

**ზღვის ეკოლოგია**



ივანე ჯავახიშვილის სახელობის  
თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

კახაბერ ბილაშვილი, მარიამ ელიზბარაშვილი  
ნოდარ წივწივაძე

## ზღვის ეკოლოგია



თბილისის  
უნივერსიტეტის  
ბაზოგრაფია

სახელმძღვანელოში განზოგადებული და სისტემატიზებულია ცოდნა ზღვის ეკოლოგიის პრობლემების შესახებ; განხილულია ოკეანის დაბინძურების წყაროები და სახეობები, წყლის დაბინძურების გავრცელების მოდელირების ამოცანები, მსოფლიო ოკეანის დაბინძურების თანამედროვე მდგომარეობა, ზღვის გარემოს დამაბინძურებელი ნივთიერებებისაგან თვითგაწმენდის პროცესები, ოკეანეში დამაბინძურებელი ნივთიერებების ბალანსი, დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია და ზღვის ასიმილაციური ტევადობა, მსოფლიო ოკეანის კომპლექსური გლობალური მონიტორინგი, ზღვის გარემოს დაცვა დაბინძურებისაგან. ცალკე თავი დათმობილი აქვს შავ ზღვას, მის ეკოლოგიურ პრობლემებს, მინარევების გავრცელების მოდელირებას და შესწავლის ექსპერიმენტულ მეთოდს.

დამხმარე სახელმძღვანელო განკუთვნილია ოკეანოლოგიის, პიდრომეტოროლოგიის, ეკოლოგიის, გეოგრაფიის, გარემოსმცოდნეობის და ბიოლოგიის სპეციალობის სტუდენტების, მაგისტრანტებისა და დოქტორანტებისათვის, აგრეთვე ამ დარგში მომუშავე სპეციალისტებისათვის; დახმარებას გაუწევს ზღვის გარემოს ეკოლოგიური პრობლემებით დაინტერესებულ მკითხველთა ფართო წრეს.

რედაქტორები: ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,  
პროფესორი ირაკლი ზომერიკი  
ქიმიის მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორი  
ნანული ნასყიდაშვილი

რეცენზენტები: ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,  
პროფესორი დავით კერესელიძე  
ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,  
პროფესორი გივი გაგარდაშვილი



# სარჩევი

|                                                                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>შესავალი</b>                                                                                                                       | <b>9</b>  |
| <b>თავი I. ოკეანის დაბინძურების წყაროები და სახეობები</b>                                                                             | <b>11</b> |
| 1.1. ოკეანის დაბინძურების წყაროები                                                                                                    | 11        |
| 1.2. პიდრობიონტები და ოკეანის დაბინძურების ეკოლოგიური შედეგები                                                                        | 15        |
| 1.3. ნავთობი და ნავთობპროდუქტები                                                                                                      | 27        |
| 1.4. პესტიციდები                                                                                                                      | 42        |
| 1.5. სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები (სჰან)                                                                               | 45        |
| 1.6. კანცეროგენური თვისებების მქონე ნაერთები                                                                                          | 46        |
| 1.7. მძიმე მეტალები                                                                                                                   | 47        |
| 1.8. ნარჩენების ჩაშვება ზღვაში დამარჩვის მიზნით (დამპინგი)                                                                            | 50        |
| 1.9. ტექნოგენური რადიონუკლიდები                                                                                                       | 51        |
| 1.10. პლასტმასის, პოლიეთილენის და ინფექციის გამავრცელებელი ნარჩენები                                                                  | 63        |
| 1.11. სითბური დაბინძურება                                                                                                             | 66        |
| 1.12. ზმაური                                                                                                                          | 67        |
| <b>თავი II. წყლის დაბინძურების გავრცელების მოდელირება ოკეანეში</b>                                                                    | <b>72</b> |
| 2.1. ზღვის გარემოში მინარეგების გავრცელების ამოცანის მათემატიკური ფორმულირება                                                         | 72        |
| 2.2. ზღვის გარემოში მინარეგის კონცენტრაციის ცვლილების ამოცანის ანალიზური ამოხსნები                                                    | 78        |
| 2.3. მეჩხერ ზღვაში მინარეგის ტურბულენტური დიფუზიის განტოლების ამოხსნის რიცხვითი მეთოდები                                              | 84        |
| 2.4. წყლის ცირკულაციის, ტურბულენტური დიფუზიის და სასაზღვრო პირობების გაელენა დამაბინძურებელ ნივთიერებათა კონცენტრაციის გაანგარიშებაზე | 87        |

|                                                                                                                                           |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>თავი III. მსოფლიო ოკეანის დაბინძურების<br/>თანამდგომარეობა</b>                                                                         | <b>90</b>  |
| 3.1. ნავთობის ნახშირწყალბადებით დაბინძურება                                                                                               | 90         |
| 3.2. მდგრადი ორგანული დამაბინძურებლები (მოდეები)                                                                                          | 95         |
| 3.3. სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებით<br>დაბინძურება (სჰან)                                                                   | 95         |
| 3.4. მძიმე მეტალებით დაბინძურება                                                                                                          | 97         |
| 3.5. ოკეანის ზედაპირული მიკროფენის დაბინძურება                                                                                            | 98         |
| 3.6. კანცეროგენური ნივთიერებებით დაბინძურება                                                                                              | 101        |
| 3.7. ოკეანის რადიოაქტიური დაბინძურება                                                                                                     | 102        |
| <b>თავი IV. დამაბინძურებელი ნივთიერებებისაგან ზღვის<br/>ბარემოს თვითგაწმენდის პროცესები</b>                                               | <b>104</b> |
| 4.1. ნავთობის დეგრადაცია ზღვაში                                                                                                           | 104        |
| 4.2. სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების<br>ბიოდეგრადაცია                                                                        | 107        |
| 4.3. ფენოლებისაგან თვითგაწმენდა                                                                                                           | 109        |
| 4.4. პოლიარმატული ნახშირწყალბადების ბიოდაშლა                                                                                              | 110        |
| <b>თავი V. ოკეანეში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა<br/>ბალანსი</b>                                                                           | <b>111</b> |
| 5.1. დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ბალანსის მოდელი                                                                                          | 111        |
| 5.2. დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ბალანსის ელემენტები                                                                                      | 114        |
| <b>თავი VI. ზღვის ბარემოში დამაბინძურებელ<br/>ნივთიერებათა ზღვრულად დასაფხვები<br/>კონცენტრაციები და ზღვის ასიმილაციური<br/>ტემპადობა</b> | <b>118</b> |
| 6.1. ზღვრულად დასაფხები კონცენტრაციების (ზღკ)<br>ნორმირების პრინციპები                                                                    | 118        |
| 6.2. ზღვის გარემოს დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ზღკ                                                                                        | 120        |
| 6.3. ოკეანის ანთროპოგენური ეკოლოგიის საფუძვლები და<br>ზღვის ეკოსისტემების ასიმილაციური ტევადობა                                           | 122        |
| 6.4. ზღვის ეკოსისტემის ასიმილაციური ტევადობის<br>შეფასება ბალტიის ზღვის მაგალითზე                                                         | 126        |

|                                                                                                     |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>თავი VII. მსოფლიო ოკეანის კომალქსური<br/>გლობალური მონიტორინგი</b>                               | <b>131</b> |
| 7.1. მონიტორინგის განსაზღვრება                                                                      | 131        |
| 7.2. ოკეანის კომპლექსური გლობალური მონიტორინგის ამოცანები<br>და მონიტორინგის სისტემის განხორციელება | 135        |
| <b>თავი VIII. შავი ზღვა</b>                                                                         | <b>137</b> |
| 8.1. გოგირდწყალბადი შავ ზღვაში                                                                      | 139        |
| 8.2. მეღუზები შავ ზღვაში                                                                            | 143        |
| 8.3. შავი ზღვის დაბინძურება                                                                         | 146        |
| 8.4. საქართველოში ზღვის სანაპირო ზონის პრობლემების<br>შესახებ აჭარის რეგიონის მაგალითზე             | 168        |
| 8.5. შავ ზღვაში დამაბინძურებელი მინარევების განაწილების<br>მოდელირების შედეგები                     | 177        |
| 8.6. მინარევის გავრცელების შესწავლის<br>ექსპერიმენტული მეთოდი                                       | 196        |
| <b>თავი IX. ზღვის გარემოს დაცვა დაბინძურებისაგან</b>                                                | <b>199</b> |
| 9.1. უნარჩენო ტექნოლოგია                                                                            | 199        |
| 9.2. სიღრმითი წყალჩამშვებების პარამეტრების საანგარიშო<br>მეთოდის თეორიული საფუძვლები                | 201        |
| 9.3. ზღვის გარემოს დაცვა გემების ექსპლუატაციის დროს                                                 | 210        |
| 9.4. დაღვრილ ნავთობთან ბრძოლის ხერხები                                                              | 211        |
| 9.5. მნიშვნელოვანი საერთაშორისო შეთანხმებები<br>ზღვის გარემოს დაცვის დარგში                         | 214        |
| 9.6. პრობლემები და პერსპექტივები                                                                    | 216        |
| <b>ლიტერატურა</b>                                                                                   | <b>222</b> |
| <b>დანართი</b> .....                                                                                | <b>229</b> |



## შესავალი

ეკოლოგია ბერძნული წარმოშობის სიტყვაა, „ოიკოს“ (οικος) — ნიშნავს საცხოვრებელ ადგილს. ეს ტერმინი 1866 წელს შემოიტანა გამოჩენილმა ბიოლოგმა ე. ჰეკელმა. დღეს ტერმინი ეკოლოგია გულისხმობს მეცნიერებას ორგანიზმებისა და მათი არაორგანულ გარემოსთან ურთიერთმიმართების შესახებ, ზეორგანიზმულ სისტემებში კავშირის და ამ სისტემების ფუნქციონირებისა და სტრუქტურის შესახებ. აქედან გამომდინარე, ეკოლოგიური პრობლემებით დაინტერესებულნი არიან სხვადასხვა დარგის სპეციალისტები — ბოტანიკოსები, ზოოლოგები, ნიადაგმცოდნეები, გეოგრაფები, ოკეანოლოგები, პალეონტოლოგები, გეოფიზიკოსები, გეოქიმიკოსები და სხვანი. თუ აღნიშნულ ურთიერთმიმართებას განვიხილავთ გლობალურ მასშტაბში, ანუ განვიხილავთ ურთიერთმიმართებას საზოგადოებასა და გეოგრაფიულ გარემოს შორის, მაშინ საქმე გვექნება გლობალურ ეკოლოგიურ პრობლემებთან, რომლებიც უშუალოდ ეხება გეოგრაფიულ სივრცეს, გეოგრაფიულ გარსს, მთლიანად დედამიწას, მის ბიოსფეროს, მოსახლეობას, ყველა თანამედროვე სახელმწიფოს და, ბოლოს, დედამიწაზე მცხოვრებ ყველა ადამიანის ინტერესს. ეს პრობლემები დედამიწის ეკოლოგიის, ანუ გეოეკოლოგიის პრობლემებს წარმოადგენენ. თანამედროვე ეპოქაში გარემოზე ანთროპოგენური ზემოქმედება სულ უფრო ინტენსიური და მასშტაბური ხდება. სერიოზულ საშიშროებას წარმოადგენს ბუნებრივი გარემოს — ატმოსფეროს, ჰიდროსფეროს და ბიოსფეროს დაბინძურება. ამასთან დაკავშირებით განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება გარემოს მდგომარეობის ხარისხის კონტროლსა და რეგულირებას.

აღნიშნული პრობლემების გადაწყვეტაში უშუალოდ მონაწილეობენ ჰიდრომეტეოროლოგები და ოკეანოლოგები. ამიტომ მომავალ სპეციალისტებს ნათელი წარმოდგენა უნდა ჰქონდეთ გარემოზე ანთროპოგენური ზემოქმედების ხასიათის და მასშტაბის, ამ ზემოქმედების შედეგების, მავნე მინარევების გარემოში გავრცელების,

განგარიშებისა და მათემატიკური მოდელირების შესახებ. ეს საკითხები და მასთან დაკავშირებული პრობლემები განხილულია წინამდებარე დამხმარე სახელმძღვანელოში.

დამხმარე სახელმძღვანელოში მოყვანილი ძირითადი დებულებები ილუსტრირებულია მაგალითებით და ფაქტობრივი მონაცემებით, რაც საშუალებას იძლევა ვიმსჯელოთ ამა თუ იმ მოვლენის მნიშვნელობასა და მასშტაბებზე.

სახელმძღვანელოს შედგენისას ჩვენ ეხელმძღვანელობდით ქართველ და უცხოელ მეცნიერთა უახლესი გამოკვლევებით. ამ მხრივ განსაკუთრებით დიდი დახმარება გაგვიწია ვ. გვახარიაძე, ნ. მაჩიტაძე, ნ. გელაშვილმა (საქართველოს ალ. ჯანელიძეს სახ. გეოლოგიური ინსტიტუტი და სამეცნიერო-კვლევითი ცენტრი „გამა“); ნ. ნასყიდაშვილმა, ლ. ინწკირველმა, ნ. ბუაჩიძემ (ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი); დ. დემეტრაშვილმა, ა. კორძაძემ (მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი); მ. კავილაძემ (ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი); ე. ხატიაშვილმა, ზ. ბაღაშვილმა (ასოციაცია „ჰიდროსფერო“); ზ. ასკურავამ, ნ. კავთუაშვილმა („თბილწყალგეო“). სახელმძღვანელოს შექმნის დასკვნით ეტაპზე მის სრულყოფაზე დიდი შრომა გასწიეს ი. ხომერიკმა და დ. კერესელიძემ. ყველა ამ პიროვნებას ავტორები დიდ მადლობას ეუხდით.

დამხმარე სახელმძღვანელო განკუთვნილია ოკეანოლოგიის, ჰიდრომეტეოროლოგიის, ეკოლოგიის, გეოგრაფიის, გარემოსმცოდნეობის და ბიოლოგიის სპეციალობის სტუდენტების, მაგისტრანტებისა და დოქტორანტებისათვის, აგრეთვე ამ დარგში მომუშავე სპეციალისტებისათვის.

ნაშრომი წარმოადგენს ქართულ ენაზე სახელმძღვანელოს შექმნის პირველ ცდას, ამიტომ, ბუნებრივია, ის შეცდომებისაგან დაზღვეული არ იქნება. ყველა შენიშვნას ავტორები მადლიერებით მიიღებენ და გაითვალისწინებენ შემდგომ გამოცემებში.

§1.3., 1.4., 1.6., 1.7., 1.8., 1.9., 1.10., 1.11., 1.12., თავი II, III, IV, V, VI, VII, VIII, § 9.1., 9.3., 9.4., 9.5., 9.6. შედგენილია კ. ბილაშვილის და მ. ელიზბარაშვილის მიერ.

§1.1., 1.2., 1.5. შედგენილია მ. ელიზბარაშვილის და ნ. წივწივაძის მიერ.

§9.2. შედგენილია ნ. წივწივაძის მიერ.

# თავი I. ოკეანის დაბინძურების წყაროები და სახეობები

## 1.1. ოკეანის დაბინძურების წყაროები

ოკეანის წყლებზე გავლენას ახდენს ზღვის რესურსების ინტენსიური ათვისება, ნაოსნობის განვითარება, პორტებისა და სხვადასხვა სამრეწველო კომპლექსების სანაპირო ზოლში გაშენება, დაბინძურებული მდინარეებისა და ჩამონადენების ზღვებსა და ოკეანეებში ჩადინება და სხვა.

უკანასკნელ ათწლეულებში განსაკუთრებით გაიზარდა ზღვის ეკოსისტემებზე ანთროპოგენური ზემოქმედება. ოკეანის წყლებში მრავალი დამაბინძურებელი ნივთიერებების გავრცელებამ მიიღო ლოკალური, რეგიონალური და გლობალური მასშტაბიცი კი, ამიტომ ოკეანეების და ზღვების დაბინძურება გახდა უმნიშვნელოვანესი საერთაშორისო პრობლემა.

ბუნებრივი რესურსების რაციონალური გამოყენებისათვის აუცილებელია ზღვის გარემოს დაცვა დაბინძურებისაგან.

1972 წელს სტოკჰოლმში ჩატარებულ გაეროს კონფერენციაზე, რომელსაც მხარი დაუჭირა სამთავრობათშორისო ოკეანოგრაფიულმა კომისიამ, ზღვის დაბინძურება შემდეგნაირად განმარტეს: „ადამიანის მიერ პირდაპირ ან ირიბად ნივთიერების ან ენერგიის ზღვის გარემოში ჩაშვება, რომელსაც მოსდევს ისეთი მავნე შედეგები, როგორიცაა ცოცხალი რესურსების დაზიანება, ადამიანის ჯანმრთელობისთვის საშიშროების და საზღვაო საქმიანობაში, მათ შორის თევზჭერაში, დაბრკოლებების შექმნა, ზღვის წყლის ზარისხის გაუარესება და მისი სასარგებლო თვისებების შემცირება“.

ოკეანეებისა და ზღვების დამაბინძურებელ წყაროებს მიეკუთვნება:

- სამრეწველო, სამეურნეო და კომუნალური წყლების ჩაშვება უშუალოდ ზღვაში ან მდინარეთა ჩამონადენთან ერთად;

- სოფლის და სატყეო მეურნეობაში გამოყენებული ნივთიერებების მოხვედრა ხმელეთიდან;
- ზღვაში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა განზრახ დამარხვა;
- გემების ჩატვირთვა-გადმოტვირთვის ოპერაციების დროს სხვადასხვა ნივთიერების გაჟონვა;
- გემებიდან და წყალქვეშა მილსადენებიდან ავარიული დაღვრები;
- სასარგებლო წიაღისეულის მოპოვება ზღვის ფსკერზე;
- დამაბინძურებელ ნივთიერებათა გადატანა ატმოსფეროთი.

როგორც ვხედავთ, წყლის დაბინძურების მრავალი წყარო არსებობს. უპირველესად ესენია: ქალაქების კომუნალური და სამრეწველო ჩამონადენი ჩამდინარე, ფეკალურ წყლებთან ერთად, რომლებიც შეიცავენ ადამიანის ჯანმრთელობისთვის საშიშ პელმინთების კვერცხებს, ავადმყოფობის გამომწვევ მკერდებს და ვირუსებს; ასევე გვხვდება ბევრი საშიში ნაერთი კვების მრეწველობის, საავტომობილო ტრანსპორტის, საზოგადოებრივი კვების, სამედიცინო თუ ფარმაცოლოგიური ორგანიზაციებიდან ნარჩენების სახით. მხოლოდ საყოფაცხოვრებო ჩამონადენები შეიცავენ მთლიანი ჩამონადენის საერთო მოცულობის მინერალური ნივთიერებების 42%-ს, ორგანულს – 58%-ს; დალექვადი, ატივნარებული ნივთიერებები და სუსპენზიები შეადგენს 20%-ს, კოლოიდები – 10%-ს, განზავებული ნივთიერებები – 50%-ს. დასახლებული ტერიტორიებიდან საინალვრე ჩამონადენის უმეტესობა, რომელიც არ ექვემდებარება გაწმენდას, შეიცავს ნავთობისა და ორგანული პროდუქტების უდიდეს რაოდენობას, რომელიც საბოლოოდ ზღვებსა და ოკეანეებში ხვდება გაზაფხულის თოვლდნობისა და ინტენსიური, ხანგრძლივი წვიმების პერიოდში.

განსაკუთრებით ქიმიური საწარმოების ჩამდინარე წყლები ხასიათდებიან ფენოლების დიდი რაოდენობით, რომლებიც არათუ აფუჭებენ წყლის სუნს, არამედ არღვევენ წყალსაცავებში მიმდინარე ბიოლოგიური პროცესების ბალანსს. ბოლო წლებში ამგვარ ჩამონადენებში სინთეზური ნივთიერებების არსებობამ მნიშვნელოვნად შეამცირა წყლის ბიოქიმიური თვითგაწმენდის უნარი.

მნიშვნელოვანია ასევე წყლის ობიექტების მკაფიო წვიმებით დაბინძურება, რომელიც გამოწვეულია ატმოსფეროში სამრეწველო



ამოფრქვევებით. ყოველწლიურად, ატმოსფეროში დედამიწიდან სა-  
მრეწველო ამოფრქვევებით 500 მილიონ ტონაზე მეტი აზოტის  
ჟანგი, 200 მილიონი ტონა ნახშირბადის ჟანგი, 150 მილიონ ტო-  
ნამდე გოგირდის დიოქსიდი, 200-250 მილიონი ტონა მტვერი და  
120 მილიონი ტონა ნაცარი ხვდება. ჰაერის მასები ამ ნაწილაკებს  
გადააადგილებენ დიდ თუ მცირე მანძილებზე, რომლებიც გზადაგზა  
ხვდებიან წყლის ზედაპირზე. გაზისმაგვარი ამოფრქვევები ზავდე-  
ბიან რა ატმოსფეროში არსებულ წყლის ნაწილაკებით, ბრუნდებიან  
დედამიწაზე, მათ შორის ზღვებსა და ოკეანეებში, წარმოშობის ად-  
გილიდან მრავალი ასეული კმ-ის მანძილზე, მუავე წვიმების სახით.

დაბინძურების მნიშვნელოვანი წყაროა სოფლის მეურნეობაში  
სარწყავად გამოყენებული წყლების ჩამონადენები. ნიადაგის ნაწი-  
ლაკები, ორგანული ნივთიერებები, ნეშომპალა, შხამქიმიკატები და  
სასუქები, ჯანმრთელობისათვის საზიანო მიკროორგანიზმები და  
სხვა დამაბინძურებელი ინგრედიენტები საბოლოოდ მდინარეებში და  
შემდეგ ზღვებსა და ოკეანეებში ხვდებიან. ცნობილია, რომ მცირედ  
დახრილ ფერდობებიდანაც კი გამოირეცხება აზოტის სასუქის 20%,  
ფოსფორის 2-5%, კალიუმის 10-დან 70%-მდე ოდენობა. გამო-  
რეცხილი შხამქიმიკატების რაოდენობა 1-დან 20%-მდე მერყეობს.

ასევე მნიშვნელოვანია სასარგებლო წიაღისეულის მოპოვების,  
წყლის ტრანსპორტის განვითარების, რეკრეაციული ინდუსტრიის,  
ხე-ტყის დამუშავების და ა.შ. გავლენა ზღვებისა და ოკეანეების  
წყლის ხარისხზე.

ამგვარად, ადამიანის საქმიანობამ მნიშვნელოვნად შეცვალა  
წყლის ნაკადების მასოენერგეტიკული სიჩქარეები და მოცულობე-  
ბი, რის შედეგადაც წყლის ობიექტები გადაიქცნენ სხვადასხვა,  
მრავალრიცხოვანი ნივთიერებების ნაზავად.

ცხრილში 1.1 წარმოდგენილია მსოფლიო ოკეანის მსხვილმასშ-  
ტაბიანი დაბინძურების ყველაზე გავრცელებული ტოქსიკური კომ-  
პონენტები.

ზღვის ორგანიზმებისათვის ბიოლოგიური საშიშროების ხარის-  
ხი აღნიშნულია: ++ - ძლიერი; + - მნიშვნელოვანი; (+) - სუს-  
ტი; ? - არ არის განსაზღვრული; (-) - უმნიშვნელო.

როგორც ცხრილიდან ჩანს, ოკეანე ღებულობს დამაბინძურებელ  
ნივთიერებათა ფართო ჩამონათვალს. მათ გარდა ოკეანეში სხვადა-

სხვა გზით ხვდება უამრავი ორგანული მინარევი, ნარჩენები, შეტივ-  
ნარებული ნაწილაკები. ისინი განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან ტოქ-  
სიკურობის ხარისხით და გავრცელების მასშტაბით – ლოკალური  
(სანაპირო) გავლენიდან დაწყებული, გლობალურით დამთავრებული.

ცხრილი 1.1.

*მსოფლიო ოკეანის მსხვილმასშტაბიანი დაბინძურების  
ტოქსიკური კომპონენტები (ს. ი. პატინი, 1979)*

| დამაბინძურებელი ნივთიერებები                       | ბიოლოგიური<br>საშიშროების<br>ხარისხი | გავრცელების<br>მასშტაბი |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| რადიონუკლიდები                                     |                                      | გლობალური               |
| სტრონციუმ-90 ( $^{90}\text{Sr}$ )                  |                                      | “                       |
| ცეზიუმ-137 ( $^{137}\text{Cs}$ )                   |                                      |                         |
| პლუტონიუმი-238 ( $^{238}\text{Pu}$ )               |                                      |                         |
| ტრიტიუმი ( $^3\text{H}$ )                          |                                      |                         |
| ცერიუმი-144 ( $^{144}\text{Ce}$ )                  |                                      |                         |
| ქლორორგანული ტოქსიკური<br>დღტ და მათი მეტაბოლიტები | ++                                   |                         |
| პოლიქლორირებული ბიფენილები                         | ++                                   |                         |
| აღდრინი                                            | ++                                   |                         |
| დილდრინი                                           | ++                                   | ლოკალური                |
| ლინდანი                                            | ++                                   | “                       |
| მეტალები                                           |                                      |                         |
| მეთილვერცხლისწყალი                                 | ++                                   | გლობალური               |
| კადმიუმი                                           | (+)                                  | “                       |
| ვერცხლისწყალი                                      | ++                                   |                         |
| ტყვია                                              | (+)                                  |                         |
| თუთია                                              | +                                    | ლოკალური                |
| სპილენძი                                           | +                                    | რეგიონალური             |
| ქრომი                                              | (+)                                  | ლოკალური                |
| რკინა                                              | (-)                                  | “                       |
| მანგანუმი                                          | (-)                                  |                         |
| დარიშხანი                                          | (+)                                  | რეგიონალური             |
| ნავთობი და ნავთობპროდუქტები                        | +                                    | გლობალური               |
| დეტერგენტები                                       | ?                                    | რეგიონალური             |

ამჟამად მსოფლიო ოკეანეში პოულობენ ახალ-ახალ დამაბინძურებელ ნივთიერებებს. ორგანიზმებისათვის განსაკუთრებით საშიში ქლორორგანული შენაერთების, პოლიარომატული ნახშირწყალბადების და ზოგიერთი სხვა ნივთიერების გავრცელება, რომელიც გამოირჩევა მაღალი ბიოაკუმულაციური თვისებებით, მკვეთრი ტოქსიკური და კანცეროგენული ეფექტით, გლობალურ ხასიათს ღებულობს.

დაბინძურების მრავალი წყაროს ჯამური ზემოქმედების მუდმივი ზრდა იწვევს ზღვის სანაპირო ზონის პროგრესირებად ეკოტოფიკაციას და წყლის მიკრობიოლოგიურ დაბინძურებას.

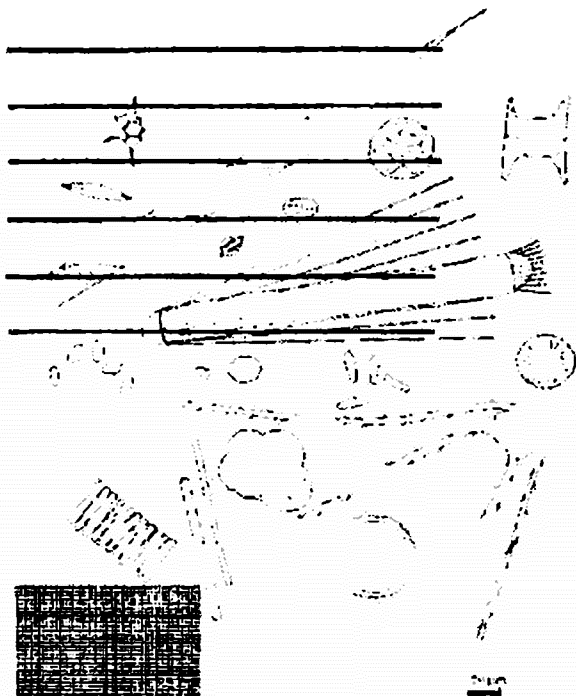
## 1.2. ჰიდრობიონტები და ოკეანის დაბინძურების ეკოლოგიური შედეგები

კვების ხასიათის მიხედვით გამოყოფენ ორგანიზმების ორ ძირითად ჯგუფს: ავტოტროფებსა და ჰეტეროტროფებს. ავტოტროფები თვითონ ქმნიან აუცილებელ ორგანულ ნივთიერებებს გარემოდან შეთვისებული არაორგანული ნივთიერებების ხარჯზე; ჰეტეროტროფული ორგანიზმები, ავტოტროფებისაგან განსხვავებით, მოკლებულნი არიან არაორგანული ნივთიერებების სინთეზის უნარს. ორგანული ნივთიერებების სინთეზისა და ცხოველმოქმედებისათვის აუცილებელი ენერგიის მისაღებად ისინი ისეთ საკვებს იყენებენ, რომელიც ცოცხალი ან მკვდარი ორგანიზმების შუა ორგანულ ნივთიერებებს წარმოადგენს.

პლანქტონი ზღვის წყლის სვეტში მცხოვრები ორგანიზმების ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ეკოლოგიური ჯგუფია. პლანქტონის ერთ-ერთი სახეობაა ფიტოპლანქტონი – მცენარე, რომელიც ფოტოსინთეზის საშუალებით ღებულობს ენერგიას (ნახ. 1.1). ფიტოპლანქტონი კვების ჯაჭვის საფუძველია (ნახ. 1.2). ფიტოპლანქტონით იკვებება ზოოპლანქტონი. მცენარეები ქმნიან საკვებ ბაზას და ცხოველები მოიხმარენ მას. ამიტომ ყველა ცხოველი დამოკიდებულია მცენარეზე. ფიტოპლანქტონის ზღვაში ვერტიკალური განაწილება დამოკიდებულია განათებაზე, რომელიც საჭიროა ფოტოსინთეზისათვის. მაგალითად, შავი ზღვის სანაპირო ზონაში ფიტოპლანქტონის გავრცელების ქვედა ზღვარი 25 მ-ია, ამასთან, 0-10 მ.

სისქის ზედაპირულ წყლის ფენაში აღინიშნება მაქსიმალური რაოდენობა; ღია ზღვაში ფიტოპლანქტონის გავრცელების ქვედა ზღვარი არის 75 მ. სიღრმე, იშვიათად 125 მ. უფრო ღრმად განათებულია სუსტია, ამიტომ იქ ვითარდება მხოლოდ ჩრდილის მოყვარული ერთუჯრედოვანი ორგანიზმები და ბაქტერიები. ჩრდილის მოყვარული ფიტოპლანქტონი 80-125 მ. სისქის ფენაში არსებობს. ეს არის უფერული მცენარე, რომელიც იკვებება ორგანული ნივთიერებებით და ზოგიერთი სახეობის დიატომური წყალმცენარით, ანუ ფოტოსინთეზთან ერთად საკვებად იყენებს წყალში გახსნილ ორგანულ ნივთიერებებს.

ფიტოპლანქტონი არის მცირე, ერთუჯრედიანი წყალმცენარეების ეკოლოგიური ჯგუფი, რომლის შეუიარაღებელი თვალით გარჩევა შეუძლებელია, თუმცა წყალში დიდი რაოდენობით არსებობისას ის ზოგჯერ წყალს შეფერილობას უცვლის. დაახლოებით 5 000 სახეობის ზღვის ფიტოპლანქტონი არსებობს. მათ შორის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი ჯგუფია დიატომები. ფიტოპლანქტონის სხვადასხვა სახეობა სხვადასხვა ფერის პიგმენტებს შეიცავს – მწვანეს, წითელს. ყავისფერს და სხვ. შესაბამისად, ოკეანესაც მათი მასობრივი გამრავლებისას სხვადასხვა შეფერილობა ეძლევა. მზის სხივების გარდა, ფიტოპლანქტონის ინტენსიური გამრავლება და აყვავილება მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული წყალში ჭარბად არსებულ საკვებ ნივთიერებებზე: ნიტრატებზე, ფოსფატებზე და სხვა. როცა საკვები ნივთიერებები კლებულობს, ფიტოპლანქტონის გამრავლება და აყვავილება წყდება და იწყება ლპობის პროცესი, გამოთავისუფლებული ბიოგენური მარილები ხელს უწყობენ ფიტოპლანქტონის აყვავილებასა და გამრავლების ხელახალ დაწყებას – რეგენერაციას.



ნახ. 1.1. ფიტოპლანქტონის ზოგიერთი ტიპური წარმომადგენელი

ოკეანის ფერი საშუალებას გვაძლევს შევაფასოთ ფიტოპლანქტონის რაოდენობა და სახეობა და ვიმსჯელოთ ოკეანის დაბინძურებაზე.

დანართში 1, 2, 3, 4, 5 სურათებზე ნაჩვენებია ზოოპლანქტონის ზოგიერთი წარმომადგენელი, დიატომი. ფიტოპლანქტონის მაღალი კონცენტრაციისას ბალტიის ზღვის და ჩრდილოეთ ატლანტიკის მწვანედ შეფერილი ლაქები და კალიფორნიასთან წითელი ტალღები.

ნიტრატების და ფოსფატების მაღალი კონცენტრაცია წარმოშობს ფიტოპლანქტონის მაღალ კონცენტრაციას – წითელ ტალღებს, რაც წამლავს წყალს, თევზებს, ზღვის ძუძუმწოვრებს და

კვების ჯაჭვით ხედება ადამიანის ორგანიზმში. პირველად ეს და-  
ავადება 1924 წელს დაფიქსირდა, როცა მეთევზეებს აღენიშნებო-  
დათ მაღალი სიცხე, სახსრების ტკივილი, ნერვული მოშლილობა.

წითელი მოქცევის გამოძწევი მიზეზები ბოლომდე არ არის  
შესწავლილი, ხშირად ის ბუნებრივი წარმოშობისაა (რკინით მდი-  
დარი მტკერი საქარის ან სხვა უდაბნოდან), ზოგჯერ კი ანთრო-  
პოგენული ზემოქმედების შედეგია (დაბინძურებული ჩამონადენი  
წყლების გზით ოკეანეში ნიტრატების და ფოსფატების ზრდა).  
სანაპირო წყლების დაბინძურებასთან ერთად ფიტოპლანქტონზე  
გავლენას ახდენს წყლის ტემპერატურის მომატებაც.

ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეები თავისი უჯრედის ორგანიზა-  
ციის ხასიათით სრულად შეესაბამებიან გრამუარყოფით ბაქტერი-  
ებს და წარმოადგენენ მათი ევოლუციის დამოუკიდებელ შტოს.  
დღესდღეობით მსოფლიოს მეცნიერებმა ერთხმად დაიწყეს ლაპარა-  
კი ახალი საშიშროების – ციანობაქტერიების შესახებ. ციანობაქ-  
ტერიებს ადრე ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეებს ეძახდნენ. მეც-  
ნიერთა აზრით ის „21-ე საუკუნის ჭირად“ მოგვევლინება, მას  
ასევე წყლის „შიდსს“ უწოდებენ. რუსეთის გამალეის სახელობის  
ეპიდემიოლოგიისა და მიკრობიოლოგიის სამეცნიერო კვლევითი  
ინსტიტუტის მტკიცებით, ის მიკროორგანიზმები, რომელთა ასაკი  
3 მილიარდ 800 მილიონ წელს ითვლის და დედამიწაზე პირველ  
ცოცხალ ორგანიზმად წარმოგვიდგება, ქიმიური გაჭუჭყიანების ზე-  
მოქმედებით გაძლიერებულად მუტირებენ, წარმოქმნიან სხვადასხვა,  
ახალ, ადამიანის ორგანიზმზე დამლუპველად მოქმედ სახეობებს.  
ციანობაქტერიები ბოტანიკურ ლიტერატურაში განიხილება, რო-  
გორც მაღალი რანგის ტაქსონი. ციანობაქტერიებისთვის დამახა-  
სიათებელია მაღალი მორფოლოგიური სირთულე და მოლეკულური  
ჟანგბადის გამოყოფის უნარი ფოტოსინთეზის პროცესში. შესწავ-  
ლილია ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეების 1500-ზე მეტი სახეობა,  
მათ შორის არის როგორც კოლონიური და ძაფისებრი ფორმები,  
ასევე ერთუჯრედიანი ფორმებიც, რომლებიც მრავლდებიან უჯრე-  
დის დაყოფით ან დაქუცმაცებით. სხვადასხვა სახის ციანობაქტე-  
რიებს გააჩნიათ სხვადასხვაგვარი ადაპტაციური მექანიზმები, რო-  
მელნიც განაპირობებენ მათ წარმატებით განვითარებას გარემოს  
ამა თუ იმ პირობებში. ზოგიერთი მათგანის ფორმა (Scytonema)

წარმოქმნის პიგმენტს, რომელიც უჯრედის ზედაპირზე კონცენტრირდება და ეფექტურად იცავს მას ულტრაიისფერი სხივებისგან, რაც საშუალებას აძლევს ბაქტერიას განვითარდეს მზის პირდაპირი რადიაციის პირობებში. სამწუხაროდ, ძალიან დიდი რაოდენობა ციანობაქტერიებისა წარმოქმნის ადამიანისა და ცხოველის სიცოცხლისთვის დამლუპველ ტოქსინებს. ესენია: Microcystis, Anabaena, Nodularia, Nostoc, Aphanizomenon, Oscillatoria-ს ოჯახის წარმომადგენლები და სხვ. შხამის წარმოქმნა განპირობებულია ძირითადად შტამებით. შხამებს ძირითადად წარმოქმნიან პლანქტონური ფორმები. ასხვავებენ ტოქსინების ორ ტიპს: ნეიროტოქსინებს, რომლებიც ნერვულ სისტემაზე მოქმედ ალკალოიდებს წარმოადგენენ (შედარებით იშვიათად გვხვდებიან) და ჰეპატოტოქსინებს, რომელნიც ცოცხალ ორგანიზმში მოხვედრისას იწვევენ ღვიძლის დაშლას, რაც რამდენიმე საათში ლეტალური შედეგით მთავრდება. შხამის დაბალი დოზები იწვევს ორგანიზმში კიბოს განვითარებას. სრულიად აშკარაა, რომ ღვიძლის კიბოთი გარდაცვლილ ადამიანთა უმეტესობა სწორედ ციანობაქტერიების ამ სახის შხამით არის დაღუპული. აღსანიშნავია, რომ ტოქსინები ციანობაქტერიების უჯრედებშია მოთავსებული და მხოლოდ მათი დაშლის შემდგომ გამოდიან წყალში. ისინი ძალიან მდგრადნი არიან წყლის ქლორირებისადმი, ტოქსინები მშრალ უჯრედებშიც კი ინარჩუნებენ თავის თვისებებს. სხვადასხვა სახის ციანობაქტერიების ნარჩენები აღმოჩენილია პრაქტიკულად ყველა კონტინენტის კაუის ქვებში. თანამედროვე ბიოსფეროში ციანობაქტერიები გავრცელებულია ყველგან, ძალიან მკავე გარემოს გარდა. ზოგი იშვიათი ფორმა გვხვდება გამოქვაბულებშიც, რომელიც დაფარულია კალციტით და წარმოშობს ეგრეთ წოდებულ, თავისებურ ცოცხალ სტალაქტიდებს. ციანობაქტერიები გვხვდებიან ნებისმიერ მტკნარ თუ მარილიან წყალსაცავებში როგორც პლანქტონის, ასევე წყალმცენარისა და ფსკერული ნალექების ზედაპირებზე და წარმოადგენენ კარგ საკვებს წყლის ორგანიზმებისათვის, რითაც შეაქვთ თავისი წვლილი წყალსაცავის პროდუქტიულობაში. გარკვეული პირობების დადგომისას ხდება ციანობაქტერიების მასიური გამრავლება, რასაც მოჰყვება ზღვის „გაყვავილება“. გროვდება ციანობაქტერიების უშველებელი მასა, რომელიც წყლის ზედაპირს ლურჯ-მწვანე ფერის ფარდავით

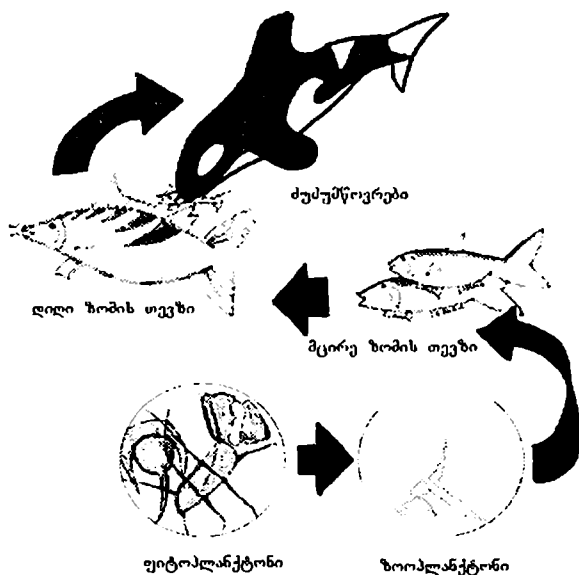
მოუფინება, რასაც მოჰყვება წყალში გახსნილი ჟანგბადის მნიშვნელოვანი შემცირება, მცენარეების კვდომა და ლპობის პროცესის დაწყება, რის გამოც გარემო ხდება მიუღებელი ცოცხალი ორგანიზმებისათვის, მათ შორის თევზებისთვისაც.

ციანობაქტერიების ზოგი ფორმა გამოყოფს ტოქსინებს. რომლებიც იწვევენ ნეიროდეგენერატულ დაავადებებს, ისეთებს, როგორებიცაა: ალცჰეიმერის, პარკინსონის და ლუ გერიგას (ამიოტროფული სკლეროზი) დაავადებები. შეისწავლეს რა მსოფლიოს წყალსაცავებში არსებული ციანობაქტერიები, მეცნიერთა საერთაშორისო ჯგუფმა აღმოაჩინა, რომ ამ სახის ტოქსინს გარკვეულ პირობებში წარმოქმნიან ყველა სახის ციანობაქტერიები თავისი „ყვავილობის“ პერიოდში. აღსანიშნავია, რომ ამ წყალმცენარეების ზოგიერთი სახე ერთდროულად გამოყოფს რამდენიმე სახის ტოქსინს. ძირითადად საშიშ ტოქსინებს ბაქტერიები გამოყოფენ გვიან 'ზაფხულსა და ადრეულ შემოდგომას როგორც ზღვის წყალში, ასევე მდინარის შესართავებში და მტკნარი წყლის პიდროსისტემებში. ამ პროცესებს ერთვის წყლის უსიამოვნო სუნისა და გემოს წარმოქმნა. კომპლექსური მიკრობიოლოგიური გამოკვლევების გარეშე შეუძლებელია იმის დადგენა, თუ რა სახის ტოქსინები გამოიყოფა ბაქტერიების კვდომისას. აღსანიშნავია, რომ ამ ტოქსინებით მოწამვლა შეიძლება როგორც ცურვისას, ასევე წყლის თხილამურებზე სრიალისა და ნავებით სეირნობისას, ვინაიდან მომწამვლელი, ტოქსიკური ნივთიერებები აეროზოლების სახით ხვდება ადამიანის სასუნთქ სისტემაში. ძირითადი დაავადებები, რომელიც გვხვდება ადამიანების წყალთან კონტაქტის პირობებში, ეს არის ორგანიზმის ალერგიული რეაქციები კანის გაღიზიანების სხვადასხვა სიმძიმის ფორმით და ნაიარევების წარმოქმნით. წყლის ნაწილაკების შესუნთქვა აეროზოლების სახით იწვევს ცრემლდენას, ცხვირის სისველეს, ასთმისმაგვარ გაგუდვას და ციანოზს და სხვა ალერგიულ რეაქციას. დაბინძურებული წყლის სასმელად მოხმარებისას ადამიანი დაავადება მძიმე გასტროენტერიტით, ღვიძლისა და თირკმლის ტოქსიკოზით, რაც უცილობლად ადამიანის სიკვდილით დამთავრდება, ვინაიდან არ არსებობს დღეისათვის ამ შხამების წინააღმდეგ მოქმედი ანტიდოტი. მცირე დოზით ამგვარი შხამის მოხვედრაც კი ორგანიზმში ნევრალგიურ დაავადებებს იწვევს.



ზოოპლანქტონი აერთიანებს ცხოველურ ორგანიზმებს ჯაძი-  
რითადად იკვებება ფიტოპლანქტონით. ბაქტერიაპლანქტონი ორგა-  
ნული ნივთიერების რემინერალიზაციაში მნიშვნელოვან როლს თა-  
მაშობს. თევზები იკვებებიან ზოოპლანქტონით და საბოლოოდ ადა-  
მიანი არის ბოლო რგოლი კვების ჯაჭვში.

ბენტოსური ორგანიზმები ცხოვრობენ ზღვის ფსკერზე (იხ. ლა-  
ნარი, სურათი 6). არსებობს ზღვის ფსკერზე მიმაგრებული, მჯდო-  
მარე ფორმები (წყალმცენარეები, ღრუბლები, მარჯნები და სხვა);  
მოხრელები (მოლუსკები, ჭიები); მხოზავეები (კიბოსნაირები, კანეკ-  
ლიანები) ან თავისუფლად მოცურავე ბენტოსური ორგანიზმები. ბენ-  
ტოსით მდიდარია ზღვისპირა რაიონები და ოკეანეები, განსაკუთ-  
რებით ატლანტიკის და წყნარი ოკეანის ჩრდილო დასავლეთ ნა-  
წილი. ცხოველებს, რომელიც ბენტოსს მიეკუთვნება, ზოობენტოსი  
ეწოდება. ხოლო მცენარებს – ფიტობენტოსი. მიკროსკოპულ ფსკე-  
რის ფაუნას მეიოფაუნა ეწოდება.



ნახ. 1.2. ზღვის კვებითი ჯაჭვის მარტივი სქემა

ბენტოსს ყოფენ ზომის მიხედვითაც:

მაკრობენტოსი ( $> 1$  მმ),

მეზობენტოსი ( $0,1$  მმ  $<$  და  $< 1$  მმ),

მიკრობენტოსი ( $< 0,1$  მმ).

ბენტოსურ ორგანიზმებს საკვებად იყენებენ ადამიანები და თევზები.

პაერთან მოსაზღვრე წყლის ზედაპირული ფენა სპეციფიკური ფენაა, რომელიც დასახლებულია მცენარეული და ცხოველური ორგანიზმებით. ამ ფენაში მცხოვრები ორგანიზმების ერთობლიობას ეწოდება პლექტონი და ნეისტონი.

პლექტონი არის მცენარეული და ცხოველური ორგანიზმების ჯგუფი, რომელთა სხეული ერთდროულად არსებობს წყლისა და ჰაერის გარემოში. პლექტონის ძირითადი სახეობები დიდი რეპროდუქციის უნარით გამოირჩევა. ოკეანის დიდ ფართობზე მათი რიცხვი და ბიომასა საკმაოდ მაღალია ( $1\text{გ}/\text{მ}^2$  და მეტი).

ნეისტონური ორგანიზმების ცხოვრება დაკავშირებულია წყლის აპტან. მათი ნაწილი ცხოვრობს აპკის ზედა მხარეს (ეპინეისტონი) და ნაწილი აპკს ქვედა მხრიდან უკავშირდება (ჰიპონეისტონი). ნეისტონური ორგანიზმების ზოგიერთი სახეობა ზედაპირულ ფენაში ატარებს მთელ სიცოცხლეს, სხვები მხოლოდ განვითარების ადრეულ სტადიებს — დაახლოებით რამოდენიმე თვეს, ზოგი სახეობა კი მხოლოდ დღე-ღამის ბნელ პერიოდს ატარებს.

ნეისტონსა და პლექტონში გადის ყველა ნივთიერებისა და ენერგიის ნაკადი ოკეანეში მოხვედრისას. ნავთობის ნახშირწყალბადების, პოლიქლორირებული ბიფენილების, დღტ-ს და სხვა ნივთიერებების მაღალი კონცენტრაცია ზედაპირულ ფენაში მოწმობს იმას, რომ ამ დამაბინძურებელ ნივთიერებებს ნეისტონი აგროვებს და შემდეგ აქტიურად გადააქვს სხვა ბიოტოპებში. ეს განსაკუთრებით დამლუპველია მათი ცხოველმოქმედებისათვის.

ბაქტერიონეისტონი იმ ორგანული ნივთიერებების ძირითადი დამშლელი და ტრანსფორმატორია, რომლებიც ატმოსფეროდან იღუპება ოკეანის ზედაპირზე ან წყლის ქვედა ფენებიდან ამოდის.

დამაბინძურებელი ნივთიერებების ზემოქმედებით ხდება მიკრობიოცენოზის ცვლილება და ინდიკატორული ფორმების დაგროვება,

მიკრობული ქსოვილის ფერმენტატიული თვისებების შესუსტება, ბაქტერიის გამრავლების და პროდუქციების სიჩქარის შემცირება. ამიტომ ოკეანის ზედაპირული მიკროფუნის დაბინძურებას მეტად საშიშ ეკოლოგიურ შედეგებთან მივყავართ.

ეკოლოგიურ-ტოქსიკოლოგიური გამოკვლევების საფუძველზე დადგენილია დამაბინძურებელი ნივთიერებების ტოქსიკური და ფიზიოლოგიური ზემოქმედების ხასიათი ჰიდრობიონტების სხვადასხვა სახეობის ცხოველმყოფელობაზე. აქ არ განვიხილავთ ამ ზემოქმედებას ზღვის ორგანიზმების ცალკეული ჯგუფებისათვის. ზოგადად ოკეანის დაბინძურების ეკოლოგიური შედეგების მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტული მასალის განზოგადების საფუძველზე დადგინდა, რომ ანთროპოგენური ზემოქმედების ეფექტი ვლინდება როგორც ინდივიდუალურ (ბიოლოგიური შედეგი), ასევე პოპულაციურ-ბიოცენოზურ (ეკოლოგიური შედეგი) დონეზე. ბიოლოგიური შედეგები მოიცავს ორგანიზმში ბიოქიმიურ, მორფოლოგიურ, ფიზიოლოგიურ და გენეტიკური ხასიათის ცვლილებებს. ინდივიდუალურ დონეზე ტოქსიკური ნივთიერებები იწვევენ უჯრედების ქიმიური შედეგნილობის, ფერმენტული ხასიათის სისტემის, სუნთქვის პროცესების, ზრდისა და გამრავლების ცვლილებას, მუტაციის წარმოშობას, კანცეროგენოზს, პათოლოგიურ ფორმებს, უჯრედის ზომის ცვლილებას, მოძრაობის და სიერცეში ორგანიზმის ორიენტაციის დარღვევას. დამაბინძურებელი ნივთიერებების ზემოქმედება ძლიერდება ტოქსიკური ნივთიერებების კონცენტრირებით (ბიოაკუმულაცია), (ზოგიერთი მეტალი, რადიონუკლიდები და სხვა) ჰიდრობიონტების ქსოვილებში.

პოპულაციურ-ბიოცენური ხასიათის დარღვევები ვლინდება პლანქტონური და ბენტოსური ორგანიზმების საშუალო ბიომასის ცვლილებაში, ჰიდრობიონტების გამრავლების შემცირებაში, გარემოსათვის ახალი ორგანიზმების წარმოშობაში (მაგალითად, პათოგენური მიკროფლორა), ორგანული ნივთიერებების წარმოქმნასა და დესტრუქციის პროცესებს შორის თანაფარდობის ცვლილებაში, ეკოლოგიური მეტაბოლიზმის პროცესების დარღვევაში, ინდიკატორული ორგანიზმების გამრავლებაში. ზღვის გარემოს დაბინძურებას

მიყვავართ ეკოსისტემის სტრუქტურის გამარტივებასა და ეკოსისტემის მრავალფეროვნების შემცირებასთან.

ევტროფიკაცია – ბერძნული სიტყვაა, *eutrophia* – „კარგი კვება“ – მდინარეების, ტბების, ზღვების გამდიდრება ბიოგენური ელემენტებით, რომელსაც თან ახლავს მცენარეულობის პროდუქტიულობის ზრდა. ევტროფიკაცია შეიძლება იყოს როგორც წყალსაცავის ბუნებრივი სიბერით, ასევე ანთროპოგენული ზემოქმედებით გამოწვეული. ეს პროცესი უკანასკნელ წლებში განსაკუთრებით ინტენსიური და მასშტაბურია.

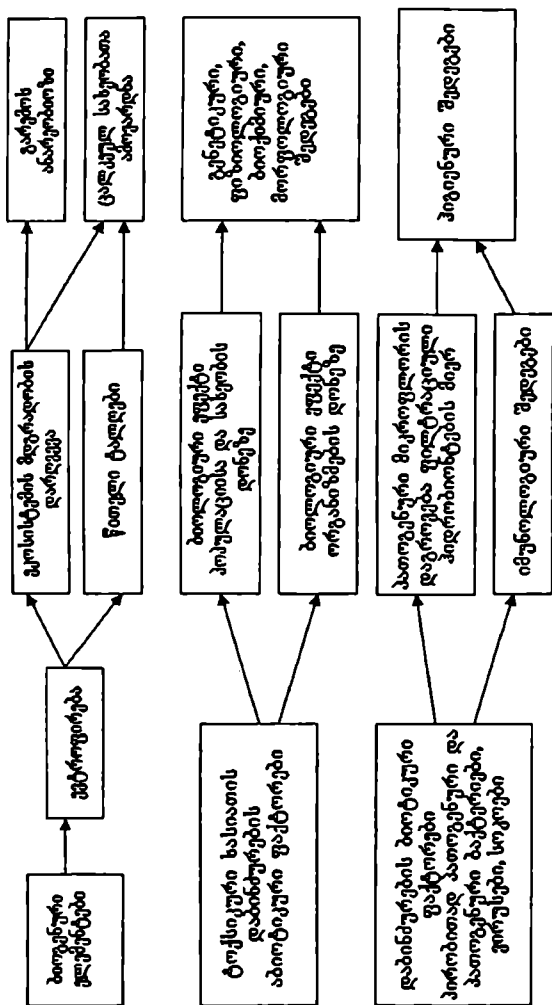
ძირითადი ქიმიური ელემენტები, რომლებიც ევტროფიკაციას ხელს უწყობს, არის ფოსფორი და აზოტი. ფოსფორის და აზოტის ძირითადი ანთროპოგენური წყაროებია: საყოფაცხოვრებო და კომუნალური წყლები, გადაუმუშავებელი ჩამონადენი წყლები განსაკუთრებით მეცხოველეობის კომპლექსებიდან და სასუქით გამდიდრებული მინდვრებიდან. ხელოვნურ, არაბალანსირებულ ევტროფიკაციას შეუძლია გამოიწვიოს ფიტოპლანქტონის სწრაფი ზრდა, რაც შეასუსტებს მზის სხივების შეღწევადაობას წყალის სიღრმეში და შესაბამისად ფსკერულ მცენარეებში ფოტოსინთეზის პროცესს. აქ შექმნილი ჟანგბადის დეფიციტი კი გამოიწვევს თევზების დაღუპვას. ფსკერზე მიმდინარეობს ანაერობული დაშლა ორგანიზმების და წარმოიშობა ძლიერ მომწამლავი ნივთიერებები: ფენოლები, გოგირდწყალბადი და მეთანი. საბოლოო ჯამში ევტროფიკაცია ანადგურებს წყლის ფლორასა და ფაუნას, უვარგისს ხდის წყლის სანიტარულ-ჰიგიენურ ხარისხს ბანაობისა და გამოყენებისათვის, იწვევს ეკოსისტემის ძლიერ ტრანსფორმაციას ან მის მთლიანად განადგურებას.

კლიმატის ცვლილების თანამედროვე მოდელები თითქმის არ ითვალისწინებს ზღვის ორგანიზმების და ოკეანეებსა და ზღვებში მიმდინარე სხვადასხვა პროცესის რეაქციას მოსალოდნელი კლიმატის ცვლილების მიმართ. იმისათვის, რომ ვიცოდეთ, თუ რა ეფექტი აქვთ ზღვის ორგანიზმებს ზღვებისა და ოკეანეების ქიმიურ ბალანსზე და როგორ რეაგირებენ ისინი გარემოს მნიშვნელოვანი ცვლილების მიმართ, რომელსაც ჩვენ დღესდღეობით განვიცდით,

აუცილებელია ოკეანეებისა და ზღვების ბიოლოგიის შესწავლა, რადგანაც ორგანიზმები თამაშობენ გადამწყვეტ როლს მთელ რიგ პროცესებში.

ასეთი ერთ-ერთი საინტერესო პროექტი იყო გაეროს მიერ დაფინანსებული პროექტი CARBOOCEAN, რომლის ფარგლებში შესწავლილ იქნა და დადგინდა, რომ CO<sub>2</sub>-ის კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად ზღვის პლანქტონის მიერ გახსნილი არაორგანული ნახშირბადის მოხმარება იზრდება 39%-მდე. ამგვარად პლანქტონი შეამცირებს სათბურის ეფექტს გლობალური მასშტაბით. მიუხედავად იმისა, რომ თავდაპირველად CO<sub>2</sub>-ის შთანთქმა ითამაშებს პლანქტონისათვის სასუქის როლს, მოგვიანებით გაუარესდება პლანქტონის კვების ხარისხი, დიდი შთანთქმა გამოიწვევს ღრმა ოკეანის ჟანგვას და ჟანგბადის კონცენტრაციის შემცირებას. გამოკვლეულ იქნა ჟანგვის ეფექტის გავლენა ჩაკირულ ორგანიზმებზე, როგორიცაა მარჯანი, მოლუსკი და სხვა მისი მსგავსი, მაგრამ ძალზე მცირეა და თითქმის არაფერია ცნობილი მისი გავლენის შესახებ ეკოსისტემაზე და მოსახლეობაზე. დაკვირვებებმა აჩვენა, რომ პლანქტონი არის ნახშირორჟანგის ბიოლოგიური გადამტანი წყლის ზედაფენებიდან ოკეანის სიღრმეში. როცა პლანქტონი კვდება და იძირება, მას CO<sub>2</sub> გადააქვს წყლის სიღრმეში. პლანქტონის დიდი მასის გახრწნას სჭირდება უფრო მეტი ჟანგბადი, რაც ასევე უარყოფითად იმოქმედებს იმ ცხოველებზე, რომლებიც ზღვის სიღრმეში ბინადრობენ. მომავალში მეცნიერები აღმოაჩენენ მეტ ბიოლოგიური უკუკავშირის მექანიზმებს. აუცილებელია არა მარტო იდენტიფიკაცია და გააზრება ამ მექანიზმებისა, არამედ რაოდენობრივი შეფასება მათი ზეგავლენისა გლობალურ კლიმატურ სისტემაზე ამჟამად და მომავალში. პროექტ CARBOOCEAN-ის ფარგლებში 15 ქვეყნის მონაწილეობით შეფასდება ზღვის ნახშირბადის წყაროები და მოხვედრის გზები ატლანტის და სამხრეთ ოკეანეებში, რადგანაც მსოფლიო ოკეანე ამჟამად არის ადამიანის საქმიანობის შედეგად გამოყოფილი CO<sub>2</sub>-ის უდიდესი ნაწილის ჩადინების ადგილი.

ნ.ბ. 1.3. ოკეანის დაბინძურების გეოლოგიური შედეგები (იზრაელი, 1984)



### 1.3. ნავთობი და ნავთობპროდუქტები

მსოფლიო ოკეანის ძირითადი დამაბინძურებელი ნივთიერებაა ნავთობი.

ნავთობი ჩვეულებრივ მუქი ყავისფერი, ბლანტი, ზეთოვანი სითხეა, რომელსაც გააჩნია სუსტი ფლუორესცენცია. ნავთობის სიმკვრივე 0.65-1.05 გ/სმ<sup>3</sup> საზღვრებში იცვლება. სიმკვრივის მიხედვით ნავთობი შეიძლება იყოს მსუბუქი (<0.83 გ/სმ<sup>3</sup>), საშუალო (0.83-0.86 გ/სმ<sup>3</sup>) და მძიმე (>0.86 გ/სმ<sup>3</sup>).

მნიშვნელოვანი რაოდენობით ნედლი ნავთობის მოპოვება 1880 წლიდან დაიწყო და დღეისათვის  $3,2 \times 10^{12}$  ლ/წელიწადში აღწევს.

ნავთობი შედგება ნაჯერი ალიფატური და პიდროარომატული ნახშირწყალბადებისაგან (C<sub>5</sub>-C<sub>70</sub><sup>1</sup>) და შეიცავს C-ს 80-85%-ს, H-ის 10-14%-ს, S-ის 0,01-7%-ს, N-ის 0,01%-ს და O<sub>2</sub>-ის 0-7%-ს.

ნავთობის ძირითად კომპონენტებს – ნახშირწყალბადებს (98%)

4 კლასად ყოფენ:

1. პარაფინები (ალკანები, შეადგენენ ნავთობის საერთო შემადგენლობის  $\approx 90\%$ -ს) მდგრადი ნაჯერი ნაერთებია C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>, რომელთა მოლეკულები გამოისახება ნახშირბადის ატომების პირდაპირი ან განშტოებული ბმით. პარაფინები მოიცავენ გაზებს: მეთანს, ეთანს, პროპანს და სხვა. შენაერთები 5-17 ნახშირბადის ატომით არის სითხე, ხოლო ატომების უფრო მეტი რაოდენობით – მყარი სხეული. მსუბუქი პარაფინი ზასიათდება მაქსიმალური აქროლადობით და წყალში ხსნადობით.
2. ციკლოპარაფინები (ნაფტენები, 30-60% მთლიანი შემადგენლობის) ნაჯერი ციკლური ნაერთები C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub> 5-6 ნახშირბადის ატომით წრეზე. გარდა ციკლოპენტანისა და ციკლოჰექსანისა, ნავთობში გვხვდება ბიციკლური და პოლიციკლური ნაფტენები. ეს შენაერთები ძლიერ მდგრადია და ცუდად ექვემდებარება ბიოდაშლას.
3. არომატული ნახშირწყალბადები (20-40% მთლიანი შემადგენლობის) – ბენზოლის გაუჯერებელი ციკლური ნაერთებია ნახშირბადის და 6 ატომით ნაკლებს შეიცავს წრეზე, ვიდრე

<sup>1</sup> C<sub>5</sub>-C<sub>70</sub> - ნახშირბადი 5-70 ატომური რიცხვით.

შესაბამისი ნაფტენები. ნავთობში არსებობს აქროლადი შენაერთები: ბენზოლი, ტოლუოლი, ქსილოლი, ასევე ბიციკლური (ნაფტალინი), ტრიციკლური (ანტრაცენი, ფენანტრენი) და პოლიციკლური (პირენი) ნახშირწყალბადები.

4. ოლეფინები (ალკენები, 10% მთლიანი შემადგენლობის) გაუჯერებელი არაციკლური ნაერთებია – მოლეკულაში წყალბადის ერთი ან ორი ატომით ნახშირბადის ყოველ ატომზე.

ნავთობის შემადგენლობა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული საბადოზე. მაგალითად, პენსილვანიის და კუვეიტის ნავთობი კვალიფიცირდება, როგორც პარაფინული, ბაქოს და კალიფორნიის ნავთობი – ციკლოპარაფინული (ნაფტენური). სხვა ნავთობები შუალედური ტიპისაა. ნებისმიერი ხარისხის ნავთობი 200-300 ნერთს შეიცავს, თუმცა ზოგიერთი საბადოს ნავთობში 1000-მდე ნერთია აღმოჩენილი. ნავთობის შემადგენლობაში შემავალ ნერთთა შორის ყველაზე რთულია ფისები და ასფალტები. ამასთან, მათი ქიმიური აღნაგობა ბოლომდე არაა გამოკვლეული.

