტრანსპორტი, სოფლის მეურნეობის ქიმიზაცია და ა.შ.). მიზეზების ასეთი დაყოფა პირობითია, რადგან ტყის ხანძარი შეიძლება გამოიწვიოს ელჭექმა, ტორფის თვითაალებამ, ან უყურადღებოდ მიტოვებულმა კოცონმა; მტვრიანი ქარიშხლების წარმოშობის ერთ-ერთი წინაპირობაა არასწორად წარმართული აგრომეურნეობა და ა.შ.

გარემოს დაბინძურების შედეგად მკვეთრად უარესდება საარსებო პირობები, იცვლება მზის რადიაცია და კლიმატი, იქმნება ტექნიკური ხასიათის სიძნელებები. ანთროპოგენური ნივთიერებების დიდი ნაწილი (მძიმე ლითონები, რადიოაქტიური ნივთიერებები, პესტიციდები და სხვა) მავნეა ცოცხალი ორგანიზმებისათვის. ზოგ შემთხვევაში ისინი გარემოში ტრანსფორმირდებიან კიდევ უფრო ძლიერ ტოქსიკანტებად. მაგალითად, ნიტრატები აღდგებიან ნიტრიტებად, მძიმე ლითონები წარმოქმნიან მეთილირებულ ფორმებს. ზოგიერთი ანთროპოგენური ნივთიერება აქტიურად მონაწილეობს ატმოსფეროში მიმდინარე ფოტოქიმიურ პროცესებში, რომლის შედეგად წარმოიქმნება საყოველთაოდ ცნობილი სმოგი (ბოლნისლი), თხელდება სი-

ცოცხლისათვის აუცილებელი „ოზონის ფარი“. გარემოში მოხვედრილი მჟავური ოქსიდების ჰიდრატაციის შედეგად ფორმირდება „მჟავა ნიემები“, რომლებიც აჩქარებენ ლითონთა კოროზიას, აზიანებენ ხელოვნების ძეგლებს.

გარემოს დაბინძურების პრობლემა ახალი არ არის. ჯერ კიდევ მე-13 საუკუნეში ლონდონში ბინების გასათბობად ქვანახშირის გამოყენებისათვის მკაცრად სჯიდნენ. მოსახლეობის ზრდასთან ერთად საკითხი უფრო გამწვავდა, ინდუსტრიალიზაციის ეპოქაში კი გლობალური ხასიათი მიიღო. „სადაც ბოლია, იქ ფულია“ – სწორი გამონათქვამი იყო, მაგრამ სამეცნიერო-ტექნიკურმა პროგრესმა სიკეთესთან ერთად ბევრი პრობლემაც წარმოშვა. დღეისათვის მნიშვნელოვნად არის დაბინძურებული ატმოსფერო, შიგა წყლები, ოკეანე და ნიადაგები. ადამიანის ინტენსიური, ზოგჯერ კი წინდაუხედავი საქმიანობის შედეგად ირლვევა ბუნებაში ჩამოყალიბებული ნონასწორული პროცესები, ხდება ნახშირბადის მიმოქცევის ანთროპოგენური დეფორმაცია, რასაც უკვე მოჰყვა კლიმატის შეცვლა.

2000 წელს ჩატარებული გამოკითხვის შედეგებით სწორედ კლიმატის მოსალოდნელი შეცვლა ითვლება მთავარ გლობალურ პრობლემად (ცხრილი 1.1).

**ცხრილი 1.1. გლობალური პრობლემები სხვადასხვა დარგის
სპეციალისტების შეფასებით
(% გამოკითხულთა საერთო რაოდენობიდან)**

პრობლემა	%	პრობლემა	%
ოკეანის დონის აწევა	3	ურბანიზაცია	16
ელნინო (დინება)	3	გარემოს ქიმიური დაბინძურება	16
კოსმოსური ნარჩენები	4	ნიადაგის დეგრადაცია	18
ოკეანის დაბინძურება	6	ჰაერის დაბინძურება	20
სამხედრო კონფლიქტები	7	ნარჩენების უტილიზაცია	20
სილატაკე	9	დემოგრაფიული აფეთქება	22
სამრეწველო ნარჩენები	10	წყლების დაბინძურება	28
ბუნებრივი რესურსების გამოლევა	11	ტყის გაჩეხვა	28
ახალი დაავადებები	14	სასმელი წყლის უკმარისობა	29
ენერგოდეფიციტი	15	კლიმატის შეცვლა	51
ოზონოსფეროს დეგრადაცია	15		

გარემოს დაბინძურებით გამოწვეული მატერიალური თუ სოციალური ზარალის გათვლა ძნელია. არაპირდაპირი გზით მათი შეფასება შეიძლება სახელმწიფოს მიერ გარემოს დაცვისათვის გაღებული თანხებით. განვითარებულ ქვეყნებში (აშშ, იაპონია) ამ მიზნით წლიურად ათეულობით მილიარდი დოლარი იხარჯება.

გარემოს ანთროპოგენური დაბინძურების კიდევ ერთი სოციალური ასპექტი: თითოეული ჩვენგანი გავლენას ახდენს გარემოზე და პირიქით, მაგრამ მდიდარი ფენის გავლენა შეუდარებლად დიდია. მეორე მხრივ ღარიბები, როგორც წესი, გარემოს დაბინძურების უარყოფითი შედეგებით მეტად ზარალდებიან.

1.2. ბუნებრივი რესურსები

ბუნებრივ რესურსებში იგულისხმება ყველაფერი, რაც გვხვდება ბუნებაში და საჭიროა კაცობრიობის არსებობისთვის, კეთილდღეობისა და პროგრესისათვის. მათ მიეკუთვნება საარსებო საშუალებები (ჰაერი, წყალი, ნიადაგი), მინერალური რესურსები (ნიალისეული სათბობი, სხვა მადნეული), ენერგიის წყაროები (წყლის, მზის, ქარის და სხვა). რესურსების სიუხვე და ნაირფეროვნება ეროვნული სიმდიდრეა. ბუნებრივი რესურსების რაციონალური გამოყენება ქვეყნის ინტელექტუალურ დონეზე და კულტურაზე დამოკიდებული, განსაზღვრავს მის ეკონომიკას და ეკოლოგიურ ვითარებას. ეკოლოგიური თვალსაზრისით მეტად მნიშვნელოვანია აგრეთვე მინერალური რესურსების ხარისხი, მოპოვებისა და გადამუშავების ტექნოლოგია. სასურველია ქვეყნის ეკონომიკა მოთავსდეს ეკოლოგიის ჩარჩოებში.

ბუნებრივი რესურსები სამ კატეგორიად იყოფა: ადვილად განახლებადი (ჰაერი, მზის ენერგია, ტყე და სხვა), ძნელად განახლებადი (ნიადაგი) და განუახლებადი (ნიალისეული). ცხადია, რომ რესურსების განუახლებადი სახეები წინდახედულ, მომჭირნე გამოყენებას მოითხოვს. სამწუხაროდ, იშვიათი გამონაკლისით, კაცობრიობის ისტორიაში წინდახედულობას შიშველი პრაგმატიზმი ჩაგრავდა. ურალში ათასობით ტონა სპილენძი გამოადნეს ულამაზესი მინერალისაგან – მალაქიტისაგან; უკვე გამოფიტულია ვერცხლის საბადოები, არასწორი ექსპლოატაციის გამო ნაწილობრივ გაჩანაგდა ციმბირის ნავთობის საბადოები. ბოლო ათეულ წლებში ადამიანის დამოკიდებულება ბუნებრივი რესურსების მიმართ უკეთესობისკენ იცვლება. მიეხვდით, რომ „ჩვენ კოსმოსური ხომალდის მგზავრები ვართ, ვიმყოფებით ხანგრძლივ მოგზაურობაში და ყველაფერი ყაირათიანად უნდა ეხარჯოდეს“.

ბუნებრივი რესურსების დეფიციტი, ან მათი არარაციონალური გამოყენება, ხშირად ეკოლოგიური ვითარების გართულების უშუალო მიზეზია. მაგალითად, მინის ფონდის სიმცირე გვამძულებს მივმართოთ სოფლის მეურნეობის ქიმიზაციის მეთოდებს; ატმოსფეროში ნახშირბადის დიოქსიდის კონცენტრაციის ზრდის ერთ-ერთი მიზეზი ტყეების გაჩანაგებაა და ა.შ.

საქართველო ბუნებრივი რესურსებით (მტკნარი და მინერალური წყლები, წყლის ენერგია, ნიალისეული) ერთ-ერთი მდიდარი ქვეყანაა. მათი დაცვა და რაციონალური გამოყენება, სხვა ფაქტორებთან ერთად, დამოკიდებულია მოსახლეობის ეკოლოგიურ განათლებაზეც.

1.3. ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციები

გარემოს დაბინძურების ხარისხისა და შექმნილი ვითარების საშიშროების ობიექტური შეფასების მიზნით შემოღებულია ცნება ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციების (ზდკ) შესახებ. ზდკ მავნე, ტოქსიკური და არაესთეტიკური ნივთიერების მაქსიმალური კონცენტრაციაა ამა თუ იმ ობიექტში, რომელიც უვნებელია ცოცხალი ორგანიზმისათვის და არ ქმნის დისკომფორტს. თანამედროვე მოთხოვნით ზდკ ტოლმა (მით უმეტეს ნაკლებმა) რაოდენობა ნივთიერებამ შორეულ მომავალშიც კი არ უნდა გამოიწვიოს რაიმე დაავადება, პათოლოგიური თუ გენეტიკური ცვლილება ორგანიზმში.

ნორმირებული ნივთიერებების დადგენა მედიცინის ერთ-ერთი რთული და შრომატევადი დარგია. ამჟამად მრეწველობაში, სოფლის მეურნეობაში და ადამიანის პრაქტიკული საქმიანობის სხვა დარგებში ათასობით მავნე ნივთიერებაა გამოყენებული. მარტო ქიმიური მრეწველობა 120000-მდე ნივთიერებას ამზადებს. მათი ასორტიმენტი ყოველწლიურად ივსება ახალი, ზოგჯერ უცნობი ბუნების მქონე ნივთიერებებით. თითოეული მათგანისათვის დასადგენია ზდკ ჰაერში, წყლებში, ნიადაგში, ზოგჯერ საკვებშიც. ამასთან, საჭიროა ვიცოდეთ ერთჯერადი მაქსიმალური და საშუალო დღეღამური დასაშვები კონცენტრაციები სამუშაო და საცხოვრებელი ზონებისათვის ცალ-ცალკე. ერთი ნივთიერების ზდკ დადგენა რაიმე ობიექტში რამდენიმე ათასი დოლარი ჯდება. ამიტომ გასაგებია, თუ ჯერ კიდევ რატომ არ არის განსაზღვრული ზდკ პრაქტიკაში გამოყენებული ნივთიერებების დიდი ნაწილისათვის. ეს ხარვეზი ნაწილობრივ ივსება დროებითი სარგებლობის ნორმატივებით, რომელთა საიმედოობა ჩამორჩება ზდკ-ას. სპეციალისტების აზრით, მომავალში ზდკ-ს დადგენისას საჭირო იქნება გავითვალისწინოთ არა მარტო ელემენტის

ვალენტობა, არამედ მისი შემცველობის ფორმებიც, რადგან ისინი მნიშვნელოვან წილად განსაზღვრავენ ნივთიერების ტოქსიკურობას. ზდკ დადგენა კიდევ უფრო რთულია ობიექტში ორი და მეტი ტოქსიკანტის თანაობისას, მათი სინერგეტიკული მოქმედების გამო.

მეთოდური სირთულეებით და ადგილობრივი თავისებურებებით უნდა ავხსნათ სხვადასხვა ქვეყანაში მიღებული ზდკ, აგრეთვე ჯანმრთელობის დაცვის საერთაშორისო ორგანიზაციის (ჯსო) მიერ რეკომენდებულ სიდიდეებს შორის არსებული სხვაობები (ცხრილი 1.2).

ცხრილი 1.2. ზოგიერთი მძიმე ლითონის ზდკ სასმელ წყლებში (მგ/ლ)

ელემენტი	ჯსო	აშშ	რუსეთი	გერმანია	საქართველო
Cd	0.003	0.001	0.001	0.005	0.001
Hg	0.001	0.002	0.0005	0.001	0.0005
Pb	0.01	0.05	0.03	0.04	0.03
As	0.01	0.05	0.05	0.05	0.05

ზოგიერთი ნივთიერების საშუალო დღელამური ზდკ საცხოვრებელი ზონის ჰაერსა და სასმელი წყლებისათვის ნაჩვენებია 1.3 ცხრილში. სხვა ნივთიერებების ზდკ მოცემულია სათანადო ცნობარებში (იხ. ლიტერატურა).

ცხრილი 1.3. ზოგიერთი ნივთიერების ზდკ ჰაერსა (მგ/მ³) და სასმელ წყალში (მგ/ლ)

ნივთიერება	ჰაერი	წყალი	ნივთიერება	ჰაერი	წყალი
ტყვია -	0.0003	0.01	ფენოლი	0.003	0.001
დარიშხანი	0.03	0.01	კაპროლაქტამი	0.06	1.0
ვერცხლისწყალი	0.0003	0.006	ნავთობი	--	0.1
ოზონი	0.03	0.3	ბენზინი	1.5	0.1
ამიაკი	0.04	0.5	თიოფოსი	0.05	0.003
ნიტრატინი	--	50	ჰექსაქლორანი	0.3	0.02
ბენზოლი	0.01	0.5	დღტ	0.05	0.1
ტოლუოლი	0.6	0.5	3,4-ბენზპირენი	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$

1.4. გარემოს დაბინძურების ბუნებრივი წყაროები

იშვიათად, მაგრამ მაინც, გარემოს დაბინძურების მიზეზი შეიძლება იყოს ვულკანები, ტყის ხანძრები და სხვა ბუნებრივი მოვლენები. ვულკანების ამოფრქვევისას ტროპოსფეროსა და სტრატოსფეროში იფანტება დიდი რაოდენობა ფერფლი და მტვერი. საკმარისია გავიხსენოთ პომპეის ტრაგედია. გაევრვარებულმა მტკრის ღრუბელმა (პიროპლასტიკური მასა, რომლის ტემპერატურა აღემატება 1000°C) მყისიერად დაფარა და გაანადგურა ქალაქი. უფრო გრანდიოზული იყო კუნძულ კრაკატაუზე (ზონდის სრუტე) 1883 წელს ვულკანის ამოხეთქვით გამონვეული კატასტროფა. უძლიერესი აფეთქების შედეგად 80 კმ სიმაღლეზე გაიფანტა მლნ-ით ტონა მტვერი. ატმოსფეროს გლობალური დამტვერვის შედეგად მზის რადიაცია დედამიწაზე 2-3 წელი იყო შემცირებული. ზუსტად ასი წლით ადრე მთელ ევროპას მოედო „მშრალი წისლი“, რომლის მიზეზი ისლანდიაში მოქმედი ვულკანი ლაკი იყო. ისლანდიაში ვულკანური ფერფლით დაიფარა საძოვრების დიდი ნაწილი, რასაც მოჰყვა ჯერ საქონლის, შემდეგ კი ადამიანების მასიური ამოწყვეტა შიმშილით.

ვულკანების ამოფრქვევას თავისი დადებითი მხარეც აქვს. ვულკანი სარკმელია ჩვენთვის მიუწვდომელ, უცხო სამყაროში; მისი უშუალო მონაწილეობით ჩამოყალიბდა ატმოსფერო, ოკეანე და ნიადაგები.

პიროპლასტიკურ მასასთან ერთად ვულკანების ამოფრქვევისას ატმოსფეროში ხვდება ტექტონიკური აირები, მათ შორის ტოქსიკური ნივთიერებებიც (ცხრილი 1.4).

ცხრილი 1.4. ვულკანური აირების შედგენილობა (ექსტრემალური სიდიდეები)

აირი	მოცულობითი %	აირი	მოცულობითი %	აირი	მოცულობითი %
CO_2	4.6 – 47.7	SO_2	0.1 – 29.8	Cl_2	0.0 – 4.1
CO	0.3 – 4.9	სორთქ.	0.0 – 8.6	HCl	0.0 – 0.6

თუ გავითვალისწინებთ, რომ დედამიწაზე 1000-ზე მეტი მოქმედი ვულკანია, მათი წილი ატმოსფეროს დაბინძურებაში უმნიშვნელო არ უნდა იყოს. საორიენტაციო შეფასებით ყოველწლიურად ატმოსფეროში ვულკანებიდან ხვდება $3\text{--}5 \cdot 10^7$ ტ SO_2 , $1 \cdot 10^6$ ტ H_2S , $7,5 \cdot 10^5$ ტ

HCl, $3,8 \cdot 10^4$ ტ HF და სხვა. მარტო ვულკანი ტობაჩიკი (კამჩატკა) ატმოსფეროში წლიურად გამოყოფს 1,2 ტ ვერცხლისწყლის ორთქლს.

ნაკლები აქტივობით ვულკანებიდან აირგამოყოფა გრძელდება მშვიდ პერიოდშიც. მაგალითად ვულკან ასამას (იაპონია) SO_2 -ის დღელამური გამონაყოფი აქტივობის პერიოდში შეადგენს 780 ტ, მშვიდ პერიოდში კი 132 ტ. საერთო ჯამში ვულკანური წარმოშობის SO_2 მისი ბუნებრივი ემისიის 10-20 % შეადგენს.

ტექტონიკური აირების ნაკადის სპონტანური გამოყოფა შეიძლება ლოკალური ეკოქიმიური კატასტროფის მიზეზი გახდეს. მაგალითად, 1986 წ. კამერუნის ჩრდილოეთით, ვულკანური წარმოშობის პატარა ტბიდან ამოხეთქილმა აირებმა რამდენიმე წუთში იმსხვერპლა ახლომდებარე სოფლების 1700-ზე მეტი მცხოვრები. ვარაუდობენ, რომ კატასტროფის მიზეზი იყო CO_2 -ის მძლავრი ნაკადი, რომელიც შეიცავდა SO_2 და H_2S -ის მინარევებს. სპეციალისტები არ გამოირიცხავენ მსგავსი კატასტროფის განმეორებას.

ბუნებრივ კატასტროფათა ჯგუფში შედის მტვრიანი ქარიშხლებიც. ხელსაყრელ პირობებში, რასაც ხშირად ანთროპოგენური საწყისი აქვს, სასოფლო-სამეურნეო რეგიონებიდან, ამომშრალი წყალსატევებიდან, ღია კარიერებიდან და სხვა, ჰაერის ნაკადებს ასობით და ათასობით კმ მანძილზე გადააქვთ ნიადაგი, ქვიშა და სხვა ტერიგენული მასალა. ძლიერ მტვრიანი ქარიშხლის დროს 1 კმ³ ჰაერში 500 ტონამდე მტვერია დაფიქსირებული. 1934 წ. აშშ დიდი ველიდან ქარიშხალმა 30 მლნ ტ ნოყიერი ნიადაგი გაიტანა. უფრო დიდმასშტაბიან კატასტროფებს ჰქონდა ადგილი შუა აზიის ყამირი მინების ათვისების პერიოდში. არალის ტბის გაშიშვლებული ფსკერიდან ქარებს წლიურად 300-400 კმ გადააქვთ 7-8 მლნ ტ ქვიშა, რომელიც 0,5-1,5 % წყალში ხსნად მარილებს შეიცავს.

1960-1961 წწ. მტვრიანმა ქარიშხლებმა საქართველოსაც გადაუარა. მარტო 1960 წ. 3 ივლისს საქართველოს ტერიტორიაზე დაიღექა $2,5 \cdot 10^5$ ტ-დე არაბეთის თუ აფრიკის უდაბნოებიდან მოტანილი წერილი ქვიშა. იმავე პერიოდში მტვრიან ქარიშხლებს თან მოჰყვა „ტალახიანი“ წვიმებიც.

გარემოს დაბინძურებას ჭვარტლით, ნახშირორჟანგით, ორგანული ნივთიერებებით და სხვა ინვევენ ტყის ხანძრები. ყოველწლიურად მსოფლიოს სხვადასხვა რეგიონში მლნ-ით ჰა ტყე იწვის. მარტო 1982-1983 წწ. ავსტრალია-ინდოეთის ზონაში 200 ათასი კმ² ტყე გა-

დაინვა, რის შედეგად ატმოსფეროში მოხვდა $2 \cdot 10^9$ ტ CO_2 . სხვადასხვა ბუნების აეროზოლების მძლავრ წყაროს წარმოადგენენ მცენარეები, განსაკუთრებით ყვავილობის პერიოდში. დაბინძურების სხვა წყაროებიდან აღსანიშნავია ბიოქიმიური პროცესები, ოკეანის წყლის „მექანიკური აორთქლება“ და სხვა.

საგანგაშოა ის ფაქტი, რომ გასული საუკუნის ბოლო 50-60 წლის მანძილზე, ახალი გლობალური პროცესების შედეგად, ბუნებრივი კატასტროფების რიცხვი რამდენჯერმე გაიზარდა.

II. გარემოს დაბინძურების ანთროპოგენური წყაროები

გარემოს დაბინძურების ანთროპოგენური წყაროები ბუნებრივ-თან შედარებით უფრო ნაირფეროვანი, მძლავრი და ხანგრძლივმოქმედია. ამასთან, ურბანიზაციისა და ტექნიკური პროგრესის შედეგად, ანთროპოგენური ნივთიერებების ასორტიმენტი და გარემოში ემისიის ინტენსივობა, იშვიათი გამონაკლისით, განუწყვეტლივ იზრდება.

ეკოქიმიური თვალთახედვით გარემოს დაბინძურების ძირითადი ანთროპოგენური წყაროებია ენერგეტიკა, ტრანსპორტი, მრეწველობა, სამხედრო-სამრეწველო კომპლექსი, სოფლისა და კომუნალური მეურნეობები.

2.1. ენერგეტიკა

ენერგია იყო და რჩება კაცობრიობის არსებობის, კეთილდღეობისა და პროგრესის აუცილებელ წინაპირობად. ამიტომ ენერგიის მოპოვების არსებული საშუალებების მოდერნიზაცია და ახალი წყაროების ძიება მუდამ მეცნიერებისა და ტექნიკის პრიორიტეტული მიმართულება იყო. გლობალური მასშტაბით ეკოლოგიური ვითარების გამწვავების გამო, ენერგიის წყაროების შერჩევისას, ერთ-ერთ მთავარი კრიტერიუმი გახდა მისი ეკოლოგიური უსაფრთხოება.

1900 წ. მსოფლიოში გამომუშავებული ენერგია შეფასებულია $2,1 \cdot 10^{19}$ ჯოულით, 1988 წ. კი $3,2 \cdot 10^{20}$ ჯოულით. ე.ი. მისი გამომუშავება ამ პერიოდში 15-ჯერ გაიზარდა. სხვა მონაცემებით კაცობრიობის მიერ გამოყენებული ენერგია ორმაგდება ყოველ 20 წელიწადში. განვითარებულ ქვეყნებში მისი წლიური ნამატი 3-5 %-ია, განვითარებადში კი – 20-22 %. ერთ სულ მოსახლეზე 1988-1989 წლებში გამომუშავებული იყო (გიგა-ჯოული): გერმანიაში – 457, აშშ – 372, იაპონიაში – 110, ბანგლადეშში – 2. იმავე პერიოდში ყოფილ სსრკ-ში ერთ სულ მოსახლეზე მოდიოდა 194 გიგა-ჯოული, საქართველოში – 104.

კაცობრიობის მზარდი მოთხოვნილების დაკმაყოფილება ენერგიაზე დღემდე, ძირითადად, მისი არსებული სიმძლავრეების ზრდით

და ახალი წყაროების ძიებით ხდებოდა. მაგრამ ენერგიის ძირითადი წყაროს – სათბობის შეზღუდული მარაგისა და გამწვავებული ეკოლოგიური ვითარების გამო, თანდათან მეტი ყურადღება ექცევა მის ეკონომიურ ხარჯვას.

მონინავე ქვეყნებში ინტენსიურად ვითარდება ნაკლებად ენერგოტევადი ტექნოლოგიები. მაგალითად, იაპონიაში 1 ტ თუჯის გამოდნობაზე 4-ჯერ ნაკლებ ენერგიას ხარჯავდნენ, ვიდრე ჩინეთსა და ინდოეთში. დასავლეთ ევროპაში ეროვნული პროდუქციის შექმნაზე 2-ჯერ ნაკლები ენერგია იხარჯებოდა აღმოსავლეთ ევროპის ქვეყნებთან შედარებით.

ენერგიის, ბუნებრივი რესურსების ეკონომიისა და ეკოლოგიური ვითარების გაუმჯობესების დიდ შესაძლებლობას იძლევა მეორადი ნედლეულის (ჯართი, მაკულატურა) ფართო გამოყენება, აგრეთვე თბოდანადგარების გამონაბოლქვი აირების სითბოს უტილიზაცია.

დიდი რაოდენობით ენერგიის დაზოგვა შეიძლება ყოფაცხოვრებით სფეროშიც. ბინების გათბობის ცენტრალიზებული სისტემიდან ინდივიდუალურზე გადასვლით იზოგება სითბოს 30 %, რომელიც, ჩვეულებრივ, თბოტრასაზე იკარგება. ენერგიის დიდ ეკონომიას იძლევა ბინების თბოიზოლაცია და განათების ახალი სისტემები. აშშ განათებაზე იხარჯება ენერგიის 20-30 %. ვარვარების ნათურების „დღის ნათურებით“ შეცვლა ენერგიის 75 % ზოგავს.

მიუხედავად ენერგიის წყაროების მრავალფეროვნებისა, დღეისათვის მისი ძირითადი მომწოდებელია თბო-, ჰიდრო- და ატომური ენერგეტიკა. მათი წილი საერთო ბალანსში შეადგენს 65, 23 და 8-10 %. ენერგიის სხვა წყაროები (მზე, ქარი, დედამიწის სითბო და სხვა) ჯერჯერობით ნაკლებად კონკურენტუნარიანია. ამასთან, ეკოლოგიური, ზოგჯერ კი ეკონომიკური უპირატესობის გამო, მათი წილი ენერგეტიკის საერთო ბალანსში თანდათან იზრდება.

2.1.1. თბოენერგეტიკა. დღეისათვის ენერგიის ძირითადი წყარო სათბობია. ამ მიზნით გასული საუკუნის ბოლოს იხარჯებოდა $(6-7) \cdot 10^9$ ტ პირობითი სათბობი (სათბობი, რომლის 1 კგ 7000 კკალ იძლევა), ხოლო წლიურად გამომუშავებული ენერგია $(4,2-4,8) \cdot 10^{16}$ კკალ შეადგენდა. ცალკეულ ქვეყნებში თბოენერგეტიკაზე მოდის გამომუშავებული ენერგიის 50 – 80 %.

თბოენერგეტიკაში ძირითადი ნედლეულია ქვანახშირი, ნავთობ-პროდუქტები და ბუნებრივი სანავი აირი. შედარებით მოკრძალებუ-

ლია მურა ნახშირის, სანავი ფიქლებისა და მერქნის ნილი. მოპოვების, ტრანსპორტირებისა და ეკოლოგიური თვალსაზრისით დიდი უპირატესობა აქვს სანავ აირებს და ნავთობპროდუქტებს. მაგრამ მათი მარაგი შეზღუდულია და, როგორც ვარაუდობენ, 30-50 წელიწადში ამოიწურება. ქვანახშირის პროგნოზირებული მარაგი $6,3 \cdot 10^{12}$ ტ შეადგენს, რაც სათბობის საერთო მარაგის 90 %-ია და 350-400 წელი იქნება საკმარისი.

ეკოქიმიური თვალსაზრისით ქვანახშირს, როგორც ნედლეულს, ბევრი ნაკლი აქვს. სხვა სათბობებთან შედარებით მის წვაზე იხარჯება დიდი რაოდენობა ჟანგბადი, ამასთან, ენერგიის ერთეულზე გამოყოფს მეტ CO_2 . ქვანახშირის წვის პროდუქტებზე მოდის ატმოსფეროს გლობალური დაბინძურების 29 %. ყოველწლიურად ქვანახშირის წვის შედეგად ატმოსფეროში ხვდება $4 \cdot 10^8$ ტ CO_2 , $2 \cdot 10^7$ SO_2 , $2,5 \cdot 10^8$ ტ აეროზოლები, ათეულ მლნ ტ NO_x , C_xH_y და სხვა ნორმირებული, მათ შორის რადიოაქტიური, ნივთიერება, რომელთა ბუნებრივ კონცენტრატორს წარმოადგენს ქვანახშირი (ცხრილი 2.1). დადგენილია, რომ ქვანახშირის წვის შედეგად გარემოში 8700-ჯერ მეტი ვერცხლისწყალი, 125-ჯერ მეტი დარიშხანი და 60-ჯერ მეტი ურანი იფანტება, ვიდრე ბუნებრივ მიმოქცევაშია. ამის გამო ნიადაგის რადიაცია დიდი თბოსადგურების გარშემო 100-ჯერ მეტია ფონურზე. ქვანახშირის, მით უმეტეს მურა ნახშირის წვის შედეგად წარმოიქმნება დიდი რაოდენობა ნამწვი, რომელთა უტილიზაცია ყოველთვის არ არის შესაძლებელი, მათი გრანდიოზული საყრდენები (ტერიკონები) კი გარემოს დაბინძურების მძლავრი წყაროა.

ცხრილი 2.1. მიკროელემენტების კლარკი და შემცველობა ქვანახშირის ნაცარში (მგ/კგ)

ელემენტი	კლარკი	ქვანახშირი	K*	ელემენტი	კლარკი	ქვანახშირი	K*
B	10	600	60	Pb	13	100	8
Ge	10	500	50	Ga	15	100	7
As	2	500	250	U	2.7	400	148
Be	4	300	75	Sc	5	60	12

* – გამდიდრების კოეფიციენტი

**ცხრილი 2.2. სათბობის წვისას გამოყოფილი აირების
შედგენილობა (კგ/ტ სათბობზე)**

კომპონენტი	ძრავა		თბოსადგური	
	შიგანვის	დიზელი	მაზუთი	ქვანახშირი
CO	395	9	0.005	0.25
NO _x	20	33	14	10
SO ₂	1.55	6	-	19
C _x H _y	34	10	0.42	0.1
ალდეჰიდები	1.4	6	0.08	0.003
მყარი ნაწილაკები	2	16	1.3	8

განვითარებად ქვეყნებში სათბობის ძირითად წყაროდ რჩება მერქანი, რომელიც ადვილად განახლებადი ნედლეულია. ყოველწლიურად ფოტოსინთეზის შედეგად დედამიწაზე $8 \cdot 10^{10}$ ტ ორგანული მასა წარმოიქმნება, რაც 14-ჯერ აღემატება მოპოვებული სათბობის საერთო რაოდენობას. მიუხედავად ამისა, დაბალი კალორიულობის გამო (ცხრილი 2.3) მერქანი დიდ ენერგეტიკაში არ გამოიყენება. თვლიან, რომ ტექნიკურ-ეკონომიკური თვალსაზრისით უმჯობესი იქნება მისი გადამუშავება პერსპექტიულ საწვავად – მეთანოლად.

**ცხრილი 2.3. სხვადასხვა სათბობის თბოუნარიანობა
(Q; კჯ/ოული კგ-ზე)**

სათბობი	Q	სათბობი	Q	სათბობი	Q
მერქანი	19	მურა ნახშირი	28	ნავთობი	44
ტორფი	23	ქვანახშირი	35	აირი	50

ყოფაცხოვრებითი მოთხოვნილების დასაკმაყოფილებლად სულ უფრო იზრდება ბიოგაზის, როგორც სათბობის, როლი. ერთი ტონა ცხოველური ნაკელის მარტივი ბიოქიმიური გადამუშავებით შესაძლებელია 450-660 მ³ ბიოგაზის მიღება, რაც 320-430 კგ პირობითი საწვავის ეკვივალენტურია. ინდოეთში 4 მლნ ბიოგაზის მისაღები დანადგარი მოქმედებს, ჩინეთში კი მათი რაოდენობა 25 მლნ აღემატე-

ბა. აშშ უახლოეს მომავალში გეგმავს ბიოგაზის ნარმოებით დააკმა-
ყოფილოს საწვავ აირზე ქვეყნის მოთხოვნის 20 %. ინგლისში ბიოგა-
ზის მისაღებად გამოყენებულია კომუნალური ჩამდინარე წყლები.
მუშავდება ცხოველური ნაკელიდან წყალბადის მიღების რენტაბე-
ლური ბაქტერიოლოგიური მეთოდი.

ბიოგაზის გამოყენება ფებს იკიდებს ჩვენშიც. მდ. ხობის აუზში ჩა-
ტარებულმა ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ ფერმერული მეურნეობების
ბიოგაზიფიკაციის შედეგად გაუმჯობესდა მოსახლეობის ენერგომო-
მარაგება და, რაც არანაკლებ მნიშვნელოვანია, ეკოქიმიური ვითარება.

2.1.2. ჰიდროენერგეტიკა. წყლის ენერგიას ადამიანი უძველესი
დროიდან იყენებდა. ჰიდროენერგეტიკა დღესაც ერთ-ერთი ნამყვანი
და პერსპექტიული დარგია. ენერგიის სხვა წყაროებთან შედარებით
მას ბევრი უპირატესობა აქვს: განახლებადია, ადვილია გამომუშავე-
ბული ენერგიის დარეგულირება, კაშხალების საშუალებით შესაძლე-
ბელია წყლის დაგროვება და მისი გეგმაზომიერი ხარჯვა, თავიდან
ვიცილებთ დამანგრეველ წყალდიდობებს, ვითარდება ნაოსნობა, იქ-
მნება ახალი დასასვენებელი ზონები და სხვა. თბოენერგიასთან შე-
დარებით ჰიდროენერგიის ელექტროენერგიად გარდაქმნის მარგი
ქმედების კოეფიციენტი 2,3-ჯერ მაღალია, ხოლო გამომუშავებული
ელექტროენერგიის თვითღირებულება – 4-ჯერ ნაკლები. რაც მთავა-
რია, ჰიდროენერგეტიკა ეკოლოგიურად ერთ-ერთი ყველაზე სუფთა
დარგია. ამით აიხსნება ჰიდრორესურსების გამოყენების მაღალი ხა-
რისხი. საფრანგეთსა და შვეიცარიაში ეს სიდიდე შეადგენს 90 %, იტა-
ლიასა და შვედეთში – 75 %. საქართველოში ეს სიდიდე საკმაოდ დაბა-
ლია (15-20 %).

ჰიდროენერგეტიკის განვითარების მონინალმდეგეებს მის მთა-
ვარ ნაკლად წყალსაცავების მშენებლობა მიაჩნიათ. მართლაც წყალ-
საცავებით იფარება სასოფლო-სამეურნეო სავარგულები. მარტო მდ.
ვოლგის წყალსაცავების ქვეშ მოექცა 25 მლნ ჰა-მდე ტერიტორია.
დიდი წყალსაცავების ზონაში ძლიერდება სეისმური აქტივობა, რომ-
ლის შესამცირებლად საჭირო ხდება ღრმა ბურღილების გათხრა.
გარდა ამისა, კაშხალები აფერხებენ თევზების ბუნებრივ მიგრაციას
და ა.შ. ჰიდროტექნიკური მშენებლობის ადგილის შერჩევაში დაშვე-
ბული შეცდომა კარგად ჩანს რიონჰესის მაგალითზე, რომელმაც ქუ-
თაისი ფაქტობრივად მდინარის გარეშე დატოვა.

ამ საკითხზე ჩვენში კამათმა განსაკუთრებით მწვავე ხასიათი მიიღო გასული საუკუნის 90-იან წლებში. საექვო გახდა ჯვრის, ხუდონის, მინაძის, ლაკმეს და სხვა წყალსაცავების მშენებლობის მიზანშეწონილობა. ჩვენი აზრით, ამ კამათში მეტი ემოციები იყო, ვიდრე სალი აზრი. აპრიორულად ამტკიცებდნენ, რომ ჯვრის წყალსაცავის აგების შემდეგ სვანეთში გაიზარდა ტენიანობა, რასაც ბევრი უარყოფითი შედეგი მოჰყვა. დაუჯერებელია ჯვრის წყალსაცავმა შეცვალოს რეგიონის ტენიანობა, როცა რამდენიმე ათეულ კმ-ში მდებარეობს მასზე 50 ათასჯერ დიდი ზედაპირის მქონე შედარებით თბილი შავი ზღვა. გარდა ამისა, უნდა გავიხსენოთ, რომ 250-300 წლის წინ ცნობილი რინის ტბა, ხოლო 1889 წელს ამტყელის ტბა წარმოიქმნა კლდის ჩამონახალით მდინარის კალაპოტის ჩახერგვის შედეგად.

საქართველოში ჰიდროენერგეტიკის განვითარების მოწინააღმდეგეებს განსაკუთრებით გაუმართლებლად მიაჩნდათ „დიდი“ ჰესების მშენებლობა. დიდი და პატარა პირობითი ცნებებია. მსოფლიოში მართლაც დიდი წყალსაცავები ფუნქციონირებენ აფრიკაში (ვიქტორია, კარიბა), რუსეთში (ბრატსკი და სხვა). მათში დაგროვილი წყლის მოცულობა 170-205 კმ³ შეადგენს, სარკის ფართი კი 5,5-8,5 ათას კმ². ჩვენში ყველაზე დიდი ჯვრის წყალსაცავის შესაბამისი პარამეტრები 1,1 კმ³ და 12,5 კმ²-ია.

მოუხედავად აღნიშნულისა, მთელი აქცენტის გადატანა ჰიდროენერგეტიკაზე გაუმართლებელი იქნება, რადგან ჰიდრორესურსების სრული გამოყენების შემთხვევაშიც კი მას შეუძლია დააკმაყოფილოს ენერგიაზე საერთო გლობალური მოთხოვნის მხოლოდ 25 %. გარდა ამისა, წყლის მარაგი და გამომუშავებული ენერგია დამოკიდებულია ამინდზე. ჩვეულებრივ საქართველოში ჰიდროენერგეტიკა იძლევა ენერგიის 65 %-ს, 2000 წელს გვალვების გამო ეს სიდიდე 30 %-მდე დაეცა.

2.1.3. ატომური ენერგეტიკა. ატომური ენერგეტიკა შედარებით ახალი, ინტენსიურად მზარდი დარგია. ალბათ წარმოების არც ერთი სფეროს განვითარების მომხრეებსა და მოწინააღმდეგეებს შორის არ არსებობს შეხედულებათა ისეთი მკვეთრი სხვაობა, როგორც ამ შემთხვევაშია. ერთი მხრივ, ისახება ენერგეტიკის მუდმივი კრიზისისაგან რეალური გამოსავალი; მეორე მხრივ, სახეზეა კაცობრიობის ისტორიაში ყველაზე გრანდიოზული ჩერნობილის კატასტროფა.

ატომური ენერგეტიკის დადებითი მხარეა მისი პრაქტიკულად შეუზღუდავი პოტენციალი. 1 გ ქვანახშირი 7 კალორია ენერგიას იძლევა, იგივე რაოდენობა ბირთვული საწვავი – 20 მლნ კკალ ეკვივალენტურია. მაგატეს მონაცემებით, ურანის მსოფლიო მარაგი ($1,7 \cdot 10^7$ ტ) ენერგიაზე გადათვლით 15-20-ჯერ მეტია, ვიდრე შეუძლია მოგვცეს ქვანახშირმა. თუ პრაქტიკაში დაინერგა ჩქარ ნეიტრონებზე მომუშავე რეაქტორები, ენერგეტიკის პრობლემა დიდი ხნით მოიხსნება. პერსპექტივაშია ენერგიის წყაროდ თერმობირთვული რეაქციების გამოყენება. პრაქტიკამ დაამტკიცა, რომ ატომური ენერგეტიკა საკმაოდ ეკონომიურია და ბევრ ქვეყანაში ენერგიის ძირითადი წყარო გახდა. საფრანგეთში ატომურ ენერგოსადგურებზე მოდის გამომუშავებული ენერგიის 87 %, ბელგიაში 66 %, გერმანიაში 35 % და ა.შ.

ბევრ დადებით მახასიათებელთან ერთად ატომური ენერგეტიკის განვითარება მრავალ ეკოლოგიურ პრობლემას ქმნის, რომლებიც მთელი სიმწვავეთ გამოვლინდა 1986 წ. ჩერნობილის ატომური სადგურის მსხვილმასშტაბიანი ავარიის დროს. თეორიულად კატასტროფას, რომლის დროსაც ერთდროულად შეიძლება მოშლილიყო დაცვის ყველა სისტემა, მეცნიერები არ გამორიცხავენ. მაგრამ მოვლენების ასეთი სცენარით განვითარების ალბათობა 1982 წელს გაკეთებული პროგნოზით $1:10^6$ ტოლი იყო. ჩერნობილის ავარიამ მოიცვა 100 000 კმ², დაზარალდა 3 მლნ ადამიანი, პირველად გაჩნდნენ ეკოლოგიკური პრობლემები. ავარიის შედეგად საკმაოდ აინია რადიაციის დონემ საქართველოშიც.

ატომური ენერგეტიკის მეორე მწვავე ეკოლოგიური პრობლემაა ბირთვული სათბობის ნარჩენების უტილიზაცია და დამარხვა. მართალია მათი საერთო რაოდენობა მცირეა (70-80 ტ წლიურად), მაგრამ ძლიერი რადიაციისა და ნახევარდაშლის ხანგრძლივი პერიოდის გამო, მოითხოვენ განსაკუთრებულ ყურადღებას და დიდ დანახარჯებს. გასათვალისწინებელია, რომ ადამიანის ორგანიზმში მოხვედრილი 1 მკგ პლუტონიუმი იწვევს ავთვისებიან დაავადებას. თავდაპირველად საიმედოდ კაფსულირებული ნარჩენების სამარხად გამოყენებული იყო ძველი მაღაროები და ოკეანის ღრმულები. ახლა ამ მიზნით ამჯობინებენ ქვამარილის გამომუშავებულ მაღაროებს, სადაც გეოლოგიური თავისებურების გამო გრუნტის წყლების ცირკულაცია არ ხდება. ავსტრალიელი მეცნიერების მიერ რადიოაქტიური ნარჩენების კაფსულირებისათვის რეკომენდებულია ზეგამძლე მინე-

რალეებისაგან დამზადებული სილიკატური მასალა, რომელიც უფრო თერმომდგრადია, ვიდრე ამ მიზნებისათვის გამოყენებული ბორსილიკატური მინა (რადიოაქტიური ნარჩენები სითბოს მძლავრი გენერატორებია). მათი გათვლით ასეთი კონტეინერი 2 მილიარდი წელი იქნება მდგრადი. ჯერჯერობით კი ეკონომიურად განვითარებული ქვეყნები ცდილობენ სამარხები მოაწყონ განვითარებადი ქვეყნების ტერიტორიაზე, რასაც ახერხებენ კიდეც სათანადო საფასურის გაღებით.

ატომური ენერგეტიკის განვითარების პერსპექტივები ჯერ კიდევ საკამათოა. ჩერნობილის მოვლენების მემატიანე, გახმაურებული წიგნის „Чернобыльский загар“ ავტორი გ. მედვედევი თვლის, რომ მიუხედავად ყველაფრისა, ატომურ ენერგეტიკას დიდი მომავალი აქვს, მაგრამ აუცილებელია ახალი, საიმედო კონსტრუქციის რეაქტორები და გაათმაგებული ყურადღება, რადგან „მშვიდობიანი ატომი“ არ არსებობს.

არ არის გამორიცხული, რომ არცთუ შორეულ მომავალში ატომური სადგურის მშენებლობის საკითხი დადგეს საქართველოშიც. პრობლემა მეტად სერიოზულია და სათანადო შესწავლას მოითხოვს. პრინციპულად ეს დასაშვებია, მაგრამ გასათვალისწინებელია რეგიონის სეისმომედეგობა და ჯერ კიდევ აუთვისებელი ჰიდროენერგო რესურსები.

2.1.4. ენერგიის სხვა წყაროები. ყოფა-ცხოვრებაში და პრაქტიკულ საქმიანობაში ადამიანი ხშირად იყენებს მზის, ქარის, თერმული წყლების და სხვა სახის ენერგიას. საერთო ენერგეტიკული და ეკოლოგიური კრიზისის გამო მათი როლი თანდათან იზრდება.

ენერგიის დამხმარე წყაროებიდან მნიშვნელოვანი და ხელმისაწვდომია მზის ენერგია. დედამიწაზე მზის მიერ გამოსხივებული ენერგიის მხოლოდ $2,2 \cdot 10^{-9}$ წილი აღწევს, რაც წლიურად $5,7 \cdot 10^{24}$ ჯოულს შეადგენს და 20 000-ჯერ აღემატება ენერგიის ყველა ანთროპოგენური წყაროს სიმძლავრეს.

მზის ენერგიის ფართო გამოყენებას აფერხებს მისი წყვეტილობა და დაბალი სიმკვრივე. ტექნიკური სითბოს მისაღებად საჭიროა მზის გამოსხივების 2000-ჯერ, ელექტროენერგიის გამომუშავებისათვის კი – 8000-ჯერ კონცენტრირება. ამჟამად კალიფორნიაში, ყირიმში და სხვაგან მომუშავე ჰელიოელექტროსადგურებში კონცენ-

ტრატორების სარკეების ფართი ათეული და ასეული ათასი მ²-ია, რაც დიდ ხარჯებს და ფართობს მოითხოვს. ამიტომ ჰელიოსადგურების მიერ გამოიმუშავებული ენერგია თბოსადგურების ენერგიასთან შედარებით ძვირია.

ექსპერტების აზრით, მომავალში მზის ენერგიის წილი საერთო ბალანსში თანდათან გაიზრდება. მზის ენერგიის მთავარი ნაკლი – წყვეტილობა შეიძლება გამოვასწოროთ ენერგიის აკუმულირებით. ერთ-ერთი ვარიანტია წყლის ელექტროლიზით წყალბადის მიღება და მისი გამოყენება სანავად. შორეულ პერსპექტივაშია ჰელიოსადგურების აგება კოსმოსში, სადაც თანამგზავრის სიჩქარის შერჩევით სადგური უწყვეტად გამოიმუშავებს ენერგიას, რომელიც გადმოიცემა დედამიწაზე.

დედამიწაზე დაცემული მზის გამოსხივების დაახლოებით 20 % გარდაიქმნება ქარის ენერგიად. ქარის ენერგიაც წყვეტილია, თუმცა ამ მხრივ გამონაკლისს წარმოადგენს პასტების და ბრიზების ზონა. ჯერჯერობით ქარის ენერგიაზე მომუშავე სადგურების სიმძლავრე და გამოყენების ხარისხი დაბალია. ტექნიკურ სირთულეებთან ერთად ამის მიზეზია სათანადო დანადგარების ხმაური. შედეგში დაპროექტებულია მძლავრი, მცურავი ელექტროსადგურების მშენებლობა, რომლებიც იმუშავებენ სანაპირო წყლებში.

ენერგიის პოტენციური წყაროა ზღვის დონის რითმული ცვალებადობა (მიმოქცევა). ენერგიის გამოიმუშავება ხდება როგორც მოქცევის, ისე უკუქცევის დროს, თუმცა წყვეტილობის სრული აცილება მაინც არ ხერხდება. გარდა ამისა, სათანადო კაშხალების აგება დიდ მატერიალურ დანახარჯებს მოითხოვს. ამჟამად ზღვის ენერგიაზე მუშაობს რამდენიმე სადგური (კოლის ნახევარკუნძული, ბისკაის ყურე და სხვა).

ენერგიის დიდი მარაგია აკუმულირებული მინისქვეშა თერმულ წყლებში, რომლითაც მდიდარია ისლანდია, ახალი ზელანდია, კამჩატკა და სხვა. დედამიწის საერთო წლიური გეოთერმული პოტენციალი 60 ათასი მეგავატით არის შეფასებული. თერმული წყლების საკმაო მარაგი აქვს საქართველოსაც (220-250 მლნ მ³). ცაიშის, ნოქალაქევის და სხვა ბურღილებიდან ამოსული წყლის ტემპერატურა 80-85°C. შედარებით დაბალია თბილისისა და მისი შემოგარენის წყლების ტემპერატურა (40-45°C). გასული საუკუნის ბოლოს რესპუბლიკაში გამოყენებულმა გეოთერმულმა ენერგიამ მისი საერთო ხარჯის მხოლოდ 0,4-

0,5 % შეადგინა. ამ მხრივ მოწინავე ადგილი უკავია ისლანდიას. თერმული წყლებით (საწყისი ტემპერატურა 95°C) ათობენ ბინებს, სათბურებს, საცურაო აუზებს. ამ და სხვა მიზეზების გამო, რეიკიავიკი მსოფლიოში ეკოლოგიურად უსუფთავესი დედაქალაქია.

გეოთერმულ ენერგეტიკასაც თავისი გადასაჭრელი პრობლემები აქვს. თერმული წყლები იწვევენ მილგაყვანილობის ძლიერ კოროზიას და დახშობას ნალექნარმოქმნის გამო. არცთუ იშვიათად, თერმულ წყლებში მაღალია ნორმირებული ნივთიერებების (რადიაქტიური ელემენტები, მძიმე ლითონები, გოგირდწყალბადი) კონცენტრაციები, რაც ეკოქიმიური ვითარების გაუარესების მიზეზია. მათი განმენდა, ან ჩატუმბვა დედამიწის სიღრმეში საკმაო ხარჯებთან არის დაკავშირებული.

2.2. ტრანსპორტი

2.2.1. ავტოტრანსპორტი. ტრანსპორტის მრავალფეროვანი სახეობებიდან, ეკოლოგიური თვალთახედვით, განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს ბენზინის ძრავაზე მომუშავე ავტომანქანები. მათზე მოდის გარემოს გლობალური დაბინძურების 40 % და ატმოსფეროში მოხვედრილი ანთროპოგენური ნივთიერებების 75-80 %. დიდი ქალაქებისა და ავტოტრასების მიმდებარე ტერიტორიების დაბინძურებაში მათი წილი კიდევ უფრო დიდია.

ერთი მანქანა წელიწადში საშუალოდ 4 ტ ჟანგბადს ხარჯავს და ატმოსფეროში გამოყოფს 800-900 კგ CO , 30-40 კგ NO_x , 150-200 კგ ჰალოგენნარმებს, აღდეჰიდებსა და სხვა ნორმირებულ ნივთიერებებს. დღეისათვის ავტოტრანსპორტზე მოდის ატმოსფეროში მოხვედრილი ტყვიის 90-98 %, CO 65-70 %, NO_x 30-45 %, C_xH_y 60-75 %. ავტოტრანსპორტთან დაკავშირებული პრობლემები მარტო გამონაბოლქვი აირებით არ შემოიფარგლება. გარემოს დაბინძურების მძლავრი წყაროებია ავტოსამრეცხაოები, ბენზინგასამართი სადგურები, ავტოფარეხები და სარემონტო სადგურები.

ამჟამად მსოფლიოში 500 მლნ მეტი ავტომანქანაა. ვარაუდობენ, რომ ახლო მომავალში მათი რაოდენობა გაორმაგდება განვითარებადი ქვეყნების ხარჯზე. ცენტრალურ აზიაში 1000 მოსახლეზე 55 ავტომანქანაა, აღმოსავლეთ ევროპაში – 131, დასავლეთ ევროპაში –

493, აშშ კიდევ უფრო მეტი. საქართველოში მათი რიცხვი 330 ათასს აჭარბებს, რომელთა უმრავლესობა გაუმართავია. ეკოლოგიურმა პრობლემებმა, რომლებიც შეიქმნა ძველი მანქანების მასობრივი მიგრაციით დასავლეთ ევროპიდან აღმოსავლეთ ევროპაში, საქართველოც მოიცვა.

ავტოტრანსპორტის ფუნქციონირების შედეგად გამწვავებული ეკოლოგიური ვითარების გაუმჯობესების საკმაო რეზერვი არსებობს. ცნობილია, რომ გამონაბოლქვ აირებში მავნე ნივთიერებების, პირველ რიგში CO კონცენტრაცია დამოკიდებულია ძრავის გამართულობის ხარისხზე და მუშაობის რეჟიმზე. მისი მაქსიმალური კონცენტრაცია აღინიშნება ძრავის ჩართვა-გამორთვისა და დამუხრუჭების დროს. ამიტომ განვითარებულ ქვეყნებში ავტომანქანების ნაკადის მოძრაობის ოპტიმალური რეჟიმის შესარჩევად და სამართავად გამოყენებულია კომპიუტერული ტექნიკა, ფართოდ ვითარდება ჩქაროსნული ტრასებისა და ესტაკადების მშენებლობა. ეკოლოგიური და ეკონომიკური თვალსაზრისით ძალზე პერსპექტიულია ახალი კონსტრუქციის შიგანვის ძრავები, რომლებიც ძველთან შედარებით 2-2,5-ჯერ ნაკლებ საწვავს ხარჯავენ. გამონაბოლქვი აირების გასაუვნებლად სულ უფრო ფართოდ იწერება ე.წ. ნეიტრალიზატორები. მათი დანიშნულებაა თერმული, ან კატალიზური გზით, გამონაბოლქვ აირებში დამატებითი ულუფა ჰაერის შერევით CO დაჟანგონ CO_2 -მდე, ანდა CO-სა და NO_x ურთიერთქმედებით მიიღონ CO_2 და N_2 . ტყვიით პლატინა-პალადიუმის კატალიზატორის „მონამელის“ გამო კატალიზის პრინციპზე მოქმედი ნეიტრალიზატორები ეთილირებულ ბენზინზე მომუშავე ავტომანქანებისათვის ნაკლებად ეფექტურია, თერმული ნეიტრალიზატორების გამოყენებისას კი საწვავის ხარჯი 10-15 %-ით იზრდება.

ეკოლოგიური თვალსაზრისით, მნიშვნელოვანი უპირატესობა აქვთ დიზელის ძრავაზე მომუშავე ავტომანქანებს. დიზელის ძრავაში საწვავი სრულად იწვის, რადგან ჭარბად მიენოდება ჰაერი. ამიტომ გამონაბოლქვ აირებში შემცირებულია CO, ნახშირწყალბადების, ალდეჰიდებისა და სხვა მავნე ნივთიერებების კონცენტრაციები (ცხრილი 2.4).

ცხრილი 2.4. გამონაბოლქვი აირების ქიმიური შედგენილობა

ნივთიერება	განზომილება	ბენზინის ძრავა	დიზელის ძრავა
CO	%	0.5 – 12	0.001 – 0.05
NO _x	%	0.001 – 0.8	0.005 – 0.5
SO ₂	%	0.006	0.02
C ₂ H ₄	%	0.2 – 3.0	0.01 – 0.5
აღდეჰიდები	მგ/ლ	0.0 – 0.2	0.001 – 0.1
ჭვარტლი	მგ/ლ	0.0 – 0.04	0.01 – 0.1

დიზელის ძრავის გამონაბოლქვ აირებში SO₂-ის კონცენტრაციის ზრდა გამოწვეულია ბენზინში და დიზელის სათბობში გოგირდის განსხვავებული შემცველობით (საშუალოდ 0,01 და 0,3-0,4 %).

გარემოს გაჯანსაღების რადიკალურ გზად ითვლება ბენზინის შეცვლა წყალბადით, მეთანით, მეთანოლით, ეთანოლით, სხვა ეკოლოგიურად უსაფრთხო საწვავებით. წყალბადი იდეალური საწვავია, მისი გამოყენებისას ძრავების არსებული კონსტრუქციები არ მოითხოვს არსებით გადაკეთებას. პროექტის ფართომასშტაბიანი რეალიზაციის მთავარი სიძნელე წყალბადის მიღება და გათხევადებაა, რადგან მოითხოვს დიდ ენერგეტიკულ დანახარჯებს. გარდა ამისა, თხევადი წყალბადის შესანახად საჭირო იქნება მაღალი წნევის მძიმე ბალონები. თხევადი წყალბადის სიმსუბუქის გამო ავტომანქანის ავზის მოცულობა არსებულთან შედარებით, ერთნაირი მანძილის გარბენის შენარჩუნების მიზნით, 3,8-ჯერ უნდა გაიზარდოს.

პრობლემატურად რჩება შიგანვის ძრავებში საწვავად სპირტების გამოყენება. ამ შემთხვევაშიც მთავარი სირთულე საკითხის ეკონომიკური მხარეა. ბრაზილიაში წლების მანძილზე ბენზინს 30 %-მდე ეთანოლს უმატებენ. სპირტზე გაზრდილი მოთხოვნილების დასაკმაყოფილებლად აუცილებელი გახდა შაქრის ჭარხლის ნათესების გაფართოება, ამით შემცირდა ხორბლის წარმოება და საჭირო გახდა მისი ექსპორტის გაზრდა. ამასთან, საერთაშორისო ბაზარზე შაქრის ფასების ზრდამ იმოქმედა სპირტის ღირებულებაზე.

პერსპექტიულ საწვავად ითვლება მეთანოლი, რომელიც ორჯერ იაფია ეთანოლზე და შედარებით მაღალი ოქტანური რიცხვი აქვს.

ბენზინთან შედარებით მეთანოლის წვის პროდუქტებში თითქმის ათჯერ ნაკლებია ნახშირწყალბადებისა და ატმოსფეროში ოზონის გენერატორი ნივთიერებების კონცენტრაციები. მეთანოლის ნაკლია ტოქსიკურობა, კოროზიული აქტივობა, ჰიგრისკოპულობა, ბენზინთან შედარებით 40 %-ით დაბალი ენერგოტევადობა და ალდეჰიდების გაზრდილი კონცენტრაცია გამონაბოლქვ აირებში. მიუხედავად ამისა, აშშ და იაპონიაში აპირებენ სანჯავად მეთანოლ-ბენზინის ნარევის (მეთანოლის წილი 85 %) გამოყენებას.

ეკოლოგები დიდ იმედებს ამყარებენ ბენზინის ძრავიანი ავტომანქანების ელექტრომობილებით შეცვლაზე. პროგრამის რეალიზაციას აძნელებს ტყვიის აკუმულატორების შეზღუდული ტევადობა. მათი ერთი დამუხტვა ელექტრომობილს მხოლოდ 80-100 კმ გასავლელად ჰყოფნის. გარდა ამისა, მათი მასიური გამოყენების შემთხვევაში მკვეთრად გაიზრდება ისედაც დეფიციტური ელექტროენერგიის ხარჯი. თუ ელექტრომობილებში ისევ ტყვიის აკუმულატორები იქნება გამოყენებული, მათი წარმოება რამდენჯერმე გაიზრდება. ამჟამად ამ მიზნით წლიურად მოპოვებული ტყვიის (3 მლნ ტ) 40-60 % იხარჯება. ძველი აკუმულატორების უტილიზაციის დროს გარემოში იკარგება ტყვიის 20 %. ეკოლოგიური თვალსაზრისით გაუმართლებელია ტუტიანი აკუმულატორებიც, რადგან მათში ელექტროდებად გამოყენებულია ნიკელი და ზეტოქსიკური კადმიუმი.

2.2.2. ეთილირებული ბენზინი. ტყვია გამონაბოლქვ აირებში. ავტომანქანის შიგანვის ძრავის გამონაბოლქვ აირებში 200-მდე ნივთიერებაა იდენტიფიცირებული, რომელთა უმრავლესობა ტოქსიკურია. მათ შორის არის ტყვია და მისი ნაერთები, რომლებიც პრიორიტეტულ ნორმირებულ ნივთიერებათა რიცხვს მიეკუთვნებიან.

საიდან ხვდება ტყვია გამონაბოლქვ აირებში, როცა ნავთობში და, მით უმეტეს, ნავთობპროდუქტებში მისი შემცველობა უმნიშვნელოა.

შიგანვის ძრავის მუშაობის ეფექტურობა, სხვა ფაქტორებთან ერთად, დამოკიდებულია სანჯავის ბუნებაზე. რაც უფრო მეტად შეიკუმშება მუშა ცილინდრში შენოვილი სანჯავის ორთქლისა და მჟანგავის ნარევი, მით უფრო გაიზრდება ძრავის სიმძლავრე. ასეთ შეკუმშვას ზოგი ნივთიერება უძლებს, ზოგიერთი თავისთავად, ნაპერწკლის მიწოდებამდე ფეთქდება (დეტონირდება). ამით დგუშის მუშა სვლა მნიშვნელოვნად მცირდება. მაღალი დეტონაციური მედეგობა

აქეთ არომატულ და ციკლურ ნახშირწყალბადებს, ასევე იზოპარაფინებს, დაბალი – ნორმალურ პარაფინულ ნახშირწყალბადებს. სან-ვაის დეტონაციური მედეგობის შესაფასებლად შემოღებულია ოქტანური სკალა. პირობითად ნულად ჩათვლილია ნ-ჰექტანის, ხოლო 100-ად – იზოოქტანის დეტონაციური მედეგობა. ბენზინის ოქტანური რიცხვი (ი) გვიჩვენებს, რომ მისი დეტონაციური მედეგობა ისეთივეა, როგორიც ექნებოდა ნ-ჰექტანში იზოოქტანის n % ნარევს.

ჩვეულებრივი გზით მიღებული ბენზინის ოქტანური რიცხვი 50-70-ის ტოლია, რაც ძალზე დაბალია. ამიტომ ნავთობის გამოხდის პროცესში სამუშაო რეჟიმისა და კატალიზატორების შერჩევით ცდილობენ ბენზინში გაიზარდოს მაღალოქტანურ ნაერთთა წილი. ამ პროცესს რიფორმინგი (გაუმჯობესება) ეწოდება. სათანადო შედეგის მიღება ყოველთვის არ ხერხდება, თანაც ამ გზით მიღებული სანავთი ძვირია.

არის მეორე, უფრო ეკონომიური და ეფექტური გზაც. ბენზინს უმატებენ ინჰიბიტორებს (ანტიდეტონატორებს), რომლებიც შესაძრწევად ზრდიან მათ დეტონაციურ მედეგობას. ანტიდეტონატორებს შორის ყველაზე ეფექტური და დღემდე ფაქტობრივად შეუცვლელი აღმოჩნდა ტეტრაეთილტყვია – $(C_2H_5)_4Pb$ (ტეტ). ბენზოლთან შედარებით ტეტ-ის ფარდობითი დეტონაციური მედეგობა 600-ჯერ მაღალია და მისი მცირე დანამატიც კი მნიშვნელოვნად ზრდის ბენზინის ოქტანურ რიცხვს. ამასთან, გამონაბოლქვ აირებში კლებულობს CO კონცენტრაცია. ტეტრაეთილტყვია სინთეზირებული იყო 1852 წ. მისი ანტიდეტონატორული უნარი დაადგინეს 1921 წ. 1922 წლიდან დაიწყო ტეტ-ს მასიური წარმოება და პრაქტიკული გამოყენება. ტეტ ძლიერ ტოქსიკური ნივთიერებაა. მისი ზდკ წარმოების ზონაში 5 მკგ/მ³ შეადგენს. 1960 წლიდან ანტიდეტონატორად გამოიყენება ტეტრამეთილ ტყვია. ყოველწლიურად ტყვიის შემცველი ანტიდეტონატორების წარმოებაზე იხარჯება მსოფლიოში მოპოვებული ტყვიის 20 % (0,6-0,7 მლნ ტ). 1921 წლიდან დღემდე ტეტ-ს წარმოებაში გამოყენებული იყო 4 მლნ ტონაზე მეტი ტყვია, რომელიც ფაქტობრივად მთლიანად გარემოში გაიფანტა.