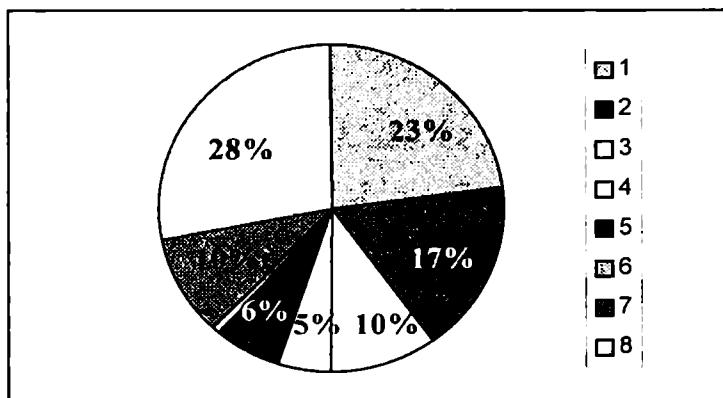
ნავთობი შეიცავს აგრეთვე გოგირდის (1-7%-მდე) და აზოტის (1%-მდე) ნაერთებს, ცხიმოვან მჟავებს (5%-მდე) და სხვა.

ნავთობის შემადგენლობაში ასევე აღმოჩენილია მიკროელემენტები. ამ მიკროელემენტებს ახასიათებთ მკაფიო მიდრეკილება, ერთი მხრივ მსუბუქი, მეორე მხრივ მძიმე ნავთობებისადმი. მაგ Fe, Co, Cr, Mn, Rb – შედარებით მაღალი კონცენტრაციებით მძიმე ნავთობის ფრაქციებში გვხვდება, ხოლო Hg, Sb, Sc – პირიქით, შედარებით მსუბუქ ნავთობში.

ზღვის გარშემო ნავთობპროდუქტების რაოდენობრივი ანალიზი და იდენტიფიკაცია ძალზე რთულია არა მხოლოდ მისი მრავალკომპონენტობისა და არსებობის განსხვავებული ფორმების გამო, არამედ ბუნებრივი და ბიოგენური წარმოშობის ნახშირწყალბადების არსებული ფონის გამო. მაგალითად, ორგანიზმების მეტაბოლიტურ აქტივობასა და მათი ნარჩენების დაშლას უკავშირდება ნახშირწყალბადების წარმოშობა. ექსპერიმენტული გამოკვლევების თანახმად, ბიოგენურ და ნავთობიდან წარმოშობილ ნახშირწყალბადებს რიგი განსხვავებანი ახასიათებს:



1. ნავთობი წარმოადგენს ნახშირწყალბადების უფრო რთულ ნარეკს, სტრუქტურების და შეფარდებითი მოლეკულური მასის დიდი დიაპაზონით.
  2. ნავთობი შეიცავს რამდენიმე კომპოლოგიურ სერიას, რომელშიც მეზობელ წევრებს გააჩნიათ თანაბარი კონცენტრაციები.
  3. ნავთობი შეიცავს ციკლოალკანების და არომატული ნახშირწყალბადების ფართო დიაპაზონს.
  4. ნავთობი შეიცავს მრავალრიცხოვან არომატულ ნახშირწყალბადებს, სხვადასხვა ჰეტეროშენაერთებს (რომელთა შემადგენლობაშია გოგირდი, აზოტი, ყვანგბადი, მეტალების იონები).
- ნავთობის ნახშირწყალბადების ზღვებსა და ოკეანეებში მოხვედრის გზები მრავალრიცხოვანია (ნახ. 1.4):



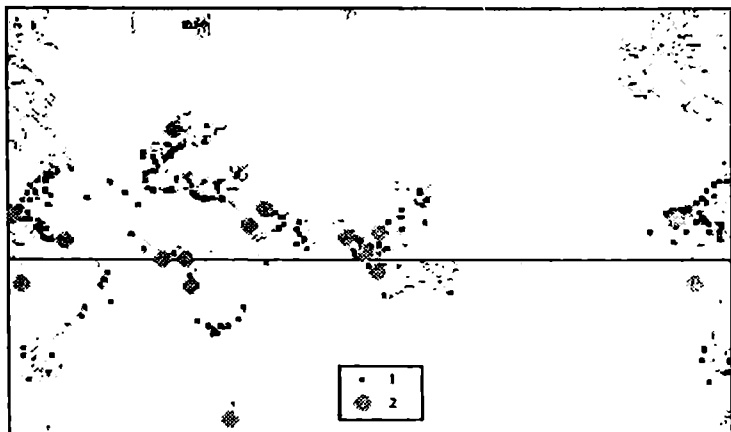
ნახ. 1.4. ნავთობის ნახშირწყალბადების ოკეანეში მოხვედრის გზები

1. ზღვაში გემებიდან ნარეკები და ბალასტური წყლების ჩაშვება (23%);
2. გემების ჩატვირთვა-გადმოტვირთვის და სხვა ოპერაციების დროს პორტებში და საპორტო აკვატორიაში მოხვედრა (17%);
3. სამრეწველო ნარჩენების და ჩამონადენი წყლების ჩაშვება (10%);

4. თავსხმა ჩამონადენი (5%);
5. გეშებისა და ნავთობმომპოვებელი პლატფორმების კატასტროფები ზღვაში (6%);
6. შეღწეზე ბურღითი საბუშაოები (1%);
7. ატმოსფერული ჩამოცვენა (10%);
8. მდინარის ჩამონადენის მიერ გამოტანა (28%).

ნავთობის დანაკარგები მისი მოპოვების რაიონებიდან ტრანსპორტირებისას, ავარიული სიტუაციები, ნარეცხი და ბალასტური წყლების ჩაშვება და სხვა განაპირობებს საზღვაო გზების ტრასებზე დაბინძურების მუდმივი ევლების არსებობას (ნახ. 1.5.)

ძლიერი დაბინძურება შეიმჩნევა სანაპიროსთან (იხ. დანართი, სურათი 7), სადაც პორტები, ნავთობგადამამუშავებელი ქარხნები მდებარეობენ და დაბინძურებული წყლის ჩაშვება ხდება ზღვაში.



ნახ. 1.5. ავარიული დაღვრების მდებარეობა

- 1 - ტანკერების ავარიული დაღვრების ადგილმდებარეობა
- 2 - საბურღი მოწყობილობებზე ავარიული დაღვრების ადგილმდებარეობა



ნახ. 1.6. ტანკერი „არესტივი“ იძირება  
ესპანეთის ჩრდილო-დასავლეთით

დანაროის მე-8 სურათზე წარმოდგენილია გემიდან ბალასტური წყლის ჩაშვების პროცესი. ზედაპირული დაბინძურება ძირითადად დაკავშირებულია ნავთობის და ნავთობპროდუქტების დაღვრასთან, ასევე ზღვაში სხვადასხვა სამრეწველო და სამეურნეო ნივთიერებების ჩაშვებასთან.

გარემოს მნიშვნელოვან ზიანს აყენებს ნავთობის დიდი რაოდენობის უეცარი დაღვრა ტანკერების ავარიისას, თუმცა ასეთი დაღვრები ნავთობით ჯამური დაბინძურების მხოლოდ 5-6%-ს შეადგენს.

თანამედროვე სატანკერო ფლოტი 7000-ზე მეტ ერთეულს ითვლის. ყოველწლიურად კი 200-მდე ტანკერი, დაახლოებით ფლოტის 0,4 % კატასტროფას განიცდის. პირველად კატასტროფა 1907 წ. ბრიტანეთის სანაპიროსთან განიცადა ტანკერმა “Thomas W” შავ ზღვაში კი 1980 წელს 94600 ტ. ნავთობი ჩაიღვარა ბერძნული (“Eurial”) და რუმინული (Independenta”) ტანკერების შეჯახების შედეგად. მსოფლიოში ზოგიერთი ტანკერის კატასტროფის ადგილი, თარიღი და დაღვრილი ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების რაოდენობა მოცემულია ცხრილში.

ცხრილი 1.2.

ტანკერების კატასტროფები (ნ. გელაშვილი, 2004)

| № | თარიღი               | ტანკერის<br>სახელწოდება | ჩადვრილი<br>ნავთობის და<br>ნავთობპროდუქტების<br>რაოდენობა | კატასტროფის<br>აღვლი               |
|---|----------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 1907 წ.              | “Thomas w”              | 8000 ტ.<br>ნავთობი                                        | დიდი ბრიტანეთის<br>სანაპირო        |
| 2 | 1967 წ.              | “Торри<br>Каньон”       | 100-110<br>ათასი<br>ტ. ნავთობი                            | დიდი ბრიტანეთის<br>სანაპირო        |
| 3 | 1973 წ.<br>აგვისტო   | “Dona<br>Marika”        | 3000 ტ.<br>ბენზინი                                        | დიდი ბრიტანეთი,<br>უელსის სანაპირო |
| 4 | 1974 წ.<br>აგვისტო   | “Метула”                | 50-63 ათასი<br>ტ. ნავთობი                                 | მაგელანის სრუტე                    |
| 5 | 1976 წ.<br>12 მაისი  | “Vrguliola”             | 110 ათასი<br>ტ. ნავთობი                                   | ესპანეთი<br>პორტი<br>Ла-Корунья    |
| 6 | 1977 წ.<br>22 აპრილი | “Argos”                 | 24-25 ათასი<br>ტ. ნავთობი                                 | სამხრეთის ზღვა,<br>ბატანი Браво    |
| 7 | 1978 წ.<br>16 მარტი  | “Амоко<br>Кадис”        | 223 ათასი<br>ტ. ნავთობი                                   | დიდი ბრიტანეთის<br>სანაპირო        |
| 8 | 1979 წ.<br>8 იანვარი | “Бетелгейзе”            | 80 ათასი<br>ტ. ნავთობი                                    | ირლანდიის<br>სანაპირო              |

|    |                         |                                |                        |                      |
|----|-------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------|
| 9  | 1979 წ.<br>თებერვალი    | “Антонио<br>Граммш”            | 6 ათასი<br>ტ. ნავთობი  | ლატვიის<br>სანაპირო  |
| 10 | 1980 წ.                 | “Eurial” და<br>“Independencia” | 94600 ტ.<br>ნავთობი    | შავი ზღვა            |
| 11 | 1984 წ.<br>30 ივლისი    | “Амечуе”                       | 8 ათასი<br>ტ. ნავთობი  | მექსიკის ყურე        |
| 12 | 1989 წ.<br>19 დეკემბერი | “Харк - 5”                     | 70 ათასი<br>ტ. ნავთობი | კანარის<br>კუნძულები |

2002 წელს ესპანეთის სანაპიროსთან მოხდა ნავთობის დიდი რაოდენობით დაღვრა. 25 ათასი ტონა ნავთობპროდუქტი ჩაიღვარა ჩრდილოეთ ატლანტიკაში პირინეის ნახევარკუნძულთან, ტანკერ „პრესტიჟის“ კატასტროფის დროს (ნახ. 1.6), ისევე, როგორც 1997 წელს ტანკერ „ნახოდკას“ და 1999 წელს „ერიკას“ კატასტროფის გამო ზღვაში ჩაიღვარა მძიმე საწვავი, რომელიც უაღრესად ნელა იშლებოდა ზღვის წყალში თვით ძლიერი შტორმის დროსაც. ზღვაში დიდი ხნის არსებობის შემდეგ დაჭუჭყიანების ლაქებმა ევროპის სანაპიროებს მიაღწია და დიდი ზარალი მიაყენა ესპანეთის ეკონომიკას. აიკრძალა თევზჭერა გალისიას პროვინციის სანაპიროსთან და ეს აკრძალვა დაახლოებით 13 ათას მომუშავე პერსონალს შეეხო. ზღვაში და ესპანეთის სანაპიროზე დაახლოებით შეგროვდა 117 ათასი ტონა თხევადი და მყარი ნახშირწყალბადის ნარჩენი (იხ. დანართი, სურათი 9). გალისიაში კრიზისული პოლიტიკური სიტუაცია ჩამოყალიბდა.

ტანკერ „ნახოდკას“ კატასტროფის დროს იაპონიის სანაპიროსთან ზღვაში 4,5 ათასი ტონა საწვავი ჩაიღვარა, ამ შემთხვევაში მთლიანმა ზარალმა ტურისტული და თევზმჭერი ბიზნესის თვალსაზრისით 209 მილიონი დოლარი შეადგინა.

უდიდესი კატასტროფა 1967 წელს განიცადა ტანკერმა „ტორი კანიონ“-მა, რომელსაც გადაჰქონდა 117 ათას ტონა კუვეიტური ნავთობი. ტანკერი დაეჯახა შელფს, დაზიანდა და ზღვაში ჩაიღვარა

100 ათასი ტონა ნავთობი. ქარის ზემოქმედებით ნავთობი სწრაფად გავრცელდა დიდ სივრცეზე და მნიშვნელოვანი ზარალი გამოიწვია.

ზღვების და ოკეანეების ნავთობით დაბინძურება შეფასებულია 5-დან 9 მილიონ ტონამდე წელიწადში. დღესდღეობით 25 მილიონი ტონა ნავთობია ზღვებსა და ოკეანეებში და თუ მას მთლიანად ზედაპირზე გავანაწილებთ, აფსკის სისქე იქნება მიკრონის ერთი მეათედი.

წყალზე დაღვრისას ნავთობი თავდაპირველად განიცდის განფენადობას, რომლის სიჩქარე დამოკიდებულია დაღვრილი ნავთობისა თუ ნავთობპროდუქტების ტიპზე. რაც უფრო მსუბუქია დაღვრილი ნავთობი, მით უფრო დიდია ლაქის განფენადობის სიჩქარე, აფსკის დიამეტრი და ნაკლებია სისქე. ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებისგან განსხვავებით, ნავთობი არ განილვრება მონომოლეკულურ ფენად, ხოლო მისი აფსკის სისქე რამდენიმე სანტიმეტრიდან მილიმეტრის მეათედებამდეა. 100-200 ლ ნავთობი იძლევა  $1\text{კმ}^2$  ფართობის აფსკს (ლაქას), რომლის სისქე 0,1 მკ მ-ია. ზღვაში ჩაღვრილი ნავთობის მიერ წარმოქმნილი სხვადასხვა სიმძლავრის ზედაპირული ფენის სისქე შეიძლება შეფასდეს ფერის მიხედვით (იხ. დანართი, სურათი 10) (ცხრილი 1.3).

### ცხრილი 1.3.

წყალში ნავთობის აფსკის მახასიათებლები  
(ნელსონ-სმიტი, 1977)

| გარეგანი სახე       | სისქე მკმ | ნავთობის<br>რაოდენობა, ლ/კმ <sup>2</sup> |
|---------------------|-----------|------------------------------------------|
| ოღნავ შესამჩნევი    | 0,038     | 44                                       |
| ვერცხლისფერი ელფერი | 0,076     | 88                                       |
| შეფერილობის ნიშნები | 0,152     | 176                                      |
| მკვეთრად შეფერილი   | 0,305     | 352                                      |
| მკრთალად შეფერილი   | 1,016     | 1170                                     |
| მუქად შეფერილი      | 2,032     | 2340                                     |

30-40 მკმ სისქის ნავთობის ფენა მთლიანად შთანთქავს ინფრაწითელ გამოსხივებას.

ზღვის ზედაპირზე აფსკის გავრცელებაზე გავლენას ახდენს ქარი (დრეიფი), ტალღები და ღინებები. ძლიერი ქარის დროს ლაქები იშლება და ქარის გადატანის ფენაში წარმოიშობა ნავთობის ემულსია.

წყალთან შერევისას ნავთობი წარმოქმნის 2 ტიპის ემულსიას: პირდაპირს „ნავთობი წყალში“ და შებრუნებულს „წყალი ნავთობში“. პირდაპირი ემულსიები, რომლებიც შედგება 0,5 მკმ-მდე ღია-მეტრის ნავთობის წვეთებისაგან, ნაკლებად მდგრადია და განსაკუთრებით დამახასიათებელია ნავთობისათვის, რომელიც შეიცავს ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებებს.

ნავთობის ზღვაში მოხვედრის შემდეგ პირველი 24 საათის განმავლობაში აქროლადი გაზები და სითხის მსუბუქი კომპონენტები, რომლებიც დაუმუშავებელ ნავთობში 20-50%-მდეა, აორთქლებიან. აორთქლებული ნავთობის მნიშვნელოვანი ნაწილი ბრუნდება ზღვაში ატმოსფერული ნალექების საშუალებით და მეორად დაბინძურებას იწვევს (ნახ. 1.7). ცნობილია რომ, ყოველწლიურად ატმოსფერული ნალექების საშუალებით ზღვაში 5.3 ათასი ტ ნავთობპროდუქტი ხვდება. აორთქლების ინტენსიობა დაღვრის პირველ საათებშია მაქსიმალური. თავდაპირველად ხდება ნავთობის შედარებით დაბალმოლეკულური ნაერთების აორთქლება. აორთქლების პროცესი შეიძლება მიმდინარეობდეს რამდენიმე თვის და, შესაძლებელია, ერთი წლის განმავლობაშიც. წყლის ზედაპირიდან ნავთობის აორთქლების პროცესი დამოკიდებულია მთელ რიგ ფაქტორებზე: ნავთობის ტიპზე, გარემოს ტემპერატურაზე, რაც უფრო მსუბუქია დაღვრილი ნავთობი და მაღალია გარემოს ტემპერატურა, მით უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს აორთქლების პროცესი. აორთქლების პროცესი ფერხდება ზღვის ღელვისას, რადგანაც ამ დროს ხდება ემულსიის „წყალი ნავთობში“ წარმოქმნა. წყლის ქვეშ მოხვედრილი ნავთობის აორთქლება კი შეუძლებელია.

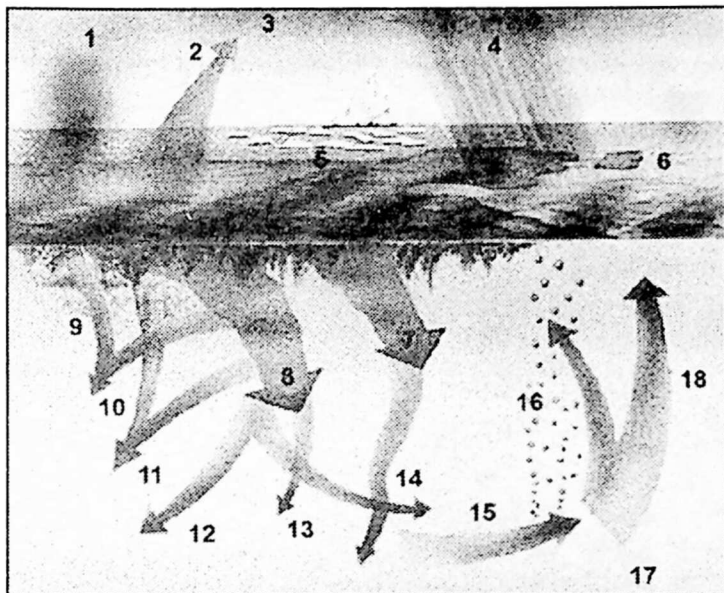
აორთქლებასთან ერთად მიმდინარეობს ნავთობის წყალში გახსნის პროცესი, რაც ასევე დამოკიდებულია ნავთობპროდუქტების ტიპზე. 1 ლ წყალში ერთი ღლე-ღამის განმავლობაში 5.75 მგ. ნავ-

თობი, 1,5 მგ. ღიზელის საწვავი და 0,46 მგ. მძიმე საწვავი იხსნება. აქროლადი ნაწილის მოშორების შემდეგ, დარჩენილი ნავთობისაგან ხშირად იქმნება შებრუნებული ემულსიები და დროთა განმავლობაში ზღვის ღელვის დროს ნავთობზე ხდება წყლის მოლეკულების აბსორბირება და წარმოიქმნება ყავისფერი მასა, რომელიც „შოკოლადის მუსის“ სახელითაა ცნობილი, მასში ნავთობის ტოქსიკურობა შენარჩუნებულია. „ნავთობი-წყალი“ ნარევი იწვევს ცოცხალ ორგანიზმებში ნივთიერებათა ცვლის მოშლას და გამრავლების უნარის დაქვეითებას, ასევე მუტაციასა და სიკვდილს.

5-7 დღის შემდეგ ნავთობის მხოლოდ მძიმე (ფრაქცია) კომპონენტები რჩება: პარაფინი, მაზუთი და კონცენტრირდება ბურთულების ან აგრეგატების სახით. მცირე წყალმცენარეები, ბაქტერიები, თევზის ქვირითი ეკრობა ამ აგრეგატებს. აგრეგატები დროთა განმავლობაში იძირება და იმარხება ფსკერის დანალექში, აკუმულირდება ფსკერულ ნალექებსა და ბენტოსის ცოცხალ ორგანიზმებში და წარმოქმნის მეორადი დაბინძურების წყაროს, დინებებითა გადაიტანება ან ნაპირზე გამოირიყება. რაც უფრო დიდხანს რჩება ნავთობის აგრეგატები ზედაპირზე, მათი ტოქსიკურობა უფრო იზრდება, რადგანაც ის პათოგენური მიკროორგანიზმების თავშესაფარი ხდება.

წყლის ზედაპირზე ნავთობის დაღვრის შემდეგ მიმდინარე კომპლექსური ფიზიკო-ქიმიური პროცესებია: განფენადობა, აორთქლება, მყარ ნაწილაკებზე ნავთობის კომპონენტების ადსორბცია, წყალში ნავთობის ხსნადი კომპონენტების შერევა, ნავთობის ნახშირწყალბადების ქიმიური და ბიოლოგიური დეგრადაცია. ქიმიური და ბიოლოგიური დეგრადაციის დროს წარმოიქმნება სხვა ხსნადი ნაერთები და დაუანგული ნახშირწყალბადები, რომელთა ტოქსიკურობა გაცილებით მაღალია. ვიდრე არადაუანგული ნახშირწყალბადებისა.





ნახ. 1.7. ოკეანეში ჩაღვრილი ნავთობის წყალთან და ატმოსფეროსთან ურთიერთზემოქმედების სქემა

1. აორთქლება, 2. ქარისმიერი გადატანა, 3. ორთქლისა და გაზის დაუანგვა ატმოსფეროში, 4. შემცირება ატმოსფერული ნალექებით, 5. მოდრეიფე ყინულით ტრანსპორტირება, 6. ზედაპირზე ფოტოდაჟანგვა, 7. ემულსია: ნავთობი წყალში, 8. ემულსია: წყალი ნავთობში, 9. გახსნა, 10. ქიმიური ურთიერთქმედება, 11. ბაქტერიული დაშლა (ბიოდეგრადაცია), 12. დაღეჭვა შეტევითი ნაწილაკებზე, 13. ნავთობის ბურთულები და ავრეგატების ფსკერზე დაღეჭვა, 14. პლანქტონის მიერ მოხმარება, 15. გადატანა, 16. ბუშტუკებთან ერთად გადაადგილება, 17. ნავთობის ქიმიური დაშლა ფსკერზე, 18. დაუშლელი ნავთობის გაბნევა ზედაპირზე.

ბიოდეგრადაციის პროცესების მიმდინარეობა დამოკიდებულია არა მარტო ნავთობის ნახშირწყალბადების ატომთა რიცხვზე და ტემპერატურაზე, არამედ დაღვრის ადგილმდებარეობაზეც. ბიოდე-

რადაციის პროცესები, სანაპირო ზოლთან შედარებით, ინტენსიურად მიმდინარეობს მდინარის შესართავთან, ხოლო ღია ზღვაში ძლიერაა შენელებული.

ბიოდეგრადაციის პროცესების მიმდინარეობისას ნავთობის ნახშირწყალბადების შემცველობა თანდათან მცირდება და საბოლოოდ გამოსავალი ნავთობის 75%-ს შეადგენს.



ნახ. 1.8. ნავთობით დაფარული ფრინველი სანაპიროზე

ზღვის ეკოსისტემებზე ნავთობის უარყოფითი გავლენა დაკავშირებულია როგორც ოკეანე-ატმოსფეროს ურთიერთქმედების პროცესის დარღვევასთან, ასევე მასში მეორადი დამაბინძურებლების დაგროვებასთან. ნავთობის აფსკები არსებით გავლენას ახდენს ოკეანის მთელ რიგ ჰიდროქიმიურ და ჰიდრობიოლოგიურ პროცესებზე, რაც ართულებს ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების ბაქტერიულ დაშლას და ბუნებრივ დაჟანგვას. დაღვრილი ნავთობის აფსკი არღვევს ჟანგბადურ ბალანსს, წყალში ველარ აღწევს სუფთა ჰაერი, რაც ზღვის ცოცხალ ორგანიზმებზე, თევზებსა და წყალმცენარეებზე უარყოფითად მოქმედებს. წყალმცენარე კი მნიშვნელოვან როლს თამაშობს გარემოს ორგანული დამაბინძურებლების ბიოდეგრადაციაში. ხაზგასასმელია ასევე ის ფაქტიც, რომ მიკრო-

ორგანიზმები შედარებით დიდი რაოდენობით გვხვდება იქ, სადაც ნავთობის ნახშირწყალბადებით დაბინძურება ხშირია, ხოლო იქ, სადაც დაბინძურება არ შეინიშნება, მათი შემცველობა შედარებით ნაკლებია.

ნავთობით დაბინძურება ძლიერ გავლენას ახდენს ზღვის ბიოლოგიურ ბალანსზე. ნავთობის ფენა მზის სხივებს არ უშვებს და ანელებს წყალში ჟანგბადის განახლებას. გაუნათებელ გარემოში ზღვის ცხოველების ძირითადი საკვები – წყლის მცენარეები და პლანქტონი ვერ იზრდება და ვერ მრავლდება. ნავთობი იწვევს თევზის საცხოვრებელი ადგილის განადგურებასა და გამრავლების დარღვევას. ნავთობპროდუქტებით თევზების მოწამვლისას მკვეთრად ირღვევა მათ ორგანიზმში სისხლის გაჯერებულობა  $O_2$ -ით და, აქედან გამომდინარე, მთელი რიგი სისხლის ძირითადი მანევრებლები, რომლებიც აუცილებელია ცოცხალი ორგანიზმების არსებობისათვის (გლუკოგენი, გემოგლობინი, ერითროციტები და სხვა). შავ ზღვაში ჩატარებული კვლევების საფუძველზე დადგინდა, რომ აქტიური, ზღვის ზედაპირზე მყოფი თევზების ტიპები მეტად მგრძნობიარენი არიან ნავთობით გამოწვეული მოწამვლის მიმართ, ვიდრე ზღვის სიღრმეში პასიურად მცხოვრები თევზები. ფსკერულ ფენებში მცხოვრები თევზების მდგრადობის ხასიათი წყალში ნავთობპროდუქტების არსებობის მიმართ გამოწვეული ყოფილა მათი სისხლის  $O_2$ -ის მაღალი გაჯერებულობით, ხოლო, შესაბამისად, ზედაპირულ ფენებში მყოფი თევზების მაღალი მგრძნობიარობა კი – სისხლში  $O_2$ -ის ნაკლები შემცველობით.

ნავთობპროდუქტები განსაკუთრებით საშიშია ზღვის ფრინველებისთვის (ნახ. 1.8). ნავთობით იფარება ფრინველის ბუმბული, ბუმბულის ქვეშ წყალი აღწევს. ფრინველი გადაცივდება, კარგავს ცურვის უნარს და იძირება. როდესაც ფრინველი ცდილობს ბუმბული ნისკარტით გაიწმინდოს, ნავთობის ტოქსიკური კომპონენტები ზვდება საყლაპავ მილში და შემდგომ მოქმედებს კვერცხზე, ნაყოფის რეპროდუქციისა და ბუდობის დროს. თუ ნავთობით მთლიანად დაიფარება კვერცხის ზედაპირი, სიცოცხლისუნარიანი შთამომავლობა არ მიიღება. ყოველწლიურად მსოფლიო ოკეანეში მილი-

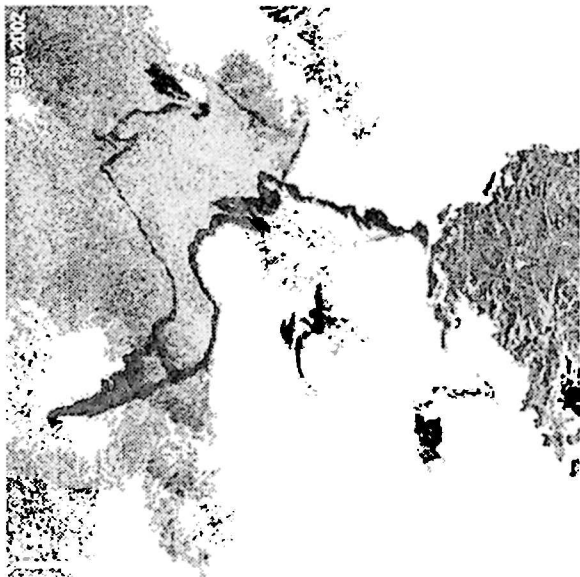
ონობით ფრინველი იღუპება ნავთობით დაბინძურების გამო. მწვანეთა მოძრაობის წვერები, მოხალისეები, ვეტერინარები ეხმარებიან ფრინველებს ნავთობისაგან გაწმენდაში (ნახ. 1.9).



ნახ. 1.9. ვეტერინარი წმენდს ფრინველის ბუმბულის ნავთობისაგან

ზოოპლანქტონში ნავთობის ნახშირწყალბადების კონცენტრირების ხარისხი დიდია და მერყეობს ზღვრებში 36,0-328 მკგ/გრ. ბიოლოგიურ ობიექტებში ნავთობის ნახშირწყალბადების შემცველობის მკვეთრი ცვალებადობა გამოწვეულია იმით, რომ ის დამოკიდებულია ორგანიზმების ფიზიკურ მდგომარეობაზე. დაბინძურების ხარისხზე და პერიოდულობაზე, დამაბინძურებელი ნივთიერებების და ნავთობპროდუქტების შედგენილობაზე და ასევე ეკოლოგიური ფაქტორების კომპლექსზე. ცნობილია, რომ ნავთობი და ნავთობპროდუქტები თბილსისხლიან ორგანიზმებზე ცივისისხლიანებთან შედარებით ნაკლები ტოქსიკურობით ზემოქმედებენ.

ნავთობით და ნავთობპროდუქტებით ზღვის დაბინძურება ქლორორგანული ნივთიერებებით დაბინძურებასთან შედარებით ნაკლებსახიფათოა, მათი ზღვის ცოცხალ ორგანიზმებზე ნაკლები ტოქსიკური ზემოქმედების გამო.



ნახ. 1.10. რადიოლოკაციური სურათი ჩრდილოეთ ატლანტიკაში ტანკერ „არესტიუსის“ კატასტროფისა, ნოემბერი 2002 წელი. აკარიის პირველი დღეები. ფოტო მიღებულია თანამგზავრიდან ERS-2

ზღვის სანაპირო ზოლის ეკოსისტემაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ნავთობპროდუქტები. მძიმე მეტალები, ფენოლები, პესტიციდები და სხვა ტოქსიკანტები. მაოი ტოქსიკური გავლენა ჰიდრობიონტებზე და მით უმეტეს მათზე წარმოშობილ პლანქტონზე და ფსკერულ ნალექებზე ამცირებს სანაპირო ზოლის ეკოსისტემის თვითგაწმენდის უნარს და ზრდის ევტროფირების ეფექტს. ცნობილია, რომ თვითგაწმენდის პროცესი არის წყლის ეკოსისტემის კვების ჯაჭვის შედეგი: ბაქტერია→უმარტივესები→მეზოპლანქტონი. გამწმელი ფაუნის ფუნქციონალური აქტივობის შემცირება პირველადი და მეორადი დაბინძურებისას იწვევს წყლებში ბაქტერიებისა და უმარტივესების რაოდენობის ზრდას, რომელიც ვერ პოულობს მომხმარებელს. ასეთი მეორადი დამაბინძურებლების ზრდა იწვევს წყლის ხარისხის მკვეთრ გაუარესებას, ჟანგბადის რეჟიმის

დარღვევას. წყლის ტემპერატურის შემცირებისას  $22-24^{\circ}\text{C}$ -მდე ზაფხულში და  $3-7^{\circ}\text{C}$ - მდე ზამთარში ბაქტერიოლოგიური დესტრუქციის ინტენსივობა თითქმის ერთი რიგით მცირდება. აქედან გამომდინარე, ზღვის სანაპირო ზოლის დაბინძურება ორგანული ნივთიერებებით, ნავთობის ნახშირწყალბადებითა და ასევე მღვრადი ციკლური შედგენილობის ნაერთებით, ზამთრის პერიოდში განსაკუთრებით სახიფათოა, ვინაიდან ამ დროს ზღვა მათი კონცენტრაციის ზრდა დანალექ ქანებში.

ნავთობით დაბინძურებული ზღვის ზედაპირის შესწავლა ზღვა კოსმოსური სურათების საშუალებით, რადგანაც ნავთობის აფსკი აფერხებს ლელვას და წარმოშობს სლიკებს (ინგლისური slick – გლუვი, მბრწყინავი) – ეს გლუვი სარკისებრი ზოლები რადიოლოკაციურ გამოსახულებებზე თითქმის შავი ფერისაა (ნახ. 1.10). სუსტი ბრიზის შემთხვევაში მათ შეიძლება ლაქების სახე ჰქონდეთ, 5 მ/წმ სიჩქარეზე მეტი ქარის დროს ის იხლიჩება ვიწრო ზოლებად.

#### 1.4. პესტიციდები

პესტიციდები წარმოადგენს ხელოვნურად შექმნილ ნივთიერებათა ფართო ჯგუფს, რომლებიც გამოიყენება მცენარეთა დაავადებებთან და მავნებლებთან საბრძოლველად. მიზნობრივი დანიშნულების თვალსაზრისით განასხვავებენ პესტიციდების შემდეგ ჯგუფებს: ინსექტიციდები – მავნე მწერებთან საბრძოლველად, ფუნგიციდები და ბაქტერიციდები – მცენარეთა სოკოვან და ბაქტერიულ დაავადებებთან საბრძოლველად, პერბიციდები – სარეველა ბალახების საწინააღმდეგოდ და ა.შ. ეკოლოგიური გამოკვლევების საფუძველზე დადგინდა, რომ პესტიციდები ანადგურებენ რა მოსავლის მავნებლებს, მნიშვნელოვან ზიანს აყენებენ ორგანიზმებს და უარყოფითად მოქმედებენ ბუნებრივ ბიოცენოზზე. ეს ნივთიერებები უარყოფითად მოქმედებს ადამიანზეც და განსაკუთრებით აზიანებს იმუნურ სისტემას. პესტიციდებით დასუსტებული იმუნური სისტემის სიმპტომებია: გამონაყარი, ზოგადი სისუსტე, ღებრესია, ლეიკემია, ხშირი ინფექციები. სიმსივნის სიხშირე იზრდება სოფლის მეურნეობაში მომუშავე პერსონალში, რომელთაც ხშირი შეხება აქვთ პესტიციდებთან. სოფლის მეურნეობაში უკვე დიდი ხანია დგას

პრობლემა მავნებლებთან ბრძოლის ეკოლოგიურად სუფთა მეთოდებზე გადასასვლელად.

თანამედროვე პირობებში მსოფლიო ბაზარზე ყოველწლიურად შემოდის 5 მლნ ტონაზე მეტი პესტიციდი. ამ ნივთიერებების 1,5 მილიონი ტონა უკვე შეერწყა მიწისზედა და ზღვის ეკოსისტემებს. პესტიციდების წარმოებისას რჩება დიდი რაოდენობის მეორადი პროდუქტი, რომელიც ჩამონადენ წყლებს და შემდეგ ზღვებსა და ოკეანეებს აბინძურებს.

წყლის გარემოში ყველაზე ხშირია ინსექტიციდების, ფუნგიციდების და ჰერბიციდების არსებობა.

სინთეზირებული ინსექტიციდები სამ ძირითად ჯგუფად იყოფა: ქლორორგანული, ფოსფორორგანული და კარბამატები.

ქლორორგანული ინსექტიციდები მიიღება არომატული ან პეტეროციკლური თხევადი ნახშირწყალბადების ქლორირების გზით. ქლორორგანული ინსექტიციდებს მიეკუთვნება დიქლორდიფენილტრიქლორეთანი (დღტ) და მისი წარმოებულები, ციკლოდიენის ყველა შესაძლო ქლორირებული წარმოებულები (ალდრინი, დილდრინი, პეპტაქლორი და სხვა), აგრეთვე ჰექსაქლორციკლოჰექსანის იზომერები, რომელთაგანაც განსაკუთრებით საშიშია ლინდანი. ამ ნივთიერებების ნახევარდაშლის პერიოდი რამდენიმე ათეული წელია და ძლიერ მდგრადი არიან ბიოდეგრადაციის მიმართ.

წყლის გარემოში ხშირად ხვდება დიქლორდიფენილტრიქლორეთანიდან (დღტ) წარმოებული პოლიქლორბიფენილები (პკბ). პოლიქლორბიფენილები გამოიყენება პლასტმასების, საღებავების, ლაქების წარმოებაში, მცენარეთა დაცვის საშუალებებისა და სინთეზური მასალების დასამზადებლად, ასევე გამოიყენება ტრანსფორმატორული ზეთის სახით და გარემოში ხვდება სამრეწველო ჩამონადენი წყლების გზით ან მყარი ნარჩენების წვის შედეგად. პკბ-ები წვის შედეგად განიბნევა ატმოსფეროში და შემდეგ ატმოსფერული ნალექების საშუალებით დედამიწის ყველა რაიონში ვრცელდება. ასე მაგალითად, თოვლის სინჯებში, რომელიც ანტარქტიდაზე იქნა აღებული, პკბ-ებმა შეადგინა 0,03-1,2 ნგ/ლ. პკბ-ები გარემომცველ არეში ბიოლოგიური დაშლის საწინააღმდეგოდ ძალზე მდგრადია, ცოცხალი ორგანიზმების მიერ შთაინთქმება, მათში გროვდება და კვების ჯაჭვით გადაეცემა.

ფოსფორორგანული პესტიციდები - ორთოფოსფორულმჟავას სხვადასხვა სპირტებია. ამ ჯგუფს მიეკუთვნება თანამედროვე ინსექტიციდები, რომელიც ერთი თვეში იშლება როგორც ნიადაგში, ისე წყალში.

კარბამატები - რთული მეტაკარბამინული მჟავებია.

მცენარეთა სოკოვანი დაავადებების წინააღმდეგ საბრძოლველად ადრე იყენებდნენ სპილენძის მარილებს და გოგირდის ზოგიერთ მინერალურ შენაერთს. შემდეგ ფართოდ გამოიყენებოდა ვერცხლისწყლის ორგანული ნივთიერებები, როგორიცაა მაგალითად, ქლორირებული მეთილვერცხლისწყალი, რომელიც მაღალი ტოქსიკურობის გამო შეიცვალა სხვა ფუნგიციდებით.

პერბიციდებს შორის ყველაზე ძლიერი არის პიხლორამი. ზოგიერთი სახეობის მცენარის გასანადგურებლად 1 ჰექტარზე საკმარისია 0,06 კგ პიხლორამი.

1960-70-იან წლებში ვიეტნამის ომის დროს ამერიკის შეერთებულმა შტატებმა გამოიყენა პერბიციდები სანაპიროზე მცენარეულობის მოსასპობად. ეს პერბიციდები მოხვდა წყალში და გამოიწვია შემოგარენი ოკეანისა და მისი მობინადრეების მოწამელა.

ოკეანის წყლებში მდგრადი პესტიციდების არსებობისას პლანქტონი შთანთქავს მათ, შემდგომ უფრო დიდი ორგანიზმები იკვებებიან ფიტოპლანქტონით. კვების ჯაჭვის ბოლოს მყოფ ორგანიზმებში გროვდება დღტ-ს და სხვა პესტიციდების მაღალი კონცენტრაცია. ზღვის მტაცებელ ფრინველებში არის აღმოჩენილი პესტიციდების ყველაზე მაღალი კონცენტრაცია. ფრინველებში პესტიციდების დაგროვება იწვევს კალციუმის წარმოშობი სასიცოცხლო მნიშვნელობის ფერმენტების მოქმედების შესუსტებას. ასე დაავადებული ფრინველის კვერცხები ადვილად იმსხერვეა. თევზებში პესტიციდების მაღალი კონცენტრაცია იწვევს გარემოსთან სითბური წონასწორობის დარღვევას, გახშირებულ სუნთქვას, დაავადების მიმართ წინააღმდეგობის შესუსტებას, გამრავლების შემცირებას, ავთვისებიან სიმსივნეს და სიკვდილიანობას. ადამიანი კვების ჯაჭვის ბოლო რგოლია, ამიტომ დამაბინძურებლები ასევე დრამატულად მოქმედებენ ადამიანის ჯანმრთელობაზე, განსაკუთრებით ბავშვებზე. გერმანელ მეცნიერთა გამოკვლევის თანახმად, ეს დამაბინ-



ძურებელი ნივთიერებები გროვდება მეტუხური ქალების რძეში. დღტ ასევე ძლიერ ზემოქმედებს შემკვიდრობითობაზე.

1948 წელს შვეიცარიელმა მკვლევარმა პაულ მიულერმა მიიღო ნობელის პრემია აღმოჩენაში. მან სოფლის მეურნეობაში დღტ-ს, როგორც პესტიციდის, გამოყენების შესაძლებლობა წამოაყენა. მას შემდეგ მსოფლიოში ფართოდ გამოიყენებოდა აღნიშნული პესტიციდი. მაგრამ მრავალი წლის დაკვირვების შემდეგ დადგინდა, რომ დღტ მავნებელია ცხოველებისა და ადამიანისათვის.

1970 წლიდან საერთაშორისო შეთანხმების საფუძველზე პქბების წარმოება მკვეთრად შემცირდა. ასევე დღტ-ეს წარმოებაც აკრძალულია ბევრ ქვეყანაში. მიუხედავად ამისა, ის ფართოდ გამოიყენება ტროპიკულ განედებში კოლოებთან საბრძოლველად.

### 1.5. სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები (სზან)

დეტერგენტები (სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები) მიეკუთვნება ნივთიერებების ჯგუფს, რომლებიც ამცირებენ წყლის ზედაპირულ დაჭიმულობას. ისინი ფართოდ გამოიყენებად სინთეზურ საყოფაცხოვრობო სარეცხი საშუალებების შემადგენლობაში შედის. სინთეზური სარეცხი საშუალებები შეიცავს ნატრიუმის ტრიპოლიფოსფატებს, რომლებშიც გაზავებულია დეტერგენტები, ასევე წყლის ორგანიზმებისათვის მთელი რიგი ტოქსიკური ინგრედიენტები: არომატიზებული ნივთიერებები, გამათეთრებელი რეაგენტები (პერსულფატი, პერბორატი), კალცირებული სოდა, ნატრიუმის სილიკატები და სხვა. წყლის აუზისთვის საშიში ნივთიერების, ნატრიუმის ტრიპოლიფოსფატის (ნტფ) შემცველობა სარეცხ ფხვნილში 15-40 %-მდე მერყეობს. რეცხვისას ის არბილებს წყალს და აუბჯობესებს ფხვნილის რეცხვის ხარისხს და ოსტატურად გადის ყველა, თუნდაც უახლესი ტექნოლოგიებით აღჭურვილ, გამწმენდ სისტემებს. შემდეგ, წყლის ობიექტში მოხვედრისას, მოქმედებს, როგორც ყველაზე აქტიური სასუქი, რის შედეგადაც წყალმცენარეების რაოდენობა წყალსაცავებში იზრდება არა დღეებით, არამედ საათობით. ერთი გრამი ნტფ ასტიმულირებს 5-10 კგ. წყალმცენარის წარმოშობას.

ჰიდროფილური ნაწილის ბუნებისა და სტრუქტურის თვალსაზრისით სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების მოლეკულა იყოფა ანიონაქტიურ, კატიონაქტიურ, ამფოტერულ და არაიონოგენურ ნივთიერებად, ეს უკანასკნელნი არ წარმოქმნიან წყალში იონებს. ყველაზე მეტად გავრცელებულია ანიონაქტიური ნივთიერებები. ისინი შეადგენენ მსოფლიოში წარმოებული სინთეზური, ზედაპირული აქტიური ნივთიერებების 50%-ზე მეტს. ნეიონოგენური სხანები უფრო მეტად ტოქსიკურია, ვიდრე ანიონაქტიური.

სინთეზური ნივთიერებები ფართოდ გამოიყენება მრეწველობაში წიაღისეულის ფლოტაციური გამდიდრებისას, ქიმიური ტექნოლოგიის პროდუქტების დაშლისას, პოლიმერების მიღებისას, ნავთობის და გაზის ჭაბურღილების გაბურღვის პირობების გასაუმჯობესებლად და სხვა. სწორედ ამ გზით ეს ნივთიერებები ხვდება ჩამონადენ წყლებში.

სოფლის მეურნეობაში სინთეზური ნივთიერებები გამოიყენება პესტიციდების შემადგენლობაში. სხანების საშუალებით ემულგირებას უკეთებენ თხევად და ფხვნილისებრ ტოქსიკურ ნივთიერებებს, რომლებიც წყალში არ იხსნება, მაგრამ იხსნება ორგანულ გამხსნელ სითხეებში. უმეტეს სხანებას თვითონ გააჩნია ინსექტიციდური და ჰერბიციდული თვისება.

## 1.6. კანცეროგენური თვისებების მქონე ნაერთები

კანცეროგენური ნივთიერებები — ეს არის ქიმიურად ერთგვაროვანი შენაერთები, რომლებიც ავლენენ ტრანსფორმაციულ აქტივობას და გააჩნიათ უნარი გამოიწვიონ ცოცხალ ორგანიზმში კანცეროგენური, ტერატოგენური (ემბრიონალური განვითარების პროცესების დარღვევა) ან მუტაგენური ცვლილებები.

ზემოქმედების პირობებზე დამოკიდებულებით, ამ ნივთიერებებმა შესაძლოა გამოიწვიონ ზრდის ინჰიბირება, ნაადრევი სიბერე, ინდივიდუალური განვითარების დარღვევა და ორგანიზმის გენოფონდის ცვლილება.

კანცეროგენური თვისებების მქონე ნივთიერებებს მიეკუთვნება: ქლოლირებული ალიფატური ნახშირწყალბადი, ვინილქლორიდი და,

განსაკუთრებით, პოლიციკლური არომატული ნახშირწყალბადები (პან). პან-ის მაქსიმალური რაოდენობა თანამედროვე მონაცემებით აღმოჩენილია მსოფლიო ოკეანეში ტექტონიკურად აქტიურ ზონებში, რომლებიც განიცდის სიღრმიდან თერმულ ზემოქმედებას. პან-ის ძირითადი ანტროპოგენური წყარო არის სხვადასხვა მასალის, მერქნის და საწვავის დაწვისას ორგანულ ნივთიერებათა პიროლიზი.

## 1.7. მძიმე მეტალები

მძიმე მეტალები – ვერცხლისწყალი, ტყვია, კადმიუმი, თუთია, სპილენძი, დარიშხანი და სხვ. გავრცელებული და მეტად საშიში დამაბინძურებელი ნივთიერებებია. ისინი ფართოდ გამოიყენება მრეწველობაში, მაგრამ, გამწმენდი დანადგარების მიუხედავად მათი შემცველობა სამრეწველო ჩამონადენ წყლებში ძალზე მაღალია. ამავე შენაერთების დიდი რაოდენობა ხვდება ოკეანეში ატმოსფეროდან. ზოგიერთი მეტალის გეოქიმიური და სამრეწველო ნაკადები წარმოდგენილია ცხრილში 1.4.

ზღვის ბიოცენოზებისათვის განსაკუთრებით საშიში ელემენტებია ვერცხლისწყალი, ტყვია და კადმიუმი.

მეორე მხრივ, მძიმე მეტალებს მნიშვნელოვანი როლი აკისრიათ ცოცხალი ორგანიზმების ცხოველმყოფელობაში.

ვერცხლისწყალი ოკეანეში ხვდება კონტინენტურ ჩამონადენთან ერთად და ატმოსფეროდან. დანალექი და ვულკანური ქანების გამოფიტვის შედეგად ყოველწლიურად გამოიყოფა 3,5 ათასი ტ. ვერცხლისწყალი. ატმოსფერული მტვერი შეიცავს 12 ათას ტ. ვერცხლისწყალს, რომლის დიდი ნაწილი ანტროპოგენური წარმოშობისაა. ვულკანების ამოფრქვევის შედეგად ატმოსფერულ ნალექებთან ერთად ოკეანეში ხვდება ყოველწლიურად 50 ათას ტონამდე ვერცხლისწყალი. სასარგებლო წიაღისეულის წვის შედეგად მსოფლიო ოკეანე ღებულობს 2 ათას ტონა ვერცხლისწყალს ყოველწლიურად.

1956 წელს მინიშანტაში (კუსუს კუნძული, იაპონია) დაუდგენელი დაავადების ეპიდემია დაფიქსირდა. მოსახლეობას აღენიშნებოდა სმენის დაქვეითება, მხედველობის, მეტყველების გაუარე-

სება და გონების დაკარგვა. მოძრაობები არაბუნებრივი გაუხდათ, აკანკალებდათ. რამდენიმე ათასი ადამიანი დაავადდა და 43 ფატალური შემთხვევა დარეგისტრირდა. გამოკვლევების შემდეგ დადგინდა, რომ ამის გამომწვევი მიზეზი იყო სანაპიროზე მდებარე ქიმიური ქარხანა, საიდანაც არასაკმარისად გაწმენდილი ჩამდინარე წყლებით ქლორვილინისა და აცეტალდეჰიდის წარმოების შედეგად მიღებული ნარჩენები (კატალიზატორისთვის გამოიყენებოდა ვერცხლისწყლის ქლორიდი) ხვდებოდა მინიმანტის ყურეში. ვერცხლისწყლის მარილები თავისთავად შხამიანია, ზოლო სპეციფიკური მიკროორგანიზმების გავლენით ისინი გარდაიქმნება განსაკუთრებით მომწამლავ მეთილვერცხლისწყლად, რომელიც კონცენტრირდება თევზების ქსოვილებში, სწორედ ამ თევზებით მოიწამლა მოსახლეობა.

ტყვიას შეიცავს გარემოს ყველა კომპონენტი: მთის ქანები, ნიადაგი, ბუნებრივი წყლები, ატმოსფერო, ცოცხალი ორგანიზმები. ტყვია აქტიურად განიბნევა გარემოში ადამიანის სამეურნეო მოღვაწეობის შედეგადაც. მრეწველობის განვითარებამდე ტყვია ოკეანეში მხოლოდ ბუნებრივი გზებით ხვდებოდა. 1940 წელს ავტომობილის ბენზინში ტეტრაეთილტყვიის ანტიდეტონატორის სახით გამოყენება დაიწყო, რის გამოც დედამიწის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში, ყოველწლიურად ატმოსფეროში ავტომობილის მიერ გამონაბოლქ გაზებთან ერთად, დაახლოებით 350 ათასი ტონა ტყვია ხვდება. კონტინენტურ მტვერთან ერთად მსოფლიო ოკეანე ყოველწლიურად ღებულობს  $(20-30) 10^3$  ტ. ტყვიას, ატმოსფერული ნალექებიდან  $(400-2500) 10^3$  ტ-ს, ზოლო ინდუსტრიულ და საყოფაცხოვრებო ნარჩენებთან ერთად გარემოში ხვდება  $(100-400) 10^3$  ტ. ტყვია. ყოველწლიურად მდინარეთა ჩამონადენით და ატმოსფეროდან ოკეანეში ხვდება დაახლოებით  $(1,7-8,6) 10^3$  ტ. კადმიუმი.

გემები სანაპირო წყლებს აბინძურებენ მძიმე მეტალებით. განსაკუთრებით დაბინძურებულია პორტები, რაც გამოწვეულია გემის კორპუსის ტოქსიკური საღებავებით შეღებვით (იხ. დანართი, სურათი 11). დიდი ხანი არაა, რაც ვერცხლისწყალს, დარიშხანს, დდტს, პქ-ებს იყენებენ საღებავებში. ასევე საღებავები შეიცავს სპილენძს, ტყვიას, თუთიას, ქრომს, კადმიუმს.

ცხრილი 1.4.

ზოგიერთი მიკროელემენტის გეოქიმიური და სამრეწველო ნაკადი (გერლახი, 1985)

| წყარო                                                                                                                                                  | განზომილება                | ქიმიური ელემენტები |                      |                  |       |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------|----------------------|------------------|-------|-------|
|                                                                                                                                                        |                            | Pb                 | Hg                   | Cd               | Cu    | Sb    |
| დედამიწის ქერქი<br>ოკეანის წყალი<br>მთლიანად მსოფლიო ოკეანეში<br>ეროზიის წვლილი<br>სათბობის წვის წვლილი<br>სამთიანეთებში ბრეწველობა<br>წლიური მოპოვება | მგ/კგ                      | 15                 | 0,06                 | 0,2              | 45    | 0,2   |
|                                                                                                                                                        | მკგ/ლ                      | 0,002              | 0,00                 | 0,1              | 2     | 0,3   |
|                                                                                                                                                        | 10 <sup>6</sup> ტ          | 2,8                | 7                    | 140              | 2800  | 420   |
|                                                                                                                                                        | 10 <sup>3</sup> ტ/წელიწადი | 150                | 10                   | 0,5              | ?     | 1,3   |
|                                                                                                                                                        | 10 <sup>3</sup> ტ/წელიწადი | 34                 | 3,5                  | 0,2              | ?     | ?     |
|                                                                                                                                                        | 10 <sup>3</sup> ტ/წელიწადი | 3500               | 2,0                  | 15,0             | 70    | 70    |
| დედამიწის ქერქი<br>ოკეანის წყალი<br>მთლიანად მსოფლიო ოკეანეში<br>ეროზიის წვლილი<br>სათბობის წვის წვლილი<br>სამთიანეთებში ბრეწველობა<br>წლიური მოპოვება | % მსოფლიო ოკეანეში         | 125                | 9,0                  | 0,01             | 0,015 | 0,015 |
|                                                                                                                                                        | არსებული შეზღუდვებიდან     | Cr                 | Se                   | As               | Cu    | Zn    |
|                                                                                                                                                        | მგ/კგ                      | ?                  | 0,09                 | 2                | 45    | 40    |
|                                                                                                                                                        | მკგ/ლ                      | 0,3                | 0,5                  | 2                | 2     | 3     |
|                                                                                                                                                        | 10 <sup>6</sup> ტ          | 420                | 700                  | 2800             | 2800  | 4200  |
|                                                                                                                                                        | 10 <sup>3</sup> ტ/წელიწადი | 236                | 7,2                  | 72               | 325   | 720   |
| სამთიანეთებში ბრეწველობა<br>წლიური მოპოვება                                                                                                            | 10 <sup>3</sup> ტ/წელიწადი | 1,5                | 1,1                  | 8,2              | 2,1   | 37    |
|                                                                                                                                                        | % მსოფლიო ოკეანეში         | 3000               | 1,2                  | 30               | 7500  | 5000  |
|                                                                                                                                                        | არსებული შეზღუდვებიდან     | 0,7                | 2 · 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-4</sup> | 0,3   | 0,1   |

სამხრეთ კალიფორნიის სანაპიროს გასწვრივ ყოველწლიურად 37 500-ზე მეტი გემის ფსკერი იღებება. ამ საღებავის ერთი ლიტრი შეიცავს 600 გრამ სპილენძს. შედეგად ყოველწლიურად 180 ტ. სპილენძი ხვდება ზღვის გარემოში მარტო ამ წყაროდან. ლოს-ანჯელესის მუნიციპალური დრენაჟით ოკეანეში ჩაედინება 150 ტ. სპილენძი.

მოლუსკებში სპილენძის გაზრდილი კონცენტრაცია ამ საღებავების გამოყენების შედეგია. მართლაც, იმ ყურეებში, სადაც კონცენტრირებულია ყველა სახეობის გემი, მოლუსკებში სპილენძის კონცენტრაცია რამდენჯერმე აღემატება იმ მოლუსკებში სპილენძის კონცენტრაციას, რომლებიც დაჭერილია პორტებიდან მოშორებით (იხ. დანართი, სურათი 12).

რეალურ პირობებში ბუნებრივი ეკოსისტემების დაბინძურება რამდენიმე ტოქსიკური ნივთიერებით ერთდროულად ხდება. ამასთან, ხშირად აღინიშნება სინერგიზმის ეფექტი, როცა ერთდროული ტოქსიკური ეფექტი აღემატება ცალკეული ნივთიერების ანალოგიურ ზემოქმედებას. მაგალითად, ნავთობისა და დღტ-ს ერთდროული მოქმედებისას ეფექტი რამდენჯერმე აღემატება მათ ცალ-ცალკე მოქმედების ეფექტს.

მეტალები, განსაკუთრებით ვერცხლისწყალი, დეტერგენტებთან ქმნის კომპლექსურ შენაერთებს, რომელთა დეგრადაციის დროს წარმოიშობა გაცილებით უფრო ტოქსიკური ნივთიერებები, ვიდრე თავდაპირველი ნივთიერებებია.

## 1.8. ნარჩენების ჩაშვება ზღვაში დამარხვის მიზნით (დამპინგი)

ბევრი ქვეყანა, რომელსაც გასასვლელი აქვს ზღვაზე, აწარმოებს მასში სხვადასხვა მასალების და ნივთიერებების დამარხვას. მათ მიეკუთვნება მრეწველობის ნარჩენები, სამშენებლო მასალა, მყარი ნარჩენები, ფეტქებადი და ქიმიური ნივთიერებები, რადიოაქტიური ნარჩენები და ა.შ. მათი საერთო მოცულობა შეადგენს მსოფლიო ოკეანეში მოხვედრილი დამაბინძურებელი ნივთიერებების დაახლოებით 10%-ს.

ზღვის გარემოს აქვს უნარი, წყლის ხარისხის უმნიშვნელო გაუარესების პირობებში მოახდინოს მასში ჩაშვებული დიდი რაოდენობის ორგანული და არაორგანული ნივთიერებების გადამუშავება. მაგრამ ეს უნარი უსაზღვრო არ არის. ამიტომ ნარჩენების დამარხვა ზღვაში განიხილება, როგორც იძულებითი საშუალება. აქედან გამომდინარე, აღნიშნული პროცესი მოითხოვს კონტროლსა და სათანადო რეგულირებას.

საყოფაცხოვრებო ნაგავი შეიცავს საშუალოდ 32-40% ორგანულ ნივთიერებას, 0,56% აზოტის, 0,44% ფოსფორის ნაერთებს, აგრეთვე თუთიას, ტყვიას, კადმიუმს, ვერცხლისწყალს. კომუნალური ჩაშენადენი გამწმენდი ნაგებობებიდან შეიცავს 3%-მდე აზოტის შემცველ ნაერთებს, 4%-მდე ფოსფატებს, 9-13% ცხიმებს, 7-10% ნახშირბადებს და მძიმე მეტალებს.

ნარჩენების ზღვაში ჩაშვებისას იცვლება წყლის ხარისხი, იზრდება სიმღვრიე, ჟანგბადის მოხმარება, გროვდება მეტალები და წარმოიქმნება გოგირდწყალბადი. ყოველივე ეს უარყოფით გავლენას ახდენს ცოცხალ ორგანიზმებზე. ამასთან დაკავშირებით, 1972 წელს ლონდონში მიღებულ იქნა ზღვის დაბინძურებისაგან დაცვის სპეციალური კონვენცია, რომლის ძირითადი მოთხოვნებია:

1. ჩასაშვები მასალების თვისებების, რაოდენობის, მდგომარეობის, ტოქსიკურობის და მდგრადობის შეფასება.
2. ნარჩენების შესაძლო ნეიტრალიზება და რეუტილიზაცია.
3. ნარჩენების ჩაშვების რაიონების შერჩევა ჰიდროლოგიური და ჰიდროფიზიკური პირობების გათვალისწინებით, დასვენების ზონებიდან და ზღვის სამეურნეო გამოყენების რაიონებიდან დაშორებით.

## 1.9. ტექნოგენური რადიონუკლიდები

ნებისმიერი ნივთიერება, მათ შორის ცოცხალი ორგანიზმები, შედგება ატომებისაგან, ხოლო ატომი შედგება ბირთვისა და მის გარშემო მოძრავი უარყოფითი მუხტის მქონე ელექტრონებისაგან. ბირთვი შედგება დადებითი მუხტის მქონე პროტონებისა და ნეიტრონებისაგან. ნეიტრონს მუხტი საერთოდ არა აქვს. ამრიგად,

ყოველი ნივთიერების ატომი შედგება სამი ტიპის ელემენტარული ნაწილაკისაგან: პროტონების, ნეიტრონების და ელექტრონებისგან.

პროტონის და ნეიტრონის მასა თითქმის ერთნაირია, ხოლო ელექტრონის მასა დაახლოებით 2000-ჯერ ნაკლებია. ამრიგად, ატომის თითქმის მთელი მასა მის ბირთვშია თავმოყრილი, მაგრამ ზომებით ბირთვი გაცილებით უფრო მცირეა, ვიდრე ატომი – დაახლოებით 100 ათასჯერ. თუ ატომს ფეხბურთის სტადიონის ტოლად წარმოვიდგენთ, მაშინ ბირთვი უნდა იყოს ალუბლის კურკისოდენა.

ყოველი ქიმიური ელემენტის ბირთვს აღნიშნავენ მისი ლათინური სახელწოდების პირველი ერთი ან ორი ასოთი. მაგალითად, აზოტის ბირთვს აღნიშნავენ  $^{14}_7\text{N}$ , ნატრიუმისას –  $^{23}_{11}\text{Na}$ . ქვევით მარცხნივ უწერენ პერიოდულ სისტემაში ელემენტის რიგით ნომერს  $Z$  (აზოტისთვის  $Z=7$ , ნატრიუმისთვის  $Z=11$ ), რომელიც ემთხვევა ბირთვში პროტონების რიცხვს, ე.ი. ელექტრონების რაოდენობას ნეიტრალურ ატომში. ზევით მარცხნივ მიუთითებენ ე.წ. ნუკლონების რიცხვს  $A$  (ჩვენს მაგალითებში, შესაბამისად,  $A=14$  და  $A=23$ ), რაც წარმოადგენს ბირთვში პროტონებისა და ნეიტრონების საერთო რაოდენობას. პროტონის და ნეიტრონის მასები თითქმის ზუსტად ტოლია 1 ნ.ე.<sup>1</sup> ამიტომ, თუ ატომის მასას გამოვსახავთ ნახშირბად-ერთეულებით, მაშინ ნუკლონების რიცხვი დაემთხვევა ატომის მასის უახლოეს მთელ რიცხვს. ამიტომ ნუკლონების რიცხვს  $A$  ხშირად უწოდებენ ატომის მასურ რიცხვს.

წყალბადი, რომლის ბირთვი ერთი პროტონისგან შედგება და პერიოდულ სისტემაში პირველი ადგილი უკავია, აღინიშნება  $^1_1\text{H}$ . შესაბამისად, მეორე ადგილზე მდგარი ჰელიუმი – მის ბირთვში ორი პროტონია და ორი ნეიტრონი – აღინიშნება  $^4_2\text{He}$ . ურანი, რომლის ბირთვში 92 პროტონია, დგას 92-ე ადგილზე. ამრიგად, ელემენტის რიგითი ნომერი გვიჩვენებს, რამდენი პროტონია მის ბირთვში. თუ რაიმე გზით შევცვლით ბირთვში შემავალი პროტონების რაოდენობას, მივიღებთ სხვა ქიმიურ ელემენტს, ე.ი. ელემენტის ქიმიურ ბუნებას განსაზღვრავს ბირთვში პროტონების

---

<sup>1</sup> 1 ნ.ე. (ნახშირბად-ერთეული, ანუ მასის ატომური ერთეული) =  $1/12$  ნახშირბადის ატომის მასისა.