ტეტ-ის ანტიდეტონაციური მოქმედების მექანიზმი ბოლომდე არ არის დადგენილი. ვარაუდობენ, რომ წვის პროცესში წარმოქმნილი PbO ბლოკავს ბენზინის დეტონაციის მაინიცირებელ ჟანგბადის აქ-

ტიურ ატომებს. ტყვია და მისი ოქსიდი რომ არ დაილექოს ცილინდრის კედლებზე, ტეტ-თან ერთად ბენზინს ემატება დიქლორ- და დიბრომმეთანი (ნარეკს ეთილირებული სითხე ეწოდება). მათი დაინიშნულებაა ტყვია გადაიყვანონ აქროლად ჰალოგენიდებში, რათა გამოყვეს გამონაბოლქვ აირებს.

გათვლილია, რომ ეთილირებული ბენზინის გამოყენების გამო ყოველწლიურად უშუალოდ ჩვენ სამოქმედო და საცხოვრებელ სივრცეში იფანტება 250-300 ათასი ტონა ტყვია. ამის შედეგად პლანეტის ჩრდილო ნახევარსფეროში ყოველ კვადრატულ მეტრზე უკვე 10 მგ-ზე მეტი ტყვიაა დალექილი. ტყვიისა და მისი ნაერთების ძლიერი ტოქსიკურობა ძველთაგანვე ცნობილია. ეს დიდი თემაა და ცალკე განხილვას მოითხოვს.

ტეტრაეთილტყვიის გამოყენებით გამონეული ეკოლოგიური საფრთხე დიდი ხანია ეჭვს არ იწვევს, ამიტომ მოქმედი ნორმატივებით ანტიდეტონატორის დანამატი ერთ ლიტრ ბენზინზე 1 მლ-დან 0,1-0,3 მლ-მდე შეიზღუდა. გარდა ამისა, ინტენსიურად მიმდინარეობს ნაკლებად საშიში ანტიდეტონატორების ძიება. საკმაოდ პერსპექტიულად ითვლებოდა რკინის, მანგანუმის და ნიკელის პენტაკარბონილები, მაგრამ წვის დროს წარმოქმნილი ოქსიდები რჩება ცილინდრში და აზიანებს ძრავას. სპეციალისტები თვლიან, რომ პრაქტიკაში ფართოდ დაინერგება მანგანუმშემცველი, ნაკლებტოქსიკური ანტიდეტონატორები, მაგალითად ციკლოპენტაილმანგანუმტრიკარბონილი და სხვა.

2.2.3. ტრანსპორტის სხვა სახეები. ტრანსპორტის სხვა საშუალებების წილი გარემოს დაბინძურებაში შედარებით მცირეა (ავიაცია – 5 %, რკინიგზა და სანაოსნო საშუალებები 2-2 %).

ეკოლოგიური თვალთახედვით საჰაერო ტრანსპორტის ძირითადი ნაკლია დიდი რაოდენობა ჟანგბადის ხარჯი და CO_2 -ის ემისია ატმოსფეროში. გათვლილია, რომ საჰაერო ტრანსპორტზე მოდის ანთროპოგენური CO_2 -ის 3 %. გარდა ამისა, ტროპოსფეროს ზედა ფენებში და სტრატოსფეროში ხდება NO_x -ის მნიშვნელოვანი რაოდენობა, რაც ოზონოსფეროს დეგრადაციის ერთ-ერთი მიზეზია. გარემოს დაბინძურებაში საჰაერო ტრანსპორტის წილის შემცირება შესაძლებელია მათი მარშრუტებისა და აეროპორტებში დროული მიღების გრაფიკის ოპტიმიზაციით.

ქვანახშირის ნაცვლად ნავთობპროდუქტების გამოყენების შემდეგ საზღვაო და სამდინარო ტრანსპორტის წილი გარემოს დაბინძურებაში შემცირდა. ცხრაასიან წლებში ექსპლუატაციაში მყოფი გიგანტური ლაინერები ერთმანეთს ეჯიბრებოდნენ ატლანტის ოკეანის სწრაფ გადაცურვაში (ბრძოლა „ცისფერი ლენტისათვის“). ამიტომ მათი ორთქლის მანქანები დღე-ღამეში 500 ტ-მდე ქვანახშირს შთანთქავდნენ და მცურავ ვულკანებს ჰგავდნენ.

თანამედროვე გემები საყოფაცხოვრებო ნარჩენების მძლავრი გენერატორებია. დღე-ღამეში ერთ მგზავრზე 1-1,5 კგ ნარჩენი გროვდება, რომელიც ზღვაში იყრება. სერიოზულ პრობლემად რჩება ზღვებისა და ოკეანეების დაბინძურება ნავთობით და ნავთობპროდუქტებით მათი ტრანსპორტირებისა და ტანკერების ავარიის შედეგად (იხ. VI თავი).

გასული საუკუნის 80-იან წლებში ცხარე კამათის საგანი გახდა ტრანსკავკასიის რკინიგზის მშენებლობა. კავკასიის ქედის მკვეთი სარკინიგზო ხაზის აგების იდეა ახალი არ იყო. ჯერ კიდევ მე-19 საუკუნის 60-იან წლებში დამუშავდა რამდენიმე პროექტი (მამისონის, როკის, დარიალის, არხოტის). ტექნიკური და ეკონომიკური თვალთახედვით ყველაზე მისაღები აღმოჩნდა ბარისახო-მდ. ასას ხეობის ვარიანტი. რკინიგზის მშენებლობის აუცილებლობა გამართლებული იყო ეკონომიკური მოსაზრებით. საკითხის პოლიტიკური მხარე მაშინ აქტუალური არ იყო, თუმცა მოგვიანებით როკის გვირაბის არსებობით გამოწვეულმა პრობლემებმა გვიჩვენა მისი სიმწვავე. ამიტომ კამათის ძირითადი საგანი ეკოლოგიური საკითხები იყო (გულახდილად რომ ვთქვათ, სხვა თემაზე მაშინ ღია კამათი არც შეიძლებოდა). პროექტის მიხედვით ტრანსკავკასიის სარკინიგზო ტრასა გადიოდა მდ. არაგვის ხეობაში და ამით სერიოზული საფრთხე ექმნებოდა თბილისის წყალმომარაგებას. მიუხედავად იმისა, რომ პროექტი ითვალისწინებდა დამცავი ჯებირების, სანიაღვრე არხებისა და კოლექტორების აგებას, რისკის ფაქტორი მაინც რჩებოდა. მეორე მხრივ, მდინარეების — ჩხერიმელასა და ძირულას ეკოლოგიური მდგომარეობა, რომელთა ნაპირზე გადის ძალზე დატვირთული ხაშური-ზესტაფონის სარკინიგზო ხაზი, განგაშის საფუძველს არ იძლეოდა.

ტრანსკავკასიის რკინიგზის მშენებლობა მალე შეჩერდა, უფრო პროზაული ფაქტორის — უსახსრობის გამო.

2.3. მრეწველობა

გარემოში ტექნოგენური ნივთიერებების ემისიის უმძლავრესი წყაროა მრეწველობა, რომელიც გამოირჩევა მასშტაბურობით, გამო-
ნაბოლქვი აირებისა და ჩამდინარე წყლების ნაირფეროვნებით და სი-
უხვით. გარემოს დაბინძურების წყაროები ერთმანეთთან მჭიდროდ
არის დაკავშირებული. მრეწველობის ან სოფლის მეურნეობის განვი-
თარება შეუძლებელია ენერგეტიკის, ან ტრანსპორტის გარეშე და
პირიქით.

ადამიანის პრაქტიკული საქმიანობის ერთ-ერთი სფეროა სამთო-
მომპოვებელი წარმოება. მოპოვებული ნიალისეულის რაოდენობა
ხშირად ბევრად მეტია, ვიდრე ბუნებრივ მიმოქცევაშია (ცხრილი 2.5).
ნედლეულის მოპოვების პროცესში (განსაკუთრებით ღია კარიერე-
ბის გამოყენებით) მნიშვნელოვნად ზიანდება გარემო. მაგალითად
ჭიათურისა და მადნეულის შემოგარენი გამოდგება. ეკოლოგიური
გართულების მიზეზია აგრეთვე მაღაროს წყლები და მადანსაცავები.
მაგალითად, რაჭის დარიშხანის სულფიდური მადნების მაღაროს
წყლებში დარიშხანის კონცენტრაცია 0,5-1,0 მგ/ლ-ია, მადნის ნა-
რეცხ წყლებში კი 8-10 მგ/ლ. მადნეულის კარიერის წყლები 40-50
მგ/ლ-მდე სპილენძს და თუთიას შეიცავენ, მაღალია მათი მჟავიანო-
ბაც. გაზრდილი მჟავიანობით გამოირჩევა ქვანახშირის მაღაროს
წყლებიც (pH 2,5-4,5; ცხრილი 3.11). მდინარეების დაბინძურების
მძლავრი წყაროა მადნების გამამდიდრებელი ფაბრიკების ჩამდინარე
წყლები. მდინარე ყვირილა ამის „კარგი“ მაგალითი იყო.

**ცხრილი 2.5. მძიმე ლითონების ბუნებრივი მიმოქცევა და
ანთროპოგენური ემისია გარემოში (ათასი ტონა/წელი)**

ელემენ- ტი	ნლიური ემისია		ელემენტი	ნლიური ემისია	
	ბუნებრი- ვი	ანთო- ური		ბუნებრი- ვი	ანთო- ური
Ag	0.11	3.1	Zn	90	500
Cu	20	140	Pb	65	170
Hg	20	6	As	8	40

მრეწველობის დარგებიდან გარემოზე ზემოქმედების მასშტაბებით გამოირჩევა მეტალურგია. გასული საუკუნის ბოლოს მოპოვებული და მიღებული იყო (მლნ ტ-ით) 310 Fe, 6,1 Al, 6 Mn, 5,4 Cu, 3,8 Zn, 2,8 Pb და ა.შ. იმავე პერიოდში ყოფილ სსრკ-ში ამ დარგზე მოდიოდა გარემოში ტექნოგენური ნივთიერებების ემისიის 21 % (ენერგეტიკაზე 24 %). 1 ტ ფოლადის მიღებისას წარმოიქმნება 128 კგ მტვერი, 73 კგ SO₂, 146 კგ CO და სხვა. აქედან განმენდის შემდეგ ატმოსფეროში მაინც ხვდება 5-10 კგ მტვერი, 24 კგ SO₂ და 146 კგ CO. თუ გავითვალისწინებთ, რომ იმ პერიოდში მარტო სსრკ-ში ფოლადის წლიური წარმოება 175-180 მლნ ტონა იყო, შავი მეტალურგიის წილი გარემოს დაბინძურებაში გასაგები იქნება. თუჯისა და ფოლადის წარმოების ციკლში, ეკოლოგიური თვალსაზრისით, ყველაზე მავნეა აგლომერაციის და კოქსის საამქროები. პირველზე მოდის გამოყოფილი მტერის 34, SO₂ 83 და CO 63 %. CO-ს მძლავრი გენერატორია ბრძმედი, რომლის გამონაბოლქვ აირებში მისი შემცველობა 30-45%-ია. კოქსის საამქროს ფუნქციონირებისას ატმოსფეროში ხვდება დიდი რაოდენობა NH₃, H₂S, SO₂, ფენოლი, პირიდინი და სხვა ნივთიერებები, მათ შორის 3,4-ბენზპირენი. არცთუ იშვიათად კოქსოქიმიური საამქროდან 5-10 კმ დაშორებითაც კი ჰაერში NH₃ კონცენტრაცია აღემატება ზღვ. მაღალია საამქროს ჩამდინარე წყლების ჟანგადობა (1-3 გ/ლ), ფენოლებისა და ციანიდების კონცენტრაცია კი 0,5-1,5 და 0,03-0,1 გ/ლ აღწევს.

გარემოში გაფანტული მავნე ნივთიერებების რაოდენობით და ნაირსახეობით გამოირჩევა ფერადი მეტალურგია. მარტო ნორილსკის (ტაიშირის ნახევარკუნძული) ნიკელის მომპოვებელი კომბინატის ტექნოგენური ნივთიერებების წლიური ემისია 2,82 მლნ ტ შეადგენდა, რაც ყოფილი სსრკ საწარმოების ამონაფრქვევის 5 % იყო.

ფერადი მეტალურგია SO₂-ის ერთ-ერთი მძლავრი წყაროა, რადგან ფერადი ლითონები ბუნებაში ძირითადად სულფიდების (კრიალები) სახით გვხვდება. მძიმე ლითონების ფართო სპექტრი და მაღალი კონცენტრაციები, ჩვეულებრივ, დამახასიათებელია ამ პროფილის საწარმოების ჩამდინარე წყლებისათვის.

ეკოქიმიური თვალსაზრისით ერთ-ერთი მავნე დარგია ალუმინის ელექტროქიმიური წარმოება. როგორც ცნობილია, Al₂O₃-ის „გამხსნელად“ გამოყენებულია გამდნარი კრიოლითი (AlF₃ · 3NaF). ერთი

ტონა ალუმინის მიღებისას ატმოსფეროში ხვდება 20-30 კგ F, რომელიც აჩანაგებს მცენარეულ საფარს. ელექტროლიზის პროცესში ატმოსფერო ბინძურდება აგრეთვე 3,4-ბენზპირენით, რომელსაც შეიცავს ანოდის – ნახშირის ლეროების შესანებებლად გამოყენებული ქვანახშირის ფისი.

ნორმირებული ნივთიერებებით გარემოს აბინძურებენ ლითონ-დამამუშავებელი საწარმოებიც (ლითონების ამოჭმა, გალვანური სამჭროები). მათი ჩამდინარე წყლები გამდიდრებულია NaOH , H_2SO_4 , CN^- , Cr^{3+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} და სხვა ნივთიერებებით.

ორგანული ნივთიერებების მძლავრი ანთროპოგენური წყაროა ნავთობქიმიური და კოქსოქიმიური მრეწველობა. ნავთობგადამამუშავებელი ქარხნების წყლები 40-45 გ/ლ ნახშირწყალბადებს შეიცავენ, მათი ჟანგვადობა კი 75-200 მგ⁰/ლ შეადგენს. ერთი ტონა კოქსის წარმოებისას 300-320 მ³ აირები გამოიყოფა (50-62 % H_2 , 20-34 % CO , 2-3 % C_2H_2), რომლის 5-7 % ატმოსფეროში ხვდება. კოქსის აირებში მაღალია ძლიერ კანცეროგენული ნივთიერების 3,4-ბენზპირენის შემცველობა. მისი კონცენტრაცია ჰაერში საწარმოდან 1 კმ დაშორებითაც კი 5-60 ნგ/მ³ აღწევს (ზღკ 1 ნგ/მ³).

გასული საუკუნის ბოლოს ქიმიური მრეწველობა ასი ათასზე მეტ ნივთიერებას ამზადებდა, რომელთა უმრავლესობა გამოირჩევა მაღალი ტოქსიკურობით. ამიტომ მათი ემისია გარემოში მძიმე შედეგებით მთავრდება. მოვიყვანთ მხოლოდ ერთ მაგალითს. გასული საუკუნის ორმოცდაათიან წლებში იაპონიაში მინამიტას ყურის მცხოვრებ მეთევზეთა შორის უცნაური დაავადებით რამდენიმე ათეული ადამიანი დაიღუპა. ტრაგედიის მიზეზი აღმოჩნდა ძმრის ალდეჰიდის საწარმოს ვერცხლისწყლით დაბინძურებული ჩამდინარე წყლები. დაავადება გამოწვეული იყო Hg^{2+} -ის მაღალი შემცველობით მეთევზეთა კვების ძირითად რაციონში – მოლუსკებსა და თევზში.

სამწუხაროდ ეკოქიმიური კატასტროფები არცთუ იშვიათია. 1984 წ. ინდოეთში, ქ. ბხილაში 5000 მცხოვრები დაიღუპა, პესტიციდების მწარმოებელ ქარხანაში 50 მ³ ძლიერ ტოქსიკური მეთილიზოციანატის ავზის აფეთქების შედეგად. 1999 წ. რუმინეთში, ოქროს მომპოვებელ საწარმოში დამცავი ჯებირის გარღვევის შედეგად ჯერ მდ. ტისაში, შემდეგ კი დუნაიში მოხვდა ათობით მ³ NaCN -ის ხსნარი. მომხდარი ეკოკატასტროფის შედეგი ადვილი წარმოსადგენია.

ტექნოგენური აეროზოლების მძლავრი გენერატორია საამშენებლო მასალების წარმოება. ამ სფეროში მასშტაბებით გამოირჩევა ცემენტის ქარხნები. ცემენტის წერილდისპერსული მტვერი ($d < 5$ მკ), რომელიც წარმოიქმნება კლინკერის დაფქვისას, ჰაერის ნაკადებით შორ მანძილზე გაიტანება. კასპის ცემენტის ქარხნის ასეთი „პროდუქცია“ ხელსაყრელ მეტეოროლოგიურ პირობებში შავი ზღვის სანაპირომდე აღწევდა. ეკოლოგიურად უსუფთაო წარმოებათა რიცხვს მიეკუთვნება აგრეთვე გაჯისა და თაბაშირის ქარხნები.

ჩამდინარე წყლების ნაკადების სიმძლავრით და დაბინძურების ხარისხით ცნობილია ცელულოზის საწარმოები. მათი pH 2,4-3,9 ფარგლებშია, შეიცავენ 0,5-2 გ/ლ-მდე H_2SO_3 და მაკროორადენობა ორგანულ ნაერთებს (ჟანგვადობა 20-50 გ⁰/ლ). რომ არ ყოფილიყო საზოგადოების დიდი პროტესტი, ქალაქ-ცელულოზის კომბინატების ჩამდინარე წყლებით დაბინძურებული ბაიკალის უნიკალური ტბა დღეს პრაქტიკულად უსიცოცხლო იქნებოდა.

მსუბუქი მრეწველობის ობიექტებიდან გარემოში ხედება საღებავები, გამრეცხი და ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები. ორგანული ნივთიერებების უმძლავრესი წყაროა კვების მრეწველობა. შაქრის, ლუდის რძის და სხვა ქარხნების ჩამდინარე წყლები მდიდარია ნახშირწყლებით, ცხიმებით, ცილებით, სხვა ორგანული ნივთიერებებით. მათში ჟანგბადის ბიოქიმიური ხარჯი რამდენიმე გ/ლ შეადგენს.

ნიაღვრულში სასარგებლო მადნეულის შემცველობა, ჩვეულებრივ, რამდენიმე %-ია. ამიტომ ტექნოლოგიური პროცესების დამთავრების შემდეგ დიდი რაოდენობით გროვდება ნარჩენები (კუდები), რომელთა უტილიზაცია ყოველთვის არ არის ეკონომიურად გამართლებული. ნარჩენების ტრანსპორტირება და შენახვა კი ბევრ ტექნიკურ და ეკოლოგიურ პრობლემას ქმნის. შემოვიფარგლებით მხოლოდ საქართველოს მაგალითებით. მადნეულის კომბინატის გრანდიოზული შლამსაცავი, მიუხედავად ჩატარებული გარემოსდაცვითი სამუშაოებისა, წარმოადგენს მძიმე ლითონების მძლავრ წყაროს. ნაჟონი წყლებით ჯერ მდ. კაზრეთულა, შემდეგი კი მაშავერა ბინძურდება. პოტენციურად საშიშია ქუთაისში, მდინარე რიონის პირას განთავსებული ლითოფონის ქარხნის ნარჩენების საცავი, სადაც აკუმულირებულია 80 000 ტ 40 % ბარიტის შემცველი კუდები. რაჭაში ჩატარებულმა მრავალწლიანმა დაკვირვებამ გვიჩვენა, რომ დარიშხანით მდ. ლუხუნის დაბინძურების ერთ-ერთი წყაროა სულფიდური

მადნების 70-80 ათასი ტონა ნამწვი. ანალოგიური მდგომარეობაა ქვემო სვანეთშიც (სოფ. ცანა). ნამწვის ნარეცხ წყლებში დარიშხანის შემცველობა 170 მგ/ლ აღწევს. გადაუჭრელ ეკოლოგიურ პრობლემად რჩება ნავთობგადამამუშავებელი ქარხნების მუშავა ბითუმების შენახვა-უტილიზაციის საკითხი. ამ მხრივ გამონაკლისი არც ბათუმის ქარხანაა.

2.4. სამხედრო-თავდაცვითი საქმიანობა

გარემოს ანთროპოგენური დაბინძურების ფართო სპექტრში სამხედრო-სამრეწველო კომპლექსს მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია. სამხედრო პოტენციალის გაძლიერება თავისთავად გულისხმობს სხვა დარგების (ენერგეტიკა, ელექტრონიკა, მეტალურგია და ა.შ.) განვითარებას და, აქედან გამომდინარე, ყველა მის ეკოლოგიურ შედეგს. გასული საუკუნის 90-იან წლებში სამხედრო მიზნებისათვის მსოფლიოში ყოველდღიურად 2,2 მლრ დოლარი იხარჯებოდა. F-22 ტიპის მოიერიშე თვითმფრინავის პროექტის რეალიზაცია 70 მლრ დოლარი დაჯდა. შედარებისთვის აღვნიშნავთ, რომ მალარიის სანინალმდეგო პროგრამის საერთო წლიური დაფინანსება 29 მლნ დოლარია. ცივი ომის დამთავრების შემდეგ სამხედრო ხარჯები რამდენადმე შემცირდა, თუმცა მაინც გრანდიოზულია. 2003 წ. მარტო აშშ სამხედრო უწყება 400 მლრ დოლარით დააფინანსა.

გარემოს დაბინძურების დიდი წილი მოდის სამხედრო-სამრეწველო კომპლექსზე. გარემოს მნიშვნელოვან ზიანს აყენებენ სხვადასხვა დანიშნულების პოლიგონები, სამარხები და სასაწყობო მეურნეობები. ისინი დაბინძურებულია მძიმე ლითონებით, ფეთქებადი ნივთიერებებით (ტრინიტროტოლუოლი- ტნტ, პექსოგენი და სხვა), ნავთობპროდუქტებით, ზოგ შემთხვევაში კი სარაკეტო სანავის მუანგავი (მელანჟი) და ორგანული ნარევებით. მელანჟი რთული შედგენილობის ნარევეია (%-ით: 73,4 HNO_3 , 22,5 N_2O_4 1,2 H_3PO_4 , 2,0 HF). ტოქსიკური ნივთიერებები შედის სანავის ორგანულ ნაწილშიც (ქსილოდინის იზომერები, დიეთილ- და ტრიეთილამინები). რაკეტული სანავის გამოყენების, აგრეთვე კონტეინერების კოროზიის და სხვა მიზეზების შედეგად გარემოს დაბინძურება ამ ნარევებით არცთუ იშვიათია. პრობლემა აქტუალურია საქართველოსათვისაც, სადაც განლაგებული იყო სსრკ რამდენიმე სამხედრო ბაზა (ჭალადიდი, მერია,

შირაქი და სხვა). მელანჟის საწყობების მიმდებარე ტერიტორიების ზედაპირულ და გრუნტის წყლებში ნიტრატების შემცველობა 2002-2003 წწ. მონაცემებით 2,7-3,1 გ/ლ აღწევს, მათი pH კი 1,90-2,75-მდეა შემცირებული. აშშ ერთ-ერთ სამხედრო ბაზაზე 110 ტ მელანჟის დაღვრის შემდეგ, 15 წლის მანძილზე ვერ აღადგინეს ბაზის წყალმომარაგება. რაკეტული სანავით დაბინძურებულია კოსმოდრომების მიმდებარე ტერიტორიებიც, რაც რაკეტების 1-2 საფეხურის ავზებში დარჩენილი გამოუყენებელი სანავით არის გამოწვეული.

სამხედრო უწყების საქმიანობაში ერთ-ერთ ყველაზე რთულ და საშიშ სამუშაოთა კატეგორიას მიეკუთვნება ძველი ქიმიური იარაღის შენახვა, განადგურება თუ უტილიზაცია. თავდაპირველად მათ ძირავედენ ზღვებსა და ოკეანეში, მაგრამ კონტეინერის მასალის კოროზიის შედეგად ძლიერ ტოქსიკურმა ნივთიერებებმა მალე გაჟონა და შეერია წყალს. ქიმიური იარაღის განადგურება და უტილიზაცია ბევრ სირთულესთან რომ არის დაკავშირებული, იქიდანაც ჩანს, რომ რუსეთში 40000 ტ იპრიტის შემცველი ჭურვებიდან 2004 წ. უტილიზირებული იყო მხოლოდ 600 ტ. საფრანგეთმა პირველი მსოფლიო ომის შემდეგ დარჩენილი ქიმიური იარაღის უტილიზაცია კი მხოლოდ 2001 წ. დაიწყო.

უსაფრთხოების განსაკუთრებული ზომების დაცვას მოითხოვს „ცივი ომის“ შემდეგ დარჩენილი ვადაგასული და უვარგისი სამხედრო არსენალის განადგურება და უტილიზაცია. სამუშაოების ზონის ნიადაგებში მძიმე ლითონების, ტნტ-სა და სხვა ფეთქებადი მასალების შემცველობა რამდენჯერმე აღემატება შესაბამის ზღვას.

გასული საუკუნის 50-იან წლებში ბირთვული იარაღის შექმნამ, გამოყენებამ და შემდგომმა გამოცდებმა კაცობრიობას ბევრი საფიქრალი გაუჩინა არა მარტო პოლიტიკის, არამედ ეკოლოგიის სფეროშიც. „ცივი ომისა“ და მის შემდგომ პერიოდში სხვადასხვა ქვეყნის შეიარაღებაში 30-40 ათასი ბირთვული ბომბი იყო, რომლებიც 6-10 წელიწადში საჭიროებენ განახლებას. მათთვის საჭირო ურანის მოპოვება, გამდიდრება, იზოტოპური ფრაქციონირება და სხვა პროცედურები, მიუხედავად დახვეწილი ტექნოლოგიებისა, არაერთხელ გამხდარა გარემოს რადიაციული დაბინძურების წყარო. განსაკუთრებული ზიანი მიაყენა გარემოს 2000-მდე ბირთვული ბომბის გამოცდამ (მათ შორის 483 – ატმოსფეროში).

რუსეთში და ზოგიერთ სხვა ქვეყანაში ეკოლოგიური კატასტროფის პოტენციური წყაროა ატომური წყალქვეშა ნაგებობის მწყობრიდან გამოსული რეაქტორები და ბირთვული საწვავის ნარჩენები. მათი უტილიზაცია შესაძლებელია, მაგრამ მოითხოვს დიდ ხარჯებს. 2001 წ. ევროპის ქვეყნებმა ამ სამუშაოს შესრულება შესთავაზეს რუსეთს. პროექტის საერთო ღირებულება 20 მლრ დოლარს შეადგენდა.

ბუნებრივია, რომ სამხედრო კონფლიქტების შემთხვევაში გარემოსდაცვითი სამუშაოები წყდება, ჩნდება დაბინძურების ახალი წყაროები, რაც საერთო უბედურებასთან ერთად ეკოლოგიური პრობლემების გამწვავებას იწვევს. 1942-1943 წწ. კავკასიის მისადგომებთან გამართული ბრძოლების შედეგად მკვეთრად გაიზარდა მყინვარების დამტვერვა. ვიეტნამის კონფლიქტის დროს ამერიკელებმა 1000-მდე კმ² ტყე დაამუშავეს დეფოლიანტებით, რომელიც, როგორც შემდგომ გაირკვა, არცთუ უსაფრთხო აღმოჩნდა ადამიანებისათვის. 1991 წ. ერაყში კონფლიქტის დროს ნავთობის სარეზერვუარები ჩენილი ხანძრის შედეგად ატმოსფეროში მოხვდა მლნ-ით ტონა CO₂. 1998-1999 წლებში იუგოსლავიაში გამოიყენეს ურანის კორპუსიანი ჭურვები, რაც, ბუნებრივია, რამდენადმე გაზრდიდა რადიაციულ ფონს.

თუ რა შედეგი შეიძლება მოიტანოს ბირთვული იარაღის გამოყენებამ, შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ ხიროსიმისა და ნაგასაკის მაგალითზე. ვარაუდობენ, რომ არანაკლებ კატასტროფული იქნება კონფლიქტის მეორადი შედეგები. ატმოსფეროს გლობალური დამტვერვის შედეგად შემცირდება მზის რადიაცია, დღის სინათლე შემცირდება 99 %-ით, შეწყდება ფოტოსინთეზი და დაიწყება „ბირთვული ზამთარი“.

2.5. სოფლის მეურნეობა

2.5.1. სოფლის მეურნეობის ქიმიზაცია, მიზანი და ნაკლი. ეკოლოგიური თვალთახედვით, სოფლის მეურნეობა ერთ-ერთი სუფთა დარგი იქნებოდა, რომ არ მომხდარიყო მისი ქიმიზაცია. მოსავლიანობის გაზრდისა და მისი მავნებლებისაგან დაცვის მიზნით, მე-19 საუკუნის ბოლო წლებიდან დაწყებული, სოფლის მეურნეობის სხვადასხვა დარგში გამოყენებულ ქიმიურ საშუალებათა ასორტიმენტი და რაოდენობა სწრაფი ტემპით იზრდება. ამ შემთხვევაში, მრეწვე-

ლობისაგან განსხვავებით, ტოქსიკური ნივთიერებები გარემოში წინასწარ განზრახული მიზნით ხედება. დიდ დადებით ეფექტთან ერთად, მინერალური სასუქებისა და შხამქიმიკატების მასიური გამოყენება ზიანს აყენებს გარემოს და ამიტომ ბევრი მოწინააღმდეგეც ჰყავს. მათი აზრით, სოფლის მეურნეობის ქიმიზაციაზე მოდის გარემოს გლობალური დაბინძურების მესამედი, გამოყენებული სასუქების 50 და პესტიციდების 90 % უმიზნოდ იფანტება გარემოში; პესტიციდებით ილუპება არა მარტო მავნე, არამედ სასარგებლო ფაუნაც; რომ პესტიციდებს ეგუება მავნებლები, ამიტომ საჭირო ხდება ახალი, უფრო ტოქსიკური შხამქიმიკატების გამოყენება და ა.შ. მაშინ რატომ ვიყენებთ მინერალურ სასუქებს და პესტიციდებს? რატომ არ გადავდივართ აგრომეურნეობის „სუფთა“ მეთოდებზე? იქნებ მართლა ცდება „ქიმიზატორ-ტექნოკრატების მაფია“?

საკითხში გარკვევის მიზნით უნდა გავეცნოთ საპირისპირო შეხედულებებსაც. ცნობილი აგროქიმიკოსი დ. პრიანიშნიკოვის აზრით „სასუქების გამოყენებით ახალი კონტინენტები შეიქმნა“. ამტკიცებენ, რომ პესტიციდების გარეშე დაიკარგებოდა მოსავლის 40-60 % და მეცხოველეობის პროდუქტების 25-30 %. აუგად ხსენებულმა დღე მილიონობით ადამიანი იხსნა ინფექციური დაავადებებისა და სიკვდილისგან. რა მეთოდებით ვებრძოლოთ ტერმიტებს (რომელთა მიერ მიყენებული ყოველწლიური ზარალი 9 მლრდ დოლარია), ან კალიების „ღრუბელს“, რომლის საერთო მასა ზოგჯერ 30-40 მლნ ტონაა?

სოფლის მეურნეობის ქიმიზაციის მომხრე-მოწინააღმდეგეთა ბევრი სხვა არგუმენტის მოტანა შეიძლება, მაგრამ ამით ობიექტური დასკვნის გაკეთება არ გაადვილდება. უმჯობესი იქნება განვიხილოთ მიზეზები, რომლებმაც კაცობრიობა აიძულა გადაედგა ეს არა-პოპულარული ნაბიჯი.

მოსახლეობის რაოდენობის განუწყვეტელმა ზრდამ, მიწის შეზღუდულმა რესურსებმა, ნიადაგის ნაყოფიერების დაქვეითებამ, სასოფლო-სამეურნეო კულტურების ახალი დაავადებების გავრცელებამ და სხვა, კაცობრიობის ისტორია არსებობისათვის ბრძოლად აქცია.

დისპროპორცია, დედამიწაზე მოსახლეობის რაოდენობასა და საარსებო რესურსების ზრდის ტემპებს შორის, დიდი ხანია კამათის საგანია. ინგლისელმა ეკონომისტმა თ. მალთუსმა 1798 წ. გამოთქვა მოსაზრება, რომ მოსახლეობის რაოდენობა გეომეტრიული, საარსე-

ბო საშუალებები კი არითმეტიკული პროგრესიით იზრდება და ეს შესაბამისად კაცობრიობას დალუპვით ემუქრება. მალთუსის მოსაზრება შეიძლება საკამათო და ზედმეტად დრამატიზებული იყო, მაგრამ მე-19 საუკუნეში ცხადი გახდა, რომ მომავალში სოფლის მეურნეობის ტრადიციული მეთოდებით შეუძლებელი იქნებოდა მოსახლეობის გამოკვება. ცნობილი მეცნიერების – ი. ლიბიხის, ჟ. ბუ-სენგოს და სხვათა მოსაზრებით, ხსნის ერთადერთი რეალური გზა სოფლის მეურნეობაში სასუქების გამოყენება იყო. ამ მიზნით მე-19 საუკუნის დასაწყისში დაიწყო ძელის ფხვნილისა და ჩილეს გვარჯილას, 60-70-იან წლებში კი კალიუმისა და ფოსფატური სასუქების გამოყენება. მე-20 საუკუნის დასაწყისიდან მათი ასორტიმენტი გაიზარდა აზოტის სასუქების ხარჯზე.

პარალელურად სოფლის მეურნეობაში დაიწყო შხამქიმიკატებით სარგებლობაც. 1867 წლიდან კოლორადოს ხოჭოს სანინაალმდეგოდ წარმატებით გამოიყენება პარიზის მწვანე (სპილენძის აცეტატისა და არსენიტის ნარევი). ფილოქსერით და სოკოთი მასიურად დაავადებული ვაზის გადარჩენა მოხერხდა ბორდოს სითხით (Ca(OH)_2 -ით გახეიტრალებული CuSO_4) და გოგირდით. სოფლის მეურნეობის ქიმიზაციით მოპოვებული წარმატება, ახალი, უფრო ეფექტური შხამქიმიკატების ძიებისა და მინერალური სასუქების წარმოების ზრდის ტემპის სტიმული გახდა. გარემოს ანთროპოგენური დაბინძურების პრობლემები მაშინ ასე მწვავედ არ იდგა.

ეკოლოგიური ვითარების გაუმჯობესების მიზნით რამდენიმე ქვეყანაში შექმნილია ე.წ. ბიომეურნეობები, სადაც არათუ ქიმიურ საშუალებებს, ნაკელსაც კი არ იყენებენ. ასეთ მეურნეობებში მოსავლიანობა დაბალია, პროდუქცია კი ჩვეულებრივზე რამდენჯერმე ძვირია. ზოგჯერ ასეთ მეურნეობებში მიღებული საკვები პროდუქტებიც არ არის ეკოლოგიურად სუფთა, ნიადაგში ადრე შეტანილი ქიმიკატების თუ ეოლური გზით მათი გლობალური გადანაწილების გამო.

გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის ექსპერტთა მონაცემებით, ამჟამად მსოფლიოში 550-600 მლნ ადამიანი შიმშილობს. ერთ სულ მოსახლეზე საშუალოდ მოდის 0,3 ჰა სახნავ-სათესი, როდესაც მისი გამოკვებისათვის 0,6-1 ჰა სავარგულია საჭირო. მოსახლეობის წლიური ნამატი 1,5-1,7 %-ს შეადგენს (ანუ 90 მლნ). ყოველწლიურად უდაბნოვდება 100 კმ² ფართობი. ამ და სხვა მიზეზებით (პირველ

რიგში ურბანიზაცია) 1975-1995 წლებში მსოფლიოში სახნავე-სათესის ფართი ერთ სულზე გადათვლით 13 %-ით შემცირდა. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ხსნის ერთადერთი რეალური გზაა სოფლის მეურნეობის ინტენსიფიკაცია მექანიზაციით, ქიმიზაციით, ირიგაციით და სელექციით. ამ კომპლექსიდან ქიმიზაციის ამოგდება ჯერჯერობით არ ხერხდება. ამიტომ უნდა ვეცადოთ მივალწიოთ ეფექტურ დადებით შედეგს და მინიმალური ზიანი მივაყენოთ გარემოს.

2.5.2. მინერალური სასუქების გამოყენების ეკოლოგიური ასპექტი. მცენარის ნორმალური განვითარებისთვის აუცილებელი ელემენტების – აზოტის, ფოსფორისა და კალიუმის ნაერთების ბუნებრივი შემცველობა ნიადაგში, მცენარისათვის მისაწვდომი ფორმით, მცირეა. ამასთან, მათი შემცველობა ნიადაგში თანდათან მცირდება ბიომასის (ამ შემთხვევაში მოსავლის) გატანისა და გამორეცხვის გამო. ნიადაგის ნაყოფიერების აღსადგენად საჭირო ხდება მისი დასვენება ან სასუქების შეტანა. მინერალური სასუქების გონივრული გამოყენებით მოსავლიანობასთან ერთად იზრდება პროდუქციის ხარისხიც. მარცვლეულში მატულობს ცილების, ჭარხალში – შაქრის, კარტოფილში კი სახამებლის შემცველობა.

მინერალური სასუქების წარმოება სწრაფი ტემპით იზრდება. 1969 წ. მათი მსოფლიო წარმოება $3 \cdot 10^7$ ტ იყო, 1980 წ. კი $2 \cdot 10^8$ ტ. 1970-1990 წლებში გამოყენებული სასუქების რაოდენობა ევროპასა და ამერიკაში 1,7-2,5-ჯერ გაიზარდა. გასული საუკუნის ბოლოს მართა აშშ ნიადაგში შეიტანეს 20 მლნ ტონა სასუქი. არის გამოჩენილი ტენდენციები. ამ პერიოდში ბელგიასა და ფინეთში სასუქების გამოყენება 10-13 %-ით შემცირდა. საქართველოში 1990 წ. გამოყენებული იყო 100 ათასი ტ მინერალური სასუქი, მათ შორის 74 ათასი ტონა აზოტშემცველი.

სოფლის მეურნეობაში გამოყენებული სასუქების რაოდენობაზე და მათ ეფექტურობაზე წარმოდგენას გვაძლევს 2.6 ცხრილში მოტანილი მასალა.

**ცხრილი 2.6. ერთ ჰა შეტანილი სასუქების რაოდენობა და
მათი ეფექტურობა**

ქვეყანა	კგ/ჰა	რამდენ კაცს კვებავს		ქვეყანა	კგ/ჰა	რამდენ კაცს კვებავს	
		1 ჰა	1 ფერ- მერი			1 ჰა	1 ფერ- მერი
ბელგია	566	12.5	100	აშშ	107	1.3	80
გერმანია	430	8.0	50	კანადა	50	0.6	55
ინგლისი	324	8.0	95	სსრკ	422	1.2	13
საფრანგეთი	360	3.0	40				

რა ეკოლოგიური ზიანი მოაქვს მინერალური სასუქების გამოყენებას? მინერალური სასუქების მხოლოდ 40-50 % იხარჯება დანიშნულებისამებრ, დანარჩენი ირეცხება ატმოსფერული, საირიგაციო და გრუნტის წყლებით, ხდება მდინარეებში, ტბებში, ზღვებსა და ოკეანეში. წყალსატევებში ბიოგენური ელემენტების სიჭარბე იწვევს წყალმცენარეების ინტენსიურ განვითარებას (აფეთქებას). წარმოქმნილი ბიომასის დესტრუქციაზე იხარჯება გახსნილი ჟანგბადი, მასიურად ნადგურდება თევზი და ხელსაყრელი პირობები იქმნება გოგირდწყალბადის წარმოქმნისათვის. ფოსფორშემცველ მინერალურ სასუქებთან ერთად ნიადაგში ხდება მათი თანმზღები ფთორიდები, მძიმე ლითონები და რადიაქტიური ელემენტები. მაგალითად, აშშ წარმოებული სუპერფოსფატი შეიცავს (მგ/კგ) 50-170 Cd, 66-243 Cr, 50-1430 Zn. კადმიუმის შემცველობა მაღალია ავსტრალიურ სუპერფოსფატშიც (საშუალოდ 40 მგ/კგ). ამ მხრივ გამონაკლისია ზიბინის ფოსფატები (0,2-0,3 მგ/კგ Cd).

ნიადაგში შეტანილი აზოტშემცველი სასუქების 20-25 % წყლით ირეცხება. ჭებსა და არტეზიულ წყლებში დაფიქსირებულია 600-3000 მგ/ლ არაორგანული აზოტის შემცველობა. ნიტრატების მაღალი კონცენტრაციები შეიმჩნევა ბოსტნეულში (ჭარხალში ნაპოვნია 2-3 გ/კგ). საკვები პროდუქტებიდან ნიტრატები ხდება ადამიანის ორგანიზმში, სადაც ხელსაყრელ პირობებში აღდგება ნიტრიტებად, რომელიც ჟანგავს ჰემოგლობინის შემადგენლობაში შემავალ რკინას, წარმოქმნილ მეთაჰემოგლობინს კი არ აქვს ჟანგბადის ტრანსპორ-

ტიორის ფუნქცია. გარდა ამისა, მუცვა არეში ნიტრიტებს მეორად ამინებთან შეუძლიათ წარმოქმნან კანცეროგენული ნივთიერებები. გარკვეული ნაკლი აქვთ ამიაკურ სასუქებსაც. ისინი ზრდიან ნიადაგის pH, რაც ხელს უწყობს ჭუმუსების გამორეცხვას.

აზოტმემცველი სასუქების რაციონალური გამოყენების მიზნით ახდენენ მათ გრანულირებას (დამარცვლას) და კაფსულირებას. მარცვლები გარედან იფარება პოლიმერული მასალით, რომელიც ანელებს სასუქის ხსნადობას, ნიადაგიდან გამორეცხვის სიჩქარეს და ახანგრძლივებს მარგი მოქმედების დროს.

2.5.3. შხამქიმიკატები სოფლის მეურნეობაში. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, შხამქიმიკატების გამოყენება სოფლის მეურნეობაში მე-19 საუკუნეში დაიწეს. მაშინდელი ასორტიმენტი ღარიბი იყო და რამდენიმე არაორგანული ნივთიერებით შემოიფარგლებოდა (გოგირდი, სპილენძის არსენიტი, ფთორიდები და სხვა). მოგვიანებით დაიწეს ზოგიერთი ალკალოიდის ნაწარმის გამოყენებაც (ნიკოტინისა და ანაბაზინის სულფატები).

მკვეთრი ცვლილება სოფლის მეურნეობის ქიმიზაციის დარგში დაიწყო გასული საუკუნის 40-იანი წლებიდან ორგანული შხამქიმიკატების – პესტიციდების გამოყენებით. პესტიციდი სიტყვასიტყვით ჭირის, მავნებლის მკვლელს ნიშნავს (pestis – ჭირი, გადამდები სენი, caedo – მკვლელი). დანიშნულების მიხედვით არჩევენ ინსექტიციდებს (მწერებისათვის), ფუნგიციდებს (სოკოებისათვის), პერბიციდებს (მცენარეებისათვის), ზოოციდებს, ბაქტერიოციდებს, დეფოლიანტებს (ხელოვნური ფოთოლცვენისათვის) და სხვა. წარმოებული პესტიციდების დაახლოებით 40 % ინსექტიციდებზე, 30-33 % – პერბიციდებზე და 15-20 % ფუნგიციდებზე მოდის.

გარდა სოფლის მეურნეობისა, პესტიციდებს სხვა გამოყენებაც აქვთ: ლიანდაგს იცავენ მცენარეებისაგან, მერქანს – თერმიტებისა და ლპობისაგან, გემის კორპუსს – მოლუსკების მინაზარდისაგან და ა.შ.

შედგენილობის მიხედვით პესტიციდები იყოფა რამდენიმე ჯგუფად: არაორგანული ნივთიერებები (S , As_2O_3 , Zn_3P_2 , $BaCl_2$), ქლორორგანული ნივთიერებები (დდტ, პექსაქლორციკლოპექსანი, პექსაქლორბენზოლი), ფოსფორორგანული ნივთიერებები (კარბოფოსი, მე-

ტაფოსი, ქლოროფოსი), კარბამატები (სევინი, კარბინი), ტრიაზინები (ატრიაზინი, სიმაზინი), ვერცხლისწყალორგანული ნაერთები (აგრონალი, გრანოზანი) და სხვა.

ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი პესტიციდია 2,2,2-ტრიქლორ-1,1-ბის(ნ-ქლორფენილ) ეთანი – ცნობილი დდტ (ძველი ნომენკლატურით დიქლორდიფენილტრიქლორმეთანი). დდტ სინთეზირებული იყო 1874 წ. ო. ციდლერის მიერ. 1930 წ. პ. მიულერმა დაადგინა მისი ინსექტიციდური თვისებები. მაღალი ეფექტურობის გამო დდტ სწრაფად დაინერგა პრაქტიკაში. ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის მონაცემებით მეორე მსოფლიო ომის დროს დდტ დაავადებისაგან იხსნა 100 მლნ ადამიანი, სიკვდილისაგან კი 5 მლნ. დდტ დიდი როლი შეასრულა ინდოეთში, ცეილონზე და სამხრეთის სხვა ქვეყნებში მალარიის ლიკვიდაციაში. 1948 წ. მიულერის ღვაწლი ნობელის პრემიით აღინიშნა.

თავდაპირველად დდტ უვნებელ პრეპარატად ითვლებოდა, ამიტომ ფართოდ გამოიყენებოდა ყოფა-ცხოვრებაში მწერების სანინა-აღმდეგოდ. დდტ ხსნარით ირეცხებოდა იატაკი, თეთრეული, მუშავდებოდა შპალერი. მოთხოვნილება ქლორორგანულ პესტიციდებზე სწრაფი ტემპით იზრდებოდა. ვარაუდობენ, რომ სულ დამზადებული და გამოყენებულია 5 მლნ ტონაზე მეტი დდტ. მოგვიანებით გაირკვა, რომ პრეპარატი ტოქსიკურია, გამოიწვევს მდგრადობით, ძლიერ ტოქსიკური ანალოგებისა და მეტაბოლიტების სიმრავლით, აგრეთვე ეოლური მიგრაციის კარგი უნარით.

1970 წლიდან ევროპაში, აშშ, იაპონიაში, სსრკ და ზოგიერთ სხვა ქვეყანაში დდტ გამოყენება აიკრძალა, თუმცა მისი ნარმოება გაგრძელდა. დდტ მასიურ მომხმარებლებად დარჩნენ აფრიკისა და აზიის ქვეყნები.

გასული საუკუნის 60-იანი წლებიდან სოფლის მეურნეობაში დაიწყო ფოსფორორგანული პესტიციდების მასიური გამოყენება. ისინი ქლორორგანულზე უფრო ტოქსიკურებია, მაგრამ ჰიდროლიზის გამო გარემოში უმდგრადია. აგროქიმიური მიზნის მისაღწევად საკმარისია პესტიციდ-ობიექტის რამდენიმეწუთიანი კონტაქტი. ამიტომ, რაც უფრო უმდგრადია პესტიციდი გარემოში, მით ნაკლები იქნება მიყენებული ეკოლოგიური ზიანი. გარემოში პესტიციდების დესტრუქცია გამოწვეულია დაჟანგვით, ჰიდროლიზით, ულტრაიისფერი სხივების მოქმედებით და სხვა ფაქტორებით. განსაკუთრებით მას-

შტაბურია მათი ბაქტერიოლოგიური დეგრადაცია. ამიტომაც, რომ შევინა ნიადაგებში, რომელიც ხელსაყრელი არეა მიკროფაუნისათვის, პესტიციდები ნაკლებად მდგრადია.

ამჟამად პრაქტიკაში პესტიციდებად გამოყენებულია 1000-მდე ნივთიერება, რომელთა ბაზაზე მზადდება რამდენიმე ათასი პრეპარატი. მათი ასორტიმენტი ყოველწლიურად იზრდება რამდენიმე ათეული ახალი ნივთიერებით, რომელთა შერჩევა ხდება 2-2,5 ათასი დაპატენტებული და 150-200 ათასი გამოცდილი ნივთიერებიდან. გასული საუკუნის ბოლოს პესტიციდების მსოფლიო წარმოებამ 2-2,5 მლნ ტ მიაღწია, რაც, საშუალოდ პლანეტის ერთ მცხოვრებზე 0,3-0,5 კგ შეადგენს.

გამოყენებული პესტიციდების ასორტიმენტი და ერთ ჰა შეტანილი რაოდენობა ქვეყნების მიხედვით სხვადასხვაა (ცხრილი 2.7). ყოფილ სსრკ პესტიციდებით მუშავდებოდა სასოფლო-სამეურნეო ნაკვეთების 40 %. სხვა ქვეყნებში ეს სიდიდე 90 % აღწევდა.

ცხრილი 2.7. პესტიციდების ხარჯი (კგ/ჰა) და მარცვლეულის მოსავალი (ცენტნერი/ჰა)

კონტინენტი	პესტიციდი	მოსავალი	კონტინენტი	პესტიციდი	მოსავალი
აფრიკა	2.3	6.7	ჩრდ. ამერიკა	15.8	25.2
აზია*	6.8	16.3	ევროპა	19.5	34.8
ლათ. ამერიკა	8.6	20.0			

* - იაპონიის გარეშე

ცხადია, მარცვლეულის კარგი მოსავალი ჩრდილოეთ ამერიკაში ან ევროპაში მარტო პესტიციდების გაზრდილი ხარჯით არ აიხსნება.

1990 წ. საქართველოში გამოყენებული იყო 32 დასახელების 22700 ტ შხამქიმიკატი. პესტიციდებში წამყვანი ადგილი შაბიამანს და გოგირდს (8500 და 8000 ტ), აგრეთვე კუპრაზანს (2000 ტ), ციანიდებს (1000 ტ) და ფოსფორორგანულ ნაერთებს (1000 ტ-დე) ეკავათ. მარტივი გაანგარიშება გვიჩვენებს, რომ სოფლის მეურნეობის ქიმიზაციის ხარისხით საქართველოს „მოწინავე“ პოზიცია ეკავა.

გასული საუკუნის 90-იანი წლებიდან შეიმჩნევა პესტიციდების ხარჯის შემცირების ტენდენცია. მარტო 1990 წ., 1985 წ. შედარებით, ყოფილ სსრკ 10-12 %-ით ნაკლები შხამქიმიკატი იყო გამოყენებული. ნარჩენი პესტიციდების რაოდენობა შემცირდა ნიადაგებშიც. ამჟამად პესტიციდების მოხმარება საქართველოში მნიშვნელოვნად არის შემცირებული. საუკუნის ბოლოს ამის ძირითადი მიზეზი ქვეყნის ეკონომიკური მდგომარეობა იყო, ბოლო წლებში კი მათი მაღალი ღირებულება.

2.5.4. პესტიციდები გარემოში, მათი გამოყენების ეკოლოგიური შედეგები. პესტიციდების გამოყენების არსებული ტექნიკა და მეთოდები განაპირობებს მათ ინტენსიურ გაბნევას გარემოში. თვლიან, რომ გამიზნულ ტერიტორიაზე ხდება პრეპარატის 50-80 %, ხოლო ფიზიოლოგიურ სამიზნეს – ინსექტიციდის 1-2 %. პესტიციდების ნაწილი იფანტება შენახვა-ტრანსპორტირების პროცესში. ყოფილ სსრკ მხოლოდ მათი 60 % (საქართველოში კი 30 %) ინახებოდა რეკომენდებულ პირობებში. საქართველოში ამ მხრივ ახლაც კრიტიკული მდგომარეობაა, რადგან ძველ საწყობებში, დაცვის გარეშე, 400-მდე ტონა შხამქიმიკატია მიმოფანტული.

ატმოსფეროს დაბინძურება პესტიციდებით ხდება ნიადაგის დამუშავების პროცესში, განსაკუთრებით თუ ამ მიზნით გამოყენებულია ავიაცია, აგრეთვე ნიადაგიდან და მცენარიდან მათი აქროლების შედეგად. ლიტერატურაში არსებული მონაცემებით ქლორორგანული პესტიციდების შემცველობა ჰაერში და ატმოსფერულ ნალექებში შესაბამისად 0,0001-0,2 და 2-80 მკგ/ლ ფარგლებშია. ანტარქტიდის თოვლში ნაპოვნია 0,03-1,1 ნგ/ლ დღტ, რაც პესტიციდების გლობალურ გადანაწილებაზე მიუთითებს. ყოველწლიურად მარტო ატმოსფერულ ნალექებს ოკეანეში შეაქვს 24000 ტ დღტ.

გარემოში პესტიციდებით ყველაზე მეტად დაბინძურებულია ნიადაგები. აშშ, კანადის, ევროპისა და სხვა ქვეყნების ნიადაგები 0,01-0,6 მკგ/კგ დღტ შეიცავენ. შედარებით მცირე რაოდენობით (0,01-0,1 ზღკ) პესტიციდები ნაპოვნია ნაკრძალების ნიადაგებშიც.

ნიადაგებიდან პესტიციდები ირეცხება ატმოსფერული და გრუნტის წყლებით. მათი გამორეცხვის სიჩქარე დამოკიდებულია პესტიციდის ხსნადობაზე, ნიადაგის pH-ზე, ტემპერატურაზე, ბუნებრივი სორბენტების შემცველობაზე და სხვა. წყალში ხსნადობის უნარი

ქლორ- და ფოსფორშემცველი პესტიციდები ძალზე განსხვავდებიან (ცხრილი 2.8). ამით აიხსნება მათი განსხვავებული მიგრაციის უნარი. 20 წლის მანძილზე ნიადაგიდან გამოირეცხა შეტანილი დდტ-ს მხოლოდ 18 %, ხოლო ერთჯერადი ძლიერი ნვიმით ატრაზინის 18 %. პესტიციდების გამორეცხვა ინტენსიურია წელიწადის თბილ პერიოდში და დაქანებული რელიეფის ნიადაგიდან. ნიადაგებში, რომლებიც გაზრდილი რაოდენობით შეიცავენ თიხა მინერალებს და ჰუმუსოვან ნივთიერებებს, პესტიციდების ძვრადობა მკვეთრად მცირდება სორბციული პროცესებისა და ასოციატების წარმოქმნის გამო.

პესტიციდების საბოლოო რეზერვუარი ზღვები და ოკეანეებია. ოკეანის წყალში დდტ-ს საშუალო კონცენტრაცია 5 ნგ/ლ შეადგენს, ზედაპირულ აპკში კი 90 ნგ/ლ-ს. ვარაუდობენ, რომ ოკეანეში აკუმულირებულია 0,5-0,7 მლნ ტ-მდე დდტ, ხოლო მისი წლიური ნამატი 40000 ტ შეადგენს.

ცხრილი 2.8. ზოგიერთი პესტიციდის ქიმიურ-ეკოლოგიური მახასიათებელი

(1 – წყალში ხსნადობა, მგ/ლ; 2 – მდგრადობა ნიადაგში, წელი; 3 – კონც. ზედაპირულ წყლებში, მკგ/ლ; 4 – ზღვ. სასაზღვრო წყლებში, მკგ/ლ; 5 – ზღვ. ნიადაგებში, მგ/კგ)

პესტიციდი	1	2	3	4	5
ატრაზინი	28	0.2-0.1.5	0.00 – 7	500	0.5
დდტ	<0.001	5 – 15	0.0001 – 20	2	0.1
კარბოფოსი	145	< 0.2	0.0002 – 5	50	2.0
მეტაფოსი	50	< 0.5	0.001 – 25	20	0.1
სიმაზინი	5	<1.0	0.001 – 5	-	0.2
ქლოროფოსი	15·10 ⁴	0.02 – 0.1	0.4 – 15	50	0.5
ცინები	10	0.02 – 0.1	0.1 – 1	30	1.8
ჰექსაქლორანი	10	1 – 5	0.0001 – 11	20	0.1

პესტიციდების უმრავლესობას მაღალი ბიოკონცენტრირების კოეფიციენტი აქვთ. ტბორში, რომლის წყალში 14 ნგ/ლ დდტ იყო, პლანქტონში დაგროვდა 5, თევზებში კი 200 მგ/კგ-მდე პესტიციდი.

300-370 მგ/კგ-მდე დღტ ნაპოვნია სანტა-მონიკას უბისა და სხვა დაბინძურებული ზღვების თევზებში.

პესტიციდების მასიური გამოყენება, გადანაწილება ჰაერში, სასმელ წყლებში და საკვებ პროდუქტებში შესაძლო პირობებს ქმნის ადამიანის ორგანიზმში მათი მოხვედრისათვის. რა გავლენას ახდენენ ისინი ჩვენს ჯანმრთელობაზე? რამდენად სერიოზულია საფრთხე?

სერიოზული გამოკვლევების შედეგები გვიჩვენებენ, რომ საშიში პესტიციდები კი არა, არამედ მათი არაპროფესიონალური გამოყენებაა. რა იძლევა ასეთი დასკვნის გაკეთების საშუალებას? ქვეყნებში, სადაც ინტენსიურად იყენებენ პესტიციდებს, მოსახლეობის სიცოცხლის ხანგრძლივობა უფრო მაღალია, დაავადებულთა რაოდენობა კი ნაკლები, ვიდრე მცირედ „ქიმიზირებულ“ რეგიონებში. ჯანდაცვის საერთაშორისო ორგანიზაციის დასკვნით, ქლორორგანული და ფოსფორორგანული პესტიციდების წარმოება-გამოყენების მრავალწლიანმა პრაქტიკამ აჩვენა, რომ ისინი არ ინვესტენ კანცეროგენულ დაავადებათა ინიცირებას. ასეთივე დასკვნამდე მივიდნენ ინგლისელი სპეციალისტები, ფენოქსიძმარმყავას მწარმოებელ მუშებზე 30 წლიანი დაკვირვების შემდეგ.

მოტანილი შედეგები არ იძლევა დამშვიდების საბაბს. ლიტერატურაში აღწერილია ფოსფორორგანული პესტიციდებით მწვავე ინტოქსიკაციის შემთხვევები. თუ არ იქნება მიღებული სიფრთხილის საჭირო ზომები, მათი ალბათობა გაიზრდება ახალი, ძლიერტოქსიკური პრეპარატების პრაქტიკაში დანერგვის გამო. სპეციფიკური პესტიციდები არ არსებობენ. ამიტომ ისინი ანადგურებენ როგორც მავნე, ისე სასარგებლო მწერებს. ამის გამო საგრძნობლად შემცირდა ყვავილოვანი მცენარეების განაყოფიერება დამტვერვით, დიდი ზიანი მიადგა მეფუტკრეობას.

ცხადია, ეკოლოგიურად უვნებელი პესტიციდი არ არსებობს და თუკი ეს მოხერხდება, მათი გამოყენება უნდა აიკრძალოს, ან შეიზღუდოს მაინც. ეს შესაძლებელი გახდება, თუ სელექციური მეთოდებით გამოყვანილი იქნება მავნებლებისა და დაავადებების გამძლე ჯიშები, ანდა მოიძებნება მათთან ბრძოლის რეალური და უვნებელი ბიოლოგიური მეთოდები.

სარეველა მცენარეებთან, მწერებთან და ცხოველებთან ბრძოლის ბიოლოგიური მეთოდები ეფექტური და ეკოლოგიურად სუფთაა. მოვიყვანო რამდენიმე მაგალითს. 1859 წ. ავსტრალიელი კოლონისტის მიერ ინგლისიდან ჩამოყვანილი 24 კურდღელი ისე გამრავლდა, რომ ქვეყნის მარჩენალი ცხვრისთვის ბალახი აღარ დარჩა. მათთან ბრძოლის ტრადიციულმა მეთოდებმა (ნადირობა, მონამვლა) და სა-

ბალახოების შემოღობვამ 2000 კმ სიგრძის ღობით სასურველი შედეგი არ გამოიღო. მწვანე კონტინენტი კურდღლებისგან იხსნა დაავადებამ, რომლითაც ისინი კოლოების მეშვეობით დაასნებოვნეს.

ისევ ავსტრალია. 1787 წ. კონტინენტზე შემთხვევით მოხვედრილი კაქტუსის ერთი სახეობა გამრავლდა და 25 მლნ ჰა დაიკავა. მათი განადგურება მოხერხდა პეპელას ერთ-ერთი სახეობით.

დასანანია, რომ ასეთი ეფექტური მეთოდები ცოტაა. ამიტომ სოფლის მეურნეობა ჯერჯერობით ქიმიზაციის იმედით რჩება. ეკოლოგიური ვითარების შემდგომი გართულების აცილების მიზნით ინტენსიური მუშაობა მიმდინარეობს ახალი, ძლიერმოქმედი, სპეციფიკური, გარემოში უმდგრადი პესტიციდების შესაქმნელად. პრაქტიკაში უკვე დანერგილია პესტიციდების ახალი თაობა, რომლის 10-150 გ საკმარისია ერთი ჰა ნაკვეთის დასამუშავებლად. გაძლიერებულია პესტიციდების კონტროლი გარემოში, განსაკუთრებით საკვებ პროდუქტებში.

2.5.5. სოფლის მეურნეობის სხვა დარგების წილი გარემოს დაბინძურებაში. გარემოს დაბინძურების ერთ-ერთი მძლავრი, ლოკალური წყაროა მეცხოველეობის და მეფრინველეობის ფერმები. ერთ მსხვილფეხა საქონელზე წელიწადში რამდენიმე ტონა ნაკელი და 20-30 მ³ ჩამდინარე წყალი გროვდება. ჩამდინარე და ნაკელსაცავების ნარეცხი წყლები ძალზე მდიდარია ბიოგენური და ორგანული ნივთიერებებით. საშუალოდ ისინი $0,6-1,3 \text{ NH}_4^+$, $0,08-1,0 \text{ NO}_3^-$, $4-5 \text{ N}_\text{ორგ}$, $2-2,5 \text{ P}_2\text{O}_5$, $2,4-4,5 \text{ K}_2\text{O}$ შეიცავენ (გ/ლ-ით). მათი ბიქრომატული ჟანგვადობა 13-20 გ O/ლ, ხოლო ჟანგბადის ბიოქიმიური ხარჯი 15-25 გ O/ლ აღწევს.

ფერმების ჩამდინარე წყლები მნიშვნელოვნად აუარესებენ ზედაპირული წყლების ხარისხს. ამიტომ ავსტრალიაში, დანიაში და ზოგიერთ სხვა ქვეყანაში მათი გამართვა მდინარეების, ტბების და არტეზიული ჭების ახლოს აკრძალულია. სამწუხაროდ, ჩვენთან ასეთი შეზღუდვა არ არის და ფერმების უმრავლესობა მდინარეებისა და წყალსაცავების ნაპირებზეა გაშენებული. მათი გავლენით ბიოგენური ნივთიერებების კონცენტრაცია პატარა მდინარეებში, ფონთან შედარებით, 20-50 %-ით არის გაზრდილი. ფერმების ჩამდინარე წყლების ქიმიური და ბაქტერიოლოგიური განმენდა რთული და ძვირია (1 ლიტრის – 1 დოლარი). ამიტომ ყველაზე უკეთეს შემთხვევაში მათ რამდენიმე თვე აჩერებენ სპეციალურ საცავებში, შემდეგ კი მცირე ულუფობით უშვებენ მდინარეში.

როგორც უკვე იყო აღნიშნული, ფერმერული მეურნეობების ნარჩენების ბიოგაზიფიკაცია არა მარტო ეკონომიკურ, არამედ დადებით ეკოლოგიურ შედეგსაც იძლევა. მდ. ხობის აუზში, სათანადო პროექტის განხორციელების შემდეგ, ფერმების ჩამდინარე წყლებში ბიოგენური და ორგანული ნივთიერებების შემცველობა 50-80 %-ით შემცირდა, რაც დადებითად აისახა ზედაპირული წყლების ხარისხზე.

2.6. კომუნალური მეურნეობები

2.6.1. მყარი ნარჩენები. საოჯახო და კომუნალური მეურნეობებიც გარემოს დაბინძურების წყაროა. მყარი საყოფაცხოვრებო ნარჩენების რაოდენობა და შედგენილობა ქვეყნების მიხედვით რამდენადმე განსხვავებულია (ცხრილი 2.9). განვითარებულ ქვეყნებში ერთ სულ მოსახლეზე დღე-ღამეში 0,5-1 კგ საკვები პროდუქტების, ქაღალდის, პლასტმასების და სხვა სახის ნარჩენი გროვდება. მარტო აშშ მათი წლიური რაოდენობა $1,7-2,2 \cdot 10^8$ ტ შეადგენს, წლიური ნამატი კი 10-15 %-ია. საყოფაცხოვრებო ნარჩენების პრობლემა მწვავედ დგას სოფლებში და აგარაკებზე, საიდანაც, იშვიათი გამონაკლისის გარდა, მათი გატანა არ ხდება. ნარჩენებით ნაგვიანდება ანტარქტიდა და ჰიმალაი და სხვა მაღალმთიანი ზონები. 2002-2003 წწ. აშშ და იაპონიამ სპეციალური ექსპედიციები მოაწყეს ევერესტის ალპინისტური ბაზებიდან 4-5 ტ ნარჩენების გამოსატანად.

ცხრილი 2.9. საყოფაცხოვრებო ნარჩენების რაოდენობა და შედგენილობა (%)

ქვეყანა, ქალაქი	ერთ სულზე, კგ/წელი	ქაღალდი	ლითონი	მინა	ნივთიერება	
					ორგანული	მინერალური
ინგლისი	240-420	25-30	5-8	5-8	10-15	30-40
გერმანია	210-300	19	5	10	21	30
შვეიცარია	150-320	40-50	5	5	15-25	20
შედეტი	210	55	6	15	12	-
პარიზი	300-360	30	4	4	24	24
ჰააგა	165-190	45	5	5	14	9
მოსკოვი	310-320	34-47	5	4-5	40-43	5

საყოფაცხოვრებო ნარჩენების 90-98 % სანაგვეზე იყრება. 1 ტ ნარჩენი დაახლოებით 3 მ² იკავებს, ამიტომ ნაგავსაყრელების გამართვას დიდი ფართი სჭირდება. რუსეთში მათ ერთ მლნ ჰა-მდე ტერიტორია უკავიათ. აშშ 6000-მდე ნაგავსაყრელია. მათი რაოდენობის შემცირების მიზნით ნარჩენები 150-200 კმ დაშორებული პუნქტებიდანაც კი მოაქვთ. ერთ-ერთი ასეთი საცავის აგება, რომელსაც 300 ჰა უკავია, აღჭურვილია წყალგაუმტარი საფარით, საფილტრავი და ნადგარებით და გამოყოფილი მეთანის შემგროვებლით, 25 მლნ დოლარი დაჯდა.

ეკოქიმიური თვალსაზრისით ნაგავსაყრელები შენელებული მოქმედების ნაღმია. ნარჩენების ლპობა-მინერალიზაცია და აირების (CH_4 , NH_3 , H_2S) გამოყოფა რამდენიმე წელი გრძელდება. მათი ნარეცხი ნაკადები ქიმიურად და ბაქტერიოლოგიურად აბინძურებენ მდინარეებსა და გრუნტის წყლებს. დროთა განმავლობაში ყოფილ ნაგავსაყრელებზე შენდება პარკები და საცხოვრებელი უბნები. რამდენიმე წლის წინ მოსკოვის ერთ-ერთ გარეუბანში, რომელიც ადრე ნაგავსაყრელი იყო, ნიადაგში აღმოჩნდა რადიოაქტიური ნივთიერებების ნარჩენები, ხოლო ავსტრიაში 40 ნგ/კგ დიოქსანები (ზღკ 2 ნგ/კგ). გერმანიაში ნაგავსაყრელების 10 %-ზე განთავსებულია ძლიერ ტოქსიკური ნივთიერებები.

პრაქტიკული თვალთახედვით ყველაზე მარტივია ნარჩენების დამარხვა. ამისათვის მათ აქუცმაცებენ, ტკეპნიან 180 სმ სისქის ფენამდე (უფრო სქელი ფენა შეიძლება თვითააღდეს) და ფარავენ მიწით.

ლიკვიდაციის მიზნით ნარჩენებს წვავენ სპეციალურ ლუმელში. მათი თბოტევადობა 3-ჯერ ნაკლებია ქვანახშირისაზე, იწვიან ცუდად, ამიტომ მოითხოვენ დამატებით სანვავს. განეული ხარჯები ნაწილობრივ იფარება გამომუშავებული ენერგიით. ნარჩენების უტილიზაციის არც ეს მეთოდი არის უნაკლო. პლასტმასების და ზოგიერთი სხვა ნივთიერების წვისას გამოიყოფა ფოსგენი, დიოქსანი და სხვა ძლიერ ტოქსიკური ნივთიერება. მიუხედავად ამისა, აშშ დაგეგმილია ამ გზით მოახდინონ ნარჩენების 17-20 % ლიკვიდირება. გერმანიაში ტოქსიკური ნარჩენების დასაწვად გამოყენებულია სპეციალური გემები, რომელთა წარმადობა საათში 10 ტ ნარჩენია. ეკოლოგიურად უფრო გამართლებულია სანვაკი აირების მიღება ნარჩენების ორგანული ნაწილის პიროლიზით 450⁰ C. დარჩენილი მასის

დანვისას აღარ გამოიყოფა აქროლადი ტოქსიკური ნივთიერებები, ხოლო ნაცარს იყენებენ სასუქად. ერთი ტონა ნარჩენის პიროლიზი ჯდება 5,4, დანვა 9, ხოლო დამარხვა 2,6 \$.

ეკოლოგიური და ეკონომიკური პოზიციებიდან ყველაზე მისაღებია საყოფაცხოვრებო ნარჩენების დახარისხება და შემდგომი უტილიზაცია. უმჯობესია ეს გაკეთდეს წინასწარ – ცალ-ცალკე შეგროვდეს ქაღალდი, ლითონები, მინა და სხვა ნარჩენები. მაგრამ, სირთულის გამო, მეთოდი მხოლოდ სკანდინავიის ქვეყნებსა და გერმანიაში დაინერგა. სხვა ქვეყნებში ნარჩენების დახარისხება ხდება ნაგავსაცავეებში. ამ მიზნით გამოყენებულია ძვირად ღირებული კომპიუტერული სისტემებიც.

რთულ პრობლემად რჩება პლასტმასების ნარჩენების ლიკვიდაციისა და უტილიზაციის საკითხი. მარტო აშშ წლიურად 23-25 მლნ ტ პლასტმასის ნარჩენი გროვდება. ბუნებრივი ფაქტორების გავლენით მათი დესტრუქცია ძალზე ნელა მიმდინარეობს, მათი დანვა და უტილიზაცია კი ბევრ სირთულესთან არის დაკავშირებული. გარკვეულ სიძნელეებს ქმნის მსუბუქი, დიდი მოცულობის მქონე ნედლეულის ტრანსპორტირება ნაგავსაყრელებამდე.

განვითარებულ ქვეყნებში დიდი რაოდენობით გროვდება ავტომანქანების ნახმარი საბურავები. მარტო კალიფორნიის ნაგავსაყრელებზე მათი რაოდენობა 40 მლნ-ია, მთელ აშშ კი 2 მილიარდს აღწევს. საბურავების უტილიზაციის მიზნით ააგეს თბოსადგური, რომელიც 42 მლნ დოლარი დაჯდა და წლიურად 4 მლნ საბურავს წეავს. მრავალ ქვეყანაში, მათ შორის საქართველოშიც, დაწყებულია პიროლიზური მეთოდით ნახმარი საბურავებიდან მაზუთის და კოქსის მიღება.

2.6.2. ჩამდინარე წყლები. ერთ ადამიანს ფიზიოლოგიური, ჰიგიენური და სხვა მოთხოვნილებათა დასაკმაყოფილებლად დღე-ღამეში 200-300 ლ წყალი სჭირდება, რომელიც დაბინძურებული სახით უბრუნდება ბუნებას. საყოფაცხოვრებო-კომუნალური წყლები ჩვეულებრივ ზღვ-ზე გაცილებით მეტი კონცენტრაციით შეიცავენ ორგანულ და ბიოგენურ ნივთიერებებს (ცხიმები, ცილები, დეტერგენტები, ფოსფატები, ამონიუმის ნაერთები და სხვა). მდ. რეინის მიერ ჩრდილოეთის ზღვაში წლიურად შეტანილი 3000 ტ ფოსფორიდან 40 % დეტერგენტებზე, ხოლო 27 % ფეკალურ წყლებზე მოდის. ძალზე დაბინძურებულია ქალაქის სამრეცხაოების ჩამდინარე წყლებიც.

მათ ტუტე რეაქცია (pH 11-მდე) აქვთ, ხოლო ჟანგბადის ბიოქიმიური ხარჯი 2 გ⁰/ლ აღწევს. მათში 7-20 მგ/ლ ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებია გახსნილი.

მდინარეების დაბინძურების მძლავრი წყარო გახდა ქუჩებისა და მოედნების ნარეცხი წყლები, რომლებიც გამდიდრებულია ნავთობ-პროდუქტებით, კანცეროგენული ნივთიერებებით, ტყვიისა და თუთიის ნაერთებით. თბილისის ნიაღვრის წყლებში მძიმე ლითონების შემცველობა 5-10-ჯერ მეტია, ვიდრე ნეიმის წყლებში. მდ. მტკვარში მათი ჩადინების პერიოდში ნორმირებული ნივთიერებების კონცენტრაცია ორმაგდება.

ქალაქის ქუჩების ნარეცხი წყლების მინერალიზაცია მკვეთრად იზრდება ლიპცინულის საწინააღმდეგოდ ქვიშის და NaCl (ან CaCl₂) ნარევის გამოყენების შემდეგ. ყინულ-თოვლის ნადნობ წყლებში Na⁺ და Cl⁻ შემცველობები რამდენიმე ათეულ გ/ლ აღწევს, გრუნტის წყლებში კი მათი კონცენტრაცია 5-10-ჯერ იზრდება.

III. ატმოსფეროს ქიმია

3.1 ატმოსფეროს ქიმიური შედგენილობა

ატმოსფერო – დედამიწის აიროვანი გარსი, ეკოქიმიური თვალსაზრისით გარემოს უმნიშვნელოვანესი ობიექტია. ადამიანი ცხოვრობს და საქმიანობს ატმოსფეროს ოკეანის ფსკერზე, დღე-ღამეში 18-20 კგ ჰაერს ჩაისუნთქავს, რაც გაცილებით მეტია გამოყენებული საკვებისა და წყლის მასაზე. ამიტომ ჰაერის ქიმიური შედგენილობა ადამიანის ჯანმრთელობის ერთ-ერთი მთავარი განმსაზღვრელი ფაქტორია.

ატმოსფერო გარემოს დაბინძურების სარკეა. ტექნოგენური ნივთიერებების ძირითადი ნაწილი უშუალოდ ატმოსფეროში იფრქევა და შემდეგ ნაწილდება წყლებში, ნიადაგებსა და მცენარეებში. ამასთან, ის ყველაზე დინამიური სფეროა. ხელსაყრელ მეტეოროლოგიურ პირობებში ანთროპოგენური ნივთიერებების გლობალური გადანაწილებისათვის რამდენიმე საათია საკმარისი. ატმოსფეროს, როგორც საკონტროლო ობიექტს, კიდევ ერთი უპირატესობა აქვს. მასში ჰიდრო- და გეოსფეროსთან შედარებით ნივთიერებების ფონური კონცენტრაციები ბევრად ნაკლებია, რაც აადვილებს გარეშე ნივთიერებების იდენტიფიცირებას და ანთროპოგენური ნამატის რაოდენობრივ განსაზღვრას.

ატმოსფეროს საერთო მასა $5,15 \cdot 10^{15}$ ტ შეადგენს (შედარებისათვის დედამიწისა და ჰიდროსფეროს მასები შესაბამისად $6 \cdot 10^{21}$ და $1,5 \cdot 10^{18}$ ტ). ატმოსფეროს სიმკვრივე სიმაღლის მიხედვით მკვეთრად მცირდება, თუმცა მთავარ კომპონენტთა შორის თანაფარდობა მუდმივი რჩება. ატმოსფეროს ზედა ზღვარი მიწის ზედაპირიდან დაახლოებით 1000 კმ სიმაღლეზეა, თუმცა აირების ძირითადი მასა 5-10 კმ-მდე ფენაში – ტროპოსფეროშია მოქცეული.

თანამედროვე ატმოსფერო რთული, ხანგრძლივი გეოლოგიური, ქიმიური და ბიოქიმიური ევოლუციის პროდუქტია. როგორც ვარაუდობენ, დედამიწა 4,6-5 მლრ წლის წინ ჩამოყალიბდა. მანტიის დეგა-

ზაციის შედეგად ფორმირებული ატმოსფეროს ქიმიური შედგენილობა თანამედროვე ვულკანური აირების ანალოგიური იყო (H_2O , He, CH_4 , CO_2 , H_2 , HCl და სხვა). დროთა განმავლობაში წყალბადი და ჰელიუმი დიფუნდირდა კოსმოსში, ტემპერატურის დაცემის შედეგად წყლის ორთქლი კონდენსირდა და გახსნილი CO_2 -ის ხარჯზე დაიწყო $CaCO_3$ -ის გამოლექვა. წყლის ფოტოლიზის შედეგად გაჩნდა ჟანგბადი, რომელიც თავდაპირველად CH_4 , H_2S , NH_3 და სხვა ნივთიერებების დაჟანგვაზე იხარჯებოდა. დაახლოებით 600 მლნ წლის წინ ფოტოსინთეზის შედეგად ატმოსფეროში დაიწყო ჟანგბადის დაგროვება. თავდაპირველად მისი დაბალი კონცენტრაციის გამო მცენარეული ნაშთები არ იჟანგებოდა, რაც ხელსაყრელ პირობებს ქმნიდა ნამარხი C_{org} წარმოსაქმნელად. ვარაუდობენ, რომ თანამედროვე ატმოსფერო 50 მლნ წლისაა. მეტად თავისებურია სხვა პლანეტების ატმოსფეროს თანამედროვე შედგენილობა. მაგალითად, ვენერასა და მარსის ატმოსფეროს 96,8 და 95,0 % მოდის CO_2 , N_2 -ის მოცულობითი წილი შესაბამისად 3,5 და 2,5 %-ია. იუპიტერის ატმოსფეროს 86 % კი წყალბადისაგან შედგება. 2005 წ. სატურნის თანამგზავრ ტიტანზე დაადგინეს მეთანის „მდინარეების“ არსებობა.

დედამიწის ატმოსფეროს გაზური შედგენილობა მეტად რთულია. მასში დაფიქსირებულია ათობით არაორგანული და ასობით ორგანული ნაერთი. ზოგიერთი მათგანის შემცველობა მშრალ ჰაერში მოცემულია 3.1. ცხრილში.

ცხრილი 3.1. ატმოსფეროს ქიმიური შედგენილობა (მოცულობითი წილი)

ნივთიერება	%	ნივთიერება	$\% \cdot 10^{-6}$	ნივთიერება	$\% \cdot 10^{-6}$
N_2	78.084	Ne	18.2	O_3	1.0
O_2	20.946	He	5.2	H_2	0.4-1
Ar	0.934	CH_4	1.3-1.6	CO	0.06-2
CO_2	0.034	Kr	1.14	NO_x	0-0.03

თანამედროვე ატმოსფერო წარმოადგენს მძლავრ, მუანგავ ქიმიურ რეაქტორს, სადაც ხელსაყრელ პირობებში თვითგანმენდის პრო-

ცესებთან ერთად მიმდინარეობს ტოქსიკანტების, მათ შორის საყოველთაოდ ცნობილი ბოლნისლის (სმოგი) წარმოქმნა.

ანალიზის თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით შესაძლებელი გახდა ატმოსფეროს მიკროკომპონენტური შედგენილობის დადგენა. როგორც მოსალოდნელი იყო, გარემოს დაბინძურების ანთროპოგენური წყაროებიდან მოშორებით (სამხრეთ პოლუსი, ნაწილობრივ გრენლანდია), აგრეთვე ეკოლოგიურად ჯანსაღ რეგიონებში (ნორვეგია) მძიმე ლითონების შემცველობა უმნიშვნელოა (ცხრილი 3.2). მიღებული შედეგები ფონურ კონცენტრაციებად უნდა ჩაითვალოს. სამრეწველო რეგიონების (გერმანია, იაპონია, აშშ) ჰაერში ნორმირებული ელემენტების კონცენტრაციები ორი-სამი რიგით მეტია ფონზე.

ცხრილი 3.2 მიკროელემენტები ატმოსფეროში (ნგ/მ³)

ელემენტი	ანტარქტიდა	გრენლანდია	ნორვეგია	გერმანია	იაპონია	შპს
Cu	0.05	1.1	2.5	8-4.9°	1-200	3-153
Zn	0.006	30	100	550-16°	14-6.8°	88-741
Cd	0.015	0.01	-	0.5-620	0.5-43	1-41
Hg	-	0.06	0.01	0.17-11.2	1.6	0.07-3.8
Pb	0.2-1.2	18	-	120-5°	19-1.8°	45-13°
As	0.07	0.2	1.9	1.5-53	0.3-120	2-40
Cr	0.005	0.7	0.7	1-140	1.3-167	5-1.1°
Ni	-	0.5	1.2	4-120	1-150	120
Th	0.0005	0.03	0.01	0.03-1	0.02-1.3	0.05-1.3

* – მკგ/მ³

კიდევ უფრო მრავალკომპონენტიანია ატმოსფეროში შემავალი ორგანული ნივთიერებები. ნახშირწყალბადების გარდა წარმოდგენილია სპირტები, ალდეჰიდები, რთული ეთერები, ტერპენები და სხვა კლასის წარმომადგენლები.

3.2. ჟანგბადი ატმოსფეროში

ატმოსფეროში ჟანგბადზე მოდის მასის 23,15 და მოცულობის 20,95 წილი. ატმოსფეროში $1,18 \cdot 10^{15}$ ტ თავისუფალი ჟანგბადია, ოკეანეში გახსნილია $7,5 \cdot 10^{12}$ ტ. ფოტოსინთეზის შედეგად ყოველწლიურად $1,5-2,5 \cdot 10^{11}$ ტ ჟანგბადი რეგენირდება, რომლის 84 % ოკეანე, დანარჩენს კი ხმელეთი იძლევა.

ჟანგბადი აუცილებელია სიცოცხლისათვის, გამოიყენება თბოენერგიის მისაღებად, ქიმიურ ნედლეულად და ბევრი სხვა დანიშნულებით. მისი წლიური ხარჯი $(1-1,2) \cdot 10^{10}$ ტ-ით არის შეფასებული, რაც მისი საერთო რაოდენობის $1,2 \cdot 10^{-3}$ %, ხოლო ფოტოსინთეზის 2 %-ია.

თბოენერგეტიკის, ტრანსპორტის და მოსახლეობის ინტენსიური ზრდის გამო იზრდება ჟანგბადის ხარჯიც. 1 ტ სათბობის დასაწვავად 3-4 ტ ჟანგბადია საჭირო. საჰაერო ლაინერი საათში 5 ტ ჟანგბადს მოიხმარს, ავტომანქანა კი 30-50 კგ. ვარაუდობენ, რომ დღემდე სათბობის წვაზე დახარჯულია ატმოსფერული ჟანგბადის 0,02 %. ატმოსფეროში ჟანგბადის ბალანსის შედგენისას უნდა გავითვალისწინოთ ის გარემოება, რომ ფოტოსინთეზით გამოყოფილი ჟანგბადი „სესხია“, რადგან მისი დიდი ნაწილი საბოლოო ჯამში ისევ წარმოქმნილი ბიომასის დაჟანგვაზე იხარჯება. დადგენილია, რომ ოკეანეში ბიოქიმიურ ოქსიდაციას ხმარდება ფოტოსინთეზირებული ჟანგბადის 98 %.

გასული საუკუნის 60-იან წლებში გამოითქვა მოსაზრება ატმოსფეროში ჟანგბადის კონცენტრაციის შესაძლო შემცირების შესახებ. უკვე აღნიშნულ მიზეზებთან ერთად ექვის საფუძველს იძლეოდა ჟანგბადის გენერატორის – მცენარეული საფარის ინტენსიური შემცირება. ყოველწლიურად დედამიწაზე 5-6 მლნ ჰა ტყე იჩეხება. დადგენილია, რომ ბევრი ქვეყანა მეტ ჟანგბადს ხარჯავს, ვიდრე მის ტერიტორიაზე რეგენირდება ფოტოსინთეზის შედეგად. მაშინდელი პროგნოზით ატმოსფეროს ქიმიური შედგენილობის შეცვლა მოსალოდნელი იყო რამდენიმე ათეული წლის შემდეგ. მართალია ჟანგბადის ნაკლებობას ადამიანი ეჩვევა (მაგალითად გამოდგება ჰიმალაიში მცხოვრები შერპები), მაგრამ ადაპტაციას საუკუნეები დასჭირდება.

რამდენად რეალურია მოსალოდნელი საფრთხე?

მიუხედავად პესიმისტური პროგნოზებისა, საიმედო მონაცემებით, 1910 წლიდან ატმოსფეროში ჟანგბადის კონცენტრაცია სტაბი-

ლურია ($20,9488 \pm 0,0017 \%$). ამის რამდენიმე მიზეზი არსებობს: ჟანგბადის ხარჯი გაცილებით ნაკლებია საერთო რაოდენობაზე, ატმოსფეროში მისი მარაგის შევსება შესაძლებელია ოკეანის წყალში გახსნილი აირით, ჟანგბადის ინტენსიური ხარჯვის შედეგად ჰაერში გაიზრდება CO_2 -ის კონცენტრაცია, რასაც უნდა მოჰყვეს ფოტოსინთეზის პროცესის დაჩქარება.

ჟანგბადის ძირითადი მომხმარებელია თბოენერგეტიკა. გათვლილია, რომ სათბობის არსებული მარაგის დანვას დასჭირდება $1,7 \cdot 10^{13}$ ტ ჟანგბადი, ანუ მისი საერთო რაოდენობის $1,4 \%$ (სხვა მონაცემებით მხოლოდ $0,2-0,7 \%$). ენერგეტიკის განვითარების გათვალისწინებით (პრიორიტეტული ხდება ჰიდრო-, ატომური და სხვა წყაროები) რეალურად ეს სიდიდე ნაკლები უნდა იყოს. თუ მომავალში სათბობად გამოყენებული იქნება წყლის ელექტროლიზით მიღებული წყალბადი, პრობლემა მნიშვნელოვნად გამარტივდება.

ატმოსფეროში ჟანგბადის კონცენტრაციის შემცირების რეალური მიზეზი შეიძლება გახდეს ფოტოსინთეზის პროცესების დამუხრუჭება ოკეანის დაბინძურებისა და ტყის საფარის გაჩანაგების გამო. ორივე პრობლემა რეალურია და გაძლიერებულ ყურადღებას მოითხოვს. განსაკუთრებით საგანგაშო ვითარება შეიქმნა „დედამიწის ფილტვების“ – მდინარე ამაზონის აუზში, სადაც (და არა მარტო იქ) ტროპიკული ტყეების გაჩეხვამ კატასტროფულ მასშტაბებს მიაღწია.

3.3. ოზონი ატმოსფეროში

3.3.1. ოზონი ტროპოსფეროში და სტრატოსფეროში. ატმოსფეროში ოზონის კონცენტრაცია და დინამიკა ეკოლოგიის ერთ-ერთი აქტიუალური საკითხია. ტროპოსფეროში ოზონი ანთროპოგენური დაბინძურების მაჩვენებელია, სტრატოსფერული ოზონი კი დედამიწაზე სიცოცხლის დამცველი ფარია, რადგან ინტენსიურად შთანთქავს მზის ბიოლოგიურად აქტიურ ულტრაიისფერ გამოსხივებას. ატმოსფეროში ოზონის კონცენტრაციას გამოსახავენ მოცულობითი ნილით, მკგ-ით ერთ მ^3 ჰაერში, ან დობსონის ერთეულებით (დ.ე. პირობითი სიდიდეა, რომელიც შეესაბამება ატმოსფეროში ოზონის $0,001$ სმ ფენას).

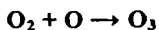
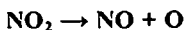
ატმოსფეროში ოზონის განაწილების შესწავლა დაიწყო 1875 წლიდან. ადრე მიღებულ მონაცემებთან ერთად საინფორმაციო ბანკი მოიცავს მსოფლიოს 140 პუნქტში ორმოცდაათწლიანი სინქრონული დაკვირვების შედეგებს. ბოლო ოცდაათი წლის მანძილზე საინტერესო ინფორმაცია დაგროვდა კოსმოსური თანამგზავრების გამოყენებით.

ოზონის კონცენტრაცია ატმოსფეროში $3 \cdot 10^{-7}$ - $2 \cdot 10^{-6}$ %-ია, საერთო მასა კი $3,1 \cdot 10^9$ ტ. მისი ფენის (ოზონოსფეროს) საერთო სისქე 120-760, საშუალოდ კი 290 დ. ე-ია (0,29 სმ). ოზონის საერთო რაოდენობის 8-15 % ტროპოსფეროშია, სადაც მისი კონცენტრაცია დღეღამის, სეზონების და მეტეოროლოგიური პირობების მიხედვით იცვლება. მისი ძირითადი საცავი სტრატოსფეროა, სადაც მაქსიმალური კონცენტრაციები აღინიშნება გაზაფხულზე, მინიმალური შემოდგომა-ზამთრის სეზონში.

ტროპოსფეროსაგან განსხვავებით, ოზონის კონცენტრაცია სტრატოსფეროში სიმაღლის მიხედვით თავდაპირველად იზრდება, შემდეგ კი მცირდება. მისი მაქსიმალური კონცენტრაციები პოლარულ ზონაში დაფიქსირებულია 18-20 კმ სიმაღლეზე, საშუალო განედებში 22-23 კმ და ტროპიკებში 24-26 კმ. სტრატოსფეროს ზედა ფენებში, განსაკუთრებით მეზოსფეროში, ოზონის კონცენტრაცია მკვეთრად მცირდება და 70-100 კმ სიმაღლეზე მხოლოდ კვალის სახით გვხვდება.

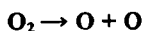
დროსა და სივრცეში ოზონის კონცენტრაციის მნიშვნელოვანი მერყეობის გამო მისი მრავალწლიური გლობალური დინამიკის დადგენა ძნელია. მკვლევართა უმრავლესობის აზრით, 1970 წლიდან შემჩნევა ოზონის თანდათანობითი შემცირება წელიწადში 0,1-0,4 %-ით (ნახ. 3.1). სხვა მონაცემებით, ოზონოსფეროს სისქე წლიურად 0,5 დობსონის ერთეულით მცირდება.

3.3.2. ოზონის ბუნებრივი და ანთროპოგენური წყაროები. ტროპოსფეროში მცირე რაოდენობით ოზონი წარმოიქმნება ელჭექის, ნელი განმუხტვის და ზოგიერთი ორგანული ნივთიერების დაჟანგვის დროს. მისი ძირითადი გენერატორი არის აზოტის ლექსიდები, რომელთა ფოტოდისოციაციას დაბალი ენერგია სჭირდება ($\lambda < 400$ ნმ).



გარემოს ანთროპოგენური დაბინძურების ზრდის ტენდენცია განსაზღვრავს ტროპოსფეროში მრავალწლიურ დინამიკას. 1907-1980 წწ. მისი კონცენტრაცია 60 %-ით გაიზარდა, საშუალო წლიურ-მა ნამატმა კი 1-2 % შეადგინა. ამჟამად ტროპოსფეროში ოზონის ფონური კონცენტრაცია 20-30 მკგ/მ³-ია. სამრეწველო რაიონების ჰაერში მისი შემცველობა 1,5-1,7-ჯერ მეტია სოფლის რეგიონებთან შედარებით. ევროპის დიდი ქალაქების ჰაერში ოზონის კონცენტრაცია 2-4-ჯერ, აშშ კი 10-ჯერ და მეტად აღემატება ზღვ (30 მკგ/მ³). ლოს-ანჯელესის ჰაერში დაფიქსირებული იყო 1000 მკგ/ლ ოზონი. გარდა ბიოლოგიური ზიანისა, ტროპოსფეროში ოზონის კონცენტრაციის ზრდა ქმნის ტექნიკური ხასიათის სიძნელებებს – ძლიერდება ლითონთა კოროზია, იშლება რეზინის ნაკეთობები და სხვა.

სტრატოსფეროში ოზონი მზის ულტრაიისფერი სხივებით ($\lambda < 244,5$ ნმ) მოლეკულური ჟანგბადის ფოტოდისოციაციის შედეგად წარმოიქმნება



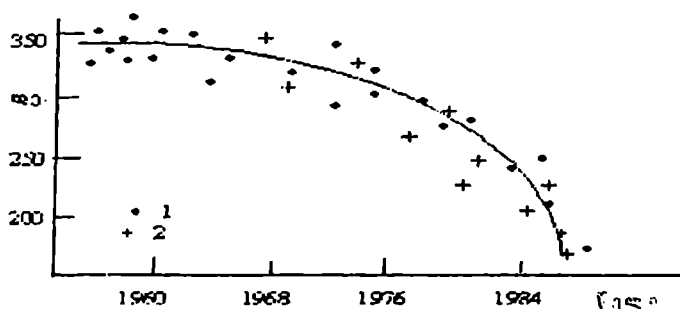
„ფოტოქიმიური რეაქტორის“ ეფექტურობა დამოკიდებულია მზის რადიაციაზე, ატმოსფეროში მინარევების ბუნებაზე და რაოდენობაზე. სავარაუდო შეფასებით ატმოსფეროში ოზონის დინამიკას განსაზღვრავს 120-მდე ქიმიური რეაქცია, რომლებშიც მინიმუმ 40 ნივთიერება მონაწილეობს.

სტრატოსფეროში ოზონის სინთეზის (1) პარალელურად მიმდინარეობს ოზონის დაშლაც (λ 200-315 ნმ)

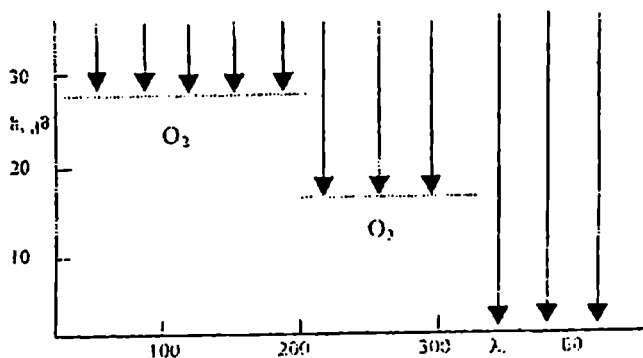


ოზონის ფოტოდისოციაციის სიჩქარეს განსაზღვრავს ულტრაიისფერი სხივების ინტენსივობა. 40 კმ სიმაღლეზე ოზონის მოლეკულის სიცოცხლის ხანგრძლივობა 3 საათია, 15 კმ-ზე კი მეტია 100 დღე-ღამეზე. სტრატოსფეროს ოზონის ნაწილი დიფუნდირდება ტროპოსფეროში, სადაც მონაწილეობს ოქსიდაციის პროცესებში.

1-2 რეაქციების ერთობლიობა ცნობილია ჩეპმენის ციკლის სახელწოდებით და მზის ულტრაიისფერი გამოსხივების ერთ-ერთი მთავარი ფილტრია ატმოსფეროში (ნახ. 3.2)



ნახ. 3.1 ოზონოსფეროს სისქის (დობსონის ერთეულები) ცვალებადობა ანტარქტიდაში მინისპირა (1) და კოსმოსური (2) დაკვირვებით



ნახ.3.2. მზის ულტრაიისფერი გამოსხივების შთანთქმა ატმოსფერული აირებით

3.3.3. ოზონოსფერო, მისი ეკოლოგიური მნიშვნელობა. მზის ულტრაიისფერი გამოსხივება ბიოლოგიურად აქტიურია და უარყოფითად მოქმედებს ცოცხალ ორგანიზმებზე (იმუნური სისტემის დაქვეითება, კანის სიღამწვრე და ავთვისებიანი დაავადებები, თვალის ბადურის ანთება, ფოტოსინთეზის დამუხრუჭება და სხვა). მზის შორეული ულტრაიისფერი გამოსხივება ($\lambda < 200$ ნმ) მთლიანად შთანთქმება ჟანგბადით და სტრატოსფეროს ქვედა ფენებსაც ვერ აღწევს.

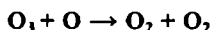
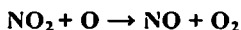
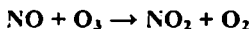
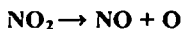
სპექტრის 200-320 ნმ უბანში ელექტრომაგნიტურ ტალღებს ინტენსიურად შთანთქავს ოზონი. ამისათვის საკმარისია ოზონის 3 მმ ფენა. მზის უფრო გრძელტალღიანი გამოსხივება ($\lambda > 320$ ნმ), რომელიც აღწევს დედამიწამდე, უკვე არ არის საზიანო. ოზონის კონცენტრაციის 10 %-ით შემცირებით 288 ნმ სიგრძის ტალღების შთანთქმა მცირდება 50 %-ით. ვარაუდობენ, რომ ოზონოსფეროს გათხელებას მოჰყვება სხვა არასასურველი მოვლენებიც. კერძოდ, ოზონის შემცველობის განახევრების შემთხვევაში შემცირდება ინფრანითელი გამოსხივების შთანთქმა, ამიტომ მეზოსფეროს და სტრატოსფეროს ქვედა ფენის ტემპერატურები შესაბამისად 20 და 2-3°-ით შემცირდება.

3.3.4. ოზონის „ხვრელი“, მისი გამომწვევი მიზეზები. 1985 წ. ჟურნალ „Nature“ გამოქვეყნებულ სტატიაში ფაქტობრივი ინფორმაციის საფუძველზე ნაჩვენებია იყო ანტარქტიდაში ოზონის საერთო რაოდენობის შემცირების ტენდენცია (ნახ. 3.1). 1970-1984 წწ. მიღებული მონაცემებით სადგურ ხალილბეიში ოზონოსფეროს სისქე 320-დან 200 დ. ე-მდე შემცირდა. 1987 წ. სადგურ მაკმიორდზე დაფიქსირებული იყო ოზონოსფეროს კიდევ უფრო თხელი ფენა (100-120 დ.ე.). ოზონის მაქსიმალური დეფიციტი შეიმჩნევა გაზაფხულზე, 14-20 კმ სიმაღლეზე, სადაც მისი კონცენტრაცია 97-98 %-ით მცირდება. ეს მოვლენა ცნობილი გახდა „ოზონის ხვრელის“ სახელწოდებით. ტერმინი არ არის ზუსტი, რადგან საქმე გვაქვს ოზონის საერთო რაოდენობის შემცირებასთან და არა სრულ გაქრობასთან. ანტარქტიდაში „ოზონის ხვრელის“ საერთო ფართი 10-14 მლნ კმ² აღწევს. მოგვიანებით უფრო მცირე ფართობის ხვრელები აღმოჩენილ იქნა არქტიკისა და ზოგიერთი დიდი ქალაქის თავზეც.

ეკოლოგიური თვალსაზრისით პრობლემა გლობალური მასშტაბისაა და მოსალოდნელი შედეგების გამო უაღრესად სერიოზულია. თელიდნენ, რომ, თუ არ აღმოიფხვრა გამომწვევი მიზეზი, 2000 წლისათვის ოზონის კონცენტრაცია ატმოსფეროში 3-5 %-ით, 15-20 წ. შემდეგ კი 17 %-ით შემცირდებოდა. ამის შედეგად მზის ულტრაიისფერი გამოსხივების ინტენსივობა დედამიწაზე 3-ჯერ გაიზრდებოდა.

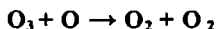
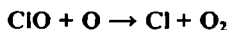
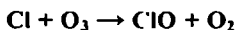
ერთიმნა პასუხის გაცემა კითხვაზე, თუ რატომ გაჩნდა „ხვრელი“, რა არის მისი რეალური მიზეზი, შესაძლო ფაქტორების სიმრავლის გამო, არც ისე ადვილია.

სტრატოსფერული ოზონის კონცენტრაციის შემცირება, ზეზგერითი ავიაციის გამონაბოლქვ აირებში შემავალი NO_x -ით, ნაეარაუდები იყო ჰ. ჯონსტონის მიერ 1971 წ. ტროპოსფეროსაგან განსხვავებით, სტრატოსფეროში NO_x აკატალიზებს ოზონის დაშლას. NO_x -ის თანაობისას ილუპება ოზონი და მისი გენერატორი – ატომური ჟანგბადი.



ოზონოსფეროს შესაძლო დეგრადაციის პრობლემა მკვლევართა ინტერესის ცენტრში აღმოჩნდა. 1972-1975 წლებში ჩატარებულმა გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ NO_x როლი ოზონოსფეროს შესაძლო დეგრადაციაში გაზვიადებული იყო. მცდარი პროგნოზი გამოწვეული იყო იმით, რომ სტრატოსფერული ავიაცია დაბალი ტემპით ვითარდებოდა, თანაც გამონაბოლქვ აირებში NO_x -ის კონცენტრაცია ნაეარაუდებზე ნაკლები აღმოჩნდა.

1974 წ. ამერიკელმა მკვლევარებმა – მ. მოლინმა და შ. როულმა ოზონოსფეროს დეგრადაცია სტრატოსფეროში ფრეონების – ფთორქლორნახშირწყალბადების არსებობით ახსნეს. მათი აზრით, ფრეონების (CFCl_3 , CF_2Cl_2 , შესაბამისად F-11 და F-12) ფოტოლისოციაციით წარმოქმნილ Cl-ს შეუძლია ოზონის კატალიზური დაშლა:



პროცესის კატალიზური ბუნების გამო ფრეონის ერთმა მოლეკულამ შეიძლება ოზონის 10000-მდე მოლეკულა დაშალოს. მაშინ არსებული მონაცემების გათვალისწინებით გაკეთებული პროგნოზით 2050 წ. ატმოსფეროში ოზონის შემცველობა უნდა განახევრდეს.

მოგვიანებით ფრეონების გავლენა ოზონოსფეროზე დადასტურდა ექსპერიმენტული მონაცემებითაც. „ხვრელის“ ზონაში, 19-20 კმ სიმაღლეზე Cl-ს კონცენტრაცია 100-300-ჯერ მეტი აღმოჩნდა ზომი-

ერ სარტყელთან შედარებით. უარყოფითი კავშირი ატმოსფეროში ClO და O_3 კონცენტრაციებს შორის აშკარაა სხვა ზონებშიც.

რა გამოყენება აქვთ ფრეონებს? საიდან ხვდებიან ისინი ატმოსფეროში? ფრეონები პირველად 1928 წ. მიიღეს დიუპონის ფირმის ლაბორატორიებში. ფრეონები იაფი, უვნებელი (ზღვ 3-6 გ/მ³), ინდიფერენტული, ცეცხლმედეგი ნივთიერებებია და ჰაერთან არ წარმოქმნიან ფეთქებად ნარევებს. ამან განაპირობა ამიაკის ნაცვლად მათი გამოყენება მაცივარ-დანადგარებში და კონდიციონერებში (ლათ. frigor – სიცივე). ფრეონები ფართოდ გამოიყენება აგრეთვე ფენოლასტების წარმოებაში, გამხსნელად, პროპელენტად (გამფრქვევად), სუნამოების, საღებავების, მედიკამენტებისა და სხვა დანიშნულების ბალონებში. 1956-1975 წლებში F-11 წარმოება 50-ჯერ, F-12 კი 20-ჯერ გაიზარდა. გასული საუკუნის 90-იან წლებში ფრეონების მსოფლიო წარმოებამ 2 მლნ ტ-ს მიაღწია.

ნაპოვნია ფრეონების ბუნებრივი წყარო – ვულკანური აირები. ისინი მეთანის ქლორნაწარმებთან ერთად მცირე რაოდენობით შეიცავენ CFCl_3 და CF_2Cl_2 (შესაბამისად $2,7 \cdot 10^{-5}$ და $3,6 \cdot 10^{-5}$ %). ადრეულ ატმოსფეროში ფრეონების კვალის არსებობაზე მიუთითებს მათი აღმოჩენა ანტარქტიდის ყინულების აირბუშტუკებში ($4 \cdot 10^{-7}$ %).

გამოყენების სპეციფიკიდან გამომდინარე ცხადია, რომ წარმოებული ფრეონები პრაქტიკულად მთლიანად იფანტება ტროპოსფეროში და დაახლოებით ერთი წლის შემდეგ ხვდება სტრატოსფეროში. 1970-1980 წწ. F-11 და F-12 კონცენტრაცია ატმოსფეროში 3-4-ჯერ გაიზარდა და შესაბამისად $2,3 \cdot 10^{-10}$ და $3,9 \cdot 10^{-10}$ % მიაღწია. მათი კონცენტრაციების საშუალო წლიური ნამატი 4-7 % იყო. სხვა ფაქტორებთან ერთად ატმოსფეროში ფრეონების დაგროვებას ხელს უწყობს მათი ზემედეგობა. გარემოში F-11 და F-12 სიცოცხლის ხანგრძლივობა 70 და 100 წლით არის შეფასებული.

3.3.5. საერთაშორისო თანამშრომლობა ოზონოსფეროს დაცვის მიზნით. ანთროპოგენური ფაქტორების ზემოქმედებით ოზონოსფეროს დეგრადაცია რეალობაა და თანამედროვეობის ერთ-ერთი მწვავე ეკოლოგიურ პრობლემად რჩება. მოსალოდნელი გლობალური კატასტროფის აცილების მიზნით ჯერ კიდევ 1977 წ. გაეროს ეგიდით ჩატარდა პირველი საერთაშორისო თათბირი, რომელზეც განიხილეს

ოზონოსფეროს დაცვის საკითხები. 1989 წ. ძალაში შევიდა მონრეალის საერთაშორისო თათბირის დადგენილება, რომლის მიხედვით 1995 წლისთვის ფრეონების წარმოება უნდა განახევრებულიყო, ხოლო 2000 წლისათვის – შეწყვეტილიყო. ამასთან, დაიგეგმა ოზონდამშლელი აირების (NO_x , CH_4 და სხვა) ატმოსფეროში ემისიის შემცირების გზები. კიოტოს შეთანხმებას რუსეთი გვიან შეუერთდა, აშშ კი დღემდე თავს იკავებს, თუმცა 6,3 მლრ \$-ით დააფინანსა 50-მდე პროექტი, რომლებიც ამ პრობლემის საკითხებს ეხება. გატარებული ლონისძიებების შედეგად 1986-1996 წწ. ფრეონების წარმოება 1,1 მლნ ტონიდან 0,16 მლნ ტონამდე შემცირდა. 1994 წლიდან ატმოსფეროში შეიმჩნევა ფრეონების კონცენტრაციის კლება.

მიმდინარეობს ეკოლოგიურად უსაფრთხო პროპელენტების ძიება. ამ მიზნით იაპონიაში დაიწყეს ახალი, შედარებით უმდგრადი ფრეონების წარმოება, რომლებიც სტრატოსფეროში მოხვედრამდე უნდა დაიშალონ.

3.4. ნახშირბადის ოქსიდები ატმოსფეროში

3.4.1. CO_2 ატმოსფეროში, მისი ბუნებრივი და ანთროპოგენური წყაროები. მიუხედავად იმისა, რომ CO_2 არ არის ტოქსიკური, მისი განაწილება გარემოში მკვლევართა ყურადღების ცენტრშია. მათი დაინტერესების მიზეზია CO_2 -ის აქტიური მიმოქცევა ბუნებაში და პირველხარისხოვანი როლი სათბურის ეფექტში, რომელიც თანამედროვეობის უმთავრესი ეკოლოგიური პრობლემაა. გარდა ამისა, მსგავსად წყლისა და ჟანგბადისა, CO_2 დედამიწაზე სიცოცხლის აუცილებელი წინაპირობაა.

გასული საუკუნის ბოლოს CO_2 -ის საშუალო კონცენტრაცია ტროპოსფეროში $(350-360) \cdot 10^{-4} \%$ იყო. მისი წილი ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში $(4-5) \cdot 10^{-4} \%$ -ით მეტია, სამხრეთ ნახევარსფეროსთან შედარებით. CO_2 -ის სეზონური დინამიკა ლოგიკურია და მკვეთრად არის გამოსახული: მაქსიმუმი – ზამთარში, მინიმუმი – ზაფხულში. CO_2 -ის საერთო შემცველობა ატმოსფეროში შეფასებულია $(2,3-2,6) \cdot 10^{12}$ ტონით. ოკეანეში გახსნილი CO_2 -ის საშუალო კონცენტრაცია 1,5 მგ/ლ შეადგენს.

CO_2 ბუნებაში მიმოქცევის ტემპით და მასშტაბებით მხოლოდ წყალს ჩამორჩება. მისი ძირითადი მომხმარებელი არის ფოტოსინთე-

ზი და დანალექი ქანების ფორმირება. გეოლოგების გაანგარიშებით დანალექ ქანებში კარბონატების სახით $2 \cdot 10^{17}$ ტონამდე CO_2 ფიქსირებული. ამჟამად CO_2 -ის გლობალური ფიქსაცია $(1,5-1,6) \cdot 10^{11}$ ტონით არის შეფასებული.

ინტენსიური ხარჯვის მიუხედავად CO_2 -ის კონცენტრაცია ატმოსფეროში თანდათან მატულობს, რაც მისი ბუნებრივი და ანთროპოგენური წყაროების მრავალფეროვნებით და მზარდი სიმძლავრით აიხსნება. CO_2 -ის ბუნებრივი წყაროებიდან გამოირჩევიან ცოცხალი ორგანიზმები (საშუალო წლიური ემისია $1 \cdot 10^9$), ტყის ხანძრები ($7,4 \cdot 10^9$), ბიომასის დაჟანგვა ($4 \cdot 10^9$), მანტიის დეგაზაცია ($4 \cdot 10^7$) და სხვა. თვლიან, რომ CO_2 -ის საშუალო წლიური ბუნებრივი ემისია $7 \cdot 10^{10}$ ტონაა. CO_2 -ის ძირითადი ანთროპოგენური წყაროა სათბობის ნვა, რომელიც წლიურად დაახლოებით $1,8 \cdot 10^{10}$ ტ CO_2 -ს იძლევა. CO_2 -ის მძლავრი გენერატორია აგრეთვე ცემენტის წარმოება ($3 \cdot 5 \cdot 10^8$ ტ). საორიენტაციო გათვლებით CO_2 -ის საერთო წლიური ემისია ($6 \cdot 6,3$) $\cdot 10^{11}$, ხოლო ფიქსაცია $2,2 \cdot 10^{10}$ ტონას შეადგენს.

3.4.2. CO_2 -ის შემცველობის დინამიკა ატმოსფეროში. განსხვავებით სხვა პრობლემებისაგან, CO_2 -ის კონცენტრაციის თანდათანობითი ზრდა ატმოსფეროში სადავო არ არის. რა იძლევა ერთიშნა დასკვნის გაკეთების უფლებას? საიმედო ექსპერიმენტული მონაცემების დაგროვება ატმოსფეროში CO_2 -ის განაწილების შესახებ დაიწყო 1860 წლიდან. განსაკუთრებით მდიდარი ინფორმაცია იქნა მოპოვებული 1960-1969 წწ. საერთაშორისო გეოფიზიკური ათნლეულის პერიოდში. ადრეულ ატმოსფეროში CO_2 -ის კონცენტრაციის შესახებ უნიკალური მონაცემები მიიღეს გრენლანდიის და ანტარქტიდის ყინულის კერნების აირბუშტუკების ქიმიური და იზოტოპური ანალიზით.

ატმოსფეროში CO_2 -ის კონცენტრაციის ზრდის ტენდენცია პირველად კოლენდარმა შეამჩნია. მისი გათვლებით 1900-1940 წწ. CO_2 -ის ნამატმა 10 % მიაღწია. მოგვიანებით გამოყენებული სათბობის რაოდენობის და მისი ზრდის ტემპის გათვალისწინებით ანალოგიურ დასკვნამდე მივიდნენ რაველი და ზიუსი.

1800 წლამდე დათარიღებული ყინულის კერნების აირბუშტუკებში CO_2 -ის კონცენტრაცია $(265-275) \cdot 10^{-4}$ %-ია, 1800-1860 წწ. კი $(260-290) \cdot 10^{-4}$ %. საუკუნის მანძილზე (1860-1960) ატმოსფეროში CO_2 -ის

კონცენტრაცია 20 %-ით გაიზარდა, 1985 წ. კი $(345-350) \cdot 10^{-4}$ % მიაღწია. ატმოსფეროში CO_2 -ის კონცენტრაციის საშუალო წლიური ნამატი ტექნო-ურბანიზებულ რეგიონებში 0,3-0,4 %, ხოლო მათგან მორეგბით – 0,2-0,3 %-ია (ცხრილი 3.3).

ცხრილი 3.3. CO_2 -ის კონცენტრაცია ატმოსფეროში
(10^{-4} %-ით, მაუნალოა, ჰავაი)

წელი	CO_2	ნამატი	წელი	CO_2	ნამატი	წელი	CO_2	ნამატი
1960	314.3	-	1963	316.4	0.22	1966	318.5	0.22
1961	315.0	0.22	1964	317.1	0.22	1967	319.2	0.22
1962	315.7	0.22	1965	317.8	0.22	1968	320.0	0.25

ატმოსფეროში CO_2 -ის ზრდის ძირითადი მიზეზია თბოენერგეტიკის ინტენსიური განვითარება. სათბობის არსებული მარაგების გათვალისწინებით თბოენერგეტიკაში იზრდება ქვანახშირის წილი, რომელიც გამოიმუშავებული ენერგიის ერთეულზე გადათვლით, სხვა სათბობთან შედარებით, მეტ CO_2 -ს გამოყოფს. CO_2 -ის ბალანსზე ცხადია გავლენას ახდენს ტყეების ინტენსიური გაჩეხვა, ასევე მისი წელი გადანაწილება ატმოსფეროდან ოკეანეში. ამჟამად ჰაერში არსებული CO_2 -ის შთანთქმას 200 წ. დასჭირდება. განსაკუთრებით ნელა მიმდინარეობს CO_2 -ის მიგრაცია წყლის ქვედა ფენებში.

როგორია პროგნოზი? ვარაუდობენ, რომ 2035-2040 წწ. CO_2 -ის შემცველობა ჰაერში $(400-450) \cdot 10^{-4}$ %-ს მიაღწევს, ხოლო 10 წლის შემდეგ – $550 \cdot 10^{-4}$ % გახდება. ე.ი. ნამატი 2000 წ. შედარებით 50-60%, ხოლო 1860 წ. – 90 % იქნება.

ეკოლოგიური პროგნოზის საიმედოობა განისაზღვრება პროცესის მოდელირების პროგრამის (სცენარის) სრულყოფით, გამოყენებული ფაქტობრივი ინფორმაციის სისრულით და სიზუსტით. პროგრამა უნდა ითვალისწინებდეს ყველა მოსალოდნელ შედეგს, მათ ურთიერთკავშირს და განმსაზღვრელ ფაქტორებს. ამ სფეროში ჯერ კიდევ არსებული ინფორმაციული დეფიციტი ბევრ სიძნელეს ქმნის. ასე მაგალითად, ზუსტად არ ვიცით რამდენად შეიცვლება ფოტოსინთეზის ტემპი ატმოსფეროში CO_2 -ის კონცენტრაციის გაზრდით (მო-

ნაცემები მხოლოდ დახურული სისტემებისათვის – სათბურებისათვის არსებობს). ასევე რულია რაოდენობრივად შევაფასოთ მჟავა წვიმების გავლენა ნიადაგის მიკროფლორაზე, რომელიც CO_2 -ის მძლავრი გენერატორია (დღე-ღამეში 1 ჰა ნიადაგიდან 24-დან 360 კგ-დე CO_2 გამოიყოფა). ძნელია ზუსტად გავთვალოთ ტემპერატურის ან CO_2 -ის ცვალებადობის გავლენა CO_2 -ის ფაზურ განაწილებაზე სისტემაში ატმოსფერო-ოკეანე. თეორიულად ცნობილია, რომ ოკეანის წყლის pH-ის შეცვლა 0,02 ერთეულით ატმოსფეროში CO_2 -ის კონცენტრაციას შეცვლის 10 %-ით. ზოგჯერ პროგნოზირებისათვის საჭირო არც სხვა ინფორმაციაა საიმედო, რაც მათი განსაზღვრა-გათვლის სირთულით აიხსნება. ასე მაგალითად, რიცხვითი მონაცემები CO_2 -ის ბუნებრივი თუ ანთროპოგენური წყაროების სიმძლავრის შესახებ ზოგჯერ რიგითაც კი განსხვავდებიან.

3.4.3. CO ატმოსფეროში. ატმოსფეროს მუდმივი შემადგენელი მიკროკომპონენტია CO, რომლის კონცენტრაცია $(0,06-0,2) \cdot 10^{-6} \%$ -ს შეადგენს (ცხრილი 3.1), რაც გაცილებით ნაკლებია მის ზღვ ($0,05 \text{ მგ/მ}^3$, ანუ $0,4 \cdot 10^{-3} \%$). ქიმიური ინერტულობის გამო CO, CO_2 -ისაგან განსხვავებით, ნახშირბადის გლობალურ მიმოქცევაში პრაქტიკულად არ მონაწილეობს.

CO ბუნებრივი და ანთროპოგენური წყაროების სიმძლავრე $3,8 \cdot 10^9$ და $5,0 \cdot 10^8$ ტონაა. ნახშირყანგით ატმოსფეროს დაბინძურების ძირითადი მიზეზი შიგანვის ძრავაზე მომუშავე ავტომანქანების გამოწვევითაა, რომლებიც საშუალოდ 6,3 % CO შეიცავენ (ცხრილი 2.4). ამით აიხსნება მისი მაღალი კონცენტრაციები ქალაქში და ავტოინსპექტორების სისხლში. სხვა წყაროებიდან აღსანიშნავია შავი მეტალურგია და საყოფაცხოვრებო ნარჩენების ნაშენი ჰირები.

3.5. ატმოსფეროს დაბინძურების გავლენა კლიმატზე სათბურის ეფექტი

3.5.1. სათბურის ეფექტი, მისი გამომწვევი მიზეზები. ატმოსფეროს ანთროპოგენური დაბინძურებით გამოწვეულ არასასურველ მოვლენებს შორის ყველაზე სერიოზულად და შემამფოთებლად კლი-

მატის შესაძლო შეცვლა ითვლება. კლიმატი – ატმოსფეროს სითბური ენერგიის ფუნქციაა, თუ შეიცვლება ენერგია, შეიცვლება კლიმატიც. თელიან, რომ ატმოსფეროში ინფრანითელი სხივებისათვის გაუმჭვირვალე CO_2 , CH_4 , NO_x და სხვა თერმოაქტიური აირების კონცენტრაციის გაზრდით ჰაერის საშუალო ტემპერატურა თანდათან გაიზრდება. ლიტერატურაში ეს მოვლენა „სათბურის ეფექტის“ სახელით არის ცნობილი. ვარაუდი, კლიმატის ფორმირებაზე ატმოსფერული CO_2 -ის შესაძლო გავლენის შესახებ, პირველად 1861 წ. გამოთქვა ჯონ ტინდალმა. ცხრაასიან წლებში ამ დარგში საინტერესო გამოკვლევები ჩაატარა სვანტე არენიუსმა.

რა კავშირია ატმოსფეროს ტემპერატურასა და მის ქიმიურ შედგენილობას შორის? ან რატომ დაერქვა ამ მოვლენას სათბურის ეფექტი?

დედამინა-ატმოსფეროს სისტემისათვის ენერგიის ერთადერთი რეალური წყარო არის მზე. დედამინაზე მოღწეული მზის ენერგიის ($5,7 \cdot 10^{24}$ ჯოული) 30 % ირეკლება, 19 % შთანთქმავს ატმოსფერო, ხოლო 51 % დედამინა. დედამინა, როგორც ყველა გამთბარი სხეული, ენერგიას ასხივებს სპექტრის ინფრანითელ უბანში, რომელსაც, მზის გამოსხივებისაგან განსხვავებით, ინტენსიურად შთანთქმევენ წყლის ორთქლი, CO_2 , CH_4 , NO_x და სხვა აირები. დედამინის ინფრანითელი გამოსხივების ენერგია $1,2 \cdot 10^{24}$ ჯოულს შეადგენს, რაც მის მიერ შთანთქმული ენერგიის 21 %-ია. ინფრანითელი გამოსხივების 29 % იფანტება კოსმოსში, 71 % კი შთანთქმდება თერმოაქტიური აირებით, რაც ტროპოსფეროს ტემპერატურის მთავარი მარეგულირებელი ფაქტორია. ამრიგად, თერმოაქტიური აირების როლი ატმოსფეროში სათბურის მინის სახურავის ანალოგიურია. კლიმატოლოგების ვარაუდით, სათბურის ეფექტი რომ არ ყოფილიყო, ჰაერის საშუალო ტემპერატურა დედამინაზე 33° -ით ნაკლები იქნებოდა. კავშირი ატმოსფეროში CO_2 -ის კონცენტრაციასა და ჰაერის ტემპერატურას შორის ნათლად ჩანს პალეოკლიმატური მონაცემების და გრენლანდია-ანტარქტიკის მყინვარების კერნების აირბუმტუკების ანალიზის შედეგების შეპირისპირებით. კიდევ ერთი მაგალითი: პლანეტა ვენერას ატმოსფერო პრაქტიკულად მთლიანად CO_2 -ისაგან შედგება, ამიტომ დღისით იქ ჰაერის ტემპერატურა 450°C აღწევს.

თავდაპირველად სათბურის ეფექტის რეალურ მიზეზად წყლის ორთქლი და CO_2 ითვლებოდა. მალე დადგინდა, რომ ატმოსფეროს თერმული რეჟიმის ფორმირებაში სხვა აირებიც მონაწილეობენ. მიუხედავად CO_2 -თან მათი შედარებით დაბალი კონცენტრაციისა, ინ-

ფრანთელი გამოსხივების უფრო ინტენსიური შთანთქმის გამო, მათი ჯამური წილი სათბურის ეფექტში მაღალია (ცხრილი 3.4). თუ გავითვალისწინებთ ატმოსფეროში მეთანის, ფრეონების და სხვა აირების კონცენტრაციის ზრდის ტემპს, უნდა ვივარაუდოთ, რომ მომავალში მათი როლი მნიშვნელოვნად გაიზრდება.

ცხრილი 3.4. აირების ფარდობითი წილი სათბურის ეფექტში

აირი	წლიური ნამატი, %	საერთო ბალანსში	ანთროპოგენური ნამატი
H ₂ O _{როტ}	-	62	2
CO ₂	0.3 – 0.4	21.8	50
NO _x	0.3	4.2	4
CH ₄	1.3 – 1,7	2.4	19
ფრეონები	4 – 10	2.1	17

რამდენად რეალურია მოსალოდნელი საფრთხე? სათბურის ეფექტის არაპირდაპირი მაჩვენებელია მთის მყინვარების ინტენსიური დნობა და უკანდახევა, არქტიკის ყინულოვანი საფარის ფენის სისქის შემცირება 40 %-ით, ოკეანის დონის აწევა 10-15 სმ და სხვა. კლიმატოლოგების და ოკეანოლოგების საიმედო მონაცემებით, ბოლო 100 წლის მანძილზე ჰაერის საშუალო გლობალურმა ტემპერატურამ 0,5-0,6°, ხოლო ოკეანის წყლის ზედა ფენის ტემპერატურამ 1982 წელთან შედარებით 0,1°-ით მოიმატა.

3.5.2. სათბურის ეფექტის მოსალოდნელი შედეგები, მათი აცილების გზები. კლიმატის შეცვლა მრავალ, რთულ გლობალურ პრობლემას შექმნის. გაიზრდება გვალვიანი დღეების რაოდენობა, გაძლიერდება უდაბნოს შემოტევა, გაიზრდება მტკნარი წყლების მინერალიზაცია, გაუარესდება მათი ხარისხი, შეიცვლება კლიმატური ზონები; არქტიკა-ანტარქტიდის მყინვარების ინტენსიური დნობისა და წყლის ტემპერატურული გაფართოების შედეგად ოკეანის დონე აინევს ჯერ 0,3-1,4, შემდეგ კი 10-12 მეტრით. თუ რა შედეგები მოჰყვება ამ ცვლილებას, შეიძლება შევაფასოთ პრობლემით, რომელიც შეიქმნა კასპიის ზღვის სანაპირო ზოლში წყლის დონის 20-30 სმ აწევის გამო. ეკოლოგიური თვალთახედვით, სერიოზულ პრობლემებს შექმნის სათბურის ეფექტის მეორადი შედეგები: ჰაერის ტემპერატურის გაზრდით გაიზრდება ჰაერის ტენიანობა, შემცირდება CO₂-ის ხსნა-

დობა ოკეანეში, გაიზრდება ნიადაგში CH_4 -ის გენერატორი ბაქტერიების აქტივობა და ა.შ. ამით ატმოსფეროში გაიზრდება თერმოაქტიური აირების კონცენტრაცია და კიდევ უფრო გაძლიერდება სათბურის ეფექტი.