რაოდენობა, რომელიც, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ემთხვევა ელექტრონების რაოდენობას ნეიტრალურ ატომში.

ელემენტთა უმრავლესობას გააჩნია სტაბილური იზოტოპები. იზოტოპები ეწოდება ერთი და იგივე ქიმიური ელემენტის ატომებს, რომლებიც განსხვავდება მასური რიცხვით, ე.ი. იზოტოპების ბირთვებში პროტონების რაოდენობა ერთი და იგივეა, მაგრამ ნეიტრონების რაოდენობა სხვადასხვაა. ყველაზე მეტი – 10 სტაბილური იზოტოპი გააჩნია კალას. წყალბადს აქვს ორი სტაბილური იზოტოპი:  ${}^1_1\text{H}$  და  ${}^2_1\text{H}$  და ა.შ.

ზოგიერთი ქიმიური ელემენტი რადიოაქტიურია. მათი ბირთვები გამოტყორცნის სწრაფ ნაწილაკებს – სწორედ ესაა რადიოაქტიური გამოსხივება – და, როგორც წესი, სხვა ელემენტების ბირთვებად გარდაიქმნება. ამ პროცესს უწოდებენ ნივთიერების რადიოაქტიურ დაშლას. რადიოაქტიური დაშლისას თავდაპირველი ნივთიერების მასა (ატომების რაოდენობა) დროთა განმავლობაში მცირდება. დროს, რომლის განმავლობაშიც რადიოაქტიური ნივთიერების ყოველი ორი ატომიდან დაიშლება ერთი, ეწოდება ამ ნივთიერების ნახევრად დაშლის პერიოდი. სხვადასხვა რადიოაქტიურ ნივთიერებას ნახევრად დაშლის ძალზე განსხვავებული პერიოდები აქვს, დაწყებული წამის მეათასედებიდან, რამდენიმე მილიარდ წლამდე.

აღმოჩნდა, რომ ბირთვიდან შეიძლება გამოიტყორცნოს სხვადასხვა ბუნების ნაწილაკები. განასხვავებენ  $\alpha$ ,  $\beta$  და  $\gamma$  გამოსხივებას და სხვ.  $\alpha$ -გამოსხივებისას ბირთვიდან გამოიტყორცნება  $\alpha$  ნაწილაკები, რომლებიც არის ჰელიუმის ატომის ბირთვები ( ${}^4_2\text{He}$ ). ამის შედეგად ბირთვის მუხტი ორი ერთეულით მცირდება და მიიღება პერიოდულ სისტემაში ორი უჯრედით მარცხნივ მდებარე ახალი ქიმიური ელემენტი, რომლის მასური რიცხვი 4 ერთეულით ნაკლებია თავდაპირველი ქიმიური ელემენტის მასურ რიცხვზე.

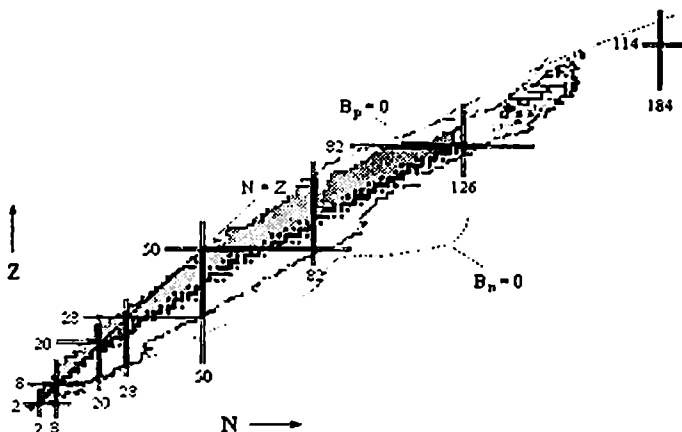
$\beta$  დაშლა სამი სახისაა: 1) ელექტრონული, ანუ  $\beta^-$  დაშლა, რომლის დროსაც ბირთვიდან გამოიტყორცნება ელექტრონი და ელექტრონული ანტი-ნეიტრინო. ამ დროს ბირთვის მუხტი და რიგითი ნომერი  $Z$  იზრდება ერთი ერთეულით. შესაბამისად, ჩნდება პერიოდულ სისტემაში ერთი უჯრედით მარჯვნივ მდგომი ქიმიური ელემენტი. 2)  $\beta^+$  დაშლისას ბირთვიდან გამოიტყორცნება

დადებითი მუხტის მქონე პოზიტრონი (ანუ ანტი-ელექტრონი) და ელექტრონული ნეიტრინო, ბირთვის მუხტი და, შესაბამისად, რიგითი ნომერი  $Z$  მცირდება ერთი ერთეულით და ქიმიური ელემენტი პერიოდულ სისტემაში გადაადგილდება ერთი უჯრედით მარცხნივ. 3) ელექტრონის ჩაჭერა ბირთვი მიიტაცებს ერთ ელექტრონს ატომის ელექტრონული გარსიდან.  $\beta^-$  დაშლის მსგავსად, ამ დროსაც მუხტი და რიგითი ნომერი  $Z$  ერთით მცირდება.  $\beta^-$  დაშლისას მასური რიცხვი  $A$  არ იცვლება, რადგან არ იცვლება ნუკლონების რაოდენობა ბირთვში, ხდება მხოლოდ ერთი ნეიტრონის გარდაქმნა პროტონად ( $\beta^-$  დაშლისას), ან პირიქით, პროტონის გარდაქმნა ნეიტრონად.

$\gamma$  გამოსხივება ელექტრომაგნიტური გამოსხივებაა, რომელიც წარმოიშობა ატომის ბირთვის აღგზნებული მდგომარეობიდან უფრო ნაკლები ენერგიის მდგომარეობაში გადასვლისას. ამ დროს ბირთვში არც პროტონების და არც ნეიტრონების რაოდენობა არ იცვლება.

პროტონების რიცხვი ცალსახად განსაზღვრავს ელემენტის ქიმიურ ბუნებას. მაგალითად, ოქროს ატომის ბირთვი შეიცავს ზუსტად 79 პროტონს, არც მეტს და არც ნაკლებს. ნეიტრონების რაოდენობის შეცვლა კი ელემენტის ქიმიურ ბუნებას არ ცვლის, მაგრამ ასეთი ბირთვები აღარ იქნება მდგრადი – სტაბილური. ცნობილია, რომ ატომის ბირთვი მხოლოდ მაშინ არის მდგრადი, როდესაც ნეიტრონების რაოდენობის ფარდობა პროტონების რაოდენობასთან აკმაყოფილებს გარკვეულ პირობებს, კერძოდ არის ისეთი, როგორიც ბუნებაში არსებულ სტაბილურ ბირთვებშია. თუ ეს თანაფარდობა არ არის დაცული, მაშინ ბირთვი არამდგრადია. სწორედ ასეთი ბირთვებია რადიოაქტიური. ამ ბირთვების დაშლის პროცესი გრძელდება მანამდე, ვიდრე თანაფარდობა პროტონებსა და ნეიტრონებს შორის არ გახდება რომელიმე ბუნებრივი სტაბილური იზოტოპის შესაბამისი. მხოლოდ მაშინ შეწყდება გარდაქმნის – რადიოაქტიური დაშლის პროცესი.

ნახაზზე 1.11 ვიწრო დაშტრიხული ზოლით ნაჩვენებია  $\beta^-$  დაშლის მიმართ სტაბილური ბირთვების „ბილიკი“, ასევე  $\beta^-$  და  $\beta^+$  რადიოაქტიური ბირთვების საზღვრები და ჯერჯერობით უცნობი ბირთვების არე. ამ არის ზემოთ და ქვემოთ განლაგებული ბირთვები არასტაბილურია.



ნახ. 1.11.  $Z$  - პროტონების რიცხვი,  $N=A-Z$  ნეიტრონების რიცხვი

რადიოაქტიური ბირთვებიდან გამოტყორცნილი ნაწილაკები ძალიან დიდი სიჩქარით მოძრაობს. მაგალითად,  $\alpha$  ნაწილაკის სიჩქარე აღწევს 20-40 ათას კმ/წმ. ხოლო  $\beta$  ნაწილაკისა - 200-250 ათას კმ/წმ.  $\gamma$ -გამოსხივების სიჩქარე სინათლის სიჩქარეს უტოლდება - 300 ათასი კმ/წმ. შედარებისათვის, ტყვია 1 კმ/წმ სიჩქარით მოძრაობს. ხოლო მთვარისკენ მიმავალი რაკეტა - 10 კმ/წმ სიჩქარით. დიდი სიჩქარით მოძრავ ნაწილაკებს დიდი კინეტიკური ენერგია აქვს და ნებისმიერ ატომთან შეჯახებისას შეუძლია დაამსხვრიოს ის - ამოავდოს ატომის ბირთვი ელექტრონული გარსიდან, რასაც იონების წარმოქმნა მოჰყვება, ან, სულაც, გახლიჩოს ატომის ბირთვი და ახალი ქიმიური ელემენტები წარმოქმნას. ასეთი სწრაფად მოძრავი ნაწილაკები განსაკუთრებით სახიფათოა ცოცხალი ორგანიზმებისათვის, რომლებისათვისაც წარმოქმნილი იონები და ახალი ქიმიური ელემენტები, როგორც წესი, მავნებელია. ამრიგად, რადიოაქტიული ნივთიერება საშიშია იმ კინეტიკური ენერგიით, რომელსაც  $\alpha$  და  $\beta$  გამოსხივება იძენს ატომის ბირთვიდან

გამოტყორცნის მომენტში. ამ გამოსხივებისაგან თავის დასაცავად საჭიროა დავაკარგვინოთ მას ენერგია ორგანიზმში მოხვედრამდე.

ტყვია საშიშია იმიტომ, რომ ის დიდი ენერგიით გამოიტყორცნება თოფიდან. თავის დასაცავად სამხედროები იცვამენ ჯავშანჟილეტებს და იხურავენ ფოლადის ჩაფხუტებს, რომლებიც ტყვიის ენერგიას ამცირებს ორგანიზმთან შეხებამდე. ბირთვული გამოსხივებისაგან დაცვის მეთოდებიც მსგავს პრინციპებს ემყარება. ჩვეულებრივ, რადიოაქტიურ ნივთიერებებს ათავსებენ ტყვიის კონტეინერში, ბეტონის სარკოფაგებში (იხ. ნახ. 1.12, 1.13) ან ღრმა შახტებში მიწის ქვეშ, საიდანაც რადიოაქტიური გამოსხივება ვეღარ გამოაღწევს.

გარე დასხივებისგან განსხვავებით, თუ რადიონუკლიდები ორგანიზმში მოხვდა საკვებთან, წყალთან ან ჰაერთან ერთად, მაშინ მათგან არავითარი დაცვა არ არსებობს. ამ დროს გამოსხივებული ნაწილაკების მთელი ენერგია იხარჯება ატომების აღზნებაზე და იონიზაციაზე, რადგანაც უჯრედის მემბრანა (გარსი) გამჭვირვალეა გამოსხივებისათვის. ასეთ შემთხვევებში ერთადერთი საშუალებაა რადიოაქტიური ნივთიერების სასწრაფო გამოყვანა ორგანიზმიდან. თუ ეს ვერ მოხერხდა, სერიოზული დაავადება გარდუვალია.

ოკეანეს ახსნათებს ბუნებრივი რადიოაქტივობა, რაც განპირობებულია მასში ბუნებრივი რადიოიზოტოპების არსებობით. წყლის ბუნებრივი რადიოაქტივობის 90%-ზე მეტი მოდის კალიუმ  $^{40}\text{K}$ -ზე, რაც შეადგენს  $18,5 \cdot 10^{21} \text{ Bk}^1$ .

1945 წლის შემდეგ ხდება ოკეანის დაბინძურება ტექნოგენური წარმოშობის რადიოაქტიური ნივთიერებებით, უმთავრესად ურანისა და პლუტონიუმის პროდუქტებით, რაც უკავშირდება ბირთვული იარაღის გამოცდებსა და რადიოაქტიური ნუკლიდების სამრეწველო წარმოების განვითარებას. აღსანიშნავია დაბინძურების სამი წყარო: 1) ბირთვული იარაღის გამოცდა; 2) რადიოაქტიური ნარჩენების

---

<sup>1</sup> 1 Bk – ბეკერელი – აქტივობის ერთეული Si სისტემაში ტოლია იზოტოპის ისეთი აქტივობისა, როდესაც ერთეულოვან ღრმში 1 გახლენა ხდება. ადრე ფართოდ გამოიყენებოდა ერთეული – კიური, რომელიც შეესაბამება 1 წმ-ში  $3,7 \cdot 10^{10}$  გახლენას.

ოკეანეში ჩაშვება; 3) ატომური ძრავის მქონე გემების ავარიები, აგრეთვე ავარიები რადიონუკლიდების გადაზიდვებისას.

1948-1962 წწ. პერიოდში მოხდა 450 ბირთვული ბომბის აფეთქება, რის შედეგადაც ატმოსფეროში აღმოჩნდა რადიონუკლიდების დიდი რაოდენობა, მათ შორის ყველაზე საშიში – სტრონციუმ 90 ( $^{90}\text{Sr}$ ) და ცეზიუმ 137 ( $^{137}\text{Cs}$ ), რადგან ამ ნივთიერებების გამოყვანა ორგანიზმიდან განსაკუთრებით რთულია. ატმოსფეროს ცირკულაცია რადიოაქტიურ მტვერს ავრცელებს დიდ ფართობზე და ის ეშვება დედამიწაზე, უმთავრესად ჩ.გ.  $45^\circ$  და ს.გ.  $45^\circ$  ზონაში. ამასთანავე, რადიოაქტიური ნალექების ძირითადი ნაწილი მოდის ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში. ამ რადიონუკლიდების ნახევრად დაშლის პერიოდი 30 წელია და აფეთქების შემდეგ აღინიშნება წყალსა და ზღვის ორგანიზმებში, მაგრამ გლობალურ რადიოაქტიურ დანალექებში თითქმის არ გვხვდება.

უფრო მეტად საშიში რადიონუკლიდია პლუტონიუმ-239 ( $^{239}\text{Pu}$ ), რომლის ნახევრად დაშლის პერიოდი 24 400 წელია. სწორედ ეს ელემენტი ხდება დაბინძურების ძირითადი კომპონენტი იმის შემდეგ, როდესაც  $^{90}\text{Sr}$  და  $^{137}\text{Cs}$  უკვე დაიშლება.

რადიონუკლიდების ცალკე ჯგუფს ქმნის  $^3\text{H}$ ,  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{14}\text{Ce}$ ,  $^{31}\text{Si}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{45}\text{Ca}$ ,  $^{54}\text{Mn}$  და სხვა, რომლებიც წარმოიქმნება ნეიტრონების ურთიერთქმედებით გარემოსთან.

1963 წელს მოსკოვში ხელი მოეწერა ხელშეკრულებას დიდი ბრიტანეთის, ამერიკის შეერთებული შტატების და სსრკ მონაწილეობით მიწისზედა ბირთვული იარაღის გამოცდის აკრძალვის შესახებ, გარემოს რადიოაქტიური დაბინძურების შემცირების მიზნით.

რადიაციული საწვავის გადამუშავების შედეგად ჩნდება მნიშვნელოვანი რაოდენობის რადიოაქტიური ნარჩენები, თხევად, მყარ და გაზისებურ მდგომარეობაში. ამ ნარჩენების გადამუშავება და უსაფრთხოდ შენახვა სპეციალურ საცავებში ძალზე ძვირია, ამიტომ მთელი რიგი ქვეყნები ნარჩენებს პირდაპირ ოკეანეში უშვებს მდინარის ჩამონადენით, ან ბეტონის ბლოკებით ათავსებენ ოკეანის სიღრმეებში. რადიოაქტიური იზოტოპებისათვის – Ar, Xe, Em, T არ არის შემუშავებული მათი კონცენტრაციის საიმედო მეთოდები,

ამიტომ ისინი შეიძლება მოხვდნენ ოკეანეში წვიმის წყალთან და ჩამონადენთან ერთად.

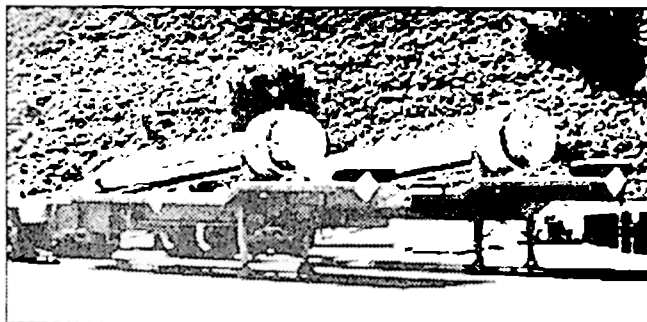
დღესდღეობით ატომური ნარჩენების დასამარხად წყალში 5000-6000 მ სიღრმეზე გამოიყენება ტყვიის კონტეინერები. თუ ეს პროცესი გახდება საყოველთაო, ზღვის ფსკერი დაიფარება ამ სარკოფაგებით; ნებისმიერი ამ კონტეინერის მცირე დაზიანებაც კი გამოიწვევს ოკეანის დაბინძურებას. რაც ნიშნავს, რომ ყველა ცოცხალი ორგანიზმი გახდება მისი მსხვერპლი. კონტეინერების დამარხვას ცდილობენ გეოლოგიური პლასტიკების ღრმა წყლებში, ან მატერიკის ლითოსფეროს შესაბამის გეოლოგიურ ფორმაციაში.

უდიდეს საშიშროებას ეკოსისტემისათვის წარმოადგენს ოკეანეში რადიოაქტიური ნივთიერებების – სტრონციუმ 90, ცეზიუმ 137, პლუტონიუმ 239, პლუტონიუმ 240 – ჩაშვება, რომელთაც შეუძლიათ ორგანიზმების სტრუქტურისა და ფუნქციონირების შეცვლა.  $^{90}\text{Sr}$  ზღვის ორგანიზმებში ტრანსფორმირდება და შემდეგ ხდება ადამიანის ორგანიზმში და გროვდება ძვლებში, დროთა განმავლობაში კალციუმს ენაცვლება და იწვევს სისხლის დაავადებებს, კერძოდ, ლეიკემიას.  $^{137}\text{Cs}$  გროვდება კუნთებში და ენაცვლება კალიუმს. ქსოვილებში დაგროვების შემდეგ ამ ნივთიერებების გამოყვანა ორგანიზმიდან ვეღარ ხერხდება.

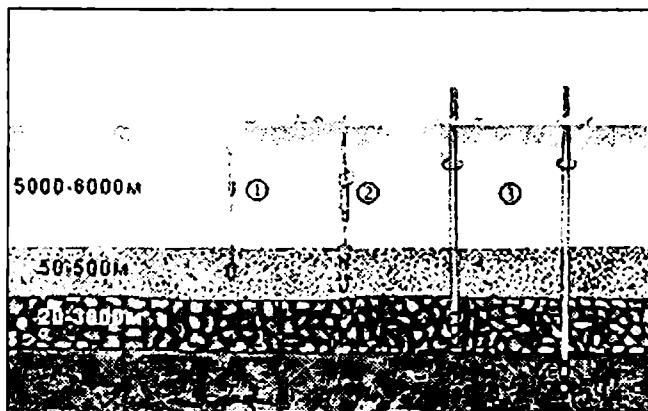
რადიოაქტიური ნივთიერების გამოსხივება იწვევს დასხივებული ორგანიზმის ზრდის შენელებას, იმუნიტეტის და სიცოცხლის ხანგრძლივობის შემცირებას, აზიანებს გენეტიკურ აპარატს, რისი შედეგები მერე ან მესამე თაობაში გამოვლინდება ხოლმე.

დასხივების სიმძიმე დამოკიდებულია ორგანიზმის მიერ შთანთქმული რადიაციის დოზაზე. ამ ენერგიის ერთეულია 1 რადი – ეს დასხივების ისეთი დოზაა, რომლის დროსაც ცოცხალი ორგანიზმის 1 გ იღებს  $10^{-5}$  ჯ ენერგიას.

დადგენილია, რომ 1000 რად-ზე მეტი დოზა ადამიანს კლავს. 700-დან 200 რად-მდე დოზისას სიკვდილიანობა აღინიშნება, შესაბამისად, 90%-დან 10%-მდე შემთხვევაში, 100 რადის დროს ადამიანი გადარჩება, მაგრამ კიბოთი დაავადების საშიშროება მატულობს.



ნახ. 1.12. რადიოაქტიური ნარჩენების კონტეინერი



ნახ. 1.13. ოკეანეში რადიოაქტიური კონტეინერის დამარხვა

1. თავისუფლად ჩაშვებადი კონტეინერი
2. სპეციალური მოწყობილობით ჩაშვება
3. დაბურღული ხვრელები

საშუალოდ ერთ წელიწადში პლანეტის თითოეული მოსახლე ღებულობს 50-200 მილიარდს. ბუნებრივ რადიაციაზე მოდის კოსმოსური სხივები – 25 მრადი, მთის ქანების რადიაცია – დაახლოებით 50-150 მრადი. ასევე აღსანიშნავია ხელოვნურად მიღე-

ბული რადიაცია. მაგალითად, ყოველწლიური რენტგენოსკოპური გამოკვლევისას, ადამიანი ლებულობს დაახლოებით 100 მრადს, ტელევიზორის გამოსხივება იძლევა დაახლოებით 10 მრადს. ადამიანი ადვილად ეგუება ბუნებრივ რადიაციულ ფონს. მაგალითად, ბრაზილიის ერთ-ერთ რაიონში მცხოვრებლები ერთ წელიწადში ლებულობენ დაახლოებით 1600 მრადს, რაც დასხივების ჩვეულებრივ დოზაზე 10-20-ჯერ მეტია.

## ცხრილი 1.5.

*ზღვის წყალში არსებული უმთავრესი რადიოიზოტოპები*

| იზოტოპის დასახელება   |                        | ნახვეარდაშლის პერიოდი    | გამოსხივების სახე |
|-----------------------|------------------------|--------------------------|-------------------|
| ბუნებრივი იზოტოპები   |                        |                          |                   |
| ტრიტიუმი              | $^3_1\text{T}$         | 12,3 წელი                | β                 |
| ნახშირბადი-14         | $^{14}_6\text{C}$      | 5 760 წელი               | β                 |
| კალიუმი-40            | $^{40}_{19}\text{K}$   | $1,3 \cdot 10^9$ წელი    | β                 |
| რუბიდუმი-87           | $^{87}_{37}\text{Rb}$  | $4,7 \cdot 10^{10}$ წელი | β                 |
| პოლონიუმი-210         | $^{210}_{84}\text{Po}$ | 0,38 წელი                | α                 |
| ურანი-234             | $^{234}_{92}\text{U}$  | $2,5 \cdot 10^5$ წელი    | α                 |
| ურანი-235             | $^{235}_{92}\text{U}$  | $7,1 \cdot 10^8$ წელი    | α                 |
| ურანი-238             | $^{238}_{92}\text{U}$  | $4,5 \cdot 10^9$ წელი    | α                 |
| აქტივაციის პროდუქტები |                        |                          |                   |
| ფოსფორი-32            | $^{32}_{15}\text{P}$   | 0,04 წელი                | β                 |
| ქრომი-51              | $^{51}_{24}\text{Cr}$  | 0,08 წელი                | K-γ               |
| მანგანუმი-54          | $^{54}_{25}\text{Mn}$  | 0,86 წელი                | K-γ               |
| რკინა-55              | $^{55}_{26}\text{Fe}$  | 2,7 წელი                 | K*                |
| კობალტი-57            | $^{57}_{27}\text{Co}$  | 0,74 წელი                | K-γ               |
| კობალტი-60            | $^{60}_{27}\text{Co}$  | 5,3 წელი                 | β-γ               |
| თუთია-65              | $^{65}_{80}\text{Zn}$  | 0,67 წელი                | K-β-γ             |
| ვერცხლი-110           | $^{110}_{46}\text{Ag}$ | 0,69 წელი                | β-γ               |
| ცეზიუმი-134           | $^{134}_{55}\text{Cs}$ | 2,1 წელი                 | β-γ               |
| გოგირდი-35            | $^{35}_{16}\text{S}$   | 87,1 დღე-ღამე            | β                 |
| კალციუმი-45           | $^{45}_{20}\text{Ca}$  | 160 დღე-ღამე             | β                 |
| ნატრიუმი-24           | $^{24}_{11}\text{Na}$  | 15 საათი                 | β-γ               |



| ტრანსურანული ელემენტები               |                   |               |                     |
|---------------------------------------|-------------------|---------------|---------------------|
| პლუტონიუმი-238                        | $^{238}\text{Pu}$ | 86 წელი       | $\alpha$            |
| პლუტონიუმი-239                        | $^{238}\text{Pu}$ | 24 400 წელი   | $\alpha$            |
| პლუტონიუმი-240                        | $^{238}\text{Pu}$ | 6 660 წელი    | $\alpha$            |
| პლუტონიუმი-240                        | $^{238}\text{Pu}$ | 13,2 წელი     | $\alpha$            |
| ამერიციუმი-241                        | $^{241}\text{Am}$ | 458 წელი      | $\alpha$ - $\gamma$ |
| ატომურ რეაქტორებში დაყოფის პროდუქტები |                   |               |                     |
| ბარიუმი-140                           | $^{140}\text{Ba}$ | 12,8 დღე-ღამე | $\beta$ - $\gamma$  |
| კრიპტონი-85                           | $^{85}\text{Kr}$  | 10,6 წელი     | $\beta$             |
| სტრონციუმი-89                         | $^{89}\text{Sr}$  | 0,14 წელი     | $\beta$             |
| სტრონციუმი-90                         | $^{90}\text{Sr}$  | 28 წელი       | $\beta$             |
| იტრიუმი-90                            | $^{90}\text{Y}$   | 2,5 დღე-ღამე  | $\beta$             |
| იტრიუმი-91                            | $^{91}\text{Y}$   | 0,16 წელი     | $\beta$             |
| ნიობიუმი-95                           | $^{95}\text{Nb}$  | 0,10 წელი     | $\beta$ - $\gamma$  |
| ციროკონიუმი-95                        | $^{95}\text{Zr}$  | 0,18 წელი     | $\beta$ - $\gamma$  |
| რუთენიუმი-103                         | $^{103}\text{Ru}$ | 0,11 წელი     | $\beta$ - $\gamma$  |
| რუთენიუმი-106                         | $^{106}\text{Ru}$ | 1 წელი        | $\beta$ - $\gamma$  |
| იოდი-131                              | $^{131}\text{I}$  | 7,3 დღე-ღამე  | $\beta$ - $\gamma$  |
| ცეზიუმი-137                           | $^{137}\text{Cs}$ | 30 წელი       | $\beta$             |
| ცერიუმი-144                           | $^{144}\text{Ce}$ | 0,78 წელი     | $\beta$ - $\gamma$  |
| არგონი-41                             | $^{41}\text{Ar}$  | 2 საათი       | $\beta$             |
| ქსენონი-133                           | $^{133}\text{Xe}$ | 5 დღე-ღამე    | $\beta$ - $\gamma$  |

\* K-რენტგენის K გამოსხივება

სხვადასხვა სახის გამოსხივება სხვადასხვა ბიოლოგიურ ზემოქმედებას ახდენს. ალფა ნაწილაკები დაუზიანებელ ქსოვილში აღწევს 0,06 მმ სიღრმემდე, ბეტა გამოსხივება – 20 მმ სიღრმემდე. გამა გამოსხივება მთლიანად განჭოლავს ნებისმიერ ქსოვილს. ზღვის ორგანიზმების რადიოდასხივებას იწვევს ასევე მათ ქსოვილებში ასიმილირებული იზოტოპები. ამიტომ სხვადასხვა სახის ორგანიზმი სხვადასხვაგვარად რეაგირებს რადიაციის ზემოქმედებაზე. რადიოაქტიური გამოსხივება არაკეთილსასურველ გავლენას ახდენს ფიზიოლოგიურ პროცესებზე, ცოცხალი უჯრედების ქრომოსომებსა და გენებზე (მუტაგენური ეფექტი).

რადიონუკლიდების შეთვისება წყლის გარემოდან ჰიდრობიონტების მიერ ხდება საფარი ქსოვილებიდან, ლაყურებიდან, საჭმლის

მომწელებელი ტრაქტიდან, ამასთანავე, მათი ასიმილაცია მიმდინარეობს როგორც პასიურად, ასევე აქტიურად. პასიური გაცვლა უკავშირდება მარილის კონცენტრაციის გათანაბრებას წყალში და ქსოვილში და წარმოადგენს ზედაპირულ აღსორბეციას, რომლის ეფექტურობა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული საფარი ქსოვილის ფართობზე. ამიტომ განსაკუთრებით ინტენსიურად აგროვებენ რადიონუკლიდებს ის ორგანიზმები, რომელთა სხეულს განვითარებული ზედაპირი აქვს. დაგროვების აქტიური პროცესი უკავშირდება ბიოლოგიური მემბრანების უნარს, შთანთქონ რადიონუკლიდები წყლიდან. ზღვის წყალში მაღალი რადიოაქტივობის დროს ჰიდრობიონტებში ჭარბობს რადიონუკლიდების დაგროვების აღსორბეციური გზა, ხოლო გარემოს დაბალი აქტივობის პირობებში ორგანიზმების დაბინძურებაში ძირითადი როლი ენიჭება ტროფიულ კავშირებს – ნუკლიდების გადაცემა კვების ჯაჭვის საშუალებით. პლანქტონური ორგანიზმები რადიონუკლიდებს აგროვებენ გარემოდან ბიოასიმილაციის, აღსორბეციის და ბიოფილტრაციის გზით.

ცხრილში 1.6 მოყვანილია ზღვის ზოგიერთ ორგანიზმში რადიონუკლიდების დაგროვების კოეფიციენტი. ტოქსიკური ნივთიერებების დაგროვების კოეფიციენტი უდრის ცოცხალი არსების ერთეულთან მასაში ტოქსიკური ნივთიერების კონცენტრაციის შეფარდებას გარემომცველი წყლის იგივე მასაში არსებულ კონცენტრაციასთან.

# ცხრილი 1.6.

*ზღვის ორგანიზმებში რადიონუკლიდების დაგროვების კოეფიციენტი (პოლიკარპოვი, 1986)*

| ორგანიზმები           | <sup>90</sup> Sr | <sup>137</sup> Cs | <sup>80</sup> Y | <sup>144</sup> Ce |
|-----------------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| მწვანე წყალმცენარეები | 1-4              | -                 | 630-900         | 340-2400          |
| მოლუსკები (ნიჟარა)    | 10               | 0                 | 250             | 40                |
| მოლუსკები (სხეული)    | 0,9              | 6-12              | 12              | 360               |
| თევზები (ქვირითი)     | 0,8              | -                 | 100-1000        | -                 |

<sup>90</sup>Sr და <sup>137</sup>Cs-ის დაგროვება ჰიდრობიონტებში დამოკიდებულია წყლის მარილიანობასა და ამ რადიონუკლიდების ქიმიური ანალოგების – კალციუმისა და კალიუმის კონცენტრაციაზე. მარილიანო-

ბის შემცირებით ამ რადიონუკლიდების დაგროვების კოეფიციენტი ჩვეულებრივ იზრდება.  $^{90}\text{Sr}$  და  $^{137}\text{Cs}$  კონცენტრაცია იზრდება თევზებში და წყალში ოკეანის სამხრეთი აკვატორიიდან ჩრდილოეთისკენ და მაქსიმალურია ჩრდილოეთი ნახევარსფეროს შიდა მტორეწყლიან ზღვებში.

ჩერნობილის ატომური სადგურის ავარიის შემდეგ 1986 წლის 26 აპრილს, რადიოაქტიური ნაწილაკები მოხვდნენ ატმოსფეროში და გავრცელდნენ ბალტიის, თეთრ და შავ ზღვებში. 1986 წლის ივნისში გერმანელმა, ამერიკელმა და თურქმა მეცნიერმა-ქიმიკოსებმა, გეოლოგებმა მოაწყვეს ექსპედიცია შავ ზღვაში რადიოაქტიური დაბინძურების შესასწავლად. ავარიიდან 1-2 თვის შემდეგ ზღვის ზედაპირზე აღმოაჩინეს რადიოაქტიური ელემენტები, ნახევარდაშლის პერიოდით რამდენიმე დღიდან დაწყებული, რამდენიმე ათას წლამდე.

მიუხედავად იმისა, რომ ტექნოგენური რადიოაქტიურობის ჯამი ოკეანეში არ აღემატება  $5,5 \cdot 10^{19} \text{Bk}$ , რაც ჯერჯერობით არ არის დიდი ბუნებრივ ფონთან შედარებით ( $18,5 \cdot 10^{21} \text{Bk}$ ), სერიოზულ საფრთხეს ქმნის რადიონუკლიდების არათანაბარი გაბნევა და მათი კონცენტრირებულობა ზოგიერთ ადგილას.

### 1.10. პლასტმასის, პოლიეთილენის და ინფექციის გამავრცელებელი ნარჩენები

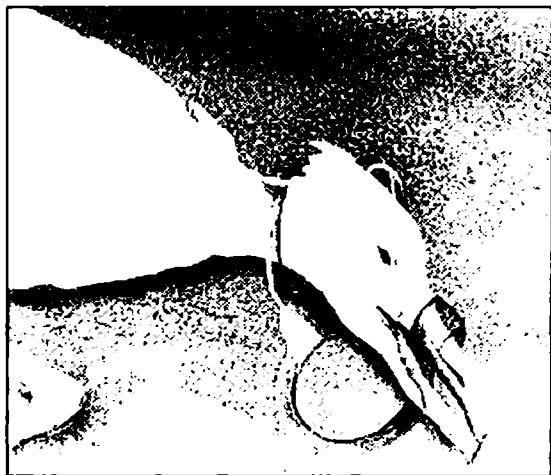
დღესდღეობით კოლოსალური რაოდენობის პლასტმასის საგნები და ნარჩენები ტივტივებს ოკეანის ზედაპირზე თუ სიღრმეში, რაც დიდ საშიშროებას უქმნის ზღვის ორგანიზმებს.

პლასტმასის ნარჩენების ზღვაში მოხვედრა ხდება კომერციული, თევზჭერი, სამხედრო, სამგზავრო გემებიდან. აშშ ნაციონალური აკადემიის შეფასებით წელიწადში გემებიდან 6.6 მილიონ ტონაზე მეტი პლასტმასი იყრება ოკეანეში. ყოველ წელიწადს ოკეანე ღებულობს 150 000 ტონაზე მეტ სხვადასხვა სახის პოლიეთილენის პარკებს, პლასტმასის ნივთებს. ყველაზე უფრო მეტად გავრცელებულია პოლიეთილენის პატარა ბურთები, ჯოხები, მძივები, განსაკუთრებით სარგასის ზღვაში და ფლორიდას სამხრეთ-აღმოსავლეთით.

ოკეანის ზედაპირის საერთო დაბინძურების თითქმის ნახევარი პლასტმასის დამაბინძურებლებზე მოდის. ამ მხრივ განსაკუთრებით გამოირჩევა ხმელთაშუა ზღვა. აშშ-ის სანაპირო რეგიონები. პორტუგალია. კოლუმბია, ლიბანი და სხვ.

ერთ-ერთი კრუიზის დროს ჩატარდა დაკვირვებები წყნარი ოკეანის ჩრდილოეთ ნაწილში, რის შედეგადაც გამოვლინდა ოკეანის ზედაპირზე ფენომენალური დაბინძურება. 8 საათის განმავლობაში 150 კმ-ის გავლისას ზღვის წყალში აღმოაჩინეს პლასტმასის 6 და შუშის 4 ბოთლი, პოლიეთილენის 22 პარკი. 12 თევზსაჭერი ტიეტივა, თოკი, მეტეოროლოგიური რადიოზონდები, ფეხსაცმლის ჯაგრისი, სანდლები, 3 ქალაღდის ნაგლეჯი და ყავის ქილა.

პლასტმასი არის გაწმენდილი, რაფინირებული ნახშირწყალბადი. ის ვერ იშლება ბიოლოგიური პროცესებით და ამიტომ ძალზე დიდ საფრთხეს უქმნის ზღვის ეკოსისტემას და ადამიანს. პლასტმასის ნარჩენებისაგან განსაკუთრებით ზიანდება ზღვის ლომი, კუ, სელაპი, ზღვის ფრინველები (ნახ. 1.14).



ნახ. 1.14. პლასტმასის ზონარმა, რომელიც გამოიყენებოდა ქილების ერთად შესაკრავად, გამოიწვია პელიკანის სიკვდილი

ფრინველები და კუები პოულობენ და ყლაპავენ პლასტმასის ბურთებს. რაც იწვევს კუჭის ბლოკირებას და შიმშილით ნელ სიკვდილს. ხშირად პოლიეთილენის პარკები ხვდება ცხოველთა საკმლის გადამამუშავებელ ტრაქტში და იწვევს სიკვდილს (ნახ. 1.15). მოტივტივე პლასტმასის ნარჩენები იზიდავს ოკეანის წყლებში არსებულ ორგანულ ნაწილაკებს, სასიკვდილო ბაქტერიებს, ნავთობს, რომელიც დინებებით გადმოიტანება ოკეანის ყველა მხრიდან.

სანაპირო ზოლში სამეურნეო ნაგვის დაყრა იწვევს სანაპიროზე და კუნძულებზე მცხოვრები მოსახლეობის დაავადებას.

ოკეანეში ყოველწლიურად 25 მილიონი ტონა ნაგავი იყრება, რაც ბევრ პათოგენურ მიკრობებს და ვირუსებს შეიცავს, რომელიც ზღვის წყალში 10-ჯერ უფრო სწრაფად ილუპება, ვიდრე მტკნარ წყალში. მიუხედავად ამისა, ზოგიერთი პათოგენი ზღვის გარემოში დიდი ხნის განმავლობაში ცოცხლობს 1-დან 7 კვირამდე, მაგ., მუცლის ტიფის, სტაფილოკოკების და ნაწლავური ჩხირები და სხვა. ტუბერკულოზის ბაცილა სიცოცხლისუნარიანია წყალში ერთი წლის განმავლობაში.



ნახ. 1.15. თოლია პოლიეთილენის პარკით

მოსახლეობისთვის საშიშია არა მარტო ბანაობა დაბინძურებულ წყალში, არამედ მისი გამოყენება სამეურნეო მიზნებისათვის. დაბინძურებული წყლით ინფიცირებული ზღვის ორგანიზმების საკვებად გამოყენებისას მოსახლეობაში ვრცელდება ეპიდემია. ასეთი

შემთხვევები დაფიქსირებული იყო სხვადასხვა დროს: ჰეპატიტის ეპიდემია შევდეთსა და აშშ-ში 1956 და 1962 წელს, ქოლერის ეპიდემია იტალიაში 1973 წ. არასაკმარისად მოხარშული დაავადებული თევზი იწვევს პარაზიტული დაავადებების გავრცელებას, რომელიც ფართოდ იყო გავრცელებული ნიდერლანდებში, ღიდ ბრიტანეთში, იაპონიაში.

## 1.11. სითბური დაბინძურება

ზღვის სანაპირო აკვატორიის სითბური დაბინძურება წარმოიშობა ელექტროსადგურებიდან და სამრეწველო საწარმოებიდან ჩამონადენი ცხელი წყლების ჩაშვებისას.

წყალსაცავებში ცხელი წყლის ჩაშვება იწვევს ტემპერატურის  $6-8^{\circ}\text{C}$ -ით მომატებას. გამთბარი წყლის ლაქების ფართობი ზღვის სანაპირო რაიონებში  $30\text{კმ}^2$ -ს აღწევს. უფრო მეტად მდგრადი ტემპერატურული სტრატოფიკაცია აფერხებს წყლის ნორმალურ ცვლას ზედაპირულ და ქვედა ფენებს შორის. ტემპერატურის ზრდასთან ერთად წყალში გახსნილი ჟანგბადის რაოდენობა მცირდება, რაც აიხსნება ორგანული ნივთიერებების დამშლელი აერობული ბაქტერიების გაძლიერებული აქტივობით და მათ მიერ ჟანგბადის გაზრდილი მოხმარებით. ამ დროს წყალში სხვა გაზების კონცენტრაციაც მცირდება, რაც სხვადასხვა გავლენას ახდენს ზღვის ორგანიზმებზე. მაგალითად, წყალში აზოტის შემცველობის შემცირებისას შეინიშნება თევზების სიკვდილიანობა გაზური ემბოლიით (აზოტის მიკრობუშტების გაჩენით თევზის სისხლში). სითბოთი დაბინძურებულ ეკოსისტემებში უჯრედული აქტივობა და მთელი ბიოცენოზის სუნთქვის ინტენსივობა ძლიერდება. ზღვის ფლორის, ფიტოპლანქტონის, ზოოპლანქტონის სახეობათა მრავალფეროვნება მცირდება და მოლუსკები ზიანდებიან.

თევზის ყოველი სახეობისათვის არსებობს ქვედა ლეტალური ტემპერატურა, რომლის ქვემოთ სახეობა ვერ იარსებებს და ზედა ლეტალური ტემპერატურა, რომელზე მაღალი ტემპერატურის შემთხვევაში მოცემული სახეობა იღუპება. წლის განმავლობაში თევზები ეგუებიან წყლის ტემპერატურის სეზონურ ცვლილებას. ზაფ-

ხელში მათი ლეტალური ტემპერატურეს ზღვარი იმატებს, ხოლო ზამთარში კლებულობს. ზოგადად თევზებზე უარყოფითად მოქმედებს ტემპერატურის ნებისმიერი მომატება, არღვევს რა მათი კვების რიტმს, ამცირებს და ანელებს ბიომასის ზრდასა და სიცოცხლის ხანგრძლივობას.

## 1.12. ხმაური

თანამედროვე მსოფლიოს ერთ-ერთი დიდი პრობლემა ხმაური. ტალღების, ქარის, მიწისძვრის და სხვა ბუნებრივი ხმაურის გარდა არსებობს ანთროპოგენური ხმაური – სხვადასხვა ხელსაწყოების, ტრანსპორტის (თვითმფრინავების, გემების), რაც მსოფლიო ოკეანის ცხოველთა სამყაროს ძალზე არაკომფორტულ მდგომარეობაში აყენებს. ზღვის ცხოველებისათვის სმენა ერთ-ერთი ძირითადი შეგრძნებაა. მათთვის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ბგერა, რადგანაც ისინი ზღვაში ორიენტაციას და ერთმანეთში კომუნიკაციას ახდენენ ბგერების საშუალებით. სინათლე ზღვის სიღმეში ვერ აღწევს, ხოლო ბგერა წყალში 5-ჯერ უფრო სწრაფად ვრცელდება, ვიდრე ჰაერში. წყალში ბგერის გავრცელების სიჩქარე დამოკიდებულია წყლის მარილიანობაზე, ტემპერატურაზე და სტატიკურ წნევაზე. ზღვის პირობებში ბგერის სიჩქარე მერყეობს 1140-1520 მ/წმ დიაპაზონში. ბგერის შეგრძნება ხდება სმენის საშუალებით. ადამიანი და ბევრი ცხოველი ბგერის აღსაქმელად იყენებს ყურს, მაგრამ მაღალი და დაბალი სიხშირის ბგერები სხეულის სხვა ნაწილებითაც შეიძლება აღქმულ იქნეს, როგორც ვიბრაცია.

ადამიანს შეუძლია მხოლოდ გარკვეული სიხშირის ბგერების აღქმა, ამასთან, ზოგიერთ დიაპაზონის ბგერებს უფრო კარგად აღიქვამს. იგივე შეიძლება ითქვას ცხოველთა სამყაროზე, მაგრამ ცხოველებს სმენითი შესაძლებლობები ხშირად ადამიანისაგან მნიშვნელოვნად განსხვავებული აქვთ და იცვლება სახეობების მიხედვით. დელფინი კომუნიკაციისათვის იყენებს მაღალი სიხშირის ბგერებს – ულტრაბგერებს, ხოლო ვეშაპი იყენებს დაბალი სიხშირის ბგერებს. სპილო, ალიგატორი იყენებს ძალიან დაბალი სიხშირის ბგერებს, ხოლო თაგვი, ღამურა და ზოგიერთი მწერი იყე-

ნებს მაღალი სიხშირის ბგერებს, რომლებიც ადამიანის სმენადობის ზღვარს მიღმაა. ადამიანს ჩვეულებრივ ესმის ბგერები 20 კც-დან 20 კც-მდე სიხშირის ფარგლებში. ეს დიაპაზონი მნიშვნელოვნად იცვლება ასაკთან, სქესთან და სმენით დაზიანებასთან ერთად. თანამედროვე განვითარებულ ქვეყნებში თინეიჯერებს თითქმის არ შეუძლიათ 20 კც სიხშირის ბგერების აღქმა და ასაკის მატებასთან ერთად პროგრესირებულად კარგავენ მაღალი და დაბალი სიხშირის ბგერების აღქმის უნარს.

ადამიანის ყური აღიქვამს ბგერებს ამპლიტუდის ფართო საზღვრებში, რომლის საზომ ერთეულად შემოღებულია ლოგარიტმული დეციბალი. ყველაზე „ჩუმ“ ბგერას, რომელსაც ადამიანი ჯერ კიდევ აღიქვამს, გააჩნია ამპლიტუდა – 20 მიკროპასკალი. 90 დბ-ის ბგერის ხანგრძლივი მოქმედება იწვევს ადამიანის ყურის დაზიანებას. 130 დბ იწვევს ტკივილს და დაზიანებას. ძალზე მაღალი ამპლიტუდის ბგერითმა ტალღებმა შეიძლება შოკიც გამოიწვიოს.

ტანკერების ძრავის, დაბალი სიხშირის სონარის, ATOC-ის ექსპერიმენტის და ოკეანეში სხვა ანთროპოგენური (ადამიანის მიერ გამოწვეული) ხმაურის სიხშირე, როგორც წესი, არ აღემატება 100 კც-ს. ანთროპოგენური ხმაური დროთა განმავლობაში ანგრევს ოკეანის ცხოველთა სამყაროს.

გემები ზღვის ცხოველების მიერ შეიძლება აღქმულ იქნეს, როგორც მტაცებლები. ამ შემთხვევაში ცხოველების თავდაცვითი რეაქცია გამოიხატება ან თავდასხმით, ან გაქცევით. გემზე თავდასხმა ადამიანისათვის ზარალის მომტანია, ხოლო ასეთ სიტუაციაში რამდენიმეჯერ გაქცევა ცხოველებში დამღუპველ რეფლექსს აყალიბებს და ნამდვილი მტაცებლის გამოჩენისას თავდაცვითი რეაქცია აღარ გააჩნიათ.

გარდა ამისა, ხმაური აიძულებს ცხოველებს უფრო ხმამაღალი კომუნიკაციისაკენ. თუ ცხოველები ხმამაღლა არ „ილაპარაკებენ“, მათი ხმა გადაიფარება ანთროპოგენური ხმაურით. როცა ერთი სახეობა იწყებს ხმამაღალ კომუნიკაციას, ის გადაფარავს სხვა სახეობების ხმას, ამიტომ საბოლოოდ მთელი ეკოსისტემა „ილაპარაკება“ უფრო ხმამაღლა.





ნახ. 1.16. ვეშაპების მასიური თვითმკვლელობა  
(ზოგიერთი მეცნიერის აზრით, სწორედ ხმაური უბიძგებს  
ვეშაპებს მასიური თვითმკვლელობისაკენ)

ზოგიერთი ხმაური, პირიქით, ზღვის ცხოველებს იზიდავს, მაგრამ ეს არ ნიშნავს, რომ ის არ არის მათთვის საზიანო. მაგალითად, დელფინებს მოსწონთ გემის ძრავის ხმა, ამიტომ მიჰყვებიან მას, მაგრამ ხმაურმა შეიძლება გამოიწვიოს მათი დროებითი ან სამუდამო დაყრუება ისევე, როგორც როკ-კონცერტზე ყოფნისას თქვენ მოგწონთ მუსიკა, მაგრამ ძლიერმა ხმაურმა შეიძლება გამოიწვიოს თქენი დროებითი დაყრუება.

ეგრეთ წოდებული „აკუსტიკური სმოგი“ ფაქტობრივად „აბრ-მავებს“ ზღვის ცხოველებს და ნეგატიურად მოქმედებს მათ კვებასა და რეპროდუქციაზე. ზოგიერთი მეცნიერის აზრით, სწორედ ხმაური უბიძგებს ვეშაპებსა და დელფინებს მასიური თვითმკვლელობისაკენ (ნახ. 1.16).

ხმაურს გააჩნია შემდეგი პოტენციური ზემოქმედება:

- როდესაც ცხოველები ცდილობენ ხმაურს თავი დააღწიონ, ხდება მნიშვნელოვანი ენერგიის ხარჯვა და ფერხდება მათი ნორმალური კვება.

ხმაურმა შეიძლება გამოიწვიოს ცხოველთა მიგრაცია და გამრავლების ადგილის შეცვლა.

სუნთქვის და ჩაყვინთვის რიტმის, ასევე ერთმანეთთან კომუნიკაციის შესაძლებლობის ცვლილება იწვევს სტრესს. ფიზიოლოგიური ზიანის მიყენება – ძლიერმა ხმაურმა შესაძლოა გამოიწვიოს ქსოვილის დაზიანება. განსაკუთრებით მგრძნობიარეა სასმენი სისტემა.

მსოფლიო ოკეანის ყველაზე ხმაურიანი ტერიტორიაა ჩრდილოეთ ატლანტიკის წყლები და წყნარი ოკეანის ჩრდილოეთი ნაწილი. ასევე საკმაოდ მაღალია ბგერითი დაბინძურება ოკეანეში ინდონეზიის კუნძულების გარშემო.

მიუხედავად იმისა, რომ შეერთებული შტატების კანონი ზღვის ცხოველებს იცავს ხმაურისაგან, ამერიკელმა მეცნიერებმა წამოაყენეს ATOC-ის ექსპერიმენტი (Acoustic Thermometry of Ocean Climate – ოკეანის კლიმატის აკუსტიკური თერმომეტრი). კალიფორნიის სანაპიროსთან ოკეანის ფსკერზე ბგერითი წყაროს განთავსების შემდეგ იზომება ბგერის გავრცელების სიჩქარე წყნარ ოკეანეში. თბილ წყალში ბგერა ვრცელდება უფრო სწრაფად, ვიდრე ცივში. რამდენიმე წლის გაზომვების შემდეგ, თუ ATOC-ის ბგერები უფრო სწრაფად გავრცელდება, დაასკენიან, რომ ოკეანე და, შესაბამისად, დედამიწა გათბა. 1997 წელს ამ პროექტის წინააღმდეგ გამოვიდა მეცნიერეთა ნაწილი, მიიჩნიეს რა იგი ოკეანის ხმაურით დაბინძურების ერთ-ერთ სერიოზულ წყაროდ, მაგრამ ATOC-ის ექსპერიმენტის ხელმძღვანელობამ დაამტკიცა, რომ ამ ექსპერიმენტის შედეგად გამოწვეული ხმაური გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე სხვა ანთროპოგენური ხმაური.

## ცხრილი 1.7.

### ოკეანის ბუნებრივი ხმაური

|                 |                  |
|-----------------|------------------|
| ქარი და ტალღები | 85 დეციბალი      |
| მიწისძვრა       | 95-135 დეციბალი  |
| სელაპის ხმა     | 130-140 დეციბალი |
| დელფინი         | 150 დეციბალი     |
| კეშაპი          | 175-185 დეციბალი |

ოკეანის ხმაურით ყველაზე უფრო ძლიერი დამაბინძურებელია ზღვის დაბალი სიხშირის ამერიკული ჰიდროლოკატორი (US

Navy's low frequency sonar). 1994 წლიდან კალიფორნიის სანაპიროსთან დაიწყო ამ ძალზე ხმაურიანი სონარის გამოცდა. ამ ხმაურის დონე შეფასებულია, როგორც 240 დეციბალის მქონე.

1984 წლიდან 1998 წლამდე მსოფლიო საეაჭრო ტანკერების ტონაჟი 85-დან 550 მილიონ ტონამდე გაიზარდა და, შესაბამისად, ხმაურის დონეც დაახლოებით 15 დეციბალით მოიმატა.

ცხრილი 1.8.

*ხმაურის სხვა წყაროები*

|                         |              |
|-------------------------|--------------|
| დიდი ტანკერი            | 177 დეციბალი |
| ყინულმჭრელი გემები      | 183 დეციბალი |
| ATOC-ის ექსპერიმენტი    | 195 დეციბალი |
| დაბალი სიხშირის სონარი  | 235 დეციბალი |
| ნავთობის სეისმური ძიება | 210 დეციბალი |

წყალში ბგერა ვრცელდება უფრო სწრაფად, ვიდრე ჰაერში, ამიტომ ამ ბგერების პირდაპირი შედარება არ არის მართებული. მიუხედავად ამისა, მაინც მოგვყავს ჰაერში ხმაურის მაგალითები (ცხრ. 1.9), რათა 1.7 და 1.8 ცხრილში მოყვანილი ხმაურის დონის სიძლიერე გავიაზროთ.

ცხრილი 1.9.

*ჰაერში ხმაურის მაგალითები*

|                                           |                  |
|-------------------------------------------|------------------|
| რაკეტის აფრენა                            | 205 დეციბალი     |
| რეაქტიული თვითმფრინავი<br>300 მ სიმაღლეზე | 135-145 დეციბალი |
| მოტოციკლი,<br>ბალახის საკრეჭი მანქანა     | 115 დეციბალი     |
| თმის საშრობი, ხმაურიანი რესტორანი         | 95 დეციბალი      |
| მაცივარი                                  | 65 დეციბალი      |
| წყნარი საცხოვრებელი რაიონი                | 55 დეციბალი      |
| წყნარი ბიბლიოთეკა,<br>ჩურჩული             | 55 დეციბალი      |

## თავი II. წყლის დაბინძურების გავრცელების მოდელირება ოკეანეში

### 2.1. ზღვის გარემოში მინარევების გავრცელების ამოცანის მათემატიკური ფორმულირება

განვიხილოთ ზღვაში დამაბინძურებელი მინარევის გავრცელების თეორიული კვლევის მეთოდები.

ზღვის გარემოს დაბინძურებასთან ბრძოლის ეფექტური მეთოდის მოძებნა თანამედროვე მეცნიერების ერთ-ერთი აქტუალური პრობლემაა. მინარევების ბედი ზღვის გარემოში დამოკიდებულია ქიმიურ (დაშლა, შეერთება სხვა ნივთიერებებთან, დალექვა); ფიზიკურ (სხვა აგრეგატულ მდგომარეობაში გადასვლა, აღსორბცა, კოაგულაცია); ჰიდროდინამიკურ (დინების მიერ გადატანა და გაბნევა); ბიოლოგიურ (ზღვის ორგანიზმების მიერ აკუმულაცია და გადატანა) ფაქტორებზე. მინარევის კონცენტრაციის ცვლილება ზოგადად აღიწერება ტურბულენტური დიფუზიის სამგანზომილებიანი განტოლებით, სადაც გათვალისწინებულია მინარევის გარემოსთან ფიზიკურ-ქიმიური ურთიერთქმედება და დაბინძურების წყაროს არსებობა:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + (w + w_c) \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} K_c \frac{\partial C}{\partial z} + K_{cl} \nabla^2 C + Q \delta(x - x^*) \delta(y - y^*) \delta(z - z^*) - \frac{C}{\tau_0} \quad (2.1)$$

$C$  - მინარევის კონცენტრაცია;  $u, v, w$  - დინების სიჩქარის მდგენელები დეკარტეს სისტემის  $x, y, z$  - ღერძებზე;  $w_c$  - მინარევის საკუთარი გრავიტაციული ვერტიკალური სიჩქარე;  $\tau_0$  - მინარევის ბიოქიმიური დაშლის მუდმივა;  $K_c$  და  $K_{cl}$  - შესაბამისად ტურბულენტური დიფუზიის ვერტიკალური და ჰორიზონტალური კოეფიციენტები;  $\delta$  - დირაკის დელტა-ფუნქცია;  $Q$  - მინარევის

წყაროს სიმძლავრე;  $x^*$ ,  $y^*$ ,  $z^*$  – სამგანზომილებიან სივრცეში წყაროს მდებარეობის კოორდინატები.

(2.1) განტოლების მიმართ არსებობს რამდენიმე შენიშვნა:

1. რადგანაც ოკეანეში ყველა ველი ატარებს ტურბულენტურ ხასიათს, (2.1) განტოლება მიღებულია ნაწილაკების მოძრაობის შემთხვევითი ხასიათის სტატისტიკურ-აღბათური წარმოდგენის საფუძველზე. ის აღწერს მინარევების და ღინებების არა მყისიერ ველებს, არამედ დროის რაღაც  $t$ -პერიოდისათვის გასაშუალებულს. ამ დროს მინარევის კონცენტრაციის საშუალო გრადიენტი უდრის:  $\Phi_{cj}^r = \rho K_{ij} (\partial c / \partial X_j)$ .

2. მაგნე მინარევის ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე დამოკიდებულებით, (2.1) განტოლების საფუძველზე შეიძლება გამოკვლეულ იქნეს ღინამიკურად აქტიური (დალექვადი ( $w_c > w$ ), ან ამოტივტივებადი ( $w_c < w$ )), ან ღინამიკურად პასიური მინარევის (რომელსაც არ გააჩნია საკუთარი გრადიენტული სიჩქარე ( $w_c = 0$ ) და მოძრაობის ღინების სიჩქარით) გავრცელება.

3. მინარევის კონცენტრაცია ბიოქიმიური პროცესების გამო მუდმივად იცვლება. მინარევის არაკონსერვატული თვისებების დახასიათებისათვის (2.1) განტოლებაში შემოაქვთ ბიოქიმიური დაშლის  $\tau_0$  დრო, ან არაკონსერვატულობის  $P$  კოეფიციენტი.

არაკონსერვატულობის კოეფიციენტი გამოისახება ფორმულით

$$-P = \frac{1}{Q} \frac{dQ}{dt} \text{ და მისი განზომილებაა } [T^{-1}]. \text{ თუ } P < 0, \text{ მიმდინარეობს მინარევის დაშლა, თუ } P > 0 - \text{ დაგროვება, თუ } P = 0 - \text{ მინარევი კონსერვატულია.}$$

4. (2.1) განტოლების მარჯვენა ბოლოსწინა წევრი განსაზღვრავს  $Q$  სიმძლავრის დამაბინძურებელი მინარევის წყაროს არსებობას წერტილში ( $x^*$ ,  $y^*$ ,  $z^*$ ) კოორდინატებით. მინარევის წყარო გადატანის მანძილთან შედარებით ძალზე მცირეა, ამიტომ ის შეიძლება განვიხილოთ ან წერტილოვან ან მოცულობით წყაროდ. წერტილოვანი წყაროს აღსაწერად (2.1) განტოლებაში შეგვაქვს დ-ფუნქცია (დირაკის ფუნქცია).

ჩამოვყალიბოთ სასაზღვრო პირობები. მთელ ზედაპირებზე, რომელიც შემოსაზღვრავს აუზის განსაზღვრულ რაიონს, საჭიროა ვიცოდეთ ან მინარევის ნაკადი (დიფუზიური და ადვექციური), ან

მისი კონცენტრაცია. ყველაზე ზოგად შემთხვევაში სასაზღვრო პირობები გამოისახება შემდეგნაირად:

$$a[K_c \frac{\partial C}{\partial z} - (\beta_1 + w_c)C + Q_1] + b(C - C_1) = 0 \quad (2.2)$$

სადაც  $a$  და  $b$  - კოეფიციენტები უტოლდება 0-ს, ან 1-ს;  $\beta_1$  - შესაბამის ზედაპირთან მინარევის ურთიერთქმედების პარამეტრია,  $Q_1$  - წყაროს სიმძლავრე შესაბამის ზედაპირზე. ეს სასაზღვრო პირობები საშუალებას იძლევა სხვადასხვა ტიპის ამოცანებში გავითვალისწინოთ სხვადასხვა წყაროების მოქმედება. მაგალითად:  $Q_1$  - მინარევის გამოტყორცნა ოკეანის ზედაპირზე (ატმოსფეროდან, გემიდან, სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო ნარჩენები და სხვა);  $Q_2$  - მინარევის წყაროები ფსკერზე (გამონაბოლქვი ფსკერზე გამავალი მილსადენიდან);  $Q_3$  - მინარევების გამონაბოლქვი საზღვარზე არსებული სხვადასხვა წყაროებიდან;  $C_1$  - მინარევის კონცენტრაციის ველში გარეგანი ფაქტორებით გამოწვეული შემოფოთება.

განვიხილოთ სასაზღვრო პირობების (2.2) კონკრეტული შემთხვევა ზღვის ზედაპირზე  $Z=0$ . თუ მინარევი ატმოსფეროსთან არ ურთიერთქმედებს  $\beta_1=0$ , მივიღებთ შემდეგ განტოლებებს:

ა) დინამიკურად აქტიური ამოტივტივებადი მინარევისათვის:

$$K_c \frac{\partial c}{\partial z} + w_c C + Q_1 = 0; \quad (2.3)$$

ბ) დინამიკურად აქტიური დალექვადი მინარევისათვის:

$$K_c \frac{\partial c}{\partial z} - w_c C + Q_1 = 0; \quad (2.4)$$

გ) დინამიკურად ნეიტრალური (პასიური) მინარევისათვის:

$$K_c \frac{\partial c}{\partial z} + Q_1 = 0. \quad (2.5)$$

ოკეანის ფსკერზე  $Z = H(X,Y)$  სასაზღვრო პირობები უნდა ითვალისწინებდეს მინარევის ურთიერთქმედებას ფსკერთან:

ა) ამოტივტივებადი მინარევისათვის

$$K_c \frac{\partial C}{\partial n} - (\beta_2 + w_c)C + Q_2 = 0; \quad (2.6)$$

ბ) დალექვადი მინარევისათვის

$$K_c \frac{\partial C}{\partial n} - (\beta_2 - \omega_c)C + Q_2 = 0; \quad (2.7)$$

გ) პასიური მინარევისათვის

$$K_c \frac{\partial C}{\partial n} - \beta_2 C + Q_2 = 0, \quad (2.8)$$

სადაც  $n$  - ფსკერის ნორმალის;  $\beta_2$  - ზღვის ფსკერთან მინარევის ურთიერთქმედების პარამეტრი. ზღვის ფსკერთან მინარევის ურთიერთქმედების ხასიათი დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე; კერძოდ, გრუნტების შედგენილობაზე, მათი ფილტრაციისა და აღსორბციის უნარზე, ფსკერის პიდროდინამიკურ ხორკლიანობაზე, მინარევის ურთიერთქმედებაზე ფსკერის ორგანიზმებთან და სხვა. ჩვეულებრივ,  $\beta_2$  პარამეტრს ანიჭებენ ორ ზღვრულ მნიშვნელობას:

ა)  $\beta_2=0$  შეესაბამება ზღვის ფსკერიდან მინარევის სრულ არეკვლას.

ბ)  $\beta_2 \rightarrow \infty$  შეესაბამება ზღვის ფსკერის მიერ მინარევის სრულ შთანთქმას.

აუზის თხევად და მყარ საზღვარზე პირობების ყველა მრავალ-ფეროვნება შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგნაირად:

$$a[K_c \frac{\partial C}{\partial n} - (\beta_3 + u_n)C + Q_3] + b(C - C_3) + \\ + X[(1 - \frac{u_n}{|u_n|})C + (1 + \frac{u_n}{|u_n|})K_c \frac{\partial C}{\partial n}] = 0, \quad (2.9)$$

სადაც  $n$  - შინაგანი ნორმალის მიმართულებაა კონტურისაკენ;  $u_n$  - ნორმალური მდგენელი ღინების სიჩქარის გვერდითი საზღვრის მიმართ;  $Q_3$  - დროის ერთეულში მიღებული მინარევის რაოდენობა;

$K_c(\frac{\partial C}{\partial n})$  - ტურბულენტური ღინების ნორმალური მდგენელი გვერდით კონტურზე.

განვიხილოთ ნაპირზე განთავსებული მინარევის წყაროსათვის (2.9) სასაზღვრო პირობის კონკრეტული სახე (სამრეწველო ან საყოფაცხოვრებო ნარჩენების კოლექტორი) იმ დაშვებით, რომ

$\beta_3=0$ . თუ ცნობილია მინარევის გამოფრქვევა დროის ერთეულში,  $a=1$  და  $b=0$ , მაშინ თხევად  $L''$  კონტურზე გვექნება:

$$K_c \cdot \frac{\partial C}{\partial n} - u_n C + Q_3 + (1 - \frac{u_n}{|u_n|}) C + (1 + \frac{u_n}{|u_n|}) K_c \cdot \frac{\partial C}{\partial n} = 0 \quad (2.10a)$$

მყარ  $L'$  კონტურზე:

$$K_c \cdot \frac{\partial C}{\partial n} + Q_3 = 0.$$

თუ ცნობილია მინარევის კონცენტრაცია წყაროს რაიონში,  $a=0$  და  $b=1$ , მაშინ თხევად  $L''$  კონტურზე გვექნება:

$$C - C_3 + (1 - \frac{u_n}{|u_n|}) C + (1 + \frac{u_n}{|u_n|}) K_c \cdot \frac{\partial C}{\partial n} = 0 \quad (2.10b)$$

მყარ  $L'$  კონტურზე:

$$C - C_3 = 0.$$

(2.10a) სასაზღვრო პირობები ფიზიკურად ნიშნავს, რომ მყარი კონტური (ნაპირი) მოცემულია ვერტიკალური კედლის სახით, რომელზედაც ხდება მინარევის ან სრული არეკვლა ან დაგროვება, თხევად კონტურზე ცნობილია მინარევის დანახარჯი. 2.10b გვიჩვენებს, რომ მყარ კონტურზე ხდება მინარევის სრული შთანთქმა, ხოლო თხევად კონტურზე ცნობილია მინარევის კონცენტრაცია. კონკრეტული სახის სასაზღვრო პირობების დასმა დამოკიდებულია მინარევის ფიზიკურ თვისებებზე, ასევე ზღვის ნაპირის შემადგენელ დანალექ ქანებზე.

აუზის ღია ნაწილში დაბინძურების წყაროდან დაშორებისას მინარევის კონცენტრაცია მცირდება და ღიდ მანძილზე ნულს უტოლდება:

$$\text{როცა } x, y, z \rightarrow \infty \text{ მაშინ } C=0. \quad (2.10g)$$

ჩამოვაყალიბოთ საწყისი პირობები. დაუშვათ, რომ დროის საწყის მომენტში

ა) მინარევი არ არსებობს

$$t=0 \quad C(x,y,z,0)=0 \quad (2.11a)$$

ბ) ცნობილია დაბინძურების ფონი

$$t=0 \quad C(x,y,z,0)=C_0 \quad (2.11b)$$



(2.1)-(2.11) ამოცანის ამოხსნა ძალზე რთულია, რადგანაც დინების სამგანზომილებიანი სტრუქტურის და ტურბულენტური დიფუზიის ცოდნა დიდ სიძნელებს უკავშირდება.

ზღვაში დინების სიჩქარის განსაზღვრა შესაძლებელია პიდროდინამიკური გამოთვლების ან დაკვირვებების საშუალებით. ამჟამად ზღვებსა და ოკეანეებში დინების სტრუქტურის შესახებ ინსტრუმენტული დაკვირვებების მონაცემები ძალზე მცირეა და დაშორებულია დროსა და სივრცეში. ამიტომ დინების სიჩქარის განსაზღვრა მიზანშეწონილია პიდროდინამიკური ამოცანის ამოხსნით ქარის ველის, ზღვის წყლის სიმკვრივის განაწილების, ასევე რეალური რელიეფის და აუზის მორფომეტრიის გათვალისწინებით.

დღემდე ურთულეს ამოცანად რჩება ტურბულენტური დიფუზიის კოეფიციენტის განსაზღვრა, თუმცა ჰორიზონტალური ტურბულენტური დიფუზიის კოეფიციენტის გამოთვლა შესაძლებელია.

თუ ცნობილია დინების ყველა მდგენელი და ტურბულენტური დიფუზიის კოეფიციენტი, (2.1)-(2.11) ამოცანის ამოხსნით მივიღებთ ზღვის პიდროდინამიკური გავლენით მინარევის კონცენტრაციის განაწილების სურათს.

ზღვაში ტურბულენტური დიფუზიის და დინების ზემოქმედებით დამაბინძურებელი მინარევის გავრცელებისას მნიშვნელოვანია ასევე წყაროს სიდიდე და სახე.

წყაროს მოქმედების ხასიათისა და დაბინძურების გავრცელების მასშტაბის მიხედვით გამოყოფენ ორი ტიპის პროცესს:

- 1) ლოკალური – მცირე ზომის წყაროს არსებობისას, მცირე მოქმედების დროით და მცირე დანახარჯით. ამასთანავე, წყარო შეიძლება მიჩნეულ იქნეს მყისიერად და წერტილოვნად, მინარევი – პასიურად და კონსერვატულად, ხოლო დინების სიჩქარის მდგენელები მუდმივად.
- 2) მეზომასშტაბური და მაკრომასშტაბური – ძლიერ დამაბინძურებელი ნივთიერების მუდმივი ზემოქმედებისას. დინება ამ შემთხვევაში განისაზღვრება ქარის ველით და წყლის არაერთგვაროვანი თერმობალანსური სტრუქტურით, ზღვის აუზის მორფომეტრიისა და რელიეფის გათვალისწინებით.

ამოცანებს, რომლებიც პირველი ჯგუფის პროცესებს მიეკუთვნება, გააჩნია ანალიტიკური ამონახსნები. მეორე ჯგუფის პროცესე-

ბის ამოცანებს სირთულის გამო ანალიტიკური ამონახსნი არ გააჩნია და ამ შემთხვევაში საჭიროა რიცხვითი მეთოდების გამოყენება.

## 2.2. ზღვის გარემოში მინარევის კონცენტრაციის ცვლილების ამოცანის ანალიზური ამონახსნები

განვიხილოთ გარკვეულ სიღრმეზე არსებული წერტილოვანი წყაროდან ამოტივტივებული მინარევის განაწილების ამოცანა.

ასეთი ამოცანის მაგალითია ზღვაში სამრეწველო ან სამეურნეო წყლების სიღრმითი ჩაშვება. ჩავთვალოთ, რომ პროცესი ლოკალურია, ანუ დინება ყველგან მუდმივია. ამოცანის მიზანია მინარევის კონცენტრაციის განსაზღვრა წყაროდან სხვადასხვა სიმაღლეზე ვერტიკალური მიმართულებით.

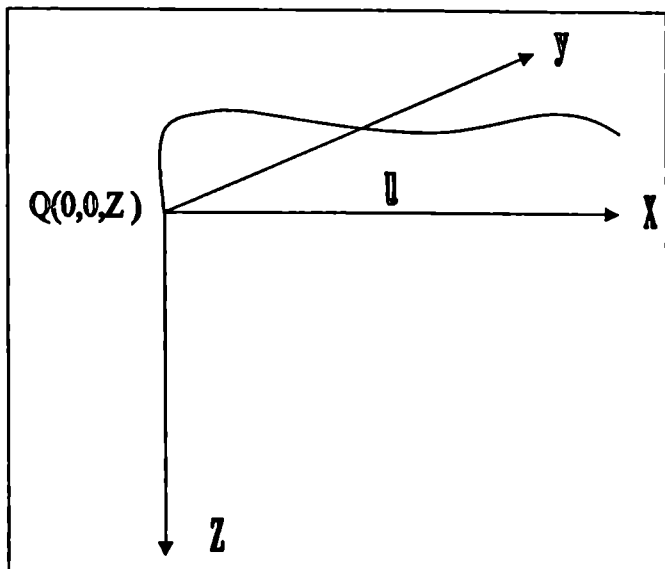
მოვათავსოთ  $Q$  სიმძლავრის გამაჭუჭყიანებელი წყარო ზღვის წერტილში კოორდინატებით  $(0,0,Z^*)$ ,  $OX$  ღერძი მივმართოთ  $u$  დინების მიმართულებით (ნახ.2.1). თუ ჩავთვლით, რომ დინების მიმართულებით ტურბულენტური დიფუზია ადვექციურ გადატანასთან შედარებით მცირეა, მაშინ ძირითადი (2.1) განტოლება ასე ჩაიწერება:

$$u \frac{\partial C}{\partial x} - \omega_c \frac{\partial C}{\partial z} - K_c \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - K_{cy} \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - \frac{C}{\tau_o} = Q \delta(x) \delta(y) \delta(z - z^*) \quad (2.12)$$

უშუალო ჩასმით შეგვიძლია დავრწმუნდეთ, ამ განტოლებას მინარევის წყაროდან დაშორებისას კონცენტრაციის ნულამდე შემცირების დროს  $C=0$ ,  $x, y \rightarrow \infty$ , აქვს შემდეგი სახის ამონახსნი:

$$C = \frac{\sqrt{u}}{2\sqrt{\pi K_{cy} x}} \exp\left(-\frac{uy^2}{4K_{cy} x} - \frac{x}{u\tau_o}\right) S(x, z), \quad (2.13)$$

სადაც  $S(x, z)$  – ახალი უცნობია.



ნახ. 2.1. სიღრმითი წერტილოვანი წყაროდან ამოტივტივებადი მინარევის გავრცელების ამოცანისათვის

ჩავსვათ (2.13) (2.12)-ში და მოვახდინოთ ინტეგრირება  $y$ -ით  $-\infty$ -დან  $+\infty$ -მდე. (2.3) და (2.6) სასაზღვრო პირობების გამოყენებით შესაბამისად ზღვის ზედაპირზე და ზღვის ფსკერზე მივიღებთ ტურბულენტური დიფუზიის განტოლებას ახალი უცნობისათვის:

$$u \frac{\partial C}{\partial x} - \omega_c \frac{\partial C}{\partial z} - K_c \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} = Q \delta'(x) \delta(z - z^*) \quad (2.14)$$

სასაზღვრო პირობებით:

როდესაც  $Z=0$   $K_c \frac{\partial S}{\partial Z} + \omega_c S = 0$ ,

როდესაც  $Z=H(x,y)$   $\frac{\partial S}{\partial n} = 0$ ,

როდესაც  $x, y \rightarrow \infty$   $S=0$ . (2.15)

ox - ღერძზე წყაროდან მცირე მანძილის შემთხვევაში ზღვის ზედაპირზე კონცენტრაციის ვერტიკალური გრადიენტი შესაძლებელია ნულს გაუტოლდეს. მაშინ კოორდინატთა ახალ სისტემაში, რომელიც მოცურავს ვერტიკალურად მინარევის სიჩქარით

$$\bar{Z} = Z + w_c \frac{x}{u}, \quad (2.14) \text{-დან მივიღებთ გამარტივებულ განტოლებას:}$$

$$u \frac{\partial S}{\partial x} - K_c \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} = Q \partial(x) \partial(\bar{z} - \bar{z}^*) \quad (2.16)$$

$$\bar{z}^* = z^* + w_c \frac{x}{u}$$

სასაზღვრო პირობებით:

$$K_c \frac{\partial S}{\partial z} = 0, \quad \text{როდესაც } \bar{z} = w_c \frac{x}{u},$$

$$S=0, \quad \text{როდესაც } \bar{z} = \infty \quad (2.17)$$

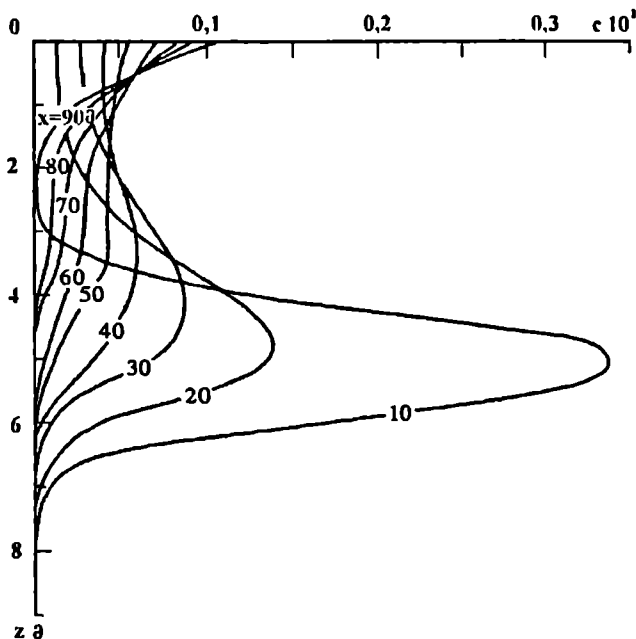
(2.16) - (2.17) ამოცანის ამოხსნას ძველ კოორდინატებზე გადასვლისას აქვს შემდეგი სახე:

$$C(x, z) = Q \sqrt{\frac{u}{4\pi K_c x}} \left[ \exp\left(-\left(z + w_c \frac{x}{u} - z^*\right) \frac{u}{4K_c x}\right) + \exp\left(-\left(z - w_c \frac{x}{u} + z^*\right)^2 \frac{u}{4K_c x}\right) \right] \quad (2.18)$$

ნახ. 2.2-ზე წარმოდგენილია გამაჭუჭყიანებული მინარევის კონცენტრაციის განაწილება ვერტიკალის მიხედვით წყაროდან სხვადასხვა მანძილზე, როდესაც წყარო მოთავსებულია 5 მ სიღრმეზე. ჩანს, რომ მინარევის საკუთარი ვერტიკალური სიჩქარის არსებობის გამო, კონცენტრაციის მაქსიმუმი წყაროდან დაშორებისას მაღლა ვრცელდება და გარკვეული მანძილიდან დაწყებული, ზედაპირზე აღინიშნება. მინარევის კონცენტრაცია წყაროდან დაშორებისას ძალიან სწრაფად კლებულობს მხოლოდ დასაწყისში.

განვიხილოთ სხვა ამოცანა. გამოვთვალოთ შეწონილი (პასიური) მინარევის საშუალო კონცენტრაცია ვერტიკალზე, რომელიც ვრცელდება ზღვაში ნაპირთან ახლოს. ზღვაში ღინება ჰორიზონტზე მუდმივად ჩავთვალოთ, ხოლო ვერტიკალზე ორფენოვნად. ზედა

ფენაში დინება მიმართულია ნაპირის პერპენდიკულარულად, ხოლო ქვედა ფენაში ღია ზღვისკენ (ნახ. 2.3ა). ადვექციური გადატანა, რომელიც ნაპირის გასწვრივ დინებას შეესაბამება, ჩავთვალოთ მეტად, ვიდრე ტურბულენტური დიფუზია იგივე მიმართულებით. ტურბულენტური დიფუზიის კოეფიციენტი მუდმივად ჩავთვალოთ.

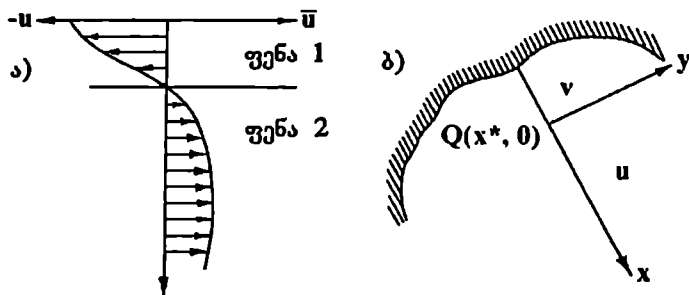


ნახ. 2.2. დინების მიმართულებით დაბინძურების  
კონცენტრაციის განაწილება.

ციფრები მრუდებთან გვიჩვენებს  $0x$  ღერძიდან დაშორებას ( $მ$ ).  
მინარევი მოთავსებულია 5 მ სიღრმეზე,  $K_L = \text{const}$

მსგავსი ამოცანა ჩნდება, როცა ქალაქიდან საყოფაცხოვრებო წყალი კოლექტორის საშუალებით ზღვაში უშუალოდ ჩაედინება. ყველაზე უარესი სიტუაცია ამ შემთხვევაში იქმნება მაშინ, როცა ძლიერი ქარის დროს დინება მიმართულია ქალაქისკენ და დაბინ-

ბურების წყარო ზედა ფენაშია.  $oy$  ღერძი მივმართოთ ნაპირის გასწვრივ,  $ox$  – ნაპირის მართობულად ღია ზღვისკენ (ნახ.2.3ბ.); მინარევის წყარო მოვათავსოთ წერტილში კოორდინატებით  $(x^*, 0)$ .



ნახ. 2.3. პასიური მინარევის გავრცელების ამოცანისათვის ორფენოვან ზღვაში

თუ გავასაშუალებთ ტურბულენტური დიფუზიის განტოლებას ცალ-ცალკე ზედა და ქვედა ფენისათვის, აღნიშნული დაშვებებით ზედა ფენისათვის მივიღებთ განტოლებას:

$$u \frac{\partial C_1}{\partial x} + v \frac{\partial C_1}{\partial y} - K_{cx} \frac{\partial^2 C_1}{\partial x^2} - \frac{C_1}{\tau_0} = Q \delta(x - x^*) \delta(y), \quad (2.19)$$

სადაც  $C_1$  – ზედა ფენაში მინარევის საშუალო კონცენტრაციაა. რადგანაც ნაპირთან არ ხდება მინარევის და წყლის დაგროვება, ამონახსნი ზედა ფენისთვის ( $x < 0$  –თვის) შესაძლებელია განისაზღვროს, როგორც სარკული ანარეკლი ქვედა ფენის ამონახსნისა.

შემოვიტანოთ კოორდინატთა ახალი სისტემა  $\bar{x} = x + \frac{u}{v} y$ ;  $\bar{y} = y$ .

მაშინ (2.19)–დან მივიღებთ განტოლებას:

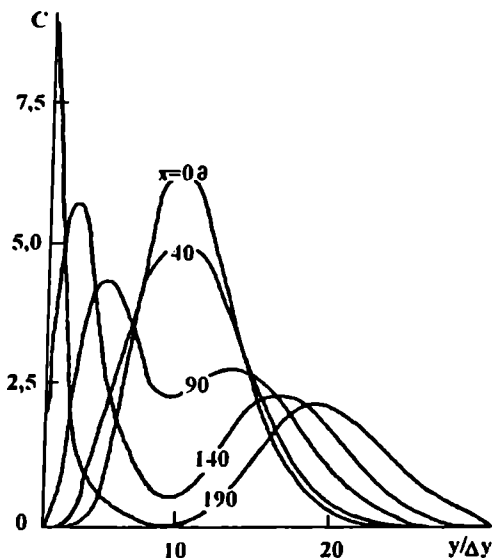
$$v \frac{\partial C_1}{\partial \bar{y}} - K_{cx} \frac{\partial^2 C_1}{\partial \bar{x}^2} - \frac{C_1}{\tau_0} = Q \delta(\bar{x} - \bar{x}^*) \delta(\bar{y}). \quad (2.20)$$

მინარევის კონცენტრაციის უსასრულოდ შემცირების  $\bar{x}, \bar{y} \rightarrow \infty$  სასაზღვრო პირობისას, ამონახსნს ექნება შემდეგი სახე:

$$C_1 = Q \sqrt{\frac{v}{4\pi K_{cx} Y}} \exp\left(-\frac{v(x + \frac{v}{Y}y - x^*)^2}{4K_{cx} Y}\right). \quad (2.21)$$

ამონახსნი ქვედა ფენისათვის ანალოგიურად განისაზღვრება. ვერტიკალზე მინარევის საშუალო კონცენტრაცია ზღვის ნებისმიერ წერტილში უდრის ორივე ამონახსნის ნახევარჯამს.

$$C = \frac{1}{2}(C_1 + C_2) = \frac{Q}{4} \sqrt{\frac{v}{4\pi K_{cx} Y}} \left[ \exp\left(-\frac{v(x + \frac{v}{Y}y - x^*)^2}{4K_{cx} Y}\right) + \exp\left(-\frac{v(x - \frac{v}{Y}y + x^*)^2}{4K_{cx} Y}\right) \right] \quad (2.22)$$



ნახ. 2.4. დაბინძურების საშუალო კონცენტრაცია ნაპირიდან სხვადასხვა მანძილზე.

კოლექტორი ზღვაში 200 მ-ით შედის.  $K_{cx} = \text{const}$

ნახ. 2.4-ზე წარმოდგენილია დაჭუჭყიანების კონცენტრაციის განაწილება ნაპირიდან და წყაროდან სხვადასხვა მანძილზე. ნაპირის გასწვრივ უდიდესი კონცენტრაცია დაიკვირვება წყაროდან  $10\Delta y$  მანძილზე. ღია ზღვისკენ კონცენტრაცია მცირდება, მაგრამ დაიკვირვება ორი მაქსიმუმი, რომელიც განპირობებულია პირდაპირი და უკუ დინებებით. დაბინძურების წყაროსთან ახლოს მრუდის სახე არ იცვლება, კონცენტრაცია კი ბუნებრივია იზრდება.

განზილული ამონახსნები მიღებულია ტურბულენტური დიფუზიის კოეფიციენტის მუდმივობის პირობებში.

## 2.3. მეჩხერ ზღვაში მინარევის ტურბულენტური დიფუზიის განტოლების ამოხსნის რიცხვითი მეთოდები

ხანგრძლივად მოქმედი ძლიერი წყაროებიდან წარმოქმნილი მინარევების ველის ფორმირების პროცესების შესწავლისას, ღინებათა რთული ველების გათვალისწინებით, შეუძლებელია ძირითადი განტოლების (2.1) ანალიზური ამოხსნების მიღება. ამიტომ საჭიროა მისი ამოხსნა სხვადასხვა რიცხვითი მეთოდების გამოყენებით (ინტეგრალური, სპექტრალური), ეფექტური რიცხვითი ალგორითმების საშუალებით.

განვიხილოთ ბადის მეთოდით ამოცანის ამოხსნა მცირე სიღრმის ზღვისათვის. ასეთი პირობებისათვის მიიღება ერთგვაროვნობის დაშვება, ანუ გრადიენტი  $\frac{\partial c}{\partial z} = 0$ , რაც საშუალებას გვაძლევს

ტურბულენტური დიფუზიის ძირითად განტოლებაში (2.1) უგულებელვყოთ მინარევის ვერტიკალური ადვექცია და ვერტიკალური ტურბულენტური ცვლა. შესაბამისად:

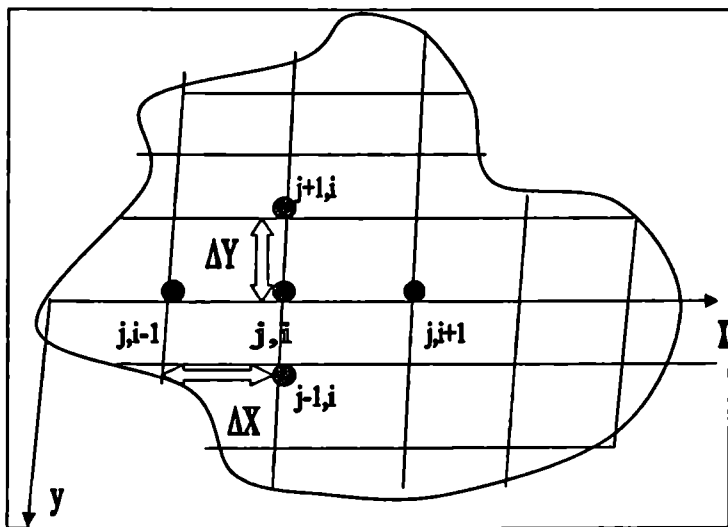
$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = K_{cx} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + K_{cy} \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - pC \quad (2.23)$$

განტოლების (2.23) სასრული სხვაობითი ანალოგის შემუშავებისათვის საჭიროა აგებულ იქნეს ბადური არე სივრცითი ბიჯებით  $\Delta X$  და  $\Delta Y$  და ყველაზე ზუსტად აპროქსიმირებული ზღვის რეალური კონტური (ნახ. 2.5).



თუ ლოკალურ წარმოებულს შევცვლით სასრულ-სხვაობითი თანაფარდობით დროით ბიჯთან  $\Delta t$ , მეორე წარმოებულებს გამოვსახავთ ცენტრალური სხვაობების საშუალებით, ხოლო პირველ წარმოებულებს – ნაკადის საწინააღმდეგოდ მიმართული ერთგვაროვანი სხვაობებით, მაშინ (2.23) განტოლების სასრულ-სხვაობითი აპროქსიმაცია ცხადი სახით ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$\frac{\partial C}{\partial t} \approx \frac{\Delta C_{i,j}}{\Delta t} = \frac{C'_{i,j} + \Delta - C'_{i,j}}{\Delta t} \quad (2.24)$$



ნახ. 2.5. კოორდინატთა სისტემა და ბადური არე მცირე სიღრმის ზღვაში ლაბინტურების განაწილების ამოცანისათვის

$$\begin{aligned} C'_{i,j} + \Delta = & C'_{i,j} + v_{cz} \Delta t (\Delta_{xx} + \Delta_{yy}) C'_{i,j} - \frac{u'_{i,j} \Delta t}{2} [(1 - \varepsilon_u) \Delta_x^+ C'_{i,j} + \\ & + (1 + \varepsilon_u) \Delta_x^- C'_{i,j}] - \frac{v'_{i,j} \Delta t}{2} [(1 - \varepsilon_v) \Delta_y^+ C'_{i,j} + (1 + \varepsilon_v) \Delta_y^- C'_{i,j}] - \\ & - PC'_{i,j} \Delta t, \end{aligned} \quad (2.25)$$

სადაც  $u_{ij}, v_{ij}, C_{ij} - i$  და  $j$  - ინდექსის შესაბამის ბადის კვანძში დინების სიჩქარისა და მინარევის კონცენტრაციის მდგენელებია;  $\epsilon_u$  და  $\epsilon_v$  - შესაბამისად  $u$  და  $v$  მდგენელების ნიშნებია;  $\Delta_{xx}, \Delta_{yy}$  - მეორე წარმოებულების აპროქსიმაცია;  $\Delta_x^-, \Delta_y^-$  - სხვაობა უკან შესაბამისად  $x$  და  $y$ -სათვის;  $\Delta_x^+, \Delta_y^+$  - სხვაობა წინ შესაბამისად  $x$  და  $y$ -სათვის,  $V_{CL}$  - გამოთვლითი სიბლანტის კოეფიციენტი.

$$\Delta_{xx}C_{i,j} = \frac{1}{\Delta x^2}(C_{i+1,j} - 2C_{i,j} + C_{i-1,j}),$$

$$\Delta_{yy}C_{i,j} = \frac{1}{\Delta y^2}(C_{i,j+1} - 2C_{i,j} + C_{i,j-1}),$$

$$\Delta_x^+ C_{i,j} = \frac{1}{\Delta x}(C_{i+1,j} - C_{i,j}),$$

$$\Delta_y^+ C_{i,j} = \frac{1}{\Delta y}(C_{i,j+1} - C_{i,j}),$$

$$\Delta_x^- C_{i,j} = \frac{1}{\Delta x}(C_{i,j} - C_{i-1,j}),$$

$$\Delta_y^- C_{i,j} = \frac{1}{\Delta y}(C_{i,j} - C_{i,j-1}).$$

მიღებული რიცხვითი სქემა, რომელიც გამოისახება (2.25) ფორმულით, უზრუნველყოფს სიზუსტის პირველ რიგს დროში და მეორე რიგს - სივრცეში.

(2.25) სქემა ამავე დროს არ არის აბსოლუტურად მდგრადი, რადგანაც არ აკმაყოფილებს ცნობილ კურანტ-ლევისის კრიტერიუმს (დაშვებისას  $\Delta x = \Delta y$ ).

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x^2}{4\nu_{CL} + (|u| + |v|)\Delta x} \quad (2.26)$$

სივრცითი ბიჯების  $\Delta x$  და  $\Delta y$  შერჩევა განპირობებულია ზღვის ზომის, გეომეტრიული ფორმების და მასში მიმდინარე ჰიდროდინამიკური პროცესების მასშტაბით. დროითი ბიჯის შერჩევა განისაზღვრება სხვაობითი (2.26) სქემის კრებადობის პირობით.

შემუშავებული რიცხვითი მოდელით შესაძლებელია ნებისმიერი დამაბინძურებელი ნივთიერების ველის ფორმირების, დროში

და სივრცეში ცვლილების განხილვა. ეს მოდელი მცირე სიღრმის ზღვაში მოხვედრილი მინარევის დაკვირვების, ქარის ტიპისა და ზღვის აუზის მორფომეტრიაზე დამოკიდებულებით არასასურველი სიტუაციების გამოვლენის საშუალებას იძლევა.

უკანასკნელ წლებში (2.23) განტოლების აპროქსიმაციის სქემა რიცხობრივად ამოიხსნება გახლეჩის ეფექტური მეთოდის საშუალებით. დროის ყოველ ბიჯზე განიხილება ორი დამოუკიდებელი ამოცანა:

ა)  $\frac{1+1}{2\Delta t}$ -ზე მინარევის კონცენტრაციის ცვლილება

ტურბულენტური დიფუზიის ხარჯზე.

ბ)  $1+\Delta t$ -ზე მინარევის კონცენტრაციის ცვლილება ადვექციისა და ურთიერთდაპტაციის ხარჯზე.

ზოლო გახლეჩილი განტოლების (2.23) სასრულ-სხვაობით ანალოგად მიიღება ორი სასრულ-სხვაობითი განტოლების ჯამი:

$$C_y^{t+\frac{1}{2}\Delta t} = C_y^t + \nu_{CL} \Delta t (\Delta_{xx} + \Delta_{yy}) C_y^t \quad (2.27)$$

$$C_y^{t+\Delta t} = C_y^{t+\frac{1}{2}\Delta t} - \frac{u_y \Delta t}{2} [(1-\varepsilon_u) \Delta_x^+ C_y^{t+\frac{1}{2}\Delta t} + (1+\varepsilon_u) \Delta_x^- C_y^{t+\frac{1}{2}\Delta t}] - \quad (2.28)$$

$$\frac{v_y \Delta t}{2} [(1-\varepsilon_v) \Delta_y^+ C_y^{t+\frac{1}{2}\Delta t} + (1+\varepsilon_v) \Delta_y^- C_y^{t+\frac{1}{2}\Delta t}] - p C_y^{t+\frac{1}{2}\Delta t}$$

## 2.4. წყლის ცირკულაციის, ტურბულენტური დიფუზიის და სასაზღვრო პირობების გავლენა დამაბინძურებელ ნივთიერებათა კონცენტრაციის გაანგარიშებაზე

წინა პარაგრაფში განხილული იყო დინამიკური პროცესების (წყლის ცირკულაცია და ტურბულენტური ცელა) და დაბინძურების წყაროს გავლენა დამაბინძურებელ ნივთიერებათა კონცენტრაციის ველის ფორმირებაზე. სანაპირო ზონის დაბინძურების ხასიათი და ღია ზღვაში მინარევის გავრცელება განისაზღვრება სანაპირო წყლების შედარებით ვიწრო ზოლში მიმდინარე დინამიკური პროცესებით. სანაპირო წყლების დინებების სტრუქტურა რთუ-

ლია. ის მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ქარზე და ოროგრაფიის ხასიათზე (სანაპირო კონტურის მოხაზულობა, ფსკერის რელიეფის დანაწევრება). ეს ფაქტორები განაპირობებენ სანაპირო ზოლში წყლის ლოკალურ წრებრუნვას.

თუ OY-ღერძს მიემართავთ სანაპიროს გასწვრივ, OX ღერძს მის მართობულად, ხოლო OZ ღერძს ვერტიკალურად ქვემოთ, მინარევის დიფუზიის ძირითადი (2.1) განტოლება შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + w \frac{\partial C}{\partial z} = K_c \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + K_{cx} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}. \quad (2.29)$$

ამ ამოცანის გადაწყვეტისას ითვალისწინებენ წყლების ცირკულაციის ვერტიკალურ სტრუქტურას და ტურბულენტურ დიფუზიას. (2.29)-ის ამოხსნისას (2.5) და (2.8) სასაზღვრო პირობებით გამოიყენება რიცხვითი გახლეჩის მეთოდი.

ზღვის ვიწრო სანაპირო ზონაში დაბინძურების ველის ჩამოყალიბებაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს წყლის ვერტიკალური მოძრაობა. ამ ვიწრო ზონის მიღმა დაბინძურების პროცესი განისაზღვრება ჰორიზონტალური ადვექციით და ტურბულენტური დიფუზიით.

(2.29) ტიპის განტოლების ამოხსნაზე არსებით გავლენას ახდენს ტურბულენტური დიფუზიის პროცესების ინტენსივობა და სასაზღვრო პირობების ფორმა, რაც დამოკიდებულია დაბინძურების წყაროს მდებარეობაზე – სანაპიროზე, თუ ღია ზღვაში.

მინარევის კონცენტრაციის ცვლილებაში ჰორიზონტალური ტურბულენტური დიფუზიის მნიშვნელობა ადვექციასთან შედარებით გაცილებით ნაკლებია. მაგრამ მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს დამბინძურებელ ნივთიერებათა კონცენტრაციის ველის ჩამოყალიბებაზე და დამოკიდებულია ტურბულენტური დიფუზიის კოეფიციენტზე. ეს კარგად ჩანს ცხრილ 2.1-დან. როდესაც  $K_{CL} = 1,5 \times 10^2 \text{ მ}^2/\text{წმ}$ -ს, დაბინძურების კონცენტრაცია ლაქის ცენტრშია და მისი გავრცელება თითქმის არ იცვლება, ხოლო, თუ  $K_{CL} > 10^4 \text{ მ}^2/\text{წმ}$ ; მაშინ ადგილი აქვს დაბინძურების კონცენტრაციის მკვეთრ შემცირებას, ანუ ლაქის დაშლას.

მინარევის წყაროს მდებარეობა განსაზღვრავს სასაზღვრო პირობის ფორმას. §2.1-ში ნაჩვენები იყო, რომ ნაპირზე ან მის

მახლობლად მდებარე დაბინძურების წყაროსათვის სასაზღვრო პირობებში გათვალისწინებულია ნაპირის გრუნტის არეკვლის ან შთანთქმის თვისება (2.9, 2.10ა, 2.10ბ განტოლებები).

## ცხრილი 2.1.

კონცენტრაცია ( $10^{-3}$  კმ/მ<sup>3</sup>) გაჟუჟყიანების ლაქის ცენტრში  
 $K_{CL}$ -ის სხვადასხვა მნიშვნელობისა და სასაზღვრო პირობებში

| წყაროს<br>მდებარეობა | დრო<br>სთ. | სრული შთანთქმა              |                   |                   | ნაწილობრივი<br>შთანთქმა<br>$K_{CL}=1,5 \cdot 10^2$<br>მ <sup>2</sup> /წმ |
|----------------------|------------|-----------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|
|                      |            | $K_{CL}$ მ <sup>2</sup> /წმ |                   |                   |                                                                          |
|                      |            | 0                           | $1,5 \times 10^2$ | $1,5 \times 10^4$ |                                                                          |
| ნაპირზე              | 1          | 90,0                        | 89,0              | 36,0              | 97,0                                                                     |
|                      | 6          | 53,0                        | 52,0              | 4,2               | 83,0                                                                     |
|                      | 24         | 9,8                         | 9,1               | 1,2               | 36,0                                                                     |
|                      | 48         | 1,4                         | 1,3               | 0,3               | 8,7                                                                      |
| ღია ზღვაში           | 1          | 94,0                        | 88,0              | 35,0              | 83,0                                                                     |
|                      | 6          | 71,0                        | 67,0              | 8,0               | 50,0                                                                     |
|                      | 24         | 26,0                        | 51,0              | 1,7               | 23,0                                                                     |
|                      | 48         | 7,1                         | 48,0              | 0,6               | 10,0                                                                     |

მიღებულია დაშვება, რომ ღია ზღვაში დაბინძურების წყაროდან დაშორებისას მინარევის კონცენტრაცია ნულამდე მცირდება (2.10 განტოლება).

ცხრილიდან ჩანს, რომ, თუ წყარო მდებარეობს ნაპირთან ახლოს, სასაზღვრო პირობების გავლენა დაბინძურების კონცენტრაციაზე დიდია. სრული შთანთქმის შემთხვევაში დაბინძურების გავრცელება და გაბნევა სწრაფად ხდება. ნაწილობრივი შთანთქმის დროს ეს პროცესი შენელებულად მიმდინარეობს, მაგრამ დაბინძურების ფართობი უფრო დიდია. თუ დაბინძურების წყარო ღია ზღვაშია, მაშინ სასაზღვრო პირობები გავლენას არ ახდენს დაბინძურების კონცენტრაციის ველის ფორმირებაზე. ამ შემთხვევაში უფრო მნიშვნელოვანია პორიზონტალური ტურბულენტური დიფუზიის როლი.

## თავი III. მსოფლიო ოკეანის დაბინძურების თანამედროვე მდგომარეობა

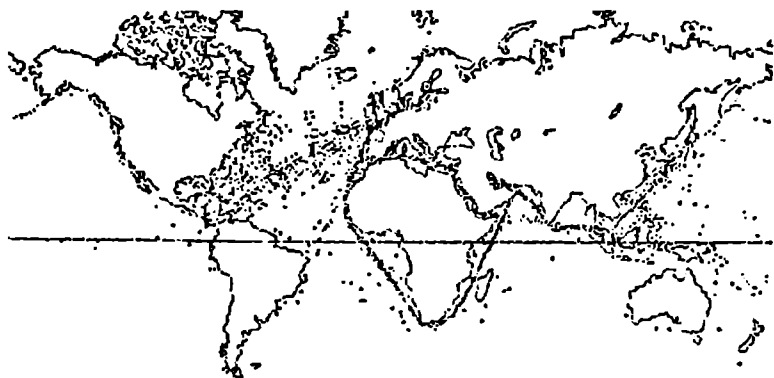
### 3.1. ნავთობის ნახშირწყალბადებით დაბინძურება

ოკეანეებსა და ზღვებში ჩატარებული მრავალრიცხოვანი გამოკვლევების საფუძველზე შესაძლებელია მთელი რიგი ზოგადი დასკვნების გამოტანა მსოფლიო ოკეანის ქიმიური დაბინძურების მდგომარეობის შესახებ. თანამედროვე მსოფლიო ოკეანის დაბინძურება უკვე გლობალური ხასიათისაა. პრაქტიკულად ყველა დამაბინძურებელი ნივთიერება მცირე ან მნიშვნელოვანი კონცენტრაციით გვხვდება ოკეანის ნებისმიერ რაიონში. გამოვლენილია ძირითადი ცირკულაციური სისტემების როლი დამაბინძურებელ ნივთიერებათა გადანაწილებასა და დაგროვებაში. გოლფსტრიმი და ჩრდილო ატლანტიკური დინებები ამცირებს ჩრდილოეთ ამერიკის და ევროპის სანაპირო ზონების ინტენსიურ დაბინძურებას და მავნე მინარევების აკუმულაცია ხდება სარგასის, ნორვეგიის და ბარენცის ზღვებში. ციკლონური და ანტიციკლონური ხასიათის ოკეანური გრივალები, წყლის ვერტიკალური მოძრაობა დივერგენციებში, კონვერგენციაში და აპელინგში ქმნიან სივრცეში დამაბინძურებელი ნივთიერებების მნიშვნელოვან არათანაბარ განაწილებას.

შელფურ წყლებში, ნავთობის გადაზიდვის და ინტენსიური ნაოსნობის რაიონებში, ოკეანეთა ფართო აკვატორიებზე ყალიბდება ნავთობის ნახშირწყალბადებით დაბინძურების ველები.

მსოფლიო ოკეანის წყლების ზედაპირულ დაბინძურებაზე ჩატარებული დაკვირვებების საფუძველზე გამოვლენილია დაბინძურების მდგრადი კერები. ატლანტიკის ოკეანეში ნავთობის აფსკები ყველაზე ხშირად გვხვდება ჩ.გ.10 და 50°-ს შორის. შელფური წყლების ზოგიერთ ზონებში აფსკების აღმოჩენის სიხშირე 10%-ს აღემატება, ხოლო აფრიკის სანაპიროებსა და კარიბის ზღვის აუზში 15%-ზე მეტია.

წყნარ ოკეანეში ნავთობის ფენა, აფსკი ყველაზე ხშირია ახლო აღმოსავლეთიდან და ინდონეზიიდან იაპონიისაკენ მიმავალ სანაოსნო ტრასებზე და ნავთობის გადაზიდვის გზებზე (40% და მეტი), ხოლო მათგან დაშორებით რამდენადმე კლებულობს (20% და ნაკლები). ნავთობის აფსკებით დაფარვის საშუალო სიხშირე სამხრეთ ჩინეთის ზღვისათვის 21%-ია, კუროსიოსათვის 13%, ხოლო იაპონიის ზღვისათვის 6%.

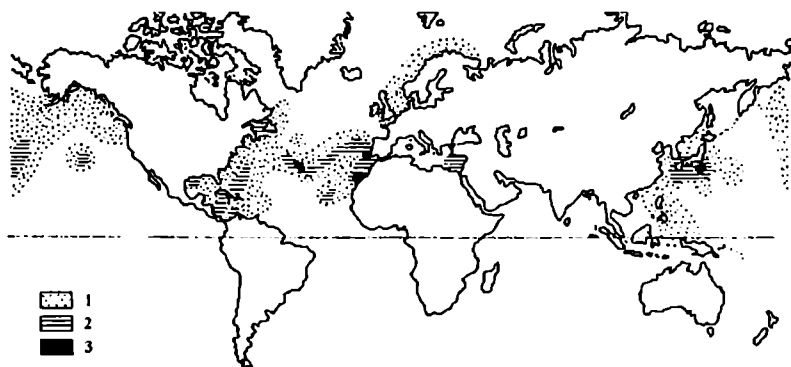


ნახ. 3.1. ნავთობის აფსკების განაწილება მსოფლიო ოკეანის ზედაპირზე (1980 წ., კლადიმიროვი და სხვ.)

ინდოეთის ოკეანეში ნავთობის აფსკით მუდმივად დაფარულია წითელი ზღვის, აღენის და სპარსეთის ყურეების მნიშვნელოვანი აკვატორიები.

ნავთობის ცალკეული გუნდები (აგრეგატები) აღინიშნება პირდაპირი დაბინძურების და ოკეანეების ღია რაიონებში (ნახ. 3.2). ნავთობის აგრეგატების სივრცობრივი გადანაწილება წყლების ცირკულაციურ სისტემაში ზედაპირული დინებებით ხორციელდება. კანარის დინების წყლებში გუნდების კონცენტრაცია  $2,5-60,7$  მგ/მ<sup>2</sup>-ს აღწევს; მისი საშუალო წლიური მნიშვნელობა  $0,74$  მგ/მ<sup>2</sup>-ია. აქედან ჩრდილო-პასატური დინებით ის გადაიტანება დასავლეთით და გროვდება სარგასის ზღვაში ( $9,6$  მგ/მ<sup>2</sup>), შემდეგ ჩრდილო-ატლან-

ტიკური დინებით ტრანსპორტირდება და გროვდება ნორვეგიისა და ბარენცის ზღვებში (6,8 მგ/მ). სუბპოლარული ფრონტი მდგრადი ბარიერის როლს ასრულებს ნავთობის აგრეგატების მოზვედრისათვის გრელანდიის ზღვაში და ნორვეგიის ზღვის დასავლეთ ნაწილში. აქ, ისევე, როგორც ეკვატორულ და სამხრეთ ატლანტიკაში, მათი შემცველობა მცირდება  $0,01 \text{ მგ/მ}^2$ -მდე. ნავთობის აგრეგატების მაღალი კონცენტრაციები ( $100 \text{ მგ/მ}^2$ -მდე) აღინიშნება იაპონიის სამხრეთით, ჰავაის კუნძულებსა და სან-ფრანცისკოს რაიონებს შორის.



ნახ. 3.2. ნავთობის აგრეგატების კონცენტრაცია მსოფლიო ოკეანის ზედაპირზე (1980 წ., გლადიმიროვი და სხვ.)

1)  $1 \text{ მგ/მ}^2$ -ზე ნაკლები, 2)  $1-10 \text{ მგ/მ}^2$ , 3)  $10-100 \text{ მგ/მ}^2$

ჩრდილოეთ ატლანტიკაში ჩატარებული დაკვირვებების საფუძველზე დადგინდა, რომ ნავთობის ნახშირწყალბადების გუნდებით მაქსიმალური დაბინძურება 1980 წელს აღინიშნა, ხოლო შემდეგ შეიმჩნევა მისი კლების ტენდენცია. ნავთობის გუნდების არსებობის ხანგრძლივობა წყლის ზედაპირზე ერთ წლამდეა.

გახსნილი ემულგირებული ნავთობის ნახშირწყალბადების კონცენტრაციის განაწილებას ოკეანეში კეროვანი არამდგრადი ხასიათი აქვს, ამავე დროს მჭიდრო კავშირშია დაბინძურების წყაროებთან და წყლის ცირკულაციის პროცესებთან. ჩრდილოეთის, ხმელ-



თაშუა და წითელ ზღვებში, სპარსეთის, ომანის და აღენის ყურე-  
ებში მისი მაქსიმალური კონცენტრაცია 0,05 მგ/ლ-ს აღემატება,  
ცალკეულ შემთხვევაში კი – 0,30 მგ/ლ-ს, ზოგჯერ კი 1 მგ/ლ-ს  
აღწევს. ჩრდილოეთ ატლანტიკის ზედაპირულ წყლებში ნახშირ-  
წყალბადების შემცველობა იცვლება 0-დან 0,6 მგ/ლ-მდე. ჩრდილო  
ატლანტიკა ძირითადად დაბინძურებულია ჩ.გ.20 და 40° ინტერ-  
ვალში, რაც ანტიციკლონური წრებრუნვის შედეგია. მის საზღ-  
ვრებს გარეთ ნახშირწყალბადების კონცენტრაცია მინიმალურია.

### ცხრილი 3.1.

ნავთობის ნახშირწყალბადების საშუალო კონცენტრაცია წყნარი  
ოკეანის ჩრდილო-დასავლეთ რაიონში წყლის ზედა ფენებში  
(ვლადიმეროვი და სხვ., 1991)

| აკვატორია               | დაკვირვებათა<br>რიცხვი | საშუალო<br>კონცენტრაცია<br>მგ/ლ | საშუალო<br>კვადრატული<br>გადახრა მგ/ლ |
|-------------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| სამხრეთ ჩინეთის ზღვა    | 89                     | 25                              | 34                                    |
| ფილიპინის ზღვა          | 143                    | 17                              | 18                                    |
| აღმოსავლეთ ჩინეთის ზღვა | 18                     | 20                              | 12                                    |
| კუროსიოს რაიონი         | 431                    | 34                              | 44                                    |
| იაპონიის ზღვა           | 268                    | 28                              | 33                                    |
| ოიასიოს რაიონი          | 72                     | 29                              | 31                                    |

წყნარი ოკეანის ჩრდილო-დასავლეთ რაიონის წყლის ზედა ფე-  
ნებში ნავთობის ნახშირწყალბადების საშუალო კონცენტრაცია (ცხრი-  
ლი 3.1) მსოფლიო ოკეანის ნავთობით დაბინძურების ფონური  
დონის ტოლია და შეადგენს 0-30 მგ/ლ. მაგრამ მთავარი სანა-  
ოსნო ტრასების გასწვრივ (კუროსიოს დინება, სამხრეთ ჩინეთის  
ზღვა) დაბინძურების დონე მომატებულია და აღემატება მის ზღვრუ-  
ლად დასაშვებ კონცენტრაციას (ზღკ) – 50 მგ/ლ.

ნავთობის ნახშირწყალბადების ვერტიკალური განაწილება ოკეანეში ხასიათდება კონცენტრაციის მაქსიმუმით ზედა კვაზიერთგვაროვან ფენაში და სიღრმის მიხედვით სწრაფად კლებულობს, ხოლო 500 მ-ის სიღრმეზე, როგორც წესი, გახსნილი ემულგირებული ნავთობის ნახშირწყალბადები არ აღინიშნება.

ზღვის წყლებსა და ფსკერულ ნალექებში ნავთობის ნახშირწყალბადების კონცენტრაცია ფართო ღიაპაზონში იცვლება. 1993 წლის მონაცემებით, ბერინგის ზღვის სამხრეთ-დასავლეთ ნაწილში წყალში ნავთობის ნახშირწყალბადების კონცენტრაცია 19,1-41,7 მკგ/ლ, ხოლო ფსკერულ ნალექში 9,0-13,6 მკგ/გ ღიაპაზონში იცვლებოდა. ოხოტის ზღვაში 1988 წლის მონაცემების თანახმად, წყალში ნავთობის ნახშირწყალბადების საშუალო შემცველობა 17 მკგ/ლ შეადგენდა, ხოლო ფსკერულ ნალექში მისი კონცენტრაცია 3,8-19,6 მკგ/გ ზღვრებში მერყეობდა. 1994 წელს შესწავლილ იქნა იაპონიის ზღვის წყლებში, ფსკერულ ნალექსა და ზოოპლანქტონში ნავთობის ნახშირწყალბადების შემცველობა. საშუალოდ მისმა კონცენტრაციამ წყლებში – 9,2 მკგ/ლ, ფსკერულ ნალექში 5,4 მკგ/გრ, ხოლო ზოოპლანქტონში – 130 მკგ/გ შეადგინა. ნავთობის ნახშირწყალბადების შედარებით დიდი რაოდენობა დაფიქსირდა ბალტიის ზღვაში, სადაც მისი კონცენტრაცია წყლის მიკროშრეში 8-130 მკგ/ლ, ზედაპირულ წყლებში 0,5-43,6 მკგ/ლ., ხოლო ფსკერულ ნალექში 1-326 მკგ/გ ზღვრებში მერყეობდა, საშუალო შემცველობები კი შესაბამისად 45,5 მკგ/ლ, 11,7 მკგ/ლ და 54 მკგ/გ-ს შეადგენდა. რიგის ყურეში (1992 წ.) სანაპირო ზონასთან შედარებით ნავთობის ნახშირწყალბადების შედარებით დიდი კონცენტრაცია ღია ზღვის ფსკერულ ნალექში დაფიქსირდა. სანაპირო ზონაში მისი შემცველობა 0,3-20 მკგ/გ, ხოლო ღია ზღვაში 30-50 მკგ/გ ზღვრებში მერყეობდა. 1980-1990 წლამდე კასპიის, აზოვის და შავი ზღვის (რუსეთის ნაწილი) წყლებში ნავთობის ნახშირწყალბადების კონცენტრაციები, შესაბამისად 0,06 მკგ/ლ-დან 0,22 მკგ/ლ-მდე, 0,07 მკგ/ლ-დან 0,38 მკგ/ლ-მდე, 0,05 მკგ/ლ-დან 0,32 მკგ/ლ-მდე გაიზარდა.

### 3.2. მდგრადი ორგანული დამაბინძურებლები (მოდები)

ოკეანის წყლებში იდენტიფიცირებულია ქლორორგანული პესტიციდები — ე.წ. მდგრადი ორგანული დამაბინძურებლები: დღტ (დიქლორდიფენილტრიქლორეთანი), მისი მეტაბოლიტები: დდე (დიქლორდიფენილდიქლორეთილენი), დდდ (დიქლორდიფენილდიქლორეთანი), პქკგ (პეკსაქლორციკლოპექსანი), პქბ-ები (პოლიქლორირებული ბიფენილები).

ოკეანეში ქლორორგანული ნივთიერებები არათანაბრადაა განაწილებული. შეინიშნება კონცენტრაციის მაღალი, დაბალი და ნულოვანი ზონების მონაცვლეობა. ქლორორგანული ნივთიერებებით დაბინძურების ლოკალური მონაკვეთები აღინიშნება არა მხოლოდ დაბინძურების წყაროსთან ახლოს, არამედ ოკეანის ღია რაიონებშიც, რაც დინამიკური განბნევიითა და ატმოსფერული გადატანითაა განპირობებული. ამიტომ ოკეანის ზედაპირულ ფენაში ქლორორგანული პესტიციდების კონცენტრაცია მნიშვნელოვნად იცვლება დროსა და სივრცეში.

ისევე როგორც ნავთობპროდუქტების შემთხვევაში, ქლორორგანული პესტიციდების დაგროვების პროცესი აღინიშნება წყლის ნაკადების პერიფერიებზეც და ფრონტალურ ზონებშიც.

მიუხედავად იმისა, რომ ქლორორგანული პესტიციდების მნიშვნელოვანი კონცენტრაცია აღინიშნება ზედაპირულ ორგანულ ფენაში, ზედაპირულ მიკროფენაში და ცოცხალ ორგანიზმებში, ის ასევე აღწევს ღრმად ოკეანეში. ამასთან, როგორც წესი, მათი შემცველობა 0-100მ სიღრმის ფენაში საკმარისად ერთგვაროვანია, ხოლო 500მ სიღრმეზე 2-ჯერ მცირდება. წყლის სიღრმეში დღტ-ს მეტაბოლიზმის ყველაზე მეტად გავრცელებული ძირითადი პროდუქტი დდე-ა.

### 3.3. სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებით დაბინძურება (სზან)

სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების საშუალო კონცენტრაცია ოკეანის ზედაპირულ ფენაში შეადგენს 27-30 მკგ/ლ-ს, ხოლო 500 მ სიღრმეზე 8-9 მკგ/ლ-ს. ჩრდილოეთ ატლანტიკის 1 მ-ის

სისქის ზედაპირულ ფენაში სზან-ის 30-40 მკგ/ლ სიღიღის კონცენტრაცია 70%-იანი განმეორებით დაიკვირვება.

სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების (სზან) სივრცითი განაწილება ხასიათდება დაბინძურების ველის ლოკალიზაციით (100 მკგ/ლ-ზე მეტი) ჩრდილოეთ ამერიკის, დასავლეთ ევროპის და აფრიკის შელფურ ზონებში. ღია ოკეანეში მათი კონცენტრაცია მცირდება 20-30 მკგ/ლ-მდე და აკვატორიაზე უთანაბრო განაწილებით გამოირჩევა.

ზედაპირული მიკროფენისაქენ სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების სწრაფვა განპირობებულია მისი ფიზიკურ-ქიმიური თვისებებით, მაგრამ მნიშვნელოვანი ხსნადობა და წყლის ვერტიკალური მოძრაობა ხელს უწყობს ოკეანის ღრმა ფენაში ჩაღწევას. ბიოდეგრადაციის პროცესების გამო ნივთიერებათა კონცენტრაცია სიღრმეში ვერტიკალურად მკვეთრად მცირდება (იხ. ცხრილი 3.2).

ცხრილი 3.2.

ნავთობის ნახშირწყალბადების (1979 წ.) ქლორორგანული ნივთიერებების (1982 წ.) და სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების (1982 წ.) კონცენტრაციების ვერტიკალური განაწილება ჩრდილოეთ ატლანტიკაში (ვ. ი. სიმონოვა, 1985)

| პირიზონტი<br>მ | ნავთობის<br>ნახშირწყალბადები<br>მგ/ლ | ქლორორგანული<br>ნივთიერებები<br>მგ/ლ | სინთეზური,<br>ზედაპირულად-<br>აქტიური<br>ნივთიერებები<br>მკგ/ლ |
|----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 0              | 0,02(0-0,11)                         | 0,49(0-2,45)                         | 32(0-112)                                                      |
| 10             | 0,02(0-0,12)                         | 0,48(0-1,76)                         | 27(0-77)                                                       |
| 50             | 0,02(0-0,10)                         | 0,31(0-0,81)                         | 17(0-68)                                                       |
| 100            | 0,01(0-0,09)                         | 0,38(0-1,11)                         | 10(0-41)                                                       |
| 500            | 0,01(0-0,05)                         | 0,24(0-0,66)                         | 7(0-28)                                                        |

წყნარი ოკეანის აუზში სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებით უდიდესი დაბინძურება დაიკვირვება სამხრეთ ჩინეთის და აღმოსავლეთ ჩინეთის ზღვებში, სადაც მისი საშუალო კონცენტრაცია ცალკეულ წლებში აღემატება 40 მკგ/ლ-ს, იაპონიის ზღვაში 25-35 მკგ/ლ-მდეა.

ოკეანეში სიღრმის ზრდასთან ერთად მუდმივად აღინიშნება სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების შემცველობის მკვეთრი შემცირება და ზედაპირულ მიკროფენაში მდგრადი დაგროვება.

### 3.4. მძიმე მეტალებით დაბინძურება

მძიმე მეტალების კონცენტრაცია ოკეანის ღია რაიონებიდან შელფისა და შიდა ზღვების მიმართულებით იზრდება. ეს ნათლად ჩანს ცხრილ 3.3-დან.

ვერცხლისწყლით ზღვის წყლის დაბინძურება ძირითადად შემოსაზღვრება სანაპირო ზონით და შელფით. ოკეანეში ვერცხლისწყლის დაბალი კონცენტრაცია ართულებს მის ქიმიურ-ანალიზურ განსაზღვრას, ამიტომ დღეისათვის არ არის დადგენილი ოკეანის წყლებში ვერცხლისწყლის სივრცითი და დროითი განაწილების კანონზომიერება.

ცხრილი 3.3.

ზოგიერთი მეტალის კონცენტრაცია ოკეანის წყლებში  
(იზრავლი, ციბანი, 1988, 1989, გერლახი, 1985)

| ელემენტი            | რაიონი            | კონცენტრაცია<br>მკგ/ლ |
|---------------------|-------------------|-----------------------|
| ვერცხლისწყალი<br>Hg | ატლანტიკის ოკეანე | 0,01-0,15             |
|                     | ჩრდილო-აღმოსავლეთ |                       |
|                     | ატლანტიკა         | 0,01-0,02             |
|                     | ჩრდილო-დასავლეთ   |                       |
|                     | ატლანტიკა         | 0,01-0,110            |
|                     | ჩრდილოეთის ზღვა   | 0,01-0,07             |
|                     | ბალტიის ზღვა      | 0,01-0,04             |

|                |                                                                            |                                                   |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| ტყვია<br>Pb    | ატლანტიკის ოკეანე<br>ჩრდილოეთის ზღვა<br>ბალტიის ზღვა                       | 0,002-0,110<br>0,02-0,8<br>0,5-2,0                |
| კადმიუმი<br>Cd | ჩრდილოეთ ატლანტიკა<br>სამხრეთ ატლანტიკა<br>ჩრდილოეთის ზღვა<br>ბალტიის ზღვა | 0,04-0,30<br>0,03-0,17<br>0,01-0,28<br>0,005-0,30 |
| სპილენძი<br>Cu | სამხრეთ ატლანტიკა<br>ჩრდილოეთის ზღვა<br>ბალტიის ზღვა                       | 0,4-3,8<br>0,3-4,4<br>0,5-4,5                     |
| თუთია<br>Zn    | სამხრეთ ატლანტიკა<br>წყნარი ოკეანის ჩრდილო-<br>დასავლეთი ნაწილი            | 0,9-5,2<br>2-18                                   |

ტყვია აეროზოლებთან ერთად ზედება ატლანტიკის და წყნარ ოკეანეებში, რის გამოც მისი კონცენტრაცია არსებითად გაზრდილია 0-500მ ფენაში. ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს ზღვის სანაპირო წყლებში ტყვიის საშუალო კონცენტრაცია 0,07 მკგ/ლ-ია, მაშინ, როდესაც ტყვიის საწვავის ანტიდეტონატორად გამოყენებამდე მისი კონცენტრაცია არ აღემატებოდა 0,01-0,02 მკგ/ლ-ს.

კადმიუმის კონცენტრაცია ოკეანის წყლებში მერყეობს 0,03-დან 0,3 მკგ/ლ-ის ფარგლებში და საშუალოდ უდრის 0,15 მკგ/ლ-ს.

### 3.5. ოკეანის ზედაპირული მიკროფენის დაბინძურება

დამაბინძურებელი ნივთიერებების ლოკალიზაცია ზედაპირულ მიკროფენაში (სისქით 300 მკმ-მდე) განპირობებულია ოკეანე-ატმოსფეროს გამყოფ ზედაპირზე თხელი ზედაპირული აფსკის ფიზიკურ-ქიმიური და ეკოლოგიური თავისებურებებით. ამ ზედაპირზე კონცენტრირდება მრავალი ჰიდროფობური და ზედაპირულად აქტიური თვისებების მქონე ნივთიერებები.

### ცხრილი 3.4.

ნავთობის ნახშირწყალბადების მაზასიათებლების განაწილება  
 ზედაპირულ მიკროფენაში ჩრდილოეთ ატლანტიკის  
 სხვადასხვა რაიონში  
 (ელადიმბროვი და სხვ., 1991)

| პოზიციონი                                                        | დაკონტინირების<br>რეცხვი | კონცენტრაციის<br>დიაპაზონი<br>მგ/ლ | საშუალო<br>კონცენტრაცია<br>მგ/ლ | საშუალო<br>კონცენტრაციის<br>გადახრა<br>მგ/ლ |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|
| კანარის დინების რაიონი, აგვისტო 1976 წ.                          |                          |                                    |                                 |                                             |
| ზედაპირული                                                       | 38                       | 1,2-15,0                           | 5,49                            | 0,04                                        |
| მიკროფენი<br>1 მ.                                                | 38                       | 0,0-0,20                           | 0,06                            | 0,001                                       |
| ჩრდილო პასატური დინების რაიონი, ზამთარი 1975 წ.                  |                          |                                    |                                 |                                             |
| ზედაპირული                                                       | 121                      | 0,2-2,60                           | 1,40                            | 0,08                                        |
| მიკროფენი<br>1 მ.                                                | 121                      | 0,0-0,15                           | 0,03                            | 0,001                                       |
| ჩრდილო ატლანტიკის ჩრდილო-აღმოსავლეთის რაიონი,<br>ზამთარი 1977 წ. |                          |                                    |                                 |                                             |
| ზედაპირული                                                       | 99                       | 0,20-2,87                          | 0,95                            | 0,06                                        |
| მიკროფენი<br>1 მ.                                                | 99                       | 0,00-0,05                          | 0,001                           | 0,0001                                      |

ოკეანის ზედაპირულ მიკროფენაში დაბინძურების განაწილების და ცვალებადობის დეტალურ სურათს იძლევა ცხრილი 3.4, რომელიც მიღებულია რუსეთის სახელმწიფო ოკეანოგრაფიული ინსტიტუტის მიერ ატლანტიკის ოკეანეში ჩატარებული დაკვირვებების საფუძველზე.