როგორია პროგნოზი? სხვადასხვა სცენარით მოდელირების შედეგების მიხედვით უნდა ველოდოთ, რომ ყოველ 10 წელიწადში ჰაერის ტემპერატურა $0,1-0,5^\circ$ -ით მოიმატებს. CO_2 -ის კონცენტრაციის გაორმაგებით კი ჰაერის ტემპერატურა $1,5-3,6^\circ$ -ით გაიზრდება.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, პროგნოზი მოსალოდნელ რეალობასთან მიახლოების მცდელობაა და სუბიექტური თუ ობიექტური მიზეზების გამო საკმაოდ ცდომილება აქვს. მის უზუსტობაზე მიგვითითებს ის ფაქტი, რომ საუკუნის ბოლოს ჰაერის ტემპერატურა უნდა გაზრდილიყო $1-1,5^\circ$ -ით, რეალურად კი მოიმატა $0,5-0,6^\circ$ -ით. ცდომილების მიზეზი პრობლემის სირთულეა. ძნელია სრულყოფილად გავითვალისწინოთ კლიმატწარმოქმნელ ფაქტორებს შორის შესაძლო კავშირები. მაგალითად, ტემპერატურის ზრდა გამოიწვევს ღრუბლიანობისა და ატმოსფეროში მტვრის კონცენტრაციის ზრდას, რაც შეამცირებს მზის რადიაციას.

მიუხედავად ამ და სხვა მაგალითებისა, CO_2 -ის კონცენტრაცია ატმოსფეროში პერმანენტულად მატულობს. მოსალოდნელი კლიმატური ცვლილებები გარდუვალია, საკამათოა მხოლოდ მათი დაწყების დრო და განვითარების ტემპები. ამიტომ მოსალოდნელი გართულებების ასაცილებლად ბევრი რამ კეთდება.

ტროპოსფეროს ენერგეტიკულ ბალანსზე სათბურის ეფექტის გავლენის შემცირების მიზნით მოწოდებულ რეკომენდაციათა შორის ზოგიერთი გონიერების ზღვარს სცილდება. კერძოდ, მზის რადიაციის შემცირების მიზნით გეთავაზობენ კოსმოსში მზის გამოსხივების არეკვლის უნარის მქონე ფხვნილის გაფანტვას. ატმოსფეროში CO_2 -ის ემისიის შესამცირებლად რეკომენდებული იყო მისი გათხევადება და ჩატუმბვა ოკეანის სიღრმეში ($h > 3000$ მ), ან დედამიწის ღრმა პლასტებში, სადაც მაღალი წნევის გამო არ შეიცვლიდა აგრეგატულ მდგომარეობას, ან დაიხარჯებოდა კირქვის გახსნაზე. უფრო რეალური და პერსპექტიული ჩანს სხვა ვარიანტი: სათბობის დასაწვავად გამოიყენონ წყლის ელექტროლიზით მიღებული ჟანგბადი, ნამწვი აირების გაცივებისა და წყლის ორთქლის კონდენსაციის შემდეგ დარჩენილი CO_2 -ის უტილიზაცია კი შედარებით მარტივი იქნება.

პრობლემის გადაჭრის რეალური ღონისძიებები ითვალისწინებს თერმოაქტიური აირების, პირველ რიგში ანთროპოგენური CO₂-ის ემისიის შემცირებას და მისი ბალანსის დარეგულირების და სხვა მე-
თოდებს (იხ. 3.4.2). მათ შორის უმთავრესია თბოენერგეტიკის ალ-
ტერნატიული დარგების პრიორიტეტული განვითარება, ენერგოეკო-
ნომიური დარგების განვითარება, დედამიწის მწვანე საფარის შე-
ნარჩუნება და სხვა. ღონისძიებათა ეს ციკლი დადებითად იმოქმე-
დებს მეორე გლობალური პრობლემის – ატმოსფეროში ჟანგბადის
კონცენტრაციის სტაბილიზაციაზეც.

სათბურის ეფექტის გლობალური ხასიათი, მოსალოდნელი შედე-
გების სერიოზულობა და უკვე გატარებული თუ დაგეგმილი ღონის-
ძიებები, გვაიმედებს, რომ კაცობრიობა შეძლებს პრობლემის რაცი-
ონალურ გადაჭრას. ამით საფუძველი გამოეცლება პესიმისტურ გა-
ნაცხადს, რომ „კაცობრიობა ატარებს მსხვილმასშტაბიან და უმარ-
თავ ექსპერიმენტს...“.

როგორც აღნიშნული იყო, კლიმატის მოსალოდნელი შეცვლა
თანამედროვეობის რეალური და უმწვავესი პრობლემაა. ამის მაჩე-
ნებელია ნობელის კომიტეტის 2007 წლის გადაწყვეტილებაც. ნობე-
ლის პრემია, როგორც გამონაკლისი, მიენიჭა აშშ ყოფილ ვიცე-პრე-
ზიდენტს ალ. გორს და გაეროს ექსპერტთა ჯუფს გლობალური დათ-
ბობის მიზეზების, მოსალოდნელი შედეგების და მათი აცილების
სფეროში აქტიური საქმიანობისათვის.

3.6. გოგირდის ნაერთები ატმოსფეროში

3.6.1. გოგირდის დიოქსიდი ატმოსფეროში, მისი წყაროები და
დინამიკა. ეკოქიმიური თვალსაზრისით გოგირდშემცველი ნაერთე-
ბიდან განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს SO₂-ის განაწილება ატმოს-
ფეროში. SO₂ საკმაოდ ტოქსიკურია (ზღვ საცხოვრებელი ზონისათ-
ვის 0,05 მგ/მ³), ამასთან განაპირობებს მჟავა წვიმებისა და ბოლნის-
ლის ფორმირებას ატმოსფეროში.

SO₂-ის კონცენტრაცია ატმოსფეროში საკმაოდ ცვლადი სიდი-
დეა და უპირველეს ყოვლისა დამოკიდებულია რეგიონის ანთროპო-
გენურ დატვირთვაზე. გასული საუკუნის ბოლოს მსოფლიოს 175 პუნ-
ქტში ჩატარებული მრავალწლიანი დაკვირვების შედეგებით SO₂-ის
კონცენტრაცია ოკეანის, დასახლებული რაიონებისა და დიდი ქალა-

ქების ატმოსფეროში საშუალოდ $2 \pm 0,01$; 5 ± 2 და 20 ± 10 მკგ/მ³ იყო. თბოსადგურების მიმდებარე ტერიტორიების ატმოსფეროში SO₂-ის შემცველობა 20-30 მგ/ლ-მდეა გაზრდილი. ჯანდაცვის საერთაშორისო ორგანიზაციის მონაცემებით პლანეტის 900 მლნ-მდე მცხოვრები სუნთქავს ჰაერით, რომელშიც SO₂-ის კონცენტრაცია ზღვ-ზე მეტია. სხვა მონაცემებით გარემოში გაფანტული SO₂-ის წლიური „უღუფა“ ერთ სულ მოსახლეზე ყოფილ სსრკ-ში 18, ხოლო გერმანიაში 160 კგ იყო.

SO₂-ის ბუნებრივი წლიური ემისია $(1,4-1,9) \cdot 10^8$ ტ შეადგენს. მისი ძირითადი წყაროებია ვულკანები, ბიოქიმიური პროცესები, გოგირდის აღდგენილი ფორმების ოქსიდაცია და სხვა.

SO₂-ის ანთროპოგენური წყაროების წლიური სიმძლავრე $(1,5-2,0) \cdot 10^8$ ტ არის შეფასებული. მისი ძირითადი წყარო ქვანახშირზე მომუშავე თბოდანადგარებია. ქვანახშირში გოგირდის საშუალო შემცველობა ჩვეულებრივ 1,5-2,2 %-ია, ანომალურ შემთხვევებში კი 9-14 % აღწევს (საქართველოს ნახშირებში 0,7-1,6 % S-ია). ქვანახშირის გაუგოგირდოება ტექნიკურად რთული და ძვირად ღირებული სამუშაოა. ქვანახშირის წვის დროს საერთო გოგირდის 95 % $(0,8 \cdot 10^8$ ტ SO₂) ატმოსფეროში ხვდება 96 % SO₂-ის, 4 % კი SO₃-ის სახით. ეკოექსპერტების გათვლებით ენერგეტიკაზე მოდის ანთროპოგენური SO₂-ის 53-59 %. ნავთობპროდუქტების წილი ატმოსფეროს დაბინძურებაში, მყარ სათბობთან შედარებით, ათჯერ ნაკლებია მათში გოგირდის დაბალი (0,1-0,3 %) შემცველობის გამო. კიდევ უფრო დაბალია გოგირდის წილი გასუფთავებულ ბუნებრივ აირში (0,05 %). სხვა ტექნოგენური წყაროებიდან აღსანიშნავია შავი და ფერადი მეტალურგია, რომლებზეც მოდის ტექნოგენური SO₂-ის 10-20 %.

თბოენერგეტიკის, მეტალურგიის, ტრანსპორტისა და სხვა დარგების ინტენსიური განვითარება განაპირობებს ატმოსფეროში ანთროპოგენური SO₂-ის დინამიკას. 1860, 1940 და 1980 წწ. ტექნოგენური SO₂-ის წლიური სიმძლავრე 4, 40 და 110 მლნ ტ შეადგენდა. 2000 წლისათვის ეს სიდიდე 170-180 მლნ ტ არის შეფასებული. შედარებისათვის აღვნიშნავთ, რომ ამ პერიოდში H₂SO₄-ის წარმოება 130 მლნ ტ შეადგენდა, რისთვისაც 55-60 მლნ ტ SO₂-ია საჭირო.

გასული საუკუნის 80-იანი წლებიდან ატმოსფეროში SO₂-ის დინამიკაში შეიმჩნევა სასიკეთო ეკოლოგიური ძვრები (ცხრილი 3.5).

განვითარებულ ქვეყნებში მისი ემისია 65-დან 40 მლნ ტონამდე შემცირდა (აშშ 27, საფრანგეთში 27, კანადაში 41, ინგლისში 66 %-ით). ჩრდილოეთ ამერიკაში ატმოსფეროში SO_2 -ის ემისიამ მაქსიმუმს (5,6 მლნ ტ) 1970 წ. მიაღწია. 1994 წ. კი 2,3 მლნ ტონამდე შემცირდა. გარემოს გაჯანსაღების მიზეზი ახალი, სუფთა და ენერგოეკონომიური ტექნოლოგიების დანერგვაა. გარდა ამისა, ამოქმედდა მეორე ფაქტორიც – მანვე წარმოებების გატანა განვითარებად ქვეყნებში, სადაც ამ და სხვა მიზეზების გამო ტექნოგენური SO_2 -ის ემისია 1970-1990 წწ. 48-დან 60 მლნ ტ-მდე გაიზარდა.

ცხრილი 3.5. SO_2 -ის წლიური ემისიის დინამიკა ევროპაში 1890-2000 წლებში (მლნ/ტ)

წელი	SO_2	წელი	SO_2	წელი	SO_2	წელი	SO_2
1890	6	1950	20	1980	59	2000	26
1910	10.5	1970	55	1990	42	2010*	18
1930	13	1975	58	1995	31		

* – პროგნოზი

3.6.2. გოგირდის სხვა ნაერთები ატმოსფეროში. გოგირდის სხვა ნაერთები (გოგირდწყალბადი, დიმეთილსულფიდი, ნახშირბადის სულფოქსიდი და სხვა) ატმოსფეროში კვალის სახით გვხვდება და ეკოლოგიურ საფრთხეს არ ქმნიან. H_2S -ის შემცველობა ატმოსფეროში მხოლოდ 0,2+0,1 მკგ/მ³-ია (ზდკ 0,1 მკგ/მ³). ბაქტერიოლოგიური პროცესების შედეგად ოკეანეში 16-21, ხოლო ხმელეთზე 17 მლნ ტ H_2S წარმოიქმნება. მის ბალანსში შედარებით ნაკლებია ვულკანური აირების წილი. ანთროპოგენური წყაროების (ქალაქებისა და კოქსოქიმიური წარმოება, მეტალურგია) ჯამური სიმძლავრე 2 მლნ ტ არ აღემატება.

3.7. აზოტის ოქსიდები ატმოსფეროში

აზოტის ოქსიდები (N_2O , NO , NO_2) ეკოაქტიური ნივთიერებებია. ისინი საფრთხეს უქმნიან ოზონოსფეროს, აქტიურად მონაწილეობენ

ბოლნისლისა და მჭავა წვიმების ფორმირებაში, აძლიერებენ სათბურის ეფექტს.

აზოტის ოქსიდების კონცენტრაცია ატმოსფეროში დაბალია ($\text{N}_2\text{O} - 0,3 \cdot 10^{-4}$, $\text{NO} - (0,2-2) \cdot 10^{-7}$, $\text{NO}_2 - (0,4-4) \cdot 10^{-7}$ %). მცირეა ატმოსფეროში მათი სიცოცხლის ხანგრძლივობაც (1-2 კვირა), რაც ფოტოქიმიურ პროცესებში მათი აქტიური მონაწილეობით და ატმოსფერული ნალექებით ინტენსიური გამორეცხვით აიხსნება. ატმოსფეროში აზოტის ოქსიდების კონცენტრაციის ყოველწლიური ნამატი 0,2-0,3 %-ია. სხვა მონაცემებით ეს სიდიდე 1 %-ზე მეტია.

მცირე რაოდენობით NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$) ტროპოსფეროში შეიძლება მოხედეს მეზოსფეროდან, სადაც წარმოიქმნება ულტრაიისფერი სხივებით ინიცირებული რეაქციების შედეგად (3.3). ატმოსფერული NO_x -ის ერთ-ერთი წყაროა ელექტრული განმუხტვები. NO -ს სინთეზი ენდოთერმული პროცესია (წარმოქმნის სითბო 3253 კ/ჯოული მოლზე), ამასთან, რეაქციის გამოსავლიანობა ოპტიმალურ პირობებშიც კი 2 %-ზე ნაკლებია. ელვის საშუალო სიგრძე და დიამეტრი 2-3 კმ და 16 სმ, ენერგია კი 10^9 ჯოულია. ერთეული განმუხტვის დროს წარმოქმნილი რაოდენობა, რომელიც ელვის მოცულობიდან ან ენერგიიდან შეიძლება გავთვალთ, 1-7 კგ შეადგენს. ატმოსფეროში ელექტროგანმუხტვების წლიური რაოდენობა $3,15 \cdot 10^9$ ტოლია, აქედან მათ მიერ გენერირებული NO -ს რაოდენობა $(3-10) \cdot 10^6$ ტ უნდა იყოს. რეალურად ეს სიდიდე ნაკლები იქნება, რადგან ატმოსფეროში სინთეზის პირობები შორსაა ოპტიმალურისაგან.

NO_x -ის სხვა ბუნებრივი წყაროებიდან აღსანიშნავია ნიადაგებში მიმდინარე ნიტროფიკაციის პროცესები. ვარაუდობენ, რომ ამ გზით ატმოსფეროში წლიურად $(2-3) \cdot 10^7$ ტ ოქსიდები ხედება.

ანთროპოგენური აზოტის ოქსიდების წილი მათ საერთო ემისიაში 10-25 %-ია. ტექნოგენური NO_x -ის 44 % მოდის ავტოტრანსპორტზე, 34 % კი თბოელექტროსადგურებზე. ქვანახშირის წვისას წარმოქმნილი NO -ს წლიური გლობალური რაოდენობა $(4,7-6,5) \cdot 10^7$ ტონით არის შეფასებული. სხვა წყაროებიდან აღსანიშნავია აზოტმემცველი სასუქების ტრანსფორმაციის პროდუქტები და რეაქტიული ავიაციის გამონაბოლქვი აირები.

გარდა ოქსიდებისა, აზოტის ნაერთებიდან, ატმოსფეროში მცირე რაოდენობით ($< 10^{-4}$ %) გვხვდება ამიაკი. მისი ბუნებრივი წყარო-

ებია ბიოქიმიური პროცესები, მეცხოველეობის ფერმების ნარჩენები, კომუნალური ჩამდინარე წყლები, ნაგავსაყრელები და სხვა. რაიმე სერიოზულ ეკოლოგიურ საფრთხეს NH_3 დღეისათვის არ ქმნის.

3.8. მეთანი და სხვა ორგანული ნაერთები ატმოსფეროში

ორგანული სამყაროს და ბიოქიმიური პროცესების ნაირფეროვნება განაპირობებს ორგანული ნივთიერებების რთულ სპექტრს ატმოსფეროში. ანალიზის თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით ატმოსფეროში რამდენიმე ასეული ორგანული ნაერთია იდენტიფიცირებული და განსაზღვრული. მათი ფონური კონცენტრაცია ჩვეულებრივ რამდენიმე ნგ/მ^3 -დან ასობით მკგ/მ^3 ფარგლებში მერყეობს. ორგანული ნივთიერებების ეკოლოგიური ზემოქმედების სფეროში შედის სათბურის ეფექტი და ოზონოსფეროს დეგრადაცია (მეთანი, ფრეონები), ბოლნისლის ნარმოქმნა (ალდეჰიდები, ტერპენები), კანცეროგენული და სხვა დაავადებების ინიცირება (პოლიბირთვული არომატული ნახშირწყალბადები) და ა.შ. ამიტომ ეკოლოგიური ვითარების შეფასებისა და პროგნოზირებისათვის აუცილებელია ატმოსფეროში ორგანული ნაერთების განაწილების საფუძვლიანი ცოდნა.

მეთანი — უმარტივესი ორგანული ნაერთი, ატმოსფეროს მუდმივი კომპონენტია. მისი საშუალო კონცენტრაცია ტროპოსფეროში $(1,6-1,7) \cdot 10^{-4} \%$, ხოლო საერთო რაოდენობა $4,8 \cdot 10^9$ ტ შეადგენს. დიდი ქალაქების თავზე მეთანის შემცველობა შედარებით გაზრდილია და $2,6 \cdot 10^{-4} \%$ აღწევს. ანტარქტიდის ყინულების აირბუშტუკების ანალიზით დადგენილია, რომ 1000-2000 წლის წინ ატმოსფეროში $(0,68 \pm 0,12) \cdot 10^{-4} \%$ მეთანი იყო.

მეთანი თერმოაქტიური აირია. მისი წილი სათბურის საერთო ეფექტში 2,4, ხოლო ანთროპოგენურ ნამატში 19 %-ია. სტრატოსფეროში მეთანის ფოტოქიმიური ტრანსფორმაციის საბოლოო პროდუქტები ფორმალდეჰიდი და ნახშირბადის ოქსიდია (ფოტოქიმიური CO-ს წლიური რაოდენობა $(2-3) \cdot 10^8$ ტ).

მეთანის ძირითადი ნაკადი ატმოსფეროში ბიოპოლიმერების (ცელულოზა) ანაერობული ბაქტერიებით დაშლის შედეგად ხვდება. წლიურად 1 მ^2 ფართობიდან გამოყოფილი CH_4 რაოდენობა გ-ით შე-

ადგენს: ზღვები, ოკეანე 5-10; მინდორი, საენა 6,7-9,7; ტყე 10,4-23,4 ჭაობი 79-260; ბრინჯის ყანა 55-280. შედარებით სუსტია CH_4 გეოგენური წყაროები (ვულკანები, ტალახიანი ვულკანები).

ამჟამად CH_4 კონცენტრაციის წლიური ნამატი ტროპოსფეროში 1,7 %-ია, რაც მისი ანთროპოგენური წყაროების სიმძლავრეზე მიუთითებს. ბუნებრივი აირის მოპოვება-გადამუშავების პროცესში $2 \cdot 10^7$ ტ CH_4 იკარგება. დაახლოებით ამდენივე აირი იფრქვევა ატმოსფეროში ქვანახშირის მალაროების სავენტილაციო სისტემებიდან. ნაწილობრივ ანთროპოგენური ფაქტორები განაპირობებენ მეთანის ბუნებრივი წყაროების თანდათანობით გაძლიერებას (ბრინჯის ნათესების და სარწყავი ფართობების ზრდა). მეთანის სხვა წყაროებიდან აღსანიშნავია კომუნალური მეურნეობები, ნაგავსაყრელები, მეცხოველეობა-მეფრინველეობის ფერმები და სხვა.

ატმოსფეროში ორგანული ნივთიერებების ძირითადი წყარო მცენარეული საფარია. ხმელეთზე წლიურად წარმოქმნილი ბიომასა საშუალოდ 950 ტ/კმ². მათ პროდუცირებაში მნიშვნელოვანია ნიადაგის მიკროფლორის როლი, რომლის მასა საშუალოდ 20 ტ/ჰა. წარმოქმნილი ბიომასის ნაწილი აქროლადობის გამო ხვდება ატმოსფეროში. დაგენილია, რომ 1 ჰა წიწვიანი ტყე ზომიერ სარტყელში დღელამეში 2-4 კგ, მთელი ვეგეტაციის პერიოდში კი 200-400 კგ ორგანულ ნაერთს გამოყოფს. მცენარეული წარმოშობის ორგანული ნივთიერებების საერთო წლიური ემისია $1,6 \cdot 10^9$ ტ შეადგენს. აქედან ტერპენებზე მოდის $5,5 \cdot 10^8$ ტ, იზოპრენზე $4 \cdot 10^8$ ტ. მათი საშუალო კონცენტრაცია ჰაერში 20-30 მკგ/მ³-ია.

ორგანული ნივთიერებების მძლავრი წყაროა ტყის ხანძრებიც. ხანძრის დროს მერქნის მხოლოდ 20 % ასწრებს დანვას. დარჩენილი ორგანული ნივთიერებები ან ქროლდება, ან აეროზოლების სახით იფანტება.

მეოცე საუკუნეში ორგანული ნივთიერებების უმძლავრესი წყარო გახდა ავტოტრანსპორტი, რომელზეც ანთროპოგენური ორგანული ნივთიერებების ემისიის 44-63 % მოდის. ბენზინის ძრავიანი მანქანების გამონაბოლქვ აირებში ასობით ნახშირწყალბადი, ჰალოგენნაწარმი, ალდეჰიდი, ნიტრონაერთი და სხვა ნივთიერებაა აღმოჩენილი. მათი ჯამური კონცენტრაცია 0,2-0,3 %. ეკოლოგიური თვალსაზრისით ამ შემთხვევაშიც უდავო უპირატესობა დიზელის ძრავიან სატრანსპორტო საშუალებებს აქვთ. მიახლოებითი

გათვლებით ავტოგასამართ სადგურებში და მანქანების ექსპლოატაციის დროს წლიურად 1,4-1,6 მლნ ტ საწვავი ორთქლდება. ნახშირწყალბადების მძლავრი წყაროა აგრეთვე სტაციონარული ენერგეტიკული დანადგარები. 1 ტ ნავთობპროდუქტების და ქვანახშირის დანვისას საშუალოდ 0,25 და 0,16 კგ ნახშირწყალბადი ქროლდება. საერთოდ ატმოსფეროში მოხვედრილი ნახშირწყალბადების 20-25 % ანთროპოგენურია.

ორგანული ნივთიერებებით გარემოს დაბინძურების სხვა წყაროებიდან აღსანიშნავია ნავთობქიმიური, კოქსოქიმიური, კაუჩუკის და პლასტმასების წარმოებები. ტექნოლოგიურად გამართულ სანარმოებშიც კი 1 ტ სინთეზური კაუჩუკის წარმოებისას გარემოში 30-35 კგ ბუტადიენი, სტიროლი და ორგანული გამხსნელები იფანტება. მრეწველობაში და ყოფა-ცხოვრებაში გამოყენებულ გამხსნელებზე მოდის ანთროპოგენური ორგანული ნივთიერებების ემისიის 15-20 %.

ატმოსფეროში დაფიქსირებული ორგანული ნივთიერებებიდან განსაკუთრებით საშიშია კანცეროგენული ნივთიერებები. ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 20-იან წლებში ყურადღება მიიქცია ავთი-სებიან დაავადებათა გაზრდილმა სიხშირემ ქვანახშირის კუპრთან მომუშავეთა შორის. მოგვიანებით კუპრიდან გამოყოფილი იყო უძლიერესი კანცეროგენი 3,4-ბენზპირენი. მის ზეტოქსიკურობაზე მიუთითებს საცხოვრებელი ზონის ჰაერისათვის დადგენილი ზღკ – 1 ნგ/მ³. დღეისათვის ეს ნორმატივი მხოლოდ დაუსახლებელ და სოფლის რეგიონებშია დაცული. ქალაქების ატმოსფეროში 3,4-ბენზპირენის კონცენტრაცია ჩვეულებრივ ათჯერ მეტია ზღკ-ზე. 3,4-ბენზპირენის მაღალი შემცველობით გამოირჩევიან კოქსის აირები (190-670 მკგ/მ³) და ნახშირწყალბადების პიროლიზის პროდუქტები (10-20 მკგ/მ³). მისი მძლავრი გენერატორია ასფალტბეტონის და ნავთობგადამამუშავებელი, აგრეთვე თბოელექტროსადგურები. 3,4-ბენზპირენის მნიშვნელოვანი რაოდენობა ატმოსფეროში ხვდება აეროზოლების სახითაც.

3.9. აეროზოლები ატმოსფეროში

ატმოსფერო რთული შედგენილობის პეტეროგენული სისტემაა. ჰაერში დისპერგირებულია მყარი და თხევადი ნივთიერებების მიკ-

რონანილაკები ($r 10^{-7} - 10^{-3}$ სმ). აირებთან შედარებით, იშვიათი გამონაკლისით, აეროზოლების კონცენტრაცია დაბალია, თუმცა მათი როლი მეტეოროლოგიურ, გეოქიმიურ, ეკოლოგიურ და სხვა პროცესებში მეტად მნიშვნელოვანია. აეროზოლები ატმოსფერული ნალექების ფორმირების აუცილებელი წინაპირობაა, ისინი გავლენას ახდენენ მზის რადიაციაზე, არიან ალერგიისა და მთელი რიგი დაავადებების (სილიკოზი, აზბესტოზი და სხვა) გამომწვევი მიზეზი. განსაკუთრებულ საშიშროებას წარმოადგენენ რადიოაქტიური აეროზოლები.

აეროზოლების წყარო შეიძლება იყოს ხმელეთი (ტერიგენული აეროზოლები), ვულკანები, ზღვები და ოკეანე, ტყის ხანძრები, მცენარეები, ადამიანის პრაქტიკული საქმიანობა, ფოტოქიმიური რეაქციები და სხვა. ზოგიერთი მათგანის სიმძლავრე შეიძლება შევაფასოთ 3.6 ცხრილში მოტანილი მონაცემებით. ბუნებრივი აეროზოლების საერთო წლიური სიმძლავრე $5 \cdot 10^9$ ტონით არის შეფასებული.

ცხრილი 3.6. აეროზოლების ბუნებრივი წყაროების სიმძლავრე (მლნ ტ/წელი)

წყარო	სიმძლავრე	წყარო	სიმძლავრე
ხმელეთი	500 – 700	ტყის ხანძრები	35 – 150
ზღვა, ოკეანე	300 – 1500	მეტეორიტები	1 – 3.4
ვულკანები	50	მცენარეები	75 – 100

ტერიგენული აეროზოლების წყარო ნიადაგისა და ქანების ეროზიის პროდუქტებია, რომლებიც ჰაერის ნაკადებით ხვდება ატმოსფეროში და ხელსაყრელ პირობებში მიგრირდება ასეულ და ათასეულ კმ-ზე (1.4). ტერიგენული აეროზოლების ნაკადის სიმძლავრე იზრდება გაზაფხულზე სასოფლო-სამეურნეო სამუშაოების ინტენსიფიცირების გამო. ატმოსფეროში აეროზოლების დიდი რაოდენობა ხვდება ვულკანების აქტიური მოქმედების პერიოდში. კრაკატაუს კატასტროფის შედეგად ჰაერში გაიფანტა $5 \cdot 10^{10}$ ტ ტერიგენული მასალა. 1956 წ. კამჩატკაზე ბეზიმიანის ვულკანის კრატერის აფეთქებამ 40 კმ სიმაღლეზე 2 კმ³ ქანები გაფანტა.

აეროზოლების მძლავრი წყაროა ზღვები და ოკეანე. ლელვა-ზვირთცემის დროს, აგრეთვე წყლის სიღრმეში წარმოქმნილი აირ-ბუშტუკების ზედაპირზე ამოსვლა-გასკდომის შედეგად, ატმოსფეროში ჯერ მიკროწვეთების, შემდეგ კი მყარი ნაწილაკების დიდი რაოდენობა ხვდება. ამ გზით მსოფლიო ოკეანიდან ყოველწლიურად $(12,5-27,2) \cdot 10^9$ ტ მარილები გადის.

აეროზოლების ცალკე სახეობაა აეროპლანქტონი – ბიოგენური აეროზოლები. აეროპლანქტონის შემადგენლობაში შედიან ბაქტერიები, ვირუსები, სპორები და სხვა. მცენარეული აეროზოლების (ყვავილის მტვერი და სხვა) სიუხვე თბილისის მცხოვრებთათვის კარგად არის ცნობილი. მიუხედავად იმისა, რომ ატმოსფეროში მიკროორგანიზმებისათვის არსებობის პირობები არ არის ხელსაყრელი (გაუწყ-ლოება, ულტრაიისფერი გამოსხივება), აეროპლანქტონი ინფექციური და ალერგიული დაავადებების პოტენციური წყარო და დისკომფორტის მიზეზია.

ანთროპოგენური აეროზოლების საერთო რაოდენობის 35 % მოდის ცემენტის, გაჯის, ლორღის და სხვა საამშენებლო მასალების წარმოებაზე (მარტო ცემენტის მსოფლიო წლიური წარმოება 2 მლრდ ტ შეადგენს), 30 % – თბოსადგურებზე, 16 % ავტოტრანსპორტზე, 14 % მეტალურგიაზე. სხვა წყაროებიდან აღსანიშნავია სამთომომპოვებელი საწარმოები, სოფლის მეურნეობის ქიმიზაცია, სეტყვის საწინააღმდეგო სამუშაოები, საომარი მოქმედებები. ცნობილი ქართველი მეტეოროლოგის – თ. დავითაიას მიერ დადგენილი იყო, რომ კავკასიონის მყინვარების იმ ფენებში, რომლებიც 1942-1943 წწ. ჩამოყალიბდა, მკვეთრად იყო გაზრდილი ეოლური მტვრის რაოდენობა.

ათეული და ასეული მლნ ტ აეროზოლების წარმოქმნა ხდება ატმოსფეროში ქიმიური პროცესების შედეგად (SO_2 , NH_3 და NO_x -ის ჰიდრატაცია, H_2S -ის დაჟანგვა სულფატამდე). ვარაუდობენ, რომ მარტო ქემოგენური H_2SO_4 -ის წლიური რაოდენობა $(1,3-2,0) \cdot 10^8$ ტონას შეადგენს. ამით აიხსნება H_2SO_4 -ის მაღალი შემცველობა დიდი ქალაქების ჰაერში (ჩვეულებრივ 10-20, ნისლიან დღეებში 500-700 მკგ/მ³).

ზომების მიხედვით აეროზოლები იყოფა აიტკენის ბირთვებად ($r < 10^{-5}$ სმ), დიდ და გიგანტურ ნაწილაკებად (r შესაბამისად $10^{-5}-10^{-4}$ და $> 10^{-4}$ სმ). აეროზოლების სედიმენტაციის სიჩქარე განისაზღვრება სტოქსის კანონით. სედიმენტირებული აეროზოლების რაოდენობა

ატმოსფეროს სისუფთავის მაჩვენებელია. ჩრდილოეთის არასამრეწველო ქალაქებში (კაუნასი, რიგა) ეს სიდიდე წლიურად 90-300 ტ/კმ², სამრეწველო ცენტრებში (ხარკოვი, დნეპროპეტროვსკი) კი - 600-1500 ტ/კმ²-ს აღწევს.

აიტკენის ბირთვები ჩვეულებრივ წარმოდგენილია ზღვის მარილების ან ქემოგენური სულფატური, ნიტრატული და სხვა ბუნების ნაწილაკებით. ისინი აინიცირებენ ორთქლის კონდენსაციას ატმოსფეროში და ატმოსფერული ნალექების წარმოქმნას, ამიტომ ლიტერატურაში ცნობილი არიან კონდენსაციის ბირთვების სახელით. ჰაერში მათ განაწილებაზე წარმოდგენას გვაძლევს 3.7 ცხრილში მოტანილი მონაცემები.

ცხრილი 3.7. კონდენსაციის ბირთვების საშუალო რაოდენობა 1 მ³ ჰაერში

ადგილი	რაოდენობა	ადგილი	რაოდენობა
გამოქვაბული	250	სოფელი	9500
ოკეანე	940	ქალაქი	35000
მთები > 2 კმ	1000	დიდი ქალაქი	150000

აეროზოლების კონცენტრაცია დამოკიდებულია წყაროების სიმძლავრეზე, გეოგრაფიულ და მეტეოროლოგიურ ფაქტორებზე. ჰაერში აეროზოლების კონცენტრაცია პირდაპირკავშირშია მშრალი პერიოდის ხანგრძლივობასთან, ჰაერის ტემპერატურასთან და ქარის სიჩქარესთან. ტენიანობის გაზრდით, ატმოსფერული ნალექებისა და თოვლის საფარის წარმოქმნის შედეგად აეროზოლების ემისია და, შესაბამისად, მათი კონცენტრაცია ატმოსფეროში მკვეთრად მცირდება.

აეროზოლების ქიმიურ შედგენილობას განსაზღვრავს მათი წყაროების ბუნება. შავი ზღვისპირა რაიონებში მათ შედგენილობაში ჭარბობს Cl^- და Na^+ . ზღვიდან დაშორებით აეროზოლებში კანონზომიერად მცირდება Cl^- და იზრდება ტერიგენული იონების (HCO_3^- და Ca^{2+}) წილი. აღმოსავლეთ საქართველოში, სადაც გავრცელებულია გაჯიანი ნიადაგები, გაზრდილია SO_4^{2-} და Ca^{2+} შემცველობა. ამ კავშირზეა დაფუძნებული სასარგებლო ნიაღისეულის ძიების ერთ-ერთი მეთოდი.

3.10. ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შედგენილობა

3.10.1. ატმოსფერული ნალექების ფორმირება. ატმოსფერული ნალექები ატმოსფეროსა და ჰიდროსფეროს დამაკავშირებელი რგოლი და გარემოს უმნიშვნელოვანესი ობიექტია. მიუხედავად დაბალი მინერალიზაციისა, მათი როლი ნივთიერების გლობალურ მიგრაციაში, ატმოსფეროს თვითგანმენდის პროცესში, ზედაპირული წყლებისა და ნიადაგების ქიმიური შედგენილობის ფორმირებაში მეტად მნიშვნელოვანია. ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შედგენილობა რეგიონის ეკოლოგიური ვითარების ერთ-ერთი ობიექტური მახასიათებელია. ამ და სხვა მიზეზების გამო ნალექების ქიმიური ბუნების კვლევა XVIII საუკუნის ბოლოდან დაიწყო (ლაუჟაზიე, გლაუბერი). ამ დარგში საინტერესო გამოკვლევები აქვს ჩატარებული ა. კლდიაშვილს.

ნალექების ფორმირების გამარტივებული სქემიდან (აორთქლება-კონდენსაცია – ჩამოდინება) გამომდინარე, მათი მინერალიზაცია დაბალი, გამოხდილი წყლის მსგავსი უნდა იყოს. რეალურად მათი მინერალიზაცია 10-20 და მეტ მგ/ლ აღწევს. მათი ქიმიური შედგენილობის ფორმირება ხმელეთიდან თუ ოკეანიდან წყლის აორთქლებისთანავე იწყება. ცნობილია, რომ ოკეანის ანაორთქლი 5 მგ/ლ-დე ნარტაცებულ მარილებს შეიცავს. გახსნილი ნივთიერებების წყაროა კონდენსაციის ბირთვები და ატმოსფეროს აიროვანი და მყარი მინარევები, რომლებიც ირეცხებიან ნალექებით. გათვლილია, რომ 1 ლ საშუალო სიძლიერის წვიმა 3 მლნ ლიტრამდე ჰაერს რეცხავს. ამიტომ ამბობენ, რომ „ატმოსფერული ნალექები ატმოსფეროს ქიმიური შედგენილობის სარკეა“. კონდენსაციის ბირთვების გავლენა ნალექების ქიმიურ შედგენილობაზე განპირობებულია მათი ჰიგროსკოპულობით, ხსნადობით და დიდი ხვედრითი ზედაპირით ($\pi 100 \text{ მ}^2/\text{გ}$).

ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შედგენილობა არაერთგვაროვანია, რადგან მრავალი ფაქტორის ფუნქციაა. მიუხედავად ამისა, ზოგიერთი გამონაკლისით, ისინი მიეკუთვნებიან სუსტ მჟავა ხსნარებს (pH 5-6), რომლებშიც წამყვანი იონების როლში გამოდიან HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} და Na^+ .

მიუხედავად დაბალი მინერალიზაციისა, ატმოსფერული წყლების ქიმიური შედგენილობა რთულია. მთავარ იონებთან ერთად წარ-

მოდგენილია ბიოგენური ნივთიერებები (K^+ , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-}), ორგანული შენაერთები (სპირტები, ალდეჰიდები, კარბონმჟავები და სხვა), მიკროელემენტები (Cu, Zn, Pb, As, Ni და სხვა). ატმოსფერული ნალექების ერთ-ერთი თავისებურებაა მიკროელემენტების შედარებით მაღალი აბსოლუტური და, განსაკუთრებით კი, ფარდობითი შემცველობა (% მინერალიზაციიდან).

ატმოსფერული ნალექების წლიური ჩამონადენით და მინერალიზაციით შესაძლებელია მათ მიერ მოტანილი მინერალური ნივთიერებების რაოდენობის გათვლა, რომელიც ორი უკუპროპორციული მახასიათებლების (მინერალიზაცია და ნალექების რაოდენობა) ნამრავლია და უფრო სტაბილურია, ვიდრე Σi . საქართველოს და ბევრი სხვა რეგიონისათვის ეს სიდიდე საშუალოდ 15-20 ტ/კმ² შეადგენს, რაც იმავე ტერიტორიიდან მდინარეების მიერ გატანილი მარილების 30-50%-ია.

3.10.2. გეოგრაფიული და მეტეოროლოგიური ფაქტორების გავლენა ნალექების ქიმიურ შედგენილობაზე. ზემოთ აღნიშნული იყო, რომ ატმოსფერო დინამიკური სისტემაა, რაც აისახება ნალექების ქიმიურ ბუნებაზე. ჰიდროსფეროს სხვა ობიექტებთან შედარებით ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შედგენილობა დროსა და სივრცეში ყველაზე ცვლადია.

ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შედგენილობის ვარიაციურობას სივრცეში განსაზღვრავს გეოგრაფიული ფაქტორები (რეგიონის ტექნო-ურბანიზაციის ხარისხი, ოროგრაფია, აბსოლუტური სიმაღლე, ზღვის სიახლოვე, ნიადაგის სახეობა და მცენარეული საფარი). ცხადია, რაც უფრო მძლავრია აეროზოლებისა და აქროლადი ნივთიერებების ბუნებრივი და ანთროპოგენური წყაროები, მით უფრო მაღალი იქნება ნალექების მინერალიზაცია.

მინარევების ტრანსპორტირება, მდგრადობა, კონცენტრაცია და გამორეცხვის სისრულე დამოკიდებულია მეტეოროლოგიურ ფაქტორებზე. ისინი განსაზღვრავენ ნალექების ქიმიურ შედგენილობას და განაპირობებენ მის ცვალებადობას დროში. დროში შესაძლებელია შეიცვალოს გეოგრაფიული ფაქტორების გავლენაც, მაგრამ ამისათვის, როგორც წესი, ათობით და მეტი წელია საჭირო.

საქართველოს ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შედგენილობის სტატისტიკური ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მათი მინერალიზაცია

პირდაპირ, მჭიდრო კავშირშია ქარის სიჩქარესთან და ჰაერის ტემპერატურასთან ($r > 0,80$). ჰაერის ტენიანობის, ჩამოდენილი ნალექების რაოდენობისა და ინტენსივობის გაზრდით მათი მინერალიზაცია კლებულობს ($r 0,70-0,85$).

გეოგრაფიული და მეტეოროლოგიური ფაქტორების გავლენა ატმოსფერული აეროზოლებისა და ნალექების ქიმიურ შედგენილობაზე მჭიდრო ურთიერთკავშირშია. მაგალითად, ნიადაგის, როგორც ტერიგენული აეროზოლების წყაროს სიმძლავრე დამოკიდებულია მის ტენიანობაზე და თოვლის საფარის არსებობაზე. ნერტილოვანი ანთროპოგენური წყაროებით (ქარხანა, საქვებე, კარიერი და სხვა) ატმოსფეროს დაბინძურება განისაზღვრება ქარის მიმართულებით. აბსოლუტური სიმაღლე კლიმატის, კლიმატი კი ნიადაგის ბუნების განმსაზღვრელია და ა.შ. ფაქტორთა სიმრავლისა და ურთიერთკავშირის გამო ცალკეული მათგანის როლის შეფასება ნალექების ქიმიური შედგენილობის ფორმირებაში რთულია. ამ თვალსაზრისით გამონაკლისია ოკეანე, სადაც ფონის ერთგვაროვნების გამო გეოგრაფიული ფაქტორების გავლენა პრაქტიკულად გამორიცხულია. ამით აიხსნება ფაქტობრივად ფუნქციური კავშირი ($r 0,99-1,00$) ქარის სიჩქარეს და ზოგიერთ სხვა ჰიდრომეტეოროლოგიურ პარამეტრსა და ნალექების ჰიდროქიმიურ მახასიათებლებს შორის (Cl^- , Na^+ , Si).

3.10.3. საქართველოს ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შედგენილობა. საქართველოს ატმოსფერული ნალექების საშუალო მინერალიზაცია, 1500-ზე მეტი სინჯის ანალიზით, 14,4 მგ/ლ შეადგენს (ცხრილი 3.8). სინჯების 80 %-ში Si ნაკლებია 20 მგ/ლს, ხოლო 1,2 %-ში აღემატება 50 მგ/ლს. დაბალი მინერალიზაციით ხასიათდებიან შავი ზღვისპირა, მთისწინა და მაღალმთიანი რეგიონები ($h > 25$ კმ).

მინერალიზაციის მინიმალური აბსოლუტური და საშუალო წლიური მნიშვნელობა (1,1 და 6,6 მგ/ლ) დაფიქსირებული იყო დაბა აბასთუმანში. მოგვიანებით ატმოსფეროს გამორჩეული სისუფთავის გამო აბასთუმანი შეირჩა ერთ-ერთ ფონურ სადგურად სსრკ – აშშ ერთობლივი გამოკვლევების ჩასატარებლად.

როგორც მოსალოდნელი იყო, ნალექების მინერალიზაცია მაქსიმალურია ინდუსტრიულ ცენტრებში (თბილისი, რუსთავი) და მტკვრიანი ქარიშხლის შემდეგ მოსულ „ტალახიან“ წვიმებში. აღსანიშნავია, რომ

თბილისის გაზიფიკაციის შემდეგ ნალექების pH 0,15-0,20 ერთეულით გაიზარდა, ხოლო SO_4^{2-} -ის კონცენტრაცია 0,5-1,0 მგ/ლ-ით შემცირდა.

ცხრილი 3.8. საქართველოს ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შედგენილობა

ადგილი	pH	მგ/ლ						
		Cl ⁻	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Σi
მალალი მთა	6.2	0.4	1.9	4.3	0.7	1.6	0.2	9.1
ჩაქვი	5.2	1.1	2.8	1.1	1.0	1.0	0.2	7.2
სოხუმი	5.3	0.5	2.7	1.1	0.8	0.7	0.3	6.1
აბასთუმანი	5.3	0.3	1.8	2.8	0.4	1.1	0.2	6.6
ალაზნის ველი	6.3	1.1	4.4	4.8	1.3	2.7	0.6	14.9
ქუთაისი	5.7	0.8	4.1	1.6	1.3	1.1	0.3	9.2
თბილისი	5.1	1.1	7.1	6.2	1.9	3.2	0.5	20.0
რუსთავი	4.8	1.8	9.4	5.8	1.8	3.8	1.0	23.6
საქართველო	5.4	1.1	3.5	5.8	1.4	2.0	0.6	14.4

საქართველოს ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შედგენილობა და Σi კანონზომიერად იცვლება დღე-ღამისა და წლის სეზონების მიხედვით. ზოგიერთი გამონაკლისით, ნალექების Σi მაქსიმალურია დღისით და წლის თბილ პერიოდში, როდესაც ხელსაყრელი პირობებია ტერიგენული აეროზოლების წარმოქმნისა და ატმოსფეროში მათი გადატანისათვის. ამ და სხვა მიზეზების გამო წვიმის წყლის Σi 1,2-1,8-ჯერ მეტია თოვლთან შედარებით.

ბიოგენური ნივთიერებების შემცველობა ატმოსფერულ ნალექებში Σi-ის 10-12 % შეადგენს (საშუალოდ მგ/ლ: K^+ 0,4-0,8; NH_4^+ 0,18-0,90; NO_3^- 0,29-1,68 და PO_4^{3-} 0,03-0,09). აგროქიმიური გაანგარიშებების დროს უნდა გვახსოვდეს, რომ მათი ნაწილი ატმოსფეროში, შემდეგ კი ნალექებში ნიადაგიდან ხედება და მხოლოდ ლოკალურ წრებრუნვაში მონაწილეობს.

ატმოსფერული ნალექები ერთხელ კიდევ ამტკიცებენ ცნობილი ქიმიკოსების – ვალტერ და იდა ნოდაკების მიერ გასული საუკუნის 30-იან წლებში გამოთქმულ მოსაზრებას – ბუნებრივ ობიექტებში ქი-
მური ელემენტების ყველგან არსებობის შესახებ. კერძოდ ატმოს-
ფერულ ნალექებში მიკროელემენტები წარმოდგენილია საკმაოდ
ფართო სპექტრით (ცხრილი 3.9). ატმოსფერულ და ზედაპირულ
წყლებში მიკროელემენტების განაწილებიდან ჩანს, რომ საქართვე-
ლოს მდინარეების მიერ გახსნილ მდგომარეობაში გატანილი I, Br,
As და 40-60 % ატმოსფერული წარმოშობისაა.

ცხრილი 3.9. მიკროელემენტები საქართველოს ატმოსფერულ
ნალექებში (მკგ/ლ)

ელე- მენტი	მინ.	მაქს.	საშუა- ლო	ელე- მენტი	მინ.	მაქს.	საშუა- ლო
B	0.0	56	10	Cu	0.0	8.2	2.1
As	0.0	4.3	1.2	Zn	3.0	13	5.5
As*	0.0	47	9.2	Mo	0.0	1.2	0.5
F	0.0	80	20	Cr	0.0	0.8	0.5
Br	0.2	45	7.5	Ag	0.0	0.15	0.04
I	0.4	22	5.2	Ag*	0.0	0.6	0.16
I*	0.8	31	10.8	Pb	0.8	2.7	1.2
Li	0.0	0.5	0.3	Pb*	0.0	37	8.1
Al	4.0	70	34	Fe	0.0	150	36
Mn	0.0	15	3.6	Ni	0.0	2.8	1.3

* - დაბინძურებული ზონები

საქართველოს ტერიტორიაზე ჩამოდენილი ნალექები, ჩვეულებ-
რივ, ნეიტრალური ან სუსტი მჟავა ხსნარებია. ნალექების 80 % pH
5,00 და 7,00 შორის მერყეობს. იშვიათად, მაგრამ მაინც, ადგილი
აქვს მჟავა წვიმების ჩამოდიდებას ($pH < 4,5$; თბილისი, რუსთავი).

ცალკეულ რეგიონებში ნალექების მიკროელემენტურ შედგენი-
ლობას განსაზღვრავს ანთროპოგენური წყაროები (ცხრილი 3.8). კერ-
ძოდ, As შემცველობა გაზრდილია რაჭაში (მისი სულფიდური მადნე-
ბის მოპოვება-გადამუშავების ზონა), Pb, Ag და I ალაზნის ველზე და

სევანის ტბის აუზში (ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების რაიონები). ანთროპოგენური ფაქტორების გავლენით მევენახეობის რაიონების (კახეთი) ატმოსფერულ ნალექებში სპილენძის შემცველობა თითქმის სამჯერ მეტია ფონთან შედარებით (3,1 და 0,9-2,1 მკგ/ლ).

ტოქსიკურობისა და ანთროპოგენური წყაროების სიმძლავრის გამო განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა გარემოში ტყვიის განაწილებას. 3.10 ცხრილში მოტანილი მასალა ნათლად გვიჩვენებს ურბანიზაციის ხარისხის გავლენას ატმოსფერულ ნალექებში გახსნილი და შეტივნარებული ტყვიის განაწილებაზე.

ცხრილი 3.10. ტყვია ატმოსფერულ ნალექებში

ადგილი	გახსნილი, მკგ/ლ			შეტივნარებული	
	მინ.	მაქს.	საშუალო	მკგ/კგ	მკგ/ლ
თბილისი, თსუ	0.2	26.6	3.6	1080	6.9
თბილისი, ვაკის პარკი	0.0	14.0	1.4	1000	2.8
თბილისი, გარეუბანი	0.0	6.2	1.1	660	1.4
ქუთაისი, ცენტრი	0.0	2.8	1.0	500	1.2
ყაზბეგი, მყინვარი	0.0	0.6	0.2	-	-

3.11. მჟავა წვიმები

3.11.1. მჟავა წვიმები და მათი გამომწვევი მიზეზები. მჟავა წვიმები კლიმატის შეცვლასა და ოზონოსფეროს ტრანსფორმაციასთან ერთად თანამედროვეობის უმწვევესი ეკოლოგიური პრობლემაა. ტერმინი „მჟავა წვიმა“ პირველად რ. სმიტმა გამოიყენა 1872 წ. მანვე პირველმა ასეთ ნალექებში დაადგინა სულფატების შემცველობა. როგორც ჩანს, პრობლემა ახალი არ არის. ჯერ კიდევ 1690 წ. რ. ბოილმა შეამჩნია ნალექების მჟავური ბუნება. XIX საუკუნის 80-იან წლებში ყურადღება მიიქცია მეტალურგიული ქარხნების ირგვლივ ტყეების გაჩანაგებამ, რაც ატმოსფერული ნალექების გაზრდილი მჟავიანობით იყო გამოწვეული. მიუხედავად ამისა, თითქმის საუკუ-

ნის მანძილზე, ატმოსფერული ნალექების მჟავიანობა მხოლოდ თეორიული ჰიდროქიმის კვლევის საგანი იყო.

1950-1960 წწ. ჯერ სკანდინავიის ქვეყნებში, შემდეგ აშშ, კანადასა და სსრკ (მათ შორის საქართველოში) დაწყებულმა ნალექების ქიმიური შედგენილობის სისტემურმა გამოკვლევებმა აჩვენეს, რომ სამრეწველო რეგიონების ნალექებში, ფონთან შედარებით, შესამჩნევად იყო გაზრდილი მჟავიანობა. მოვლენის გლობალური ხასიათისა და მოსალოდნელი სერიოზული ეკოლოგიური გართულებების გამო მჟავა წვიმების პრობლემა აქტუალური გახდა. 1975 წ. მადრიდში გაიმართა პრობლემისადმი მიძღვნილი პირველი საერთაშორისო კონფერენცია, შემდეგ კი საკითხი საერთაშორისო თათბირებისა და ეკოდიპლომატიის ძირითად თემად იქცა.

რა იგულისხმება ტერმინში „მჟავა წვიმა“; რა არის მათი გამომწვევი მიზეზი და რა შედეგებია მოსალოდნელი?

ხსნარის მჟავიანობის შესაფასებლად გამოყენებულია წყალბადიონების კონცენტრაციის მაჩვენებლის (pH) ცნება, რომელიც *მოლური კონცენტრაციის უარყოფითი ლოგარიტმის ტოლია

$$pH = - \lg [H^+]$$

წყალხსნარებში $[H^+]$, ჩვეულებრივ $1 \cdot 10^{-14}$, ხოლო pH შესაბამისად 0-14 ფარგლებში იცვლება. მჟავა ხსნარებში $pH < 7$, ტუტეში $- > 7$. შედარებისთვის აღვნიშნავთ, რომ 0,1 ძმარმჟავას და ამონიუმის ტუტის ხსნარების pH შესაბამისად 2,4 და 11,1 ტოლია.

ბუნებრივ პირობებში ატმოსფერული ნალექების pH განსაზღვრავს ფუძე ბუნების HCO_3^- და მჟავური ოქსიდის CO_2 -ის კონცენტრაციები. ასეთი სისტემის pH ადვილად გაითვლება ფორმულით:

$$pH = 6,21 - \lg CO_2 + \lg HCO_3^-$$

სადაც CO_2 და HCO_3^- კონცენტრაციები გამოსახულია მგ/ლ-ით. ატმოსფერულ CO_2 -თან წონასწორობაში მყოფი გამოსხილი წყლის pH = 5,7. HCO_3^- -ის მცირე შემცველობის გამო შედარებით დაბალია ოკეანისა და ანტარქტიდის ატმოსფერული ნალექების pH (5,0-5,5). დაახლოებით ასეთივე pH აქვთ შავი ზღვის სანაპირო ზოლის ნალექებსაც. HCO_3^- -ის კონცენტრაციის გაზრდით ნალექების pH იზრდება. ჩვეულებრივ, ატმოსფერულ ნალექებში HCO_3^- -ის კონცენტრაცია 10-12 მგ/ლ და მათ ნეიტრალური ან სუსტი მჟავა რეაქცია (pH 5-7)

აქეთ. ყოფილ სსრკ ტერიტორიაზე ჩამოდენილი ნალექების pH 5,2-6,3 ფარგლებში იყო. ზოგიერთი გამონაკლისით, ამავე რიგისაა საქართველოს ატმოსფერული ნალექების pH (5,43-6,21).

როგორც ზემოთ იყო ნაჩვენები, გასული საუკუნის 60-იანი წლებიდან ატმოსფეროში მკვეთრად გაიზარდა მჟავური ოქსიდების (CO_2 , SO_2 , NO_2) კონცენტრაციები, რასაც ატმოსფერული ნალექების pH-ის რეაგირება მოჰყვა. მსოფლიოს მრავალ რეგიონში ატმოსფერული ნალექების pH < 3,5. ასეთი ნალექები მიეკუთვნებიან მჟავა ნალექებს. მაღაროს წყლებთან ერთად ისინი ბუნებაში ყველაზე მჟავა ხსნარებია (ცხრილი 3.11). მაღალი მჟავიანობით გამოირჩევიან სხვა ატმოსფერული წყლებიც. აშშ ინდუსტრიულ რეგიონებში (კალიფორნია, ნიუპორტი და სხვა) ნისლისა და ღრუბლების წყლების pH 1,68-2,25-მდე ჩამოდის. ასეთ ხსნარებში ადვილად იხსნება კირქვა, რკინა და მისი შენადნობები.

ცხრილი 3.11. ბუნებრივი წყლების pH

ობიექტი	pH	ობიექტი	pH
მჟავა წვიმები	2.5 – 4.5	მინისქვეშა წყლები	5.5 – 7.5
მაღაროს წყლები	< 3.0 – 4.5	მდინარეები, ტბები	6.5 – 8.5
ჭაობები	< 4.0 – 6.0	ოკეანე	7.6 – 8.4
ატმოსფერული ნალექები	4.5 – 6.5	მარილიანი ტბები	8.5 – >9.5

ატმოსფერული ნალექების მჟავიანობის ზრდა მჟავური ოქსიდების კონცენტრაციის ნამატით აიხსნება. ასე, მაგალითად, SO_2 -ის კონცენტრაცია ფონური სადგურების ატმოსფეროში (მკგ/მ³-ით) 0,1-3 (საშუალო 0,5), ურბანიზებულ რეგიონებში კი 5-200 (საშუალო 40). შესაბამისი სიდიდეები NO_2 -ისთვის შეადგენს 0,2-1,5 (საშუალო 0,5) და 3-100 (საშუალო 20). მთავარი მიზეზი კი მაინც ის არის, რომ SO_2 , განსაკუთრებით კი SO_3 -ის ჰიდრატაციით წარმოქმნილი მჟავების დისოციაციის მუდმივები რამდენიმე რიგით მეტია H_2CO_3 -ს შესაბამის სიდიდეზე. ატმოსფერულ ნალექებში მჟავიანობასთან ერთად

SO₂-ის კონცენტრაციის ზრდა გვიჩვენებს, რომ მოვლენის ძირითადი მიზეზია ატმოსფეროს დაბინძურება SO₂-ით, მისი შემდგომი ოქსიდაცია და ჰიდრატაცია. ნიტრატების შემცველობა ატმოსფერულ ნალექებში, ჩვეულებრივ, ნაკლებია 1 მგ/ლ ($< 10^{-5}$ მოლი/ლ), ამასთან, მისი ძირითადი წყარო ტერიგენული აეროზოლებია. აქედან გამომდინარე, აზოტის ოქსიდების როლი მყავა ნვიმების ფორმირებაში მნიშვნელოვანი არ უნდა იყოს.

3.11.2. მყავა ნვიმების რეგიონალური განაწილება, ეკოლოგიური შედეგები და მათი აცილების გზები. ატმოსფეროში მოხვედრილი მყავური ოქსიდები ჰაერის ნაკადებით ათასობით კმ მიგრირდებიან. ამის გამო, პრობლემამ პლანეტარული ხასიათი მიიღო. ექსპერტთა აზრით, კანადაში ჩამოდენილი მყავების 85-90 % მოტანილია აშშ-დან. სკანდინავიის ქვეყნების მყავური ნვიმების 65 % ფორმირებულია ცენტრალურ ევროპაში. იმავე რეგიონიდან, სსრკ ტერიტორიაზე, წლიურად შემოდის 5-10 მლნ ტ გოგირდის ნაერთები. დადგენილია მყავური ოქსიდების მიგრაციის კიდევ უფრო შორეული მარშრუტებიც (მაგ. აშშ – ევროპა). ცხადია, ასეთი ეკოლოგიური აგრესია ქვეყნებს შორის ხანგრძლივი დავის საგანი გახდა. მით უმეტეს, რომ მყავური ნვიმების უნებლიე „მომხმარებელი“ ქვეყნების უმრავლესობა (შვედეთი, ფინეთი და სხვა) მყავური ოქსიდების „მწარმოებელი“ არ არის.

მყავა ნვიმების გავლენით შესამჩნევად გაიზარდა სკანდინავიის, კანადის და სხვა ქვეყნების ტბების მყავიანობა. ნორვეგიაში ტბების წყლის pH ყოველწლიურად 0,05 ერთეულით კლებულობდა და 50-იან წლებთან შედარებით 1,25-1,30 ერთეულით შემცირდა. ამ მიზეზით ტბების 50 % ეკოლოგიურად მკვდარია. შვედეთის 80 ათასი ტბიდან ბიოლოგიური წონასწორობა დარღვეულია 18 ათასში. ანალოგიური მდგომარეობაა კანადის 20 ათასამდე ტბაში.

მყავა ნვიმების მომაკვდინებელი გავლენის ძირითადი მიზეზია ჰიდრობიონტების ზემგრძნობიარობა წყლის მყავიანობის მიმართ. ჰიდრობიოლოგები თვლიან, რომ უკვე pH 6,5 წყალსატევეში თავს იჩენს უარყოფითი ბიოეფექტები. თუ pH < 6, ითრგუნება ჰიდრობიოლანქტონი, ხოლო pH < 5 – ბაქტერიების აქტივობა. უფრო დაბალ

pH (4-4,2) ილუპება თევზები, ბაყაყები და სხვა. წყალსატევების მუჟ-
ვიანობის გაზრდით იზრდება მათი ტოქსიკური მძიმე ლითონებით
(Cd^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} და სხვა) დაბინძურების შესაძლებლობაც. როგორც
ცნობილია, pH-ის შემცირებით წყლებში არსებული ფაზური წონას-
წორობა ირღევეა და ტივტივა ნატანზე თუ ფსკერულ ნალექებზე
სორბირებული მძიმე ლითონები უბრუნდებიან წყალფაზას.

სხვა ფაქტორებთან ერთად ჩრდილოეთის ქვეყნების წყალსატე-
ვების კატასტროფული დეგრადაცია მუჟა წვიმებით გამოწვეულია
რეგიონის გეოქიმიური თავისებურებით: ქანები და ნიადაგები ლარი-
ბია კარბონატებით, ამიტომ წყლებში დაბალია HCO_3^- -ის კონცენ-
ტრაცია. შექმნილი ვითარების გამოსწორების მიზნით, წყალსატე-
ვებში შეაქვთ კირქვის ფხვნილი. ერთი ჰა ტბის დამუშავება 200-დან
1500 დოლარამდე ჯდება, თანაც საჭიროა პროცედურის დროდადრო
გამეორება. გარდა ამისა, pH-ის ცვალებადობა უარყოფითად მოქმე-
დებს ცოცხალ ორგანიზმებზე.

მუჟა წვიმების გავლენით იცვლება ნიადაგის სტრუქტურა,
მცირდება მისი პროდუქტიულობა და ბიომასის დაჟანგვის სიჩქარე,
ხოლო, თუ $pH < 3$, ნიადაგი უნაყოფო ხდება. ამის ძირითადი მიზეზი
ნიადაგის მიკროფლორის დეგრადაციაა. დადგენილია, რომ ნიადაგის
pH-ის შეცვლით 5,6-დან 5,0-მდე ბაქტერიების საერთო რაოდენობა
ნიადაგში 2,5-3-ჯერ მცირდება, აზობაქტერიები კი ილუპებიან.

ნიადაგის ხსნარის pH-ის შემცირება სხვა უარყოფით მოვლენებ-
საც იწვევს. კერძოდ, იზრდება მძიმე ლითონების მოძრავი, ბიოლო-
გიურად აქტიური ფორმების კონცენტრაცია და ადვილად ირეცხება
ბიოგენური ნივთიერებები. სამრეწველო რეგიონებში ტყეების გაჩა-
ნაგების ერთ-ერთი მიზეზი მუჟა წვიმებია. გარდა ზემოთ თქმულისა,
მათი გავლენით იშლება ფოთლების დამცავი აპკი — ეპიდერმისი,
რაც ზრდის მცენარის დაავადების ალბათობას.