როგორც ცხრილიდან ჩანს, ნავთობის ნახშირწყალბადების კონცენტრაცია ზედაპირულ მიკროფენაში იცვლება რამდენიმე მეათედი მგ/ლ-დან 15 მგ/ლ-მდე (ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია 0,05 მგ/ლ-ია).

ჩატარებულმა გამოკვლევებმა გამოავლინა ნავთობის ნახშირწყალბადების ოკეანის ზედაპირულ მიკროფენაში გავრცელების კა-

ნონზომიერებანი. ნაპირიდან, შელფიდან და იმ არეებიდან დაშორებით, საიდანაც ხდება ამ ნივთიერებების შემოტანა ზღვის გარემოში, შეინიშნება ნავთობის ნახშირწყალბადების საერთო კონცენტრაციის შემცირება (საშუალოდ 3,1 მგ/ლ-დან შელფზე, 1,7 მგ/ლ-მდე ნაპირიდან დაშორებით).

ზედაპირულ მიკროფენაში წყლის ქვედა ფენებთან შედარებით აღინიშნება ქლორორგანული პესტიციდების კონცენტრაციის 1-2 რიგით მომატება, რაც განპირობებულია ამ ნივთიერებების ოკეანეში ატმოსფეროდან მოხვედრითა და ნავთობისა და ბუნებრივი ზედაპირული აფსკების აღსორბციით. ნავთობის ნახშირწყალბადების მსგავსად, ქლორორგანული ნივთიერებების განაწილება სივრცეში არაერთგვაროვანია და ხარისხობრივადაც იცვლება. მაგალითად, დღტ-ს კონცენტრაცია ნაპირიდან დაშორებისას მცირდება, ხოლო მისი მეტაბოლიტების (დღდ, დღე, და სხვა) იზრდება. დღტ-ს და მისი მეტაბოლიტების შემცველობის თანაფარდობით განისაზღვრება ქლორორგანული პესტიციდების ოკეანეში არსებობის ხანგრძლივობა. რაც უფრო მეტია ეს თანაფარდობა, მით უფრო ახალია ქლორორგანული პესტიციდებით წყლის დაბინძურება. ქლორორგანული პესტიციდების მაქსიმალური საშუალო წლიური კონცენტრაცია ოკეანის ზედაპირულ მიკროფენაში წანაცვლებულია შელფური რაიონებისაკენ. მაგალითად, კანარის კუნძულებსა და მწვანე კონცხის კუნძულებს შორის მისი საშუალო წლიური კონცენტრაცია დაახლოებით 220 ნგ/ლ-ს შეადგენს.

ნავთობის ნახშირწყალბადებისა და ქლორორგანული პესტიციდების კონცენტრაციებს შორის გამოვლენილია მჭიდრო კორელაციური კავშირი (კორელაციის კოეფიციენტი —  $0,78 \pm 0,06$ ). მრავლობითი კორელაციის კოეფიციენტი ნავთობის ნახშირწყალბადების, ქლორორგანული პესტიციდების და სინთეზური ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებების კონცენტრაციებს შორის 0,88-ა, რაც საკმაოდ მაღალია. დაბინძურების წყაროდან დაშორებისას ამ კოეფიციენტების მნიშვნელობები მცირდება.



### ცხრილი 3.5.

მიკროელემენტების კონცენტრაცია (მკგ/ლ) (ფრჩხილებში მოცემულია ცვლილების საზღვრები) წყნარი ოკეანის ჩრდილო-დასავლეთი ნაწილის ზედაპირულ წყლებში, 1980 წლის ზაფხული

| ელემენტი | ზედაპირული მიკროფენა | l მ          |
|----------|----------------------|--------------|
| Fe       | 14(6-47)             | 6(3-10)      |
| Cu       | 0,7(0,3-1,1)         | 0,3(0,2-0,6) |
| Zn       | 11(6-22)             | 8(2-18)      |
| Mn       | 1,0(0,3-6,4)         | 0,4(0,3-1,2) |

მზიმე მეტალების დაგროვება ოკეანის ზედაპირულ მიკროფენაში უმთავრესად ხდება ატმოსფერული აეროზოლების საშუალებით (ვერცხლისწყალი, ტყვია) და მეტალების უნარით, წარმოქმნან მეტალოორგანული კომპლექსები, რომლებიც გახსნილია ზედაპირულ ორგანულ აფსკში. მსგავსი კანონზომიერება შეინიშნება წყნარ ოკეანეში (ცხრილი 3.5).

ზედაპირულ მიკროფენაში დაგროვილი დამაბინძურებელი ნივთიერებები გავლენას ახდენს ოკეანის ზედაპირის ფიზიკურ თავისებურებებზე. წყლის ზედაპირული დაჭიმულობა მცირდება 19%-ით. დინამიკური სიბლანტე მატულობს 5-10%-ით. ზედაპირული მიკროფენის ტემპერატურა მცირდება 0,2-0,6°C-ით და გაყინვის ტემპერატურა ეცემა -5°C-მდე და უფრო დაბლა.

### 3.6. კანცეროგენური ნივთიერებებით დაბინძურება

თანამედროვე გამოკვლევების შედეგად დადგენილია, რომ ატმოსფეროსა და ზღვის გარემოში აქტიურად ცირკულირებს ბენზოპირენი. ის გროვდება ოკეანის ზედა მიკროფენაში, ზღვის ბიოტაში და ფსკერულ ნალექებში. მსოფლიო ოკეანეში ბენზოპირენის კონცენტრაციის განაწილების შესახებ შეიძლება ვიმსჯელოთ ცხრილ 3.6-ში მოყვანილი მონაცემებით.

ოკეანეში სიღრმის ზრდასთან ერთად ბენზოპირენის კონცენტრაცია კლებულობს და მინიმუმს წყლის მასების სიღრმეში აღ-

წევს. სივრცობრივი განაწილება არაერთგვაროვანია, რაც დაკავშირებულია დაბინძურების წყაროების არათანაბარ განაწილებასთან.

### ცხრილი 3.6.

მსოფლიო ოკეანის ზოგიერთი რაიონის ზედაპირულ ფენაში ბენზოპირენის განაწილება

| დაკვირვების რაიონი   | პორიზონტი, სმ | საშუალო კონცენტრაცია ნგ/ლ |
|----------------------|---------------|---------------------------|
| ატლანტიკის ოკეანე    | 0,03          | 0,35                      |
|                      | 15            | 0,28                      |
| ხმელთაშუა ზღვა       | 0,03          | 0,41                      |
|                      | 15            | 0,07                      |
| წითელი ზღვა          | 0,03          | 0,51                      |
| არაბეთის ზღვა        | 15            | 2,05                      |
| ინდოეთის ოკეანე      | 0,03          | 0,38                      |
| (ეკვატორული რაიონი)  | 15            | 0,2                       |
| სამხრეთ ჩინეთის ზღვა | 15            | 0,62                      |

### 3.7. ოკეანის რადიაქტიური დაბინძურება

წყნარი ოკეანის რადიაქტიური დაბინძურების დონე აღემატება ატლანტიკის ოკეანის დაბინძურების დონეს, რაც განპირობებულია წყნარ ოკეანეში მრავალრიცხოვანი ბირთვული აფეთქებებით. 1954-1958 წლებში წყნარი ოკეანის ცენტრალურ ნაწილში ბირთვული იარაღის გამოცდების შედეგად შეიქმნა  $^{90}\text{Sr}$ -ის ზედაპირული და სიღრმითი განაწილების მკვეთრი დინამიკური სურათი, რადიონუკლიდების გადატანით ეკვატორულ ოლქებიდან ოკეანის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში, სადაც მისი კონცენტრაცია იცვლება 0,022-0,115 ბკ/ლ დიაპაზონში. ამ დროისათვის წყნარ ოკეანეში დაჭერილი თევზების უმრავლესობას მიღებული ჰქონდა ძლიერი რადიაქტიური დასხივება. 1967 წლისათვის  $^{90}\text{Sr}$ -ის და  $^{137}\text{Cs}$ -ის შემცველობა რამდენადმე გათანაბრდა და შეადგინა შესაბამისად 1,2-2,1 და 2,2-2,0 მბკ/ლ.

ინდოეთის ოკეანის ზედაპირულ წყლებში  $^{90}\text{Sr}$ -ის შემცველობა 2,3-8,2 მკ/ლ-ია. აქ რადიონუკლიდების შემცველობა საშუალოდ უფრო მეტია, ვიდრე ატლანტიკისა და წყნარ ოკეანეში. ეს აიხსნება წყნარი ოკეანიდან ბირთვული აფეთქების პროდუქტების ტროპოსფერული გადატანით და ეკვატორული ზონიდან წყნაროკეანური წყლების გადმოტანით.

ირლანდიის ზღვაში დიდი ბრიტანეთის მიერ ჩაშვებულ ნარჩენებს მნიშვნელოვანი წვლილი შეაქვს ჩრდილო-აღმოსავლეთ ატლანტიკის რადიაქტიულობაში, ამასთანავე, რადიაქტიუობის ველები კარგ კორელაციაშია ღინებების ველებთან.

ბირთვული აფეთქების დროს ატმოსფეროში ამოფრქვეული ტრიტიუმის დიდი რაოდენობა საბოლოოდ თავს იყრის მსოფლიო ოკეანეში.  $^3\text{H}$ -ის მაქსიმუმი აღინიშნება ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს წყნარი და ატლანტის ოკეანის ზედაპირული წყლების საშუალო განედებში, ხოლო ბუნებრივ დონესთან მიახლოება ხდება ეკვატორზე. ასეთი განაწილება განპირობებულია მისი ატმოსფეროდან მოხვედრით.

პლუტონიუმის იზოტოპების მომატებული კონცენტრაცია შეინიშნება ირლანდიის ზღვის ჩრდილო-აღმოსავლეთ ნაწილში, რამდენადმე ნაკლები – წყნარი ოკეანის ჩრდილო-დასავლეთ ზონაში, ხოლო მინიმალური – მსოფლიო ოკეანის სამხრეთ რაიონებში.

რადიონუკლიდების ვერტიკალურ განაწილებას ოკეანეში რთული ხასიათი აქვს.  $^{90}\text{Sr}$ -ის,  $\text{Pu}$ -ის და  $^{137}\text{Cs}$ -ის კონცენტრაციის მინიმუმი ზედაპირულ ფენაში აღინიშნება, მაქსიმუმი – 100-700მ. სიღრმეზე, შემდეგ კონცენტრაცია სწრაფად მცირდება ფსკერისაკენ.

## თავი IV. დამაბინძურებელი ნივთიერებებისაგან ზღვის გარემოს თვითგაწმენდის პროცესები

### 4.1. ნავთობის დეგრადაცია ზღვაში

წყლის თვითგაწმენდის უნარი დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, პირველ რიგში ფიზიკურ, ფიზიკო-ქიმიურ, ბიოქიმიურ და ბიოლოგიურ ფაქტორებზე. პირობინამიკური ფაქტორები განაპირობებენ თვითგაწმენდის პროცესების დაჩქარებას ან შენელებას. თვითგაწმენდის შედეგად ხდება ზღვის წყლის ბუნებრივი მაქსიმალური ადღენა.

დამაბინძურებელ ორგანულ ნივთიერებათა კომპლექსისაგან წყლის თვითგაწმენდის მთავარი ფაქტორია დესტრუქტორ-მიკროორგანიზმების ცხოველმოქმედება, რომელთაც შეუძლიათ ორგანული ნივთიერების ტრანსფორმაცია და გადაყვანა მინერალურ მდგომარეობაში.

თვითგაწმენდის ყველა ფაქტორის რაოდენობრივი შეფასება და აღწერა ძალზე რთულია და დღეისათვის არ არის მთლიანად შესაძლებელი.

განვიხილოთ ცალკეულ ორგანულ ნივთიერებათა ჯგუფისგან წყლის თვითგაწმენდის მექანიზმები, როცა ბიოქიმიური ზემოქმედება განსაკუთრებით გამოკვეთილია.

ნავთობის აფსკების რღვევისას ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პროცესია აორთქლება. ნახშირწყალბადები  $C_{15}^1$ -მდე, რომელთათვისაც დუდილის ტემპერატურა  $250^{\circ}C$ -მდეა, წყლის ზედაპირიდან აქროლდება 10 დღე-ღამის განმავლობაში; ნახშირწყალბადები დიაპაზონში  $C_{15}$ -  $C_{25}$  (დუდილის ტემპერატურა  $250-400^{\circ}C$ ) რჩება შედარებით ხანგრძლივად, ხოლო  $C_{25}$ -ზე მძიმე ფრაქციები პრაქტიკულად არ აორთქლდება. ერთჯერად აორთქლებას შეუძლია მთლიანობაში

---

<sup>1</sup> 15-ატომური რიცხვი.

წყლის ზედაპირს მოაცილოს 50%-მდე ნავთობის ნახშირწყალბადი, 10%-მდე მძიმე ნავთობი და 75%-მდე მსუბუქი ნავთობი.

კასპიის ზღვაში ჩატარებული გამოკვლევების თანახმად, ნავთობის ნახშირწყალბადების გარკვეული ნაწილი ფიზიკურ-ქიმიური დაჟანგვის შედეგად შეიძლება დაიშალოს. პროცესი გულისხმობს თავისუფალ რადიკალურ ჯაჭვურ რეაქციას, რომელიც სრულდება ჰიდროზეჟანგების წარმოქმნით. ეს უკანასკნელი კი ნახშირწყალბადებზე შემდგომი ჟანგითი ზემოქმედების ინიციატორია. ამავე დროს პროცესს ასტიმულირებს მეტალორგანული ნივთიერებები და მზის რადიაციის ფოტოქიმიური ზემოქმედება. დღე-ღამეში, ნათელ, წყნარ ამინდში შეიძლება დაიჟანგოს 2 ტ/კმ<sup>2</sup> ნავთობი.

დადგენილია, რომ მიკროორგანიზმების აქტივობა განსაზღვრავს ზღვაში ნავთობის საბოლოო მდგომარეობას. გამოვლენილია მიკროორგანიზმების 70, მათ შორის ბაქტერიების 28, სოკოების 30 და საფუარის 12 სახეობა, რომლებიც ჟანგავენ ნახშირწყალბადებს. ქრონიკულად დაბინძურებულ ზღვის სანაპირო რაიონებში განსაკუთრებით მრავალრიცხოვანია ნახშირგოგირდჟანგავი ბაქტერიები, რომელთა კონცენტრაცია დაახლოებით  $10^3$ - $10^5$  კლ/მლ-ია.

ზღვის გარემოში ნავთობის დაშლის შედეგად გროვდება ზოგიერთი ნახშირწყალბადის არასრული დაჟანგვის პროდუქტი, რაც შემდგომ თავის მხრივ ზემოქმედებს მიკროფლორაზე. ეს პროდუქტებია: ჰიდროზეჟანგები, სპირტები, კეტონები, ალდეჰიდები, ლიპიდები, ორგანული მჟავები, ამინომჟავები, პიგმენტები, შაქრები, ფენოლები.

გარემოს სხვადასხვა ფაქტორის ზემოქმედებით ჩქარდება ან ნელდება ზღვაში ნავთობის ნახშირწყალბადების დაჟანგვის მიკრობული პროცესი. გაანგარიშებულია, რომ 1 ლ ნავთობის სრული დაჟანგვისათვის საჭიროა 3300 გ. ჟანგბადი. ამიტომ ნავთობის ნახშირწყალბადების დაჩქარებული დაჟანგვა შესაძლებელია, როდესაც წყალი კარგადაა გაჟერებული ჟანგბადით, ამისათვის ყველაზე ხელსაყრელი პირობები იქმნება წყლისა და ატმოსფეროს გამყოფ ზედაპირზე. ნავთობის ნახშირწყალბადების ბაქტერიულ დაჟანგვას აჩქარებს წყლის ბიოგენური ნივთიერებებით გამდიდრება. მაგალითად, ცნობილია, რომ 1 მგ ნავთობის სრული დაჟანგვისათვის საჭიროა დაახლოებით 4 მგ ნიტრატები. ნავთობის ბაქტერიული დაჟანგვა უფრო ეფექტურად მიმდინარეობს აზოტის ამიაკური ფორ-

მის არსებობისას, ვიდრე ნიტრატული ფორმებისას, ამასთან, პირველ შემთხვევაში დაჟანგვის სიჩქარე 1,5-2,0-ჯერ მეტია.

კასპიის ზღვაში ჩატარებული ექსპერიმენტების საფუძველზე დადგინდა, რომ ზღვის წყალში ნავთობის ჯამური დეგრადაცია მიმდინარეობს პირველი რიგის მონომოლეკულური რეაქციის კანონის თანახმად:

$$C_t = C_0 \cdot e^{-Kt}, \quad (4.1)$$

სადაც  $C_t$  და  $C_0$  – ნივთიერების საბოლოო და საწყისი კონცენტრაციებია,  $t$  – გარდაქმნის დროა,  $K$  – რეაქციის სიჩქარის მუდმივა.

ასეთ რეაქტივებში  $K = \ln 2 / \tau$ , სადაც  $\tau$  – ნივთიერების ნახევრად დაშლის პერიოდია.

დაშლის კინეტიკაში განმსაზღვრელი ფაქტორია ტემპერატურა, ასევე გავლენას ახდენს წყლის მარილიანობა. კასპიის ზღვაში მარილიანობის 1%-ით მომატება ნავთობის ნახევრად დაშლის პერიოდს 22 სთ-ით ზრდის.

უფრო ნაკლებადაა გამოკვეთილი pH-ის გავლენა, მისი 1,0-ით გაზრდისას ნავთობის ნახევარდაშლის პერიოდი მცირდება 24 სთ-ით.

მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტების შედეგად დადგინდა, რომ ზღვის მიკროორგანიზმებით ნავთობის ნახშირწყალბადების დაჟანგვის წილი საშუალოდ 50-60%-ია, 20-98% რყევადობით.

ჩატარებული გაანგარიშებებით ოპტიმალური თერმული და გაზური რეჟიმის პირობებში ნავთობის ნახშირწყალბადების მიკრობული დაჟანგვის სიჩქარემ კასპიის ზღვაში შესაძლოა მიაღწიოს 2,5 მგ/მ<sup>2</sup>-ს დღე-ღამეში, ანუ 240 მგ/მ<sup>2</sup>-ს ვეგეტაციური სეზონის განმავლობაში. მთლიანად ზღვისათვის ეს შეადგენს 9000 ტ-ს ზაფხულის განმავლობაში. ანალოგიური გაანგარიშებით ეს სიდიდე ბალტიის ზღვისათვის 1200-1500 ტ-ს შეადგენს.

არქტიკულ ზღვებში ნავთობის ნახშირწყალბადებისაგან თვითგაწმენდის პროცესებს შორის თანაფარდობა განსხვავებულია. თვითგაწმენდის მექანიზმში ძირითადი პროცესებია: აორთქლება (50-70%), ფოტოდაჟანგვა (15-30%) და ბიოლოგიური უტილიზაცია (2-7%). ეს ეხება გაზაფხულ-ზაფხულის პერიოდში ცენტრალური არქტიკის რაიონის ატმოსფეროს წყალთან და ყინულთან კონტაქტის საზღვარს. აღნიშნულ პირობებში ნავთობის აფსკის საერთო მასის 50-60%-ის ტრანსფორმაცია ხდება 40 დღე-ღამის

განმავლობაში. ზამთარში თვითგაწმენდის მექანიზმის ეფექტურობა ზაფხულთან შედარებით დაახლოებით სამჯერ მცირდება.

#### 4.2. სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების ბიოდეგრადაცია

წყალში ბიოქიმიური დაჟანგვის მდგრადობის ხარისხის მიხედვით სინთეზურ, ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებებს ყოფენ რბილ (ალკილსულფატები და ალკილსულფონატები), რომელთა 50% იშლება რამდენიმე დღე-ღამის განმავლობაში, და ხისტ (ალკილბენზოლსულფონატები, არაინოგენური და კატიონოაქტიური ნივთიერებები), რომელთა დაშლას ესაჭიროება 2 თვე და მეტი, ნივთიერებებად.

ანიონური სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების ბიოქიმიური დაჟანგვისას ადგილი აქვს შემდეგ რეაქციებს: 1) ჰიდროლიზი, 2) α-დაჟანგვა (სრული მეთილური ჯგუფების დაჟანგვა), 3) β-დაჟანგვა (ცხიმოვანი მჟავების დაჟანგვა), 4) არომატული რგოლის დაჟანგვა (გახლეჩა).

სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების ბიოქიმიური დაჟანგვა მიმდინარეობს ფერმენტული რეაქციების მიმდევრობის საფუძველზე. თუ ერთი რეაქცია შეჩერდა, მაშინ ნივთიერების ბოლომდე დაშლა ვერ სრულდება და გროვდება დაშლის შუალედური პროდუქტები.

ჟანგბადის მოლეკულა ცალკეულ ატომებად დაშლის გარეშე უერთდება დამჟანგავ ნივთიერებას, ამიტომ პირველ რიგში წარმოიქმნება წყალბადის ზეჟანგის ტიპის შუალედური შენაერთები, შემდეგ გარდაიქმნება სპირტად, რომელიც შემდგომი დაჟანგვის შედეგად გადადის კარბოქსილურ ჯგუფში. მეთილის ჯგუფის დაჟანგვისას წარმოიქმნება კარბონილური მჟავა, რომელიც თავის მხრივ განიცდის β-დაჟანგვას. მაშასადამე, სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების დაჟანგვა ხდება ისეთი შუალედური პროდუქტების გავლით, როგორიცაა: სპირტები, მჟავები, კარბონილური შენაერთები, ფენოლები და სულფატები.

სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების დაჟანგვის ბიოქიმიური პროცესები შეიძლება აღიწეროს პირველი რიგის რე-

აქციის განტოლებებით, როცა რეაქციის სიჩქარის მუდმივა გამოისახება შემდეგნაირად:

$$K = \frac{2,3}{t} \lg \frac{C_0}{C_t}, \quad (4.2)$$

სადაც  $t$  დროა.

ბუნებრივი წყლების სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებისაგან გაწმენდის სიჩქარე განისაზღვრება მთელი რიგი ფაქტორებით: სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების ქიმიური შემადგენლობით, მათი საწყისი კონცენტრაციით, წყლის მარილიანობით, ტემპერატურით, pH-ით, ჟანგბადის შემცველობით და წყალში სხვა დამაბინძურებელი ნივთიერებების არსებობით. საკმაოდ სწრაფად მცირდება ალკილსულფატების კონცენტრაცია, შედარებით ნელა – ალკილსულფონატების და ძალიან ნელა – ალკილბენზოლსულფონატების.

წყლის მარილიანობის გაზრდისას სზან-ების დაშლის მუდმივა მცირდება. წყალში ნავთობპროდუქტების არსებობისას დეტერგენტების ბიოქიმიური დაჟანგვა ნელდება, რადგანაც მიკროორგანიზმები საკვებად პირველ რიგში იყენებენ ნავთობის ნახშირწყალბადებს, როცა კონცენტრაცია 0,05 მგ/ლ-ს აღემატება; კონცენტრაციის 0,03 მგ/ლ-მდე შემცირებისას იწყება სზან-ების უტილიზაცია.

სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების (სზან) ბიოქიმიური დაჟანგვა ჟანგბადის ხარჯზე მიმდინარეობს, ამიტომ მისი წყალში შემცირებით სზან-ების დესტრუქციის სიჩქარე ნელდება.

წყალში სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების დესტრუქცია ძირითადად ხორციელდება მიკროორგანიზმებით. გადამწყვეტ ფაქტორებს ამ შემთხვევაში წარმოადგენს წყლის ტემპერატურა და ჰიდროქიმიური რეჟიმის თავისებურება. დეტერგენტების შემცირება წყალში ჩქარდება აღსორბციული პროცესებითაც, რადგანაც წყალში გახსნილი სინთეზური, ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების მასის 20% სორბირდება და ილექება გრუნტში სელიმენტაციის დროს. ზღვის წყალმეჩხერ რაიონში ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების სორბირება შეიძლება იყოს წყლის ხელახალი დაბინძურების წყაროც.



### 4.3. ფენოლებისაგან თვითგაწმენდა

ფენოლები ძლიერ ტოქსიკური ნივთიერებებია. ამ კრებსითი სახელით მოიხსენიება არომატული რიგის ის ორგანული ნაერთები, რომელთა მოლეკულებში ჰიდროქსილის ჯგუფები არომატული რკალის ნახშირბადის ატომთან არიან დაკავშირებული. ფენოლებს ანსხევებენ ჰიდროქსილის ჯგუფის რაოდენობით ერთატომიან, ორატომიან და ასე შემდეგ. ფენოლებს ახასიათებთ სუსტი მჟავე გარემო, ფენოლატების მარილების წარმოქმნით. ძირითადად მიიღება ქვანახშირიდან. ფართოდ გამოიყენება პოლიამიდების, საიზოლაციო მასალების, საღებავების და პლასტიკატების წარმოებაში, ასევე ფარმაცოლოგიური პრეპარატების, ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებათა და ანტიოქსიდანტების მისაღებად.

ფენოლების ქიმიური ბუნებიდან გამომდინარე, მათი დაჟანგვის პროცესი შეიძლება წარიმართოს ბიოქიმიური და ფიზიოქიმიური გზით.

ბიოქიმიური ჟანგვა მიკროორგანიზმების მიერ გამომუშავებული ფერმენტების გავლენით ხორციელდება. ფენოლის მოლეკულის გახლეჩაში მონაწილეობს ოქსიგენეზური ტიპის ფერმენტები და ტრანსფერაზული ჟანგბადი.

ბუნებრივ პირობებში ფენოლების დაჟანგვის ყველა პროცესი ერთდროულად მიმდინარეობს, ისინი ერთმანეთს ავსებენ და აძლიერებენ. ფენოლების დაჟანგვას თან ახლავს კონდენსაციისა და პოლიმერიზაციის მჟავების წარმომშობი რეაქციები.

ზღვის წყალში ფენოლების დაშლის ინტენსივობა დამოკიდებულია წყლის მარილიანობაზე, pH-ზე, ბიოგენურ და შეწონილ ნაწილაკებზე. დაშლის სიჩქარის კონსტანტა სწრაფად კლებულობს მარილიანობის ზრდასთან ერთად, მინიმალურია მარილიანობის 4-6‰-სას. 6-დან 10-12‰-მდე მარილიანობის დიაპაზონში სიჩქარის კონსტანტა 1,5-ჯერ მცირდება. წყლის pH-ის მომატებით ფენოლის დაშლის სიჩქარე იზრდება. ასევე ფენოლის დაშლის სიჩქარე მკვეთრად იზრდება წყალში საკვები ნივთიერებების, ფოსფატების და რკინის მარილების დამატებისას.

ფენოლის დაშლის სიჩქარე არსებითად დამოკიდებულია აგრეთვე მის საწყის კონცენტრაციაზე. ყველაზე ოპტიმალური კონცენტრაცია ვარირებს 0,03-3,0 მგ/ლ დიაპაზონში, ამ დროს ნახევარ-

დაშლის პერიოდი ახლოსაა 100 სთ-თან. სხვა კონცენტრაციების შემთხვევაში ფენოლის ნახევარდაშლის პერიოდი იზრდება. ეს აიხსნება იმით, რომ დაბალი კონცენტრაციების შემთხვევაში ფენოლი აღარ წარმოადგენს ფენოლდამყანგავი მიკროორგანიზმებისათვის ენერგეტიკულ წყაროს, ხოლო დიდი კონცენტრაციების შემთხვევაში ანტისეპტიკად გვევლინება.

ნათობით დაბინძურების შემთხვევაში ფენოლის დაშლა ნელდება, რადგანაც ნათობის ნახშირწყალბადების ბიოდეგრადაციის პროცესში წარმოიქმნება ფენოლები, რაც ზრდის დაბინძურების საერთო დონეს. პირიქით, ფენოლის დაშლის სიჩქარე იზრდება ზოგიერთ კომუნალურ და სამრეწველო ჩამონადენ წყლებში არსებული ორგანული ნივთიერებების (ცილები, ცხიმები, ნახშირბადები) ზემოქმედებით.

ფენოლის დაშლა ზღვის წყალში უმთავრესად ჟანგვის მექანიზმის შესაბამისად მიმდინარეობს, ამიტომ დიდი მნიშვნელობა აქვს ხსნარში თავისუფალი ჟანგბადის არსებობას.

#### 4.4. პოლიარომატული ნახშირწყალბადების ბიოდაშლა

წყლის გარემოში კანცეროგენული ნივთიერებები ცოცხალი ორგანიზმების ან ბიოტოპის ფიზიკო-ქიმიური ფაქტორების გავლენით იშლება.

პოლიარომატული ნახშირწყალბადების მოლეკულებს შიდამოლეკულური კავშირების მომატებული სიმტკიცის გამო დაჟანგვის მძიმარტ მნიშვნელოვანი სტაბილურობა გააჩნია. წყალში ამ ნივთიერებების დაბალი კონცენტრაცია ავტოდაჟანგვის პროცესს ანელებს, მაგრამ წყალში ჟანგბადის,  $O_3$ -ის,  $H_2O_2$ -ის არსებობის და ულტრაიისფერი დასხივების მოქმედებით წარმოიქმნება ფოტოჟანგვის პროცესი, რაც ავტოდაჟანგვაზე დაახლოებით 10-ჯერ უფრო ეფექტურია. ამრიგად, ფოტოდაჟანგვა წყლის გარემოს პოლიარომატული ნახშირწყალბადებისაგან თვითგაწმენდის კომპლექსის ერთ-ერთი ფაქტორია.

ზღვაში ბენზოპირენის მიკრობიოლოგიური დაჟანგვის როლი განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია. მოდელური ექსპერიმენტებით დადგინდა, რომ ბაქტერიების მიერ ბენზოპირენის დაშლის სიჩქარე 2,3-5,5 მკგ/ლ-ია 10 დღე-ღამეში, ანუ ის განიცდის ბიოდეგრადაციას 10-20%-ით. გლუკოზის არსებობის შემთხვევაში დაშლა აღწევს 45%-ს. ეს მიუთითებს ბენზოპირენის სხვა ორგანულ ნივთიერებებთან თანაჟანგვის შესაძლებლობაზე.

## თავი V. ოკეანეში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ბალანსი

### 5.1. დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ბალანსის მოდელი

ოკეანეში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ბალანსის შესწავლა აუცილებელია ზღვებისა და ოკეანეების დაბინძურების დინამიკის პროგნოზირებისათვის, დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ჩაშვების ოპტიმალური რეჟიმის რეკომენდაციების შემუშავებისათვის და ზღვის ზღვრულად დასაშვები დატვირთვის დონეების განსაზღვრისათვის.

ზღვაში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ბალანსი ხარისხობრივად შეიძლება გამოისახოს ა.სიმონოვის მიერ წარმოდგენილი სქემით:

$$\Delta C = (C_{\text{წ}} + C_{\text{გლ}} + C_{\text{გ}} + C_{\text{გკ}} + C_{\text{გ}} - C_{\text{ა}}) - (C'_{\text{გ}} + C_{\text{კლ}} + C_{\text{გლ}} + C'_{\text{გ}} + C'_{\text{ა}}), \quad (5.1)$$

სადაც  $\Delta C$  – არის დამაბინძურებელი ნივთიერებების კონცენტრაციის ნაზრდი  $\Delta t$  დროის განმავლობაში,  $C_{\text{წ}}$  – ნაპირიდან ჩაშვებული ნარჩენები,  $C_{\text{გლ}}$  – მდინარის ჩამონადენის მიერ გამოტანილი,  $C_{\text{გ}}$ -ზღვაში ჩაშვებული უშუალოდ გემებიდან, ესტაკადებიდან და ა.შ.,  $C_{\text{გკ}}$  და  $C'_{\text{გკ}}$  – მოდენა (გადენა) წყლისცვლის დროს,  $C_{\text{კლ}}$  – ქიმიური დაშლა,  $C_{\text{გლ}}$  – ბიოქიმიური დაშლა,  $C_{\text{ა}}$ ,  $C'_{\text{ა}}$  – მოდენა (გადენა) წყალი-ატმოსფეროს საზღვარზე,  $C_{\text{გწგ}}$ ,  $C'_{\text{გწგ}}$  – მოდენა (გადენა) წყალი-გრუნტის საზღვარზე.

ზღვის გარემოს ნორმალური მდგომარეობის შენარჩუნებისათვის აუცილებელია შემდეგი შემზღუდავი პირობების შესრულება:

$$0 < C \leq \text{ზღვ} \text{ და } \Delta C \leq 0, \quad (5.2)$$

სადაც  $\text{ზღვ}$  – დამაბინძურებელი ნივთიერებების ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციაა.

$t+1$  დროის მომენტისათვის ზღვაში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა საშუალო კონცენტრაცია შემდეგი სახის განტოლებით გამოითვლება:

$$C_{t+1} = C_t + \Delta C = C_t + M_{t+1}/V_{t+1} - M_t/V_t \quad (5.3)$$

$$C_{t+1} = C_t(1 - \Delta V_t/V_{t+1}) + \Delta M_t/V_{t+1}$$

სადაც  $C_t$  და  $C_{t+1}$  – ნივთიერების კონცენტრაციებია,  $M_t$  და  $M_{t+1}$  – ნივთიერების მასებია,  $V_t$  და  $V_{t+1}$  – ზღვის მოცულობაა  $t$  და  $t+1$  დროის მომენტისათვის,  $\Delta M_t$  და  $\Delta V_t$  – ნივთიერების მასის და ზღვის მოცულობის ნაზრდებია  $t$ -დან  $t+1$  დროის პერიოდში.

განტოლების მარჯვენა პირველი წევრის გათვალისწინება საჭიროა მხოლოდ მაშინ, როცა შიდა ზღვის მოცულობის ცვლილება ხდება მდინარის ჩამონადენის ხარჯზე. სანაპირო ზღვებისათვის გამოსახულება  $(1 - \Delta V_t/V_{t+1})$  ახლოსაა 1-თან, ამიტომ 5.3 განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$C_{t+1} = C_t + \Delta M_t/V_{t+1}. \quad (5.4)$$

ბალანსის განტოლება შეიძლება გამოისახოს დამაბინძურებელ ნივთიერებათა მასის ცვლილებით:

$$\Delta M = \sum M_{\text{ჩ}} - \sum M_{\text{გ}}, \quad (5.5)$$

სადაც  $\sum M_{\text{ჩ}}$  – ბალანსის ჯამური შემოსავალი ნაწილია,  $\sum M_{\text{გ}}$  – დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ბალანსის ჯამური გასავალი ნაწილი.

თუ დამაბინძურებელ ნივთიერებათა მასას, რომელიც იცვლება ზღვაში დროის მიხედვით, აღვნიშნავთ  $M_t$ -ით, ხოლო საწყის მასას  $M_0$ -ით, მაშინ მივიღებთ ბალანსის განტოლების შემდეგ ვარიანტს:

$$\Delta M = M_t - M_0. \quad (5.6)$$

დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ზღვაში მოხვედრის სიჩქარე დროის ერთეულში იქნება:

$$q_t = M_{\text{ჩ}}/t. \quad (5.7)$$

დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ზღვაში მოხვედრასთან ერთად იწყება მათი დაშლა, გადასვლა გრუნტში, ატმოსფეროში და მეზობელ აკვატორიებში. თითოეული ამ პროცესითაგანი ხასიათდება თა-

ვისი სიჩქარის კოეფიციენტით ( $K$ ), რომელიც საანგარიშო დროის მონაკვეთისათვის მიიღება მუდმივად. კოეფიციენტების ჯამი აღინიშნება, როგორც  $\Sigma K$ . მაშინ დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ბალანსი შეიძლება აღიწეროს დიფერენციალური განტოლებით:

$$dM = q_i dt - \Sigma K M dt, \quad (5.8)$$

საიდანაც ცვლადების დანაწევრებითა და ინტეგრირებით  $M_0$ -დან  $M_1$ -მდე და  $t=0$ -დან  $t$ -მდე მივიღებთ:

$$M_1 = q_i / \Sigma K - (q_i / \Sigma K - M_0) e^{-\Sigma K t}. \quad (5.9)$$

$q_i$ -ს და  $\Sigma K$ -ს მუდმივობის პირობებში და როცა  $t \rightarrow \infty$ ,  $M_1$  - მასა ასიმპტოტურად მიისწრაფვის  $q_i / \Sigma K$  სიდიდისაკენ და რაღაც დაგვიანებით აღწევს სასრულ დამყარებულ მნიშვნელობას, რომელიც ხასიათდება  $(q_i / \Sigma K - M_0) \exp(-\Sigma K t)$  წევრით და განსაზღვრავს ზღვაში მიმდინარე პროცესების დინამიკურ თვისებებს.

მწკრივად დაშლის შემდეგ 5.9 განტოლება ღებულობს შემდეგ სახეს:

$$M_1 = M_0 + [(2q_i - 2M_0 \Sigma K) / (2 + \Sigma K t)] \Delta t \quad (5.10)$$

დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ბალანსის 5.10 განტოლება სამართლიანია ერთფენოვან და მრავალფენოვან სისტემაში.

დამაბინძურებელ ნივთიერებათა მრავალფენოვან სისტემაში განაწილება და მიგრაცია შეიძლება დახასიათდეს თითოეულ ფენაში მისი არსებობის ხანგრძლივობით:

$$T = M / \Sigma \bar{V}, \quad (5.11)$$

სადაც  $T$  - არსებობის დროა,  $M$  - ფენაში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა მასა დროის მოცემულ მომენტში,  $\Sigma \bar{V}$  - დამაბინძურებელ ნივთიერების სხვადასხვა არხებით გადენის ჯამური სიჩქარე ტ/დღე-ღამეში.

## 5.2. დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ბალანსის ელემენტები

ზღვაში ჩაშვებული დამაბინძურებელი ნივთიერებები ჩამონადენ სამრეწველო და კომუნალურ წყლებთან ერთად გამოიანგარიშება ფორმულით:

$$m_6 = QC, \quad (5.12)$$

სადაც  $Q$  – საანგარიშო პერიოდის განმავლობაში ჩამონადენი წყლების ჯამური მოცულობაა,  $C$  – დამაბინძურებელ ნივთიერებათა კონცენტრაცია ჩამონადენ წყლებში.

მდინარეთა ჩამონადენით ჩამოსული დამაბინძურებელ ნივთიერებათა რაოდენობა განისაზღვრება დაკვირვებათა მონაცემებიდან:

$$m_p = \bar{C}Q, \quad (5.13)$$

სადაც  $Q$  – არის მდინარის ჩამონადენი  $\Delta t$  – დროის პერიოდში,  $\bar{C}$  – დამაბინძურებელ ნივთიერებათა საშუალო კონცენტრაცია მდინარის განიკვეთში  $\Delta t$  – დროის პერიოდში.

მდინარის მიერ გამოტანილი დამაბინძურებელი ნივთიერებების გაანგარიშების ე. იგოლიკინას (1982) სქემა შემდეგი სახისაა:

1. ანგარიშობენ მდინარის განიკვეთში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა კონცენტრაციის საშუალო არითმეტიკულ მნიშვნელობას:

$$\bar{C}_c = \frac{1}{n_c} \sum_{i=1}^{n_c} C_i \quad (5.14)$$

2. მდინარის კვეთში საშუალო კონცენტრაციის მიხედვით ანგარიშობენ კონცენტრაციის საშუალო არითმეტიკულ მნიშვნელობას საანგარიშო პერიოდისათვის:

$$\bar{C} = \frac{1}{n_B} \sum_{j=1}^{n_B} C_{cj} \quad (5.15)$$

3. (5.13) ფორმულით ანგარიშობენ დადგენილი პერიოდისათვის გამოტანილ დამაბინძურებელი ნივთიერებების რაოდენობას.

მდინარის კვეთში დაბინძურების არათანაბარი განაწილება, კონცენტრაციასა და მდინარის წყლის ხარჯს შორის კავშირის არარსებობა, მრავალ ძნელად გათვალისწინებად ფაქტორთან ერთად მოითხოვს ვარიაციული სტატისტიკის მეთოდის გამოყენებას. ამ დროს განიხილება დინებაში ამა თუ იმ კონცენტრაციის მოხვედრის ალბათობა და გამოთვლისათვის შეირჩევა მდინარის წყლის რეჟიმის პერიოდი სტატისტიკურად უზრუნველყოფილი სისტემატური დაკვირვებების შედეგებით.

ანალოგიურად განისაზღვრება მდინარეთა მიერ ჩამოტანილი აპსკური ნავთობპროდუქტები:

$$m_{\Gamma A} = \bar{C}_B F, \quad (5.16)$$

სადაც  $\bar{C}_B$  - ნავთობის აფსკში ნახშირწყალბადების საშუალო კონცენტრაციაა ( $\text{კგ/მ}^2$ ) გამოთვლის პერიოდში;  $F=BV$ , სადაც  $F$ -მდინარის სარკის ფართობია საანგარიშო პერიოდის დროს ( $\text{კმ}^2/\text{წელი}$ ),  $B$  - მდინარის საშუალო სიგანეა,  $V$  - მდინარის დინების საშუალო სიჩქარეა ამავე პერიოდში.

მეზობელ ზღვასთან წყლის გაცვლის შედეგად მოდენილი დამაბინძურებელი ნივთიერებები განისაზღვრება ფორმულით:

$$m_B = \bar{C}_1 \bar{V}_1 \quad (5.17)$$

აქ  $\bar{C}_1$  - დამაბინძურებელ ნივთიერებათა საშუალო კონცენტრაციაა მეზობელი ზღვის სრუტის წინა სივრცეში,  $\bar{V}_1$  -  $\Delta t$  დროის განმავლობაში მეზობელი ზღვიდან შემოსული წყლის საშუალო მოცულობაა.

თუ ატმოსფერულ ნალექებში დაიკვირვება დამაბინძურებელ ნივთიერებები, მაშინ მათი ატმოსფეროდან ზღვაში მოხვედრილი რაოდენობა ასე გამოისახება:

$$m_a = \bar{C}_{ac} \bar{V}_{ac}. \quad (5.18)$$

გრუნტიდან ზღვაში მოხვედრილი დამაბინძურებელი ნივთიერებათა რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$m_{\Gamma} = (C_{\text{გტ დრ.}} - C_{\text{გტ ჭეხილ}}) h s \Delta t, \quad (5.19)$$

სადაც  $C_{\text{ფტ}}$  დრ. და  $C_{\text{ფტ}}$  შეფ. - დამაბინძურებელ ნივთიერებათა კონცენტრაციაა შტორმის დროს და შტორმამდე,  $h$  და  $s$  - შესაბამისად ზღვის საშუალო სიღრმე და ფართობია,  $\Delta t$  - გამოთვლით პერიოდში შტორმიან დღეთა რიცხვია.

დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ჩადინება მეზობელ აკვატორიებთან წყალგაცვლის დროს გამოითვლება ფორმულით:

$$m'_H = \bar{C}_2 \bar{V}_2 \quad (5.20)$$

$\bar{C}_2$  და  $\bar{V}_2$ , შესაბამისად, მეზობელი ზღვის სრუტის წინა სივრცეში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა საშუალო კონცენტრაცია და  $\Delta t$  დროის განმავლობაში ზღვიდან გატანილი წყლის რაოდენობა.

ქიმიური და ბიოქიმიური დაშლის დროს ( $m_{\text{ქლ}} + m_{\text{ბლ}}$ ) დამაბინძურებელ ნივთიერებათა დანახარჯი 5.10 განტოლებით გამოითვლება.

როდესაც წყლის ზედაპირზე ნავთობის გუნდების რაოდენობა და რადიუსია ცნობილი, მაშინ მათი დალექვის საშუალო სიჩქარე შემდეგი განტოლებით აღიწერება:

$$\bar{V} = \frac{2}{3} g \Delta \rho \frac{1}{\mu} \sigma_r^2 [\exp(5,3 \sigma_r^2) - 1], \quad (5.21)$$

სადაც  $g$  - თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაა,  $\Delta \rho$  - ნავთობის გუნდის და ზღვის წყლის სიმკვრივეთა სხვაობაა,  $\mu$  - სიბლანტის კინემატიკური კოეფიციენტი,  $\sigma_r$  - გუნდების რადიუსების საშუალო კვადრატული გადახრაა.

დამაბინძურებელ ნივთიერებათა წყლიდან ატმოსფეროში გადატანის შეფასებისას უნდა გავითვალისწინოთ მათი წყლის მასიდან ზედაპირულ მიკროფენაში და შემდეგ ზედაპირული მიკროფენიდან ატმოსფეროში გადატანა. ზოგადად ეს საფეხურები აისახება უკუდენის სიჩქარის კოეფიციენტის შემდეგი განტოლებით:

$$K_{\text{„}} = \gamma D_T Sh C [(1-a)/\ell] \Delta t / (M_{\text{„}} + \sum M_{\text{„}}), \quad (5.22)$$

სადაც  $\gamma$  - დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ზედაპირული მიკროფენიდან ატმოსფეროში გადატანის სიჩქარის კოეფიციენტი,  $m^{-2}$ ;  $D_T$  - ტურბულენტური დიფუზიის კოეფიციენტი;  $S$  - ზღვის ზედაპირის ფართობი;  $h$  - წყლის ზედაპირული სინჯების შერჩევის სიღრმე;  $C$  - დამაბინძურებელი ნივთიერებების საშუალო კონცენ-



ტრაცია წყლის ზედაპირულ ფენაში;  $\alpha$  – გადატანის კოეფიციენტი;  $\ell$  – 1მ სისქის წყლის ზედაპირულ ფენაში არსებული დამაბინძურებელი ნივთიერების მასის შეფარდება ზედაპირულ მიკროფენაში არსებულ დამაბინძურებელ ნივთიერების მასასთან. ემპირიული მონაცემებით ნავთობის ნახშირწყალბადებისთვის  $\alpha$  და  $\ell$ -ის მნიშვნელობები შესაბამისად 0,002 და 0,05-ია.

დამაბინძურებელ ნივთიერებათა წყლის ზედა ფენიდან ქვედა ფენაში უკუდენის გამოთვლა ზდება წლის სეზონების მიხედვით. კონვექტიური გადატანის სიჩქარის კოეფიციენტი გამოითვლება ფორმულით:

$$K_H = 10^{-4} [(C_o - C_H) / h] S \Delta t / (M_o + \sum M_{np})_t, \quad (5.23)$$

სადაც  $10^{-4}$  კონვექტიური გადატანის სიჩქარეა, სმ/წმ;  $C_o$  და  $C_H$  – დამაბინძურებელ ნივთიერებათა კონცენტრაციაა, შესაბამისად, წყლის ზედა და ქვედა ფენებისათვის;  $h$  – კონცენტრაციის გრადიენტების ფენის სისქეა;  $S$  – ზღვის ფართობი;  $\Delta t$  – დროის პერიოდი, რომლის დროსაც კონვექცია ვითარდება.

დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ბალანსისა და დინამიკის მოდელის განტოლებებში სხვა ელემენტებიც მონაწილეობენ, მაგრამ მათი გათვალისწინება ბალანსის მოდელში და ზღვის წყლების დამაბინძურების განტოლებაში დიდ სირთულეებთან არის დაკავშირებული, რადგანაც გამოთვლებისთვის საჭირო უამრავი პარამეტრი, რომლებიც დღეისათვის ჯერ კიდევ ნაკლებად არის გამოკვლეული, ამავე დროს არასაკმარისად ზუსტადაა განსაზღვრული.

## თავი VI. წყლის გარემოში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციები და ზღვის ასიმილაციური ტევადობა

### 6.1. ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციების (ზღკ) ნორმირების პრინციპები

დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციები წყლის ხარისხის სტანდარტის უმნიშვნელოვანეს ფუნქციას ატარებს. იგი უზრუნველყოფს მოსახლეობის ჯანმრთელობას და წყლის გარემოში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ჩაშვების რეგულამენტირებას. ზღკ-ის ცნება ეფუძნება ქიმიურ ნივთიერებათა მოქმედების კონცეფციას, რომლის თანახმადაც თითოეული ნივთიერებასათვის არსებობს კონცენტრაციის ზღვრული დოზა, რომლის გადაჭარბებაც ორგანიზმში იწვევს ამა თუ იმ არასასურველ ეფექტს.

ზანგრძლივი დროის განმავლობაში გამოიყენებოდა ზღკ-ის ნორმირების ორი სახე – ჰიგიენური და თევზსამეურნეო. ქიმიური ნივთიერების ჰიგიენური ზღკ წარმოადგენს მაქსიმალურ კონცენტრაციას, რომელიც უშუალოდ ადამიანის ჯანმრთელობაზე, ან მის მომავალ შთამომავლობაზე მავნე გავლენას არ ახდენს და არ აუარესებს წყლით სარგებლობის ჰიგიენურ პირობებს.

ჰიგიენური ზღკ გულისხმობს დამაბინძურებელი ნივთიერებების გავლენის შესწავლას შემდეგი სამი ნიშნის მიხედვით: სანიტარულ-ტოქსიკოლოგიური (ცოცხალი ორგანიზმების მგრძნობიარობა ტოქსიკური ნივთიერებების მოქმედების მიმართ), ორგანოლექტიკური (წყლის შეფერილობა, სუნი, გემო) და ზოგად-სანიტარიული. თითოეული ნიშნის მიხედვით პოულობენ ზღვრულ და წინაზღვრულ კონცენტრაციებს. მათ შორის უმცირესი მავნებლობის ნიშნით მიიღება ზღკ-ად.

ჰიგიენური ზღკ-ის დანიშნულება არ არის წყლის ეკოლოგიური მდგომარეობის დაცვა, მისი მიზანია ადამიანის წყლით სარგებლობის უსაფრთხო პირობების უზრუნველყოფა. ჰიგიენური ნორმატივები დამაბინძურებელი ნივთიერებების რეგლამენტირებას ახდენს მხოლოდ იმ წყალსაცავებში, რომელიც გამოიყენება სამეურნეოსამედი და კულტურულ-ყოფითი მიზნებისათვის.

დაბინძურების გავრცელებამ ცხადი გახდა, რომ წყლის ხარისხისადმი მოთხოვნილება არსებითად განსხვავდება იმის მიხედვით, თუ წყალს რა გამოყენება აქვს. ამან წარმოშვა თევზსამეურნეო ზღკ, რომლის მიზანია წყალსაცავების, როგორც თევზსამეურნეო და თევზჭერითი, ბაზის დაცვა, მეთევზეობისა და თევზჭერის განვითარება. ამიტომ თევზსამეურნეო ზღკ-ის გაანგარიშებისას უპირველეს ყოვლისა ითვალისწინებენ ქიმიური ნივთიერებების შესაძლო ზემოქმედებას წყლის თვითგასუფთავების პროცესებზე და წყლის ეკოსისტემების (წყალმცენარეები, ბაქტერიები, მოლუსკები, თევზები) სიცოცხლისუნარიანობაზე, აგრეთვე თევზის პროდუქციის ხარისხის გაუარესებაზე.

აქედან გამომდინარე, ჰიგიენური და თევზსამეურნეო ზღკ ზმირად ერთმანეთისგან მნიშვნელოვნად განსხვავდება. მაგალითად, თუთიის თევზსამეურნეო ზღკ 0,01 მგ/ლ-ია, მაშინ, როდესაც მისი ჰიგიენური ზღკ 1 მგ/ლ-ია, ანუ 100-ჯერ მეტია. ამიტომ დღეისათვის მოქმედი ნორმატივები ჯერ კიდევ მოითხოვს სრულყოფას. თევზები ადამიანთან და თბილსისხლიან ცხოველებთან შედარებით უფრო მეტად მგრძნობიარენი არიან ტოქსიკური ნივთიერებების მიმართ. ლაყჩების საშუალებით ორგანიზმში ხვდება უფრო მეტი ტოქსიკური ნივთიერება, ვიდრე ადამიანი ან თბილსისხლიანი ცხოველი ღებულობს ჰაერიდან სუნთქვის დროს.

ზღკ-ზე დაფუძნებული კრიტერიუმების სისტემა არ ითვალისწინებს სხვადასხვა დამაბინძურებელი ნივთიერების სინერგიზმსა და ანტაგონიზმს. ამ კრიტერიუმების მიღმა რჩება ასევე ისეთი პროცესები, როგორიცაა წყლის ორგანიზმების მიერ (მაგ. წყალმცენარეების) ამ ნივთიერებათა აკუმულაცია და მათი შემდგომი გამოთავისუფლება მცენარეულობის მასიური სეზონური კვდომისას. ტოქსიკური ნივთიერებების მოქმედება დამოკიდებულია ტემპერატურაზე, გახსნილ ჟანგბადზე, pH-ზე, ორგანული ნივთიერებების კომპლექს-

ზე და სხვა. გარდამავალი პროდუქტები, რომლებიც წარმოიშობა წყლის ეკოსისტემაში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ტრანსფორმაციისას, ხშირად უფრო მეტად ტოქსიკურია, ვიდრე თავდაპირველი ნივთიერება. ამიტომ ეკოლოგიური თვალსაზრისით დამაბინძურებელი ნივთიერებების გარემოზე დასაშვები დატვირთვის შეფასებისას გათვალისწინებულ უნდა იქნეს მავნე ფაქტორების გავლენა არა ცალკეულ ორგანიზმებზე, არამედ მთლიანად ბიოცენოზისა და ეკოსისტემის რეაქციაზე. ეკოლოგიური ნორმატივების დამუშავებისას მთავარ კრიტერიუმად მიიღება სისტემის სტაბილურობა (მდგრადობა). თითოეული სისტემისათვის უნდა გამოვლინდეს გარემოს საკუთარი კრიტერიუმები, ე.წ. ზღვრულად დასაშვები ეკოლოგიური დატვირთვა (ზღედ). კონკრეტული ეკოსისტემის ზღედ მიიღება ყველა სახის ზემოქმედების გათვალისწინებით, რაც მოითხოვს გარემოს ყოველმხრივ ანალიზს. ამისათვის კი საჭიროა მონიტორინგის დაწყება, ანუ დაბინძურების დონესა და ხასიათზე გრძელვადიან დაკვირვებათა სისტემის შექმნა. შემდეგ უნდა განისაზღვროს ეკოლოგიურად დასაშვები დატვირთვები და თითოეულ ორგანიზმზე, პოპულაციაზე, ეკოსისტემაზე, ბიოსფეროზე ზემოქმედება. მთლიანი ეკოსისტემის კრიტიკული რგოლი შეიძლება ესა თუ ის ორგანიზმი აღმოჩნდეს, რომელიც მგრძნობიარეა მოცემული ფაქტორის მიმართ. ეს სახე განსაზღვრავს მთლიანად სისტემაზე დატვირთვას.

წყლის ხარისხის ეკოლოგიური ნორმირების პრობლემა უკავშირდება წყლის გარემოში ქიმიური დაბინძურების დაგროვების, დესტრუქციის და ტრანსფორმაციის ურთულეს საკითხებს.

## 6.2. ზღვის გარემოს დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ზღე

მტკნარი აუზების თევზსამეურნეო ზღა-ების გავრცელება ზღვის წყლებზე დაუშვებელია და ხშირად „პარადოქსულიც“. მაგალითად, თუთიის ზღე შეადგენს 10 მკგ/ლ, რაც მსოფლიო ოკეანეში არსებული თუთიის საშუალო კონცენტრაციაზე ნაკლებია. თუმცა იმის დასკვნა, რომ მსოფლიო ოკეანის წყალი დაბინძურებულია საშიშ ზღვრამდე, სინამდვილეს არ შეესაბამება.

ორგანიზმებმა და ბიოცენოზებმა გარემოს ქიმიური ფაქტორების მიმართ ადაპტაცია განიცადეს, ამიტომ დღეისათვის ოკეანეში არსებული მეტალების საშუალო კონცენტრაციები ოპტიმალურია მისი ბიოტიკური მოსახლეობისათვის.

ამ მიზნით შეშუშავებულ იქნა ახალი ბიოგეოქიმიური მიდგომა (ს. პატინ 1978, 1979) იმ ქიმიური ელემენტების (განსაკუთრებით მძიმე მეტალების) ზღვის ნორმირებისათვის, რომლებიც ერთდროულად წარმოადგენენ წყლის შემადგენლობის ბუნებრივ მიკროელემენტებს და ზღვის გარემოში გავრცელებულ ანთროპოგენულ მინარევებს. თითოეულ კომპონენტს გააჩნია ჰიდრობიონტებისათვის ბიოლოგიურად დასაშვები კონცენტრაციის ღიაპაზონი, რომლის საზღვრებშიც ორგანიზმებს და მათ პოპულაციებს შესაძლებლობა აქვთ მოახდინონ თავისი ფიზიოლოგიური, ეკოლოგიური და სხვა ფუნქციების ოპტიმალური რეალიზაცია. თითოეული ელემენტის კონცენტრაციის ღიაპაზონი მიზანშეწონილია დადგინდეს ცალკე ოკეანის პელაგიალისა და შიდა ზღვის პირობებისათვის, რადგანაც მათში მეტალების შემადგენლობის რყევადობის საზღვრები და ცვალებადობის მიზეზები განსხვავებულია. ეკოლოგიური ტოლერანტობის (L) ბიოგეოქიმიურ ზღვრებს რაოდენობრივად აფასებენ ფორმულით:

$$L_B = C + 2S_L \quad \text{და} \quad L_H = C - 2S_L, \quad (6.1)$$

სადაც  $L_B$  და  $L_H$  – შესაბამისად ზედა და ქვედა საზღვრებია;  $C$  – ზღვის წყალში მეტალის საშუალო კონცენტრაცია,  $S_L$  – მისი სტანდარტული გადახრა.

თუ თევზსამეურნეო ზღვა დგინდება ძირითადად ორგანიზმებისა და პოპულაციების ღონეზე მავნებლობის ტოქსიკოლოგიური ნიშნით, ბიოგეოქიმიური ზღვა გამოიყვანება არა ცალკეული სახეობებისა და პოპულაციებისათვის, არამედ ზღვებისა და ოკეანეების მთელი ბიოტისათვის, ზღვის ბიოცენოზების ძირითადი სტრუქტურული და ფუნქციონალური მახასიათებლების მდგრადობის თვალსაზრისით.

ზღვის ზღვის დასადგენად ფართოდ გამოიყენება აგრეთვე ტრადიციული ტოქსიკოლოგიური მეთოდი, რომელიც ეფუძნება ტოქსიკური ნივთიერებების ტოქსიკურ, ზღვრულ და ნეიტრალურ კონცენტრაციებს შორის საზღვრების ექსპერიმენტულ დადგენას.

ს. პატინის (1979) განმარტებით, ტოქსიკურ კონცენტრაციად ითვლება დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ისეთი კონცენტრაცია, რომლის დროსაც თითქმის 50%-ზე მეტად მცირდება სიცოცხლისუნარიანობის, ნაყოფიერების, ზრდისა და ბიოპროდუქტიულობის მაჩვენებლები 2-4 დღის ცდებში, ხოლო ზღვრულს მიეკუთვნება კონცენტრაციები, რომლებიც ანალოგიურ მაჩვენებლებს ამცირებენ 50%-მდე ქრონიკულ ცდებში ანუ სიცოცხლის ციკლის ხანგრძლივობის მქონე ცდებში. მაქსიმალურად უმოქმედო კონცენტრაციისას ჰიდრობიონტების სიცოცხლისუნარიანობის ძირითადი მაჩვენებლები იზრება არა უმეტეს 25%-ით ქრონიკულ ცდებში.

ტოქსიკური ეფექტი განიხილება, როგორც სამი ფაქტორის ურთიერთქმედების შედეგი: ორგანიზმის (ან ორგანიზმების ურთიერთქმედების), ტოქსიკურ ნივთიერებათა რაოდენობის და დროის.

გამოკვლევების თანახმად ზოგიერთი ტოქსიკური ნივთიერების ბიოქიმიური, ეკოლოგიურ-ტოქსიკოლოგიური ზღვები ზოგჯერ ერთმანეთს ემთხვევა, მაგრამ უფრო ხშირად ერთმანეთისაგან მნიშვნელოვნად განსხვავდება, რაც გამოწვეულია ნორმირების განსხვავებული მეთოდებით, ზღვის ორგანიზმების ფიზიოლოგიური თავისებურებებით.

### 6.3. ოკეანის ანთროპოგენური ეკოლოგიის საფუძვლები და ზღვის ეკოსისტემების ასიმილაციური ტევადობა

ანთროპოგენური ეკოლოგია (იზრაელი, ციბანი 1988) იკვლევს ორგანიზმების რეაგირების მექანიზმს ანთროპოგენური ზემოქმედების მიმართ უჯრედის, ორგანიზმის, პოპულაციის, ბიოცენოზის, ეკოსისტემის დონეზე. ოკეანის ანთროპოგენური ეკოლოგიის შესწავლის ობიექტია ოკეანის ეკოლოგიური მახასიათებლების ცვლილება, რომლებიც არსებითად მთლიანად ბიოსფეროს ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასებისათვის. მას საფუძვლად უდევს ზღვის ეკოსისტემების კომპლექსური ანალიზი გეოგრაფიული ზონალურობისა და ანთროპოგენური ზემოქმედების ხარისხის გათვალისწინებით.

ანთროპოგენური ეკოლოგიის ძირითადი ამოცანაა ზღვის ეკოსისტემებში დამაბინძურებელი ნივთიერებების კრიტიკული დონეების განსაზღვრის მეცნიერული საფუძვლების შექმნა, ზღვის ეკო-

სისტემების ასიმილაციური ტევადობის შეფასება, ასევე ოკეანის ეკოლოგიური პროცესების მათემატიკური მოდელირება ეკოლოგიური მდგომარეობის პროგნოზირებისათვის.

ი. იზრაელის და ა. ციბანის (1988) მიხედვით, ზღვის ეკოსისტემების ასიმილაციური ტევადობა  $A_i$  – მოცემული დამაბინძურებელი  $i$  ნივთიერებისათვის (ან დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ჯამი) და  $M$  ეკოსისტემისათვის არის მაქსიმალური დინამიკური ტევადობა ანუ დამაბინძურებელი ნივთიერების ის რაოდენობა, რომელიც შეიძლება ღროის ერთეულში დაგროვდეს, დაირღვეს, ტრანსფორმირდეს და გამოიყოს სედიმენტაციის, დიფუზიის ან სხვა ნებისმიერი გზით ეკოსისტემის ნორმალური ფუნქციონირების დარღვევის გარეშე.

სივრცითი არაერთგვაროვნების გათვალისწინებით ზღვის გარემოში დამაბინძურებელ ნივთიერების დინამიკის განტოლება ეკოსისტემიდან გასვლისას ჩაიწერება შემდეგნაირად (იზრაელი, ციბანი, ვენტცელი, შიგავეი, 1988):

$$V \frac{d\bar{C}_i}{dt} = \int_{S_a} (P_m \pm P'_m) dS + \int_L (P_L \pm P'_L) dL + \int_{S_b} (P_b \pm P'_b) dS + \int_{S_z}^Z B_{chi} k(z) dz dS \quad (6.2)$$

სადაც  $V$  – განსახილველი ზღვის ეკოსისტემის მოცულობა,  $\bar{C}_i$  – დამაბინძურებელი ნივთიერების საშუალო კონცენტრაცია,  $S_a$  – ზღვის თავისუფალი ზედაპირის ფართობი,  $S_b$  – განსახილველი აუზის ფსკერის ფართობი,  $L$  – სანაპირო ზოლის სიგრძე,  $Z_b$  – აუზის სიღრმე,  $P_i$  – სიდიდე, რომელიც ახასიათებს  $i$ -ური დამაბინძურებელი ნივთიერების გაცვლის პროცესებს საზღვარზე (მაგ. ატმოსფერული დაღეჟვა),  $B_{chi}$  –  $i$ -ური დამაბინძურებელი ნივთიერების მიკრობული და ქიმიური დაშლის სიჩქარე, კოეფიციენტი  $k(z)$  ითვალისწინებს  $B_{chi}$ -ის დამოკიდებულებას განათებულობასა და ტემპერატურაზე. შტრიხებით აღნიშნულია ქიმიური და ბიოლოგიური ტრანსფორმაციის აღმწერი წყაროები – განსახილველ მოსაზღვრე მიდამოში.