ნიადაგებზე მუჟა წვიმების უარყოფითი გავლენა მით მეტია,
რაც უფრო მაღალია მათი ბუნებრივი მუჟავიანობა და ნაკლებია კარ-
ბონატების შემცველობა. წყალსატევების მსგავსად, გამუჟავებული
ნიადაგების „მკურნალობის“ ეფექტური საშუალებაა მათში კირქვის,
ან მცენარეული ნაცრის შეტანა.

მჟავა წვიმები ტექნიკური ხასიათის სირთულეებსაც ქმნიან. მათი გავლენით ასჯერ და მეტად იზრდება ლითონების კოროზიის სიჩქარე, რადგან პროცესის მალიმიტირებელი კომპონენტი წყალბადიონებია. არანაკლებ სერიოზულია მეორე პრობლემაც – ხელოვნების ნიმუშების, მარმარილოსაგან ნაგები შენობების და ნაკეთობების დაზიანება. დაცვის მიზნით ფიქრობდნენ მათ დაფარვას გამჭვირვალე პოლიმერული აპკებით ან სახურავქვეშ მოქცევას, მაგრამ ორივე მიუღებელი აღმოჩნდა. ამჟამად ამ მიზნით რეკომენდებულია მათი დაფარვა ბარიუმის ტუტისა და შარდოვანას ნარევის შემცველი პასტიით. მათი ურთიერთქმედებით წარმოიქმნება BaCO_3 , რომელიც მჟავა წვიმების გავლენით გადადის სულფატში. ამ გზით მიღებული BaSO_4 მკვერვად ეკვრის ნაკეთობას და იცავს შემდგომი დაზიანებისაგან. უფრო რადიკალური, თუმცა რთული და ძვირად ღირებული გზაა ატმოსფეროში მჟავური ოქსიდების ემისიის შემცირება ქვანახშირის წინასწარი გაუგოგირდების, ნამწვი აირების SO_2 -დან განმწმდის ან სხვა გზებით.

ნელი ტემპით, მაგრამ მაინც, ბევრ ქვეყანაში საერთო ეკოლოგიური ვითარება უმჯობესდება. მაგალითად, კანადაში SO_2 -ის ემისიის დარეგულირების შემდეგ, გასული საუკუნის ბოლოს, ზედაპირული წყლების pH 4,1-დან 4,7-მდე გაიზარდა.

3.12. ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედება და მისი ეკოქიმიური შეფასება

3.12.1. ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების მიზანი და მეთოდები. სტიქიური მოვლენები, მათ შორის სეტყვა, აუნახლავრებელ ზარალს აყენებს სოფლის მეურნეობას, განსაკუთრებით მევენახეობას. ნათქვამია „დასეტყვილი ვაზი შვიდ წელიწადს ტირისო“. ამიტომ ვაზისა და სხვა კულტურების დაცვა სეტყვისგან პრაქტიკული მეტეოროლოგიისა და გეოფიზიკის ტრადიციული და აქტუალური საკითხია. ვაზის სეტყვისაგან დასაცავად გამოყენებულია ორი მეთოდი: ნაკვეთის გადაფარვა სპეციალური ბადეებით, ან მეტეოროლოგიურ პროცესებში ჩარევა სეტყვანარმოქმნელ ღრუბლებში კონდენსაციის ბირთვების ხელოვნური შეტანით (ღრუბლებზე აქტიური

ზემოქმედება). ორივე მეთოდს აქვს დადებით-უარყოფითი მხარეები და ჰყავს მომხრე-მონინალმდეგეები. როგორც პრაქტიკა გვიჩვენებს, დიდი ფართობების დაცვა ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედებით უფრო გამართლებულია. ამავე პრინციპით შესაძლებელია ატმოსფერული ნალექების ინიცირება და ნისლის გაფანტვა. ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების თეორიული და პრაქტიკული საკითხები დამუშავებული იყო ქართველი მეცნიერების – გ. სალუქვაძის, ა. ქარცივაძის და სხვ. მიერ. გასული საუკუნის 60-იან წლებში მეთოდო-კა დაინერგა კახეთში, ალაზნის ველზე, რომელიც სეტყვიანობის სიხშირით და მისგან მიყენებული ზარალით მსოფლიოში გამორჩეული რეგიონია. გასული საუკუნის 80-წლებში დაცული ტერიტორიის ფართი 600 ათას ჰა აღემატებოდა. 90-იან წლებში ცნობილი მიზეზების გამო სეტყვის საწინააღმდეგო სამუშაოები კახეთში და სამხრეთ საქართველოში შეწყდა. სხვა ქვეყნებში მეტეოროლოგიური პროცესების მართვა დღესაც გრძელდება. გასული საუკუნის ბოლოს 24 ქვეყანაში სეტყვის საწინააღმდეგო და ნალექების ხელოვნური ინიცირების სამუშაოებით მოცული იყო 1,5 მლნ კმ²-დე ტერიტორია. სპეციალისტების აზრით, თანამედროვე მეთოდო-კა საშუალებას იძლევა 70-75 %-ით შევამციროთ სეტყვით გამოწვეული ზარალი.

ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების პრინციპი მარტივია – მათში მიწისპირა გენერატორებით, საზენიტო ქვემეხებით, სპეციალური რაკეტებით ან ავიაციის გამოყენებით შეჰყავთ ხელოვნური კონდენსაციის ბირთვები. ამით ხელსაყრელი პირობები იქმნება ორთქლის კონდენსაციისთვის და სეტყვანარმოქმნის პროცესის დამთავრებამდე ატმოსფერული ტენი ჩამოედინება წვიმის სახით. რეაგენტად შერჩეული ნივთიერებებიდან (NaCl , მყარი CO_2 , CuS და სხვა) ყველაზე ეფექტური აღმოჩნდა AgI და PbI_2 . მიუხედავად იმისა, რომ ვერცხლი დეფიციტური და ძვირია, ხოლო ტყვია და მისი ნაერთები ტოქსიკური, რეაგენტები ფართოდ დაინერგა პრაქტიკაში.

რაც უფრო წერილდისპერსული იქნება ღრუბლებში შეტანილი რეაგენტი, მით ნაკლები იქნება მისი ხარჯი და მაღალი იქნება ეფექტი. დისპერგირების მიზნით რეაგენტი მიწისპირა გენერატორში ან რაკეტაში ინვის სპეციალურ პირონარეთან შესაბამისი იოდდე-

ბის პირობოლების წარმოქმნით, რომელთა ზომა ჩვეულებრივ ნაკლებია 1 მკმ-ზე. სპეციალისტები თვლიან, რომ ღრუბლებში რეაგენტის შეტანა ყველაზე ეფექტურია რაკეტის საშუალებით, რადგან ამ შემთხვევაში მაქსიმალურია „დამუშავებული“ ღრუბლის მოცულობა.

3.12.2. ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების სამუშაოების ეკოქიმიური შეფასება. გასული საუკუნის მეორე ნახევარში ალაზნის ველზე დაწყებულმა სეტყვის სანინაალმდეგო სამუშაოებმა ფართო მასშტაბი მიიღო. ყოველწლიურად ატმოსფეროში იფანტებოდა 10-12 ტ PbI_2 . ეკოლოგიური უსაფრთხოებისა და პროცესის მართვის მიზნით, აუცილებელი გახდა რეაგენტის შემადგენლობაში შემავალი კომპონენტების, პირველ რიგში ტყვიის კონტროლი გარემოში. ამ მიზნით 1961-1985 წწ. ალაზნის ველის 10-12 პუნქტში ტყვიის, იოდის და სხვა კომპონენტების შემცველობაზე კონტროლირდებოდა აეროზოლები, ატმოსფერული ნალექები, ზედაპირული წყლები, მათი ტიეტივა ნატანი და ფსკერული ნალექები, ნიადაგები და საკვები პროდუქტები. შედარების მიზნით ანალოგიური პროგრამით გამოკვლევები ტარდებოდა მეზობელ რეგიონებშიც (ცხრილი 3.12).

აეროზოლების გამოკვლევამ აჩვენა, რომ ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების შედეგად, ატმოსფეროში იზრდება Pb^{2+} და I^- კონცენტრაციები, თუმცა ტყვიის შემცველობა იშვიათად აღემატება ზდკ ($0,3 \text{ მკგ/მ}^3$) და ნამატი ყოველთვის არ იყო დაკავშირებული აქტიურ ზემოქმედებასთან. თუ ტერიგენული იონების (Ca^{2+} , Fe^{3+} , HCO_3^-) კონცენტრაცია ატმოსფეროში სიმაღლის მიხედვით ჩვეულებრივ მცირდება ($r = -0,92$), Pb^{2+} -ის მაქსიმალური შემცველობა ალაზნის ველზე 1,5-2 კმ სიმაღლეზე ფიქსირდებოდა. ატმოსფერული ნალექების გამოკვლევით მიღებული ინფორმაციის სტატისტიკური ანალიზი უჩვენებს, რომ „დამუშავებული“ და „დაუმუშავებელი“ ღრუბლებიდან ჩამოდენილ ნალექებში საშუალოდ 12,4 და 6,3 მკგ/ლ ტყვია და 14,2 და 8,6 მკგ/ლ იოდი.

ცხრილი 3.12. ტყვია საქართველოს ბუნებრივ ობიექტებში

ობიექტები	განზომილება	ალაზნის ველი	თბილისი, მისი შემოგარენი	დასავლეთ საქართველო
ატმოსფერული ნალექები	მკგ/ლ	8.1	2.8	1.7
ზედაპირული წყლები	მკგ/ლ	1.3	1.0	1.1
მდ. ტიფტივა ნათანი	მკგ/ლ	25	56	54
მდ. ფსკერული ნალექი	მკგ/ლ	22	50	28
მინისქვეშა წყლები	მკგ/ლ	1.5	1.2	1.4
ნიადაგები	მკგ/ლ	20	98	18
მარცვლეული	მკგ/ლ	0.3	1.1	0.4
ღვინო	მკგ/ლ	3.8	-	3.6

განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევდა ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების გავლენა ტყვიის განაწილებაზე ალაზნის ველის ნიადაგებში და მცენარეულ საკვებ პროდუქტებში. ტყვიის შემცველობა ნიადაგებში (მათ შორის კახეთშიც) 18-20 მგ/კგ შეადგენს. თუ შევადარებთ ტყვიის ბუნებრივ შემცველობას ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების ზონის ნიადაგების 10 სმ ფენაში მის ანთროპოგენურ მონატანს, აღმოჩნდება, რომ მხოლოდ ათეული წლის შემდეგ ტყვიის კონცენტრაცია ნიადაგში გაიზრდება 1 %-ით. ექსპერიმენტულად მიღებული შედეგებით ტყვიის შემცველობა საკონტროლო რეგიონის ნიადაგებში 20-22 მგ/კგ ნაკლები აღმოჩნდა. ანალოგიური შედეგები იყო მიღებული აქტიურ ზემოქმედების დაწყებამდე აგებული შენობების სარდაფებიდან აღებული ნიადაგის სინჯების ანალიზითაც. როგორც ყველგან, ტყვიის კონცენტრაცია 60-80 მგ/კგ-მდეა გაზრდილი კახეთის ავტომაგისტრალების ახლომდებარე ნიადაგებში.

ალაზნის ველის, თბილისისა და დასავლეთ საქართველოს ბუნებრივ ობიექტებში ტყვის განსაზღვრის შედეგები (ცხრილი 3.12) გვიჩვენებენ, რომ ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების შედეგად გარემოს დაბინძურება ტყვიით უმნიშვნელოა. ანალოგიური დასკვნის გაკეთება შეიძლებოდა თეორიული გაანგარიშებითაც. ალაზნის ველზე, დაახლოებით 850 კმ², 2-3 კმ სიმაღლეზე წლიურად იფანტება 5-6 ტ

ტყვია, რომლის ძირითადი ნაწილი, დაბალი სედიმენტაციის სიჩქარის გამო, ჰაერის ნაკადებით ასეულ და ათასეულ კმ გადანაწილდება. შედარებისთვის: თბილისში რამდენიმე ათეულ კმ² ავტომანქანების გამონაბოლქვ აირებთან ერთად ყოველწლიურად 80-85 ტ ტყვია ხვდება უშუალოდ ჩვენ სასიცოცხლო სივრცეში.

მოუხედავად მიღებული შედეგებისა და პრაქტიკაში ახალი რეაგენტის დანერგვისა (რეაგენტი მხოლოდ 2 % PbJ_2 შეიცავდა), მოსახლეობის ფსიქოლოგიური დატვირთვის მოხსნის მიზნით, სეტყვის საინალმდეგო სამუშაოები ალაზნის ველზე შეწყდა. ამის შემდეგ ტყვიის კონცენტრაცია კახეთის ატმოსფერულ ნალექებში, 1990 წ. მონაცემებით, 0,2-4,5 მკგ/ლ-მდე (საშუალო 2,2 მკგ/ლ) შემცირდა.

ატმოსფერული ნალექების ხელოვნური ინიცირების მიზნით 1980-1985 წწ. ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების სამუშაოები მიმდინარეობდა სევანის ტბის აუზში. სამუშაოს მიზანი იყო ტბის წყლის მარაგის შეესება, რომელიც მნიშვნელოვნად შემცირდა გასული საუკუნის 40-50 წლებში სევანი-რაზდანის კასკადის აგების შემდეგ. რეაგენტად გამოყენებული იყო AgI , რომელიც ღრუბლებში შეჰყავდათ გეგამის მთაზე განლაგებული მიწისპირა გენერატორებით. რეაგენტის მცირე ხარჯის გამო (წლიურად 200-300 კგ) Ag^+ -ის ანთროპოგენური ნამატი აეროზოლებში და ატმოსფერულ ნალექებშიც კი მეტად უმნიშვნელო აღმოჩნდა. თეორიული გაანგარიშებით შეიძლება ვარკვნოთ, რომ ღრუბლებში შეტანილი Ag^+ მთლიანად თუ მოხვდებოდა ტბაში, ნამატი მხოლოდ 1-2 % იქნებოდა (ტბის მოცულობა 54 კმ³, Ag^+ -ის ფონური შემცველობა 0,1 მკგ/ლ).

ამრიგად, ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების შედეგად, ლოკალურ უბნებზე რამდენადმე იზრდება გარემოს ანთროპოგენური დატვირთვა, თუმცა რეაგენტის შემადგენლობაში შემაჯავლი ელემენტების კონცენტრაცია ზდკ-ს იშვიათად აჭარბებს. ამასთან, ახალი, მაღალეფექტური რეაგენტების გამოყენება და გარემოს კონტროლი პროცესის მართვის საშუალებას იძლევა და ეკოლოგიური საფრთხე არ იქმნება. ანალოგიურ დასკვნებამდე მივიდნენ სპეციალისტები, რომლებიც სწავლობდნენ ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების ეკოლოგიურ შედეგებს აშშ, ჩრდილოეთ კავკასიაში, მოლდოვაში და სხვა რეგიონებში.

IV. მყინვარები, მათი ქიმიური შედგენილობა

4.1. მყინვარები, მათი ფორმირება და მნიშვნელობა

მყინვარები – მყარი ატმოსფერული ნალექებიდან წარმოქმნილი ყინულის მასაა, რომელიც გრავიტაციული ძალის მოქმედებით მოძრაობს. არჩევენ მფარავ და მთის მყინვარებს. მფარავი მყინვარები დამახასიათებელია არქტიკისა და ანტარქტიკისათვის, მთის მყინვარები – მაღალმთიანი ზონისათვის. მყინვარების წარმოქმნისათვის აუცილებელია ცივი კლიმატი, რაც განაპირობებს მყარი ატმოსფერული ნალექების აკუმულირებას. დედამიწაზე ყოველწლიურად $2,75 \cdot 10^{13}$ ტ ყინულის მასა წარმოიქმნება. თოვლის პერიოდული გადნობა-გაყინვის, გადაკრისტალებისა და დანეხვის შედეგად წარმოიქმნება ფირნი, შემდეგ კი „ცისფერი“ ყინული. ფირნიზაციის პროცესის სიჩქარე დამოკიდებულია კლიმატზე და რამდენიმე თვიდან ორ ათეულ წლამდე გრძელდება. მეცნიერება მყინვარების შესახებ გლაციოლოგიად იწოდება (ლათ. გლაციეს – ყინული). გლაციოლოგიის ახალი დარგია გლაციოქიმია, რომელიც მყინვარების ქიმიურ შედგენილობას და მის განმსაზღვრელ ფაქტორებს სწავლობს.

მყინვარები ჰიდროსფეროს ერთ-ერთი მთავარი შემადგენელია. მათი საერთო ფართი $16,1 \text{ კმ}^2$ (ხმელეთის 11 %), ხოლო აკუმულირებული მტკნარი წყლის მარაგი $2,4 \cdot 10^7$ ტონაა, რაც 600-ჯერ აღემატება პლანეტის მდინარეების წლიურ ხარჯს და ჰიდროსფეროს 1,65 % შეადგენს. დედამიწის მყინვარების გადნობის შემთხვევაში ოკეანის დონე 66,3 მეტრით აიწეოდა.

მყინვარები მტკნარი, სუფთა წყლის ბუნებრივი, გრანდიოზული საცავია. გრენლანდიის და ანტარქტიდის მყინვარებიდან წარმოქმნილი აისბერგები სამხრეთის ქვეყნების წყალმომარაგების სტრატეგიულ ობიექტებად ითვლება. უკვე დამუშავებულია მათი ტრანსპორტირების ტექნიკური საკითხები და ეკონომიკური მხარე. 1956 წ. ანტარქტიდის მიდამოებში ნაპოვნი აისბერგის სიგრძე 350, ხოლო სი-

განე 40 კმ იყო. მყინვარებით იკეპება მთის მდინარეები. საქართველოს მდინარეების წყლის ბალანსში მათი წილი 30-40 % აღწევს. დედამიწის თოვლყინულის საფარი (კრიოსფერო) მისი კლიმატური სისტემის უმნიშვნელოვანესი ელემენტია.

მთის მყინვარების სიუხვით და სიმძლავრით გამოირჩევა ტიან-შანისა და ჰიმალაის მასივები. საკმაოდ მძლავრია კავკასიონის მყინვარული საფარიც, რომელსაც 1800 კმ² ფართი უკავია. საქართველოს ტერიტორიაზე 800-მდე მყინვარია, რომელთა ფართი 556 კმ²-ია. მათ შორის სიგრძით და ფართობით გამოირჩევიან მდ. ენგურის აუზში განლაგებული ლეხზირის (12,2 კმ და 35,8 კმ²), ნანერის (10,7 კმ და 28,9 კმ²) და ტვიბერის (8,1 კმ და 24,7 კმ²) მყინვარები (რ. გობეჯიშვილის მონაცემები).

გლაციოლოგების მონაცემებით, იშვიათი გამონაკლისით, აშკარაა მყინვარების უკანდახევა. გასულ საუკუნეში მათი ფართობი 15 %-ით შემცირდა. უკან იხევს კავკასიის მყინვარებიც. დედოფორაკის მყინვარის ენა მდ. თერგამდე ჩამოდიოდა, ახლა კი მისგან რამდენიმე კმ არის დაშორებული. მყინვარების ინტენსიური დნობის ერთ-ერთი მიზეზი ატმოსფეროს საერთო დათბობაა. თ.დავითაიას აზრით, მეტად მნიშვნელოვანი ფაქტორია ატმოსფეროს ანთროპოგენური დამტვე-რიანება. მყინვარზე დალექილი მტვერი ამცირებს აბლიაციას, აკუმულირებს სითბოს და აჩქარებს მის დნობას. გასული საუკუნის 60-იან წლებში ჩინეთში მდინარეების ჩამონადენის ხელოვნურად გაზრდის მიზნით მათი მკვებავი მყინვარები დაფარეს ქვანახშირის მტვრით. ამის შედეგად ფაქტობრივად განადგურდა რამდენიმე მყინვარი, რის შემდეგ ეკოლოგიურად გაუმართლებელი ექსპერიმენტი შეწყდა.

4.2. მყინვარების ქიმიური შედგენილობა, მისი ფორმირება

ჰიდროქიმიური თვალსაზრისით მყინვარები ჰიდროსფეროს ყველაზე ნაკლებად შესწავლილი ობიექტებია. ამის მიზეზი საანალიზო სინჯების აღების სიძნელე და ულტრამტკნარი წყლების ანალიზის სირთულეა. ცხრილში 4.1 მოტანილი მონაცემებიდან ჩანს, რომ მყინვარული წყლები ყველაზე მტკნარი წყლებია პლანეტაზე.

აპრიორად მიღებული იყო, რომ მყინვარები დაკონსერვებული ატმოსფერული ნალექებია. ამ დებულებიდან გამომდინარე, მათი ქიმიური

და იზოტოპური შედგენილობის მიხედვით მსჯელობდნენ მაღალმთიანი რეგიონების ატმოსფერული ნალექების შედგენილობაზე, ატმოსფეროს დაბინძურებაზე და კლიმატზე შორეულ წარსულში.

ცხრილი 4.1. კავკასიონის ატმოსფერული ნალექებისა და მყინვარული წყლების ქიმიური შედგენილობა

წყლები	pH	მგ/ლ						
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Σi
ატმ. ნალექები	6.1	1.08	2.88	5.77	2.24	1.55	0.73	14.2
ძველი თოვლი	6.5	0.16	1.22	0.72	0.40	0.45	0.12	3.07
ფირნი	6.2	0.40	1.58	0.66	0.85	0.33	0.09	3.91
ყინული	6.4	0.27	0.58	0.92	0.32	0.40	0.12	2.61
ყინ. წყლის ნაკადი	6.2	0.15	0.78	0.90	0.34	0.53	0.22	2.92
ყინ. ტბა	6.7	0.25	2.29	0.48	0.69	0.46	0.19	4.36
ჭუჭყიანი ფირნი	6.8	0.74	8.52	25.6	2.44	8.59	2.57	48.5
მყინ. მდინარე	6.9	0.36	4.32	16.9	2.00	4.28	2.00	29.9

ბუნებრივია, რომ მყინვარების ქიმიურ შედგენილობას განაპირობებს მაღალმთიანი ზონის ატმოსფერული ნალექები. გახსნილი ნივთიერებების დამატებითი და მნიშვნელოვანი წყაროა ეოლური მტერისა და მორენების წყალგამონარეცხები. ხელსაყრელ პირობებში მათი გავლენით მყინვარული წყლების Σi 6-10 მგ/ლ აღწევს. ამის მაჩვენებელია მორენებით დაბინძურებული ფირნის ქიმიური შედგენილობა (ცხრილი 4.1). აქედან გამომდინარე ცხადია, რომ მყინვარული წყლების Σi მეტი უნდა იყოს მათთან გენეტიკურად დაკავშირებულ ატმოსფერული ნალექების Σi -ზე და ეს სიდიდე მყინვარის დინების მიმართულებით უნდა იზრდებოდეს. Σi-ის ზრდას ხელი უნდა შეუწყოს წყლის აორთქლებამაც მყინვარის ზედაპირიდან. დინების მიმართულებით Σi-ის ნამატი შეიმჩნევა მხოლოდ მორენებით დაბინძურებულ მყინვარებში (დევდორაკი, ხალდე და სხვა). ასეთი კავშირი ლოგიკურია, რადგან მყინვარების მორენებით დაბინძურების ხარისხსა და მყინვარული წყლების მინერალიზაციას შორის მჭიდრო, პირდაპირი კავშირია.

კავკასიონის მყინვარებზე ჩატარებულმა გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ყინულის, თერმოეროზიულ არხებში და ღრმულებში მიმდინარე და მყოფი წყლების (ყინულოვანი ნაკადი, ყინულოვანი ტბა) Σi შესაძრწევად ჩამორჩება ატმოსფერული ნალექების Σi -ს (ცხრილი 4.1). ამასთან, მორენებისაგან სუფთა მყინვარების (ადიში სვანეთში, გერგეტი ხევში და სხვა) წყლების Σi მყინვარის დინების მიმართულებით კი არ იზრდება, არამედ მცირდება.

მყინვარების ზედაბალი მინერალიზაცია და დინების მიმართულებით მისი შემცირების მიზეზები მათი ფორმირების თავისებურებით უნდა აეხსნათ. ნელინადის თბილ პერიოდში მყარი ატმოსფერული ნალექები ჰაერის ტემპერატურის დღელამური მერყეობის გამო დღისით ნაწილობრივ დნებიან, ღამით კი იყინებიან. ნადნობი წყლები დარჩენილი თოვლიდან რეცხავენ წყალში ხსნად ნივთიერებებს. ამიტომ დარჩენილი მასა, რომლიდანაც ფირნი წარმოიქმნება, პრაქტიკულად სრულადაა დემინერალიზებული. რაც უფრო ხანდაზმულია სეზონური თოვლი, ფირნი და ყინული, დემინერალიზაციის უწყვეტი პროცესის გამო, მით უფრო გამტკნარებული უნდა იყოს. აღნიშნული მოსაზრების სისწორე შეიძლება დავამტკიცოთ ექსპერიმენტულად. მინის სვეტში ($d > 2-3$ სმ, $l > 30-40$ სმ) მოვათავსოთ და გავადნოთ ახლად მოსული თოვლი, ნადნობი წყალი შევაგროვოთ ფრაქციებად. მათი ქიმიური ანალიზი, ან ხვედრითი ელგამტარობის (χ) გაზომვის შედეგები გვიჩვენებს, რომ გახსნილ ნივთიერებებს შეიცავენ პირველი ფრაქციები, ხოლო ბოლო ფრაქციები ორჯერ გამოხდომ წყალზე უფრო მტკნარია. თოვლის დნობის პროცესში შეიმჩნევა მეორე, პიდროქიმიური თვალსაზრისით საინტერესო მოვლენა. გახსნილი ნივთიერებების თოვლიდან გამორეცხვის სიჩქარე განსხვავებულია (ცხრილი 4.2). განსხვავებულია თოვლიდან იზოტოპების გამორეცხვის სიჩქარეც. ამიტომ დარჩენილი თოვლი გამდიდრებულია დეიტერიუმით და ტრიტიუმით.

დადგენილია, რომ თოვლიდან იონების გამორეცხვის სიჩქარე დამოკიდებულია იონურ პოტენციალზე (ცხრილი 4.2), ორგანული ნივთიერებებისა კი მოლეკულურ მასაზე. ამ კავშირის ახსნა და თეორიული დასაბუთება მოცემულია სპეციალურ ლიტერატურაში.

ამრიგად, თოვლის ფირნიზაციის დროს დემინერალიზაცი-ფრაქციონირების შედეგად წარმოქმნილი ფირნის და ყინულის ქიმიური და იზოტოპური შედგენილობა მნიშვნელოვნად განსხვავდება

ატმოსფერული ნალექებისაგან. ამიტომ მათი გამოკვლევით მიღებული შედეგებით ატმოსფერული ნალექების შედგენილობაზე და პალეოკლიმატზე მსჯელობა მეთოდურად გაუმართლებელია. ეს მოსაზრება სამართლიანია ე.წ. „თბილი“ მყინვარებისათვის. არქტიკა-ანტარქტიდის მყინვარების ფორმირება თოვლის დნობის გარეშე მიმდინარეობს, დემინერალიზაცია-ფრაქციონირების პროცესები გამოირიცხულია და მათში „დაკონსერვებული“ ქიმიური ინფორმაცია სანდოა შორეული წარსულის რესტავრაციისათვის.

ცხრილი 4.2. თოვლიდან იონების გამორეცხვის ფარდობითი სიჩქარე (v) და მისი დამოკიდებულება იონურ პოტენციალზე (I_p)

იონი	I_p	v	იონი	I_p	v	იონი	I_p	v
K^+	0.75	2.85	Mg^{2+}	2.70	1.69	Cl^-	0.55	2.50
Na^+	1.02	2.38	Cu^{2+}	2.78	1.43	HCO_3^-	0.63	1.78
Ca^{2+}	2.02	1.86	Fe^{3+}	4.48	1.00	SO_4^{2-}	0.87	1.89

4.3. მყინვარების ანთროპოგენური დაბინძურება

მყინვარები არა მარტო ყველაზე მტკნარი, არამედ ყველაზე სუფთა წყლებია ბუნებაში. გარდა გენეტიკური თავისებურებისა, ამის მიზეზია მათი მდებარეობა ტექნოურბანიზებული რეგიონებიდან მოშორებით. მიუხედავად ამისა, ანთროპოგენური ფაქტორების გავლენა მათ ქიმიურ შედგენილობაზე მაინც შეიმჩნევა. მყინვარების დაბინძურების ერთ-ერთი წყარო ეოლური მონატანია. კავკასიონის მყინვარების ინტენსიურ დამტვერიანებაზე 1942-1943 წწ. აღნიშნული იყო 2.4-ში.

ლიტერატურაში მდიდარი ინფორმაციაა მყინვარების რადიაქტიური დაბინძურების შესახებ. მათი ანთროპოგენური დაბინძურების საიმედო ინდიკატორია ტრითიუმი, რომლის წყარო ატმოსფეროში თერმობირთვული აფეთქებები იყო. შუა აზიის მყინვარებში მისი მაქსიმუმი 1963 წლის შესაბამის ფენებში აღინიშნება. ალპებსა და კავკასიონის მყინვარებზე მდგომარეობა მკვეთრად გამწვავდა ჩერნობილის კატასტროფის შემდეგ. ავარიის შედეგები დაფიქსირებულია ჰიმალაის მყინვარებშიც.

მყინვარებსა და მყინვარულ წყლებში პესტიციდების შემცველობა მცირეა ($< 1-3$ ნგ/ლ), თუმცა 1928-1973 წწ. ალტაის მყინვარებში ქლორორგანული ნაერთების შემცველობა ათჯერ გაიზარდა.

მჟავა წვიმების გავლენა დაეტყო მყინვარულ ტბებსაც. ალპებში მყინვარული ტბების pH 3,66-მდე შემცირდა. ტბების შემუავეების შედეგად წყლებში შესამჩნევად გაიზარდა Fe^{3+} და Al^{3+} კონცენტრაციები.

ანთროპოგენური ფაქტორების გავლენა მყინვარების ქიმიურ შედგენილობაზე მათში მძიმე ლითონების კონცენტრაციების ნამატადანაც ჩანს. ბუნებრივია, რომ ალპებისა და კავკასიონის მყინვარებში მათი კონცენტრაცია გრენლანდია-ანტარქტიდის მყინვარებთან შედარებით გაზრდილია (ცხრილი 4.3). თავის მხრივ, გრენლანდიის მყინვარებში 1960-1980 წწ. ტყვიის კონცენტრაციამ ხუთჯერ მოიმატა. ცალკეული სამრეწველო ობიექტების ფუნქციონირების შედეგად ყაზახეთისა და კავკასიონის მყინვარებში გაზრდილია თუთიის, ტყვიისა და სხვა ნორმირებული ნივთიერებების კონცენტრაციები. ქვემო სვანეთში სოფ. ცანაში ადრე მოქმედი დარიშხანის სულფიდური მადნების გამოსანეავი საამქროს გამონაბოლქვი აირების გავლენით ახლო მდებარე მყინვარის წყლებში As შემცველობა ფონთან შედარებით 100-ჯერ მაღალი იყო.

ცხრილი 4.3. მძიმე ლითონების შემცველობა მყინვარებში (მკგ/ლ)

ელემენტი	ანტარქტიდა	გრენლანდია	კავკასიონი	ალპები
Cu	0.00 – 0.06	0.70 – 0.90	1.0 – 2.2	0.8 – 3.7
Zn	0.04 – 0.05	0.22 – 1.05	–	2.7
Cd	0.01 – 0.02	0.01 – 0.06	< 0.1	0.1
Pb	0.02 – 0.03	0.14 – 0.62	0.0 – 1.0	2.0

ზედაბალი მინერალიზაციის გამო, ანთროპოგენური ფაქტორების გავლენა მყინვარული წყლების ქიმიურ შედგენილობაზე მკვეთრად აისახება. ამასთან, მათი სპეციფიკურობის გამო, თვითგანმნადის პროცესების სიჩქარე შეზღუდულია. ამიტომ მყინვარების – სუფთა წყლის სტრატეგიული მარაგის დაცვა ტექნოგენური დაბინძურებისაგან პირველხარისხოვანი ამოცანაა.

V. ზედაპირული წყლების ქიმიური შედგენილობა

5.1. წყალი, მისი თავისებურებები, გავრცელება და გამოყენება

სულხან-საბა ორბელიანის განმარტებით – „წყალი არს ერთი ოთხთა კავშირთაგანი, კეთილად დაბადებული ღვთისაგან პირველსა დღესა...“

წყალი ჩვენი პლანეტის ევოლუციის პროდუქტი და მიზეზია, უცნაური და უნიკალური ნივთიერებაა, აქტიური მიგრანტი და უნივერსალური გამხსნელია. წყალი სიცოცხლის არსებობის აუცილებელი წინაპირობაა და შეუცვლელია ჟანგბადივით, ქვეყნის სიმდიდრე, განვითარების და პროგრესის საფუძველია...

წყლის ქიმიური შედგენილობის სიმარტივე მოჩვენებითია, მისი აღნაგობისა და ბუნების რიგი საკითხი ჯერ კიდევ დასადაგენია. გასარკვევია, თუ რატომ არის ფიზიოლოგიურად აქტიური თოვლის ნადნობი წყლები, რატომ იცვლება მაგნიტით ან მაღალი წნევით დამუშავებული წყლის თვისებები, რით აიხსნება მინერალური წყლების სამკურნალო თვისებები, მართლაც აქვს თუ არა წყალს „მახსოვრობა“ და ა.შ.

წყლის უნიკალური და ანომალური თვისებები განპირობებულია მისი უნარით, წყალბადური ბმების ხარჯზე წარმოქმნას სხვადასხვა შედგენილობის და სტრუქტურის ასოციატები. ძნელი წარმოსადგენია, როგორი იქნებოდა ჩვენი პლანეტის იერსახე, წყალი „ჩვეულებრივი“ ნივთიერება რომ ყოფილიყო. მაშინ ის – 90°C გაიყინებოდა და – 70°C ადუღებოდა, ყინული წყალზე მძიმე იქნებოდა და, ბუნებრივია, ჩაიძირებოდა. ამის შედეგად წყალსატევები, ზღვებისა და ოკეანეების ჩათვლით, ყინულოვან მასად იქცეოდა, რომელთა ზედაპირი მხოლოდ ზაფხულობით გალღებოდა; ასოციატები გაცხელებით რომ არ იშლებოდეს, მაშინ წყლის ორთქლი ჰაერზე მძიმე იქნებოდა და მისი ატმოსფერული მიმოქცევა შეუძლებელი გახდებოდა. წყლის

ანომალური თვისებებიდან ასევე აღსანიშნავია მაღალი ხვედრითი თბოტევადობა (რაც არეგულირებს დედამიწის კლიმატს), ლღობისა და აორთქლების ფარული სითბოები და გამორჩეული ზედაპირული დაჭიმულობა.

წყალი სიცოცხლის აკვანია, უჯრედებისა და ქსოვილების აუცილებელი შემადგენელი ნივთიერება, განაპირობებს ცოცხალი ორგანიზმების არსებობას დედამიწაზე. ადამიანის მასის 60-65 % წყალზე მოდის და მისი 10 %-ით გაუწყლოება მწვავე ინტოქსიკაციას იწვევს, 20 % დანაკარგი კი – სიკედილს. რამდენი წყალი სჭირდება ადამიანს? მისი აუცილებელი ფიზიოლოგიური ნორმა დღე-ღამეში 2-3 ლიტრია, რეალური ხარჯი კი 220-500 ლ შეადგენს. სპეციალისტების შეფასებით მსოფლიოში სასმელი წყლის საერთო წლიური ხარჯი 500 კმ³ შეადგენს.

წყალი ბუნებაში ყველაზე გავრცელებული და პრაქტიკულად ერთადერთი ნივთიერებაა, რომელიც სამივე აგრეგატულ მდგომარეობაში გვხვდება. დედამიწაზე 1,40 10¹⁸ ტ წყალია, რომლის 94 % ზღვებზე და ოკეანეებზე მოდის. მტკნარი წყლების ნილი არქტიკა-ანტარქტიდის ყინულების გამოკლებით, უმნიშვნელოა (ცხრილი 5.1). წყალი არის კოსმოსშიც, რასაც ადასტურებს ყინულის მეტეორიტების არსებობა.

ცხრილი 5.1. ბუნებრივი წყლების მარაგი

წყლები	ათასი კმ ³	%	წყლები	ათასი კმ ³	%
მსოფლიო ოკეანე	1 370 323	93.96	ნიადაგის ტენი	85	0.006
მინისქვეშა წყლები	60 000	4.12	ატმოსფეროს ტენი	14	0.001
მყინვარები	24 000	1.65	მდინარეები	1.2	0.0001
ტბები, წყალსაცავები	280	0.019			

მტკნარი წყლის პოტენციური მარაგის ძირითადი განმსაზღვრელია მდინარეები, რომლებიც, თავის მხრივ, ატმოსფერული ნალექ-

ბით იკვებებიან და ამიტომ განახლებად რესურსთა კატეგორიას მიეკუთვნებიან. მდინარის ერთ-ერთი ძირითადი მახასიათებელია წყლის ხარჯი (ჩამონადენი), რომელიც უჩვენებს დროის ერთეულში (წამი, წელიწადი) გატანილი წყლის მოცულობას. მსოფლიოს მდინარეების საშუალო წლიური ჩამონადენი 35560 კმ³ შეადგენს, რომლის 11 % ამაზონზე მოდის. ყოფილი სსრკ ტერიტორიიდან მდინარეებს ყოველწლიურად 4384 კმ³ წყალი გაჰქონდათ, მათ შორის საქართველოდან – 57 კმ³. ზოგიერთი მდინარის საშუალო წლიური ჩამონადენი მოტანილია 5.2 ცხრილში.

პლანეტის ერთ მცხოვრებზე წელიწადში საშუალოდ 11000 მ³ მტკნარი წყალი მოდის, რაც საეპარისზე მეტია, მაგრამ წყლის რესურსები ძალზე არათანაბრად არის განაწილებული (ცხრილი 5.3). მიუხედავად ამისა, კაცობრიობას ემუქრება არა მტკნარი, არამედ მტკნარი სუფთა წყლის დეფიციტი. ცნობილია, რომ მოხმარებული წყლის ნახევარზე მეტი დაბინძურებული სახით უბრუნდება ბუნებას, ამასთან, 1 ტ ჩამდინარე წყალს 5-7 და მეტი ტონა სუფთა წყლის დაბინძურება შეუძლია.

ცხრილი 5.2. ზოგიერთი მდინარის ჰიდროლოგიური და ჰიდროქიმიური მახასიათებელი

მდინარე	წლიური ჩამონადენი, კმ ³	Σi, მგ/ლ	წლიური იონური განატანი	
			მლნ. ტ	ტ/კმ ²
რიონი	12.8	214	2.85	214
მტკვარი (თბილისი)	7.1	310	1.98	94
თერგი (სტეფანწმინდა)	0.75	342	0.16	201
ვოლგა	258	211	54.4	42
დნეპრი	45.9	166	7.64	17
ამაზონი	3900	47	183	25

**ცხრილი 5.3. მტკნარი წყლის წლიური მარაგი
ერთ სულ მოსახლეზე (ათასი მ³)**

კონტინენტი	წლიური მარაგი	ქვეყანა	წლიური მარაგი
ევროპა	5.18	კანადა	128
აზია	7.94	რუსეთი	31.9
აფრიკა	13.67	საქართველო	12.8
ჩრდ. ამერიკა	26.17	აშშ	11.4
სამხ. ამერიკა	74.68	აზერბაიჯანი	5.49
ავსტრალია	12.9	სომხეთი	3.44
მსოფლიო	11.0	ინდოეთი	3.10

წყლის ხარჯვის სტრუქტურა დამოკიდებულია ქვეყნის განვითარების დონეზე და კლიმატზე. მისი ძირითადი მომხმარებელი სოფლის მეურნეობა და მრეწველობაა. ყოფილ სსრკ-ში სოფლის მეურნეობაში იხარჯებოდა წყლის 54 %, მრეწველობაში – 31 %, კომუნალურ მეურნეობაში 4 %. საქართველოში შესაბამისად 28, 54 და 15 %. ერთი ტონა ხორბლის, ბრინჯის და ბამბის მოსაყვანად საშუალოდ 1500, 7000 და 10000 ტ წყალი იხარჯება. წყლის ხარჯვის მასშტაბებით გამოირჩევა მრეწველობის ზოგიერთი დარგი. ერთი ტონა თუჯის წარმოებაზე 105-200 ტ, ხოლო სინთეზური ბოჭკოსა და კაუჩუკის მისაღებად 500-3000 ტ წყალია საჭირო. ერთ სულ მოსახლეზე წყლის საერთო საშუალო დღელამური ხარჯი მსოფლიოში 2 ტ შეადგენს, რომელიც წლიურად 3-4 %-ით იზრდება. შესაბამისად იზრდება ჩამდინარე წყლების ნაკადების სიმძლავრე და მათი დაბინძურების ხარისხი, მცირდება დარჩენილი მტკნარი წყლის მარაგი. დღეს მსოფლიოს ბევრი ქვეყანა სასმელი წყლის მწევზე დეფიციტს განიცდის. წყალი საერთაშორისო დავის და ექსპორტ-იმპორტის ერთ-ერთი ძირითადი საგანი გახდა. ასეული კმ სიგრძის წყალგაყვანილობა ან 100-150 მ სიღმის ჭები ჩვეულებრივი მოვლენაა. სამხრეთის ზონაში (კუვეიტი, გაერთიანებული ემირატები და სხვა)

სასმელი წყლის წარმოებამ მლაშე წყლების გამტკნარებით ფართო მასშტაბები მიიღო. ამჟამად მსოფლიოში სხვადასხვა ტიპის ათასზე მეტი წყლის გამამტკნარებელი დანადგარი მუშაობს. როგორც უკვე აღნიშნული იყო, დღის წესრიგში დგება ამ ქვეყნებში აისბერგების ტრანსპორტირების საკითხი.

5.2. ზედაპირული წყლების ჰიდროქიმია -

ზედაპირული წყლები (მდინარეები, ტბები, წყალსაცავები) მტკნარი წყლის ძირითადი, რეალური, განახლებადი რესურსია. მათი მინერალიზაცია და ქიმიური შედგენილობა ფართო ზღვრებში იცვლება. გახსნილი ნივთიერებების რაოდენობის მიხედვით (მგ/ლ-ით) არჩევენ მცირედ (< 200), საშუალო ($200-500$), ზომიერ ($500-1000$) და მაღალ (> 1000) მინერალიზაციის მქონე წყლებს. ჩვეულებრივ ზედაპირულ წყლებს აქვთ მცირე და საშუალო მინერალიზაცია (ცხრილები 5.2; 5.4 და 5.5). პლანეტის მდინარეების საშუალო მინერალიზაცია 106 მგ/ლ ტოლია.

მდინარეების წყლის შედარებით დაბალი მინერალიზაცია აიხსნება მათ ბალანსში ატმოსფერული ნალექების (მაღალმთიან რეგიონებში კი მყინვარული წყლების) მნიშვნელოვანი წილით. გარდა ამისა, მდინარეების ქიმიური შედგენილობის ფორმირების თავისებურებაა წყლის სწრაფი ცვლა და მისი კონტაქტი უკვე გამოფიტულ და გამორეცხილ ქანებთან.

ბუნებრივი წყლების გენეზისის, ბუნების და ხარისხის ერთ-ერთი ძირითადი მაჩვენებელი არის pH, რომელიც ბუნებრივი თუ ანთროპოგენური ფაქტორების მიხედვით საკმაოდ ცვლადია (ცხრილი 3.11). წყლის pH განსაზღვრავს ჟანგვა-აღდგენით პოტენციალს და ფაზურ ნონასწორობას, კომპლექსწარმოქმნის პროცესებს, ელემენტთა მიგრაციის ფორმებს. მასზეა დამოკიდებული წყლის თვითგანმენდის უნარი და სისრულე. ამიტომ გარემოს მონიტორინგის პროგრამებში pH კონტროლს დიდი ყურადღება ექცევა.

**ცხრილი 5.4. ზედაპირულ წყლებში მთავარი იონების საშუალო
ჯამური კონცენტრაცია (მგ/ლ)**

კონტინენტი	Σi	მდინარე	Σi	ტბა	Σi
ევროპა	171	ამაზონი	47	ბაიკალი	91
აზია	130	ნილოსი	138	ლადოგი	90
აფრიკა	96	მისისიპი	284	მიჩიგანი	107
ჩრდ. ამერიკა	132	კოლორადო	321	სევანი	662
სამხ. ამერიკა	55	დუნაი	331	ფარავანი	71
ავსტრალია	55	ენისეი	106	რინა	50

საქართველოს ზედაპირული წყლების Σi $n \cdot 10 - n \cdot 100$ მგ/ლ ფარგლებშია, თუმცა ძირითადად 100-300 მგ/ლ შეადგენს (ცხრილი 5.5). როგორც მოსალოდნელი იყო, Σi გაზრდით კარბონატული წყლები გადადიან კარბონატულ-სულფატურში და სულფატურში. სულფატური კლასის, შედარებით მინერალიზებული წყლები, დამახასიათებელია აღმოსავლეთ საქართველოს მშრალი კლიმატის ზონისათვის. Σi საშუალო მაქსიმალური მნიშვნელობები (750-900 მგ/ლ) აღინიშნება მდ. ალგეთსა და ვერეში. ულტრამტკნარ წყლებს მიეკუთვნებიან მყინვარული მდინარეები (საშუალო Σi 30 მგ/ლ, ცხრილი 4.1).

არსებული ფაქტობრივი მასალის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ბოლო საუკუნის მანძილზე მდ. არაგვისა და, განსაკუთრებით, მტკვრის Σi რამდენადმე გაიზარდა. ეს ცვლილება ლოგიკურია, რადგან ამ პერიოდში შესამჩნევად გაიზარდა რეგიონის ანთროპოგენური დატვირთვა და შემცირდა მდინარეების წყლის ხარჯი. ადვილი შესამჩნევია საპირისპირო მოვლენაც: თანდათან გამტკნარდა სამგორის წყალსაცავი, რომელიც იკვებება მდ. ივრის წყლით და ადრე მარილიანი ტბების ქვაბულს წარმოადგენდა. ანთროპოგენური ფაქტორების გავლენა მკვეთრად აისახება მდ. მტკვრის მინერალიზაციაზეც. Σi ნამატი თბილის-გარდაბნის უბანზე 2-3-ჯერ მეტია, მდინარის სხვა მონაკვეთებთან შედარებით. ამის ერთ-ერთი მიზეზია ძლიერ დაბინძურებული ქალაქის ნიაღვრის წყლები.

**ცხრილი 5.5. საქართველოს ზედაპირული წყლების ქიმიური
შედგენილობა**

ობიექტები	pH	მგ/ლ						
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Σi
მდინარეები								
რიონი-ონი	7.95	3.2	15.4	124	5.2	30.8	8.8	187
რიონი-ფოთი	8.00	9.3	21.1	139	9.5	38.3	9.0	226
არაგვი-მცხეთა	8.11	9.8	31.5	166	14.6	40.4	11.4	274
მტკვარი-თბილისი	8.07	12.2	49.6	165	21.9	44.6	12.3	306
წყალსაცავები								
სიონის	8.12	1.9	17.8	141	6.1	37.9	6.7	211
ჟინვალის	8.29	7.0	15.9	145	8.7	40.0	6.9	224
სამგორის	8.28	9.1	56.8	159	19.9	44.9	13.4	303
ტბები								
რინა	7.63	2.0	5.7	28.4	4.3	6.7	1.7	48.8
ფარავანი	7.38	2.0	8.2	40.2	8.1	7.7	2.1	68.3
ბაზალეთი	8.06	6.8	24.5	300	52.2	32.5	20.9	437
ლისი	7.84	352	526	423	308	82	127	18.18

დინების მიმართულებით (სხვაგვარად, აუზის საშუალო აბსოლუტური სიმაღლის შემცირებით) მდინარის წყლის მინერალიზაცია კანონზომიერად იზრდება (ცხრილი 5.6). უკუკავშირი Σi და h შორის, ბუნებრივი ფაქტორების გარდა, განპირობებულია ამ მიმართულებით ანთროპოგენური დატვირთვის ზრდით.

მდინარეების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მახასიათებელია აუზიდან, ან ერთი კმ²-დან, ერთი წლის მანძილზე გატანილი ნივთიერებების რაოდენობა. როგორც 5.2 ცხრილში მოტანილი მასალიდან ჩანს,

ქანების და ნიადაგების გამორეცხვის პროცესები საქართველოს ტერიტორიაზე საკმაოდ ინტენსიურია.

ცხრილი 5.6. საქართველოს მდინარეების ქიმიური შედგენილობის დამოკიდებულება აუზის საშუალო აბსოლუტურ სიმაღლეზე (h)

h, კმ	pH	მგ/ლ							
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Σi
<1.0	7.89	17.0	98.3	170	26.3	2.0	57.8	15.6	387
1.0 – 1.5	7.96	8.2	50.1	138	12.3	1.7	42.5	10.7	263
1.5 – 2.0	7.92	7.0	27.9	127	14.1	1.7	32.7	8.4	219
2.0 – 2.5	7.77	3.4	14.5	116	9.7	1.6	22.3	7.7	175
2.5 – 3.0	7.51	3.4	8.5	74	7.8	1.1	20.1	4.5	120
3.0 – 3.5	7.46	1.9	12.5	67	7.3	0.7	14.8	4.0	109
>3.5	6.90	0.3	4.1	16	1.8	0.5	4.2	2.0	29

საქართველოს ზედაპირული წყლები მიკროელემენტური შედგენილობით არ განსხვავდებიან სხვა რეგიონებისაგან. ანიონოგენური ელემენტების (F, B, Mo, As) გამოკლებით მიკროელემენტების 80-99 % მდინარეების მიერ ტრანსპორტირდება შეტივენარებული სახით (ცხრილი 5.7)

გახსნილი ორგანული ნივთიერებებით საქართველოს ზედაპირული წყლები ღარიბია (ცხრილი 5.8), რაც დამახასიათებელია მთის რეგიონებისათვის. საქართველოს მდინარეებში, განსაკუთრებით მთისა და მაღალი მთის ზონაში, დაბალია ბიოგენური ნივთიერებების კონცენტრაცია. ამ მხრივ გამოწვეულია NO₃⁻, რომლის შემცველობა ბარის მდინარეებში 2-3 მგ/ლ შეადგენს. NH₄⁺-ის კონცენტრაცია მნიშვნელოვნად მატულობს მდ. მტკვარში თბილისის ქვემოთ, მიზეზი – საყოფაცხოვრებო-კომუნალური წყლებია.

ცხრილი 5.7. მიკროელემენტები საქართველოს ზედაპირულ წყლებში

ელემენტი	წყალში, მკგ/ლ			ნატანში, მკგ/გ		
	მინიმუმი	მაქსიმუმი	საშუალო	მინიმუმი	მაქსიმუმი	საშუალო
F	10	330	110	340	580	450
B	6	46	22	71	116	113
Br	1.6	43	16	-	-	-
I	3.8	16	10	2	8	5
As	0.6	4	2.5	6	29	15
Ba	9	107	61	514	702	550
Ag	0.0	0.3	0.1	0.2	3.4	0.9
Cu	1.6	7.5	5.0	41	166	97
Zn	3.0	16	11	82	246	150
Cr	0.4	2.1	1.1	53	86	68
Pb	0.0	7.0	0.9	7	308	66
Mn*	6.0	22	17	0.12	4.48	0.97
Ni	1.3	6.6	3.9	32	81	55

* – ნატანში გ/კგ

ცხრილი 5.8. ორგანული ნივთიერებები საქართველოს ზედაპირულ წყლებში

პარამეტრი, ნივთიერება	განზომილება	მდინარეები	წყალსაცავები
პერმანგანატური ჟანგვადობა	მგ ⁰ /ლ	0.5 – 5.0	1.8 – 5
ბიქრომატული ჟანგვადობა	მგ ⁰ /ლ	1.6 – 10.6	10.1 – 12.7
C _{org}	მგ/ლ	1.8 – 2.9	2.8 – 3.2

პარამეტრი, ნივთიერება	განზომილება	მდინარეები	წყალსაცავები
$N_{ორგ}$	მგ/ლ	0.40 – 0.78	0.47 – 0.66
$P_{ორგ}$	მკგ/ლ	11 – 17	12 – 19
ამინიმუალები	მკგ/ლ	14 – 29	21 – 38
ამინები	მკგ/ლ	4 – 10	3 – 12
შაქრები	მგ/ლ	0.36	0.27 – 0.53

5.3. ტივტივა ნატანი და ფსკერული ნალექები

ბუნებრივი წყლები ჰეტეროგენული სისტემებია. დისპერსული ფაზა ჩვეულებრივ წარმოდგენილია ნიადაგების და ქანების ეროზიის პროდუქტებით, აგრეთვე ბიოგენური (პლანქტონი და სხვა), ქემოგენური (კარბონატები, ჰიდროქსიდები) და ანთროპოგენური ნივთიერებებით.

ზედაპირულ წყლებში შეტივენარებული ნივთიერებების კონცენტრაცია (წყლის სიმღვრივე, Q) $0 - n 10$ გ/ლ ფარგლებში მერყეობს, ჩვეულებრივ კი ნაკლებია 1 გ/ლ. საქართველოს მდინარეების საშუალო სიმღვრივე $0,65$ გ/ლ ტოლია და ახლოსაა მსოფლიო საშუალოსთან ($0,5$ გ/ლ). შეტივენარებული სახით მდინარეებს მსოფლიო ოკეანეში 6 -ჯერ მეტი ნივთიერება შეაქვთ გახსნილ ფორმებთან შედარებით (შესაბამისად $1,85 \cdot 10^{10}$ და $3,2 \cdot 10^7$ ტ).

შეტივენარებული ნივთიერებების (ტივტივა ნატანის) ნაწილაკების ზომა ძირითადად $0,001-0,01$ მმ ფარგლებში იცვლება. აქედან გამომდინარე, ერთ ლიტრ წყალში შეტივენარებული ნივთიერებების ზედაპირის საერთო ფართი $10-120$ მ² ფარგლებში იცვლება, რაც განაპირობებს მათ აქტიურ მონაწილეობას ზედაპირულ პროცესებში.

ეროზიული პროცესების ინტენსიფიკაციისა და მდინარის ტურბულენტობის ზრდის გამო წყლის სიმღვრივე შესამჩნევად მატულობს წყალდიდობის პერიოდში, აგრეთვე მდინარის აუზის სიმაღლის გაზრდით (ცხრილი 5.9). ამ პარამეტრზე სულ უფრო მზარდ გავლენას ახდენს ანთროპოგენური ფაქტორებიც. კონკრეტულ მაგალითად გამოდგებიან მდ. ყვირილა, გალიძგა, ჯეჯორა და სხვა. ურბანი-

ზაციის შედეგად აშშ ზოგიერთ რაიონში მექანიკური დენუდაცია 200 ტ/კმ²-დან 800 ტ/კმ²-მდე გაიზარდა. ნამატი განსაკუთრებით ძლიერია მოქმედი ღია კარიერების რაიონებში.

ტივტივა ნატანის მაკროქიმიური შედგენილობა დამოკიდებულია მდინარის აუზის ლითოლოგიაზე, აბსოლუტურ სიმაღლეზე და წყლის სიმღვრივეზე (ცხრილი 5.9). სიმაღლისა და წყლის სიმღვრივის გაზრდით ნატანში იზრდება SiO₂ შემცველობა და მცირდება თიხამინერალებისათვის დამახასიათებელი ნივთიერებების (Al₂O₃, Fe₂O₃ და სხვ.) წილი.

ცხრილი 5.9. წყლის სიმღვრივის (Q) და ნატანის ქიმიური შედგენილობის (%) დამოკიდებულება საქართველოს მდინარეების აუზის საშუალო აბსოლუტურ სიმაღლეზე (h)

h, კმ	Q, მგ/ლ	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
<1.0	70	49.34	17.23	6.54	5.73	2.81	2.12	2.42
1.0 – 1.5	470	51.91	16.92	6.60	6.68	2.75	2.14	2.37
1.5 – 2.0	607	53.08	16.19	6.97	6.64	2.72	2.06	2.33
2.0 – 2.5	310	54.03	15.63	5.99	7.26	2.67	2.30	2.29
2.5 – 3.0	502	63.50	13.55	4.39	4.20	2.02	2.53	2.06
>3.0	3200	67.30	11.74	3.90	3.61	2.00	2.67	1.87

ტივტივა ნატანი და ფსკერული ნალექები ზედაპირულ წყლებში გახსნილი ნივთიერებების ერთ-ერთი წყაროა. ისინი ახლად დაქუცმაცებული ნივთიერებებია, რომელთა გამოტუტვისათვის შეტად ხელსაყრელი პირობებია შექმნილი (დიდი ხვედრითი ზედაპირი, ინტენსიური შერევა). გაფხვიერებული ქანებიდან მომზადებული სუსპენზიების წყალფაზაში გახსნილი ნივთიერებების კონცენტრაცია n'10 მგ/ლ შეადგენს, რაც ექსპერიმენტულად ამტკიცებს ნატანის წამყვან როლს ზედაპირული წყლების ქიმიური შედგენილობის ფორმირებაში.

ტივტივა ნატანი, დიდი ხვედრითი ზედაპირის (n'10 – n'100 მ²/გ), მათში თიხამინერალების, მეტალთა ჰიდროქსიდების და ორგანომინერალური ნაწილაკების არსებობის გამო, კარგი სორბენტებია. ამიტომ ისინი აქტიურ მონაწილეობას ლეხულობენ წყლებში მიმდინარე

თვითგანმენდის პროცესებში. ძირითადად სორბციული პროცესების გამო ტივტივა ნატანები ქანებთან შედარებით 2-10-ჯერ გამდიდრებული არიან კარგად სორბირებადი ელემენტებით (Ag, Cu, Zn, Pb და სხვა; ცხრილი 5.7). შედარებით მცირე ხვედრითი ზედაპირისა და თიხამინერალების ნაკლები შემცველობის გამო, ფსკერული ნალექების სორბციული ტევადობა ნატანთან შედარებით მცირეა.

მძიმე ლითონებით გამდიდრებული ტივტივა ნატანი შესაძლოა ზედაპირული წყლების დაბინძურების მიზეზი გახდეს. კერძოდ, თუ გაიზრდება წყლის მჟავიანობა ან იონური ძალა, ლითონების ადვილად მოძრავი სორბირებული ფორმა გადავა წყალფაზაში. ეს პროცესი შეიმჩნევა მდ. ჭოროხის შესართავში. ნაპირიდან დაცილებით იზრდება წყლის მარილიანობა, ტივტივა ნატანში კი კლებულობს ტყვიის, მანგანუმის და სხვა მიკროელემენტის შემცველობა.

ნატანისა და ფსკერული ნალექების ტექნოგენური დაბინძურების მაგალითია მდ. ყვირილა, რომლის ნატანში MnO_2 -ის შემცველობა რამდენიმე % აღწევდა. დარიშხანით იყო დაბინძურებული მდ. ლუხუნის ნატანი და ფსკერული ნალექები, სპილენძით – მდ. კაზრეთულასა და დებედას მყარი ფაზა.

ქვეყნებს შორის ეკოდიპლომატიის ერთ-ერთი საგანია ტრანზიტული მდინარეები. მდ. მტკვარი 3 ქვეყნის ტერიტორიაზე მიედინება, მეკონგი – 5, დუნაი – 12. ტრადიციულ სადავო საკითხს (ამა თუ იმ მიზნით გამოყენებული წყლის რაოდენობა) დაემატა უფრო მწვავე პრობლემა – მდინარეების დაბინძურება დინების ზედა ნაწილში მდებარე ქვეყნების მიერ.

5.4. ანთროპოგენური ფაქტორების გავლენა წყლის ხარისხზე

სუფთა მტკნარი წყალი ჯანმრთელობის წინაპირობაა. ჯანმრთელობის დაცვის საერთაშორისო ორგანიზაციის მონაცემებით, დაავადებების 80 % მიზეზი სასმელი წყლის უკმარისობა, ან უვარგისობაა. წყლის ბაქტერიოლოგიური დაბინძურება ბევრჯერ გამხდარა ინფექციური დაავადებების პანდემიის მიზეზი.

ადამიანის ჯანმრთელობაზე დიდ გავლენას ახდენს წყლის ქიმიური შედგენილობაც. სასმელად მინერალიზებული წყლის ხანგრძლი-

ვი გამოყენება იწვევს ნეფრიტს, კალციუმის მოჭარბებული შემცველობა კენჭოვან დაავადებას. წყალში I⁻ და F⁻ კონცენტრაციები განაპირობებენ ენდემური ჩიყვის და კარიესის დაავადებებს. მჭიდრო კავშირი აღმოჩნდა გულის იშემიურ დაავადებებსა და წყლის სიხისტეს შორის. კალციუმის ნაკლებობის შემთხვევაში მათი რიცხვი 20-40 %-ით იზრდება.

გარკვეულ მოთხოვნებს უნდა აკმაყოფილებდეს „ტექნიკური“ წყალიც. შაქრის, ლუდის და სხვა სასმელების წარმოებაში შეზღუდულია მინერალიზებული და კალციუმით გამდიდრებული წყლების გამოყენება. საფეიქრო მრეწველობისათვის უფარგისია რკინის შემცველი წყლები. თუ სარწყავ წყლებში $\Sigma i > 1-2$ გ/ლ, მოსალოდნელია ნიადაგის დამლაშება და ა.შ.

ზედაპირული წყლების ანთროპოგენური დაბინძურების ძირითადი მიზეზი საყოფაცხოვრებო-კომუნალური და სამრეწველო ჩამდინარე წყლებია (2.3; 2.6). მათი გავლენა განსაკუთრებით მკვეთრად აისახება ტექნო-ურბანიზებული რაიონების პატარა მდინარეებზე (იაუზა – მოსკოვი, ვერე – თბილისი და სხვა). გასული საუკუნის 40-50-იან წლებში მდინარეების დაბინძურებამ კატასტროფული ხასიათი მიიღო. მდ. ტემზის ქვედა დინებაში გაქრა გახსნილი ჟანგბადი, გაჩნდა გოგირდწყალბადიანი ზონები; მდ. რაინი საკანალიზაციო არხად იქცა და ა.შ. მოგვიანებით „მწვანეთა“ და სხვა ორგანიზაციების ინიციატივით გატარებული ღონისძიებების შედეგად მდგომარეობა შესამჩნევად გამოკეთდა. მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ მდ. მოსკოვი, სადაც ისევ გაჩნდა თევზი და შესაძლებელი გახდა ბანაობა.

წყლის დაბინძურების შედეგად იცვლება მისი ფიზიკური თვისებები (ფერი, სუნი, სიმღვრივე), ქიმიური შედგენილობა (ორგანული და ბიოგენური ნივთიერებები, მძიმე ლითონები და სხვა), მიკროფლორა (ცხრილი 5.10). წყლის ბაქტერიოლოგიურ სისუფთავეს აფასებენ ნაწლავის ჩხირების (*Escherchia coli*) რაოდენობით 1 ლ წყალში (კოლი-ინდექსი), ან წყლის მოცულობით, რომელიც ერთ ჩხირს შეიცავს (კოლი-ტიტრი). კოლი-ინდექსის მაღალი (ან კოლი-ტიტრის დაბალი) მნიშვნელობა წყლის ფეკალური დაბინძურების მაჩვენებელია.

**ცხრილი 5.10. წყალსატევების დაბინძურების ხარისხის
მაჩვენებლები**

დაბინძურების ხარისხი	კოლი-ინდექსი	O ₂ , მგ/ლ	ჟანგვადობა, მგ/ლ	NH ₄ ⁺ , მგ/ლ
ძალიან სუფთა	<10	9 – 14	<1	<0.1
სუფთა	<10 ²	8 – 12	2	<0.3
დაბინძურებული				
მცირედ	<10 ³	6 – 10	3	<0.5
ზომიერად	<10 ⁴	4 – 5	4	<1
საკმაოდ	<10 ⁵	1 – 3	5 – 15	<3
ძლიერ	<10 ⁶	0	>15	<3

ჰიდროსფეროში მოხვედრილი ანთროპოგენური ნივთიერებები ქიმიური, ფიზიკურ-ქიმიური და ბიოლოგიური პროცესების შედეგად, იშვიათი გამონაკლისით, ტრანსფორმირდებიან არატოქსიკურ ნაერთებად. ორგანული და ბიოგენური ნივთიერებები იჟანგება, ან მოიხმარება ცოცხალი ორგანიზმების მიერ. მძიმე ლოთონები ჰიდროლიზდება და სორბირდება ტივტივა ნატანზე. ამ და სხვა პროცესების შედეგად, რომელიც ცნობილია თვითგანმენდის სახელით, წყალი მეტ-ნაკლებად იბრუნებს საწყის ქიმიურ და ბაქტერიოლოგიურ შედგენილობას.

თვითგანმენდის პროცესები განსაკუთრებით ინტენსიურად მიმდინარეობს მთის მდინარეებში. ამას ხელს უწყობს მათი ტურბულენტური დინება და კარგი აერაცია. გარდა ამისა, გაზრდილი სიმღვრივე ხელსაყრელ პირობებს ქმნის წყლის სორბციული განმენდისათვის.

VI. მიწისქვეშა წყლების ჰიდროქიმია

6.1. მიწისქვეშა წყლები, მათი ფორმირება და შედგენილობა

მიწისქვეშა წყლები დედამიწის სიღრმეში ატმოსფერული და ზედაპირული წყლების ინფილტრაციის, ან ორთქლის კონდენსაციის პროდუქტია. ვარაუდობენ, რომ მათი ნაწილი სიღრმული წარმოშობისაა და მანტიის დეგაზაციასთან არის დაკავშირებული (იუვენილური წყლები). ამ მოსაზრებას ადასტურებს წყლის ორთქლის მაღალი შემცველობა (6-8 %) ვულკანურ აირებში. ქანებში წყალი შეიძლება იყოს თხევად, სორბირებულ, კაპილარებში კონდენსირებულ და სხვა მდგომარეობაში. წყალი საკმაო რაოდენობით გვხვდება კრისტალ-ჰიდრატების შემადგენლობაშიც. ჰიდროსფეროს საერთო ბალანსში მიწისქვეშა წყლებზე მოდის 4,12 % (ცხრილი 5.12).

მიწისქვეშა წყლებით იკვებება მდინარეები, ფართოდაა გამოყენებული წყალმომარაგებაში, ქიმიურ ნედლეულად NaCl , Br_2 , I_2 , B , Li და სხვ. მისაღებად, ბალნეოლოგიაში, თბოენერგეტიკაში და ა.შ. მართო ცაიშის თერმული წყლების წლიური ენერგია 7400 ტ ქვანახშირის ეკვივალენტურია. ევროპის წყალმომარაგების 65 % მიწისქვეშა წყლებზე მოდის. თბილისი პრაქტიკულად მთლიანად მარაგდება მაღალხარისხოვანი ფილტრატებით (ცხრილი 6.1).

ცხრილი 6.1. თბილისის წყალმომარაგების (ბურღილების) ქიმიური შედგენილობა

ობიექტი	pH	მგ/ლ						
		Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Σ
ნატახტარი	7.83	4.6	26.2	176	7.2	44.7	10.9	270
ბულაჩაური	7.80	4.8	27.0	180	8.2	45.8	11.0	277
მუხრანის ველი	7.84	4.4	22.7	210	8.2	52.5	12.0	320

მინისქვეშა წყლები საინტერესო ინფორმაციას შეიცავენ მათთან კონტაქტში მყოფი ქანების ბუნებაზე და მადნეულის ძიების გეოქიმიური მეთოდის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ობიექტია. მინისქვეშა წყლების ჰიდროქიმიური პარამეტრების ცვალებადობაზეა დაფუძნებული მინისძვრების პროგნოზირების ერთ-ერთი მეთოდი. როგორც ირკვევა, მინისძვრის წინა პერიოდში, ტექტონიკური მოვლენების ინტენსიური განვითარების შედეგად, შესამჩნევად იცვლება მინისქვეშა წყლების ტემპერატურა, pH, HCO_3^- , Si, გახსნილი აირების და ზოგიერთი მიკროელემენტის (F, Hg, U) კონცენტრაცია.

მინისქვეშა წყლების ფორმირების თავისებურება აისახება ქიმიურ შედგენილობაში. ზედაპირული წყლებისაგან განსხვავებით მათ მჭიდრო კავშირი აქვთ ქანებთან, რაც განაპირობებს რთულ მიკროელემენტურ შედგენილობას და ზოგ შემთხვევაში ძალზე მაღალ მინერალიზაციას (600-650 გ/კგ). ამ პარამეტრით მათ მხოლოდ მარილიანი ტბები შეედრება. რთულია მინისქვეშა წყლების აიროვანი შედგენილობაც, რომლებიც შეიძლება იყოს ატმოსფერული (O_2 , N_2 , CO_2 , Ar), ბიოქიმიური (CH_4 , CO_2 , H_2S) და რადიოაქტიური (He, Ne) წარმოშობის.

მინისქვეშა წყლებისათვის დამახასიათებელია მკვეთრი ფენობრივი იზოლაცია: ზედა – აქტიური მიმოცვლის, საშუალო – გაძნელებული მიმოცვლის და ქვედა – პრაქტიკულად უძრავი ფენები. ამასთან, ტემპერატურის, წნევის და ჟანგბადის კონცენტრაციის მკვეთრი ცვლილება, აგრეთვე ბიოგენური პროცესების დამუხრუჭება სიღრმის მიხედვით, შესამჩნევად ცვლის მინისქვეშა წყლების ბუნებას და განაპირობებს მათ ფენობრივ სახესხვაობებს. მინისქვეშა წყლების სხვა თავისებურებებიდან აღსანიშნავია მათი ქიმიური შედგენილობის სტაბილურობა. ამ კანონზომიერებებიდან გამონაკლისია გრუნტის წყლები, რომლებიც ცირკულირებენ პირველი წყალგაუმტარი ფენის ზემოთ და რომელთა შედგენილობა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული რეგიონის კლიმატზე.

წყალმომარაგების თვალსაზრისით საინტერესოა არტეზიული და კარსტული წყლები. არტეზიული წყლები ზედაპირიდან შედარებით ღრმადაა, იზოლირებულია წყალგაუმტარი ფენებით და გაბურღვის შემთხვევაში თვითდინებით ამოდიან ზედაპირზე. კარსტული წყლების ბუნება დამოკიდებულია კარსტწარმოქმნელი ქანების (კარ-

ბონატები, თაბაშირი, პალიტი) გვარობაზე. კარსტული წარმონაქმნებით და კარსტული წყლების სიუხვით გამოირჩევა დასავლეთ საქართველო. ზოგიერთი მათგანის ქიმიური შედგენილობა მოცემულია ცხრილში 6.2.

სხვა რეგიონებთან შედარებით ზემო იმერეთის (ჭიათურა, საჩხერე) კარსტული წყლების მინერალიზაცია მაღალია. სხვა ფაქტორებთან ერთად ამის მიზეზია ღია კარიერების სიმრავლე და გაფხვიერებული ქანებიდან ფილტრაციული წყლებით მარილების (ძირითადად თაბაშირი) გამორეცხვის სიადვილე.

ცხრილი 6.2. საქართველოს კარსტული წყალნაკადების ქიმიური შედგენილობა

რეგიონი	pH	მგ/ლ						
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Σi
აფხაზეთი	7.5	0.4	4.9	105	8.8	21.0	3.5	145
იმერეთი	7.8	1.3	6.0	155	4.4	41.8	5.7	214
ზემო იმერეთი	7.1	10.8	257	261	18.3	112	45.1	704
ლეჩხუმი	7.1	0.6	4.0	245	14.4	7.1	60.7	337

მინისქვეშა წყლების ხანგრძლივი, ინტენსიური გამოყენების შედეგად შეიმჩნევა გრუნტის დაწევა. ამის გამო სერიოზული პრობლემები შეიქმნა ვენეციაში, მეხიკოში და მსოფლიოს ზოგიერთ სხვა კუთხეში.

6.2. მინერალური წყლები

მინისქვეშა წყლებს, რომლებიც გამოირჩევიან ტემპერატურით, თავისებური ქიმიური შედგენილობით (pH, Σi, მიკრო- და რადიაქტიური ელემენტები, გახსნილი აირები; ცხრილი 6.3) და ფიზიოლოგიური აქტივობით, მინერალური წყლები ეწოდებათ. განმარტება პირობითია, რადგან ჩამოთვლილი პარამეტრების რა მნიშვნელობის ზემოთ შეიძლება წყალი მივაკუთვნოთ მინერალურს, საკამათოა. ასევე საკამათოა „ფიზიოლოგიური აქტივობის“ არსი, რადგან მისი ექსპერიმენტული განსაზღვრის მეთოდები დასახვეწია. რაც მთავარია, ჯერ კიდევ დასადგენია მინერალური წყლების ფიზიკური და ქიმიუ-

რი პარამეტრები, რომლებიც განაპირობებენ წყლის სამკურნალო თვისებებს. ამ თვალსაზრისით განმსაზღვრელ ფაქტორად მიაჩნდათ წყლის მიკროელემენტური შედგენილობა, მოგვიანებით კი მათი შემცველობის ფორმები. გაუგებარი რჩებოდა, თუ რამდენიმე საათში რატომ კარგავდა წყალი სამკურნალო თვისებებს მაშინაც კი, როცა მისი ქიმიური შედგენილობა არ იცვლებოდა. ასევე უშედეგოდ დამთავრდა ხელოვნურად მომზადებული მინერალური წყლების სამკურნალოდ გამოყენების ცდები. ბალნეოთერაპიული მიზნით პრაქტიკულად გამოუსადეგარია გამადნების რაიონების წყლები, თუმცა მათი მიკროელემენტური შედგენილობა საკმაოდ რთულია.

ცხრილი 6.3. მინერალური წყლებისათვის დამახასიათებელი პარამეტრები

კომპონენტი	მგ/ლ	კომპონენტი	მგ/ლ	კომპონენტი	მგ/ლ
CO ₂	> 500-700	HBO ₂ ⁻	> 50	As	> 0.6 – 1
H ₂ S	> 10	F ⁻	> 2	Li ⁺	> 50-75
Fe ²⁺	> 10	Br ⁻	> 25	Ra	> 10 ⁻⁵
Fe ³⁺	> 10	I ⁻	> 5-10	Rn	> 10*

* – მკიური/ლ

ცნობილია, რომ ფიზიკური ფაქტორების (მაგნიტური ველი, წნევა, კაპილარული კონდენსაცია, გაყინვა-გადნობა და სხვა) გავლენით იცვლება წყლის სტრუქტურა და მისი თვისებები, მათ შორის ფიზიოლოგიური ზემოქმედების უნარი. ამასთან, მაგნიტური, კაპილარული და ნადნობი წყლები მცირე დროში იბრუნებენ ძველ სტრუქტურას და ჩვეულ თვისებებს. თვლიან, რომ მინერალური წყლების გამორჩეული ფიზიოლოგიური ზემოქმედების უნარი მის „ბიოგრაფიაში“ და სტრუქტურაში უნდა ვეძოთ. ეს თეორია არ უარყოფს მინერალური წყლის ქიმიური შედგენილობის გავლენას მის ბუნებაზე. ო. სამოილოვის მიხედვით წყალში გახსნილი ნივთიერებების ნაწილი ხელს უწყობს მისი სტრუქტურის მოწესრიგებას, ნაწილი კი – პირიქით.

მინერალური წყლის მინის ზედაპირზე ამოსვლის შემდეგ გახსნილი აირების (პირველ რიგში CO_2) დეგაზაციისა და წყლის აერაციის შედეგად ირლევება მჟაურ-ფუძე და ჟანგვა-აღდგენითი ნონასწორობა, იზრდება pH და eH . იჟანგება Fe^{2+} და ილექება $\text{Fe}(\text{OH})_3$, ხელსაყრელ პირობებში კი CaCO_3 და H_2SiO_3 . წარმოქმნილი ნალექები აკუმულირდებიან მინერალური წყლის გამოსავალთან და წარმოქმნიან ტრავერტინებს, რომელთა სიმრავლით და ზომებით გამორჩეულია ყაზბეგის რაიონი. ტრავერტინები გამდიდრებულია მიკროელემენტებით, რომლებიც ნალექგამოყოფის პროცესში თანდაილექება ან სორბირდება ჰიდროქსიდებზე, კარბონატებზე ან სხვა კოლექტორებზე.

ჩამოსხმულ მინერალურ წყლებში სპონტანური ნალექწარმოქმნის აცილება რთულ პრობლემად რჩება. ტექნიკურად ძნელია წყლების ჩამოსხმა უჟანგბადო არეში. Fe^{3+} და Ca^{2+} ხსნარში შესანარჩუნებლად საჭირო CO_2 -ის მაღალ კონცენტრაციას ბოთლი ვერ უძლებს. ამიტომ ნახშირმჟავა-რკინიან წყლებს ჩამოსხმის წინ ნალექგამოყოფის დამთავრებამდე აყოვნებენ სპეციალურ ავზებში, ფილტრავენ, ამდიდრებენ CO_2 -ით (სასურველია ბუნებრივი CO_2) და ჩამოასხამენ. ასეთი წყალი განიხილება როგორც სუფრის წყალი, რადგან ქიმიურად საკმაოდ განსხვავდება საწყისისაგან, სამკურნალო თვისებები კი დაქვეითებულია. ნიტრობაქტერიების გავლენით მინერალური წყლის საცავ ავზებში მოსალოდნელია ნიტრატების აღდგენა ნიტრიტებამდე. ამ არასასურველი მოვლენის ასაცილებლად აუცილებელია ავზების პერიოდული ქლორირება და შემდგომ მათი გულდასმით გარეცხვა.

6.3. საქართველოს მინერალური წყლები

საქართველო გამოირჩევა მინერალური წყლების ნაირფეროვნებით და სიუხვით. რესპუბლიკის ტერიტორიაზე 1000-1200 მინერალური წყაროა აღწერილი. ქვეყნის მინერალურ რესურსთა შორის მათ პრიორიტეტული ადგილი უკავიათ. საქვეყნოდ ცნობილ მინერალურ წყლებთან (ბორჯომი, წყალტუბო, საირმე და სხვა) გვხვდება უნიკალური შედგენილობის წყლები, რომლებსაც ძნელად მოეძებნებათ ანალოგები მსოფლიოში (მაგ. ლუგელას ქლორკალციუმიანი, ზუბის დარიშხანიანი, ხევსურეთის სოდიანი და სხვა). ბუნების საოცარ ძეგლებს მიეკუთვნება

მინერალური წყლის გრანდიოზული ტრავერტინი ჯერის გადასასვლელთან, მინერალური ტბა და დღე-ღამეში 25-30 მლნ ლიტრამდე დე-ბიტის მქონე ნარზანი თრუსოს ხეობაში (ყაზბეგის რაიონი).

მინერალური წყლები და მათი სამკურნალო თვისებები ოდითგან იყო ცნობილი. არქეოლოგიური გათხრები გვიჩვენებენ, რომ 2-3 ათასწლეულში ჩვენს ერამდე მათ იყენებდნენ სამკურნალოდ. ძველი ბერძნები უკვე არჩევდნენ სოდიან, გოგირდიან, რკინიან და მარილიან წყლებს. ძველთაგანვე იცნობდნენ მათ საქართველოშიც. ვახუშტი ბაგრატიონს ნიგნში „აღწერა სამეფოსა საქართველოსა“ ქვეყნის თითქმის ყველა კუთხეში მოხსენებული აქვს „ცხელი, მლაშე, სენთა მკურნავი“ წყაროები. მათ შესახებ საინტერესო ცნობები მოიპოვება უცხოელი მოგზაურების და მეცნიერების (აბიხი, სტრუვე, ბაბე და სხვა) ჩანაწერებში. საქართველოს მინერალური წყლების პიდროქი-მიურ გამოკვლევაში დიდი წვლილი მიუძღვით ცნობილ ქართველ ქიმიკოსებს – ვ. ხუხიას, დ. ერისთავს, კ. გამსახურდიას და სხვებს. ამ სფეროში საინტერესო გამოკვლევები აქვთ შესრულებული ვ. პეტრი-აშვილს, პ. მელიქიშვილს და ა. კლდიაშვილს.

მინერალურ, განსაკუთრებით სუსტად მინერალიზებულ, წყლებზე მოთხოვნა თანდათან იზრდება და დიდი კომერციის საგანი გახდა. საფრანგეთის ცნობილი წყლის – პერეს (Perré) წლიური წარმოება მილიარდ ბოთლს აღწევს და მსოფლიოს 140 ქვეყანაში ექსპორტირდება. მინერალური წყლების მოხმარებით ლიდერობენ იტალია და საფრანგეთი (136 და 112 ლ ერთ სულ მოსახლეზე წელიწადში). აღნიშნულიდან გამომდინარე, მინერალური წყლების შესწავლა, რაციონალური გამოყენება და დაცვა თანამედროვეობის აქტუალური პრობლემაა.

6.4. მინისქვეშა წყლების დაბინძურების მიზეზები და შედეგები

ზედაპირულ წყლებთან შედარებით ნაკლებად, მაგრამ მაინც შესამჩნევია მინისქვეშა წყლების ანთროპოგენური დაბინძურება. აზოტმემცველი სასუქების წარმოების და ინტენსიური გამოყენების რაიონებში წამყვანი იონების როლში გამოდიან NH_4^+ და NO_3^- (აბსოლუტური კონცენტრაციები 10-15 გ/ლ), რაც გეოქიმიური თვალსაზრისით ანომალიაა, ეკოქიმიურით – საგანგაშო. ლოკალურ უბნებზე

სხვა ნორმირებული ნივთიერებებით მიწისქვეშა წყლების დაბინძურება აღინიშნება სამრეწველო ცენტრებში. მაგ. ალუმინისა და ფოსფორმემცველი სასუქების წარმოების ზონაში F შემცველობა n გ/ლ-მდეა გაზრდილი, რაც გაცილებით მაღალია ზღვ-ზე ($1,5$ გ/ლ).

მიწისქვეშა წყლების კიდევ ერთი ეკოქიმიური თავისებურებაა სიღრმეში ჟანგვითი პოტენციალის მკვეთრი შემცირება ($450-300$ -დან $100-50$ მილივოლტამდე). ასეთ არეში ნიტრატები აღდგებიან ნიტრიტებამდე, $SO_4^{2-} - H_2S$ -მდე, $As(V) - As(III)$ -მდე და ა.შ. უნდა გვახსოვდეს, რომ ელემენტების ტოქსიკურობა მკვეთრად იზრდება ნაერთებში მათი დაჟანგულობის ხარისხის შემცირებით. ასე მაგალითად, სასმელ წყლებში NO_3^- და NH_4^+ ზღვ შესაბამისად შეადგენს $45-50$ და $0,5-1$ გ/ლ. მაღალი ტოქსიკურობით გამოირჩევიან Hg , Pb და As მეთილირებული ფორმები, რომლებიც აღმდგენელ არეში წარმოიქმნებიან.

ანთროპოგენური ფაქტორების გავლენით გამოწვეულ არასასურველ ეკოლოგიურ შედეგებს შორის უმთავრესია მიწისქვეშა წყლების გეოქიმიური არის (pH , eH) შეცვლა. მყავა გარემოს (pH 3-4) წარმოქმნის მიზეზი შეიძლება იყოს მყავა წვიმები, სულფიდური მადნების დამუშავება, ჩამდინარე წყლები. ტუტე არე ($pH > 9-10$) ჩვეულებრივ დაკავშირებულია ამონიუმმემცველი სასუქების გამოყენებასთან, ან ფუძე ქანების დამუშავებასთან. pH -ის შეცვლით იცვლება არის ჟანგვითი პოტენციალი, ელემენტთა მიგრაციის ფორმები, ქანების ხსნადობა და ა.შ. ამრიგად, ანთროპოგენური ზემოქმედების შედეგად იცვლება გეოქიმიური არე, რაც იწვევს სისტემის ბუნების და შედგენილობის მკვეთრ ცვლილებას.

მიწისქვეშა წყლების თავისებურებების (ნელი მიმოქცევა, ჟანგბადის დეფიციტი, შენელებული ან სრულად დამუხრუჭებული ბიოლოგიური პროცესები) გამო, მათი თვითგანმენდის უნარი შეზღუდულია. ამიტომ მიწისქვეშა წყლები დაბინძურებული რჩება ანთროპოგენური წყაროს „ჩაქრობიდან“ რამდენიმე ათეული წლის მანძილზე. სათანადო მაგალითი მოტანილი იყო 2.4-ში.

მიწისქვეშა წყლების დაბინძურებისაგან დაცვის მიზნით იქმნება სა-ნიტაროული ზონები, სადაც იკრძალება მშენებლობა, შხამქიმიკატების გამოყენება, ფერმების და ნაგავსაყრელების მოწყობა. ასეთი დამცავი ზონები შექმნილია ნატახტარის, მუხრანის ველის, საგურამოს და სხვა უბნებზე, საიდანაც სასმელი წყლით მარაგდება თბილისი.

VII. ზღვები და ოკეანეები

7.1. ზღვები და ოკეანეები, მათი ქიმიური შედგენილობა

ჰიდროსფეროს ძირითად შემადგენელს – მსოფლიო ოკეანეს პლანეტის ზედაპირის 71 % უკავია და 4 ოკეანისა და 54 ზღვისაგან შედგება. მსოფლიო ოკეანის მოცულობა $1,37 \cdot 10^9$ კმ³-ია, საერთო მასა $1,41 \cdot 10^{18}$ ტ, საშუალო სიღრმე 3792, მაქსიმალური კი 11278 მ. ოკეანის წყალში გახსნილი მარილების საერთო რაოდენობა – $5,6 \cdot 10^{16}$ ტ. მარილების ასეთი რაოდენობით ხმელეთის სიმაღლე 150 მეტრით მოიმატებდა.

ძნელია შეაფასო ოკეანის როლი პლანეტის ფორმირებაში და განვითარებაში. ოკეანე არეგულირებს დედამიწის კლიმატის და წყლის მიმოქცევას, არის ჟანგბადის ძირითადი გენერატორი და ნახშირორჟანგის ფიქსატორი. ამოუწურავია მისი ბიოლოგიური, მინერალური და ენერგეტიკული რესურსები. ბუნებრივია, რომ ოკეანე მუდამ იყო სწავლულთა ყურადღების ცენტრში და დღესაც პრიორიტეტული ადგილი უკავია დედამიწის შემსწავლელ მეცნიერებებს შორის. ცოდნის ამ სფეროში გამოქვეყნებულ მრავალრიცხოვან ფუნდამენტურ ნაშრომებს შორის აღსანიშნავია „The Sea“ (1962-1974 წწ, 1-5 ტომი) და „Океанография“ (1977-1979 წწ, 1-9 ტომი).

ოკეანის წყალი არაორგანული და ორგანული ნივთიერებების, ურთულესი შედგენილობის, მრავალკომპონენტური ხსნარია. ოკეანის ქიმიური შედგენილობა დედამიწისა და მისი ატმოსფეროს რთული და ხანგრძლივი ევოლუციის შედეგია. როგორც ვარაუდობენ, ანიონების ძირითადი წყარო მანტიის დეგაზაციის, ხოლო კატიონების – ამონთხეული ქანების გამოფიტვის პროდუქტები იყო. ოკეანის წყლის ფორმირებაში შესამჩნევია როლი შეასრულეს წყალქვეშა ვულკანებმა და მაღალმინერალიზებულმა თერმულმა წყლებმა. ნითელ ზღვაში ნაპოვნია თერმული წყლების რამდენიმე მძლავრი ნაკადი, რომელთა ტემპერატურა $60-70^{\circ}\text{C}$, ხოლო მარილიანობა 257-270 ‰ ტოლია. 1976 წ. პირველად ოკეანოგრაფიის ისტორიაში, სამეცნიერო-საექსპედიციო გემის „აკადემიკოს კურჩატოვის“ რეისის მონაწი-

ლეთა მიერ ზღვის ფსკერიდან ამოღებულია გადაჯერებული ხსნარი-დან გამოლექილი მარილები.

ზღვისა და ოკეანის წყლებში გახსნილი ნივთიერებების რაოდენობას ახასიათებენ მარილიანობით, რომელიც 1 კგ წყალში გახსნილი მინერალური ნივთიერებების გრამების რიცხვინ ტოლია და S ‰-ით აღინიშნება. მარილიანობა პრაქტიკულად მთავარი იონების (იონები, რომელთა კონცენტრაცია მეტია 0,001 გ/კგ) ჯამის ტოლია. ბუნებრივი ფაქტორების (აორთქლება, ატმოსფერული ნალექები, წყლის გაყინვა-გაღება, მდინარეების ჩამონადენი, მარილების ქემოგენური გამოლექვა) გავლენით მსოფლიო ოკეანის (განსაკუთრებით შიგა ზღვების) მარილიანობა ცვლადი სიდიდეა და საშუალოდ 34,887 გ/კგ შეადგენს (ცხრილი 7.1). ხმელთაშუა ზღვის ზედა ფენის მარილიანობა 37-38 გ/კგ-ია, წითელი ზღვის – 40-42 გ/კგ. შავი და, განსაკუთრებით, ბალტიის ზღვების მარილიანობა დაბალია (18 და 8 გ/კგ). S ‰ იცვლება სიღრმის მიხედვითაც, თუმცა ზედა ფენისაგან განსხვავებით სიღრმული წყლების მარილიანობა საკმაოდ სტაბილურია. მარილიანობის სივრცით განაწილებაზე დიდ გავლენას ახდენენ წყლის ევრტიკალური მიმოქცევა და პორიზონტალური დინებები, რომლებიც ქმნიან მარილიანობის ანომალიურ ზონებს.

ცხრილი 7.1. მთავარი იონების კონცენტრაცია ოკეანის და შავი ზღვის წყლებში (გ/კგ)

იონი	ოკეანე	შავი ზღვა	იონი	ოკეანე	შავი ზღვა
Cl ⁻	19.3534	9.6294	Na ⁺	10.7638	5.3214
SO ₄ ²⁻	2.7007	1.3050	Mg ²⁺	1.2970	0.6481
HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ²⁻	0.1427	0.0803	Ca ²⁺	0.4080	0.2464
Br ⁻	0.0659	0.0314	K ⁺	0.3875	0.2086
F ⁻	0.0013	0.0006	Sr ²⁺	0.0136	0.0068
BO ₃ ⁻	0.0260	0.0120	S‰	35.160	17.4900

მიუხედავად დინამიკურობისა, მსოფლიო ოკეანე გამოირჩევა ქიმიური შედგენილობის პომოგენურობით. ეს კანონზომიერება პირველად რ. ბოილმა (1627-1691) შეამჩნია. 1884 წ. უ. დიტმარმა საექსპე-

დიციო ხომალდ „ჩელენჯერის“ მიერ სხვადასხვა ოკეანეში, სხვადასხვა სიმაღლეზე აღებული 100-მდე სინჯის ანალიზების საფუძველზე დაასკვნა, რომ „ღია ოკეანეში, მიუხედავად აბსოლუტური კონცენტრაციებისა, მთავარ იონებს შორის რაოდენობრივი თანაფარდობები მუდმივია“. დიტმარის კანონი საშუალებას იძლევა ერთ-ერთი იონის კონცენტრაციის მიხედვით გავთვალთ სხვა იონების შემცველობა, მათი ჯამი ან მარილიანობა. ამ მიზნით რეპერულ კომპონენტად იყენებენ Cl^- , რომლის ზუსტი კონცენტრაციის დადგენა ანალიზური მეთოდებით ადვილია. $S\%$ და Si გასათვლელი ფორმულები მარტივია ($Cl\%$ – კონცენტრაციაა გ/კგ-ში):

$$S\% = 1,80655 \cdot Cl\% \text{ და } Si = 1,81578 \cdot Cl\%$$

მარილიანობის გასათვლელად მონოდებულია სხვა, უფრო რთული ფორმულებიც. ამჟამად ზღვის წყლის მარილიანობის დადგენას ამჯობინებენ მისი ელექტროგამტარობის გაზომვით.

ზღვებისა და ოკეანის წყლის ბუნებაზე და მათში მიმდინარე პროცესებზე დიდ გავლენას ახდენენ გახსნილი აირები და ორგანული ნაერთები. განსაკუთრებით დიდია გახსნილი ჟანგბადის როლი, რომელიც ქმნის სასიცოცხლო არეს და განაპირობებს დაჟანგვა-აღდგენის პროცესების მიმართულებას და ინტენსივობას. მისი წყარო არის ატმოსფერო და ფოტოსინთეზი, მომხმარებელი – ცოცხალი ორგანიზმები და ადვილად ჟანგვადი ნაერთები (C_{org} , Fe^{2+} , NH_3 , H_2S და სხვა). წყლის ზედა ფენებში O_2 -ის სივრცით განაწილებას განსაზღვრავს ტემპერატურა და მარილიანობა. წყლის ტემპერატურის და მარილიანობის გაზრდით 0-დან $30^\circ C$ -მდე და 0-დან 40 $\%$ -მდე ჟანგბადის ხსნადობა 40 და 25 $\%$ -ით მცირდება. მაღალი განედების წყლის ზედა ფენაში ორჯერ მეტი ჟანგბადია გახსნილი ტროპიკებთან შედარებით (11-13 და 6-7 მგ/ლ). წყლის ზედა – 300 მ-დე ფენაში გახსნილი ჟანგბადის დღელამური და სეზონური დინამიკა წყლის ტემპერატურისა და ფოტოსინთეზის ინტენსივობით განისაზღვრება.

გახსნილი ჟანგბადის კონცენტრაცია სიღრმეში კლებულობს და წყლის მასების ვერტიკალურ მიმოქცევაზე დამოკიდებული. ჩვეულებრივ ოკეანის ღრმა ფენებში ჟანგბადის კონცენტრაცია > 0 -ზე. მარიანის ღრმულიდან (11022 მ) აღებულ სინჯებში კი 5-6 მგ/ლ O_2 აღმოჩნდა. ოკეანის წყლის მნიშვნელოვანი კომპონენტია CO_2 , რომელიც განსაზღვრავს მის pH -ს, კარბონატულ ნონასწორობას და, შე-

საბამისად, CaCO_3 -ის წარმოქმნის სიჩქარეს. ოკეანეში გახსნილი CO_2 არეგულირებს მის შემცველობას ატმოსფეროში (3.4). ოკეანეში თავისუფალი და ბმული სახით (HCO_3^- , CO_3^{2-}) 60-ჯერ მეტი CO_2 -ია, ვიდრე ჰაერში.

ოკეანეში CO_2 ხვება ატმოსფეროდან, ჰიდრობიოტების სუნთქვის და C_{org} დაჟანგვის შედეგად. მის ბალანსში დიდ როლს ასრულებს აგრეთვე მანტიის აირები. გახსნილი CO_2 იხარჯება ფოტოსინთეზზე და დანალექი ქანების წარმოქმნაზე; $\text{CO}_2 \longrightarrow \text{HCO}_3^- \longrightarrow \text{CO}_3^{2-} \longrightarrow \text{CaCO}_3$.

ოკეანის წყალში გახსნილი თავისუფალი CO_2 -ის კონცენტრაცია დაბალია (დაახლოებით 1 მგ/ლ). ჟანგბადის მსგავსად დროსა და სივრცეში მის დინამიკას განსაზღვრავს წყლის ტემპერატურა, მარილიანობა და ფოტოსინთეზის ინტენსივობა. ჟანგბადისაგან განსხვავებით წყლის სიღრმეში CO_2 კონცენტრაცია მატულობს.

ზღვებისა და ოკეანის წყლებში გახსნილი მიკროელემენტების, ბიოგენური და ორგანული ნივთიერებების სპექტრი ძალზე რთულია (ცხრილი 7.2).

ცხრილი 7.2. მიკროელემენტების შემცველობა ოკეანის წყალში

ელემენტი	მკგ/ლ	ელემენტი	მკგ/ლ	ელემენტი	მკგ/ლ	ელემენტი	მკგ/ლ
Li	200	Cu	3	Sb	0.5	Ge	0.07
Rb	120	As	3	Cs	0.5	Cr	0.05
I	60	Sn	3	Ce	0.4	Sc	0.04
Ba	30	U	3	Ag	0.3	Ga	0.03
In	20	V	2	La	0.3	Hg	0.03
Al	10	Mn	2	Y	0.3	Nb	0.01
Fe	10	Ni	2	Bi	0.2	Tc	0.01
Zn	10	Ti	1	Cd	0.1	Tl	0.01
Mo	10	Th	0.7	Pb	0.1	Au	0,004
Se	4	Co	0.5	W	0.1	Rn	$1 \cdot 10^{-7}$

ზედაპირულ წყლებთან შედარებით ოკეანის წყალში გახსნილი ზოგიერთი მიკროელემენტის (Li, Rb, I, Se და სხვა) შემცველობა მაღალია. მათგან განსხვავებით დაბალია ადვილად ჰიდროლიზებადი და კარგად სორბირებადი ელემენტების (Al, Fe, Cu, Mn, Cr და სხვა) კონცენტრაციები.

ოკეანის წყალში გახსნილი ორგანული ნივთიერებების ძირითადი წყარო ცოცხალი ორგანიზმების ცხოველმყოფელობის და სიკვდილის შემდეგ მათი არასრული ბაქტერიოლოგიური დაშლის პროდუქტებია. ისინი ძირითადად წარმოდგენილია ნახშირწყლებით, აზოტშემცველი ნაერთებით, ლიპიდებით და ჰუმუსოვანი ნივთიერებებით. მათი მრავალფეროვნებისა და განსაზღვრის სირთულის გამო წყლებში გახსნილ ორგანულ ნივთიერებებს აფასებენ C_{org} -ის რაოდენობით, რომელზეც, საშუალოდ, ორგანული ნივთიერების მასის 50 % მოდის. ოკეანის წყალში გახსნილი C_{org} კონცენტრაცია მერყეობს 1,3-2,8 მგ/ლ ფარგლებში და საშუალოდ 1,6 მგ/ლ შეადგენს. მისი საერთო მასა ოკეანეში $2,1 \cdot 10^{12}$ ტ-ით არის შეფასებული. შეტიენარებული ფორმის წილი საერთო C_{org} -ის მხოლოდ 1-10 %-ია. რადგან C_{org} -ს კონცენტრაცია განისაზღვრება წყლის მასების პროდუქტიულობით, ამიტომ მაქსიმალურია წყლის ზედა ფენებში.

ოკეანეში მიმდინარე პროცესებში აქტიურ მონაწილეობას ლეზულობენ ბიოგენური ნივთიერებები. მათი მომხმარებელია ფიტოპლანქტონი და წყალმცენარეები, წყარო კი რთული ორგანული ნივთიერების დესტრუქციის პროდუქტები. ორივე პროცესი აქტიურად მიმდინარეობს წყლის ზედა ფენებში ($h < 100$ მ), ამიტომ ამ ზონაში ბიოგენების კონცენტრაცია ძალზე დინამიკურია.

ოკეანის მაკროქიმიური შედგენილობა სტაბილურია, რასაც ორი ფაქტორი განსაზღვრავს. გახსნილი ნივთიერებების შემოსავალი (მდინარეების ჩამონადენი, ეულკანები და მლაშე თერმული ნაკადები) და გასავალი (ქემოგენური გამოლექვა, სორბცია-სედიმენტაცია, „მექანიკური აორთქლება“, უბეების მონყევება და სხვა) დაბალანსებულია. მნიშვნელოვანია მეორე ფაქტორიც – მცირე გადახრები შემოსავალ-გასავლის ბალანსიდან ვერ შეცვლის ოკეანის ქიმიურ შედგენილობას მასში გახსნილი ნივთიერებების კოლოსალური რაოდენობის გამო.

პრაქტიკული და თეორიული თვალთახედვით საინტერესოობიექტია ზღვის ყინული. ოკეანის წყალი – $1,9^{\circ}C$ -ზე იყინება და მყარ

ფაზაში მარილების მცირე რაოდენობა რჩება. 2-3 წლის ყინული კი იმდენად მტკნარია, რომ მისი ნადნობი წყლის გამოყენება შეიძლება სასმელად.

7.2. ოკეანე, როგორც ნედლეულის წყარო

7.2.1. წყალი და გახსნილი ნივთიერებები. ოკეანე მინერალური და ბიორესურსების გიგანტური საცავია. პრაქტიკულად ამოუწურავია მისი წყლის, მძიმე წყლის, სუფრის მარილის, მაგნიუმის და ბევრი სხვა ნივთიერების მარაგი. ოკეანის წყლის ერთ კმ³ გახსნილი ნივთიერებების (ცხრილი 7.3) საბაზრო ღირებულება მილიარდ დოლარს აღემატება. როგორც ნედლეული, კიდევ უფრო ფასეულია წითელი ზღვის ფსკერული თერმული ნაკადები, რომელთა მარილიანობა 250-270 S %₀ შეადგენს (ე.ი. 7,5-ჯერ უფრო კონცენტრირებულია ოკეანის წყალთან შედარებით).

ცხრილი 7.3. ოკეანის წყლის 1 კმ³-ში გახსნილი ნივთიერებების რაოდენობა

ნივთიერება	ტ	ნივთიერება	ტ	ნივთიერება	ტ
NaCl	3.07·10 ⁷	Mg	1.3·10 ⁶	I ₂	50
MgCl ₂	4.3·10 ⁶	Br ₂	7.2·10 ⁴	Ag	0.1
K ₂ SO ₄	9.6·10 ⁵	B	5.2·10 ³	Au	0.004

ოკეანის მინერალური რესურსების გამოყენებას დიდი ხნის ისტორია აქვს. ძველ ჩინეთში ჯერ კიდევ მე-3 ათასწლეულში ოკეანის წყლიდან ლებულობდნენ სუფრის მარილს. ამჟამად ოკეანე აკმაყოფილებს სუფრის მარილის წლიური მოთხოვნის 1/3-ს (35 მლნ ტ). ამავე წყაროდან ყოველწლიურად ლებულობენ 100 000 ტონაზე მეტ ბრომს, აგრეთვე მაგნიუმს, კალიუმს და სხვა.

რამდენიმე საუკუნეა მიმდინარეობს ოკეანის წყლიდან ვერცხლის და ოქროს გამოყოფის ეკონომიურად გამართლებული მეთოდების ძიება. IXX და XX საუკუნის დასაწყისში ჩატარებული ანალიზებით მათი შემცველობა რეალურთან შედარებით 10-ჯერ და 100-ჯერ მეტი ეგონათ, რაც იოლი გამდიდრების ცდუნების ძირითადი

მიზეზი იყო. თანამედროვე გათვლებით ოკეანის წყალში გახსნილი Au და Ag საერთო რაოდენობები $5,5 \cdot 10^6$ და $1,4 \cdot 10^6$ ტონას შეადგენს.

ოკეანის წყლიდან ძვირფასი ლითონების გამოყოფის იდეების რეალიზაციას, გარდა ზედაბალი კონცენტრაციებისა ($Au - 4$ ნგ/ლ, $Ag - 0,10$ მგ/ლ), ართულებს ოკეანის წყალში მათი შემცველობის ფორმების ნაირსახეობა (იონური, ქლორიდული კომპლექსები, კოლოიდური და სხვა), რომელთა გამოყოფა განსხვავებული მეთოდების გამოყენებას მოითხოვს.

ბირთვული იარაღის წარმოება და ატომური ენერგეტიკის განვითარება სულ უფრო მზარდ რაოდენობა ურანს მოითხოვს. მომავალში მის ერთ-ერთ რეალურ წყაროდ მიაჩნიათ ოკეანე, რომელშიც 3 მკგ/ლ ურანია (საერთო შემცველობა $4,1 \cdot 10^9$ ტ). მოუხედავად მეთოდური სიძნელეებისა, ოკეანის წყლიდან ურანის მიღება შესაძლებელია, თუმცა მისი ღირებულება, სხვა წყაროებთან შედარებით, ბევრად ძვირია.

ოკეანის მთავარი სიმდიდრე მასში გახსნილი ნივთიერებები კი არა, მათი გამხსნელი - წყალია, რომლის მარაგი ამოუნურავია. წყლის მნიშვნელობა-გამოყენებაზე უკვე 5.1 -ში აღნიშნულს დაევშავებთ, რომ კაცობრიობა 1000 -ჯერ მეტ წყალს მოიხმარს, ვიდრე ყველა სხვა ნედლეულს ერთად, ამასთან, მისი ხარჯი ყოველდღიურად იზრდება. ამიტომ ტრადიციულ წყაროებთან ერთად სულ უფრო მზარდ გამოყენებას პოულობს გამტკნარებული წყალი, რომლის ნედლეული ზღვები და ოკეანეა. წყლის პირველი გამამტკნარებელი 1881 წ. ამუშავდა კრასნოვოდსკში. 1898 წ. გამტკნარებული წყლის მიღება დაიწყო ბაქოშიც. ამჟამად წყლის გამტკნარების 30 -მდე მეთოდია დამუშავებული (დისტილაცია, ელექტროდიალიზი, იონგაცვლა, გამოყინვა და სხვა), რომელთა გამოყენებით ყოველდღიურად 10 - 12 მლნ m^3 წყალს ღებულობენ. „ჩვეულებრივ“ წყალთან ერთად აღსანიშნავია მძიმე წყლის მარაგიც ($2,7 \cdot 10^{13}$ ტ), რომლის ძირითადი მომხმარებელი ატომური ენერგეტიკაა.

7.2.2. ოკეანის ფსკერი. 1873 წ. საკვლევ-სამეცნიერო გემის - „ჩელენჯერის“ ეკიპაჟმა ოკეანის ფსკერიდან უცნაური ფორმისა და შედგენილობის წარმონაქმნები ამოიღო, რომლებიც მოგვიანებით ცნობილი გახდნენ კონკრეციების სახელწოდებით. კონკრეციების

ქიმიური შედგენილობა და გავრცელების არეალი კარგად არის შესწავლილი (ცხრილი 7.4), მაგრამ მათი გენეზისის საკითხი ბოლომდე გარკვეული არ არის. ვარაუდობენ, რომ კონკრეციების ზრდის ტემპი ძალზე დაბალია (1 მმ 1000 წელიწადში) და მათ ფორმირებაში წამყვან როლს ასრულებენ დალექვა-სორბციის პროცესები.

კონკრეციებით დაფარულია ოკეანეების 60 მლნ კმ². 1 კმ² მათი რაოდენობა (4-5) · 10⁴ ტ შეადგენს, საერთო მასა კი 7 · 10¹² ტონით არის შეფასებული. კონკრეციებში დაკონსერვებულია 7,1 · 10¹⁰ ტ Mn, 0,10⁹ ტ Ni, Co და Cu.

კონკრეციები განიხილება, როგორც მომავლის სტრატეგიული მარაგი. მათი ძირითადი ნაწილი განთავსებულია წყნარი ოკეანის ცენტრალურ ნაწილში, 4-4,5 კმ სიღრმეზე. მიუხედავად ტექნიკური სირთულეებისა, სათანადო წყალქვეშა აპარატურის გამოყენებით, შესაძლოდ მიაჩნიათ კონკრეციების გაფხვიერება ოკეანის ფსკერზე და წარმოქმნილი პულპის ამოქაჩვა წყლის ზედაპირზე. დამუშავებულია სხვა ვარიანტიც: კონკრეციების გახსნა გოგირდმჟავაში და მიღებული კონცენტრატის ამოტუმბვა.

ცხრილი 7.4. ქიმიური ელემენტების შემცველობა კონკრეციებში და მათი გამდიდრების კოეფიციენტები (K; თანაფარდობა კლარკთან)

ელემენტი	%	K	ელემენტი	%	K	ელემენტი	%	K
Mn	18.6	60	Cu	0.45	19	In	2.5 · 10 ⁻⁵	30
Fe	12.5	3.3	Zn	0.12	9	Pt	2.3 · 10 ⁻⁵	46
Ni	0.66	66	Mo	0.05	40	Bi	2.3 · 10 ⁻⁶	300

გარდა კონკრეციებისა, ოკეანის ფსკერი მდიდარია სხვა მინერალური რესურსებითაც. დიდი ხანია კალიფორნიის სანაპიროსთან მიმდინარეობს ფოსფატების ამოღება, სამხრეთ აფრიკის სანაპირო ზოლში ალმასისა და ოქროს მოპოვება, ხოლო ოკეანის შელფი ნავთობმოპოვების უმნიშვნელოვანესი რაიონია.

7.3. ანთროპოგენური ფაქტორების გავლენა ოკეანის ქიმიურ შედგენილობაზე

ოკეანოგრაფიის საერთაშორისო ორგანიზაციის განმარტებით, ზღვის დაბინძურებაში იგულისხმება „ანთროპოგენური ნივთიერებების ან ენერგიის ამა თუ იმ გზით შეტანა ზღვაში, რომლის შედეგად იქმნება ადამიანის ჯანმრთელობის, ბიოლოგიური რესურსების, სამეურნეო საქმიანობის, წყლის ხარისხის და ესთეტიკური გაუარესების შესაძლებლობა“.

გარემოში მოხვედრილი ანთროპოგენური ნივთიერებების უდიდესი ნაწილი ადრე თუ გვიან ოკეანეში ხვდება. შეგნებულად თუ შეუგნებლად ადამიანმა ოკეანე იაფ, მოხერხებულ ნაგავსაცავად აქცია. მსოფლიო ოკეანის გრანდიოზულობა მუდმივი სტაბილურობის გარანტიად მიაჩნდათ და ანთროპოგენური ფაქტორების გავლენით მის შეცვლას შეუძლებლად თვლიდნენ. ასეთი დამოკიდებულების სავალალო შედეგები მალე გამოჩნდა. ოკეანის ცენტრალურ ნაწილშიც, ნაპირიდან ათასობით კმ-ზე, ქიმიური ანალიზების გარეშეც ნათელია „ცივილიზაციის“ შედეგები. ნორვეგიელი მკვლევარი ტურ ჰეიერდალი 1969 წ. „რა“-თი (პაპირუსისგან აგებული გემი) ატლანტის ოკეანეში მოგზაურობის შემდეგ აღნიშნავდა, რომ იშვიათი იყო რაიონი, რომელიც არ იყო დაფარული ნავთობის ლაქით. შეიძლება გადაჭარბებული იყოს, მაგრამ მაინც დამაფიქრებელია ცნობილი ოკეანოლოგის ივ კუსტოს სიტყვებიც – „ოკეანე სიკვდილის პირას არის!“

ანთროპოგენური ნივთიერებები ოკეანეში ხვდება ატმოსფეროდან, მდინარეებიდან, კომუნალური მეურნეობებიდან და საზღვაო ტრანსპორტიდან. არცთუ იშვიათად ოკეანე გამოყენებული იყო ტოქსიკური და რადიოაქტიური ნივთიერებების სამარხად. 1963-1969 წწ. ინგლისის სანაპიროსთან ზღვაში ჩაძირეს 38 ათასი კასრი ნახშირწყალბადების ქლორნაწარმები, 40 ათასი კასრი ციან- და დარიშხან-შემცველი ნივთიერებები. გასული საუკუნის 70-იან წლებში მისისიპი-ზე განლაგებული პესტიციდების მწარმოებელი ქარხნები მექსიკის ყურეში ყოველთვიურად 14-15 ათას ტონა ნარჩენებს მარხავდნენ. სპეციალისტებისთვისაც კი უცნობი დარჩება ზღვებსა და ოკეანეებში რეალურად ჩამარხული ტოქსიკური ნივთიერებების ასორტიმენტი და რაოდენობა.

ვარაუდობენ, რომ ყოველწლიურად ოკეანეში ატმოსფეროდან $2 \cdot 10^5$ ტ ტყვია, $1 \cdot 10^4$ ტ დარიშხანი, $2,5 \cdot 10^3$ ტ ვერცხლისწყალი, $8 \cdot 10^4$ ტ ქლორნანარმები (მათ შორის დდტ) ხვდება. ოკეანეში მოხვედრილი ნავთობის და ნავთობპროდუქტების საერთო რაოდენობის 10 % ნალექებს შეაქვთ. ოკეანის დაბინძურებაში ატმოსფერული ნალექების როლი გაზვიადებული რომ არ გვეჩვენოს, უნდა გავიხსენოთ, რომ მათ ათჯერ მეტი წყალი შეაქვთ ოკეანეში, ვიდრე მდინარეებს ($4,6 \cdot 10^5$ და $4,2 \cdot 10^4$ კმ³ წლიურად).

ტექნოგენური ნივთიერებების უფრო მძლავრი წყარო მაინც მდინარეებია. მე-20 საუკუნეში დავივინყეთ ის, რაც კარგად იცოდნენ ძველმა ბერძენმა ფილოსოფოსებმა – „ყველა მდინარე მიედინება ზღვაში“ (უფრო ლაკონიური იყო სულხან-საბა ორბელიანი – „ზღუა – მდინარეთა შესაკრებელი“). მდინარეებზე მოდის ოკეანეში შეტანილი Pb 92 % ($1 \cdot 10^5$ ტ), Hg 70 % ($7 \cdot 10^3$ ტ), Cd 50 % ($1,7 \cdot 10^4$ ტ) და ა.შ. ოკეანეში მოხვედრილი მძიმე ლითონები აკუმულირდება ცოცხალ ორგანიზმებში, სორბირდება ტივტივა ნატანზე, გროვდება ზედაპირულ მიკროაპკში. მდინარეები სასოფლო-სამეურნეო სავარგულე-ბიდან ოკეანეში პესტიციდების და ნარჩენი მინერალური სასუქების მთავარი სატრანზიტო გზაა. ბიოგენური ნივთიერებების სიჭარბე სანაპირო ზოლში იწვევს წყალმცენარეების „ყვავილობას“, შემდეგ კი წარმოქმნილი ბიომასის დაჟანგვაზე იხარჯება გახსნილი ჟანგბადი, რაც მისი მწვავე დეფიციტის მიზეზი ხდება.

გახსნილი ბიოგენური და ორგანული ნივთიერებებით ოკეანის დაბინძურების ძირითადი წყარო საყოფაცხოვრებო და სამრეწველო ჩამდინარე წყლებია, რომლებიც ხშირ შემთხვევაში გაუნმენდავი, ან ნაწილობრივი განმენდის შემდეგ უშუალოდ ჩაედინება ზღვებსა და ოკეანეში. გავიხსენოთ, რომ, რამდენიმე გამონაკლისის გარდა, მეგაპოლისები სანაპირო ზოლში არიან განლაგებული. სხვადასხვა მონაცემით საყოფაცხოვრებო ჩამდინარე წყლების ჟანგვადობა 60-75 მგ O/ლ შეადგენს. ისინი სხვა ნორმირებულ ნივთიერებებთან ერთად გამდიდრებულია სინთეზური სარეცხი საშუალებებით (სხვადასხვა ბუნების ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები), რომლებიც კონცენტრირდებიან მიკროაპკში (ცხრილი 7.5), გამოირჩევიან მდგრადობით

და ქაფნარმოქმნის უნარით. ტოქსიკურობით გამოირჩევა არაორგანული ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები. თუ მათი კონცენტრაცია წყალში > 1 მგ/ლ-ზე, ილუპება ზოოპლანქტონის ზოგიერთი სახეობა, თუ > 5 მგ/ლ-ზე – ხდება მათი მასიური განადგურება.

ოკეანის დაბინძურების წყაროა საზღვაო ტრანსპორტიც (2.2). მათი ზემოქმედების მასშტაბის შესაფასებლად უნდა გავიხსენოთ, რომ ზღვებსა და ოკეანეებში 45-50 ათასი დიდი ხომალდი დაცურავს. ნავთობით და ნავთობპროდუქტებით ოკეანის დაბინძურების და დაცვის საკითხები განხილულია მომდევნო პარაგრაფში.

ცხრილი 7.5. ნორმირებული ნივთიერებები ატლანტის ოკეანის ზედაპირულ აპკში (მგ/ლ)

ნივთიერება	აპკი			1 მ სიღრმეში		
	მინ.	მაქს.	საშ.	მინ.	მაქს.	საშ.
ნავთობპროდუქტები	1.2	15.0	5.5	0.0	0.20	0.06
ზედ. აქტ. ნივთ-ბი	0.18	1.25	0.82	0.02	0.06	0.03
დდტ	0.2	132	34	0	18	2.04
პექსაქლორანი	0	148	26	0	2.0	0.89

7.4. ნავთობი და ნავთობპროდუქტები ოკეანეში

7.4.1. დაბინძურების წყაროები. მიუხედავად ანთროპოგენური ნივთიერებების ფართო სპექტრისა, ნავთობის და ნავთობპროდუქტების როლი მსოფლიო ოკეანის დაბინძურებაში გამორჩეულია. სპეციალისტების გათვლებით ყოველწლიურად ოკეანეში 6,1 მლნ ტ ნავთობი და მისი გადამუშავებით მიღებული პროდუქტები ხვდება (ცხრილი 7.6).

**ცხრილი 7.6. ნავთობით მსოფლიო ოკეანის დაბინძურების
ძირითადი წყაროები**

წყარო	მლნ ტ/ წელი	%	წყარო	მლნ ტ/ წელი	%
ტრანსპორტირება	2.12	34.8	ჩამდინარე წყლები	0.5	9.8
მდინარეები	1.9	31.2	ნავთ. გად. ქარხნები*	0.2	3.3
ატმ. ნალექები	0.6	9.8	ზღვაში მოპოვება	0.08	1.3
ბუნებრივი ნაჟონი	0.6	9.8	ს უ ლ	6.1	100

* – სანაპირო ზოლში განლაგებული ნავთობგადამამუშავებელი ქარხნები

ნავთობის მოპოვება 1880 წ. დაიწყო და დღეისათვის წლიურად 3-3,2 მლრ ტ შეადგენს. მისი ძირითადი მომპოვებელი ქვეყნები და რეგიონები (სპარსეთის ყურე, ვენესუელა, კუიბირი, ალასკა და სხვა) მოცილებულია ძირითად მომხმარებლებიდან (ჩრდილოეთ ამერიკა, ევროპა, იაპონია), ამიტომ მოპოვებული ნავთობის 60-65 % საზღვაო გზით – ტანკერებით ტრანსპორტირდება. 1930 წ. საზღვაო ტრანსპორტით გადაზიდული იყო 84 მლნ ტ ნავთობი, 1970 წ. – 1130 მლნ ტ. გასული საუკუნის ბოლოს ამ სიდიდემ 2,5 მლრდ ტ მიაღწია. თანამედროვე სატანკერო ფლოტი 7000-ზე მეტ ერთეულს ითვლის, მათ შორის ათობით სუპერტანკერია, რომელთა წყალწყვა 300-500 ათას ტონას შეადგენს. ტანკებში ნავთობის ჩატვირთვა-გადმოტვირთვის დროს საწვავის დაახლოებით 1 % ორთქლდება და იღვრება. მაგრამ ოკეანის დაბინძურების ძირითადი მიზეზი მაინც ტანკების ნარეცხი და ბალასტი წყლებია. ნავთობის გადმოსხმის შემდეგ ტანკებში საწვავის 0,3-0,5 % რჩება. თუ უკანა რეისზე ტანკერს რაიმე ტვირთი აქვს წამოსაღები, ტანკები გულდასმით ირეცხება. ნარეცხი წყლები, რომლებიც ნავთობთან ერთად შეიცავენ დეტერგენტებს, არცთუ იშვიათად, განმენდის გარეშე იღვრება ოკეანეში. თუ ტანკერი ცარიელი ბრუნდება, წონასწორობის შენარჩუნების მიზნით ბალასტით – ზღვის წყლით უნდა შეივსოს, რომელიც დანიშნულების პორტის სი-

ახლოვებს, ნარჩენ ნავთობთან ერთად, ისევე ზღვაში იღვრება. ნავთობით ოკეანის დაბინძურების მძლავრი წყაროა ტანკერების ავარიები. 1967 წელს ლა-მანშის სრუტეში სუპერტანკერის „ტორი კანონის“ კატასტროფის შედეგად ზღვაში ჩაიღვარა 120 ათასი ტ ნავთობი. 1978 წ. ბისკაის ყურეში, ბრეტანის სანაპიროსთან ჩაიძირა „ამაკო კიდისი“. ზღვაში ჩაღვრილმა 223 ათას ტონა ნავთობპროდუქტებმა სანაპირო საკურორტო ზოლის 130 კმ დააზიანა, ზარალმა 150 მლნ \$ გადააჭარბა. სადაზღვევო ფირმა „ლოიდის“ მონაცემებით, ყოველწლიურად 250-მდე დიდი გემი განიცდის კატასტროფას. მათი სანავი (ჩვეულებრივ რამდენიმე ათასი ტონა) ადრე თუ გვიან ოკეანეში ხედება, რაც ოკეანის ნავთობით დაბინძურების დაახლოებით 5 % შეადგენს.

ნავთობპროდუქტების მნიშვნელოვანი წყაროა ზღვისპირა ქალაქების საყოფაცხოვრებო-კომუნალური და ქუჩა-მოედნების ნარეცხი ნყლები, რომლებიც უშუალოდ ჩაედინებიან ზღვებსა და ოკეანეში. სერიოზულ პოტენციურ საფრთხეს წარმოადგენენ შეღვის ზონაში მომრავლებული ნავთობმომპოვებელი პლატფორმები. ჩრდილოეთის ზღვაში ერთ-ერთი დანადგარის ავარიის შედეგად ზღვაში ყოველწლიურად იღვრებოდა 4000 ტ ნავთობი. სტატისტიკური მონაცემებით ზღვაში მოპოვებული ნავთობის ერთ ტონაზე დანაკარგი 70-80 გ შეადგენს.

7.4.2. ოკეანეში ჩაღვრილი ნავთობის ტრანსფორმაცია. ოკეანეში მოხვედრილი ნავთობი დიდ ფართობზე განიხევა, რაც, ცხადია, ხელს უწყობს მის აორთქლებას. მისი შემდგომი ბედი დამოკიდებულია ნავთობის შედგენილობაზე (უპირველეს ყოვლისა Mr-ზე) და მეტეოროლოგიურ პირობებზე. პირველ 24 საათში ქროლდება იმ ნახშირწყალბადების 50 %, რომლებშიც ნახშირბადის ატომების რიცხვი < 14 -ზე. მომდევნო შვიდ დღეში კი $C_{14} - C_{17}$ 50 %. მათი აქროლების ინტენსივობა, გარდა Mr-სა, დამოკიდებულია ჰაერის ტემპერატურაზე და ქარის სიჩქარეზე. მსუბუქი ნახშირწყალბადების აქროლების შემდეგ დარჩენილი „დამძიმებული“ ფრაქცია ილექება ფსკერზე. ხელსაყრელ პირობებში (ქარი, ღელვა) წარმოიქმნება ემულსიები, რომლებშიც სადისპერსიო არე არის წყალი ან ნავთობი. ემულგირება საგრძნობლად აჩქარებს ნავთობის გახსნა-გარდაქმნის

პროცესებს, რადგან იზრდება მისი ხვედრითი ზედაპირი (1 მლ ემულგირებული ნავთობის ზედაპირი დაახლოებით 12 მ²-ია). როგორც ვარაუდობენ, დაღვრილი ნავთობის 3-5 % იხსნება წყალში. ამ მხრივ გამოირჩევიან არომატული ნახშირწყალბადები (1 ლ წყალში იხსნება 0,80 გ ბენზოლი და 0,47 გ ტოლუოლი).

ნავთობისაგან ოკეანის თვითგასუფთავებაში მნიშვნელოვანია ჟანგვითი პროცესები, რომლის შედეგად წარმოქმნილი პროდუქტები წყალში ხსნადებია. ოკეანის ზედაპირის ერთ კმ²-ზე დღე-ღამეში 0,1-0,3 ტ ნავთობი იჟანგება. სიღრმეში ოქსიდაციის პროცესი ლიმიტირებულია გახსნილი ჟანგბადის სიმცირით. 1 ლ ნავთობის დასაჟანგად 400 მ³ ზღვის წყალში გახსნილი ჟანგბადია საჭირო.

ოკეანის წყალში 100-მდე სახეობის „ნავთობგადამამუშავებელი“ ბაქტერიაა გავრცელებული. მათი როლი ჩაღვრილი ნავთობის ტრანსფორმაციაში მეტად მნიშვნელოვანია. დღე-ღამეში მათ 1 მ³ წყალში 1 გ ნავთობის გადამუშავება შეუძლიათ. ბაქტერიების აქტივობა წყლის ტემპერატურის გაზრდით შესამჩნევად იზრდება.

7.4.3. ნავთობი ოკეანეში, მისი ეკოლოგიური როლი. ნავთობის განაწილება ოკეანის ზედაპირზე და სიღრმეში არათანაბარია. ჩვეულებრივ წყლის ზედაპირზე მისი რაოდენობა 0,1 მგ/მ²-ზე, წყალში კი 0,01 მგ/ლ-ზე ნაკლებია. სანაოსნო ტრასებზე ნავთობის კონცენტრაცია რამდენიმე მგ/ლ-ია. ხმელთაშუა ზღვაში — 0,5 მგ/ლ, ომანის სრუტესა და სპარსეთის ყურეში კი 4,5 მგ/ლ-ს აღწევს.