(6.2) განტოლების საფუძველზე ზღვის ეკოსისტემიდან დამაბინძურებელი ნივთიერების ჯამური გამოდევნა შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

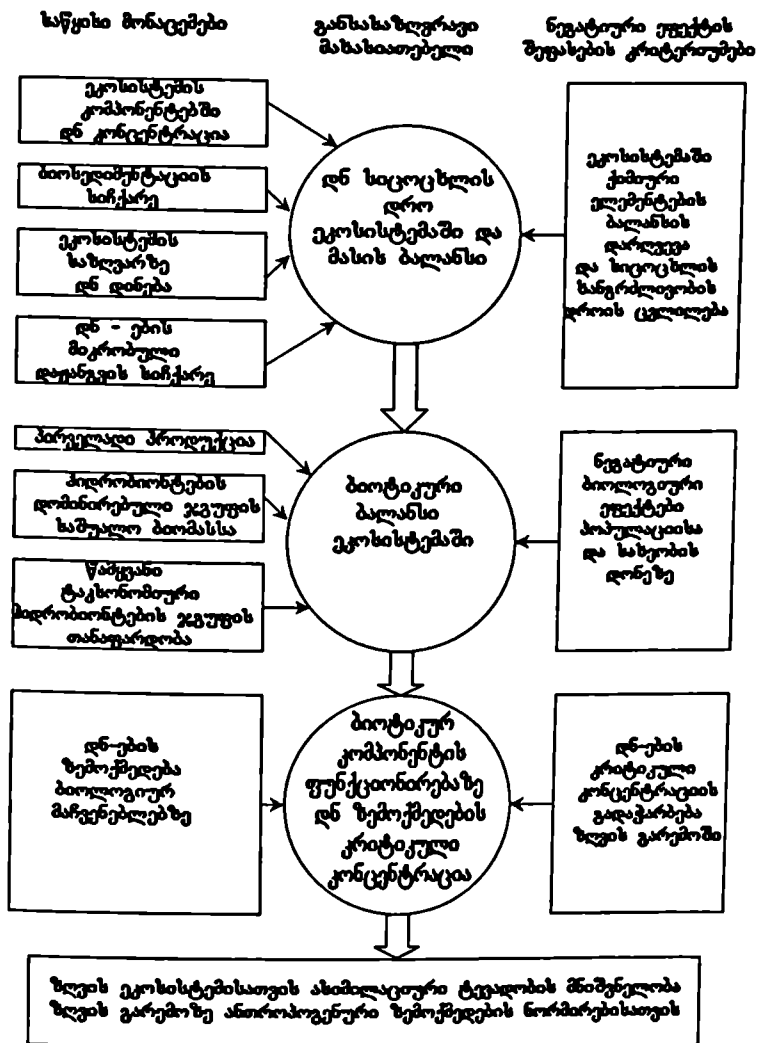
$$A_i = K_i \frac{V}{\tau_i} \bar{C}_i \quad (6.3)$$

სადაც  $K_i$  – მარაგის კოეფიციენტი, რომელიც ასახავს ზღვის ეკოსისტემის სხვადასხვა ზონაში დაბინძურების პროცესის მიმდინარეობის ეკოლოგიურ პირობებს;  $\tau_i$  – ზღვის ეკოსისტემაში დამაბინძურებელი ნივთიერების არსებობის დროა.

ეკოსისტემაში ეკოლოგიური კეთილდღეობის შენარჩუნებისას ასიმილაციური ტევადობა (6.2) განტოლების მარცხენა მხარის მაქსიმალური მნიშვნელობის ტოლია. ეს პირობა სრულდება, როცა  $\bar{C}_i \leq \bar{C}_{oi}$ , სადაც  $\bar{C}_{oi}$  – ზღვის წყალში დამაბინძურებელი ნივთიერების კრიტიკული კონცენტრაციაა. აქედან ასიმილაციური ტევადობა შეიძლება შეფასდეს (6.3) ფორმულით, როცა  $\bar{C}_i = \bar{C}_{oi}$ .

(6.3) განტოლების მარჯვენა მხარეს არსებული ყველა სიდიდე შეიძლება გაიზომოს. კონკრეტული დამაბინძურებელი ნივთიერებისათვის ზღვის ეკოსისტემის ასიმილაციური ტევადობის განსაზღვრა ხდება სამ ეტაპად (ნახ. 6.1): 1) მასის ბალანსის და დამაბინძურებელი ნივთიერების ეკოსისტემაში სიცოცხლის ხანგრძლივობის გამოთვლა, 2) ეკოსისტემაში ბიოტიკური ბალანსის ანალიზი, 3) ბიოტის ფუნქციონირებაზე დამაბინძურებელი ნივთიერებების კრიტიკული კონცენტრაციების ზემოქმედების შეფასება (ან ეკოლოგიური ზღკ). ასიმილაციური ტევადობა უფრო მეტად რეპრეზენტატიულია, ვიდრე ჰიგიენური ან თევზსამეურნეო ზღკ, რადგანაც ის ითვალისწინებს დამაბინძურებელი ნივთიერებების ზემოქმედების კრიტიკულ კონცენტრაციებს, რომელთაც აქვთ უფრო მაღალი ეკოლოგიური დასაბუთებულობა. წყალსატევისთვის ზღვრულად დასაშვები ეკოლოგიური დატვირთვა ასიმილაციური ტევადობის ცოდნისას ადვილად გამოითვლება. მაგალითად, წყალსატევის სტაციონარული დაბინძურების პირობებში ზღვრულად დასაშვები ეკოლოგიური დატვირთვა ტოლია ასიმილაციური ტევადობის.





ნახ. 6.1. საწყისი მონაცემების და ნეგატიური ეფექტის შეფასების კრიტერიუმების სქემა ზღვის გარემოში ანთროპოგენური შემოქმედების ნორმირებისათვის (იზრაელი, ციბანი, 1988)

#### 6.4. ზღვის ეკოსისტემის ასიმილაციური ტევადობის შეფასება ბალტიის ზღვის მაგალითზე

განვიხილოთ მძიმე მეტალების (Zn, Cu, Pb, Cd, Hg) და ორგანული ნივთიერებების (პოლიქლორილებული ბიფენილები და ბენზოპირენი) ასიმილაციური ტევადობის შეფასება ბალტიის ზღვისათვის (იზრაელი, ციბანი, ვენტცელი, შიგაევი, 1988).

ამისათვის პირველ ეტაპზე ბალტიის ზღვისათვის განსაზღვრეს დამაბინძურებელ ნივთიერებათა კონცენტრაციები, ბიოსედიმენტაციის სიჩქარე, ეკოსისტემის საზღვარზე ნივთიერებათა ნაკადი და ორგანული ნივთიერებების მიკრობული დაშლის აქტივობა. შედეგად მოხერხდა ეკოსისტემაში ბალანსის შედგენა და განსაზღვრული ნივთიერებების სიცოცხლის ხანგრძლივობის გამოთვლა (ცხრილი 6.1-6.5). ბალტიის ზღვაში მაქსიმალური სიცოცხლის ხანგრძლივობა მძიმე მეტალებიდან გააჩნია სპილენძს, შემდეგ თუთიას და ყველაზე მცირე ტყვიას, კადმიუმსა და ვერცხლისწყალს. პკბ-ების და ბპ-ის სიცოცხლის ხანგრძლივობა შესაბამისად 35 და 20 წელია.

მეორე ეტაპზე ნაჩვენებია იყო, რომ პლანქტონური მიკრომცენარეები ყველაზე მეტად მგრძნობიარე არიან დამაბინძურებელი ნივთიერებების და ეკოლოგიური მდგომარეობის ცვლილების მიმართ. ამიტომ ფიტოპლანქტონისათვის დადგენილი დამაბინძურებელი ნივთიერებების ზღვრული დოზები გამოიყენეს.

ტოქსიკური მეტალების კონცენტრაცია ზღვაში აღმოჩნდა ერთი-ორი რიგით ნაკლები, ვიდრე მათი ზღვრული დოზები, ხოლო პკბ-ების და ბპ-ის — მხოლოდ ერთი რიგით ნაკლები. ამიტომ მარაგის კოეფიციენტი პკბ-ების და ბპ-ის მცირეა, ვიდრე მეტალებისათვის.

ბალტიის ზღვის ღია ნაწილის ასიმილაციური ტევადობის შეფასებიდან ჩანს, რომ (ცხრილი 6.5) თუთიის, კადმიუმის ვერცხლისწყლის ნაკადი შესაბამისად 2, 20 და 15-ჯერ მცირეა ამ მეტალების მიმართ ეკოსისტემის ასიმილაციური ტევადობის მინიმალურ მნიშვნელობებზე.

ცხრილი ნ.1.

ბალტიის ზღვის ეკონომიკურ ტოქსიკურობაში ტოქსიკური მეთალების ბალანსი

| მეტალი        | შემოსულა ტ/წელიწადი      |                                    |                             | გაქვლია ტ/წელიწადი |              |            |          |           |      |
|---------------|--------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------|------------|----------|-----------|------|
|               | ზედაპირული<br>ჩამონადენი | ატმოსფეროდან<br>ნალექების<br>სახით | ჩრდილოეთ<br>ნახევარსფეროდან | ჯამი               | სელიმენტაცია | წყარგაცემა | თევზებზე | არათქვება | ჯამი |
| სპილენძი      | 101                      | 950                                | 20                          | 1100               | 950          | 50         | 0,04     | -         | 1000 |
| თუთია         | 250                      | 6000                               | 30                          | 6300               | 6400         | 100        | 0,10     | -         | 6500 |
| ტყევა         | 50                       | 2350                               | 10                          | 2400               | 2100         | 100        | 0,05     | -         | 2200 |
| კადმიუმი      | 46                       | 34                                 | 0,8                         | 80                 | 75           | 5          | -        | -         | 80   |
| პერკლდისწყალი | 7                        | 23                                 | 0,01                        | 30                 | 29           | 1          | -        | 0,3       | 30   |

ცხრილი 6.2.

ბაღოთის ზღვის გეოსისტემაში ბპ-ის და კპ-ების ბალანსი

| ნივთიერება | შემოსულა ტ/წელიწადი   |            |                 |           |         | ბიოსინთეზი | მთლიანად |
|------------|-----------------------|------------|-----------------|-----------|---------|------------|----------|
|            | ზედაპირული ჩამონადენი | ატმოსფერო  | ჩრდილოეთის ზღვა | ნაუთობი   |         |            |          |
| ბპ         | 9,6                   | 3,2        | -               | 0,1       |         | 0,1        | 13       |
| კპ         | 0,02                  | 6          | 0,01            | -         |         | -          | 6        |
| ნივთიერება | გამოყოფა, ტ/წელიწადი  |            |                 |           |         | მთლიანად   |          |
|            | სედიმენტაცია          | წყალგაცვლა | თევზჭერა        | დაქანება  |         |            |          |
|            |                       |            |                 | მიკრობული | ქიმიური |            |          |
| ბპ         | 1,3                   | 5,6        | -               | 6         |         |            | 13       |
| კპ         | 6,9                   | 0,01       | 0,1             | 0,01      | 0,02    |            | 7        |

ცხრილი ნ.3.

ბალტიის ზღვის ეკოსისტემაში პრიორიტეტული დამაბინებურებული ნივთიერებების რაოდენობა და არსებობის ხანგრძლივობა

| ნივთიერება    | შეპყველობა, ათასი ტ. |          |       | ეკოსისტემაში არსებობის<br>დრო, წლების რაოდენობა |
|---------------|----------------------|----------|-------|-------------------------------------------------|
|               | წყლის მასა           | ნალექები | ბიოტა |                                                 |
| სპილენძი      | 4                    | 20       | 3     | 27                                              |
| თუთია         | 7                    | 55       | 5     | 10                                              |
| ტყვია         | 2                    | 10       | 2     | 7                                               |
| კადმიუმი      | 0,1                  | 0,3      | 0,1   | 6                                               |
| პერცხლისწყალი | 0,06                 | 0,1      | 0,04  | 6                                               |
| ბპ            | 0,26                 | 0,005    |       | 20                                              |
| პქბ           | 0,08                 | 0,17     | 0,01  | 35                                              |

#### ცხრილი 6.4.

ბალტიის ზღვის ეკოსისტემაში დაბინძურების დონე და პლანქტონურ ერთობათა მდგომარეობის ეკოლოგიური კრიტერიუმები

| ნიუთიერება    | კონცენტრაცია<br>წყალში, მკგ/ლ | ზღვრული<br>ღოზა<br>მკგ/ლ | მარაგის<br>კოეფიციენტი |
|---------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------|
| სპილენძი      | 0,5-1,3                       | 1-5                      | 0,7                    |
| თუთია         | 1,2-2,5                       | 10-50                    | 0,6                    |
| ტყვია         | 0,02-0,06                     | 1-10                     | 0,5                    |
| კადმიუმი      | 0,06-0,10                     | 1-10                     | 0,5                    |
| ვერცხლისწყალი | 0,001-0,005                   | 1,0-1,0                  | 1,0                    |
| ბა            | 0,001-0,13                    | 0,1-1                    | 0,2                    |
| პკ            | 0,001-0,005                   | 0,01-0,1                 | 0,3                    |

სპილენძისა და ტყვიის შემცველობა აღემატება მათ ასიმილაციურ ტევადობას, ამიტომ საჭიროა სპეციალური ღონისძიებების გატარება მათი ჩამონადენის შემცირებისათვის. ბენზოპირენის რაოდენობა არ აღწევს ასიმილაციური ტევადობის მინიმალურ მნიშვნელობას, ხოლო პკ-ების აჭარბებს. ამიტომ საჭიროა პკ-ების ბალტიის ზღვაში მოხვედრის შემცირება.

#### ცხრილი 6.5.

ბალტიის ზღვის ეკოსისტემის ასიმილაციური ტევადობა დამაბინძურებელი ნიუთიერებებისათვის

| ნიუთიერება    | მოსვლა<br>ტ/წელი | ეკოსისტემაში<br>არსებობის<br>დრო, წლების<br>რაოდენობა | ასიმილაციური ტევადობა |             |
|---------------|------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------|-------------|
|               |                  |                                                       | მკგ/წელი              | ტ/წელი      |
| სპილენძი      | 1100             | 27                                                    | 0,2-0,12              | 500-2500    |
| თუთია         | 6300             | 10                                                    | 0,60-3,10             | 13200-66000 |
| ტყვია         | 2400             | 7                                                     | 0,10-0,70             | 1500-15000  |
| კადმიუმი      | 80               | 6                                                     | 0,10-0,90             | 2000-20000  |
| ვერცხლისწყალი | 30               | 6                                                     | 0,02-0,20             | 400-4000    |
| ბა            | 13               | 20                                                    | 0,001-0,008           | 20-200      |
| პკ            | 7                | 35                                                    | 0,0001-0,001          | 2-20        |

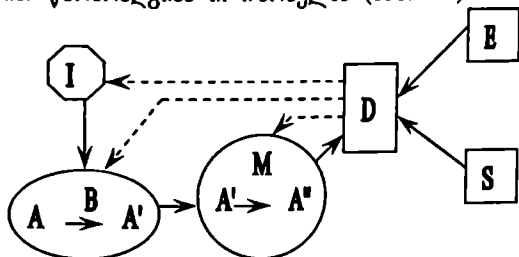
აქ აღწერილი მეთოდი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სხვადასხვა აუზისათვის ასიმილაციური ტევადობის და ზღედის შესაფასებლად, მაგრამ ინდივიდუალური თავისებურებების და ეკოსისტემის დაბინძურების ხასიათის გათვალისწინებით.

## თავი VII. მსოფლიო ოკეანის კომპლექსური გლობალური მონიტორინგი

### 7.1. მონიტორინგის განსაზღვრება

მსოფლიო ოკეანეზე ანთროპოგენური ზემოქმედების ნორმირებისათვის, ზღვის ეკოსისტემების სტრუქტურისა და ფუნქციონირების ცვლილების გამოსავლენად აუცილებელია ოკეანის კომპლექსური გლობალური მონიტორინგი. 1972 წელს სტოკჰოლმში შედგა გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის გარემოს პრობლემებისადმი მიძღვნილი კონფერენცია, რომელსაც უკავშირდება გარემოს მონიტორინგის გლობალური სისტემის შექმნის იდეა. 1975 წლიდან მონიტორინგის განვითარებამ სისტემური ხასიათი მიიღო და ნაირობიში (კენია) შეიქმნა სპეციალური პროგრამით ჩასატარებელ სამუშაოთა ცენტრი.

წარსულში მონიტორინგის ქვეშ იგულისხმებოდა გარემოს მდგომარეობაზე დაკვირვებათა სისტემის, კონტროლის და მართვის განხორციელება როგორც რეგიონალური, ასევე გლობალური მასშტაბით. ამჟამად მონიტორინგი (ი. იზრაელის თანახმად) ეწოდება ბუნებრივი გარემოს მდგომარეობაზე დაკვირვების, შეფასების და პროგნოზირების სისტემას. მონიტორინგის ადგილი გარემოს მდგომარეობის ცვლილების რეგულირების სისტემაში განსაზღვრა და სქემის სახით წარმოადგინა ი. იზრაელმა (ნახ. 7.1).

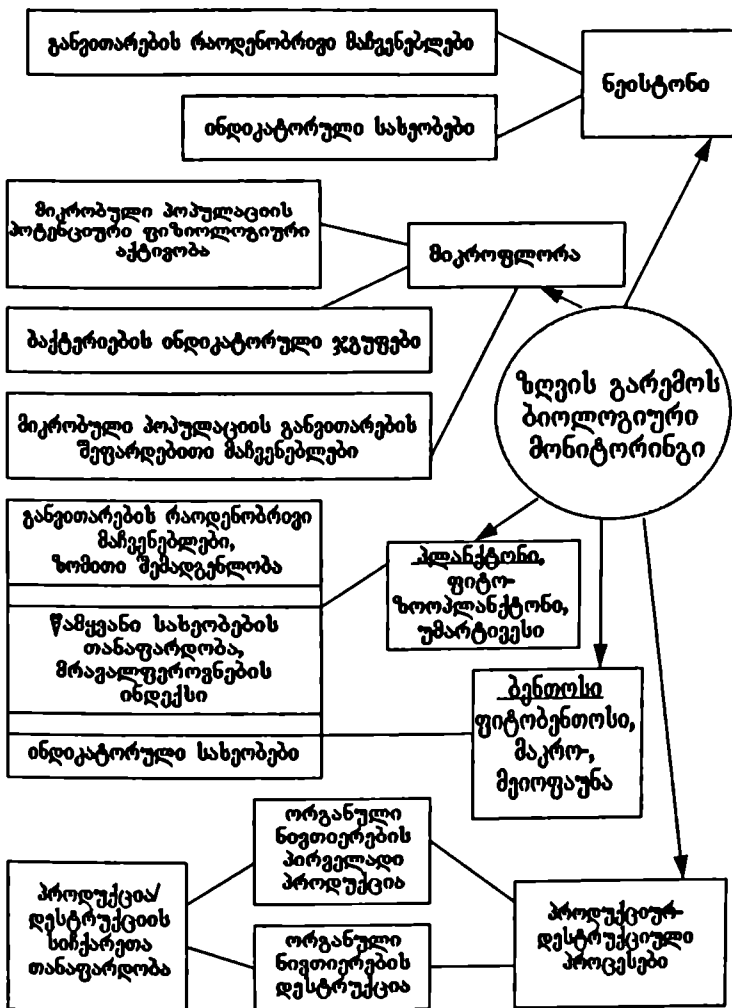


ნახ. 7.1. მონიტორინგის ადგილი გარემოზე ანთროპოგენური ზემოქმედების რეგულირების სისტემაში

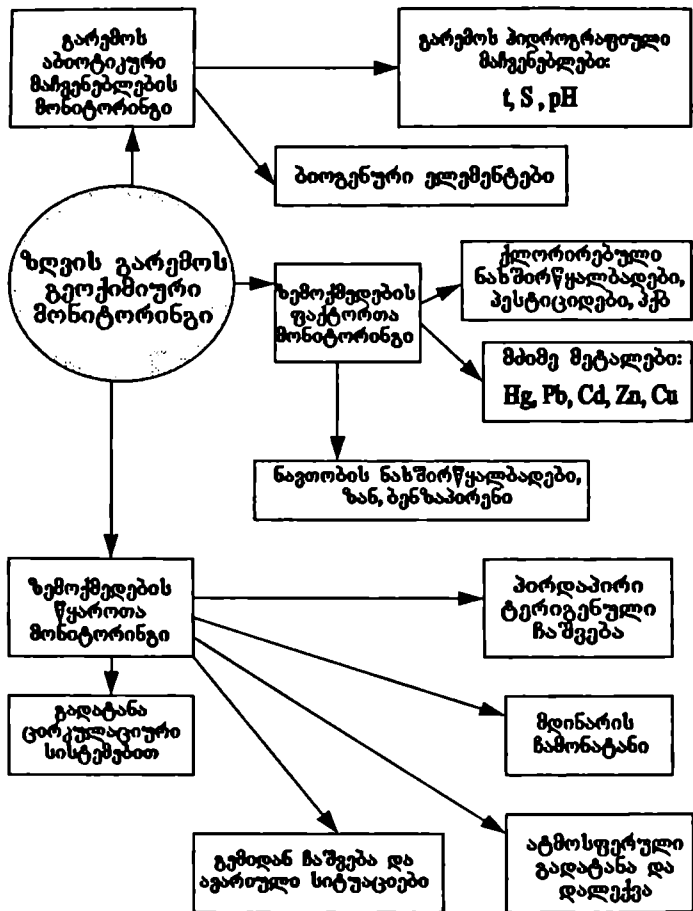
ანთროპოგენური ზემოქმედების (I) შედეგად ბიოსფეროს B ელემენტის მდგომარეობა იცვლება A-დან A'-მდე. M მონიტორინგის საშუალებით ზდება ამ შეცვლილი მდგომარეობის აღწერა A'' და შეფასება. შესაბამისი ინფორმაცია იგზავნება ამოხსნის ბლოკში (D). მეცნიერული (S) და ეკოლოგიური (E) შესაძლებლობებიდან გამომდინარე, მიიღება ანთროპოგენური ზემოქმედების შეზღუდვის და შეწყვეტის ზომები, გაამაგრებენ ან განკურნავენ ბიოსფეროს მოცემულ ელემენტს და სრულყოფენ მონიტორინგის სისტემას.

ოკეანის კომპლექსური გლობალური მონიტორინგი მოიცავს ეკოლოგიურ და ფიზიკურ მონიტორინგს. ეკოლოგიური მონიტორინგი წარმოადგენს ზღვის ეკოსისტემების მდგომარეობის ანალიზის, შეფასების და პროგნოზირების სისტემას. ეკოლოგიური მონიტორინგის უმნიშვნელოვანესი შემადგენელი ნაწილია ზღვის გარემოს ბიოლოგიური მონიტორინგი (ნახ. 7.2), რომელიც გულისხმობს ზღვის ეკოსისტემების ბიოტიკური კომპონენტების მდგომარეობის შეფასებას და პროგნოზს. ბიოლოგიურ მონიტორინგს ერწყმის გეოქიმიური მონიტორინგის სისტემა (ნახ. 7.3). ის ზღვის გარემოს დამაბინძურებელ წყაროებსა და დონეზე ახორციელებს კონტროლს. ფიზიკური მონიტორინგი მნიშვნელოვანია ფიზიკურ-ოკეანოგრაფიული და ჰიდროდინამიკური ფაქტორების მოქმედების ანალიზისათვის, რომლებიც განაპირობებს ზღვის გარემოში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა გავრცელებას და განაწილებას.





ნახ. 7.2. ზღვის გარემოს ბიოლოგიური მონიტორინგის მაჩვენებელთა სისტემა



ნახ. 7.3. ზღვის გარემოს გეოქიმიური მონიტორინგის მაჩვენებელთა სისტემა

$t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) - ტემპერატურა,  $S$  - მარილიანობა,  $pH$  - მჟავიანობა (წყალბად-იონთა კონცენტრაციის მაჩვენებელი) იცვლება 0-14 დიაპაზონში, ტუტე არე: 7-14, მჟავა არე: 0-7; ბიოგენური ელემენტები:  $O_2$ ,  $H_2S$ ,  $N$ ,  $P$ .

## 7.2. ოკეანის კომპლექსური გლობალური მონიტორინგის ამოცანები და მონიტორინგის სისტემის განხორციელება

ოკეანის კომპლექსური მონიტორინგის მიზანია მსოფლიო ოკეანის უმნიშვნელოვანესი ეკოსისტემების მდგომარეობათა განსაზღვრა და ეკოსისტემაში ანთროპოგენური ფაქტორების ზემოქმედებით გამოწვეული ცვლილებების პროგნოზირება.

მონიტორინგის მიზნების მისაღწევად საჭიროა შემდეგი ამოცანების გადაწყვეტა:

1. მსოფლიო ოკეანის ბიოპროდუქტიულ და მგრძნობიარე ეკოსისტემაში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა მოხვედრის არხების გამოვლენა და ნაკადების შეფასება;
2. მსოფლიო ოკეანის ბიოპროდუქტიული და მგრძნობიარე ეკოსისტემების დაბინძურების ნეგატიური შედეგების შესწავლა;
3. დამაბინძურებელ ნივთიერებათა დაგროვებულ დონესა და აღნიშნულ ეკოლოგიურ ცვლილებებს შორის მიზეზობრივ-შედეგობრივი კავშირების შესწავლა. დამაბინძურებელ ნივთიერებათა იმ კრიტიკული კონცენტრაციების განსაზღვრა, რომლებმაც შეიძლება გამოიწვიოს ფუნქციონალური ბიოლოგიური და ბიოქიმიური პროცესების რღვევა;
4. ასიმილაციური ტევადობის განმსაზღვრელი ფიზიკური, ქიმიური და ბიოლოგიური პროცესების შესწავლა და ზღვის ეკოსისტემების ასიმილაციური ტევადობის შეფასება;
5. ცალკეული ეკოლოგიური პროცესების მათემატიკური მოდელირება ოკეანეში ეკოლოგიური სიტუაციების პროგნოზირებისათვის ლოკალურ, რეგიონალურ და გლობალურ მასშტაბებში.

მონიტორინგის მეცნიერული საფუძვლები გვკარნახობს მისი ორგანიზების რამდენიმე მთავარ პრინციპს:

1. ქიმიური, ჰიდრობიოლოგიური, ჰიდროლოგიური, მეტეოროლოგიური და დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ჩაშვების დაკვირვებების კომპლექსურ წარმოებას ზღვებისა და ოკეანეების დაბინძურებულ რაიონებში და შედარებით სუფთა წყლებში. დიდი მნიშვნელობა ენიჭება აგრეთვე კოსმოსიდან დედამიწის ხე-

ლოვნური თანამგზავრებით დაკვირვებას გლობალურ და რეგიონალურ მასშტაბში;

2. დაბინძურების წყაროებიდან საკმაოდ დაშორებულ რაიონებში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ფონურ კონცენტრაციაზე გრძელპერიოდიანი სისტემატური დაკვირვებების წარმოება და ზღვის წყლის დაბინძურების დონის დინამიკის მუდმივი შესწავლა;
3. დამაბინძურებელ ნივთიერებათა გადაადგილების განსაზღვრა მსოფლიო ოკეანის ძირითად ცირკულაციურ სისტემაში ოკეანოგრაფიულ კვებებზე დაკვირვების გზით;
4. ოკეანის დაბინძურებული წყლების გეოქიმიური მონიტორინგის შეთავსება ზღვის ორგანიზმების ფუნქციონირებაზე დაბინძურების გავლენის ბიოლოგიურ მონიტორინგთან. მხოლოდ ამ შემთხვევაშია მონიტორინგი სრულფასოვანი და დასრულებული.

ამჟამად მონიტორინგი ხორციელდება საერთაშორისო დონეზე სხვადასხვა პროგრამების შესაბამისად. ერთ-ერთი მათგანი მოიცავს ოკეანის 11 რაიონს: ხმელთაშუა ზღვას, წითელ ზღვას და ადენის ყურეს, კუვეიტის, დასავლეთ და ცენტრალური აფრიკის, აღმოსავლეთ აფრიკის, კარიბის აუზებს, აღმოსავლეთ აზიის, სამხრეთ აზიის, წყნარი ოკეანის სამხრეთ-აღმოსავლეთ და სამხრეთ ნაწილებს, სამხრეთ-დასავლეთ ატლანტიკას. ამ პროგრამის შესრულებაში მონაწილეობს 120-ზე მეტი ზღვისპირა სახელმწიფო.

## თავი VIII. შავი ზღვა

შავ ზღვას და მის მოსაზღვრე 6 ქვეყანას: დასავლეთით – ბულგარეთსა და რუმინეთს, ჩრდილოეთით – უკრაინას, აღმოსავლეთით – რუსეთსა და საქართველოს და სამხრეთით – თურქეთს – გააჩნია მდიდარი ისტორია და კულტურა (ნახ. 8.1).

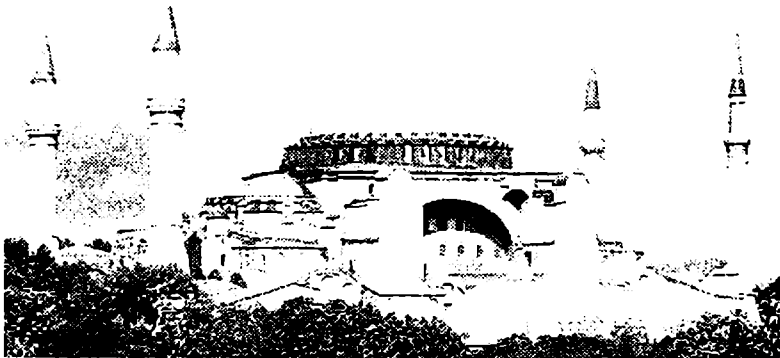


ნახ. 8.1. შავი ზღვის გეოგრაფიული მდებარეობა



ნახ. 8.2. სტამბოლი

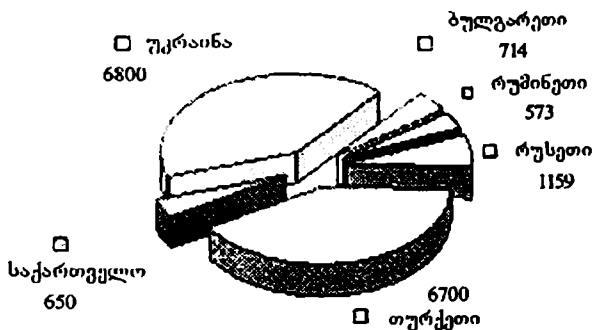
უძველესი დროიდან შავი ზღვა იყო მნიშვნელოვანი დამაკავშირებელი ევროპისა და აზიის. ძველმა ბერძნებმა მას შეარქვეს Ποντος Αἰεῖνος – „არასტუმართმოყვარე ზღვა“, შემდეგ მისი სახელი შეიცვალა და გახდა Ποντος Ευξεινός – „სტუმართმოყვარე ზღვა“. ბერძნებისა და კოლხების ურთიერთობას (ძვ.წ. XIV საუკუნე) ასახავს მითი. ამ მითში აღწერილია იასონის მეთაურობით არგონავტების შავ ზღვაში მოგზაურობა და მათ მიერ კოლხეთიდან ოქროს საწმისისა და კოლხეთის მეფე აიეტის ასულის – მედეას გატაცება. მოგვიანებით, ძვ. წელთაღრიცხვით VIII საუკუნეში შავი ზღვის სანაპიროების კოლონიზება მოახდინეს ბერძნებმა, ხოლო ძვ. წ. III-I საუკუნეებში – რომაელებმა. შავი ზღვა იყო კომერციული და კოლონიალური საქმიანობის არეალი ბერძნებისათვის, რომაელებისა და ბიზანტიისათვის. 1453 წლის შემდეგ, როდესაც ოსმალთა თურქებმა დაიპყრეს ბიზანტია, მის დედაქალაქ კონსტანტინეპოლს შეუცვალეს სახელი და დაარქვეს სტამბოლი (ნახ. 8.2, 8.3). ამ დროიდან მოყოლებული, შავი ზღვა უცხოელი ვაჭრებისათვის დახურული იყო. დაახლოებით 400 წლის შემდეგ, 1856 წელს პარიზის ზელშეკრულებამ ხელახლა გახადა შესადლებელი შავ ზღვაში საერთაშორისო კომერციული მიმოსვლა.



ნახ. 8.3. აია სოფიას „წმინდა სიბრძნის ტაძარი“ სტამბოლში, მსოფლიოში ერთ-ერთი უდიდესი ქრისტიანული ტაძარი (ჯორჯ ლუტერის ფოტო)

შავი ზღვის სანაპირო ზოლი მჭიდროდაა დასახლებული დაახლოებით 16 მილიონი ადამიანით და ზაფხულის ტურისტული სეზონის განმავლობაში ემატება 4 მილიონი ტურისტი. მოსახლეობის სიმჭიდროვე ყველაზე მაღალია თურქეთსა და უკრაინის შავი ზღვის სანაპირო ზოლში. შავი ზღვის ზედაპირის ფართობია 423 000 კმ<sup>2</sup>, რაც ხმელთაშუა ზღვის ფართობის ერთ მეხუთედს შეადგენს. მთლიანი მოცულობაა 547 000 კმ<sup>3</sup> და მაქსიმალური სიღრმე დაახლოებით 2200 მეტრია. შავ ზღვაში ჩაედინება ევროპის უდიდესი მდინარეები: დუნაი, დნეპრი, დონი, დნესტრი, კუბანი და სხვა.

შავი ზღვის სანაპიროს მოსახლეობა  
(ათასი)



ნახ. 8.4. შავი ზღვის სანაპირო ზოლის მოსახლეობა

შავ ზღვას ერთადერთი გამოსასვლელი აქვს ბოსფორის სრუტით, ხოლო ჩრდილოეთით ის დაკავშირებულია წყალმცირე აზოვის ზღვასთან ქერჩის სრუტით, რომლის ზედაპირის ფართობია 40 000 კმ<sup>2</sup> და საშუალო სიღრმე 8 მეტრი.

## 8.1. გოგირდწყალბადი შავ ზღვაში

შავი ზღვის უნიკალური თავისებურებაა გოგირდწყალბადის დიდი რაოდენობით არსებობა ზღვის ღრმა ფენებში. XX საუკუნის შუა წლებში გამოჩენილმა რუსმა ქიმიკოსმა ნ. დ. ზელინსკიმ დაადგინა, რომ შავ ზღვაში 200 მეტრ სიღრმეზე არსებობენ მხოლოდ

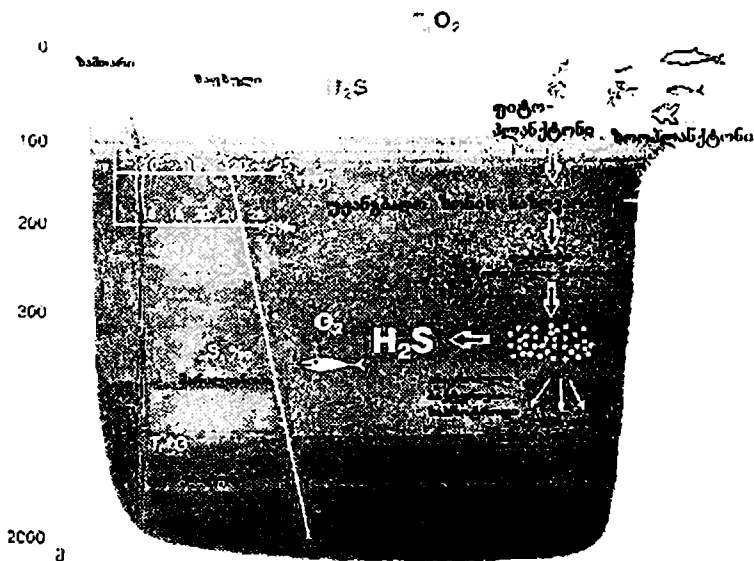
ანაერობული საპროტროფული ბაქტერიები, რომლებიც ზრწნიან ზღვაში ჩაძირულ მკედარი ორგანიზმების ნარჩენებს. უჟანგბადო გარემოში გაზრწნისას (ანაერობული დაშლა), გამოიყოფა ცხოველების და მცენარეებისათვის მომწამლავი ნივთიერება (გამგუდავი) გოგირდწყალბადი. გოგირდის წყაროს წარმოადგენს გოგირდის შემცველი ცილების ამინომჟავები, ასევე ზღვის წყლის სულფატები, რომლებსაც ზოგიერთი სახეობის ბაქტერია იყენებს. დაახლოებით 9000 წლის წინ, გლობალური დათბობისა და წყლის დონის აწევის გამო, ზმელთაშუა ზღვის წყლებმა შემოაღწიეს შავ ზღვაში ბოსფორის სრუტის საშუალებით, ხოლო 7000-8000 წლის წინ სიღრმეში განვითარდა ანაერობული ზონა, რომელსაც მოჰყვა ტრანსფორმაციები და მივიღეთ თანამედროვე ფიზიკო-ქიმიური მდგომარეობა.

ცნობილია, რომ წყალში ჟანგბადი აღწევს ჰაერიდან ან წარმოიშობა წყლის ზედა განათებულ ფენაში წყალმცენარეების ფოტოსინთეზით. იმისათვის, რომ ჟანგბადი მოხვდეს სიღრმეში, ზღვის წყალში უნდა მოხდეს აღრევა ტალღებისა და ვერტიკალური დინებების საშუალებით. შავ ზღვაში წყალი გადაადგილდება ძალზე სუსტად, საჭიროა რამოდენიმე ასეული წელიწადი იმისათვის, რომ წყალმა ზედაპირიდან მიაღწიოს ფსკერს. ამის მიზეზია შავი ზღვის მდინარეებით გამტკნარებისას ორი მასის, წყლის ორი ფენის არსებობა, რომლებიც ერთმანეთში ნაკლებად ირევა. შავი ზღვის ზედაპირული წყალი დაახლოებით 100 მეტრ სიღრმემდე ძირითადად მდინარეული წარმოშობისაა. ამასთანავე, შავი ზღვის სიღრმეში ბოსფორის სრუტით (ქვემობოსფორის დინება) შემოედინება უფრო მეტად მარილიანი და, შესაბამისად, უფრო მძიმე წყალი მარმარილოს ზღვიდან და ეშვება სიღრმეში. ამიტომ ზღვის სიღრმეში წყლის მარილიანობა აღწევს 30‰-ს (პრომილი – გრამი მარილი ლიტრა წყალში). სიღრმის მიხედვით წყლის თვისებები არათანაბრად იცვლება. ზედაპირიდან 50-100 მეტრ სიღრმემდე მარილიანობა სწრაფად მატულობს 17-21‰-მდე, ხოლო შემდგომ ფსკერამდე იზრდება შედარებით თანაბრად (ნახ. 8.5). მარილიანობასთან ერთად იცვლება ზღვის წყლის სიმკვრივე და ტემპერატურა. ზღვის ზედაპირზე ტემპერატურა განისაზღვრება



ჰაერის ტემპერატურით. ხოლო შავი ზღვის სიღრმეში ტემპერატურა მთელი წლის განმავლობაში 8-9°C-ია. ეს არის შავი ზღვის ორი მასა: ზედაპირული – გამტკნარებული, შედარებით მსუბუქი და ტემპერატურით ახლოს ჰაერის ტემპერატურასთან (ზაფხულში ის თბილია სიღრმით წყლებთან შედარებით, ხოლო ზამთარში უფრო ცივია) და მეორე ფენა, შედარებით მძიმე და მუდმივი ტემპერატურის მქონე სიღრმითი ფენა.

50-100 მეტრი წყლის ფენა სასაზღვრო ფენაა, რომელიც ყოველთვის ცივია ღრმა წყლებთან შედარებით, რადგანაც ზამთარში ცივდება 5-6°C-მდე და ზაფხულში გათბობას ვერ ასწრებს. წყლის ფენას, სადაც მკვეთრად იცვლება ტემპერატურა, ეწოდება თერმოკლინი. გალოკლინი არის ფენა, სადაც სწრაფად იცვლება მარილიანობა და პიკლოკლინი, სადაც მკვეთრად იცვლება წყლის სიმკვრივე. ყველა ეს მკვეთრი ცვლილება ხდება სასაზღვრო ფენაში.



ნახ. 8.5. შავ ზღვაში მიმდინარე პროცესები

შავი ზღვის წყლის მარილიანობის, სიმკვრივის და ტემპერატურის ასეთი ფენური სტრატოფიკაცია აფერხებს ზღვის წყლის ვერტიკალურ მოძრაობას და სიღრმითი წყლების ჟანგბადით გაზდიდებას. ამიტომ, სიღრმის ზრდასთან ერთად ზღვაში მცირდება ჟანგბადი. ზღვის იმ ზონაში, სადაც მზის სხივები ვერ აღწევს, 100 მ. სიღრმეში, ჟანგბადი უკვე აღარ წარმოიშობა ფოტოსინთეზის გზით, ასევე ვერ აღწევს გადატანით, ამას ხელს უშლის წყლის სტრატოფიკაცია. ჟანგბადი იხარჯება ჰიდრობიონტების სუნთქვაზე და მკვდარი ორგანიზმების ბაქტერიულ დაშლაზე. ე.ი. სიღრმეში ჟანგბადის მოხმარება სუნთქვისას და ლპობისას უფრო ინტენსიურია, ვიდრე მისი წარმოშობა ფოტოსინთეზით. შედეგად ცხოველების და მცენარეების სიცოცხლისათვის აუცილებელი ჟანგბადი საკმარისია მხოლოდ შავი ზღვის ზედა ფენაში. ამიტომ ცოცხალი ბიომასის ძირითადი ნაწილი შავ ზღვაში კონცენტრირებულია დაახლოებით 150-მეტრიან ფენაში.

გოგირდწყალბადის ფენის სიღრმითი მდებარეობა შავ ზღვაში ყველგან არ არის ერთნაირი. ყირიმის სანაპიროებზე ამ ფენის ზედა ზღვარი მდებარეობს 150 მეტრ სიღრმეზე, კავკასიის სანაპიროზე – 200 მეტრ, ზღვის ცენტრალურ ნაწილში – 80-100 მეტრზე. ამრიგად, გოგირდწყალბადის ფენის ზედაპირი ზღვის ცენტრში ამოდის გუმბათის მსგავსად და ეშვება სანაპიროებთან. ასეთი მდებარეობა გოგირდწყალბადის ფენისა – არის შედეგი შედარებით დიდი გადაადგილებისა წყლის სანაპირო ზონაში.

შავ ზღვაში არის დაახლოებით მილიარდი ტონა გოგირდწყალბადი. უკანასკნელი 1-2 ათასი წლის განმავლობაში ეს რაოდენობა არ შეცვლილა. მიუხედავად იმისა, რომ მუდმივად მიმდინარეობს გოგირდწყალბადის წარმოშობა ზღვის სიღრმეში, მის პარალელურად მიმდინარეობს გოგირდწყალბადის დაჟანგვის პროცესები სხვა ბაქტერიების მიერ, რომლებიც ასევე ბინადრობენ ზღვის ფსკერზე და ღრმა წყლებში.

შავი ზღვის ფსკერზე არსებული პირობები ძალიან გავს უძველესი წყალსაცავების მდგომარეობას, სადაც ხდებოდა ნავთობის წარმოშობა ცხოველების ნარჩენების გახრწნისას ჟანგბადის გარეშე. ამიტომ შესაძლოა, რომ ამჟამად შავი ზღვის ფსკერზე ხდება ნავთობის წარმოშობა. შავი ზღვა არ არის ერთადერთი გამონაკ-

ლისი დედამიწაზე. გოგირდწყალბადი არსებობს ასევე ნორვეგიის ზოგიერთ ფიორდებში, კასპიის ზღვის ღრმა ნაწილში და სხვა რაიონებში, სადაც შეფერხებულია ვერტიკალური აღრევა.

გოგირდბაქტერიები, როგორიც დღეს შავ ზღვაში არსებობს, ჟანგაუდნენ გოგირდწყალბადს უძველეს ტბებსა და ჭაობებში და გარდაქმნიდნენ მას სუფთა გოგირდად. შედეგად ამ ტბების ადგილას წარმოიშვა გოგირდის დანალექები. თანამედროვე მსოფლიოში გოგირდზე მოთხოვნილება იზრდება. სულ უფრო მეტი გოგირდია საჭირო პლასტმასის, საღებავების, შუშის, სასუქების წარმოებისათვის. დროთა განმავლობაში გოგირდის რაოდენობა შეიძლება ამოიწუროს, ამიტომ მეცნიერები უკვე მუშაობენ ასეთი ბაქტერიების სხვადასხვა ჭაობში გავრცელების შესაძლებლობაზე, რათა მომავალში იქ წარმოიშვას გოგირდი.

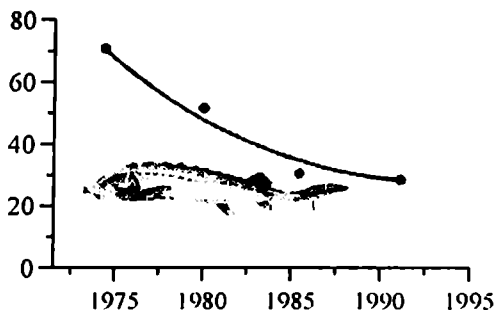
არსებობდა აზრი, რომ გოგირდწყალბადი შავ ზღვაში ჩნდება მისი დაბინძურების შედეგად; რომ გოგირდწყალბადი სულ უფრო იზრდება და ზღვა არის კატასტროფის წინაშე. სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებიდან ჩამონადენმა დაბინძურებულმა წყლებმა 1970-80-იან წლებში გამოიწვია ფიტოპლანქტონის სწრაფი ზრდა-გამრავლება შავ ზღვაში. შედეგად წარმოიშვა ორგანული ნარჩენი და ლპობისას უფრო მეტი გოგირდწყალბადი, მაგრამ ამან არ შეიტანა მნიშვნელოვანი წილი შავ ზღვაში გოგირდწყალბადის რაოდენობის ზრდაში.

## 8.2. მეღუზები შავ ზღვაში

უკანასკნელი 50 წლის განმავლობაში შავი ზღვის ეკოსისტემა დრამატულად შეიცვალა ჭარბი თევზჭერისა და სოფლის მეურნეობაში გამოყენებული წყლების ჩადინების ზემოქმედების შედეგად. უკანასკნელ წლებში კომერციულად ღირებული 26 სახეობის თევზიდან მხოლოდ 6-ია ზელმისაწვდომი (ნახ. 8.6).

1960-70-იან წლებში შავი ზღვის ეკოსისტემაში გადაჭარბებული თევზჭერის შედეგად განადგურდა ძირითადი მტაცებელი სკუმბრია, რის შედეგადაც მოხდა სკუმბრიას ერთ ერთი საკვების – მეღუზას, ადრე იშვიათი ჯიშის, რიზოსტომა პულმოს (*Rhizostoma pulmo*), პოპულაციური აფეთქება.

$N \cdot 10^3$



ნახ. 8.6. თართის საერთო რაოდენობის შემცირება შავი ზღვის საქართველოს სექტორის წყლებში (საქართველოს ეროვნული მოხსენება, 1995 წ.)

მელუზა (იხ. დანართი, სურ. 13) და მისი შორეული ნათესავი, ბიბილოიანი მელუზა. თვალწარმტაცი სანახაყია აკვაროუმში. მაგრამ, როდესაც ეს უხერხემლო ცხოველები ინტენსიურად მრავლდებიან ბუნებრივ სისტემაში, შედეგები უალრესად მძიმეა. გარდა გადაჭარბებული თევზჭერისა, მელუზასა (სკიფოზოანების) (Scyphozoans) და ბიბილოიანი მელუზას (Ctenophores) პოპულაციური აფეთქების მასტიმულირებელი იყო სოფლის მეურნეობაში გამოყენებული ჭარბი ნუტრიენტების შემცველი წყლების ჩადინება შავი ზღვის სანაპირო წყალში. ჩამონადენის სახით ზღვაში მოხვედრილი სასუქები და ნაკელი იძლევა ნუტრიენტების – ნიტროგენისა და ფოსფორის შემცველი ნარეგების უხვ წყაროს. რაც ხელს უწყობს ზღვისა და სხვა წყალმცენარეების ზრდას. ძლიერი ევტროფიკაციის პირობებში, როგორც ეს შავი ზღვის შემთხვევაშია, ხდება წყალში ჟანგბადის გაიშვიათება (ან, სულაც, ამოწურვა). მწირჟანგბადიან წყალში კი, ნაკლებად შესაძლებელია, რომ თევზის მრავალრიცხოვანი და მრავალფეროვანი პოპულაციები სიცოცხლისუნარიანი იყოს.

მელუზა სკიფოზოანის (Scyphozoans) ტიპის ორი წარმომადგენელი, რომელიც მკვეთრად გამრავლდა შავ ზღვაში, არის რიზოსტომა პულმო (Rhizostoma pulmo) და აურელია აურიტა (Aurelia

aurita). რიზოსტომა პულმო (*Rhizostoma pulmo*) არის ადგილობრივი ცხოველი ზმელთაშუა, ჩრდილოეთ, შავსა და აზოვის ზღვებში. ეს მელუზა, იკვებება რა ზოოპლანქტონით და თევზისა და ბაქნის მქონე წყლის ცხოველების ქვირითით და თავკომბალებით, არ მიიწნეოდა დიდი როლის მქონედ შავი ზღვის ცხოველთა სამყაროში.

მისი გავრცელების არეალის გარკვეულ ნაწილში ის სარგებლის მომტანადაც ითვლებოდა, რადგან გარკვეული თევზებისა და ზღვის კუს საკვებს წარმოადგენდა.

თუმცა, 1960-70-იან წლებში შავ ზღვაში არსებულმა პირობებმა გამოიწვია მათი რიცხვის კატასტროფულად ზრდა, რამაც სერიოზული ზარალი მიაყენა შავი ზღვის სანაპირო ზოლის ეკოსისტემას.

აურელია აურიტა (*Aurelia aurita*). რომელსაც „მთვარის მელუზას“ უწოდებენ მისი მკრთალი, დისკოსმაგვარი ფორმის გამო, მთელს მსოფლიოშია გავრცელებული. 1970-იან წლებში „მთვარის მელუზის“ პოპულაციამ ძლიერ იმატა შავ ზღვაში. მეცნიერთა მტკიცებით, მელუზის ეს სახეობა შთანთქავდა წყლის ამ სივრცეში წარმოშობილი მთელი ზოოპლანქტონის 62%-ს, რაც ადრე იყო თევზის საკვები და, შესაბამისად, გამრავლების ხელშემწყობი. ამჟამად „მთვარის მელუზა“ ჯერ კიდევ ჭარბადაა გავრცელებული შავი ზღვის ღია წყლებში.

ბიბილოიანი მელუზა. მიუხედავად მელუზასთან მსგავსებისა, ბიბილოიანი მელუზა კლასიფიცირებულია ცხოველთა სხვა ტიპად (რაც მათ შორეულ ნათესაობაზე მიანიშნებს). ისინი მელუზების მსგავსად იკვებებიან ზოოპლანქტონით, თევზისა და უხერხემლოთა ქვირითით და თავკომბალებით. შავ ზღვაში გავრცელებული კტენოფორებია (*Ctenophores*): პლეურობრაქია პილეუსი (*Pleurobrachia pileus*), მნემიოპსისი (*Mnemiopsis*) (იხ. დანართი, სურათი 14) (სხვადასხვა სახეობა) და ბეროე ოვატა (*Beroe ovata*) (იხ. დანართი, სურათი 15). პლეურობრაქია პილეუსი, რომელიც იყენებს ორ საცეცს საკვების მოპოვებისას, გავრცელებულია ძირითადად ღრმა წყლებში, სადაც ის იკვებება იქ მრავლად არსებული პაწაწინა ცხოველით, კალანუსით.

მნემიოპსისი (*Mnemiopsis*) არის ადგილობრივი ორგანიზმი ატლანტიკის სანაპირო ზოლში მასაჩუსეტსა და არგენტინას შორის. თავისი გავრცელების არეში იგი ცნობილია, როგორც ეკოსისტემა-

ზე ძლიერი ზემოქმედების მქონე, რადგან შთანთქმავს დიდი რაოდენობით ზოოპლანქტონს, თევზისა და უხერხემლოების ქვირითსა და თავკომბალებს, რაც, სხვა შემთხვევაში, ხელს შეუწყობდა უფრო სასურველი სახეობების პოპულაციას. მნემიოპსისი შავ ზღვაში პირველად 1980-იანი წლების დასაწყისში შენიშნეს და მიიჩნევა, რომ ტრანსპორტირებული და მოხვედრილი იქნა დასავლეთ ატლანტიკის შორეული ნაპირებიდან მოსული სატვირთო ხომალდების ბალასტური წყლების მეშვეობით.

1980-იანი წლებისთვის მნემიოპსისის (Mnemiopsis) პოპულაცია მკვეთრად გაიზარდა, ხოლო მისი ძირითადი საკვების, ზოოპლანქტონის პოპულაცია შემცირდა და, ამასთან ერთად, მნიშვნელოვნად შემცირდა ზოოპლანქტონის მჭამელი ანჩოუსების რეწვიდან კომერციული მოგება. რამდენიმე წლის წინ მნემიოპსისი შემთხვევით მოხდა კასპიის ზღვაში, სადაც, როგორც ჩანს, მსგავსი ზემოქმედებითი პროცესი იწყება.

ბეროე ოვატა (*Beroe ovata*) ადგილობრივი ორგანიზმია იგივე ძირითადი რეგიონისთვის, როგორც მნემიოპსისი. თუმცა, კტენოფორების უმრავლესობისგან განსხვავებით, ბეროე ოვატა (*Beroe ovata*) ერიდება ბაქნის მქონე ზოოპლანქტონს და სხვა კტენოფორებით კვებას ამჯობინებს. საინტერესოა ის, რომ ბეროე ოვატას უპირველესი საკვები მნემიოპსისებია. თუკი გავითვალისწინებთ, რომ ბეროე ოვატა (*Beroe ovata*) შავ ზღვაში პირველად 1997 წელს დაფიქსირდა, ეს კავშირი უკანასკნელ წლებში მნემიოპსისების პოპულაციის შემცირების ერთადერთ ახსნას წარმოადგენს. ამჟამად ფიქრობენ, რომ ბეროე ოვატას მიზანმიმართულმა შეტანამ კასპიის ზღვაში შესაძლოა გადაწყვიტოს მნემიოპსისების (Mnemiopsis) პრობლემა.

### 8.3. შავი ზღვის დაბინძურება

შავი ზღვა ეკოლოგიური თვალსაზრისით არის გლობალური ინტერესების სფეროში, რადგანაც ის ძლიერ დეგრადაციას განიცდის მსოფლიოს ძირითად ზღვებს შორის. გარემოს მდგომარეობა იმდენად გაუარესდა, რომ ის მოქმედებს შავი ზღვის გარშემო მცხოვრები ადამიანების კეთილდღეობაზე, ჯანმრთელობასა და ცხოვ-

რების სტანდარტზე. დღემდე შავ ზღვაში უპირველესი ეკოლო-  
გიური პრობლემა იყო მასიური მოხვედრა ნუტრიენტებისა და და-  
მაბინძურებლების, რომელიც გაორმაგებულია ღრმა წყლების ცუდი  
ვენტილაციით. 1970 წლებიდან 1990 წლებამდე ღუნაის ჩამო-  
ნადენის მეშვეობით აზოტისა და ფოსფორის დიდი რაოდენობა  
ხედებოდა შავი ზღვის ჩრდილო-დასავლეთით. ეს გამოწვეული იყო  
ფოსფატის დეტერგენტების და სასუქების ფართო გამოყენებით  
ინტენსიური სასოფლო-სამეურნეო სამუშაოებისას, რამაც გამოიწ-  
ვია საკვების გამოტუტვა ნიადაგიდან.

ატმოსფერულ ნალექს შეჰქონდა შედარებით მცირე წვლილი  
აზოტისა და ფოსფორის რაოდენობაში – 19 და 8%, ხოლო სა-  
სოფლო-სამეურნეო და კომუნალურ წყლებს – ყველაზე დიდი  
წვლილი. ღუნაი არის ერთ-ერთი უდიდესი წყარო, რომელსაც შე-  
მოაქვს 60 000 ტონა ფოსფორი წელიწადში (რაც დაახლოებით  
66%-ია). არაორგანული აზოტის წილი ღუნაიში არის დაახლოე-  
ბით 340 000 ტონა წელიწადში (53%), რაც ორჯერ აღემატება  
მდინარე რაინის მიერ შემოტანილს. შავი ზღვის სხვა მდინარეებიც  
სერიოზულად არის დაბინძურებული სამრეწველო ნარჩენებით.  
გარდა მდინარეების მიერ ჩამოტანისა, ხშირად სანაპიროდან პირ-  
დაპირ ხდება ზღვის წყალში ჩაშვება სამრეწველო, გაუმშენდავი  
ან ცუდად გაწმენდილი დაუდგენელი რაოდენობის დაბინძურებული  
წყლების. ქიმიური დამაბინძურებლები ორმაგდება სხვა სახის  
დამაბინძურებლებით: ორგანული დამაბინძურებლები, როგორიცაა:  
პესტიციდები და პერბიციდები, დღტ, მძიმე ლითონები და რადიო-  
ნუკლიდები, მიკრობული პათოგენები, ტოქსიკური ნარჩენები, ნავ-  
თობი. შედეგად შავი ზღვის დიდი ნაწილი განსაკუთრებით ჩრდი-  
ლო-დასავლეთ რეგიონი კრიტიკულად ევტროფირებულია.

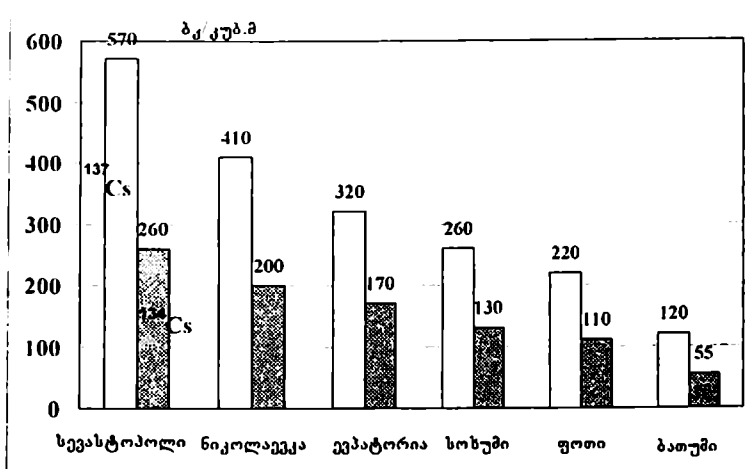
ბევრი ექსპერტი თვლის, რომ ევტროფიკაცია არის შავი  
ზღვის ეკოსისტემაზე მოქმედი ყველაზე მნიშვნელოვანი ფაქტორი  
1960 წლიდან. როგორც ვიცით, ევტროფიკაცია იწვევს ფიტო-  
პლანქტონის არაორდინალურ სწრაფ ზრდას, რომელიც იზრდება  
ყველგან ზედაპირზე, სადაც არის საკმარისი სინათლე და საკვები.  
შედეგად მივიღეთ ფიტოპლანქტონის ძლიერი განვითარება და ყვა-  
ვილობა უკანასკნელი 20 წლის განმავლობაში. დიდი ცვლილებები  
მოხდა ასევე შავი ზღვის ზოოპლანქტონში, რამაც შემდეგ გავლენა

მოახდინა თევზების სახეობებსა და რაოდენობაზე. გარემოს მონიტორინგმა უკანასკნელი რამდენიმე წლის განმავლობაში უჩვენა შესაძენევი და თანდათანობითი გაუმჯობესება ეკოსისტემის ზოგიერთი ბიოტიკური კომპონენტის მდგომარეობისა დასავლეთ სანაპიროს წყლებში. მიუხედავად იმისა, რომ ნიტრატებისა და ფოსფატების კონცენტრაცია კვლავ მაღალია. ეს გაუმჯობესება გამოიხატება წითელი ტალღების უფრო იშვიათი წარმოშობით, ზოოპლანქტონის სიკვდილიანობის შემცირებით და ა.შ. შემდგომი გაუმჯობესება დამოკიდებული იქნება შავი ზღვის ქვეყნების ერთობლივ მოქმედებაზე, შეამცირონ დაბინძურებული წყლებისა და ნარჩენების პირდაპირ ზღვაში ან მდინარეების საშუალებით ჩაშვება. 162 მილიონი ადამიანის ჯანმრთელობაზე გავლენას ახდენს შავი ზღვის გარემოს დეგრადაცია. შავი ზღვის ქვეყნების ცუდმა ეკონომიურმა მდგომარეობამ შეანელა გარემოს მონიტორინგისა და აღდგენის განხორციელება. აუცილებელია ადეკვატური პროგნოზირება გარემოს ცვლილებისა, რათა იდენტიფიცირდეს, გაანალიზდეს და განისაზღვროს ზღვის გარემოს უკეთესი მართვისათვის, საზღვაო საქმიანობისა და მოქმედებისათვის საჭირო თანხები, რათა შესაძლებელი გახდეს შავი ზღვის რესურსების მდგრადი განვითარება.

საქართველოს სანაპირო ზოლის წყლების პესტიციდებით და ჩამდინარე სამრეწველო თუ კომუნალური წყლებით დაბინძურება განსაკუთრებით მაღალია შავი ზღვის საქართველოს სანაპიროს აჭარის მონაკვეთზე. დამაბინძურებელი ნივთიერებების ზეჭარბი კონცენტრაციების არსებობა აქ გამოწვეულია ჩამდინარე წყლების არასწორი ჩაშვებით საცურაო არეალში, მიწების მეშვეობით და შემდინარე ნაკადებით – პლაჟის ფარგლებში. ცნობილია, რომ ფეკალური წყლების ზედაპირული ჩაშვებისას ნაპირის ზაზის სიახლოვეს (დაახლოებით 100-500 მ) – დაბინძურების ბაქტერიოლოგიური მაჩვენებლის კონცენტრაცია აღწევს რამდენიმე მილიონ ერთეულს/ლიტრში, მაშინ, როდესაც ზღვრული დასაშვები ნორმით არ უნდა აღემატებოდეს 1000 ერთეულს/ლიტრში. ბაქტერიოლოგიური დაბინძურებისას იზრდება მოსახლეობის ინფიცირების ალბათობა სიცოცხლისათვის საშიში ისეთი დაავადებებით, როგორიცაა: ქოლერა, მუცლის ტიფი, სალმონელოზი და სხვა.



რადიაქტიური დაბინძურება. ჩერნობილის ატომური სადგურის ავარიის შემდეგ, 1986 წლის 26 აპრილს, რადიაქტიური ნაწილაკები მოხვდა ატმოსფეროში და გავრცელდა ბალტიის, თეთრ და შავ ზღვაში. თავდაპირველად რადიაქტიური ღრუბელი ჩერნობილიდან გადაადგილდებოდა სკანდინავიის მიმართულებით, 1986 წლის 30 აპრილს კი ქარმა მიმართულება შეიცვალა და 1 მაისს რადიაქტიურმა გამონაყოფებმა შავ ზღვას მიაღწია. 1986 წლის ივნის-აგვისტოში ამერიკელი მეცნიერების მიერ შავ ზღვაში ჩატარებულმა გამოკვლევებმა დაადასტურა ზღვაში ჩერნობილის აეს-ის აფეთქების შედეგად წარმოშობილი რადიაქტიური იზოტოპების –  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{147}\text{Pm}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , აგრეთვე  $^{239,240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{242}\text{Cm}$ , არსებობა.  $^{90}\text{Sr}$  რადიოიზოტოპი წარმოადგენს ადამიანის სიცოცხლისათვის ერთ-ერთ ყველაზე საშიშ რადიონუკლიდს, რადგან მისი თვისებები ძალიან ჰგავს კალციუმისას და შეუძლია ბევრ პროცესში შეცვალოს იგი. საბედნიეროდ,  $^{90}\text{Sr}$ -ის შემცველობა ჩერნობილიდან მცირედ გამოიყო.



ნახ. 8.7. ცეზიუმის იზოტოპების კონცენტრაცია შავი ზღვის სანაპირო წყლებში (მ. კობახიძე, 2006 წ.)

მეცნიერებმა აღმოაჩინეს, რომ ცეზიუმ-137-ის რაოდენობა შავ ზღვაში გაორმაგდა ჩერნობილის ატომური სადგურის აფეთქების შემდეგ. ჩერნობილის ატომური ელექტროსადგურიდან გამოყოფილი ნივთიერებების შემადგენლობა სწრაფად შეიცვალა რადიოაქტიური დაშლის შედეგად. მაგალითად, ადამიანის ჯანმრთელობაზე დიდ გავლენას ახდენს  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$  რადიოიზოტოპი.  $^{131}\text{I}$  ნახევარდაშლის პერიოდი 8 დღეს შეადგენს, ამიტომ, ერთი თვის შემდეგ ამ იზოტოპის შემცველობა 10-ჯერ მეტად მცირდება. ერთი წლის შემდეგ ჰაერში მისი შემცველობა აღარ დაფიქსირებულა. ძირითადი საშიშროებაა  $^{137}\text{Cs}$ , მისი ნახევარდაშლის პერიოდი 30 წელზე ოდნავ მეტს შეადგენს.

ნახ. 8.7-ზე წარმოდგენილია  $^{137}\text{Cs}$  და  $^{134}\text{Cs}$ -ის განაწილების კანონზომიერების სურათი შავი ზღვის ზედაპირულ წყლებში.

ნავთობის ნახშირწყალბადები წყალში. ნავთობით დაბინძურება საფრთხეს უქმნის შავი ზღვის სანაპირო რეგიონს. ნავთობი ზღვაში შედის როგორც ავარიული და სხვადასხვა სამუშაოების დროს გაჟონვისას, ასევე სანაპიროდან. შეფასებულია, რომ დაახლოებით 30 000 ტონა ნავთობი ჩაედინება ზღვაში კომუნალური ჩამონადენით, 15 000 ტონა – მრეწველობიდან და 53 000 ტონა ღუნაის ჩამოაქვს ყოველწლიურად.

2007 წლის ნოემბერს დაახლოებით 2 000 ტონა ნავთობი ჩაიღვარა შავ ზღვაში, როცა რუსული ტანკერი დაზიანდა ძლიერი ქარისა (108 კმ/სთ) და ღელვის (ტალლის სიმაღლე 5 მეტრი) პირობებში. ეს იყო ძალზე სერიოზული კატასტროფა.

ავარიული დაღვრების შედეგად იზრდება ნავთობის ჩადინება შავ ზღვაში. წინასწარი პროგნოზის მიხედვით 2010-2015 წლები-სათვის ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების ტრანსპორტიზაციის მოცულობა საქართველოს პორტებში დაახლოებით 50-60 მლნ/ტ იქნება ყოველწლიურად. საზღვაო ინფრასტრუქტურის ინტენსიური განვითარება გააუარესებს ზღვის ეკოსისტემის თანამედროვე კომპლექსურ ეკოლოგიურ მდგომარეობას, რომელთა შორის ყველაზე სახიფათოა ნავთობითა და ნავთობპროდუქტებით დაბინძურება.

2002 წლის ივნის-ივლისში ტამანის სამხრეთით ფსკერული ნალექები შემოწმებულ იქნა ალიფატიკური და არომატიკული ნავთობის ნახშირწყალბადების შემცველობაზე შედარებით მეჩხერ-

წყლიან 20-40 მ და ღრმა 70-100 მ ზონებში. ღრმა ზონაში ალიფატიკური ნავთობის დონემ მიაღწია 42-84 მკგ/გ-ს და არომატიკულის – 35-62 მკგ/გ. ზოლო მეჩხერწყლიან სადგურებზე მათი რაოდენობა იყო შესაბამისად 5-9 მკგ/გ და 2 მკგ/გ. 10-20-ჯერ განსხვავებულობა შეიძლება გამოწვეული იყოს ფსკერული ნალექების ნაწილაკების ზომის სპექტრით, რაც გაცილებით მცირე უნდა იყოს ღრმა ზონაში აქტიური დალექვის გამო.

შავი ზღვის საქართველოს სანაპირო წყლების ნავთობითა და ნავთობპროდუქტებით დაბინძურების ძირითადი წყარო არის სამთომოპოვებითი მრეწველობა, სოფლის მეურნეობა და ტრანსპორტის ინფრასტრუქტურა (ზღვის პორტები, ტერმინალები, რკინიგზა).

საერთაშორისო პროექტის ფარგლებში ფონური ეკოლოგიური მდგომარეობის შესწავლის შესახებ, შავი ზღვის აღმოსავლეთ ნაწილში, საქართველოს სანაპიროს გასწვრივ (2000, RV “Piri Reis” იზმირის უნივერსიტეტი) ნავთობის ნახშირწყალბადების კონცენტრაცია ფსკერულ ნალექებში განისაზღვრა აირ-თხევადი ქრომატოგრაფით. ფსკერული ნალექების სინჯები აღებულ იქნა საქართველოს შელფის 75 სადგურიდან 10-1500 მ სიღრმეებზე. სინჯების მოშზადება, ექსტრაქცია და ანალიზი ჩატარებულ იქნა საერთაშორისო სტანდარტის შესაბამისად.

სანაპირო ნაწილში წყალქვეშა ფერდზე 200 მ-მდე დაიკვირვებოდა ნავთობის ნახშირწყალბადების კონცენტრაციის თანდათანობითი შემცირება. ამ ადგილას 50 მ-ზე ნაკლებ სიღრმეზე საშუალო კონცენტრაცია იყო 26,9 მკგ/გ, 50-100მ სიღრმეზე – 19,5 მკგ/გ და 100-200 მ სიღრმეზე – 11,4 მკგ/გ. ნავთობის ნახშირწყალბადების მაღალი კონცენტრაცია იქნა დაფიქსირებული ფოთის ნავსადგურის არეალის ფსკერულ ნალექებში, საშუალოდ 35,3 მკგ/გ. ბათუმის ნავსადგურის ჩრდილოეთით ფსკერულ ნალექებში ასევე გაზრდილია ნავთობის ნახშირწყალბადების კონცენტრაცია 17,7-21,7 მკგ/გ-მდე, საშუალოდ 10,5 მკგ/გ. როგორც ჩანს, ნავთობპროდუქტებით დაბინძურებული ნალექების დინებები ბათუმის არეალიდან ჩრდილოეთის მიმართულებით გადაადგილდა.

ნავთობის ნახშირწყალბადების მაღალი შემადგენლობა მდინარე ნატანების შესართავის ფსკერულ ნალექებში (152,7 მკგ/გ) აიხსნება ნავთობის ადგილობრივი წყაროთი და მომდინარეობს კაბურ-

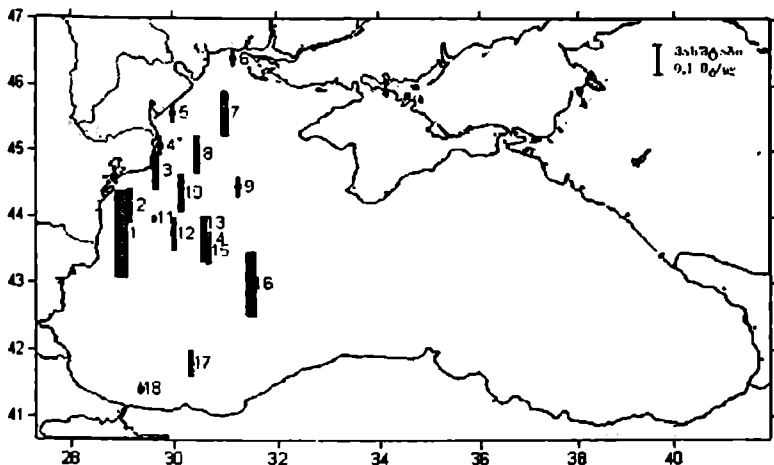
დიდიდან, რომელიც მდებარეობს არცთუ ისე შორს სანაპიროდან, მდინარის ხეობის არეალში.

ნავთობის ნახშირწყალბადების იდენტიფიკაციისათვის გამოიყენება მეთოდი, რომლის საშუალებითაც განისაზღვრება არა მარტო ნავთობპროდუქტების ჯგუფები, არამედ ასევე მათი ჩაღვრის მიახლოებითი დროც. დადგინდა, რომ ფსკერულ ნალექებში ნავთობის ნახშირწყალბადები სხვადასხვა წარმომავლობისაა და განსხვავდება მსუბუქი და მძიმე ფრაქციების შემადგენლობით. უკანასკნელი ჩაღვრები გამოვლენილ იქნა უმეტეს წილად ბათუმისა და ფოთის ნავსადგურების რაიონებსა და, ასევე, მდ. ხობისა და მდ. ცივის შესართავებს შუა რაიონში. ფსკერული ნალექების დაბინძურება ნავთობითა და ნავთობპროდუქტებით ძირითადად მცირე სიღრმეებზე ანთროპოგენურია, გამოწვეული პორტებისა და ტერმინალების ზემოქმედებით.

ღრმა სადგურებზე 200 მ-ის ქვემოთ ნავთობის ნახშირწყალბადების რაოდენობა იზრდება. ამის მიზეზი შეიძლება იყოს ნავთობპროდუქტების ხელახალი დაღეჭვა, რომლებიც შეიწოვება თიხის ნაწილაკების მიერ და სანაპირო წყლებიდან ღრმა წყლის არეალში გადაადგილდება. ამავე დროს, უქანბადო პირობებში ყოფნა ხელს უშლის ნახშირწყალბადების ბიოგენურ დეგრადაციას. შეიძლება ითქვას, რომ ნავთობის ნახშირწყალბადების მაღალი კონცენტრაცია შავი ზღვის ღრმა ფსკერულ ნალექებში არის როგორც ანთროპოგენური, ისე ბუნებრივი წარმომავლობის. პირველ შემთხვევაში ხდება წყლის ზედაპირიდან ნავთობის მძიმე ფრაქციების დაღეჭვა. ხოლო მეორე შემთხვევაში – ნავთობის წარმოქმნა ზღვის ფსკერზე.

ნავთობის ჯამური ნახშირწყალბადებით დაბინძურება შავი ზღვის წყლებისა და მათი შეტივენარებული ნაწილაკების შემადგენლობები შესწავლილ იქნა კვლევითი ზომადლის „პროფესორი ვოლიანიცკი“ კრუიზის დროს 1998 წლის 11-20 სექტემბერს. კვლევა ჩატარდა IAEA-ის პროექტის RER/2/2003 „ზღვის გარემოსდაცვითი შეფასება შავი ზღვის რეგიონისათვის“ ფარგლებში. ზღვის ცენტრალურ-დასავლეთ აუზში, დუნაის სანაპიროდან დაშორებულ რაიონსა და რუმინეთის შელფში სხვადასხვა სიღრმეებზე მდებარე 16 სადგურიდან მოგროვილ იქნა და ანალიზი ჩატარდა 27-ზე მეტ წყლის სინჯს.

გახსნილი და ჯამური ნახშირწყალბადები გამოყოფილ იქნა  $\text{CCl}_4$ -ის მეშვეობით გაფილტრული და გაუფილტრავი წყლის სინჯებიდან და განსაზღვრულ იქნა ექსტრაქტებში ინფრაწითელი სპექტრომეტრის გამოყენებით. მეთოდის სიზუსტე დაახლოებით 15% იყო, ხოლო აღმოჩენის სიზუსტე მიახლოებით 0.05 მგ/ლ-ია 2000 მლ სინჯში. ეს სიდიდე რუსეთის ფედერაციაში მიღებულია, როგორც მაქსიმალურად დასაშვები კონცენტრაცია ზღვის წყალში.



ნახ. 8.8. საშუალო ჯამური ნავთობის ნახშირწყალბადების განაწილება (მგ/ლ). 1998 წლის 11-20 სექტემბერი (ა. კორშენკო)

საშუალო კონცენტრაცია ყველა სინჯისთვის არის 0.084 მგ/ლ (ნახ. 8.8). მაქსიმალური დონე 0.23 მგ/ლ აღინიშნა მეჩხერწყლიან რაიონში რუმინეთის სანაპიროდან მოშორებით, კონსტანცას სამხრეთით, ბულგარეთის საზღვართან. აქ წყლის მარილიანობა რამდენადმე უფრო მაღალი იყო (17.73‰), რაც გამოწვეული იყო არა ღუნაის ჩამონადენით, არამედ სამხრეთული დაბინძურებული წყლების დინებებით კონსტანცას მხრიდან, სადაც საზღვაო ტრანსპორტი, ნავსადგური და ნავთობგადამამუშავებელი საწარმოები ფუნქციონირებენ. დაბალი მარილიანობის კონცენტრაციის 7.81‰ მქონე

წყლები ღუნაის დელტას მახლობლად არ იყო მნიშვნელოვნად დაბინძურებული ნავთობის ნახშირწყალბადების მიერ. მათი კონცენტრაცია აქ მხოლოდ 0.05 მგ/ლ-ს შეადგენდა.

ყველაზე დაბალი კონცენტრაციები ზღვის დასავლეთ ნაწილში იყო დაახლოებით 0.03 მგ/ლ. მინიმუმები დაფიქსირდა ბოსფორის სრუტის წინა და ჩრდილოეთ ნაწილებში ოდესის მახლობლად. საერთო ჯამში, 1998 წლის სექტემბერში ნავთობის ნახშირწყალბადების სივრცითი განაწილება შედარებით დაბალი და ერთგვაროვანი იყო.

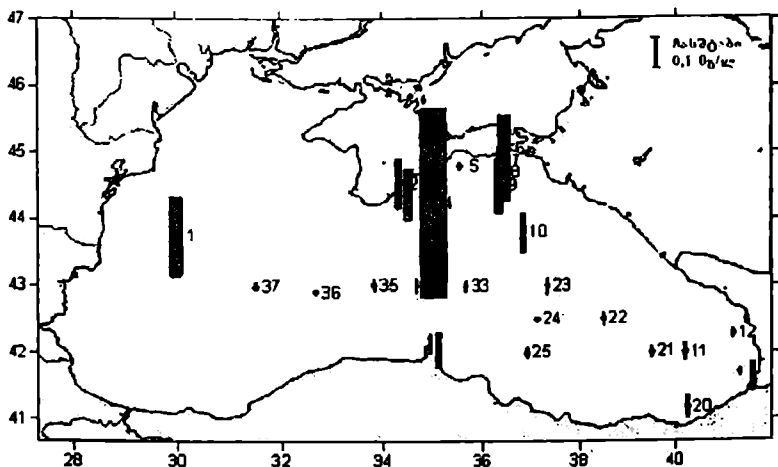
ყველაზე ღრმა სადგურზე ნავთობის ჯამური ნახშირწყალბადების ვერტიკალურ განაწილებაში მაქსიმუმი აღინიშნებოდა წყლის ზედაპირთან ახლოს, გარდამავალ დონეზე და ფსკერთან ახლოს. თუმცა სიღრმეზე დამოკიდებულება შედარებით სუსტად იყო გამოხატული. ზედაპირზე ნავთობის ჯამური ნახშირწყალბადების კონცენტრაცია იყო 0.15 მგ/ლ; 23.5 მ-ისა და 29 მ-ის სიღრმეზე დაეცა შესაბამისად 0.06 და 0.02 მგ/ლ-მდე; 51 მ სიღრმეზე იყო 0.11 მგ/ლ; 102 მ სიღრმეზე მიაღწია მაქსიმუმის დონეს – 0.17 მგ/ლ; 508 მ-ზე – 0.08 მგ/ლ; 1009 მ სიღრმეზე, თითქმის 1 კილომეტრი ფსკერიდან, იყო 0.13 მგ/ლ. ორ სხვა მენჯერწყლიან სადგურზე, რომლებიც 50 მ-ზე ნაკლებ სიღრმეზე მდებარეობს, ნავთობის ჯამური ნახშირწყალბადების ვერტიკალური კონცენტრაცია თითქმის ერთგვაროვანი იყო.

დაშლილი და ემულსირებული ნახშირწყალბადების წილი ამ ექსპედიციის დროს მერყეობდა ძალზე დიდი ამპლიტუდით ნულიდან 100%-მდე. საშუალო სიდიდე შავი ზღვის მთელი დასავლეთ ნაწილისათვის 1998 წლის სექტემბერში იყო 55% და 45% შესაბამისად. შეტივნარებული ნაწილაკების რაოდენობა წყალში მნიშვნელოვნად მერყეობდა 0.21-დან 1.83 მგ/ლ-მდე. გამონაკლისი იყო ღუნაის დელტას მახლობლად მდებარე ერთი სადგური, სადაც შეტივნარებული ნაწილაკების რაოდენობა ზედაპირულ შრეზე 9.50 მგ/ლ დაფიქსირდა. როგორც უკვე აღინიშნა, ნავთობის ჯამური ნახშირწყალბადების რაოდენობა ამ ადგილას შედარებით დაბალია, მიუხედავად ზღვის მარილიანობის მაღალი კონცენტრაციისა.

შავი ზღვის აღმოსავლეთ და ცენტრალურ აუზებში 32 სადგურიდან მოგროვილ იქნა 46 სინჯი 2000 წლის 22 სექტემბრიდან

9 ოქტომბრამდე IAEA-ს სამეცნიერო კრუიზის დროს (ნახ. 8.9). კვლევის საწყის ეტაპზე ერთი სადგური მდებარეობდა დასავლეთ აუზის ცენტრალურ ნაწილში. ხოლო სხვა სადგურები – ზღვის ღრმა ცენტრალურ ნაწილსა და თაეთხელ რაიონებში ქერჩის, კორუს (საქართველოს წყლები) და სინოპის (თურქეთის წყლები) პოლიგონებზე.

ნავთობის ჯამური ნახშირწყალბადების კონცენტრაცია წყალში მერყეობდა ნულიდან 0.73 მგ/ლ-მდე და საშუალო კონცენტრაცია ყველა სინჯის ანალიზის შედეგად იყო 0.97 მგ/ლ. ანომალიურად მაღალი კონცენტრაციის დონე 3.27 მგ/ლ დაფიქსირდა ზედაპირულ შრეში მცირეწელიან 62 მ სიღრმის სადგურებზე ფეოდოსიის მახლობლად, რაც ზღვის წყალში მაქსიმალურად დასაშვები კონცენტრაციის რუსული სტანდარტის დონეს (0.05 მგ/ლ) 65-ჯერ აღემატება.



ნახ. 8.9. ნავთობის ჯამური ნახშირწყალბადების საშუალო განაწილება (მგ/ლ). 1998 წლის 11-20 სექტემბერი. ანომალიურად მაღალი კონცენტრაცია 3.27მგ/ლ ფეოდოსიის მახლობლად არ არის ნაჩვენები რუკაზე (ა. კორშენკო)

ამ გამოთვლილი რაოდენობის ჩათვლით საშუალო რაოდენობამ მიიღწია 0.116 მგ/ლ. მეორე მაღალი მაჩვენებელი (0.73 მგ/ლ) დაფიქსირდა ამავე ადგილის მახლობლად, იალტასთან. იალტის მახლობლად მდებარე ორ სხვა სადგურზეც ნავთობის ჯამური ნახშირწყალბადების საკმაოდ მაღალი კონცენტრაცია აღინიშნა, რაც მერყეობდა 0.13-დან 0.19 მგ/ლ-მდე. იმ დროისათვის შავი ზღვის წყლებში ყირიმის სამხრეთით განფენილი ყველაზე დიდი ნავთობის ლაქა შეიძლება გამოწვეული ყოფილიყო ნავთობის ადგილობრივი ჩაღვრით, ან სეზონის ბოლოს მსხვილი ტურისტული ცენტრების ჩამდინარე წყლებით.

ქერჩის სრუტესთან ახლოს წყლები უფრო მეტად იყო დაბინძურებული ნავთობის ჯამური ნახშირწყალბადებით. ამის მიზეზია აზოვის ზღვიდან ნავთობით დაბინძურებული ჩამონადენი და ქერჩის ნავსადგურისა და ინტენსიური საზღვაო ტრანსპორტის შედეგად დაბინძურებული მლაშე წყლების დინებები. ჩრდილოეთის სანაპიროსგან განსხვავებით საქართველოსა და თურქეთის წყლებში დაბინძურების დონე შედარებით დაბალია, მიუხედავად საყოველთაოდ ცნობილი ნავთობგადამამუშავებელი ცენტრისა ბათუმში. იმ დროისათვის კორუს პოლიგონზე ნავთობის ჯამური ნახშირწყალბადების კონცენტრაცია ზედაპირულსა და ქვედა შრეებზე არ აჭარბებდა 0.08-0.09 მგ/ლ და ზოგჯერ იყო დაფიქსირების ზღვარს ქვემოთ. სინოპის პოლიგონზე კონცენტრაცია მერყეობდა 0.02-დან 0.12 მგ/ლ-მდე.

## ცხრილი 8.1

ნავთობის ჯამური ნახშირწყალბადების საშუალო კონცენტრაცია (მგ/ლ) შავი ზღვის განსხვავებულ რაიონებში.  
22.09-09.10. 2000 წ. (ა. კორშენკო)

| რეგიონი                | კონცენტრაცია მგ/ლ |
|------------------------|-------------------|
| ცენტრალური დასავლეთი   | 0.3               |
| ყირიმის სანაპირო       | 0.78              |
| ქერჩის სრუტე           | 0.20              |
| საქართველოს წყლები     | 0.05              |
| სინოპის პოლიგონი       | 0.05              |
| ცენტრალური აღმოსავლეთი | 0.03              |
| ცენტრალური დია         | 0.03              |



ზღვის ცენტრალურ და აღმოსავლეთ აუზში აღინიშნებოდა ნავთობის ნახშირწყალბადებით მხოლოდ უმნიშვნელო დაბინძურება. აქ ხშირად მონაცემები დაფიქსირების ზღვარს ქვემოთ იყო და არასოდეს აჭარბებდა 0.05 მგ/ლ-ს.

ღია ზღვაში დაბინძურების არსებობის მიზეზი, შესაძლებელია არის გემებიდან შემთხვევითი ჩაღვრა და არა შავი ზღვის მთელი აღმოსავლეთ აუზის ქრონიკული დაბინძურება. მხოლოდ სანაპირო წყლებში დაიკვირვება ხოლმე ნავთობით დაბინძურების მაღალი დონე.

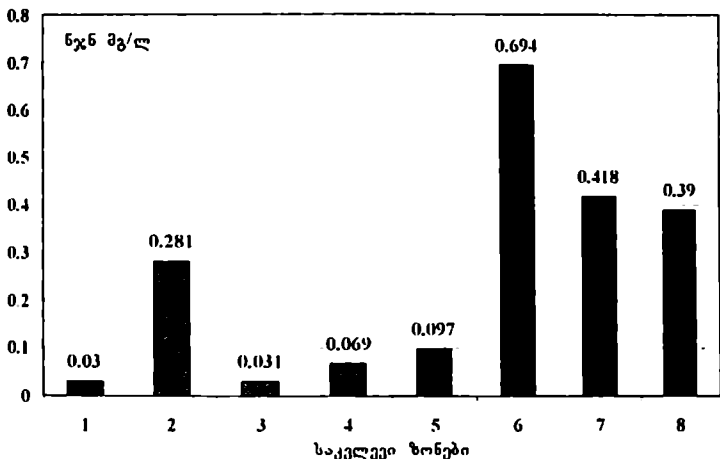
აღმოსავლეთ აუზის ცენტრში მდებარე ერთ სადგურზე ნავთობის ჯამური ნახშირწყალბადების ვერტიკალური განაწილება (0 მ სიღრმე – 0.05 მგ/ლ; 1.14 მ სიღრმე – 0.03 მგ/ლ; 18 მ – 0 მგ/ლ; 44 მ – 0.03 მგ/ლ; 202 მ – 0.01 მგ/ლ; 506 მ – 0 მგ/ლ, 1011 მ – 0 მგ/ლ) ნათლად მიუთითებს კონცენტრაციასა და სიღრმეს შორის მჭიდრო კორელაციის არარსებობაზე. მხოლოდ ის შეიძლება აღინიშნოს, რომ ზღვის ზედა შრეებზე ნავთობის ნახშირწყალბადების შემცველობა რამდენადმე უფრო მაღალია. გათვალისწინებულ უნდა იქნეს ასევე ყველა მონაცემი, რომელიც ანალიზური მეთოდის საშუალებით გამოვლენის ზღვარზეა.

2000 წლის ოქტომბერში ჩატარებული კვლევის შედეგად ნავთობის ნახშირწყალბადების განაწილება დაშლილ და პარტიკულარულ ფაზებს შორის პრაქტიკულად წინასწარგანუჭვრეტელი და მაღალი რყევადობის მქონეა – შედარებითი წილი ამ ორ ფორმას შორის მერყეობს 0-დან 100%-მდე. ნახშირწყალბადების სხვადასხვა ფორმებით განაწილების მიზეზი არ არის ნათელი. ასე, მაგალითად, საქართველოს წყლებში სამი სადგურიდან ერთ-ერთში ზედაპირულ შრეზე ნავთობის ჯამური ნახშირწყალბადების კონცენტრაცია იყო 0.05 მგ/ლ, აქედან დაშლილი ფორმით – 60%, შეტივნარებული ნაწილაკები – 0.43 მგ/ლ. მომდევნო სადგურზე ნავთობის ჯამური ნახშირწყალბადები იყო 0.02 მგ/ლ და 100% წყალში გახსნილი იმ დროს, როცა ზღვის მარილიანობის კონცენტრაცია იყო 0.61 მგ/ლ. მესამე სადგურზე ნავთობის ჯამური ნახშირწყალბადები იყო 0.02 მგ/ლ და ნახშირწყალბადების 100% იყო შეტივნარებული ნაწილაკები (2,57 მგ/ლ), წყალში საერთოდ არ იყო ნახშირწყალბადები. საქართველოს სხვა სადგურები გვიჩვენებენ, რომ ზღვის გამდიდრება ნაწილაკებით არ იწვევს ნავთო-

ბის ჯამური ნახშირწყალბადების პარტიკულარული ფაზის გაზრდას. კორუს პოლიგონის ორ სადგურზე მყარი ნაწილაკები წყალში გაიზარდა 109 და 80 მგ/ლ-მდე, მაგრამ ყველა ნავთობის ჯამური ნახშირწყალბადი (შესაბამისად 0.09 და 0.07) იყო წყალში გახსნილი. უნდა ვივარაუდოთ, რომ ნახშირწყალბადების სხვადასხვა ფაზებს შორის განაწილება უფრო რთულია და მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული. ალბათ, ჩატარებული გამოკვლევისას გამოყენებული ანალიზური მეთოდი არ იყო საკმარისად კარგი, რომ გამოევლინა ამგვარი დამოკიდებულება. განსაკუთრებით ნავთობის ჯამური ნახშირწყალბადების დაფიქსირების ზღვარზე მყოფი რაოდენობისთვის.

როგორც აღენიშნეთ, შავი ზღვის საქართველოს აკვატორიის წყლებსა და ფსკერულ ნალექში ნავთობის ნახშირწყალბადების შემცველობის და განაწილების შესახებ ძალზე დეტალური კვლევები ჩატარდა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ალ. ჯანელიძეს სახელობის გეოლოგიური ინსტიტუტის და სამეცნიერო კვლევით ფირმა „გამა“-ს ბაზაზე.

ნახ. 8.10 და 8.11-ზე შესაბამისად წარმოდგენილია შავი ზღვის საქართველოს აკვატორიის წყლებში და ფსკერულ ნალექებში ნავთობის ჯამური ნახშირწყალბადების (ნჯნ) შემცველობის განაწილება სიღრმის მიხედვით.



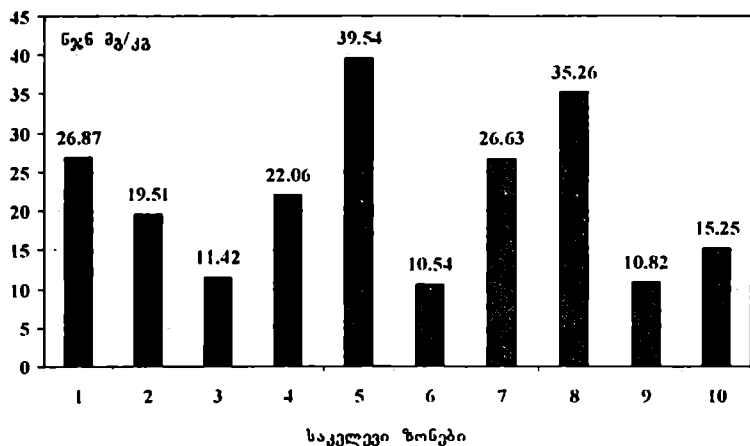
ნახ. 8.10. შავი ზღვის საქართველოს აკვატორიის წყლებში ნაეთობის ჯამური ნახშირწყალბადების (ნჯნ) შემცველობა (ნ. კელაშვილი, 2004 წ.)

სიღრმის მიხედვით დაყოფა

1 I საკელევი ზონა (5-50 მ); 2 II საკელევი ზონა (50-100მ); 3 - III საკელევი ზონა (100-200მ); 4 - IV საკელევი ზონა (200-500მ); 5 V საკელევი ზონა (500-1500მ)

საინტერესო უბანი

6 - ბათუმის ნავსადგურის უბანი; 7 ფოთის ნავსადგურის უბანი; 8 - სუფსის საზღვაო ტერმინალი



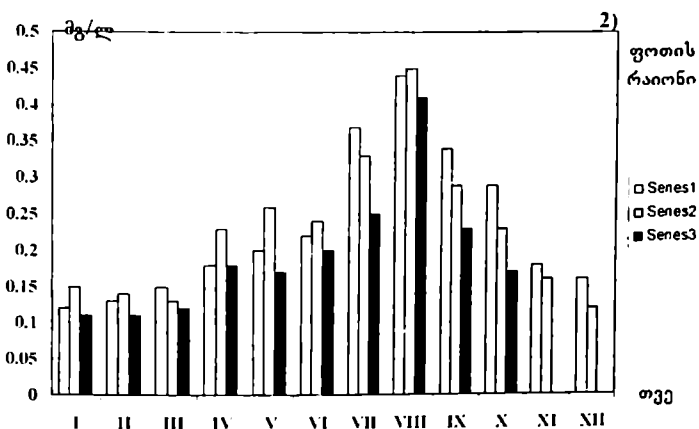
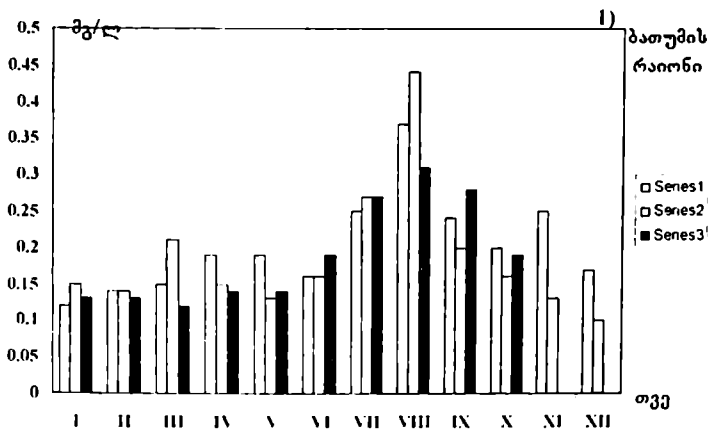
ნახ. 8.11. შავი ზღვის საქართველოს აკვატორიის ფსკერულ ნალექებში ნაუთობის გაზური ნახშირწყალბადების (ნჯნ) საშუალო შემცველობა (ნ. გელაშვილი. 2004 წ.)

სიღრმის მიხედვითი დაყოფა

1 – I საკელევი ზონა (5-50 მ); 2 – II საკელევი ზონა (50-100მ);  
3 – III საკელევი ზონა (100-200მ); 4 – IV საკელევი ზონა (200-500მ); 5 – V საკელევი ზონა (500-1500მ)

საინტერესო უბანი

6 – ბათუმის ნავსადგურის უბანი; 7 – ბათუმის ნავსადგურის უბანი. ჩრდ. მიმართულებით; 8 – ფოთის ნავსადგურის უბანი;  
9 – სუფსის საზღვაო ტერმინალი; 10 – კოლხეთის ეროვნული პარკი



ნახ. 8.12. ნავთობპროდუქტების საშუალო შემცველობა შავი ზღვის  
 ზედაპირზე 1) ბათუმისა და 2) ფოთის რაიონში (მგ/ლ)  
 1 - 1992 წ., 2 - 1993 წ., 3 - 1994 წ.  
 (ნ. გელაშვილი, 2004 წ.)

ნახ. 8.12-დან ჩანს ნავთობპროდუქტების რაოდენობის წლიური ცვლილება როგორც ბათუმში, ისე ფოთის რაიონში ზღვის ზედაპირზე. მაქსიმალური შემცველობა დაიკვირვებოდა წლის თბილ პერიოდში – ივლისსა და აგვისტოში, როცა მაღალია ბუნებრივი რადიაცია.

2010-2015 წლებში საგარეუდოდ საქართველოს შავი ზღვის პორტებზე და ტერმინალებზე ნავთობის და ნავთობპროდუქტების გადაზიდვის მოცულობა იქნება 50-60 მლნ/ტ წელიწადში. ზღვის ტრანსპორტის ინფრასტრუქტურის ასეთი ინტენსიური განვითარება კიდევ უფრო გაამწვავებს შავი ზღვის ეკოსისტემის მდგომარეობას.

1995 წელს საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის ეკოლოგიის განყოფილებაში შავი ზღვის სანაპირო ზოლის გაჭუჭყიანების მდგომარეობის შესწავლისას დადგინდა, რომ ფენოლების მაქსიმალური მნიშვნელობა შავ ზღვაში აღინიშნება წლის თბილ თვეებში, რაც გამოწვეულია არა მარტო მდინარეების მიერ ზღვაში ამ ნაერთების ჩადინებით, არამედ ზღვის წყალში ნავთობპროდუქტების დესტრუქციის პროცესებით, რომელთა შუალედურ პროდუქტსაც წარმოადგენს ფენოლი.

მძიმე მეტალები ფსკერულ ნალექებში (რუსეთის სექტორი). ზღვის და ოკეანის თანამედროვე ფსკერული ნალექი წარმოადგენს მძიმე მეტალების გეოქიმიური ციკლის საბოლოო რგოლს. მიგრაციის გზებისა და ფორმების მრავალფეროვნების მიუხედავად, მძიმე მეტალების საბოლოო აკუმულაცია მიმდინარეობს მტკნარი წყალსატევების, ზღვებისა და ოკეანეების ფსკერზე, სადაც აისახება მომცველი გარემოს ლითოლოგიური, გეოქიმიური და ტექნოგენური თავისებურებები.

2002 წლის ზაფხულში ტამანის სამხრეთით ფსკერულ ნალექებში მეტალების კონცენტრაცია მერყეობდა ძალიან დიდი ამპლიტუდით, სიღრმისაგან ფაქტობრივად დამოუკიდებლად. 40 მ სიღრმეზე ადგილობრივი პირობები შეიძლება ყოფილიყო აქ მრავალი მეტალის, კერძოდ, ალუმინის, ვანადიუმის, ქრომის, მანგანუმის, ნიკელის, სპილენძისა და დარიშხანის მინიმალური კონცენტრაციის მიზეზი (ცხრილი 8.2.). საპირისპირო შემთხვევა იყო 70 მ-ის სიღრმის სადგურზე, სადაც მანგანუმის გარდა ყველა ელემენტმა თავისი მაქსიმუმი აჩვენა. ფსკერულ ნალექში სანაპიროს გასწვრივ ტყვიამ მიაღწია 7,6მკგ/გ დონეს, ხოლო კადმიუმი ყველგან იყო განსაზღვრის ზღვარს ქვემოთ.

## ცხრილი 8.2.

ლითონების შემცველობა ფსკერულ ნალექებში ტამანის  
სამხრეთით, 2002 წლის ივნის-ივლისი  
(ა. კორშენკო, ვ. გვაზარია, ნ. მაჩიტაძე)

| სიღრმე,<br>მ. | Al   | V     | Cr | Mn    | Ni   | Cu | Zn    | As   | Cd | Pb  |
|---------------|------|-------|----|-------|------|----|-------|------|----|-----|
| 20            | 2184 | 128,4 | 47 | 661   | 28,6 | 53 | 31,06 | 7,25 | 0  | 7,6 |
| 40            | 876  | 54    | 27 | 163,5 | 5,5  | 38 | 30,08 | 2,02 | 0  | 4,3 |
| 70            | 3206 | 293   | 64 | 377,5 | 44   | 92 | 56,28 | 4,47 | 0  | 0,6 |
| 100           | 1488 | 115,2 | 42 | 255   | 32,2 | 79 | 25,61 | 5,35 | 0  | 5,0 |

საქართველოს სექტორი. 1993-1995 წლებში საქართველოს  
შელფის მცირეწყლიან არეალებში სანაპირო ზოლის მართობულ  
კვეთებზე მდებარე სადგურებზე აღებულ იქნა სინჯები 3-15 მ  
სიღრმეებიდან. 186 სინჯში გაზომილ იქნა მეტალების – Fe, Mn,  
Cu, Zn, Cr, V, Ni, Pb, Mo – კონცენტრაცია (ცხრილი 8.3.)

## ცხრილი 8.3.

მეტალების კონცენტრაცია საქართველოს შელფის ფსკერულ  
ნალექებში 1993-1995 და 2000 წლები  
(ა. კორშენკო, ვ. გვაზარია, ნ. მაჩიტაძე)

|           | Cr      | Mn       | Cu     | Zn     | As     | Pb     |
|-----------|---------|----------|--------|--------|--------|--------|
| 1993-1995 |         |          |        |        |        |        |
| მინ/მაქს  | 10/1300 | 700/9300 | 40/900 | 60/300 | -      | 7,0-48 |
| საშუალო   | 215     | 1937     | 50     | 136    | -      | 17,7   |
| 2000      |         |          |        |        |        |        |
| მინ/მაქს  | 40/700  | -        | 20/325 | 60/260 | 5,0/95 | 7-50   |
| საშუალო   | 81      | -        | 81     | 102    | 15     | 20     |

2000 წელს განხორციელებულ იქნა კვლევა ფსკერული ნა-  
ლექების მძიმე მეტალებით დაბინძურების შესახებ საერთაშორისო  
პროექტის ფარგლებში – ფონური ეკოლოგიური მდგომარეობის  
შესწავლა შავი ზღვის აღმოსავლეთ ნაწილსა და საქართველოს

სანაპიროს გასწვრივ. ექსპედიცია ჩატარდა იზმირის უნივერსიტეტის (თურქული) სამეცნიერო-კვლევითი ზომადლის „პირი რეის“-ის ბორტზე. საქართველოს მთელს შელფში 10-დან 1500მ-მდე სიღრმეზე მოგროვილ იქნა 75 ფსკერული ნალექების ნიმუში და განისაზღვრა მეტალების — Fe, Al, Cu, Zn, Cr, As, Ba, Pb — შემცველობა. სინჯების მომზადება და ლითონების განსაზღვრა მოხდა ატომურ-აბსორბციული მეთოდით.

სპილენძი და თუთია. შავ ზღვაში სპილენძისა და თუთიის მაღალი კონცენტრაცია იქნა აღმოჩენილი საქართველოს სექტორის სამხრეთ ნაწილის წყალქვეშა ფერდის ნალექებში მდ. ჭოროხის შესართავთან: Cu — 325 მკგ/გ-მდე, Zn — 260 მკგ/გ-მდე. ეს კონცენტრაცია რამდენადმე მცირდება ჩრდილოეთისაკენ, ნაპირის გასწვრივ. ზღვის ფსკერულ ნალექებში სპილენძი და თუთია ხვდება მდ. ჭოროხის ფსკერულ ნალექებთან ერთად. როგორც ცნობილია, მდ. ჭოროხის წყალშემკრებ აუზში როგორც საქართველოს, ასევე თურქეთის ტერიტორიაზე განლაგებულია სპილენძ-სულფიდური საბადოები. საბადოების გამოფიტვის პორიზონტებიდან მადნის ნაწილაკები მდინარის კალაპოტში, შემდგომ კი შესართავის ზონაში ხვდება.

კოლხეთის დაბლობის წყალქვეშა ფერდის ნალექებში Cu და Zn განაწილებულია თანაბრად და მათი კონცენტრაცია არ აღემატება ფონურ დონეს: Cu — 20-დან 45 მკგ/გ-მდე (საშუალოდ 30მკგ/გ) და Zn — 62-დან 170-მდე (საშუალოდ 110მკგ/გ).

დარიშხანი. დარიშხანის განაწილება აჭარის სექტორის წყალქვეშა ფერდის მცირე სიღრმეებიდან აღებულ ზღვის ნალექებში ანალოგიურია Cu-სა და Zn-ის განაწილებისა. ეს აიხსნება დარიშხანის არსებობით სულფიდური მარილების შემადგენლობაში ნალექების მძიმე ფრაქციებში, რაც სხვადასხვა ელემენტთან ერთად ჩამოიტანება საქართველოსა და თურქეთის მაღაროებიდან.

ქრომი. ეს მეტალი არათანაბრადაა განაწილებული შავი ზღვის საქართველოს სექტორის ფსკერულ ნალექებში. ის ძირითადად გროვდება ჩაქვისწყალი-სუფსის შესართავებს შუა რაიონში. ყველა მცირე სიღრმეზე მისი კონცენტრაცია აღწევს 700მკგ/გ-ს. ქრომის ძირითადი მატარებელია მუქი მინერალები (მაგნეტიტი, ბიოტიტი, პიროქსენი), ეულკანური მადნების ძირითადი ამგები ქანების მაფორმირებელი მინერალები (ბაზალტები, ანდეზიტები, პორფირი-



ტები, ტუფი და ა.შ.). მათი გამოფიტვის პროდუქტები ზღვაში ჩაედინება მცირე მდინარეების მეშვეობით (ყოროლისწყალი, ჩაქვისწყალი, ჩოლოქი, ნატანები და სუფსა). სპილენძისა და თუთიისგან განსხვავებით ქრომის აკუმულირება ხდება ბუნებრივად, რამდენადაც ის არ არის კავშირში რაიმე ანთროპოგენურ მოქმედებასთან.

ტყვია. ტყვია ფაქტობრივად თანაბრად განაწილებული მთელს შელფზე. საქართველოს მთელს შელფზე მაქსიმალური კონცენტრაცია არ აღწარბებს 50 მკგ/გ-ს, მინიმალურია – 7 მკგ/გ, ზოლო საშუალო – 18 მკგ/გ, რაც აშკარად ადგილობრივი ფონური დონეა. ამ მხრივ სიტუაცია არ შეცვლილა 1990-იანი წლების შუაზანებიდან.

ბარიუმი. ბარიუმის მაღალი შემცველობა ფსკერულ ნალექებში ძირითადად კავშირშია შელფის სანაპირო ზოლთან. მაქსიმალური კონცენტრაცია (0,1-0,2%-ის ზღვარზე) გამოვლენილ იქნა არეალში მდ. ჭოროხის შესართავიდან ქ. ბათუმამდე. მისი განაწილება დაკავშირებულია გამოფიტვის პროდუქტებთან სამხრეთ კავკასიონის ბარიტულ-პოლიმეტალური შრეებისა, რაც ზღვაში მდ. ჭოროხის მეშვეობით ჩაიტანება. ბარიუმის დაგროვება ასევე დაიკვირება მდ. კინტრიშის შესართავის ნალექებში (0,05-0,1%). დასავლეთ საქართველოს სანაპირო ზოლში ნაპოვნია ბარიუმით მდიდარი თიხის მინერალების (კერძოდ ზეოლიტების) შემცველი მეტამორფული გეოლოგიური ფორმირებები. შესაძლოა, ეს ტერიტორიული ნივთიერება წყალქვეშა ფერდზე გამდიდრებულია ზემოთ აღნიშნული მინერალებით, რითაც აიხსნება ბარიუმის შედარებით მაღალი შემცველობა ნაპირის გასწვრივ.

ალუმინი. რადგანაც ქანების ძირითადი ამგები ელემენტია, ალუმინი საქართველოს შელფის ფსკერული ნალექის 2-7,5%-ს შეადგენს. ყველაზე მაღალი მაჩვენებელი 6.0 – 7.5% დაიკვირება კოლხეთის დაბლობის არეალში. აშკარაა, რომ ყველაზე წერილმარცვლოვანი ფრაქციები  $Al_2O_3$ -ის მაღალი შემადგენლობით ინტენსიურად დრენირდება კოლხეთის ჭაობიანი რეგიონებიდან და ილექება გრავიტაციული დაყოფით. საშუალოდ, საქართველოს შელფის ჩრდილოეთ ნაწილში ალუმინის შემადგენლობა 3-4%-ით მაღალია, ვიდრე სამხრეთ ნაწილში, რამდენადაც ზღვის ფსკერულ

ნალექებში თიხის ფრაქციების შემცველობა მატულობს ჩრდილოეთის მიმართულებით.

რკინა. შელფის სანაპირო ნაწილი, რომელიც მდებარეობს მდინარეების – ყოროლისწყლის, ჩაქვისწყლის, კინტრიშის, ნატანებისა და სუფსას შესართავებს შორის, ხასიათდება რკინის მაღალი შემცველობით (>11%). ეს მდინარეები დრენირებენ აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა სისტემის დასავლეთ დაბლობებს და ჩამოაქვთ ზღვაში წითელმიწა ნიადაგის გამოფიტვის პროდუქტები. რკინის მაღალი შემცველობა დაკავშირებულია მუქ მინერალებთან (მაგნეტიტი, შავი ქარსი და სხვ.). ამ სექციაში რკინის მაღალი შემცველობა ემთხვევა ქრომის მაღალ შემცველობას, რაც მიუთითებს მათი ზღვის ნალექში მოხვედრის საერთო წყაროზე. კოლხეთის დაბლობის საზღვრებში რკინის შემცველობა წყალქვეშა ფერდის ნალექში იყო 3-დან 5%-მდე.

შავი ზღვის საქართველოს სანაპირო წყლების მძიმე მეტალეზით დაბინძურების ძირითადი მიზეზი არის სამთომოპოვებითი მრეწველობა, სოფლის მეურნეობა და ტრანსპორტის ინფრასტრუქტურა (ზღვის პორტები, ტერმინალები, რკინიგზა).

#### ცხრილი 8.4.

*მეტალების შემცველობა ბათუმისა და ფოთის საზღვაო ნავსადგურების ფსკერულ ნალექში, მგ/კგ  
(მაჩიტაძე ნ., 2002 წ.)*

| ელემენტი | ბათუმის ნავსადგური    |         | ფოთის ნავსადგური      |         |
|----------|-----------------------|---------|-----------------------|---------|
|          | შემცველობის დიაპაზონი | საშუალო | შემცველობის დიაპაზონი | საშუალო |
| Cu       | 115-315               | 258     | 50-255                | 82      |
| Zn       | 255-420               | 353     | 105-410               | 193     |
| V        | 83-230                | 171     | 75-200                | 152     |
| Cr       | 18-110                | 61      | 13-580                | 101     |
| Mn       | 200-430               | 360     | 1200-3300             | 2200    |
| Pb       | 18-86                 | 56      | 13-40                 | 25      |
| Ni       | 20-64                 | 49      | 23-76                 | 54      |

ზღვის აეროზოლები. მძიმე მეტალებით დაბინძურებული ზღვები და ოკეანეები ზღება ატმოსფეროს დაბინძურების ერთ-ერთი მიზეზი. მძიმე მეტალები შეიძლება მოხვდეს ატმოსფეროში სხვადასხვა წარმომავლობის აეროზოლების კომპონენტების სახით. ეულკანური აქტივობა, მტერის წარმოქმნა ნიადაგის გამოფიტვის შედეგად, მრეწველობისა და ტრანსპორტის ფუნქციონირება (რაც წარმოქმნის ტექნოგენურ აეროზოლებს), მარილების ნაწილაკების გენერაცია ტალღისა და ქარის ზემოქმედების შედეგად ოკეანეზე და მრავალი სხვა პროცესი აეროზოლების წარმოქმნის წყაროა. ატმოსფერული აეროზოლი ყოველთვის განსხვავებული წარმომავლობის ნაწილაკების ნარევეს წარმოადგენს. ზღვის აეროზოლების წარმოქმნა ზღება ზღვის წყლის მასაში დიფუზიურ ფაზაში გაზის გამოყოფის შედეგად ზედაპირის მიკროშრეზე წარმოქმნილი ბუშტების გასკდომისას, ასევე ტალღის გარდატეხის დროს და ქარით გამოწვეული პირდაპირი მოწყვეტით წყლის წვეთებისა ზღვის ამოურცული ზედაპირიდან. ამგვარად, ზღვის ზედაპირის მიკროშრე და ზღვის აეროზოლები თავისი ქიმიური შემადგენლობით მსგავსნი არიან.

ზედაპირის მიკროშრეში დაგროვილი დამაბინძურებლები, მათ შორის მძიმე მეტალები აეროზოლების წარმოქმნის შედეგად ხდება ატმოსფეროში. ამგვარად, ზღვა ატმოსფეროს მძიმე მეტალებით დაბინძურების კიდევ ერთ წყაროს წარმოადგენს.

შავი ზღვის ზედაპირის მიერ წარმოქმნილი აეროზოლები აქამდე არ ყოფილა სისტემური შესწავლის საგანი, სადაც ჩართული იქნებოდა დიდი რაოდენობით სინჯების ამღები სანაპირო სადგურები და სახმალდო გამოკვლევები. თუმცა ა. სიროეშკინის, ი. მატჩევას, ს. პლეტენევის, აგრიგორიევის და ვლეპშინის მიერ 2002 წლიდან მოყოლებული, ჩატარდა წლიური კვლევები და შესწავლილ იქნა შავი ზღვის რუსეთის სექტორში ზღვის აეროზოლებში მძიმე მეტალების: ალუმინის, დარიშხანის შემცველობები და ამ აეროზოლების სივრცე-დროითი განაწილება.

ჩატარებული კვლევების შედეგად მიღებულია, რომ შავი ზღვის აეროზოლებში მძიმე ლითონების სივრცე-დროითი საშუალო შემცველობა არის უფრო მაღალი კონტინენტურ აეროზოლებში მათ შემცველობასთან შედარებით.

შავი ზღვის ზედაპირი შესაძლოა წარმოადგენს ატმოსფეროს მძიმე მეტალებით და ღარიშხანით დაბინძურების დამატებით წაყროს შემდეგ კონცენტრაციებამდე: Cr, 200 000 ნგ/მ<sup>3</sup>; Ni, 100 000 ნგ/მ<sup>3</sup>; Mn, 4000 ნგ/მ<sup>3</sup>; Fe, 20000 ნგ/მ<sup>3</sup>; Zn, 5000 ნგ/მ<sup>3</sup>; As, 15 ნგ/მ<sup>3</sup>; Cd, 10 ნგ/მ<sup>3</sup>; და Pb, 50 ნგ/მ<sup>3</sup>. კონცენტრაციების სიერცული მრავალფეროვნების ხარისხის მიხედვით ელემენტები ქმნიან შემდეგ მწკრივს:

Cr, Mn, Ni > Fe, Cu, Pb > Al, Zn, As, Cd

შავი ზღვის რეგიონში აეროზოლებში მძიმე მეტალებისა და ალუმინის შემცველობის სიმაღლეზე დამოკიდებულების დიაპაზონია 0.2 მ-დან 2100 მ-მდე, ხოლო მაქსიმუმები – 7 მ-დან 50 მ-მდე.

#### 8.4. საქართველოში ზღვის სანაპირო ზონის

პრობლემების შესახებ აჭარის რეგიონის მაგალითზე

მსოფლიოში ზღვისა და ოკეანეების სანაპირო ზოლის საერთო სიგრძეა 469 ათასი კმ, აქედან გენეტიკურად აკუმულაციური ტიპის ნაპირებს უჭირავს დაახლოებით 133 ათასი კმ ანუ 28%, რომელთა 70% ამჟამად განიცდის გარეცხვა-უკანდახევას წელიწადში საშუალოდ 10 სმ-ით, ხოლო 20% – წელიწადში 1 მ და მეტი სიჩქარით.

ცხადია, ნაპირების მდგრადობა პირდაპირკავშირშია ოკეანის ღონის ევსტატიკურ აწევასთან, თუმცა თანამედროვე პერიოდში შეიმჩნევა ნაპირების გარეცხვის არეალების და ინტენსივობის ზრდა შედარებით სტაბილურ ევსტატიკურ პირობებში. აღსანიშნავია ისიც, რომ წარეცხვის პროცესების გააქტიურება შეიმჩნევა ტექტონიკური აწევის სტადიაში მყოფ უბნებზეც. ყოველივე ეს გვაფიქრებინებს, რომ ნაპირების დესტაბილიზაციის მთავარი მიზეზი უნდა ვეძებოთ სანაპირო ზონაში ადამიანის საქმიანობით ბუნებრივი წონასწორობის დარღვევაში ანუ ანთროპოგენურ ფაქტორებში. ისინი ერთგვაროვანია მსოფლიოს სხვადასხვა რეგიონისათვის. კერძოდ, ინერტული მასალების მოპოვება მდინარეთა კალაპოტებიდან და ზღვის სანაპირო ზონიდან, მდინარეთა შესართავების ხელოვნური შეცვლა-დარეგულირება, მდინარეებზე კაშხლების და პლაჟის აქტიურ ზონაში ჰიდროტექნიკური ნაგებობების (მათ შორის პორტების, ნავმისადგომების, ნაპირდამცავი კონსტრუქციების

და ა.შ.) მშენებლობა და სხვა, რაც ხორციელდებოდა და ხორციელდება კონკრეტული უბნის ბუნებრივი განვითარების პირობების გათვალისწინებლად.

ანალოგიური მდგომარეობა იყო საქართველოში, რომელსაც შავიზღვისპირეთის დაახლოებით 315 კმ სიგრძის სანაპირო ზონა უკავია. მისი დიდი ნაწილი (~300 კმ) აკუმულაციური ტიპისაა და ძირითადად აგებულია მდინარეების მიერ ზღვაში გამოტანილი ალუვიური მასალით.

დასავლეთ საქართველოს მდინარეების მყარი ნატანის საშუალო მრავალწლიური მოცულობა შეადგენს დაახლოებით 14,0-14,5 მლნ მ<sup>3</sup>-ს, აქედან 2,0 მლნ მ<sup>3</sup> ილექება მდინარეებზე მოწყობილ წყალსაცავებში, ხოლო 1,0-1,5 მლნ მ<sup>3</sup> ყოველწლიურად გაიტანება კალაპოტებში არსებული კარიერებიდან. შესაბამისად, ზღვის სანაპირო ზონამდე აღწევს დაახლოებით 11 მლნ მ<sup>3</sup> წელიწადში. ამ მოცულობიდან ~2,0 მლნ მ<sup>3</sup> იკარგება სანაპირო ზონაში შემოჭრილ წყალქვეშა კანიონებში, ხოლო ~6.8 მლნ მ<sup>3</sup> წვრილფრაქციული მასალა გადაიტანება ღია ზღვაში და მონაწილეობს სელიმენტაციის თანამედროვე პროცესებში. ამრიგად, საქართველოს სანაპირო ზონის ფორმირებას წელიწადში ხმარდება დაახლოებით 2,2 მლნ მ<sup>3</sup> - ალუვიური მასალა მდინარეების მიერ გამოტანილი, რომლის გადანაწილება სხვადასხვა უბანზე, ცხადია, არაერთგვაროვანია.

1961 წლის მონაცემებით საქართველოს 315 კმ-იანი სანაპირო ზონიდან ამავე დროს უგულებელყოფილი იყო ერთიანი ლითოდი-ნამიკური სისტემის მდგრადობის ბუნებრივი კანონზომიერებანი. შედეგად, 1960-80 წლებში საქართველოში წაირეცხა 1,4 ათასი კა კარგად ათვისებული ზღვისპირა ტერიტორია, მოუხდავად იმისა, რომ ნაპირდაცვით ღონისძიებებზე დაიხარჯა დაახლოებით 125 მლნ მანეთი 1982 წლის ფასებით ანუ 178 მლნ დოლარი. აქედან აჭარის რეგიონში მხოლოდ ქობულეთი-მახინჯაურის 22 კმ-იან მონაკვეთზე დაიხარჯა 24 მლნ მან., ანუ 34 მლნ დოლარი. მიუხედავად ამისა, როგორც ზღვისპირა მოსახლეობის საცხოვრებელი სახლები, ისე რკინიგზის ცალკეული უბნები, რამდენჯერმე გადატანილ იქნა ხმელეთის სიღრმეში, მათ შორის გვირაბებში.

აჭარაში ზღვის სანაპირო ზონის სიგრძე შეადგენს 50 კმ-ს (ნახ. 8.13). აქედან დაახლოებით 45 კმ აგებულია მდ. ჭოროხის მიერ ზღვაში გამოტანილი ალუვიონით, დანარჩენი კი კლდოვანი კონცხებია. მდ. ჭოროხის ლითოვანი-ამიკური სისტემის დეგრადაცია დაიწყო მე-19 საუკუნის მეორე ნახევარში, როდესაც მდინარის შესართავი დაფიქსირდა წყალქვეშა კანიონის რაიონში, სადაც იკარგებოდა ალუვიონის დიდი ნაწილი. შემდგომ, ბათუმის პორტის მშენებლობის (1878 წ.) და სხვა ანთროპოგენური ფაქტორების აქტიური გავლენის შედეგად, სანაპირო ზონის ერთიანი სისტემა დაიყო რამდენიმე ავტონომიურ ქვესისტემად. ნაპირების კატასტროფული წარეცხვების შესაჩერებლად დაიწყო ნაპირდამცავი ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მასიური მშენებლობა (მახინჯაური, ჩაქვი, ბობოყვათი, ქობულეთი), რამაც კიდევ უფრო დააჩქარა სანაპირო ზონის დესტაბილიზაცია.

1900-1980 წლებში წაირეცხა აჭარის ზღვისპირა ტერიტორიის დაახლოებით 400 ჰა, მხოლოდ მახინჯაური-ქობულეთის მონაკვეთზე – 200 ჰა, აქედან 150 ჰა 1930-80 წლებში, რაც პირდაპირკავშირშია ჩაქვის და კინტრიშის სანაპირო ზონაში ინერტული მასალების კარიერის არსებობასთან. ამ პერიოდში პორტის ჩარდილოვით ნატანის დეფიციტმა შეადგინა 12 მლნ მ<sup>3</sup>. ჩვენი გამოთვლებით, ბათუმის პორტის მოვლებით ჭოროხის ნაკადის ბლოკირებას უნდა გამოეწვია 3,0-3,5 მლნ მ<sup>3</sup> მოცულობის ნატანის დეფიციტი. თუ გავითვალისწინებთ დანაკარგს მასალის ცვეთაზე (მხოლოდ 0,3 მლნ მ<sup>3</sup> 50 წლის განმავლობაში), შეიძლება ვამტკიცოთ, რომ დაახლოებით 8,0-8,5 მლნ მ<sup>3</sup> პლაჟური მასალა გატანილია სანაპირო ზონიდან ხელოვნურად, სამშენებლო მიზნებისათვის.

1982 წლიდან საქართველოში დაინერგა ნაპირფორმირების პროცესების რეგულირებისა და შემდგომი მართვის თვისობრივად ახალი მეთოდი. იგი ითვალისწინებდა ნაპირის არა ცალკეული მონაკვეთის დაცვა-გამაგრებას, არამედ ზღვის სანაპირო ზონაში ანთროპოგენური ფაქტორის ჩარევამდე არსებული ბუნებრივი პროცესების აღდგენას ერთიანი დინამიკური სისტემის საზღვრებში და შემდგომ მათ რეგულირებას. ამისათვის დადგენილ იქნა სისტე-

მაში ნაპირშემქმნელი მასალის არსებული დეფიციტი და ხდებოდა მისი ხელოვნურად შევსება. ღონისძიებების ტექნოლოგიური სქემები განსხვავებული იყო სხვადასხვა რეგიონისათვის: კერძოდ, აფხაზეთში (გაგრა, სოხუმი, ოჩამჩირე) მასალის შეტანა სანაპირო ზონაში ძირითადად ხდებოდა ავტომანქანებით მთის კარიერებიდან; კოლხეთში (ფოთი) – 12 კმ-იანი მილსადენით (Намь пасьхიგ) მდ. რიონის კალაპოტიდან პორტის სამხრეთით არსებულ ავარიულ უბნებზე; აჭარის სანაპირო ზონაში ნატანის არსებული დეფიციტის შევსება ხდებოდა მდ. ჭოროხის შესართავიდან და ბათუმის აკუმულაციური კონცხის წყალქვეშა ფერდიდან მოპოვებული პლაჟშემქმნელი მასალით. ეს ის უბნებია, სადაც ბუნებრივ პირობებში მასალის დიდი მოცულობები იკარგებოდა წყალქვეშა კანიონებში. მოპოვებული მასალა ავარიულ უბნებზე ტრანსპორტირდებოდა ავტომანქანებით და თვითმცლელი, 1000 ტ ტევადობის გემებით.

1982-92 წლებში აჭარაში ნაპირდაცვითი ღონისძიებებისათვის მოპოვებულ იქნა დაახლოებით 6,2 მლნ მ<sup>3</sup> პლაჟშემქმნელი მასალა (ცხრილი 8.5). მონიტორინგის შედეგების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ჭარბი მასალის პერმანენტული ამოღებები კანიონის სათავეებთან დადებით გავლენას ახდენს ამ უბნების მორფოდინამიკურ პირობებზე. კერძოდ, მკვეთრად შემცირდა წყალქვეშა ფერდის ეროზიული პროცესები.