ნავთობპროდუქტებიდან შედარებით ტოქსიკურია მსუბუქი და არომატული ფრაქციები. მათ მავნე ქმედებას ნაწილობრივ ამსუბუქებს ნაერთების ადვილი აქროლადობა. ნავთობი ოკეანის კანცეროგენული ნივთიერებებით დაბინძურების ერთ-ერთი ძირითადი წყაროა. დადგენილია, რომ ფსკერული ნალექები 5 მკგ/გ-დე 3,4-ბენზოპირენს შეიცავენ. მისი შემცველობა ნავთობით დაბინძურებული რაიონების ფიტოპლანქტონში და წყალმცენარეებში ფონთან შედარებით 100-ჯერ არის გაზრდილი და 0,4 მკგ/გ შეადგენს.

ეკოლოგიური თვალსაზრისით ანგარიშგასაწევია ნავთობის აპკის გავლენა წყალსატევების გაზურ რეჟიმზე. თვლიან, რომ დიზელის სანავის აპკი, რომლის სისქე აღემატება 0,1 მმ-ს, საგრძნობლად ამცირებს აირმიმოცვლას. ლიტერატურაში არის საწინააღმდე-

გო მონაცემებიც, რასაც იმით ხსნიან, რომ ჟანგბადის ხსნადობა წყალში და თხევად ნახშირწყალბადებში მცირედ განსხვავდება. ნავთობის აპკის უარყოფითი გავლენა წყალსატევებში მიმდინარე ფოტოქიმიურ და ბიოქიმიურ პროცესებზე გამოწვეულია მის ქვეშ სინათლის ინტენსივობის შემცირებით.

7.4.4. ოკეანის დაცვა ნავთობისაგან. ოკეანე ეკოლოგიურად მდგრადი სისტემაა, მაგრამ მის „მოთმინებასაც“ აქვს ზღვარი, ამიტომ მოსალოდნელი კატასტროფის ასაცილებლად აუცილებელი გახდა რიგი საერთაშორისო შეთანხმებების მიღება და განხორციელება. როგორც ყოველთვის, ამ შემთხვევაშიც უფრო ეფექტურია დაბინძურების მიზეზების პროფილაქტიკა, ვიდრე ბრძოლა მის შედეგებთან. 1954 წ. ლონდონის კონვენციით აიკრძალა ბალასტი წყლების ჩაღვრა 50 მილიან სანაპირო ზოლში, 1980 წლიდან კი საერთოდ მათი გადაღვრა ზღვაში. ტანკერებისათვის სავალდებულო გახდა სარეზერვო ტანკები ნარეცხი და ბალასტი წყლების შენახვისათვის და მათი შემდგომი განმენდისათვის. ნარჩენი წყლები, რომლებშიც ნავთობპროდუქტების შემცველობა 100 მგ/ლ-მდეა, რეკომენდებულია ჩაიღვაროს გემის კილვატერის ნაკადში, სადაც ნავთობის დისპერგირების და დაჟანგვის კარგი პირობებია. ზოგიერთი ქვეყანა ტანკერებზე კონტროლს ახორციელებს ავიაციის და კოსმოსური თანამგზავრების გამოყენებით. ოკეანის დაბინძურების კონკრეტული წყაროს დადგენის მიზნით სცადეს ცალკეულ ტანკერებში მოთავსებულ ნავთობში სხვადასხვა ნიშანდებული ნივთიერებების შეტანა, მაგრამ ექსპერიმენტმა ვერ გაამართლა.

ტანკერების ავარიების მიზეზების ანალიზმა უჩვენა, რომ კატასტროფების ძირითადი მიზეზი მათი ტექნიკური გაუმართაობა და უსაფრთხოების წესების უგულებელყოფაა. შემთხვევითი არ არის, რომ იაპონიის ტანკერები 90-ჯერ ნაკლებად ხვდებიან ავარიებში, ვიდრე მათი ლიბერიელი კოლეგები. საქმე იმაშია, რომ ლიბერიაში (დასავლეთ აფრიკა), სხვა ქვეყნებისგან განსხვავებით, საზღვაო გადასახადი ძალზე მცირეა, ხოლო ტექნიკური კონტროლი პრაქტიკულად არ არსებობს.

ზღვაში ჩაღვრილი ნავთობის ლიკვიდაციისათვის რამდენიმე მეთოდია გამოყენებული. მათ შორის უძველესი და უმარტივესია „მტკერსასრუტის ვარიანტი“. მძლავრი ტუმბოებით შეგროვილი ნავ-

თობი გროვდება ტანკებში და წყლის მოცილების შემდეგ გამოიყენება დანიშნულებისამებრ. კარგ შემდეგ იძლევა ნავთობის ლაქის წინასწარი შეგროვება და შემოღობვა ტივტივა ჯებირით (ბონებით). მექანიკური მეთოდი არ ქმნის დამატებით ეკოლოგიურ პრობლემებს, მაგრამ შრომატევადია და გამოიყენება მხოლოდ წყნარ ამინდში.

ოკეანეში ახლად ჩალვრილი ნავთობის განადგურება შეიძლება დანვით. ოპერაცია უნდა ჩატარდეს მის განთხევამდე. მაგრამ ასეთი რადიკალური გადაწყვეტილების მიღება ავარიიდან 20-30 წუთში ძნელია, მით უმეტეს, რომ ნავთობის ლაქა ჯერ კიდევ კატასტროფის ზონაში იქნება.

პერსპექტიულია დაღვრილი ნავთობის შეგროვება ბუნებრივი (ნახერხი, ტორფი), და, განსაკუთრებით, სინთეზური (ფენოლპლასტები, ქაფპოლიურეთანი და სხვა) სორბენტების გამოყენებით. ქაფპოლიურეთანის ფხვნილი საკუთარ მასაზე 18-ჯერ მეტ ნავთობს შთანთქავს, რომლის მექანიკური გამოწურვის შემდეგ ისევ გამოიყენება.

ავარიის შემდეგების ლიკვიდაციის მიზნით ნავთობის გავრცელების ზონაში აფრქევენ პიდროფობური ნივთიერებებით (ჩვეულებრივ ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებებით) დამუშავებულ ქვიმას, კირქვას, დოლომიტს და სხვ., რომლებიც სორბირებულ ნავთობთან ერთად იძირებიან. მეთოდი ეკოლოგიურად გაუმართლებელია, რადგან ინამლება ბენთოსი და არ არის გამორიცხული გარკვეული დროის შემდეგ ნავთობის ამოტივტივება. არაიონოგენური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები გამოყენებულია განთხეული ნავთობის დისპერგირების და ემულგირების მიზნით. ლამანშის სრუტეში 1967 წ. მომხდარი ავარიის შემდეგ ზღვაში 14 ათასი ტ ძვირად ღირებული დისპერგატორი შეიტანეს, რომელმაც სპეციალისტების აზრით ეკოსისტემას მეტი ზარალი მიაყენა, ვიდრე ჩალვრილ ნავთობს შეეძლო.

ოკეანის დაცვის მიზნით საერთაშორისო თანამშრომლობამ შედეგი გამოიღო. 1970-1980 წწ. ოკეანეში ნავთობის ემისია შემცირდა 52 %-ით, თუმცა მისი მოპოვება და ტრანსპორტირება გაიზარდა 30 და 20 %-ით. დადებით ძვრებს ხელი შეუწყო სხვა გარემოებამაც. გამკაცრდა კონტროლი ტანკერების ტექნიკურ მდგომარეობაზე, ალასკაზე, ჩრდილოეთის ზღვაში და სხვა რეგიონებში ნავთობის მძლავრი საბადოების აღმოჩენის შემდეგ ნაწილობრივ შემცირდა მისი შორეული ტრანსპორტირების მასშტაბები. ამის მაჩვენებელია სუპერტანკერების სულ უფრო მზარდი გამოყენება ნავთობსაცავებად და მტკნარი წყლის გადასაზიდად.

7.5. შავი ზღვა, მისი თავისებურებები. გოგირდწყალბადი შავ ზღვაში

7.5.1. შავი ზღვის ჰიდროლოგიური და ჰიდროქიმიური თავისებურებები. მორფომეტრული მონაცემები: ფართობი 420 325 კმ², საშუალო და მაქსიმალური სიღრმე 1282 და 2245 მ, წყლის მოცულობა 547 015 კმ³, მდინარეების წლიური ჩამონადენი – 346 კმ³.

შავი ზღვა ოროგრაფიული და ჰიდროლოგიური თვალსაზრისით თავისებური წყალსატევია. ატლანტის ოკეანისგან, რომლის შემადგენლობაშიც ის შედის, პრაქტიკულად მოწყვეტილია და უჩვეულოდ ღრმაა სხვა შიგა ზღვების ფონზე. შავი ზღვა, ოკეანესთან შედარებით, საკმაოდ მტკნარია (ცხრილი 7.7), აქვს მაღალი ტუტიანობა, რაც მდინარეების უხვი ჩამონადენით და სულფატრედუქციის პროდუქტების გავლენით აიხსნება. ამიტომ წყლის ტუტიანობა სიღრმეში იზრდება. შავი ზღვის წყალში, ოკეანესთან შედარებით, ორჯერ მაღალია C_{org} კონცენტრაცია (საშუალო 3 მგ/ლ). ზღვის ჰიდროლოგიურ და ჰიდროქიმიურ ბალანსში დიდ როლს ასრულებს ბოსფორის სრუტე. ყოველწლიურად ზედაპირულ დინებას შავი ზღვიდან გააქვს 340 კმ³ წყალი, რომლის მარილიანობა 17-18 ‰, ქვედა დინებას კი შემოაქვს 176 კმ³ მლაშე წყალი ($S = 42 ‰$), რომელიც შედარებით მძიმეა და სიღრმეში ეშვება.

შავი ზღვის ჰიდროქიმიური თავისებურებაა ქიმიური შედგენილობის მკვეთრი, მკაფიოდ გამოხატული ვერტიკალური სტრატიფიკაცია (ცხრილი 7.7), რომლის მიზეზი წყლის მასების ვერტიკალური მიმოქცევის ძალზე დაბალი სიჩქარეა. ჰიდროლოგების გათვლებით წყლის ქვედა ფენების ზედაპირამდე ამოსვლას 1000 და მეტი წელი სჭირდება. ამიტომ გასული საუკუნის 50-იან წლებში შავი ზღვის გამოყენება უნდოდათ რადიოაქტიური ნარჩენების სამარხად.

შავი ზღვის ქვედა ფენებში ჟანგბადის კონცენტრაციის შემცირების გამო მცირდება ჟანგვითი პოტენციალი და იქმნება აღმდგენელი არე. ასეთ პირობებში NO_3^- აღდგება NH_4^+ -მდე, რაც აისახება მათ სიღრმით განაწილებაში. NH_4^+ -ის კონცენტრაცია ზედა ფენებში 0,03-0,07 მგ/ლ-ია, უჟანგბადო არეში კი აღემატება 1 მგ/ლ-ს. წყლის ზედა ფენებში არაორგანული ფოსფორის კონცენტრაცია 0,03-0,05 მგ/ლ-ია, სიღრმეში 0,32-0,36 მგ/ლ. წყლის ღრმა ფენებში აქტიური

ბიოგენური ნივთიერებების კონცენტრაციის თითქმის ათჯერადი ზრდა სასიცოცხლო პროცესების დამუხრუჭების შედეგია.

ცხრილი 7.7. შავი ზღვის წყლის ქიმიური შედგენილობის ცვალებადობა სიღრმის მიხედვით

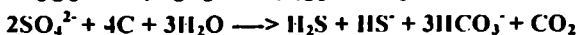
h, მ	S ‰	pH	მკგ/ლ		O ₂ მგ/ლ			H ₂ S მგ/ლ		
			NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	მინ.	მაქს.	საშ.	მინ.	მაქს.	საშ.
0	18.07	8.39	71	69	7.60	8.27	8.01	0.00	-	-
20	18.20	8.37	-	-	9.38	12.00	11.10	0.00	-	-
50	18.63	8.16	99	53	4.46	9.81	7.69	0.00	-	-
100	20.06	7.88	84	78	0.30	3.52	1.15	0.00	-	-
150	20.87	7.84	84	92	0.07	0.60	0.27	0.14	0.26	0.20
200	21.25	7.84	86	225	0.06	0.16	0.10	0.72	0.92	0.80
300	21.68	7.82	8	366	0.00	-	-	1.93	2.34	2.20
500	21.99	7.79	0	722	0.00	-	-	4.60	5.82	5.25
1000	22.24	7.77	0	1079	0.00	-	-	8.05	8.69	8.49
2000	22.30	7.66	0	1262	0.00	-	-	9.21	9.60	9.56

როგორც შიდა ზღვების უმრავლესობა, შავი ზღვაც საკმაოდ დაბინძურებულია ანთროპოგენური ნივთიერებებით. ყოველწლიურად ზღვაში ჩაედინება $4 \cdot 10^5$ ტ ბიოგენური და $2 \cdot 10^6$ ტ ორგანული ნივთიერებები. ანთროპოგენური დაბინძურებით გამოირჩევა შავი ზღვის ჩრდილო-დასავლეთი ნაწილი, სადაც ჩაედინება ევროპის უდიდესი მდინარე დუნაი. გასული საუკუნის მეორე ნახევარში დუნაის წყალში ნიტრატების და ნიტრიტების კონცენტრაცია 6-ჯერ, ფოსფატების კი 3-ჯერ გაიზარდა. ნორმირებული ნივთიერებების (მინერალური სასუქები, მხამქიმიატები, ნავთობპროდუქტები და სხვა) მძლავრი მომწოდებელია აგრეთვე დნეპრი, ყუბანი და სხვა მდინარეები.

ნავთობპროდუქტების კონცენტრაცია შავ ზღვაში საშუალოდ 0,2-0,4 მგ/ლ-ია, მაგრამ არცთუ იშვიათად აღწევს 1,0-1,3 მგ/ლ-ს. ზღვის ცალკეულ უბნებზე გაზრდილია დეტერგენტების და პექსაქლორციკლოპექსანის კონცენტრაციები (500 და 20-30 მკგ/ლ-მდე). შავი ზღვის ეკოქიმიური ვითარება მკვეთრად გაუარესდა ჩერნობილის ატომური ელექტროსადგურის ავარიის შედეგად.

7.5.2. გოგირდწყალბადი შავ ზღვაში. გოგირდწყალბადის არსებობა შავი ზღვის წყალში 1890 წ. შეამჩნიეს ნ. ანდრიუსოვმა და ი. შპინდლერმა. მათი ყურადღება მიიქცია დამახასიათებელმა სუნმა, რომელიც ლუზის ამოღების შემდეგ ჰქონდა მის სამაგრ თოქს. მომდევნო წელს ა. ლებედიანცევმა დაადგინა, რომ H_2S -ის კონცენტრაცია წყლის ღრმა ფენებში ($h > 183$ მ) 0,5-10,1 მგ/ლ ფარგლებში იცვლება. 1893 წ. ნ. ზელინსკიმ გამოთქვა მოსაზრება, რომ H_2S წყარო შავი ზღვის ქვედა ფენებში ორგანული ნახშირბადით სულფატების ბაქტერიოლოგიური აღდგენა უნდა იყოს. მოგვიანებით შავ ზღვაში გოგირდწყალბადის გენეზისი და დინამიკა საფუძვლიანად შეისწავლეს ე. ოსტროუმოვმა (ე. კინწურაშვილმა) და მისმა მოწაფეებმა.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, წყლის მასების ძალზე სუსტი ვერტიკალური მიმოქცევის გამო 150-200 მ ქვემოთ შავ ზღვაში უფანგბადო არეა, რაც ხელსაყრელ პირობებს ქმნის სულფატების ქიმიური და ბაქტერიოლოგიური აღდგენისათვის



აღდგენითი პროცესები ინტენსიურად მიმდინარეობს ფსკერულ ნალექებში (ლამებში), განსაკუთრებით შელფის ზონაში. ერთი კგ ლამი ასობით მლნ სულფატ-აღმდგენელ ბაქტერიას შეიცავს და დღე-ღამეში 1,2-1,6 მგ H_2S გამოყოფს. ამიტომ ლამის წყლებში H_2S -ის კონცენტრაცია ხელსაყრელ პირობებში 100 მგ/ლ აღემატება.

გოგირდწყალბადის სხვა წყაროები შეიძლება იყოს გოგირდორგანული ნაერთები, ან ტექტონიკური აირები. გათვლები გვიჩვენებს, რომ ბიოგენური გოგირდშემცველი ნაერთების ჰიდროლიზი რაოდენობრივად ეერ უზრუნველყოფს სულფიდური გოგირდის არსებულ კონცენტრაციებს. გამოთქმულია ვარაუდი, რომ ნლიურად შავ ზღვაში ფსკერიდან შემოედინება რამდენიმე მლნ ტ H_2S , მაგრამ სათანადო სანდო ფაქტობრივი მონაცემები ლიტერატურაში არ არის.

სულფატრედუქციისა და მის შედეგად H_2S -იანი წყლის მასების წარმოქმნით შავი ზღვა გამონაკლისი არ არის. ანალოგიური ვითარებაა კარიაკოს ღრმულში (კარიბის ზღვა), სპარსეთის ყურეში, ნორვეგიის ფიორდებში და სხვა. გოგირდწყალბადი დიფუნდირდება წყლის ზედა, უანგბადიან ფენებში, სადაც ადვილად იფანგება



რადგან H_2S -ის დაჟანგვის სიჩქარე სულფატრედუქციის სიჩქარეზე მეტია (შესაბამისად 0,5-1,1 და 0,03-0,36 გ S/მ² დღე-ღამეში),

გოგირდწყალბადი ჟანგბადის ბარიერს ვერ სცდება და წყლის ზედა ფენას ვერ აღწევს. ჩვეულებრივ გოგირდწყალბადიანი ფენა 120-150 მ ქვემოთაა და სიღრმის გაზრდით H_2S -ის კონცენტრაცია იზრდება (ცხრილი 7.7). მისი მაქსიმალური შემცველობა შავი ზღვის წყალში 10-12, საშუალო კი 7,5 მგ/ლ-ია. გახსნილი გოგირდწყალბადის 82-92 % წარმოდგენილია H_2S -ის, 8-12 % კი H_2S -ის სახით. სულფატრედუქციის პროცესების წლიური სიმძლავრე 20-34 მლნ ტონით არის შეფასებული. შავი ზღვის წყლის 90 % გოგირდწყალბადიანია, ხოლო აკუმულირებული H_2S -ის საერთო მასა (3,7-6,5) 10^9 ტ შეადგენს.

7.5.3. გოგირდწყალბადის დინამიკა შავ ზღვაში. გასული საუკუნის 70-იან წლებში გამოჩნდა ცნობები შავ ზღვაში გოგირდწყალბადის გავრცელების არეალის გაფართოების შესახებ. ახალი ინფორმაციის მიხედვით H_2S აღმოჩენილი იყო 90-100 და უფრო მცირე სიღრმეზეც. პრესამ უმაღლეს აიტაცა სენსაციური ინფორმაცია და შავ ზღვისპირეთში მეორედ მოსვლა იწინასწარმეტყველა: „არნახული კატასტროფა“, „გოგირდწყალბადის ნაკადი მონამლავს ხმელთაშუა ზღვასაც“, „მოსალოდნელია გიგანტური აფეთქება“, „ეკიპაჟის გარეშე დარჩენილი ატომური კრეისერები“ და ა.შ.

რამდენად რეალურია მოსალოდნელი საფრთხე? მათემატიკური მოდელირების შედეგები გვიჩვენებენ, რომ, თუ ზღვაში სულფატრედუქციის სიჩქარე გაიზრდება 100-ჯერ (რაც არარეალურია), H_2S -იანი ფენა ამოიწვეს 40 მ სიღრმემდე, პროცესის 1000-ჯერადი (!) დაჩქარების შემთხვევაში კი ამოაღწევს ზედაპირამდე, მაგრამ მისი დეგაზაცია არ მოხდება. აქვე აღვნიშნავთ, რომ H_2S -ის ლეტალური კონცენტრაცია 670-900 მგ/მ³-ის ტოლია (ზდკ 0000 მგ/მ³), აალების ტემპერატურა 250° C, ხოლო აფეთქების კონცენტრაციული ზღვრები 4,5-45 %-ია.

გოგირდწყალბადის ვერტიკალური დინამიკა შავ ზღვაში სპეციალისტთა შორის დღემდე სადავო საკითხად რჩება. მოვლენის არაერთნიშნა შეფასების მიზეზი მისი სირთულე და დინამიკურობაა. გოგირდწყალბადიანი ფენის სივრცითი განაწილება, გარდა დაჟანგვა-აღდგენის პროცესებისა, დამოკიდებულია ჰიდროლოგიურ და სინოპტიკურ ფაქტორებზე, აქვს ტალღისებური (ზოგჯერ გუმბათოვანი) ფორმა და, როგორც ვარაუდობენ, ატარებს ციკლურ ხასიათს. დღელამეში გოგირდწყალბადის სიღრმითი განაწილება 30-40 მ-ით

იცვლება. გარდა აღნიშნულისა, H_2S -ის, ვერტიკალური განაწილების შესწავლა დაკავშირებულია რიგ ექსპერიმენტულ სირთულეებთან: გემის დრეიფის გამო ძნელია სინჯის ზუსტი სიღრმის ფიქსირება, ჩვეულებრივ H_2S -ის განსაზღვრისათვის ადრე გამოყენებული იოდ-მეტრული მეთოდი არაა სპეციფიკური (ისაზღვრება გოგირდის ყველა აღდგენილი ფორმა – S^{2-} , HS^- , SO_3^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) და შედარებით დაბალ-მგრძნობიარეა (განსაზღვრის მინიმუმი 0,03 მგ S^{2-}).

გოგირდწყალბადიანი ფენის ამონევის მიზეზი შეიძლება ყოფილიყო სულფატრედუქციის სიჩქარის, ტექტონიკური პროცესების ინტენსივობის ან ზღვის ჰიდროლოგიური რეჟიმის მკვეთრი ცვლილება. პირველი ფაქტორის გავლენას, ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე, სპეციალისტები გამორიცხავენ. მკვლევართა უმრავლესობა საერთოდ უარყოფს ტექტონიკური H_2S -ის მნიშვნელოვანი ნაკადების არსებობას შავ ზღვაში. თუ ასეთი მძლავრი წყარო იქნებოდა, მაშინ H_2S -ის კონცენტრაცია ღრმა ფენებში გაცილებით მაღალი უნდა ყოფილიყო. უფრო რეალური ჩანდა მესამე ფაქტორი: მდინარეების წყლის ინტენსიური მოხმარების (ირიგაცია, წყალსაცავების შევსება) გამო შავ ზღვაში მტკნარი წყლის ჩამონადენის შემცირება უნდა დაკომპენსირდეს ბოსფორის ქვედა დინების შესაბამისი გაძლიერებით. ხმელთაშუა ზღვის მარილიანი, მძიმე წყალი დაეშევა ფსკერზე, რის გამოც გოგირდწყალბადიანი ფენა უნდა ამოინიოს. მდინარეების ჩამონადენის შესაძლო დეფიციტის შედარება ზღვის საერთო მოცულობასთან გვიჩვენებს, რომ გოგირდწყალბადიანი ფენის შესამჩნევი გადაადგილება არც ამ ფაქტორს შეეძლო.

შავი ზღვის ეკოლოგიური მდგომარეობის რეალური შეფასების და ობიექტური პროგნოზირების მიზნით გასული საუკუნის 90-იან წლებში დახვეწილი მეთოდების გამოყენებით შესწავლილი იყო გოგირდის აღდგენილი ფორმების ვერტიკალური განაწილება. ადრე მიღებული დებულებების სანინაალმდეგოდ დადგინდა, რომ შესაძლებელი ყოფილა გახსნილი ჟანგბადისა და გოგირდწყალბადის თანაარსებობა მათი მცირე კონცენტრაციების პირობებში და ზოგიერთი სახეობის სულფატალმდგენელი ბაქტერიების ცხოველმყოფელობა ჟანგბადიან ფენაში. ამრიგად, H_2S -ის პროდუცირება და სიცოცხლისუნარიანობა წყლის ზედა, ჟანგბადიან ფენაში, წყვეტილი ვერტიკა-

ლური განანილება (გოგირდწყალბადიანი „ლინზების“ არსებობა), არ ადასტურებს მის სიღრმულ წარმოშობას.

7.5.4. შავი ზღვის გოგირდწყალბადის ამოღება-უტილიზაციის პერსპექტივა. შავი ზღვის „გადასარჩენად“ რამდენიმე, უმეტესად არარეალური, პროექტი იყო მონოდებული. კერძოდ, ჟანგბადის ბალანსის გასაუმჯობესებლად და ამით გოგირდწყალბადის დაჟანგვის დასაჩქარებლად შემოთავაზებული იყო მილგაყვანილობის აგება, რომლითაც ზღვაში განუწყვეტლივ უნდა ებერათ ჰაერი. მეორე პროექტით შავი ზღვა უნდოდან გამოეყენებინათ მძიმე ლითონების შემცველი ჩამდინარე წყლების საცადად, რომლებიც დაილექებოდნენ სულფიდების სახით.

მასშტაბურობით გამოირჩეოდა პროექტი, რომელიც ითვალისწინებდა ღრმა ფენებიდან გიგანტური მილსადენებით ათასობით კმ³ წყლის ამოტუმბვას და მათი თერმული დეგაზაციის შედეგად გამოყოფილი H_2S -ის უტილიზაციას (სითბო. H_2 , S). ავტორის (რ. ახმედოვი) მტკიცების საწინააღმდეგოდ, პროექტი გაუმართლებელი იყო ეკონომიურად და საშიში ეკოლოგიურად. პროცესის უწყვეტი ხასიათის გამო ტექნიკურად შეუძლებელია წყლის ასეთი მძლავრი ნაკადის დეგაზაცია დროის შეზღუდულ მონაკვეთში. პროექტში უგულებელყოფილი იყო ის ფაქტი, რომ შავ ზღვაში გოგირდწყალბადი ძირითადად ჰიდროსულფიდურ ფორმაშია, ამიტომ საჭირო იქნებოდა წყლის წინასწარი შემჟავება pH 5-5,6-მდე. როგორც უკვე აღინიშნა, შავი ზღვის წყლის ერთ-ერთი თავისებურებაა მაღალი ტუტეობა. გათვლები გვიჩვენებს, რომ 1 ლ წყლიდან 8-10 მგ H_2S -ის გამოყოფაზე 120-160 მგ HCl იქნება საჭირო. დამუშავებული წყლის თბილი, შემჟავებული ნაკადები, რომლებიც ისევ ზღვაში უნდა ჩაშვებულიყო, მართლაც გამოინევედა ეკოლოგიურ კატასტროფას. აღსანიშნავია კიდევ ერთი მომენტი: თუნდაც მოიძებნოს H_2S -ის გამოყოფის მისაღები გზა, მისი უტილიზაცია ტექნოლოგიურ პრობლემებთან იქნება დაკავშირებული.

ერთ-ერთი ბოლო პროექტით, შავი ზღვის წყლიდან გოგირდწყალბადის გამოყოფა უნდოდან იონიტებით. ამ მიზნით 500 მ სიღრმეში უნდა ჩაეშვათ ანიონიტით დაფარული გიგანტური (საერთო სიგრძე 1000, სიგანე 20 მ) მოძრავი ლენტი. ამ შემთხვევაშიც, თუნდაც ანიონიტიდან სულფიდოინის გამოსარეცხად საჭირო რეაგენ-

ტზე დანახარჯი აღემატება პროდუქტის ღირებულებას. გარდა ამისა, მისი ტექნიკური განხორციელება შეუძლებელი იქნებოდა მძლავრი ნყალქვეშა დინებების გამო.

მოტანილი მასალა გვიჩვენებს შავი ზღვის უნიკალურობას და ჰიდროქიმიურ თავისებურებებს. რეალური ღონისძიებები, რომლებიც ხელს შეუწყობს ზღვის ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესებას მარტივია – მაქსიმალურად უნდა შემცირდეს მდინარეების და სხვა ჩამონადენში ორგანული და ბიოგენური ნივთიერებების შემცველობა. ამით ნაწილობრივ მაინც შენელდება სულფატრედუქციის სიჩქარე და შევინარჩუნებთ სიღრმული გოგირდწყალბადის ბუნებრივი ბარიერის – გახსნილი ჟანგბადის კონცენტრაციას.

VIII. ნიადაგი და მცენარეული საფარი

8.1. ნიადაგი, მისი მნიშვნელობა, მიწის ფონდი

ნიადაგი – ლითოსფეროს უმნიშვნელოვანესი, ძნელად განახლებადი ბუნებრივი რესურსი და წარმოების საშუალებაა; პაერთან და წყალთან ერთად ადამიანის არსებობის და კეთილდღეობის წყაროა. კაცობრიობისათვის ნიადაგის მნიშვნელობა ერთი ფრაზით გამოითქმის – მიწა მარჩენალი. ნიადაგი არაორგანული და ორგანული ბუნების დამაკავშირებელი ხიდი და მათი რთული, ხანგრძლივი ურთიერთქმედების პროდუქტია. ვარაუდობენ, რომ ნიადაგის წარმონაქმნები 400 მლნ წლის წინ გაჩნდა, როცა სიცოცხლე ჩაისახა დედამიწაზე.

ნიადაგის ფორმირება ხანგრძლივი პროცესია. პირობების მიხედვით ის n 100 და მეტი წელი გრძელდება. სხვა ფაქტორებთან (ქანების ბუნება, კლიმატი, რელიეფი) ერთად ნიადაგის ფორმირებაში პირველხარისხოვან როლს ასრულებს მცენარეული საფარის ნაცვენი, რომლის რაოდენობა დამოკიდებულია კლიმატურ ზონაზე და 0,5-1 ტ/ჰა-დან (უდაბნო, არქტიკა) 25 ტ/ჰა-მდე (ტროპიკები) იცვლება. მცენარეული ნაცვენის ბიოქიმიური და ბაქტერიოლოგიური ტრანსფორმაციის შედეგად წარმოიქმნება ნიადაგის ჰუმუსი და ნაწილობრივ თავისუფლდება ბიოგენური ნივთიერებები, რომლებიც განაპირობებენ ნიადაგის ნაყოფიერებას.

ხმელეთის საერთო ფართობიდან (149 მლნ კმ²) პროდუქტიულია 86 მლნ², მიწათმოქმედებისთვის კი ვარგისია 19 კვ.მლნ, ანუ ხმელეთის 13 და პლანეტის ზედაპირის 3 %. ევროპაში სოფლის მეურნეობა იყენებს საერთო ფართობის 31 %, ჩრდილოეთ ამერიკასა და აფრიკაში 10-14 %, სამხრეთ ამერიკაში და ავსტრალიაში კი 4 %. სპეციალისტების გათვლებით, ერთი ადამიანის გამოსაკვებად 0,6-1 ჰა სავარგულია საჭირო, პლანეტის ერთ მცხოვრებზე კი 0,3-0,4 ჰა მოდის. ეს სიდიდე ქვეყნების მიხედვით სხვადასხვაა: იაპონიაში 0,07, ეგვიპტეში 0,1, ჩრდილოეთ ამერიკაში 2-3, არგენტინაში 6, ავსტრალიაში

40 ჰა. საქართველო მცირემინიანი ქვეყანაა, მის ერთ მცხოვრებზე მხოლოდ 0,14 ჰა სავარგული მოდის.

ვარაუდობენ, რომ თავისი არსებობის მანძილზე კაცობრიობამ გააჩანაგა 20 მლნ კმ² სახნავ-სათესი. მეტ-ნაკლები ინტენსიობით ეს პროცესი დღესაც გრძელდება და ყოველწლიურად უვარგისი ხდება 50-70 ათასი კმ² სავარგული. ნიადაგის ფონდის შემცირების ერთ-ერთი მიზეზი არის ეროზია, რომლის სიჩქარე აღემატება ნიადაგ-ნარმოქმნის სიჩქარეს. საშუალოდ ერთი ჰექტარი ფართობიდან ყოველწლიურად წყლით ირეცხება 0,73 ტ ნიადაგი. იმავე პერიოდში ტიფთივა ნატანის სახით მდინარეებს ზღვებსა და ოკეანეებში გააქვთ 2,4 10¹⁰ ტ ნივთიერებები, რომლის ძირითადი წყარო ნიადაგის ეროზიის პროდუქტებია. ნიადაგის დეგრადაციაში მნიშვნელოვანია მტვრიანი ქარიშხლების როლიც (1.4). ნიადაგის ფონდის შემცირების ერთ-ერთი მიზეზია არასწორად წარმართული საირიგაციო სამუშაოები, რომლის შედეგად ხდება მათი დამლაშება ან დაჭაობება. მშრალი კლიმატის ზონაში სახნავ-სათესი ფართობის შემცირების მიზეზია მათი გაუდაბნოება. დღეისათვის უდაბნოებზე მოდის ხმელეთის 38 %. სასოფლო-სამეურნეო მიწების დიდი ნაწილი ეწირება ურბანიზაციის პროცესებს. გერმანიაში საავტომობილო და სარკინიგზო მაგისტრალებს უკავიათ ტერიტორიის 5 %. აშშ ქალაქების გაფართოების გამო მიწის ფონდი ყოველწლიურად მცირდება 3500 კმ². თბილისის გაფართოების გამო სასოფლო-სამეურნეო ფუნქციები დაკარგეს დილმისა და ორთაჭალის ნოყიერმა მიწებმა.

შექმნილი მდგომარეობის გაუმჯობესების მიზნით ინტენსიურად მიმდინარეობს ყამირი მიწების ათვისება, ტყეების გაჩეხვა, ჭაობების დაშრობა და სხვა. ამის შედეგად 1940-1975 წწ. სახნავ-სათესი ფართობი 8 მლნ კმ²-დან 15 მლნ კმ²-მდე გაიზარდა. მიუხედავად ამისა, მოსახლეობის სულადობაზე გათვლილი მიწის ფართი მცირდება დემოგრაფიული აფეთქების გამო. ყოფილ სსრკ-ში, მიუხედავად ყამირი მიწების ათვისებისა, 1950-1978 წწ. ეს სიდიდე 1,06 ჰა-დან 0,88 ჰა-მდე შემცირდა.

კაცობრიობის შიმშილისგან გადარჩენა შესაძლებელია მოსავლიანობის გაზრდით. ამ დარგში დიდი წარმატებებია მოპოვებული. XV-XVI საუკუნეში ერთი ჰა 6-7 ცენტნერ მარცვლეულს იძლეოდა, ახლა კი მისი მოსავალი 5-6-ჯერ მეტია.

8.2. ნიადაგის ქიმიური შედგენილობა,

ქიმიური და მინერალოგიური შედგენილობით, აგრეთვე მასში მიმდინარე პროცესების მრავალფეროვნებით ნიადაგი პლანეტის ურთულესი სისტემაა. მჭიდრო გენეტიკური კავშირის გამო ნიადაგებისა და მათ წარმოქმნელი ქანების მინერალოგიური შედგენილობა მსგავსია. მათ შორის ძირითადი განსხვავება ნიადაგებში ბიოგენური და ორგანული ნივთიერებების სიჭარბეა. სწორედ ბიოლოგიური პროცესების შედეგად წარმოქმნილი ორგანული ნივთიერებების ჩასახვით იწყება ქანების ტრანსფორმაცია ნიადაგად.

ნიადაგში ორგანული ნივთიერებების სპექტრი საკმაოდ რთულია. მიუხედავად ამისა, როგორც შემცველობით, ისე ბიო- და გეოქიმიური მნიშვნელობით, პირველხარისხოვანი როლი მიეკუთვნება ჰუმუსოვან ნივთიერებებს. ჰუმუსი – პოლიმერული ბუნების ნივთიერებაა, რომელიც წარმოიქმნება მცენარეული და ცხოველური ორგანული ნარჩენების ნელი, ნანილობრივი დაშლით ჟანგბადის დეფიციტის პირობებში და მინერალურ ნივთიერებებთან მათი ურთიერთქმედების შედეგად. რადგან ჰუმუსის შემცველობა განსაზღვრავს ნიადაგის ბუნებას და ნაყოფიერებას, ამიტომ მის შესწავლას განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა. მიუხედავად ამისა, ჰუმუსის გენეზისი და ბუნება ბოლომდე არ არის გარკვეული, რაც საკითხის სირთულით აიხსნება. ნიადაგის ჰუმუსის შედგენილობაში არჩევენ ტუტეებში უხსნად ჰუმინებს და ჰუმილიგინს, ტუტეში ხსნად ჰუმუსის და ფულვომჟავებს, აგრეთვე არა ჰუმუსური ბუნების ლიგნინს, ჰემიცელულოზას და სხვა. ჰუმუსისა და ფულვომჟავებზე შესაბამისად მოდის ნიადაგის ჰუმუსის 15-40 და 35-50 %.

ჰუმუსოვანი ნივთიერებების შემცველობა ნიადაგებში ფართო ზღვრებში იცვლება. საქართველოს ჭაობისა და შავმიწა ნიადაგებში მისი ფარდობითი წილი 10-12 %-ია, ენერ ნიადაგებში კი მხოლოდ 0,1-0,5 %. ნიადაგის სიღრმეში ჰუმუსის შემცველობა მცირდება.

ნიადაგის აგროქიმიური ბუნება, სხვა პარამეტრებთან ერთად, დამოკიდებულია ნიადაგის ხსნარების შედგენილობაზე, განსაკუთრებით მის pH-ზე. ნიადაგის pH ფართო ზღვრებში იცვლება და განაპირობებს ნივთიერებების არსებობის ფორმებს, მათი ფიტოტოქსიკაციისა და ფიტოკონცენტრირების ხარისხს. საკითხისადმი ინტერე-

სი საგრძნობლად გაიზარდა მყავა ნეიმებით გამოწვეული პრობლემების გამო (3.11).

სხვა ბუნებრივი ობიექტების მსგავსად, ნიადაგებშიც განსაკუთრებული როლი უკავიათ მიკროელემენტებს. მათი ნაკლებობა ან სიჭარბე იწვევს მცენარეთა ენდემურ დაავადებებს. ასეთ შემთხვევებში საჭირო ხდება მიკროელემენტების მარაგის შევსება მიკროსასუქებით, ან პირიქით – ნიადაგიდან მათი გამორეცხვა (ქიმიური მელორაცია), რაც შეტად რთული და ძვირად ღირებული სამუშაოა. ამ მიზნით ნარმატებით გამოიყენება მცენარეკონცენტრატორები, რომლებიც ნიადაგიდან შერჩევით ითვისებენ ტოქსიკურ ელემენტებს.

მიკროელემენტების შემცველობა ნიადაგებში ფართო ზღვრებში მერყეობს, თუმცა მათი საშუალო შემცველობა ახლოსაა კლარკთან (ცხრილი 8.1). ტექნოგენური ფაქტორების გავლენით უკვე შეიმჩნევა მათი ნილის ზრდა ნიადაგის ზედა ფენაში.

ცხრილი 8.1. მიკროელემენტები ქანებში, ნიადაგებში და მცენარეებში მგ/კგ მშრალ მასაზე

ელემენტი	კლარკი	ნიადაგი		მცენარე	
		ზღვრები	საშუალო	ზღვრები	საშუალო
Cr	83	5 – 3000	100	0.1 – 1.0	0.23
Co	18	1 – 40	10	0.16 – 0.5	0.3
Ni	58	10 – 1000	40	0.4 – 3.0	1.0
Cu	47	2 – 100	20	2 – 12	10
Zn	85	10 – 300	50	15 – 275	100
As	1.7	0.1 – 40	5	0.1 – 1.0	0.2
Se	0.05	-	0.01	0.02 – 2.0	0.2
Cd	0.13	0.01 – 0.7	0.06	0.003 – 0.2	0.1
Hg	0.08	0.01 – 0.3	0.02	0.005 – 0.02	0.01
Pb	16	0.2 – 200	10	0.05 – 12	2.7
U	2.5	0.9 – 9	1	-	0.3

8.3. ანთროპოგენური ფაქტორების გავლენა ნიადაგის შედგენილობაზე .

ნიადაგი ისევე აუცილებელია სიცოცხლისათვის, როგორც ჰაერი და წყალი. ამიტომ მისი რესურსების შენარჩუნება, რაციონალური გამოყენება და დაცვა ანთროპოგენური ნორმირებული ნივთიერებებისაგან, გარემოს ქიმიის აქტუალური საკითხია. ნიადაგი რთული შედგენილობის ფაქიზი სისტემაა, რომელიც ძალზე მგრძნობიარეა ეგზოგენური ნივთიერებების მიმართ. მისი თავისებურებაა აგრეთვე ტექნოგენური ნივთიერებების კონცენტრირება და ფიქსაცია. ნიადაგში მოხვედრილი ნივთიერებების (მძიმე ლითონები, პესტიციდები და სხვა) დიდი ნაწილი ჰიდროლიზის, ასოციატების წარმოქმნის და სორბციის გამო გადადის უძრავ ფორმაში. ბუნებრივი სორბენტების როლში გამოდიან თიხა მინერალები, მეტალთა ჰიდროქსიდები, ორგანო-მინერალური ნაწილაკები და სხვა.

ნორმირებული ნივთიერებების გავლენით იცვლება ნიადაგის ბუნება, დეგრადირდება მიკროფლორა და ნელდება მცენარის განვითარება. ასე მაგალითად, ნიადაგში, რომელშიც შეტანილი იყო 100 მგ/კგ კადმიუმი, ბაქტერიების რაოდენობა 28-ჯერ შემცირდა. კადმიუმზე უფრო ტოქსიკურია ვერცხლი და ვერცხლისწყალი.

მაგნე ნივთიერებების ზღკ-ს დადგენა ნიადაგებისათვის დაინიშნა 30-40 წლის წინ. სხვა ბუნებრივი ობიექტებისაგან განსხვავებით, ზოგიერთი ნორმირებული ნივთიერების ფონური შემცველობა საკმაოდ მაღალია, მერყეობს დიდ ზღვრებში (ცხრილი 8.1), რაც ნიადაგების მრავალფეროვნებასთან ერთად ართულებს მათი ზღკ-ას დადგენას. ამასთან, გასათვალისწინებელია ის გარემოებაც, რომ ფიტოტოქსიკური ზემოქმედება ნორმირებული ნივთიერებების ხსნადი (მოძრავი) ფორმებით არის განპირობებული. ამიტომ ზოგჯერ ამჯობინებენ ნიადაგში დაადგინონ ნივთიერების მოძრავი ფორმის შემცველობა (მაგ. Cu, Zn და სხვა, ცხრილი 8.2), ან ნამატი ფონთან შედარებით (მაგ. Pb). უფრო მარტივ შემთხვევაში ნიადაგის დაბინძურების ხარისხის დასადგენად ნორმირებული ელემენტის შემცველობას ადარებენ კლარკს. ნიადაგი მცირედ დაბინძურებულად ითვლება, თუ თანაფარდობა ნაკლებია 10-ზე; ძლიერ დაბინძურებულად, თუ ეს სიდიდე აღემატება 30-ს.

გაცილებით ადვილი და ეკონომიურია ნიადაგის დაცვა მავნე ეკო-ზოგენური ნივთიერებებისაგან, ვიდრე მათი გაუვნებლობა ან გამო-რეცხვა. დაბინძურებული ნიადაგების რემედიაციის მიზნით აგროქი-მიაში გამოყენებული არსენალიდან აღსანიშნავია მოკირიანება და ფოსფატიზაცია. პირველ შემთხვევაში იზრდება ნიადაგის ხსნარის pH, მცირდება მძიმე ლითონების ძვრადობა და მათი ტრანსლოკაცი-ის უნარი. ნიადაგში ფოსფორშემცველი მინერალური სასუქების შე-ტანის შედეგად მძიმე ლითონები (Pb, Zn, Cr და სხვა) ნარმოქმნიან მცირედ ხსნად ფოსფატებს, რაც ასევე ამცირებს მათ ძვრადობას.

ცხრილი 8.2. ზოგიერთი ნივთიერების ზღვ ნიადაგში (მგ/კგ)

ნივთიერება	ზღვ	ნივთიერება	ზღვ	ნივთიერება	ზღვ
ატრაზინი	0.5	სევინი	0.05	Cu*	23
ბენზინი	0.05	სიმაზინი	0.2	Hg	2.1
3,4-ბენზპირენი	0.02	სუპერფოს-ფატი	200	Zn*	110
დდტ	0.1	ფოსფამიდი	0.3	Pb	ფონი + 20
კარბოფოსი	2.0	ცინები	1.8	As	2
მეტაფოსი	0.1	ჰექსაქლო-რანი	0.05	Ni	35

* – მოძრავი ფორმა

ნიადაგებიდან მძიმე ლითონების და სხვა მავნე ნივთიერებების გამოსარეცხად გამოყენებულია სხვადასხვა გამხსნელი (HCl, KCl, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, CaSO_4 და სხვა). საველე პირობებში მიღებული შედეგები დამაკმაყოფილებელია, მაგრამ რეაგენტების დიდი ხარ-ჯის (20 ტ-დე ჰა) გამო მეთოდი არაეკონომიურია. გარდა ამისა, გა-მოყენებული რეაგენტებით მნიშვნელოვნად ბინძურდება გრუნტის წყლები.

როგორც მსოფლიოს ბევრი რეგიონის, ისე საქართველოს ნიადა-გების ნაწილი დაბინძურებულია. თბილისის, განსაკუთრებით კი რუსთავის, ნიადაგებში მძიმე ლითონების (Pb, Cu, Cr და სხვა) შემ-ცველობა 10-ჯერ და 100-ჯერ აღემატება ზღვ. ქალაქების ცენტრა-ლური ქუჩების გაზონების და ავტომაგისტრალების მიმდებარე ტე-

რიტორიების ნიადაგებში ტყვიის შემცველობა ასობით მგ/კგ შეადგენს. მადნეულის კომბინატის გავლენით ბოლნისის რაიონის ნიადაგები გამდიდრებულია სპილენძით და თუთიით. დარიშხანის სულფიდური მადნების მოპოვება-გადამუშავების ზონაში (რაჭა – მდ. ლუხუნის ხეობა, ქვემო სვანეთი) ნიადაგებში დარიშხანის შემცველობა რამდენჯერმე აღემატება მის ისედაც მაღალ ფონურ კონცენტრაციებს. კახეთისა და მევენახეობის სხვა რაიონების ნიადაგებში სპილენძის შემცველობა 0-100 მგ/კგ-მდეა გაზრდილი. ნიადაგების ლოკალური დაბინძურება დამახასიათებელია ავტოსარემონტო და ავტოგასამართი სადგურების, გალვანური საამქროების და სხვა საწარმოების მიმდებარე ტერიტორიებზე.

8.4. ანთროპოგენური ფაქტორების გავლენა მცენარის ქიმიურ შედგენილობაზე

მცენარეების ქიმიური შედგენილობა დამოკიდებულია მის სახეობაზე, განვითარების სტადიაზე, კლიმატურ პირობებზე, მკვებავი არის (უპირველეს ყოვლისა ნიადაგის ხსნარის) შედგენილობაზე (pH, e_h , კომპლექსნარმომქმნელები, მაკრო- და მიკროელემენტები და ა.შ.) და სხვა ფაქტორებზე. ერთსა და იმავე ნიადაგში გაზრდილ მცენარეებში მიკროელემენტების შემცველობის ვარიაცია (ცხრილი 8.3) ნათლად უჩვენებს მცენარის სახეობის გადამწყვეტ როლს ქიმიური ნივთიერებების გადანაწილებაზე (ფიტოაკუმულაცია, ტრანსლოკაცია) ნიადაგიდან მცენარეში.

ცხრილი 8.3. მიკროელემენტების შემცველობის ზღვრები მცენარეებში

ელემენტი	მგ/კგ	ელემენტი	მგ/კგ	ელემენტი	მგ/კგ
B	0.8 – 9	Zn	74 – 180	Mn	6 – 740
Cu	0.4 – 35	Pb	0.1 – 28	Ni	1 – 4.8
Cd	0.4 – 2.7	Cr	0.4 – 3.2	As	0.01-3

ნიადაგში ბიოგენური ნივთიერებების და ზოგიერთი მიკროელემენტის სიჭარბე, აგრეთვე მათი ნაკლებობა, არახელსაყრელ პირობებს ქმნის მცენარის განვითარებისათვის. ნიადაგის შემადგენლობაში შემავალი კომპონენტების უმრავლესობისათვის დამახასიათებელია უკმარისობის, ოპტიმალური და ტოქსიკური მოქმედების ზონები. იმის გამო, რომ მცენარეს გააჩნია თვითდაცვის უნარი, ის უკეთ იტანს მიკროელემენტების სიჭარბეს, ვიდრე ნაკლებობას. •

ანთროპოგენური ნივთიერებებიდან ფიტოტოქსიკაციის უნარით გამოირჩევიან მძიმე ლითონები. ისინი ნამლავენ პროტოპლაზმას (Ag^+ , Hg^{2+} , Be^{2+}), შლიან ან ინჰიბირებას უკეთებენ ფერმენტებს (Hg^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+}), ინევენ ატფ დეგრადაციას (Al^{3+} , Fe^{3+} , Ba^{2+}), ბოჭავენ თიოლურ ჯგუფებს (Ag^+ , Hg^{2+} , Pb^{2+}), აზიანებენ უჯრედის მემბრანას (Cd^{2+}) და ა.შ. ფიტოტოქსიკაციის ხარისხი მნიშვნელოვნად ძლიერდება მუავა არეში ($pH < 5,5$) და სუსტდება ნეიტრალურ და ტუტე არეში. მძიმე ლითონების ტოქსიკური უნარი შესამჩნევად მცირდება აგრეთვე ნიადაგში ჰუმუსოვანი ნივთიერებების კონცენტრაციის გაზრდით. უნდა ვივარაუდოთ, რომ ამ პირობებში იზრდება მათი ფიქსაციის ხარისხი.

მცენარეების მიერ ნივთიერებების შთანთქმის მექანიზმი რთულია. უმეტეს შემთხვევაში ეს ხორციელდება ფიზიოლოგიური პროცესების ან ფესვებში დიფუზიის შედეგად. დადგენილია, რომ ფესვების გამონაყოფის ზეგავლენით ელემენტები გადადიან მცენარისათვის ხელმისაწვდომ ფორმაში. შთანთქმული ნივთიერებები (ჩვენ შემთხვევაში მძიმე ლითონები) ადვილად ნაწილდება მცენარის სხვა ორგანოებშიც, ძირითადად კომპლექსნაერთების სახით. შესაძლებელია მათი ნაწილობრივი გამორეცხვა წვიმის, განსაკუთრებით კი მუავა წვიმების წყლით. ფესვების მსგავსად, ნორმირებული ნივთიერებები მცენარეში შეიძლება მოხვდეს ფოთლებიდანაც არამეტაბოლური, ან მეტაბოლური გზით პროტოპლაზმის უჯრედის გავლით.

ჰაერისა და წყლისაგან განსხვავებით ნიადაგის ქიმიური ბუნება ადამიანის ჯანმრთელობაზე უშუალო გავლენას პრაქტიკულად არ ახდენს. ნორმირებული ნივთიერებები გადადის კულტურულ მცენარეში და ერთეობა კვების ჯაჭვში. აქედან გამომდინარე, ეკოლოგიური თვალთახედვით მნიშვნელოვანი მახასიათებელია ნივთიერების

ფიტოაკუმულაციის უნარი. ტრანსლოკაციის უნარი დამოკიდებულია ნივთიერების, ნიადაგის და მცენარის ბუნებაზე. როგორც ხმელეთის, ისე წყალმცენარეებში შთანთქმის უნარის მიხედვით პირველ ათეულში შედიან Mn, Zn, Cu, Co Pb, Ti, Ni, Cr, I და Cd. ზოგიერთი მცენარის ნაცარში Zn და Ni შემცველობა 10 %-ს აღემატება, Co, Cr და Cu-ის ნილი 1-3 %-ია.

მცენარის ქიმიური შედგენილობა ფიზიოლოგიური და ეკოლოგიური ფაქტორების ერთობლიობის შედეგია. ზოგიერთი მცენარე ამა თუ იმ ქიმიურ ნივთიერებას შეზღუდული რაოდენობით ითვისებს, სხვანაირად გააჩნია ფიზიოლოგიური ბარიერი. სხვა შემთხვევაში ეგზოგენური ნივთიერების რაოდენობა მცენარეში დამოკიდებულია ნიადაგში მის შემცველობაზე. ამ მოვლენაზეა დაფუძნებული სასარგებლო ნიაღისეულის ძიების ბიოგეოქიმიური მეთოდები. გეოქიმიური ანომალიების, ან ტექნოგენური დაბინძურების რაიონების ნიადაგებზე მონეულ მარცვლეულში ნაპოვნია (მგ/კგ მშრალ მასაზე) Cu 10, Zn 74, Cd 0.9, Pb 4.8, რაც მნიშვნელოვნად აღემატება ფონურ სიდიდეებს. მიკროელემენტების შემცველობით საკმაოდ განსხვავდებიან მცენარის ცალკეული ნაწილები (ცხრილი 8.4). როგორც წესი, მძიმე ლითონებით ყველაზე დაბინძურებულია ფესვები, განსაკუთრებით მათი კანი. კანის მოცილების შემდეგ კარტოფილში Cd და Zn შემცველობა მცირდება 20 %, Ni 40-50 %, Pb 80-90 %.

ცხრილი 8.4. ტყვიის განაწილება ბოსტნეულში (მგ/კგ)*

ობიექტი	პომიდორი		სტაფილო		კარტოფილი		ბოლოკი	
	1	2	1	2	1	2	1	2
ფესვები	5.9	168	5.7	111	5.0	352	5.8	287
ფოთლები	8.7	33	2.9	21	8.8	11	2.9	10.7
ნაყოფი	1.6	1.6	-	-	0.8	3.3	1.6	26.3

* 1 – კონტროლი; 2 – ნიადაგი, რომელშიც შეტანილი იყო 1 გ/კგ ტყვია

გარემოს სხვა ობიექტების მსგავსად, მცენარეულ საკვებ პროდუქტებშიც დადგენილია ტოქსიკური ნივთიერებების, მათ შორის მძიმე ლითონების, ზღვ (ცხრილი 8.5). ელემენტის ტოქსიკურობის

მიხედვით ეს სიდიდეები 0,01-დან 200 მგ/კგ ფარგლებში იცვლება. თავის მხრივ ელემენტის ტოქსიკურობა მჭიდრი კავშირშია ატომის ფუნდამენტურ მახასიათებლებთან (იონური პოტენციალი, ელექტროუარყოფითობა და სხვა).

ცხრილი 8.5. მძიმე ლითონების ზღვ მცენარეულ საკვებ პროდუქტებში (მგ/კგ)

ელემენ- ტი	პური	ბოსტნე- ული	ხილი	ელემენ- ტი	პური	ბოსტნე- ული	ხილი
Hg	0.01	0.02	0.01	Pb	0.2	0.5	0.4
Cu	5	10	10	Sn	-	200	200
Cd	0.02	0.03	0.03	As	0.2	0.2	0.2
Zn	25	10	10	Se	0.5	0.5	0.5
Al	20	30	20	Ni	0.5	0.5	0.5

IX. გარემოს ანთროპოგენური დაბინძურების აცილების მეთოდები

9.1. სამრეწველო აირების განმენდის მეთოდები

ქიმიური საწარმოების, ენერგეტიკული დანადგარების, ტრანსპორტის, სავენტილაციო სისტემების და სხვათა გამონაბოლქვი აირები დიდი რაოდენობით შეიცავენ მავნე მყარ და გაზობრივ მინარევებს. ატმოსფეროში მათი ემისიის შემცირების ყველაზე მისაღები გზაა ახალი, უნარჩენო, უფრო რეალური – მცირენარჩენიანი ტექნოლოგიების დანერგვა. გამონაბოლქვი აირების ზემოქმედებისაგან გარემოს დაცვის მიზნით პრაქტიკაში ფართოდ არის გამოყენებული ტრადიციული მეთოდი – მათი განმენდა მექანიკური და მავნე გაზობრივი მინარევებისაგან. ამ მიზნით მეთოდების შერჩევისას მთავარი კრიტერიუმებია აირების განმენდის ხარისხი, წარმოქმნილი ნარჩენების უტილიზაციის შესაძლებლობა და ეკონომიკური მხარე. ხშირ შემთხვევაში აირ- და წყალგანმენდი ნაგებობები მეტად რთული სისტემებია და ძირითად ტექნოლოგიურ პროცესზე არანაკლებ ღირებული.

9.1.1. სამრეწველო აირების განმენდა მტვრისგან. გამონაბოლქვი აირების მტვრის ნაწილაკებისგან გასუფთავების მეთოდების ერთ ჯგუფს საფუძვლად უდევს გრავიტაციული, ინერციული და ცენტრიდანული ძალების გამოყენება. გრავიტაციის პრინციპზე მუშაობს მტვერდამჭერი. დანადგარის ეფექტურობის გაზრდის მიზნით მათში ჩართულია შემანელებელი ტიხრები. მიუხედავად ამისა, აირების გასუფთავების ხარისხი არ აღემატება 40-50 %. მტვრის ნაწილაკები, რომელთა დიამეტრი ნაკლებია 40-50 მკმ, პრაქტიკულად არ ილექება, ამასთან, პროცესი ნელია.

შედარებით ეფექტურია აპარატურა, რომლებშიც იცვლება აირის ნაკადის მიმართულება და, შესაბამისად, ინერციული ძალა. მათი წარმადობა წამში 1-10 მ³-ია, გაზის გასუფთავების ხარისხი კი 65-85 % აღწევს.

უფრო მეტი წარმადობით (20-25 მ³ წამში) და აირების განმენდის ხარისხით ხასიათდებიან ციკლონები. მათი მთავარი ნაკლი ენერგოტევადობაა, ამასთან, შეზღუდულია გამონაბოლქვი აირების ტემპერატურული დიაპაზონი (ნაკლები 400° C-ზე და 30-50°-ით მეტი წამის ნერტილზე).

აღწერილი მეთოდები ჩვეულებრივ გამოყენებულია აირების განმენდის პირველ ეტაპზე, შედარებით უხეში ნაწილაკების მოსაცილებლად.

წერილობისპერსული ნაწილაკების ($d < 5$ მკმ) მოსაცილებლად სარგებლობენ მფილტრავი აირგამმენდი სისტემებით. მფილტრავ მასალად გამოყენებულია ბუნებრივი და სინთეზური ბოჭკოვანი მასალები, ფორიანი კერამიკა და სხვა. ფილტრებზე დალექილი მტერის პირველი ულუფა აუმჯობესებს გაფილტვრის ხარისხს, თუმცა იზრდება წინაღობა და ენერგიის ხარჯი.

აირგამმენდ სისტემებს შორის ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლებით გამორჩეულია ელექტროფილტრები. ელექტროფილტრი დადებითად და უარყოფითად დამუხტული ფირფიტების ლაბირინთია, რომელშიც მოძრაობს გასანმენდი აირი. ელექტროფილტრი პრაქტიკულად მთლიანად (99,6 %-მდე) იჭერს ყველა ზომის ნაწილაკს, ამასთან, მათი წარმადობა აღემატება 250-275 მ³ აირს წამში.

ხშირ შემთხვევაში აირების გასანმენდად გამოყენებულია „სველი ფილტრები“. აირნაკადს რწყავენ წყლის ჭავლით, ან ატარებენ წყლიან დამჭერში (ბარბიტაჟი). მეთოდი ეფექტურია და საშუალებას იძლევა მტვერთან ერთად მოვიცილოთ წყალში ხსნადი გაზობრივი მინარევებიც. უნაკლო არც „სველი გაფილტვრაა“: დიდი რაოდენობით იხარჯება წყალი და საჭირო ხდება წარმოქმნილი ჩამდინარე წყლების და შლამის უტილიზაცია, ან გაუვნებლობა.

ჰაერის გასუფთავების უძველესი და ეფექტური მეთოდია მწვანე ნარგავების დამცავი ზოლები. სპეციალისტების რჩევით „მწვანე ფილტრების“ სიგანე 30-50 მ მაინც უნდა იყოს, ნარგავები უნდა იყოს მეჩხერი, წინააღმდეგ შემთხვევაში ჰაერის ნაკადი კი არ გაიფილტრება, არამედ ზემოდან გადაუვლის ნარგავებს. დადგენილია, რომ ერთი ჰა წინვოვანი ტყე წლიურად 30-35 ტ მტვერს იკავებს, ფოთლოვანი კი თითქმის ორჯერ მეტს.

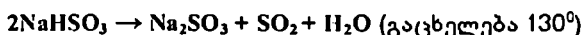
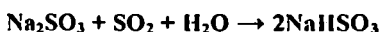
9.1.2. სამრეწველო აირების გაწმენდა გაზობრივი მინარევებისგან. მვენე აირების მოსაცილებლად ჩვეულებრივ გამოყენებულია ადსორბციული, ქემისორბციული და ქიმიური (კატალიზური) მეთოდები.

ადსორბციული მეთოდებით შესაძლებელია გამონაბოლქვი აირების მაღალხარისხოვანი გაწმენდა. სორბენტები „მუშაობენ“ რამდენიმე თვე, შემდეგ საჭიროა მათი შეცვლა, ან რეგენერაცია გაცხელებით, ანდა დესორბენტის საშუალებით. პოლარული ბუნების მინარევების მშთანთქმელებად გამოყენებულია სილიკაგელი, დიატომიტის მინა და სხვა. ორგანული ნივთიერებების ეფექტური მშთანთქმელია გააქტივებული ნახშირი. სორბციული მეთოდების მთავარი ნაკლია აირნაკადის დაბალი სიჩქარე. გარდა ამისა, გასაწმენდი აირი უნდა იყოს მშრალი და დაუმტვერავი.

აღნიშნული შეზღუდვები პრაქტიკულად მოხსნილია ქემისორბციულ მეთოდებში, სადაც აირდამჭერებად გამოყენებულია წყალი, ტუტეებისა და მჟავების წყალხსნარები; CaCO_3 , MgCO_3 , MnO_2 სუსპენზიები და სხვა.

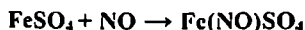
ქემისორბციული მეთოდები წარმატებით გამოიყენება გამონაბოლქვი აირებიდან SO_2 -ის მოსაცილებლად. მშთანთქმელებად გამოყენებულია H_2O , Ca(OH)_2 და CaCO_3 -ის სუსპენზია. ერთი კგ კირქვა 0,4-0,6 კგ SO_2 შთანთქავს. პრობლემად რჩება წარმოქმნილი CaSO_3 და CaSO_4 გამოყენების საკითხი, რადგან მიღებული თაბაშირი შეიცავს მინარევებს.

უფრო ეფექტური მშთანთქმელია Na_2SO_3 :



წარმოქმნილი Na_2SO_3 უბრუნდება პროცესს, ხოლო SO_2 შეიძლება გადამუშავდეს H_2SO_4 -ად. SO_2 -ის მშთანთქმელად გამოყენებულია აგრეთვე NH_4OH . მიღებული $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ეფექტური მინერალური სასუქია.

როგორც იყო აღნიშნული, ეკოქიმიური პრობლემების ნაწილი დაკავშირებულია ატმოსფეროში ანთროპოგენურ NO_x ემისიასთან. აირნარევიდან NO_x -ის შთანთქმა შეიძლება ტუტე ბუნების ნივთიერებების (NaOH , Na_2CO_3 , Ca(OH)_2) წყალხსნარებით და სუსპენზიებით. NO -ს შთანთქმა და შემდგომი უტილიზაცია შესაძლებელია FeSO_4 -ით:

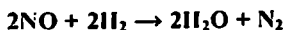


მიღებული ნივთიერება 95-100° იშლება FeSO_4 და NO . FeSO_4 უბრუნდება ციკლს, ხოლო NO -დან შეიძლება HNO_3 -ის წარმოება.

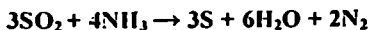
HCl , და Cl_2 მშთანთქმელებად გამოყენებულია წყალი, NaOH და Na_2CO_3 -ის წყალხსნარები, აგრეთვე კირძე. ბუნებრივი და ნავთობის თანმხლები აირების ძალზე არასასურველი მინარევია H_2S . მისი მოცილების მიზნით აირნაკადს ატარებენ NaHSO_3 -ის ხსნარში. მიღებული $\text{Na}_4\text{As}_2\text{S}_5$ იჟანგება ჰაერის ჟანგბადით $\text{Na}_4\text{As}_2\text{S}_5\text{O}_2$ -მდე, რომელიც დამატებით იერთებს H_2S -ის ახალ ულუფას Na_4AsS_7 -ის წარმოქმნით.

აირების გასუფთავების მეთოდების ჯგუფი დაფუძნებულია მინარევების გარდაქმნაზე სასარგებლო, ან ნაკლებად ტოქსიკურ ნივთიერებად. ჩვეულებრივ ამ მიზნით სარგებლობენ კატალიზური რეაქციებით. მეთოდი დანერგილია შიგანვის ძრავების გამონაბოლქვი აირების გასაწმენდად. მარტო აშშ ავტომანქანების „ნიეტრალიზატორების“ წარმოებაზე წლიურად 90 ტ პლატინა და 10 ტ პალადიუმი იხარჯება.

გამონაბოლქვ აირებში აზოტის ოქსიდების გასაუვნებლად მათ წვავენ H_2 , C_2H_4 ან CO ნაკადში:



SO_2 -ის უტილიზაციისათვის წარმატებით იყენებენ კლაუსის მეთოდს. ამ მიზნით აირნაკადში შეჰყავთ ეკვივალენტური რაოდენობა ამიაკი:



ამავე მიზნით უშუალოდ წვის კამერაში აფრქვევენ კირქვის ან დოლომიტის მტვერს, რომლებიც შთანთქავენ SO_2 პროცესის აქტივაციის მიზნით დოლომიტს უმატებენ 1 %-მდე Fe_2O_3 . პერსპექტიულად ითვლება SO_2 -ის დაჟანგვა H_2SO_4 -მდე H_2O_2 -ის გამოყენებით.

გარემოს დაცვის ერთ-ერთ საშუალებად რჩება ეკონომიკური სანქციები (ჯარიმები). ატმოსფეროში ერთი ტონა NO_x გაფრქვევისათვის საქართველოში საჯარიმო თანხა შეადგენს 112 ლარს; იგივე რაოდენობა ტყვიის, ან ვერცხლისწყლის გაფრქვევისათვის – 15 000 ლარს და ა.შ.

9.2. ჩამდინარე წყლების განმენდის მეთოდები

ჩამდინარე წყლების საერთო წლიური მოცულობა 600 კმ³ აღემატება, მათ შორის თითქმის ნახევარი წარმოების წარჩენი წყლებია, რომლებიც გამოირჩევიან რთული ქიმიური შედგენილობით.

ბუნებრივი წყლების ერთ-ერთი თვისებაა თვითგანმენდის უნარი. წყალში მოხვედრილი მავნე ნივთიერებები იჟანგება, სორბირდება ტივტივა ნატანზე, ქიმიური თუ ბიოქიმიური პროცესების შედეგად ტრანსფორმირდება ნაკლებად ტოქსიკურ ნაერთებად. წყლის თვითგანმენდის უნარი დამოკიდებულია ტემპერატურაზე, სიმღვრივეზე, დინების ტურბულენტობაზე, აერაციის ხარისხზე, ჟანგბადის კონცენტრაციაზე და სხვა. ანთროპოგენური დატვირთვის ინტენსიური ზრდის გამო წყლების დაბინძურების მასშტაბები ბევრგან აღემატება თვითგანმენდის პროცესების ინტენსივობას და საჭირო ხდება ჩამდინარე წყლების განმენდა.

მიუხედავად მრავალფეროვნებისა, ჩამდინარე წყლების განმენდა ძირითადად ითვალისწინებს მექანიკური მინარევეების და ნორმირებული ნივთიერებების მოცილებას, განეიტრალებას და ბაქტერიოლოგიურ გაუსწნებოვნებას.

მსხვილი შეტივნარებული ნივთიერებების მოსაცილებლად მოხერხებულია დანდომის ან ცენტრიფუგირების მეთოდები. ამავე მიზნით ჩამდინარე წყლებს ფილტრავენ ქვიშის, დაქუცმაცებული ღორღის, კოქსის ნარჩენების და სხვ. ფენაში. ფილტრაციის დაჩქარების მიზნით გამოყენებულია დოლურა ფილტრები, ან ვაკუუმფილტრები. გარკვეულ ტექნიკურ და ფინანსურ სირთულეებთან არის დაკავშირებული გამოყოფილი შლამის უტილიზაცია და დამარხვა. ბოლო ხანებში საყოფაცხოვრებო-კომუნალური და მეცხოველეობის ფერმების ჩამდინარე წყლებიდან გამოყოფილ მასას იყენებენ სასუქად ან ნედლეულად ბიოგაზის წარმოებაში.

ჩამდინარე წყლებიდან წერილდისპერსულ მინარევეებს იცილებენ კოაგულაციით (რეაგენტები $Al_2(SO_4)_3$, $Fe_2(SO_4)_3$), ფლოკულაციის ან ფლოტაციის მეთოდებით.

ჩამდინარე წყლების განეიტრალება ტექნიკურად მარტივია. ამ მიზნით გამოყენებულია ბუნებრივი ნივთიერებები ან იაფი რეაგენტები (გაფხვიერებული კირქვა და დოლომიტი, კირრძე). თუ არის შესაძლებლობა, მჟავა და ფუძე ბუნების ჩამდინარე წყლებით ახდენენ

ურთიერთგანეიტრალებას. ამ პროცესში დალექვა-თანდალექვის გამო ჩამდინარე წყლები სუფთავდება მძიმე ლითონებისგანაც. ნეიტრალიზატორებად კალციუმმემცველი რეაგენტების გამოყენებისას წყლიდან გამოილექება ჭარბი ფოსფატები.

ჩამდინარე წყლების დეზინფიცირებისათვის, დეზოდორაციისათვის, აგრეთვე ორგანული ნივთიერებების, ციანიდების, სულფიდების და სხვ. მოსაცილებლად სარგებლობენ დაჟანგვის მეთოდით. მჟანგავეებად გამოყენებულია O_2 , O_3 , Cl_2 , $Ca(OCl)_2$, $NaOCl$, H_2O_2 . მაღალეფექტურობით გამოირჩევა ოზონირების მეთოდი. მაგრამ ოზონის წარმოება ენერგოტევადია. ერთი და იგივე მოცულობა ჩამდინარე წყლის ქლორირებისათვის საჭირო რეაგენტების წარმოებას 10-15-ჯერ ნაკლები ენერგია სჭირდება, ვიდრე სათანადო რაოდენობა ოზონის მიღებას. ცალკეულ შემთხვევებში კარგ შედეგებს იძლევა ჩამდინარე წყლების რადიაციული, თერმო-ქიმიური, ან ულტრაიისფერი სხივებით დამუშავება.

ჩამდინარე წყლების განმენდის ხერხებს შორის აღსანიშნავია ბიოლოგიური მეთოდები აქტიური ლამის გამოყენებით. მეთოდი დაფუძნებულია აერობულ, ან ანაერობულ პირობებში ბაქტერიების მიერ ორგანული ნაერთების გადამუშავებაზე CH_4 ან CO_2 . ბიოლოგიური მეთოდი ეფექტურია ჩამდინარე წყლების გასანმენდად ამონიუმ-და ნიტრატინებისაგან. აერობულ პირობებში ხდება ამონიუმის ნიტროფიცირება, ანაერობულში კი დენიტრიფიკაცია. წყლების განმენდის ბიოლოგიური მეთოდი ეკონომიურია, მაგრამ ტბორები, რომელთა სიღრმე ლიმიტირებულია, დიდ ფართობს იკავებს; განმენდის პროცესი ნელია, ამასთან, წყალში არ უნდა იყოს მიკროფლორისათვის ტოქსიკური ნივთიერებები. ჩამდინარე წყლების ბიოლოგიური განმენდის დროს წარმოქმნილი ლამი გამდიდრებულია მძიმე ლითონებით და ზოგ შემთხვევაში კვალის სახით შეიცავს დიოქსინებს, პოლიციკლურ ნახშირწყალბადებს და სხვა ტოქსიკურ ნაერთებს. ამიტომ მათი გამოყენება სასუქად მოითხოვს გარკვეულ სიფრთხილეს. გერმანიაში ლამის გამოყენება რეკომენდებულია დეკორატიულ მემცენერეობაში. თუ ამის საშუალება არ არის, მიზანშეწონილია მისი გაშრობა და დანვა, თუმცა აქაც თავს იჩენს ეკონომიკური და ეკოლოგიური პრობლემები (სათბობის ხარჯი, დიოქსინების წარმოქმნის შესაძლებლობა და სხვა).

ჩამდინარე წყლებიდან მძიმე ლითონების და სხვა ტოქსიკური ელემენტების გამოსაყოფად სარგებლობენ ანალიზურ ქიმიაში და-ნერგილი კონცენტრირება-დაცილების მეთოდებით (ექსტრაქცია, სორბცია, იონმიმოცვლა, ელექტროლიზი და სხვა). საჭირო რეაგენ-ტების და სორბენტების ღირებულება და დიდი ხარჯი ამცირებს ამ მეთოდების ფართოდ გამოყენების შესაძლებლობას.

ზედაპირული წყლების დაბინძურების შემცირების მიზნით გამო-ყენებულია ჩამდინარე წყლების წინასწარი განზავების მეთოდიც. ამ გზით ნორმირებული ნივთიერებების კონცენტრაცია ჩამოჰყავთ და-საშვებ ნორმამდე, მაგრამ მეთოდის რეალიზაციისათვის საჭიროა დიდი რაოდენობა სუფთა წყალი.

9.3. მყარი ნარჩენების უტილიზაციის მეთოდები

თანამედროვე მრეწველობა გამოირჩევა მყარი ნარჩენების სიუხ-ვით და ასორტიმენტის მრავალფეროვნებით. მარტო თბოსადგურე-ბის ნარჩენების წლიური რაოდენობა 100 მლნ ტ აღემატება, დაგრო-ვილი „მარაგი“ კი $5 \cdot 10^9$ ტონაა, რომელსაც 1500 კმ² უკავია. ასევე შთამბეჭდავია შავი მეტალურგიის (50 მლნ ტ წიდა), გოგირდმუყავას ნარმოების (5 მლნ ტ ნამწვი) და სხვ. წლიური რაოდენობები. მყარი ნარჩენების სიუხვით ერთ-ერთი პირველია სამთო-მომპოვებელი მრეწველობა, რაც მოპოვებული ნედლეულის დიდი რაოდენობით და მასში სასარგებლო ნივთიერებების დაბალი შემცველობით (ჩვეუ-ლებრივ < 1-2 %) აიხსნება. ნარმოქმნილი ნარჩენების სამარხად ზოგჯერ გამომუშავებულ მაღაროებს იყენებენ, მაგრამ მათი ტევა-დობა საკმარისი აღარ არის, რადგან გაფხვიერებისას ქანების მოცუ-ლობა 30-40 %-ით იზრდება.

ნარჩენების შენახვა-უტილიზაციის პრობლემები ქიმიური მრეწ-ველობის უმწვავესი საკითხია. ამიტომ ტექნოლოგიური სქემების შე-ფასების ერთ-ერთი მთავარი კრიტერიუმი ნარჩენების მინიმიზაციაა, რაც ეკონომიკურ საკითხებთან ერთად მნიშვნელოვნად აუმჯობე-სებს ეკოლოგიურ ვითარებასაც. გავიხსენოთ, რომ ერთი ტონა სო-დის ნარმოების შემდეგ რჩება იმდენივე CaCl_2 და 0,5 ტ NaCl . მათი საერთო წლიური რაოდენობა $2 \cdot 10^9$ ტონას შეადგენს.

ქიმიური ტექნოლოგიის ერთ-ერთი მთავარი მოთხოვნა – ნედლეულის რაციონალური გამოყენება, თავისთავად ითვალისწინებს ნარჩენების შემცირებას და მაქსიმალურ გამოყენებას. პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ, რაც უფრო დაბალია ნარმოების კულტურა, მით უფრო პრაქტიკულია ნარჩენების უტილიზაცია.

ქვანახშირის ნამწვი წარმატებით გამოიყენება სამშენებლო მასალების წარმოებაში, ბეტონის შემავსებლად, თბოიზოლატორად და სხვა. ევროპის ქვეყნებში ნამწვის უტილიზაციის ხარისხი 60-75 % აღწევს. ყოფილ საბჭოთა კავშირში ეს სიდიდე მხოლოდ 10-12 % შეადგენდა. აშშ-ში დამუშავებულია თიხით მდიდარი მურა ნახშირის ნაცრიდან ალუმინის მიღების რენტაბელური მეთოდი. თუჯის წარმოების ძირითადი ნარჩენის – წიდის 75 % გამოყენებულია მშენებლობაში და ცემენტის წარმოებაში, ხოლო ფოსფორშემცველი წიდა (თომასის წიდა) – სასუქების წარმოებაში. ზესტაფონის ფერომანგანუმის ქარხნის სილიკომანგანუმის შემცველი წიდა წლების მანძილზე გამოყენებული იყო ინერტულ მასალად, ბოლო ხანებში კი საექსპორტო ნედლეული გახდა.

9.4. ეკოქიმიური ექსპერტიზა

ეკოლოგიური ექსპერტიზის მიზანია გარემოსდაცვითი მოთხოვნების, რაციონალური ბუნებათსარგებლობისა და მდგრადი განვითარების პრინციპების გათვალისწინებით გარემოს ეკოლოგიური წონასწორობის დაცვა და შენარჩუნება. ეკოექსპერტიზას საფუძვლად უდევს საქართველოს კანონები გარემოს დაცვის (1996), ნიადაგის ატმოსფერული ჰაერის, წყლის დაცვის (1994, 1997, 1999), ეკოლოგიური ექსპერტიზის (2007) და სხვათა შესახებ.

ეკოქიმიური ექსპერტიზა – ეკოექსპერტიზის ნაწილია და მისი მიზანია გარემოს ანთროპოგენური დაბინძურების, ან მოსალოდნელი დაბინძურების ხარისხის შეფასება, მონიტორინგისათვის აუცილებელი ინფორმაციის დაგროვება და სათანადო დასკვნის გაკეთება; ნორმირებული ნივთიერებების წყაროების გამოვლენა, მათი ემისიის მასშტაბების და დროში ცვალებადობის დადგენა.

ეკოქიმიური ექსპერტიზის დროს, უპირველეს ყოვლისა, აუცილებელია გარემოს უსაფრთხოების დაცვა. მეორე მხრივ, გასათვალისწინებელია სამრეწველო ობიექტების, სოფლის მეურნეობის თუ ადამიანის სხვა საქმიანობის ინტერესებიც. ასეთი „დაპირისპირების“ მაგალითია გასული საუკუნის მეორე ნახევარში ალაზნის ველზე მიმდინარე სეტყვის სანინალმდებო სამუშაოები (3.12). ეკოქიმიური ექსპერტიზის შედეგზე იყო დამოკიდებული სასოფლო-სამეურნეო თვალსაზრისით უაღრესად საჭირო სამუშაოს გაგრძელება-შენწყვეტის საკითხი. ალაზნის ველის ატმოსფერულ ნალექებში, აეროზოლებში, ზედაპირულ და მიწისქვეშა წყლებში, ნიადაგებში, მცენარეულ საკვებ პროდუქტებში და გარემოს სხვა ობიექტების ათასობით სინჯში ტყვიის განსაზღვრის შედეგებმა აჩვენა, რომ ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების სამუშაოები, განსაკუთრებით ახალი პირობარეგების გამოყენების შემდეგ, ეკოქიმიური თვალთახედვით საშიში არ იყო.

ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების შედეგები საკამათო იყო სომხეთშიც, სადაც ამ გზით ცდილობდნენ ატმოსფერული ნალექების ხელოვნურ ინიცირებას სევანის ტბის აუზში. იხტიოლოგების ვარაუდით ვერცხლის იონების კონცენტრაციის ზრდა იყო ტბაში თევზების რაოდენობის შემცირების მიზეზი. მრავალწლიანმა გამოკვლევამ აჩვენა, რომ ფონთან შედარებით, სევანის ტბისა და მისი შენაკადების წყალში ვერცხლის ანთროპოგენური ნამატი არ შეიმჩნეოდა. ანალოგიური დასკვნა იყო გაკეთებული თეორიული გაანგარიშებითაც (3.12).

ეკოდიპლომატიისა და ეკოექსპერტიზის ერთ-ერთი სამოქმედო უბანია ტრანზიტული მდინარეების დაბინძურების წყაროების და ხარისხის დადგენა. ამ მხრივ გამორჩეულია მდ. დუნაი, რომელშიც ევროპის 12 ქვეყნის ნარეცხი წყლები ჩაედინება. ნაკლები ხარისხით, მაგრამ მაინც, პრობლემა აქტუალურია საქართველოსთვისაც (მდინარეები: მტკვარი, დებედა, ჭოროხი და სხვა).

ეკოქიმიური ექსპერტიზით ერთნიშნა დასკვნის გაკეთება გაძნელებულია ტექნოურბანიზებულ რეგიონებში, სადაც გარემოს დაბინძურების რამდენიმე პოტენციური წყაროა. ასეთ შემთხვევებში საჭირო ხდება ქიმიური გამოკვლევის შედეგების განხილვა ქარის მიმართულების, ობიექტების ფუნქციონირების პერიოდის და სხვა ფაქტო-

რების გათვალისწინებით. საიმედო ინფორმაციას იძლევა სწორად შერჩეული ტრასერის კონტროლი.

პრაქტიკაში ზოგჯერ დასადგენია გარემოს დაბინძურების წყარო, ან წყაროების ნილის განსაზღვრა. ალაზნის ველზე, ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების გარდა, გარემოს ტყვიით დაბინძურების წყარო იყო ავტოტრანსპორტი. მათი ნილის გარჩევა შესაძლებელი გახდა გარემოში ტყვიის შემცველობის კონტროლით შემოდგომა-ზამთრის პერიოდში, როდესაც ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედება არ ხდებოდა.

მეორე მაგალითი: დასადგენი იყო, რუსთავის თბოცენტრალის ჰაერის ფილტრების დაბინძურების ძირითად მიზეზს რა ტერიგენული მტვერი, თუ რუსთავეცემენტი წარმოადგენდა. ტრასერად შერჩეულ იქნა სულფატიონი, რომლის შემცველობა ცემენტში 0,4, ხოლო ტერიგენულ მტვერში > 5 %-ზე. სულფატების მასური ნილი ფილტრიდან აღებულ სინჯებში 1,7 % აღმოჩნდა, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ მტვერის 20-25 % ანთროპოგენურია. ამას უჩვენებს მტვერის წყალგამონატუტის მაღალი pH (> 12), რაც ცემენტის მტვერში კალციუმის ოქსიდის თანაობით აიხსნება.

ზოგჯერ საჭიროა დაბინძურების წყაროს დადგენა მისი ფუნქციონირების შეწყვეტის შემდეგ. თუ გარემოში მოხვედრილი ნორმირებული ნივთიერებები უხსნადია, ან სორბირდებიან ნიადაგის და წყალსატევის ფსკერული ნალექებით, ამოცანა არ არის რთული. სხვა შემთხვევებში აუცილებელი ხდება დამატებითი გამოკვლევების ჩატარება. ერთ-ერთ სამხედრო ბაზის ტერიტორიაზე ჩაღვრილი იყო დიდი რაოდენობა მელანჟი (შედგენილობა იხილეთ 2.4). ნიტრატების განსაზღვრა ნიადაგის სინჯებში საჭირო ინფორმაციას ვერ მოგვცემდა მათი ადვილად ძერადობის გამო. ამიტომ სინჯებში შესწავლილი იყო კარბონატების შემცველობა, რომლებიც მჟავების მოქმედებით ნიადაგიდან ადვილად ირეცხებიან. დაბინძურებულ ზონაში, ფონთან შედარებით CaCO_3 -ის შემცველობა 2 – 2,5-ჯერ ნაკლები აღმოჩნდა.

გარემოს დაცვის ეფექტური საშუალებაა მშენებარე ობიექტების პროექტების წინასწარი ექსპერტიზა, რომლის საფუძველზე ხდება სათანადო ნებართვის გაცემა. პროექტის გარემოსდაცვით ნაწილში დეტალურად უნდა იყოს აღწერილი ობიექტის განთავსების რაიონის კლიმატი, ჰიდროლოგია, ფლორა, ფაუნა, გარემოს ფონური შედგე-

ნილობა და სხვა. აღწერილი უნდა იყოს სანარმოს ტექნოლოგია, გამოყენებული ნედლეული; გათვლილი უნდა იყოს ნორმირებული ნივთიერებების საშუალო და მაქსიმალური კონცენტრაციები სამრეწველო, სანიტარიულ და დასახლებულ ზონებში; გათვალისწინებული უნდა იყოს ავარიული ვითარებებისა და სტიქიური უბედურების შემთხვევაში მოსალოდნელი შედეგები, მათი აცილებისა და დროული ლიკვიდაციის გზები. მოქმედი კანონმდებლობით ეკოქიმიურ ექსპერტიზას საჭიროებს ყველა ობიექტი, რომლებიც გარემოში ნორმირებული ნივთიერებების ემისიის წყაროს წარმოადგენს (ქიმიური, ნავთობქიმიური, საამშენებლო მასალების და სხვა).

გასული საუკუნის ბოლოს დაპროექტდა და დაიწყო ტრანსკავკასიის რკინიგზის მშენებლობა ჟინვალ-ბარისახო – მდ. ასას ხეობის გავლით, რამაც საზოგადოების პროტესტი გამოიწვია. მწვანეთა მოძრაობის მთავარი კონტრარგუმენტი იყო მდ. არაგვის შესაძლო დაბინძურება. ფფიქრობთ ეკოლოგიური საფრთხის აღბათობა პროექტის რეალიზაციის შედეგად არცთუ დიდი უნდა ყოფილიყო. ასეთი დასკვნის საშუალებას გვაძლევდა პროექტში ჩადებული გარემოს დაცვითი ღონისძიებების კომპლექსი და მდ. ძირულას, ბელაიას (ჩრდილოეთ კავკასია) და სხვათა ნაპირზე გამავალი საკმაოდ გადატვირთული მაგისტრალების ექსპლოატაციის ეკოლოგიური შედეგები.

ეკოქიმიურ ექსპერტიზას ექვემდებარება საუტილიზაციო სამუშაოებიც, მით უმეტეს, რომ გარემოს დაბინძურების თვალთახედვით ნორმირებული ნივთიერებების წარმოება ხშირ შემთხვევაში ნაკლებად საშიშია, ვიდრე მათი უტილიზაცია (მაგალითად, ქიმიური იარაღი). საქართველოში ამ თვალსაზრისით განსაკუთრებით აქტუალურია სსრკ ყოფილ სამხედრო ბაზებში დარჩენილი ფეთქებადი მასალები, რაკეტული საწვავი და სხვ. უსაფრთხო უტილიზაცია.

ეკოქიმიური ექსპერტიზის კიდევ ერთი საინტერესო ობიექტია სოფლის მეურნეობის პროდუქტები. განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს მცენარეული წარმოშობის საკვებში პესტიციდების, ნიტრატების, მძიმე ლითონების და სხვ. შემცველობა. მცენარეული საკვების ქიმიური შედგენილობა გარემოს, პირველ რიგში, ნიადაგების დაბინძურების ობიექტური მაჩვენებელია.

გარემოს ეკოქიმიური ექსპერტიზის დროს უნდა გავითვალისწინოთ საკონტროლო ობიექტის ქიმიური შედგენილობის სტაბილურო-

ბა დროში და ერთგვაროვნება სივრცეში. რაც უფრო დინამიკური და არაერთგვაროვანია შედგენილობა, მით უფრო მეტი სინჯი და ხანგრძლივი დაკვირვებაა საჭირო ობიექტური დასკვნის გასაკეთებლად.

ეკოქიმიური ექსპერტიზა უმეტეს შემთხვევაში ტარდება სადავო საკითხის გადასაწყვეტად. ამიტომ ამ მიზნით გამოყენებული უნდა იყოს გარემოსდაცვითი სტანდარტები, ნორმატიული აქტები და კონტროლის სახელმწიფო ან საერთაშორისო სტანდარტული მეთოდები (ГОСТ, EPA, ISO და სხვა), გამოკვლევები კი უნდა ჩატარდეს მაღალკვალიფიციურ, სერტიფიცირებულ ლაბორატორიებში.

ცნებები და ტერმინები

აბრაზია – წყალსატევის ნაპირის დაშლა ტალღების ზემოქმედებით.

აერობული ორგანიზმი – ორგანიზმი, რომლის არსებობისათვის აუცილებელია თავისუფალი ჟანგბადი.

აეროზოლი – დისპერსული სისტემა, რომელიც შედგება ჰაერში (ან სხვა აირში) შეტიენარებული ნაწილაკებისაგან. აეროზოლებია: მტერიანი ჰაერი, ბოლი, ნისლი და სხვა.

ავტოტროფული ორგანიზმი – ორგანიზმი, რომელიც იკვებება მხოლოდ მინერალური ნივთიერებებით (CO_2 , NH_3 და სხვა).

აკვატორია – წყლის სივრცე, უბანი (მაგ. პორტის აკვატორია).

აკროთერმი – თბილი ან ცხელი სუსტად მინერალიზებული წყალი.

ამონიფიკაცია – აზოტმემცველი ორგანული ნივთიერებების გარდაქმნა ამიაკად.

ანაერობული ორგანიზმი – ორგანიზმი, რომელიც არსებობს უჟანგბადო არეში.

ანთროპოგენური ნივთიერება – ნივთიერება, რომელიც ადამიანის პრაქტიკული საქმიანობის (სათბობის წვა, მრეწველობა, სოფლის მეურნეობის ქიმიზაცია და ა.შ.) შედეგია.

ანოქსია – წყალში გახსნილი ჟანგბადის სრული, სულფატური ჟანგბადის სრული ან ნაწილობრივი გახარჯვა ორგანული ნივთიერების დაჟანგვაზე.

არეალი – რაიმე ნიშნით გამორჩეული ტერიტორია, უბანი.

არიდული ზონა – მშრალი კლიმატის არე, სადაც აორთქლება აღემატება ატმოსფერული ნალექების რაოდენობას.

ბარელი – 159 ლიტრი (ნავთობი).

ბატომეტრი – გამიზნული სიღრმიდან წყლის სინჯის ასაღები ხელსაწყო.

ბეკერელი – რადიაქტიობის საზომი ერთეული, გვიჩვენებს ერთ ნაშში დაშლილი ატომების რაოდენობას.

ბენტოსი – ცოცხალი ორგანიზმების ერთობლიობა, რომელთა საარსებო არე წყლის ობიექტის ფსკერული ნალექებია. არჩევენ ზოო- და ფიტობენტოსს.

ბიოგენური ელემენტები – ბიოგენურ ნივთიერებებში შემავალი ქიმიური ელემენტები (აზოტი, ფოსფორი და სხვა).

ბიოგენური ნივთიერებები – მინერალური ნივთიერებები, რომლებიც აქტიურად მონაწილეობენ გარემოში მიმდინარე სასიცოცხლო პროცესებში (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , Fe^{2+} და სხვა).

ბიოგეოქიმია – მეცნიერება ცოცხალი ორგანიზმების ქიმიური შედგენილობის და მათი მონაწილეობით მიმდინარე გეოქიმიური პროცესების შესახებ.

ბიონდიკატორები – ორგანიზმები ან მათი ერთობლიობა, რომელთა სასიცოცხლო ფუნქციები მჭიდროდ არის დაკავშირებული გარემოს ამა თუ იმ მახასიათებელთან და შეიძლება გამივიყენოთ მის შესაფასებლად.

ბიოკოროზია – მაკრო- და მიკროორგანიზმებით გამოწვეული კოროზია.

ბიოსფერო – დედამიწის რთული ბიოლოგიური გარსი, რომელიც მოიცავს ატმოსფეროს ქვედა ნაწილს (20-25 კმ-მდე), ჰიდროსფეროს და გეოსფეროს ზედა 2-3 კმ ფენას. მისთვის აუცილებელია ცოცხალი ორგანიზმებისათვის ხელმისაწვდომი ენერგიის წყარო, წყალი და ჟანგბადი.

ბიოტა – წყლის სისტემის ცოცხალი ორგანიზმები.

ბიოუტილიზაცია – ბუნებრივი და ანთროპოგენური ნივთიერებების სრული, ან ნაწილობრივი მინერალიზება ბიოლოგიური და ბიოქიმიური პროცესების შედეგად.

ბიოცენოზი – მეტ-ნაკლებად ერთნაირ პირობებსა და სივრცეში არსებული მცენარეების და ცხოველების ერთობლიობა.

ბოლნისლი (სმოგი) – ჭვარტლით და ბოლით დამძიმებული, გამუქებული ნისლი.

ბუნებრივი რესურსი – საზოგადოების მატერიალური მოთხოვნილების დაკმაყოფილების ბუნებრივი წყარო.

გამაბინძურებლები – წარმოების მატერიალური და ენერგეტიკული ნარჩენები, აგრეთვე ბუნებრივი კომპონენტები, რომლებიც უცხოა მოცემული არისათვის და უარყოფით გავლენას ახდენს ადამიანებსა და მათთვის ფასეულ რესურსებზე.

გამოფიტვა – ქანების და მინერალების დაშლა გარემო ფაქტორების გავლენით. მექანიკური გამოფიტვის მიზეზია ტემპერატურის რყევა, ქარის მოქმედება და სხვა. ქიმიური ფაქტორებიდან აღსანიშნავია დაჟანგვა, მჟავების (ნახშირის, ჰუმუსის და სხვა) მოქმედება.

გარემო – ბუნებრივი და ანთროპოგენური ობიექტების და მოვლენების ერთიანი სისტემა, სადაც ცხოვრობენ და საქმიანობენ ადამიანები.

გარემოს კონტროლი – გარემოს მონიტორინგის შემადგენელი; ანალიზური ქიმიის ნაწილი, რომელიც სწავლობს გარემოში მოხვედრილი მავნე, ნორმირებული ნივთიერებების განაწილებას და განსაზღვრის მეთოდებს.

გარემოს ქიმია (ეკოქიმია) – მეცნიერება გარემოს ქიმიური შედგენილობის, მისი ფორმირების, დროსა და სივრცეში ცვალებადობის მიზეზებისა და კანონზომიერების შესახებ.

გეოსფერო – სხვადასხვა სიმკვრივის და აგრეგატული მდგომარეობის სფერული გარსები (ატმოსფერო, ჰიდროსფერო, ლითოსფერო და სხვა), რომლებიდანაც შედგება დედამიწა.

გეოქიმია – მეცნიერება დედამიწის ქიმიური შედგენილობისა და მასში ქიმიური ელემენტების და ნივთიერებების განაწილების კანონზომიერებათა შესახებ. ტერმინი „გეოქიმია“ პირველად 1842 წელს გამოიყენა შვეიცარიელმა ქ. შენბეინმა. ამჟამად გეოქიმიას იხილავენ, როგორც კოსმოქიმიის ნაწილს.

გლაციოლოგია – მეცნიერება ბუნებრივ სისტემებზე, რომელთა თვისებები და დინამიკა განისაზღვრება ყინულით. გლაციოლოგიის შესწავლის ობიექტია ბუნებრივი ყინული.

გლაციოქიმია – გლაციოლოგიის ნაწილი; მეცნიერება, რომელიც სწავლობს მყინვარების ქიმიურ შედგენილობას, მათ ცვალებადობას დროსა და სივრცეში.

გლობალური – მთლიანი, საერთო. ეკოლოგიაში – მოვლენები, რომლებიც მეტ-ნაკლებად მოიცავენ მთელ პლანეტას.

გრუნტის წყლები – მიწისქვეშა წყლები, რომლებიც ცირკულირებენ ზედაპირიდან პირველი წყალგაუმტარი შრის ზემოთ.

დამლაშებული ნიადაგი – ნიადაგი, რომელშიც წყალში ხსნადი მარილების მასური წილი მეტია 0,25 %-ზე.

დებიტი – წყლის მოცულობა (ლიტრი, კუბ. მეტრი), რომელიც დროის ერთეულში (წამი, საათი, დღე-ღამე) გამოედინება წყაროდან ან ბურღილიდან.

დეზაქტივაცია – ტერიტორიის, ნაგებობის, საგნების, სხეულის და სხვა განმეორად რადიოაქტიური ნივთიერებებისაგან.

დემინერალიზაცია (წყლის) – წყლის გაუმარილება, გამტკნარება.

დენიტროფიკაცია – წყლებში, ნიადაგებში და სხვა ნიტრატების და ნიტრიტების აღდგენა.

დეტერგენტები – სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები, რომლებიც შედიან სარეცხი საშუალებების შედგენილობაში, გამოიყენებიან მრეწველობასა და ყოფა-ცხოვრებაში.

დეტრიტი – მცენარეული და ცხოველური ნარმოშობის დაუშლელი ან ნაწილობრივ დაშლილი ნივთიერებების დანალექი.

დეფოლიანტი – პესტიციდები, რომლებიც ინევენ ხელოვნურ ფოთოლცვენას (მაგ. კალციუმის ციანამიდი, მაგნიუმის ქლორატი და სხვა). გამოყენებულია სოფლის მეურნეობაში და სამხედრო საქმეში.

დიაგენეზი – ფიზიკური და ქიმიური პროცესები, რომელთა შედეგად დანალექი მასა გარდაიქმნება ქანად.

დიოქსინი – 2,3,7,8-ტეტრაქლორდიბენზო-1,4-დიოქსინი. ქიმიურად ინერტული, გარემოში მდგრადი ნივთიერება, გამოირჩევა მაღალი ტოქსიკურობით.

ექტრაფია – ბიოგენური ნივთიერებების დაგროვების გამო წყლის ობიექტების პროდუქტიულობის მკვეთრი ზრდა, რაც ინვეს გახსნილი ჟანგბადის კონცენტრაციის შემცირებას და დაჭაობებას.

ეკოლოგია – მეცნიერება ორგანიზმების, მათი სისტემების ერთმანეთთან და გარემოსთან კავშირების კანონზომიერებების შესახებ. სხვანაირად – დისციპლინათაშორისი დარგი, რომელიც სწავლობს საზოგადოებისა და ბუნების ურთიერთქმედების პრობლემებს.

ეკოსისტემა (ქიმიური ეკოლოგია) – ერთმანეთზე ურთიერთგავლენის მქონე ცოცხალი და არაცოცხალი ბუნების კომპონენტების ერთობლიობა.

ეკოლოგიური ექსპერტიზა – სამეურნეო, საყოფაცხოვრებო და სხვა მშენებარე ობიექტების, მათი რეკონსტრუქციის ან ფუნქციონირების შედეგად მოსალოდნელი ეკოლოგიური და სოციალ-ეკონომიკური ცვლილებების შეფასების კომპლექსური სისტემა.

ეკოლოგიური რისკი – მოსალოდნელი ეკოლოგიური საფრთხის საზომი; გარემოს დაბინძურების ალბათობისა და შედეგების სიმძიმის მახასიათებელი.

ეკოქიმია (ქიმიური ეკოლოგია) – მეცნიერება ცოცხალი ორგანიზმების ერთმანეთთან და არაცოცხალ ბუნებასთან ურთიერთდამოკიდებულების ქიმიური ასპექტების შესახებ.

ელ-ნინო – ეპიზოდური ხასიათის თბილი, ზედაპირული დინება პერუსა და ეკვადორის სანაპირო ზოლში.

ემისია – გამოშვება, გამოსხივება. ეკოლოგიაში – ანთროპოგენური ნივთიერებების გაშვება-გაფრქვევა გარემოში.

ეოლური – ქარის მოქმედებით გამოწვეული გეოლოგიური პროცესები.

ეოლური მონატანი – ჰაერიდან დალექილი ნივთიერება.

ეროზია – საგნის ან ნივთიერების ზედაპირის ნაწილობრივი ან სრული დაშლა. ბუნებაში – ნიადაგებისა და ქანების დაშლა წყლისა და ქარის მოქმედებით.

ესტუარი – მდინარის ფართო, ღრმა, ძაბრის ფორმის შესართავი ზღვაში ან ოკეანეში.

ვოკლუზა – დიდი, ცელადი სიმძლავრის კარსტული წყარო.

ზედაპირულად აქტიური ნივთიერება – ნივთიერება, რომელიც კონცენტრირდება ფაზათა გამყოფ ზედაპირზე და ამცირებს ზედაპირულ დაჭიმულობას. ჩვეულებრივ, ორგანული ნივთიერებები, რომელთა შემადგენლობაში შედის ლიოფილური და ლიოფობური ჯგუფები.

ზედაპირული მიკროაპკი – ზღვის, ტბის ან წყალსაცავის წყლის ზედა, რამდენიმე მიკრონის სისქის ფენა, რომელიც გამდიდრებულია ორგანული ნივთიერებებით და მიკროელემენტებით.

ზოოციდი – ქიმიური პრეპარატი ($Zn\text{P}_2\text{Ti}_2\text{SO}_4$ და სხვა), რომელიც გამოყენებულია თბილისისხლიანი მავნებლების (მღრღნელები და სხვა) გასანადგურებლად.

ზღვის წყლის მარილიანობა – ზღვის წყალში გახსნილი მინერალური ნივთიერებების რაოდენობა (გ/კგ), აღინიშნება ($S\text{ ‰}$)-ით.

ზღვრული დასაშვები კონცენტრაცია – მავნე ნივთიერებების მაქსიმალური კონცენტრაცია ჰაერში, წყლებში, ნიადაგებში, საკვებში და სხვა, რომელიც მოცემულ პირობებში არაერთარ საფრთხეს არ უქმნის ცოცხალ ორგანიზმებს.

თერმული წყლები – თბილი ($t > 20^\circ\text{C}$) მინისქვეშა წყლები; იყოფიან – თბილ ($t\ 20\text{--}37^\circ\text{C}$), ცხელ ($t\ 37\text{--}42^\circ\text{C}$) და ძალიან ცხელ ($t > 42^\circ\text{C}$) წყლებად.

თვითგანმენდა – ბიოსფეროში მოხვედრილი მავნე ნივთიერებების უვნებელ, ან ნაკლებად ტოქსიკურ ფორმაში გადასვლა ბუნებრივი ფაქტორების (დაჟანგვა, სორბცია, ფოტოლიზი, ბიოქიმიური ტრანსფორმაცია) გავლენით.

თიხა მინერალები – წერილმარცვლოვანი, ფენოვანი სტრუქტურის, წყლიანი ალუმოსილიკატები (მონტმორილონიტი, კაოლინიტი, გლაუკონიტი, ილიტი და სხვა).

თიხები – დანალექი ქანების ჯგუფი, რომელშიც ჭარბობს 0,01 მმ ნაკლები ზომის ნანილაკები და შეიცავენ თიხა მინერალებს.

ინსექტიციდები – ქიმიური პრეპარატები (პესტიციდები), რომლებიც გამოყენებულია მავნე მწერების გასანადგურებლად.

ირიგაციული კოეფიციენტი – სარწყავი წყლის ხარისხის მაჩვენებელი, რომელიც დამოკიდებულია წყლის იონურ შედგენილობაზე.

კანცეროგენული ნივთიერება – ავთვისებიანი დაავადების გამომწვევი ნივთიერება (მაგ. 3,4-ბენზპირენი).

კარიერი – ღია წესით ნიალისეულის მომპოვებელი საწარმო-ობიექტი.

კერნი – ქანის ან მყინვარის სიღრმიდან სპეციალური ბურლით ამოღებული ნივთიერება (სინჯი).

კიური – ნივთიერების რადიოაქტივობის საზომი ერთეული, რომელიც $3,7 \cdot 10^{10}$ ბეკერელის ტოლია.

კლარკი – ქიმიური ელემენტის საშუალო მასური წილი ლითონ-ფეროში. ტერმინი შემოღებულია 1923 წელს ა. ფერსმანის მიერ ცნობილი ამერიკელი გეოქიმიკოსის ფ. კლარკის პატივსაცემად.

კლიმატი – ატმოსფერული მოვლენების ერთობლიობა, რომელიც დამახასიათებელია დედამიწის ცალკეული ადგილისათვის.

კოლი-ინდექსი – წყლის ბაქტერიოლოგიური დაბინძურების მახასიათებელი, რომელიც გვიჩვენებს ნაწლავის ჩხირების რაოდენობას ერთ სმ³ წყალში.

კოლი-ტიტრი – წყლის ბაქტერიოლოგიური დაბინძურების მახასიათებელი, გვიჩვენებს წყლის მოცულობას, რომელიც მოდის ნაწლავის ერთ ჩხირზე.

კონდენსაციის ბირთვები – ჰაერში შეტივანარებული 10^{-5} – 10^{-3} სმ ზომის ნაწილაკები, რომლებზეც ხდება ორთქლის კონდენსაცია.

კორელაციის კოეფიციენტი – სიდიდე, რომელიც ახასიათებს კავშირს ორ ცვლადს შორის. ფუნქციის შემთხვევაში კოეფიციენტი 1-ის ტოლია, კავშირის არარსებობისას კი – 0. პირდაპირი კავშირის დროს დადებითი სიდიდეა, უკუკავშირისას კი – უარყოფითი.

კოროზია – დაშლა, ამოჭმა. ტექნიკაში – ლითონების ჰეტეროგენული დაჟანგვა გარემოსთან (O_2 , H_2O , H^+) ურთიერთქმედების შედეგად.

კოსმოქიმია (ასტროქიმია) – მეცნიერება კოსმოსური სხეულების ქიმიური და იზოტოპური შედგენილობის შესახებ.

კუდები – მადნის გამდიდრების შემდეგ დარჩენილი ფუჭი ქანები.

ლამი – წყლის ობიექტის წერილმარცვლოვანი ($d < 0,01$ მმ), დენადი ნალექი.

ლითოსფერო – დედამიწის გარე მყარი გარსი, რომლის სისქე 5-დან 70-კმ ზღვრებში იცვლება და საშუალოდ 15-16 კმ-ია.

ლიმნოლოგია – ტბების და წყალსაცავების შემსწავლელი მეცნიერება.

მადანი – სასარგებლო წიაღისეულის შემცველი მინერალები ან ქანები, რომელთა გადამუშავება პრაქტიკული თვალთახედვით გამართლებულია.

მახე – რადიოაქტიური ნივთიერების კონცენტრაციის საზომი ერთეული, რომელიც $0,364 \cdot 10^{-9}$ კიურის, ან $1,34$ ბეკერელის ტოლია.

მდგრადი განვითარება – ბალანსის შენარჩუნება ადამიანის კეთილდღეობისათვის საჭირო მოთხოვნილებებზე, ბუნებრივი ეკოსისტემების და რესურსების დაცვა მომავალი თაობებისათვის.

მეტაბოლიტები – ნივთიერებები, რომლებიც ორგანიზმში წარმოიქმნებიან ნივთიერებათა ცვლის პროცესში.

მიგრაცია – გადაადგილება. გეოლოგიაში – ქიმიური ელემენტების გადატანა ჰაერით, წყლით და სხვა.

მიკროელემენტი – თავდაპირველად – ელემენტები, რომელთა შემცველობა ცოცხალ ორგანიზმებში ნაკლები იყო რკინის კონცენტრაციაზე. თანამედროვე გაგებით – ელემენტები, რომლებიც მცირე რაოდენობით გვხვდება ქანებში, წყლებში, ცოცხალ ორგანიზმებში და სხვა ობიექტებში (მაგ. Cu, Zn, B, Pb, As, I, Ni და სხვა).

მინერალი – ფიზიკური და ქიმიური თვალთახედვით მეტ-ნაკლებად ერთგვაროვანი ბუნებრივი წარმოქმნი.

მინერალიზაცია – წყალში გახსნილი მინერალური ნივთიერებების საერთო შემცველობა.

მინერალური წყალი – სპეციფიკური მიკროელემენტების შემცველობით გამორჩეული, სამკურნალო თვისებების მქონე მინისქვეშა წყალი.

მონიტორინგი – დაკვირვებათა სისტემა, რომელიც სწავლობს ანთროპოგენური ფაქტორების გავლენით გარემოს ცვალებადობას და იძლევა არსებული ეკოლოგიური ვითარების ობიექტური შეფასებისა და პროგნოზირების საშუალებას.

მჟავა წვიმები – წვიმები, რომელთა $\text{pH} < 4,5$ და გენეტიკურად დაკავშირებული არიან გარემოში მჟავეური ოქსიდების (SO_2 , NO_2 და სხვა) ემისიასთან.

მსოფლიო ოკეანე – ოკეანეებისა და ზღვების ერთობლიობა (4 ოკეანე და 54 ზღვა).

მურა ნახშირი – ტორფისაგან წარმოქმნილი მყარი საწვავი, რომელშიც ნახშირბადის შემცველობა 65-70 %-ია. გამოყენებულია საწვავად და ქიმიურ ნედლეულად.

მტკრიანი ქარიშხალი – ძალიან ძლიერი ქარი, რომელსაც გადააქვს ნიადაგის, ქვიშის და სხვა ნაწილაკები.

მყინვარი – ატმოსფერული წარმოშობის, პლასტიკური, სიმძიმის ძალით მოძრავი, ყინულის მასა.

მძიმე ლითონები – ლითონები, რომელთა სიმკვრივე მეტია 3-ზე (Ag , Cu , Pb , Hg და სხვა).

ნამწვი – ქვანახშირის და ზოგიერთი არაორგანული ნივთიერებების (მაგ. ZnS , FeS_2 და სხვა) წვის მყარი პროდუქტი.

ნაცარი – სულხან-საბას მიხედვით „ცეცხლით დამინებული“. ჩვეულებრივ – მცენარეული წარმოშობის ნივთიერებების სრული წვის პროდუქტი.

ნედლეული – ნივთიერება, რომლის გადამუშავებით შესაძლებელია და ხელსაყრელია მატერიალური ფასეულობის შექმნა.

ნიადაგი – დედამიწის ქერქის ზედა ფენა; მინერალური ნაწილაკების, ორგანული ნივთიერებების, წყლის, ჰაერის და ცოცხალი ორგანიზმების ერთობლიობა.

ნიადაგის დამლაშება – ნიადაგში მცენარისათვის მავნე მარილების დაგროვება.

ნიტროფიკაცია – ამიაკის და ნიტრიტების დაჟანგვა ნიტრატებად ბაქტერიების მონაწილეობით.

ნიაღვრული ჩამონადენი – ზედაპირული წყლების ნაკადი, რომელიც წარმოიქმნება ძლიერი წვიმის ან თოვლის ინტენსიური დნობისას.

ნოოსფერო (ანტროპოსფერო) – ადამიანის საცხოვრებელი და სამოქმედო არე, ან ადამიანის მიერ სახეშეცვლილი ბიოსფეროს ნაწილი.

ნორმირებული ნივთიერება – ტოქსიკური და მავნე ნივთიერება, რომლის კონცენტრაცია გარემოში შეზღუდულია კანონმდებლობით.

ოზონოსფერო – ატმოსფეროს ნაწილი, რომელიც დედამიწიდან 10-50 კმ-ზე მდებარეობს და გამოირჩევა ოზონის შედარებით გაზრდილი კონცენტრაციით.

პესტიციდები – ქიმიური ნივთიერებები, რომლებიც გამოყენებულია არასასურველი მიკროორგანიზმების, მწერების, სარეველა მცენარეების და სხვათა საწინააღმდეგოდ.

პიეზომეტრი – მინისქვეშა წყლებზე დაკვირვების მიზნით წყალმატარებელ სიღრმეში ჩაშვებული მილი, გათხრილი ჭა ან ბურღილი.

პიროზოლი – გაცხელებით (წვით) მიღებული აეროზოლი.

პლანქტონი – წყლის ორგანიზმები, რომლებსაც პრატიკულად არ აქვთ მოძრაობის უნარი და გადაიტანება წყლის მასებით. არჩევენ ფიტო- და ზოოპლანქტონს.

ჟანგბადის ბიოქიმიური ხარჯი – ჟანგბადის რაოდენობა, რომელიც გარკვეულ დროში (5 ან 10 დღე-ღამე) იხარჯება წყალში გახსნილი ნივთიერებების დასაჟანგად. ამ სიდიდით აფასებენ წყალში ადვილად ჟანგვადი ორგანული ნივთიერებების შემცველობას.

ჟანგბადის ქიმიური მოხმარება (წყლის ჟანგვადობა) – ჟანგბადის რაოდენობა, რომელიც იხარჯება ერთ ლიტრ წყალში გახსნილი ორგანული ნივთიერებების დასაჟანგად. არჩევენ წყლის პერმანგანატულ და ბიქრომატულ ჟანგვადობას.

რიფორმინგი – ნავთობპროდუქტებში არომატული, ციკლური და სხვა მაღალ ოქტანური ნახშირწყალბადების წილის გაზრდა ნავთობის გამოხდის პროცესში.

სანიტარია – ჰიგიენურ მოთხოვნათა პრაქტიკული განხორციელება.

საპროპელი – ორგანული ნივთიერებებისა და ხმელეთის წყლის ორგანიზმების ნარჩენებისაგან წარმოქმნილი ფსკერული ნალექები.

სანვავი ფიქლები – ორგანული ნივთიერებების (10-80 %) შემცველი დანალექი ქანები. გამოყენებულია სანვავად, ნახშირწყალბადების, ბიტუმების და სხვათა მისაღებად.

სტრათიფიკაცია – ზღვის, ტბის და სხვ. ფენოვანი აღნაგობა, რაც მათი განსხვავებული ფიზიკურ-ქიმიური თვისებებით არის გამოწვეული.

სულფატრედუქცია – სულფატების ბაქტერიოლოგიური აღდგენა სულფიდებამდე წყლებში ჟანგბადის დეფიციტის (ანოქსიის) შედეგად.

სუფოზია – მიწის ზედაპირის ჩაზნექა (ჩაქცევა) წყალქვეშა ნაკადებით ქანებიდან ნივთიერებათა გამორეცხვის შედეგად.

ტალახიანი (ფერადი) წვიმა – ატმოსფერული ნალექები, რომლებიც დიდი რაოდენობით შეიცავენ მექანიკურ მინარევებს. ჩვეულებრივ ტალახიანი წვიმები მტვრიანი ქარიშხლების თანმხლები მოვლენაა.

ტერიგენული ელემენტები – გენეტიკურად ხმელეთთან დაკავშირებული ელემენტები (მაგ. კალციუმი, სილიციუმი და სხვა).

ტერიკონი – ფუჭი ქანების ნაყარი.

ტექნოგენეზი – გეოქიმიური პროცესების ერთობლიობა, რომლებიც გამოწვეულია ადამიანის პრაქტიკული საქმიანობით.

ტექნოგენური ნივთიერება – ანთროპოგენური ნივთიერებების ჯგუფი, რომელიც გენეტიკურად დაკავშირებულია წარმოებასთან.

ტექნოსფერო – დედამიწის ქერქის ნაწილი, სადაც ვრცელდება ადამიანის პრაქტიკული საქმიანობა.

ტორფი – მცენარეული წარმოშობის, შედარებით ახალგაზრდა, მუქი ყავისფერი დანალექი ქანი. მშრალ ტორფში 55-60 % ნახშირბადი და 5-7 % წყალბადია. გამოყენებულია სათბობად, სასუქად და სხვა. საქართველოში ტორფის მოპოვება ხდება პალიასტომის ტბის მიდამოებში.

ტოქსიკური ნივთიერება – ნივთიერება, რომლის მცირე რაოდენობაც კი ორგანიზმზე ქიმიური ზემოქმედებით იწვევს პათოლოგიურ ცვლილებას.

ტრავერტინი – ნალექითი წარმონაქმნი მინერალური წყლების გამოსავალთან (ჩვეულებრივ Fe(OH)_2 , CaCO_3). ტრავერტინების სიუხვით გამოირჩევა ყაზბეგის რაიონი.

უტილიზაცია – ნარჩენების გადამუშავება სასარგებლო ნივთიერების მიღების ან გაუვნებლობის მიზნით.

ფირნი – გარდამავალი ფორმა თოვლსა და მყინვარის (გლეტჩერის) ყინულს შორის.

ფიტორემედიაცია – დაბინძურებული ნიადაგის ეკოლოგიური მახასიათებლების გაუმჯობესება მცენარეების გამოყენებით.

ფონური კონცენტრაცია – ნივთიერების ბუნებრივი შემცველობა რომელიმე რეგიონის ჰაერში, წყლებში, ნიადაგებში და სხვა.

ფრეონები – ნაჯერი ფთორნახშირბადები, ან ფთორქლორნახშირწყალბადები.

ფუმაროლები – ვულკანის ან ლავის ნაპრალებიდან გამოყოფილი ცხელი აირების ნაკადი.

ქანი – მინერალურ მარცვალთა წარმონაქმნი, რომელსაც გარკვეული სივრცე უკავია დედამიწის ქერქში. წარმოშობის მიხედვით არჩევენ მაგმურ, დანალექ და მეტამორფულ ქანებს.

ქვანახშირი – მცენარეული წარმოშობის მყარი ნიადაგის, რომელიც 75-97 % ნახშირბადს შეიცავს. საქართველოში ქვანახშირის სამრეწველო საბადოები არის ტყიბულსა და ტყვარჩელში.

ლვარცოფი – მთის მდინარის ხანმოკლე, მძლავრი წყალდიდობისას წარმოქმნილი ტალახიანი, ან ქვა-ლორღიანი ნაკადი.

ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედება – ღრუბლებში კონდენსაციის ბირთვების (PbI_2 , AgI და სხვა) ხელოვნური შეტანა მეტეოროლოგიური პროცესების მართვის მიზნით (ნისლის გაფანტვა, სეტყვის აცილება, წვიმის ინიცირება).

ჩამდინარე წყლები – ადამიანის ყოფითი თუ პრაქტიკული საქმიანობის შედეგად წარმოქმნილი თხევადი ნარჩენები. არჩევენ საყოფაცხოვრებო-კომუნალურ, სამრეწველო, სასოფლო-სამეურნეო და სხვა ჩამდინარე წყლებს.

ჩამდინარე წყლების განმენდა – ჩამდინარე წყლების დამუშავება მექანიკური, ფიზიკური ან ქიმიური მეთოდებით მავნე ნივთიერებების დაშლის ან მოცილების მიზნით.

წყალბადის მაჩვენებელი (pH) – წყლის მჟავიანობის მახასიათებელი სიდიდე, წყალბადიონების კონცენტრაციის შებრუნებული ლოგარითმი $pH = -\lg [H^+]$. მჟავა არეში $pH < 7$, ტუტეში $pH > 7$, ნეიტრალურში $pH = 7$.

წყლის აგრესიულობა – წყალში გახსნილი მარილებით და აირებით ბეტონისა და სხვა საამშენებლო მასალების დაშლის უნარი.

წყლის აერაცია – წყლის ხელოვნური გამდიდრება ჰაერის ჟანგბადით.

წყლის ინდექსი – წამყვანი ანიონების და კატიონების სიმბოლოებით გამოსახული წყლის კლასი, ჯგუფი და ტიპი.

წყლის ოზონირება – დეზინფექციის მიზნით წყლის დამუშავება ოზონით.

წყლის რადიაქტიულობა – წყლის თვისება, რომელიც განპირობებულია რადიაქტიული ელემენტების შემცველობით და მათი დაშლით.

წყლის სიმღვრივე – სიდიდე, რომელიც ახასიათებს წყლებში შეტივრებული ნივთიერებების რაოდენობას (გ/ლ ან მგ/ლ).

წყლის სიხისტე – წყლის თვისება, რომელიც განპირობებულია მასში ორ- ან სამმუხტიანი კატიონების არსებობით. არჩევენ დროებით (კარბონატულ) და მუდმივ სიხისტეს. პირველს ჩვეულებრივ განაპირობებს კალციუმის და მაგნიუმის ჰიდროკარბონატები, მეორეს

– მათი ქლორიდები და სულფატები. სიხისტეს გამოსახვენ მგ-
ეკვ/ლ ერთეულებით.

წყლის ფერიაწობა – წყლის ხარისხის მაჩვენებელი სიდიდე
(გრადუსები), რომელიც ახასიათებს გახსნილი შეფერილი ორგანული
ნივთიერებების შემცველობას.

წყლის ფთორირება – სასმელ წყლებში ფთორიდონების კონ-
ცენტრაციის ხელოვნურად გაზრდა 0,5-1 მგ/ლ-მდე.

წყლის ყვავილობა – ფიტოპლანქტონის ინტენსიური გამრავლე-
ბით გამოწვეული წყლის ფერის შეცვლა, რაც ეკოლოგიური წონას-
წორობის დარღვევის და წყლის ობიექტის ევტროფიის შედეგია.

წყლის ხარჯი – წყლის რაოდენობა, რომელიც დროის ერთეულ-
ში (წამი, წუთი, დღე-ღამე და ა.შ.) გაედინება მდინარის კალაპოტის
განივკვეთში.

ჰიდროსფერო – გეოსფეროს ნაწილი, დედამიწის წყლის გარსი.

ჰიდროქიმია – გეოქიმიის ნაწილი, მეცნიერება ბუნებრივი
წყლების ქიმიური შედგენილობის, მათში მიმდინარე ქიმიური, ფიზი-
კურ-ქიმიური და ბიოქიმიური პროცესებისა და ნივთიერებათა განა-
წილების კანონზომიერებათა შესახებ.

ჰიგიენა – მეცნიერება, რომელიც სწავლობს გარემოს ფაქტორე-
ბის გავლენას ადამიანის ორგანიზმზე.

ჰუმიდური ზონა – ტენიანი კლიმატის არე, სადაც ატმოსფერუ-
ლი ნალექების რაოდენობა აღემატება აორთქლებას.

ჰუმუსი (ნეშომპალა) – მცენარეული და ცხოველური ორგანიზ-
მების ბიოქიმიური გარდაქმნის შედეგად წარმოქმნილი ამორფული,
პოლიმერული ორგანული ნივთიერებები.

ჰუმუსის მჟავები – ამორფული, მუქი ყავისფერი, მაღალმოლე-
კულური, არომატული ნაერთები, რომლებიც შეიცავენ ჰიდროქსი-
ლის, ფენოლის, კარბოქსილის, კარბონილის და სხვა ჯგუფებს; შედ-
გებიან წყალში პრაქტიკულად უხსნადი ჰუმინის და ხსნადი ფულვომ-
ჟავებისგან.

ლიტერატურა

1. გორდეზიანი ვ., კვესიტაძე გ. ეკოლოგიის ქიმიური საფუძვლები. თბ., 2000.
2. კავილაძე მ. რა არის რადიაცია და როგორ გარემოში ვცხოვრობთ. თბ., 2002.
3. ერისთავი ვ. და სხვ. გარემოს გაჭუჭყიანების წყაროები და მათი ლიკვიდაციის ტექნიკური ღონისძიებები. თბ., განათლება, 1985.
4. პაპუნძიძე ე., ხატისაშვილი გ., სადუნიშვილი თ. მცენარე ჯანმრთელი გარემოსათვის. ბათუმი, 2005.
5. სუპატაშვილი გ., ქაჯაია გ. გარემო და ადამიანი. თბ., თსუ, 2001.
6. Алексин О. А. Основы гидрохимии. Л., Гидрометиздат. 1970.
7. Алексин О. А., Ляхин Ю. И. Химия океана. Л., Гидрометиздат, 1984.
8. Александров Э. Л., Израэл Ю. А. Озоновый щит земли и его изменение. С.П., Гидрометиздат, 1992.
9. Богдановский Г. А. Химическая экология. М., изд. МГУ, 1988.
10. Гейнрих Д., Гергет М. Экология. М., 2003.
11. Зуев Е. Т., Фомин Г. С. Питьевая и минеральная вода. М., 2003.
12. Израэль Ю. А. Кислотные дожди. Л., Гидрометиздат, 1989.
13. Исидоров В. А. Органическая химия атмосферы. Л., Химия, 1985.
14. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М., Мир., 1989.
15. Ревель П., Ревель Ч. Среда нашего обитания. Кн. 1-4., М., Мир, 1994.
16. Свинец в окружающей среде. Ред. Добровольский В.В. М., Наука, 1987.
17. Скурлатов Ю. И., Дука Г. Г., Мизити А. Введение в экологическую химию. М., Высшая школа, 1994.

18. Орлов Д. С. и др. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М., Высшая школа, 2002.
19. Супаташвили Г. Д. Гидрохимия Грузии. Тб., ТГУ, 2003.
20. Супаташвили Г. Д., Лория Н. В., Лабартквва Н. А., Карсапидзе Н. К., Дугашвили Д. Т. Мышьяк в окружающей среде Грузии. Тб., ТГУ, 2006.
21. Феленберг Г. Загрязнение природной среды. М., Мир, 1997.
22. Химия окружающей среды. Ред. Бокрис Дж. М. М., Химия, 1982.
23. Хуродзе Р. А., Кормилицин В.И., Цицкишвили М. С. Инженерная экология, Тб., 1996.
24. Экология. Военная экология. Ред. Исаков В. И. Москва-Смоленск, 2006.

გამომცემლობის რედაქტორი	მარინე ვარამაშვილი
გარეკანის დიზაინი	თინათინ ჩირინაშვილი
	ნათია კვარაცხელია
კომპიუტერული უზრუნველყოფა	ნინო ვაჩეიშვილი

0128, თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზირი 14

0128, Tbilisi, 14. I. Chavchavadze Av.

www.press.tsu.ge (25-14-32)