ავარიულ უბნებზე შეტანილი მასალის მოცულობები ტრანსპორტირების სახეობისა და წლების მიხედვით მოყვანილია ცხრილში 8.6 და ნახ. 8.14, ხოლო მიღებული შედეგები ანუ წყალზედა პლაჟების ფართობების ცვალებადობა 1980 წელთან შედარებით – ცხრილში 8.7. და ნახ. 8.15. როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს, ღონისძიების ეფექტურობა გაგრძელდა მისი შეწყვეტის შემდეგაც. ამის მიზეზი ისაა, რომ ავარიული უბნების წყალქვეშა ფერდზე ყოველწლიურად ხდებოდა ბევრად უფრო მეტი მასალის შეტანა, ვიდრე გადაიტანებოდა ნატანის ნაპირგასწვრივი ნაკადით შტორმული ტალღების ზემოქმედების შედეგად. მაქსიმალური ეფექტი მიღწეულია 1998 წელს, როდესაც აჭარაში ხელოვნურად შექმნილი პლაჟების ფართობმა (წყალზედა ნაწილი) მიაღწია 52 კა-ს,

2001 წლისათვის იგი შემცირდა 43 პა-მდე, თუმცა ავარიული უბნების საერთო სიგრძე მინიმუმამდე იქნა დაყვანილი.

აჭარაში ნაპირდაცვითი ღონისძიებები მიზნად ისახავდა სანაპირო ზონაში ნატანის არსებული დეფიციტის შევსებას და არსებული პირობების გათვალისწინებით, პორტის სამხრეთით და ჩრდილოეთით, ერთიანი ნაპირგასწვრივი ნაკადების ჩამოყალიბებას. შემდგომ დაგეგმილი იყო ნაპირების მართვა-რეგულირება ნაკადების ხელოვნურად შევსებით საწყის უბნებზე: სამხრეთი ნაკადისათვის გათვალისწინებული იყო ჩაყრები მდ. ჭოროხის შესართავთან წელიწადში 80-100 ათასი მ<sup>3</sup> ნატანის ოდენობით, ჩრდილოეთისათვის კი მახინჯაურთან – 50-70 ათასი მ<sup>3</sup>-ით, რაც საკმარისი იქნებოდა უდეფიციტო სანაპირო ზონის მდგრადი განვითარებისათვის. სამწუხაროდ, საქართველოში ცნობილი მოვლენების გამო, აღნიშნული ღონისძიებები 1992 წლიდან შეწყვეტილია, შესაბამისად დაგეგმილი სამუშაოები სრული ფორმატით ვერ განხორციელდა. თუმცა, პორტის ჩრდილოეთით, სადაც საკმაოდ დიდი მოცულობის ჩაყრები მიმდინარეობდა ძირითადად მცურავი საშუალებებით, ჯერ კიდევ არსებობს პლაჟშემქმნელი ნატანის მარაგი. ჩვენი მოკლევადიანი პროგნოზით იგი საკმარისი იქნება. შეინარჩუნოს მდგრადობა უახლოესი 3-5 წლის განმავლობაში.

## ცხრილი 8.5.

ინერტული მასალის ამოღების მოცულობები (ათასი მ<sup>3</sup>)

| ამოღების უბანი                  | 1982  | 1983  | 1984  | 1985  | 1986  | 1987  | 1988  | 1989  | 1990  | 1991  | 1992 | ჯამი   |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------|
| მდ.ჭოროხის შესართავის რაიონი    | 128.0 | 387.3 | 683.6 | 549.7 | 878.0 | 770.2 | 926.3 | 942.0 | 394.1 | 293.6 | 26.5 | 5979.3 |
| ბათუმის კონცხის წყალქვეშა ფერდი | 27.0  | —     | 20.0  | 20.0  | 30.0  | 63.0  | 20.0  | 24.0  | 14.7  | —     | —    | 218.7  |
| სულ                             | 155.0 | 387.3 | 703.6 | 569.7 | 908.0 | 833.2 | 946.3 | 966.0 | 408.8 | 293.6 | 26.5 | 6198.0 |





ნახ. 8.13. აჭარის სანაპირო ზონა

ცხრილი 8.6.

აჭარის სსპ-ში ზონაში შეტანილი ინერტული მასალის მოცულობები (ათასი მ<sup>3</sup>)

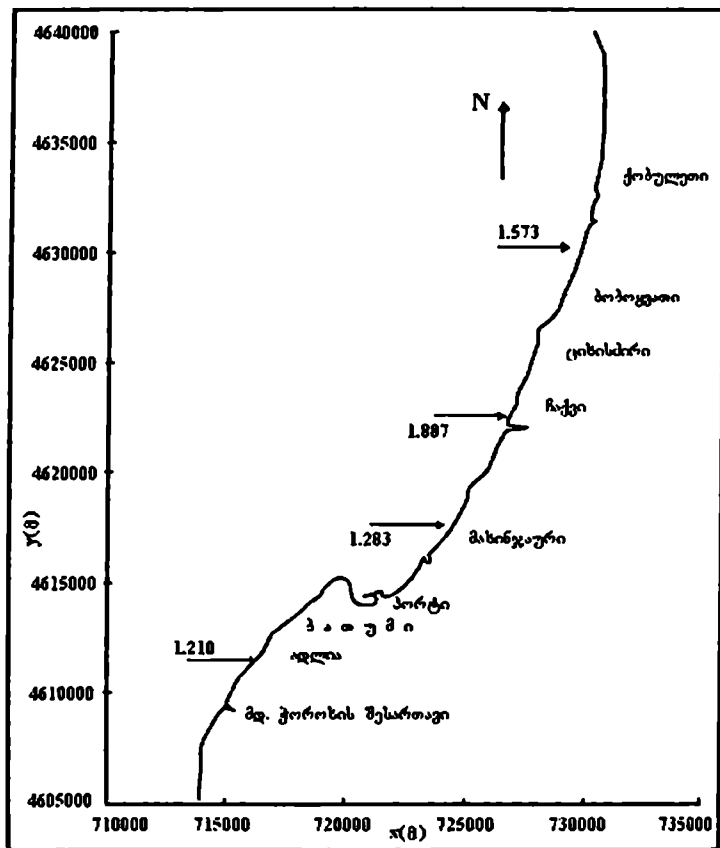
| ჯამი  |       | აღლი  |       | მანერეკერი |       | ჩაქო  |       | ბოძ-ეკათი |       | ქობულეთი |       | მასალის<br>შეტანის<br>აღლი |         |
|-------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|-----------|-------|----------|-------|----------------------------|---------|
| 155   | 27    | 88    |       |            |       | 20    | 20    |           |       | 47       | 7     | გზ                         | 1982 წ. |
|       | 128   |       | 88    |            |       |       |       |           |       |          | 40    | აზ                         |         |
| 387.3 | 219.3 | 130   |       | 18         |       | 135.8 | 135.8 |           |       | 103.5    | 83.5  | გზ                         | 1983 წ. |
|       | 168   |       | 130   |            | 18    |       |       |           |       |          | 20    | აზ                         |         |
| 703.6 | 565.2 | 100   |       | 145.3      | 106.9 | 443.1 | 443.1 |           |       | 152      | 152   | გზ                         | 1984 წ. |
|       | 138.4 |       | 100   |            | 38.4  |       |       |           |       |          |       | აზ                         |         |
| 569.7 | 361.5 | 108.2 |       | 155.7      | 55.7  | 215.3 | 215.3 | 90.5      | 90.5  |          |       | გზ                         | 1985 წ. |
|       | 208.2 |       | 108.2 |            | 100   |       |       |           |       |          |       | აზ                         |         |
| 908   | 728.1 | 160   |       | 191.7      | 188   | 260.8 | 260.8 | 130.6     | 124.4 | 164.9    | 154.9 | გზ                         | 1986 წ. |
|       | 179.9 |       | 160   |            | 3.7   |       |       |           | 6.2   |          | 10    | აზ                         |         |
| 833.2 | 697.8 | 114.7 |       | 225.7      | 205   | 220   | 220   | 228       | 228   | 44.8     | 44.8  | გზ                         | 1987 წ. |
|       | 135.4 |       | 114.7 |            | 20.7  |       |       |           |       |          |       | აზ                         |         |

|       |        |        |        |        |        |       |       |       |       |                  |         |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|------------------|---------|
| 946.3 | 878.3  | 140.8  | 92.8   | 212.8  | 192.8  | 254.1 | 157.7 | 180.9 | 180.9 | 33 <sup>th</sup> | 1988 ƒ. |
|       | 68     |        | 48     |        | 20     |       |       |       |       | 48               |         |
| 966   | 827    | 239    | 122    | 153    | 131    | 251   | 133   | 190   | 190   | 33 <sup>th</sup> | 1989 ƒ. |
|       | 139    |        | 117    |        | 22     |       |       |       |       | 48               |         |
| 408.8 | 299.9  | 130.6  |        | 165.8  | 147.5  | 61.9  |       | 50.5  | 50.5  | 33 <sup>th</sup> | 1990 ƒ. |
|       | 148.9  |        | 130.6  |        | 18.3   |       |       |       |       | 48               |         |
| 293.6 | 267.2  | 53.8   | 27.4   | 110.9  | 110.9  |       | 78.8  | 50.5  | 50.5  | 33 <sup>th</sup> | 1991 ƒ. |
|       | 26.4   |        | 26.4   |        |        |       |       |       |       | 48               |         |
| 26.5  |        | 15     |        | 25     |        |       |       |       |       | 33 <sup>th</sup> | 1992 ƒ. |
|       | 26.5   |        | 15     |        | 25     |       |       |       |       | 48               |         |
| 6198  | 4831.3 | 1266.6 | 212.2  | 1403.9 | 1137.8 | 1862  | 818.6 | 846.9 | 776.9 | 33 <sup>th</sup> | 1993 ƒ. |
|       | 1366.7 |        | 1024.1 |        | 366.1  |       |       |       | 70    | 48               |         |

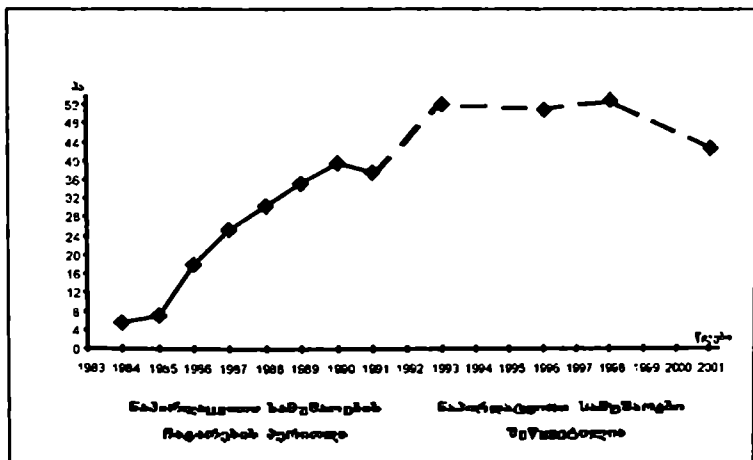
ცხრილი 8.7.

აჭარაში პლაჟების ფართობების ცვლილება 1980 წელთან შედარებით (კა)

| წელი | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1993 | 1996 | 1998 | 2001 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ჯამი | 5.4  | 7.2  | 17.9 | 25.3 | 30.4 | 35.3 | 39.4 | 37.7 | 51.9 | 50.7 | 52.9 | 42.8 |



ნახ. 8.14. ჩაყრები მდ. ჭოროხსა და ქობულეთს შორის  
სანაპირო ზოლის გასწვრივ (მოცულობა · 1000 მ³)



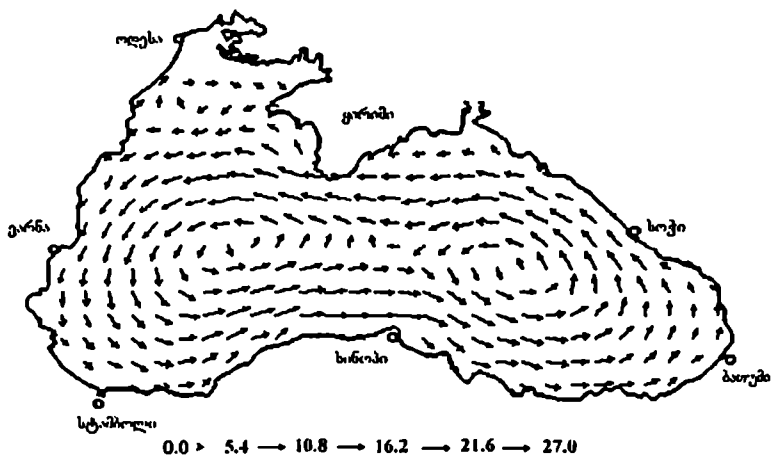
ნახ. 8.15. ქლავების ფართობების ცვალებადობა 1980 წელთან შედარებით სისტემის ფარგლებში

## 8.5. შავ ზღვაში დამაბინძურებელი მინარევების განაწილების მოდელირების შედეგები

განვიხილოთ რიცხვითი ექსპერიმენტის შედეგები შავი ზღვისათვის, რომლებიც შესრულებულია გეოფიზიკის ინსტიტუტში ა. კორდაძის და დ. დემეტრაშვილის მიერ. მოდელირებისას გამოიყენებოდა ტურბულენტური დიფუზიის ორ- და სამგანზომილებიანი განტოლებები და შესწავლილი იყო შავ ზღვაში ავარიული დაღვრების შემდეგ ნავთობის განაწილება და არაკონსერვატული, დინამიკურად პასიური მინარევის გავრცელება მუდმივმოქმედი სიღრმითი სტაციონარული წერტილოვანი წყაროს შემთხვევაში.

100000ტ ნავთობი ზღვის აუზში ჩაიღვრა წერტილში  $44^{\circ}11'N$  და  $31^{\circ}02'E$  გეოგრაფიული კოორდინატებით. ეს წერტილი მდებარეობს შავი ზღვის ძირითადი დინებების ჩრდილო-დასავლეთ განშტოებაზე, სადაც დინება მიმართულია სამხრეთ-დასავლეთით (ნახ.

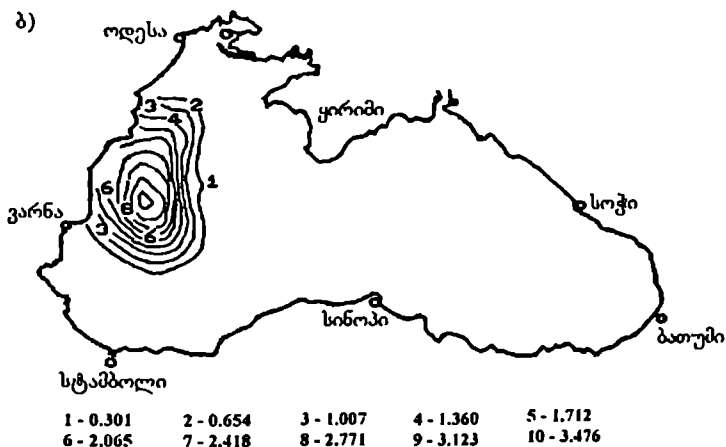
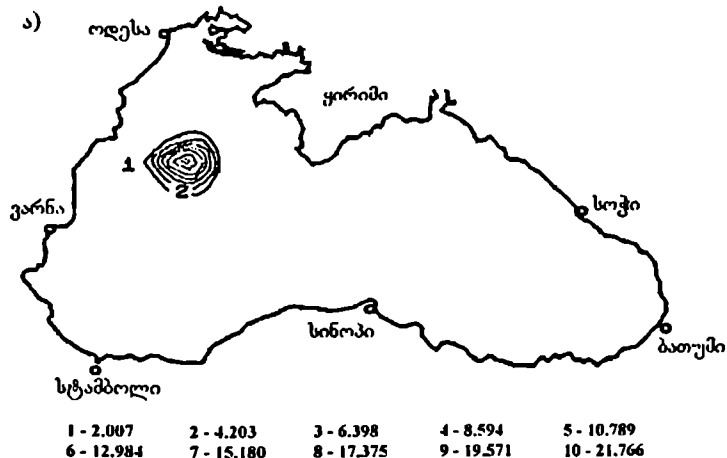
8.16). ნახ. 8.17 ა, ბ, გ, დ, ე, ვ გვიჩვენებს ამ შემთხვევაში ნავთობის გავრცელების პროცესს. ნავთობის ლაქა ნავთობის ზღვაში ჩალერის პირველ დღეებში მოხვდება შავი ზღვის ძირითადი დინებების ზემოქმედებაში და მიუახლოვდება ბულგარეთისა და რუმინეთის სანაპიროებს, ის ასევე გაიშლება ტურბულენტური დიფუზიის ზემოქმედებით. 15 დღის შემდეგ ზონა მაღალი კონცენტრაციით ( $c_{max}=2.19$  მგ/ლ) დაიკვირვება ვარნასთან.

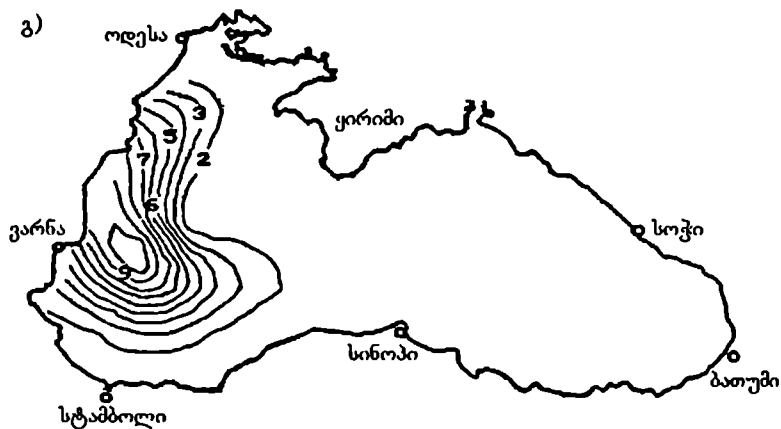


ნახ. 8.16. საშუალო წლიური კლიმატური ცირკულაცია  
შავი ზღვა (ბაროტროპული მოდელი)  
(ა. კორძაძე, დ. დემეტრაშვილი, 2002)

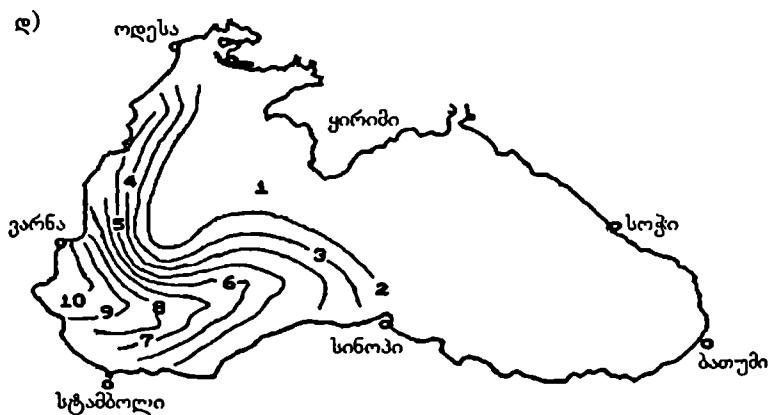
ნახ. 8.17. ნავთობის კონცენტრაციის იზოხაზები პირველი რიცხვითი ექსპერიმენტის დროს (მგ/ლ), ავარიული დაღვრის შემდეგ ღროის სხეულის სხვადასხვა მომენტისათვის.

((ა) - 2 დღე, (ბ) - 10 დღე, (გ) - 15 დღე, (დ) - 30 დღე, (ე) - 90 დღე, (ვ) - 120 დღე)  
(დ. ღემეტრაშვილი, ა. კორძაძე, 2002)



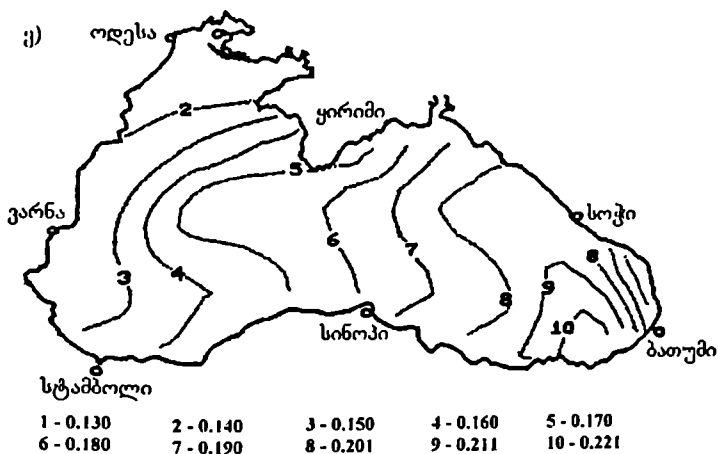
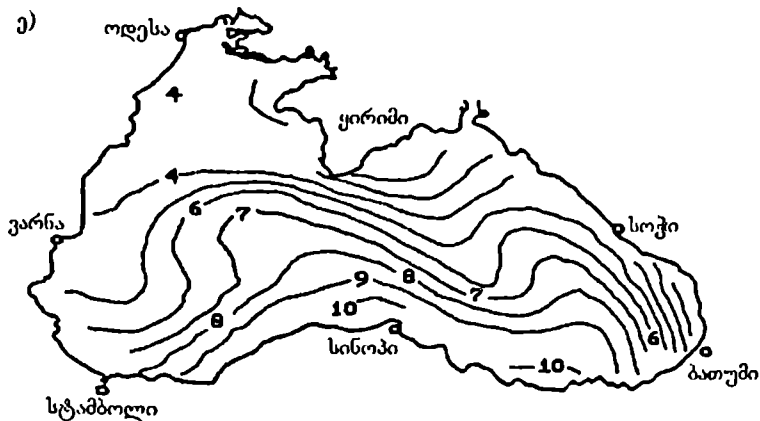


|           |           |           |           |            |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1 - 0.056 | 2 - 0.194 | 3 - 0.444 | 4 - 0.694 | 5 - 0.944  |
| 6 - 1.194 | 7 - 1.444 | 8 - 1.694 | 9 - 1.944 | 10 - 2.194 |



|           |           |           |           |            |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1 - 0.110 | 2 - 0.227 | 3 - 0.343 | 4 - 0.459 | 5 - 0.576  |
| 6 - 0.692 | 7 - 0.808 | 8 - 0.925 | 9 - 1.041 | 10 - 1.157 |

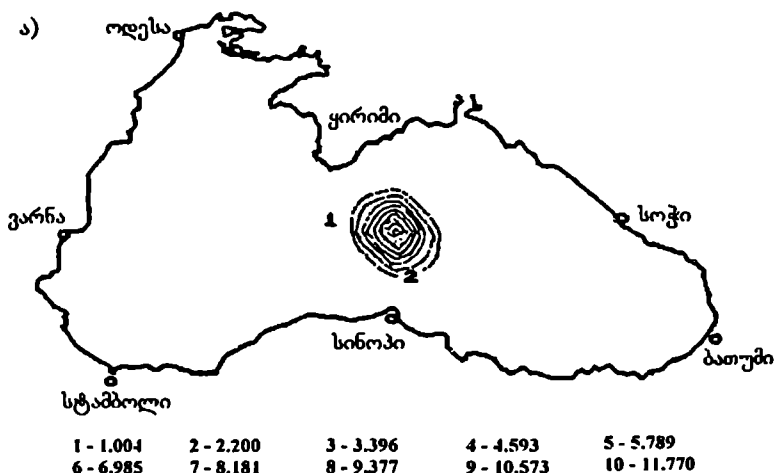


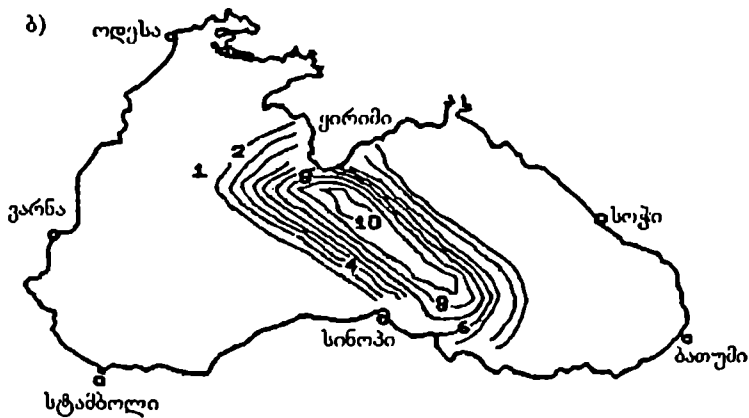


როგორც ნახ. 8.17 გ და დ-დან ჩანს, ნავთობის ლაქის დეფორმაცია კარგად ეთანხმება შავი ზღვის ცირკულაციის თავისებურებებს. შავი ზღვის ძირითადი დინებების ზეგავლენით ნავთობის კონცენტრაციის იზოხაზები ნავთობის ლაქის ცენტრში ზდება

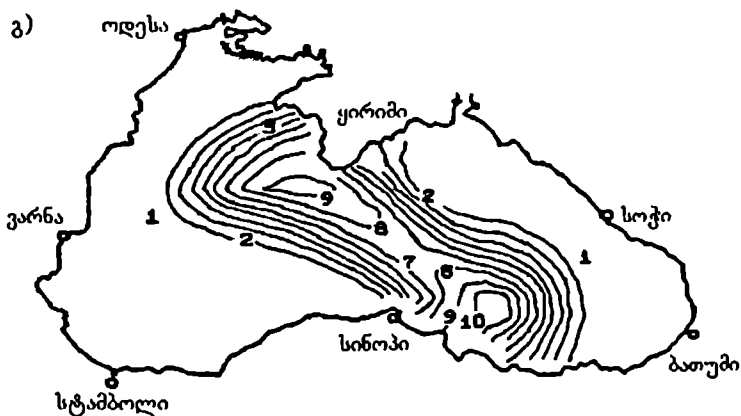
ჩაღრმავებული და ვრცელდება ლაქიდან სამხრეთით და აღმოსავლეთის მიმართულებით. ზონა მაღალი კონცენტრაციით გადაინაცვლებს შავი ზღვის მთავარ დინებებთან ერთად და ნავთობის დაღვრიდან  $t=90$  დღის შემდეგ ის არის სინოპის მახლობლად,  $t=120$  დღისათვის თითქმის საქართველოს სანაპიროს აღწევს. დროთა განმავლობაში დაბინძურება მთელ აუზს დაფარავს, მაგრამ, რა თქმა უნდა, კონცენტრაცია შემცირდება. ნავთობის კონცენტრაცია მცირდება დიფუზიური გაფართოებისა და ფიზიკო-ბიოქიმიური ტრანსფორმაციების შედეგად.

ნახ. 8.18. ნავთობის კონცენტრაციის იზოზაზები  
 მეორე რიცხვითი ექსპერიმენტის დროს (მგ/ლ),  
 ავარიული დაღვრის შემდეგ დროის სხვადასხვა მომენტისათვის.  
 (ა) - 2 დღე, (ბ) - 10 დღე, (გ) - 15 დღე,  
 (დ) - 30 დღე, (ე) - 90 დღე, (ვ) - 120 დღე  
 (დ. დემეტრაშვილი, ა. კორძაძე, 2002)

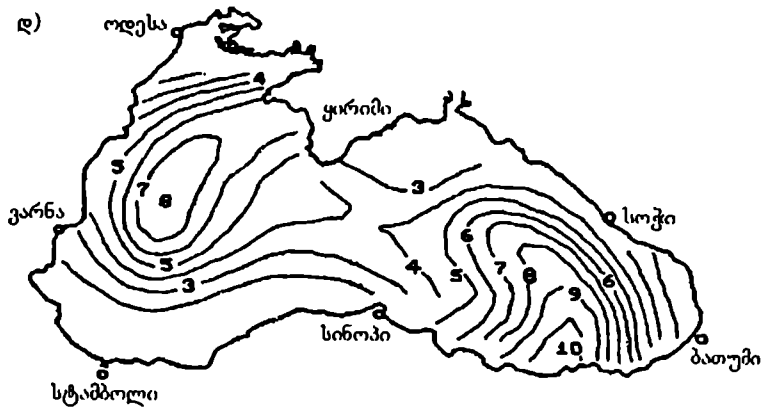




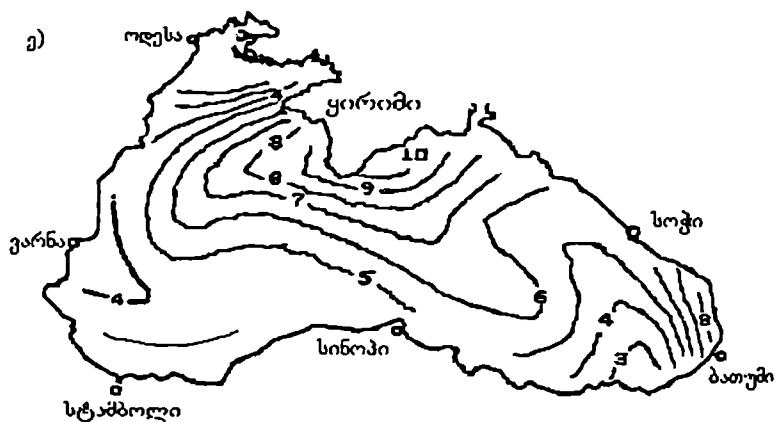
|           |           |           |           |            |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1 - 0.151 | 2 - 0.310 | 3 - 0.469 | 4 - 0.629 | 5 - 0.788  |
| 6 - 0.948 | 7 - 1.107 | 8 - 1.266 | 9 - 1.426 | 10 - 1.585 |



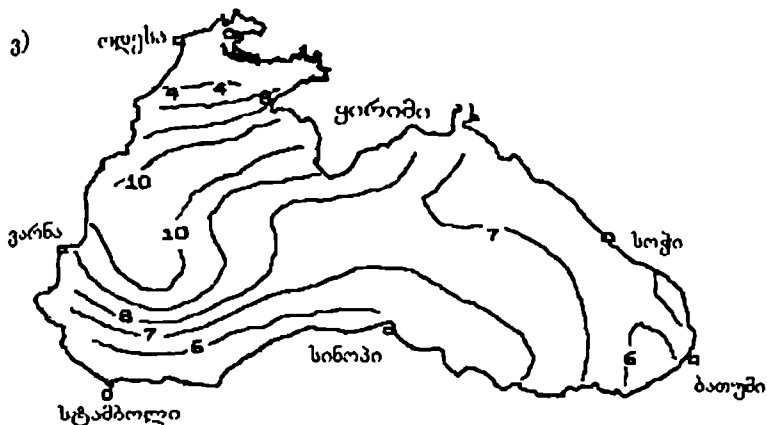
|           |           |           |           |            |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1 - 0.080 | 2 - 0.186 | 3 - 0.292 | 4 - 0.399 | 5 - 0.505  |
| 6 - 0.611 | 7 - 0.717 | 8 - 0.823 | 9 - 0.929 | 10 - 1.035 |



|           |           |           |           |            |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1 - 0.010 | 2 - 0.079 | 3 - 0.148 | 4 - 0.216 | 5 - 0.285  |
| 6 - 0.354 | 7 - 0.423 | 8 - 0.492 | 9 - 0.561 | 10 - 0.630 |



|           |           |           |           |            |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1 - 0.171 | 2 - 0.177 | 3 - 0.183 | 4 - 0.189 | 5 - 0.195  |
| 6 - 0.201 | 7 - 0.207 | 8 - 0.213 | 9 - 0.219 | 10 - 0.225 |



|           |           |           |           |            |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1 - 0.167 | 2 - 0.169 | 3 - 0.170 | 4 - 0.171 | 5 - 0.173  |
| 6 - 0.174 | 7 - 0.176 | 8 - 0.177 | 9 - 0.178 | 10 - 0.180 |

მეორე რიცხვით ექსპერიმენტში დაბინძურების წყარო მოთავსებული იყო შავი ზღვის თითქმის ცენტრში, ძირითადი ღინებების მიღმა, წერტილში გეოგრაფიული კოორდინატებით —  $43^{\circ}11'N$  და  $34^{\circ}33'E$ . 100000 ტ ნავთობი ჩაიდგარა ზღვაში. მოდელირების შედეგად მიღებული იზოხაზები ნავთობის კონცენტრაციისა მოცემულია ნახ. 8.18-ზე.

ეს შემთხვევა განსხვავდება წინა შემთხვევისაგან. პირველი თვის განმავლობაში ნავთობის ლაქის გავრცელება შემცირებულია ჩრდილო-დასავლეთ და სამხრეთ-აღმოსავლეთ მიმართულებით. შავი ზღვის ძირითადი ღინებები განსაზღვრავენ ნავთობის გავრცელების ხასიათს.

ნახ. 8.18-დან ჩანს, რომ ნავთობის ავარიული ჩაღვრიდან დაახლოებით ერთი თვის შემდეგ შავი ზღვის მთლიანი აუზი არის დაბინძურებული ნავთობით, მაშინ, როდესაც პირველ ექსპერიმენტში ამ დროისათვის დაბინძურებული იყო შავი ზღვის გაცილებით მცირე ნაწილი. ეს გვიჩვენებს, რომ შავი ზღვის (და, საერთოდ, ზღვებისა თუ ოკეანეების) დაბინძურების მასშტაბი და ხასიათი

მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია იმაზე, თუ რომელ ნაწილში მოხდება ავარიული დაღვრა.

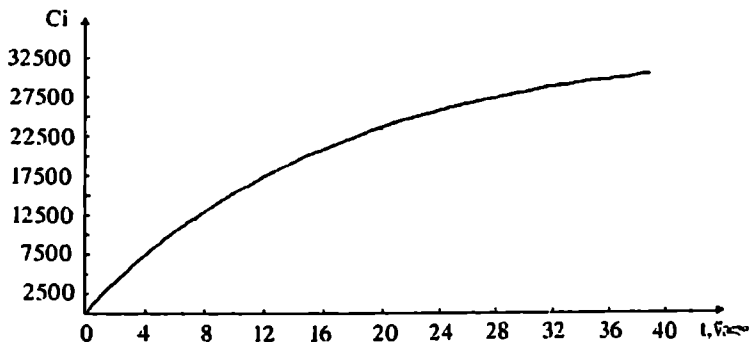
რიცხვითმა ექსპერიმენტებმა, რომლებიც ჩატარდა 10000 ტ ნავთობის ავარიული დაღვრის შემთხვევაში, აჩვენა, რომ ხარის-ხოვრივად დაბინძურების გავრცელება არ განსხვავდება ზემოდ განხილული განაწილების მოდელებისაგან.

რიცხვითი ექსპერიმენტის ავტორები ასკვნიან:

- 1) შავი ზღვის ძირითადი დინებები, რომლებსაც ციკლონური ხასიათი გააჩნია, განსაზღვრავს ნავთობით დაბინძურების ძირითად თავისებურებებს.
- 2) ნავთობით დაბინძურების ხასიათი და მასშტაბი ნავთობის ავარიული დაღვრის შემდეგ რამდენიმე ათეული დღის განმავლობაში მჭიდროდ არის დამოკიდებული იმაზე, თუ ზღვის რომელ რეგიონში მოხდა ავარია.
- 3) გარკვეული დროის გავლის შემდეგ (დაახლოებით 1.5-2 თვის შემდეგ) ნავთობის გავრცელების პროცესი პრაქტიკულად არ არის დამოკიდებული დაბინძურების წყაროს ადგილმდებარეობაზე. დაბინძურება გავრცელებულია მთლიანად ზღვაზე და კონცენტრაციის შემცირება დაიკვირვება.

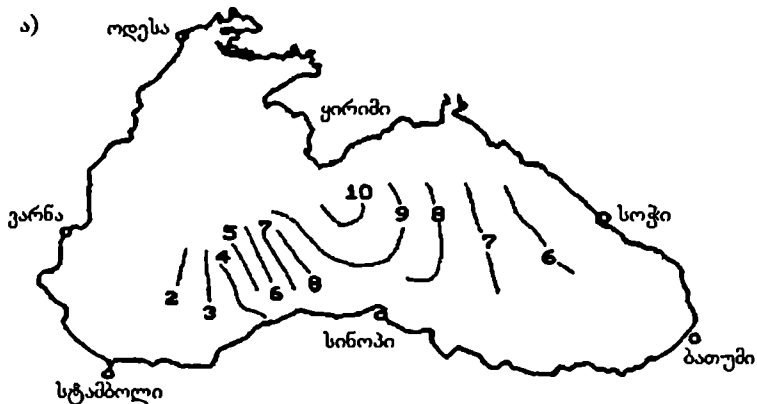
შემდეგ რიცხვით ექსპერიმენტში (ა. კორმაძე, დ. დემეტრაშვილი) დაშვებულ იქნა, რომ ჰიპოტეტური წყაროდან მუდმივად შედის ზღვაში 2000 კიური/წელი აქტივობის  $ST^{90}$  იზოტოპი. განხილული იყო კონკრეტული შემთხვევები, როცა დაბინძურების წყარო მოთავსებული იყო 2205, 1205 და 805 მ სიღრმეებზე წერტილებში შესაბამისი გეოგრაფიული კოორდინატებით –  $43^{\circ}11'N$  და  $34^{\circ}07'E$ ,  $44^{\circ}11'N$  და  $32^{\circ}47'E$ ,  $44^{\circ}11'N$  და  $36^{\circ}19'E$ . პირველ შემთხვევაში წყარო მოთავსებული იყო თითქმის ზღვის ცენტრში, ხოლო მეორე და მესამე შემთხვევაში სევასტოპოლისა და ნოვო-როსიისკის ახლოს. შემოვიფარგლოთ ამ რიცხვითი ექსპერიმენტის შედეგების განხილვით.

ნახ. 8.19-ზე წარმოდგენილია  $ST^{90}$  იზოტოპის აქტივობის დროში ცვლილება, როცა დაშვებული იყო, რომ წყარო არსებობს სვეასტოპოლთან ახლოს. მსგავსი სურათი დაიკვირვებოდა დანარჩენი რიცხვითი ექსპერიმენტების დროსაც.

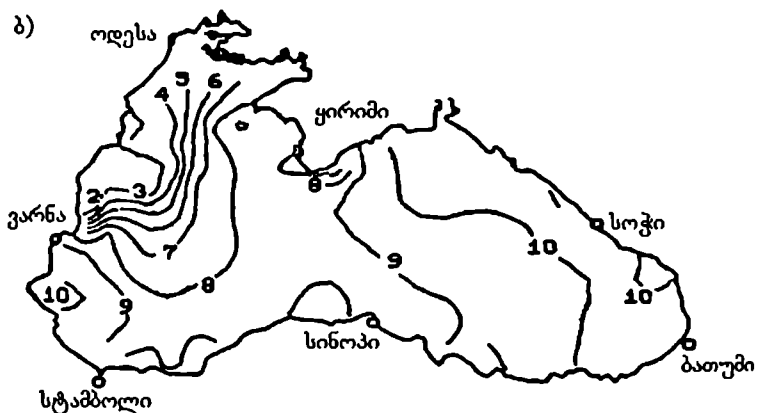


ნახ. 8.19.  $ST^{90}$  იზოტოპის აქტივობის დროში ცვლილება შვედეთში, როცა წყარო 1205 მ სიღრმეზეა მოთავსებული (რიცხვითი ექსპერიმენტის მიხედვით, დ. დემეტრაშვილი, ა. კორძაძე, 2002)

8.20–8.25. ნახაზებზე წარმოდგენილია გამოთვლითი კონცენტრაციების იზოხაზები პორიზონტალურ და ვერტიკალურ ჭრილში  $t=39$  წლისათვის. წყარო მდებარეობდა ვერტიკალური ZK კვეთის წერტილებში, რომელსაც შეესაბამებოდა შემდეგ კვანძის ნომრები  $K=8,11$  და 11.



|           |           |           |           |            |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1 - 2.145 | 2 - 2.453 | 3 - 2.760 | 4 - 3.068 | 5 - 3.375  |
| 6 - 3.683 | 7 - 3.990 | 8 - 4.298 | 9 - 4.605 | 10 - 4.913 |



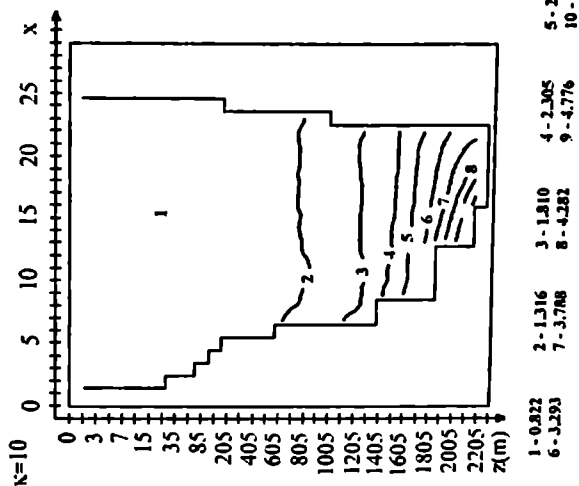
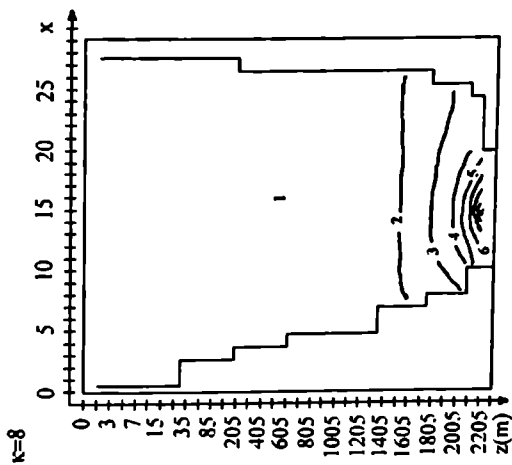
|           |           |           |           |            |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1 - 0.666 | 2 - 0.715 | 3 - 0.764 | 4 - 0.813 | 5 - 0.861  |
| 6 - 0.910 | 7 - 0.959 | 8 - 1.008 | 9 - 1.057 | 10 - 1.106 |

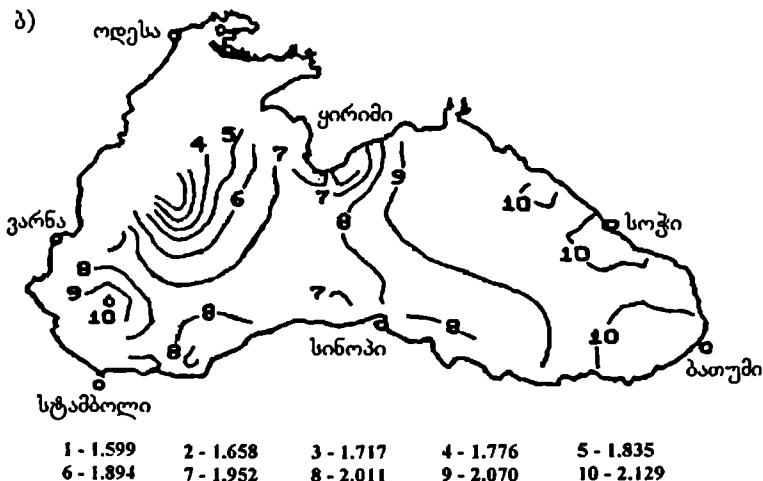
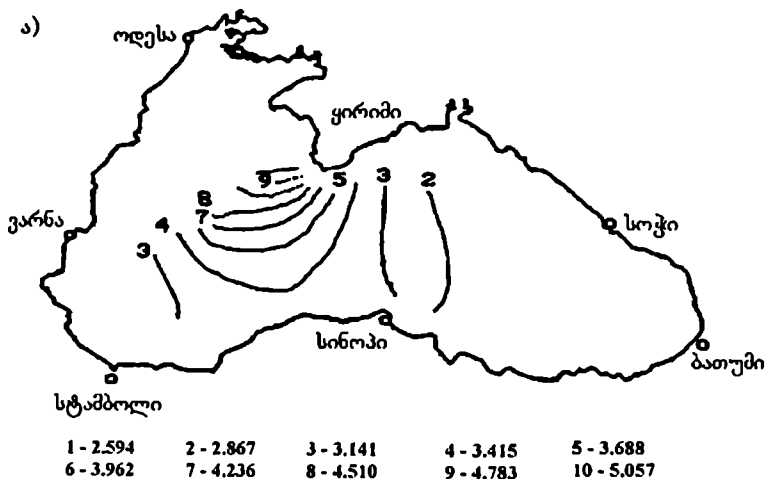
ნახ. 8.20.  $ST^{90}$  იზოტოპის კონცენტრაციის იზოზაზები  
( $Bq/m^3$ , წყარო მოთავსებულია 220.5 მ სიღრმეზე)

ა) 2005 მ სიღრმე ბ) 1 მ სიღრმე



ნახ. 8.21. ST<sup>90</sup> იზოტომის კონცენტრაციის იზონაზები (Bq/m<sup>3</sup>. წყარო მოთავსებულია 2205 მ სიღრმეზე) ვერტიკალურ ჭრილში (დ. დეზებრაშვილი, ა. კორძაძე, 2002)

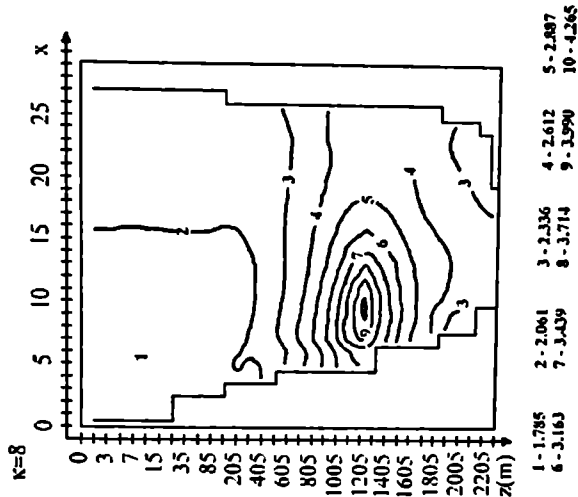
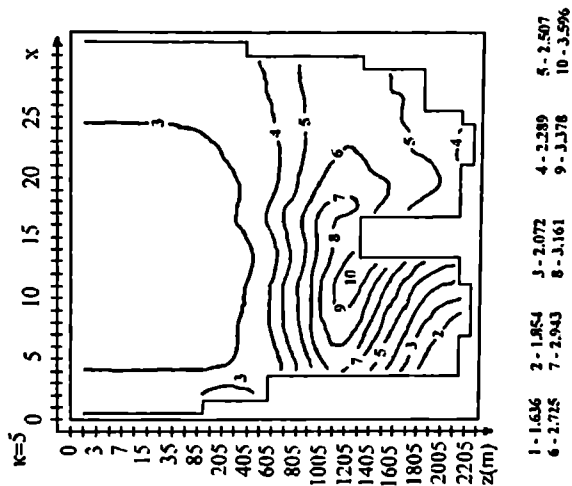


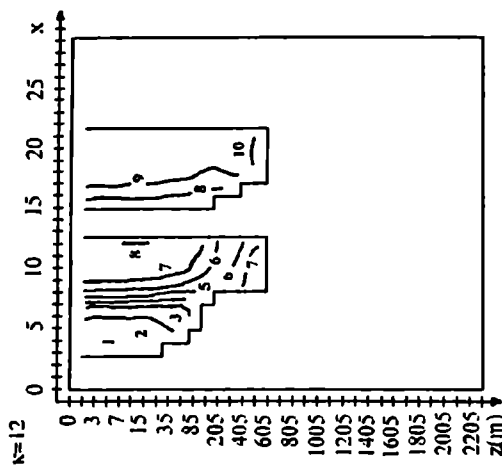
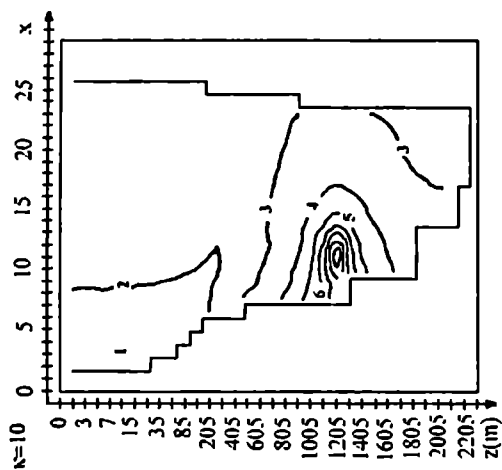


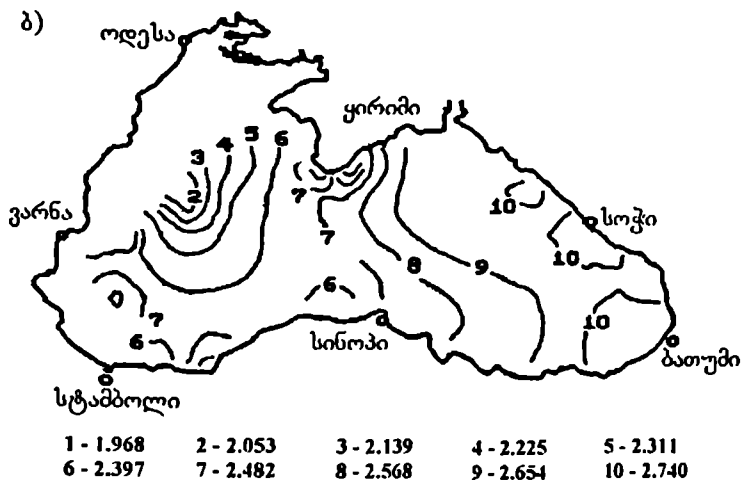
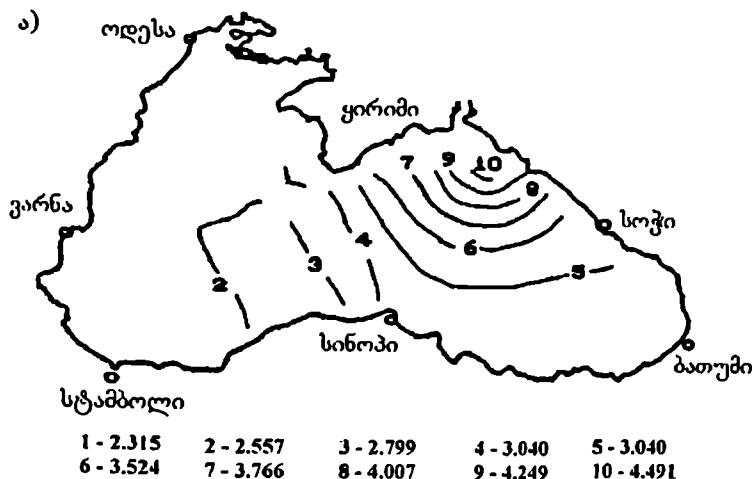
ნახ. 8.22.  $ST^{90}$  იზოტოპის კონცენტრაციის იზოხაზები  
( $Bq/m^3$ , წყარო მოთავსებულია 1205 მ სიღრმეზე)

ა) 1105 მ სიღრმე ბ) 85 მ სიღრმე  
(დ. დემეტრაშვილი, ა. კორძაძე, 2002)

ნახ. 8.23.  $ST^{90}$  იზოტოპის კონცენტრაციის იზოხაზები ( $Bq/m^3$ ). წყარო მოთაქსებულა 1205 მ სიღრმეზე) ვერტიკალურ ჭრილში (დ. დებეტრაშვილი, ა. კორძაძე, 2002)



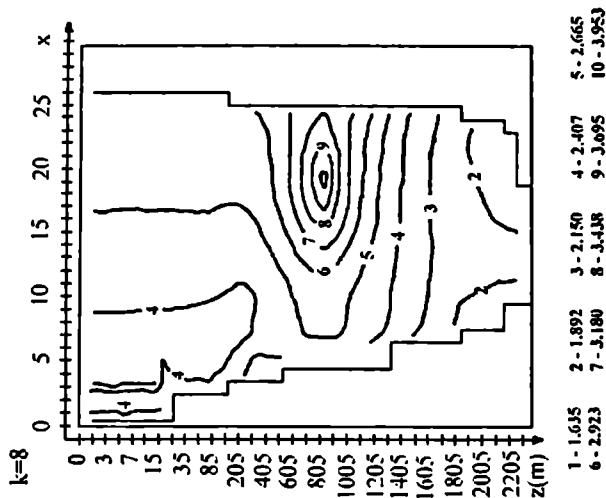
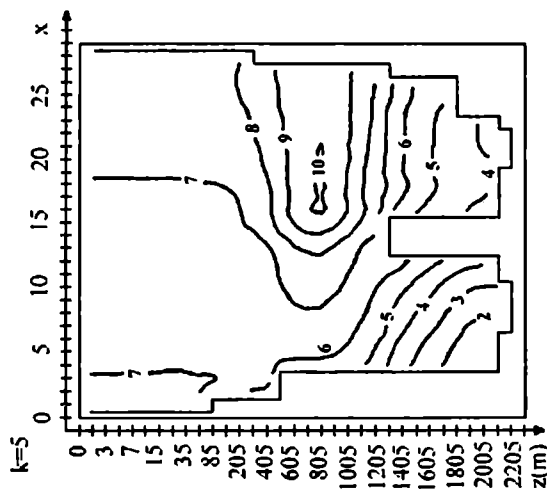


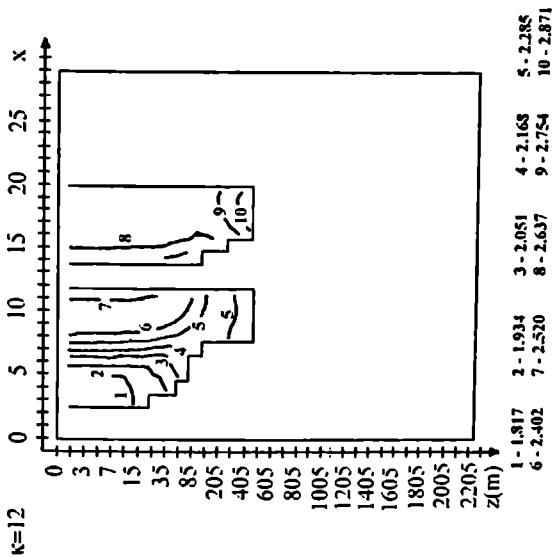
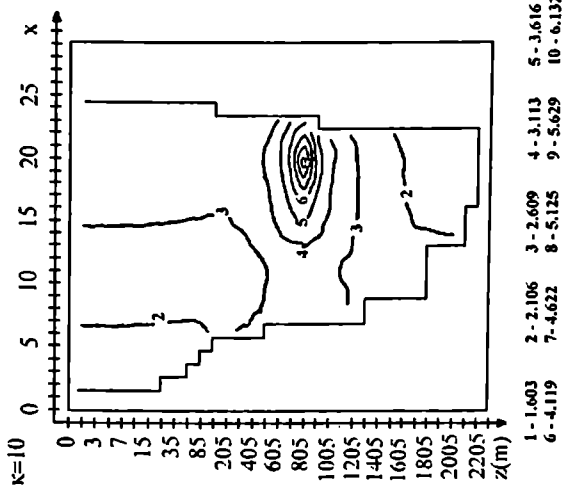


ნახ. 8.24.  $ST^{90}$  იზოტოპის კონცენტრაციის იზოხაზები  
( $Bq/m^3$ , წყარო მოთავსებულია 805 მ სიღრმეზე)

ა) 705 მ სიღრმე, ბ) 85 მ სიღრმე  
(დ. დემეტრაშვილი, ა. კორძაძე, 2002)

ნახ. 8.25.  $ST^{90}$  იზოტოპის კონცენტრაციის იზოტაზები ( $Bq/m^3$ , წყარი მოთავსებულია 805 მ სიღრმეზე) პერტიკულურ გრილში (დ. დუმეტრაშვილი, ა. კორძაძე, 2002)





ნახაზებიდან ძალზე კარგად მოჩანს მინარევის სივრცითი განაწილების თავისებურებები. ჩატარებული ექსპერიმენტის საბოლოო შედეგები შეიძლება ჩამოყალიბდეს შემდეგნაირად:

- 1) დამაბინძურებელი ნივთიერებები ადვექციური და დიფუზიური პროცესების გავლენით სიღრმითი წყაროდან ვრცელდება ყველა მიმართულებით როგორც ჰორიზონტალურად, ასევე ვერტიკალურად. დროთა განმავლობაში მინარევის მნიშვნელოვანი კონცენტრაცია (წყაროს ადგილას არსებული კონცენტრაციის 10%-ზე მეტი) შეიძლება გავრცელდეს ზღვის ყველაზე მაღალ ფენებამდე, წყაროდანაც კი, რომელიც მოთავსებულია ზღვის ყველაზე ღრმა ფენაში. ეს დასკვნა გვიჩვენებს, რომ დაუშვებელია შავი ზღვის ფსკერის გამოყენება ტოქსიკური და რადიაქტიური ნივთიერებების დასამარხად.
- 2) მინარევის კონცენტრაციის განაწილება ზედა, დაახლოებით 100 მ-იან ფენაში ხარისხობრივად ერთნაირია და პრაქტიკულად არ არის დამოკიდებული სიღრმითი წყაროს ადგილმდებარეობაზე. ამასთანავე, შედარებით მაღალი კონცენტრაცია დაიკვირვება აუზის აღმოსავლეთ ნაწილში. თეორიული გათვლებით კონცენტრაციის ველის ასეთი განაწილება, როგორც ჩანს, განპირობებულია აუზის დასავლეთ რაიონში შედარებით ინტენსიური ცირკულაციით, რომელიც გამასუფთავებელ ეფექტს ქმნის აუზის ამ ნაწილში.

## 8.6. მინარევის გავრცელების შესწავლის ექსპერიმენტული მეთოდი

მინარევის გავრცელების პროცესების შესწავლა შესაძლებელია არა მარტო ჰიდროდინამიკური მოდელის გამოყენებით, არამედ სპეციალური ცდების საფუძველზე, რომლებიც რეალური ზღვის პირობებში ტარდება. დიფუზიის ექსპერიმენტული შესწავლისას აკვირდებიან ზღვაში ხელოვნურად შეტანილი ნივთიერების ან ინდიკატორის განაწილებას. არსებობს დისკრეტული ინდიკატორები (ტივტივა, ფოთლები, ქაღალდები და ა.შ) და უწყვეტად განაწილებადი ნივთიერებები (ფლუორესციური საღებავები, რადიაქტიური

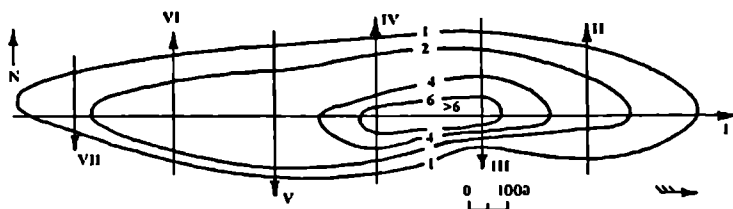
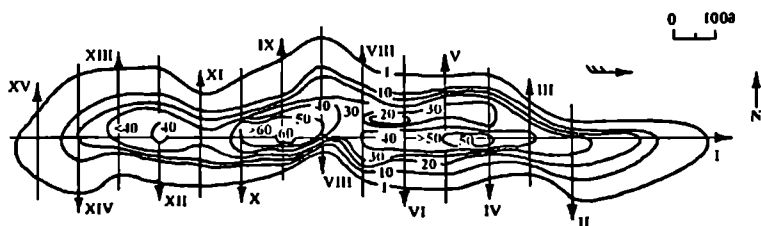
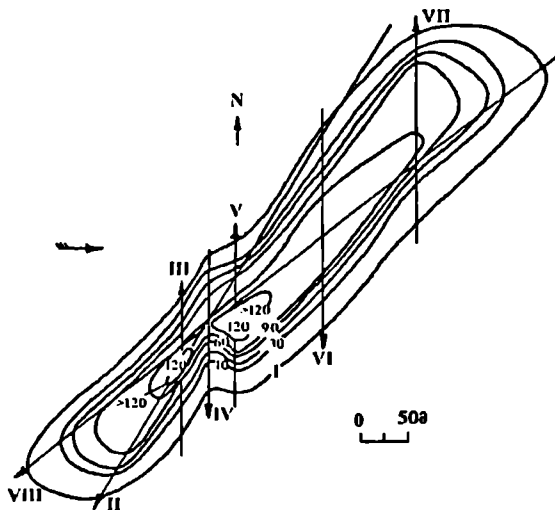


იზოტოპები და სხვა). დისკრეტული ინდიკატორები მოსახერხებელია ზღვის ზედაპირზე პორიზონტალური დიფუზიის კანონზომიერების შესასწავლად. სამგანზომილებიანი ტურბულენტური დიფუზიის შესწავლისთვის უფრო გამოიყენება უწყვეტი ინდიკატორები. ძირითადი მოთხოვნა ინდიკატორის მიმართ არის ის, რომ უნდა იყოს უსაფრთხო, იაფი და ადვილად აღმოსაჩენი მცირე კონცენტრაციების შემთხვევაშიც კი უბრალო აპარატურით. ამ მოთხოვნებს აკმაყოფილებს ფლუორესციული საღებავები (როდამინი, ფლუორესცინი), რომელთა დაბალი კონცენტრაცია ზღვის წყალში აღმოჩნდება სპეციალური ოპტიკური ხელსაწყო ფლუორიმეტრით.

ამჟამად მსოფლიო ოკეანის სხვადასხვა ნაწილში ასეთი ბევრი ექსპერიმენტია ჩატარებული. ტურბულენტური დიფუზიის საინტერესო თვისებაა ლაქის გაჭიმვა დროის განმავლობაში. როდამინის ლაქებზე დაკვირვებამ შავ ზღვაში გვიჩვენა, რომ ლაქების გაჭიმვა ხდება არა მარტო დინების გასწვრივ, არამედ დინების მიმართ რადიკალურად (ნახ. 8.26.). 2 საათის გავლის შემდეგ როდამინის ლაქა იყო 750 მ სიგრძის და 160 მ სიგანის; 4 საათის შემდეგ შესაბამისად 1650 და 300 მ. ხოლო 8 საათის შემდეგ 2200 და 400 მ. ლაქის გასწვრივი ღერძის დახრის კუთხე პარალელის გასწვრივ მიმართულ  $OX$  ღერძის მიმართ, ასევე დროთა განმავლობაში იცვლებოდა. პირველი გადაღებისას ეს კუთხე  $48^\circ$  იყო, ხოლო მომდევნო გადაღებების დროს  $0$ -ის ტოლი.

ამ ფაქტის ასახსნელად აუცილებელია გავითვალისწინოთ ვერტიკალური ტურბულენტური დიფუზიის და დინების ველის სტრუქტურის არაერთგვაროვნების ერთდროული გავლენა. აღმოჩნდა, რომ პირველი შემთხვევისათვის ლაქის ფორმის განმსაზღვრელი ძირითადი ფაქტორია სინქარის ვერტიკალური გრადიენტი. როგორც კი ლაქამ მიაღწია სინქარის ველის პორიზონტალურ არაერთგვაროვნების ტიპურ ზომას, ეს არაერთგვაროვნებების გავლენა გახდა დომინირებადი, რამაც გამოიწვია ლაქის ღერძის შემობრუნება.

დროითი ინტერვალი ლაქის მომდევნო მდებარეობებს შორის არის დაახლოებით 2-3,5 სთ. მოკლე ისრები გვიჩვენებს ქარის მიმართულებას, დიდი ისრები რომელიც ციფრებით – გამზომის მიმართულებას და მათ ნომერს თითოეულ ფოტოზე.



ნახ. 8.26. ბინარევის კონცენტრაციის ( $10^{-6}$  კგ/მ<sup>3</sup>) გავრცელების  
მაგალითი შავ ზღვაში

## თავი IX. ზღვის ბარემოს დაცვა დაბინძურებისაგან

### 9.1. უნარჩენო ტექნოლოგია

ნარჩენი – წარმოების სამეცნიერო-ტექნიკური დონის ობიექტური მაჩვენებელია. ის წარმოადგენს ან დაუსრულებელი წარმოების შედეგს, ან იმ პროდუქტს, რომლისთვისაც ჯერ არ არის მოძებნილი გამოყენების რაციონალური სფერო. მრავალი მაგალითია ცნობილი, როდესაც „ნარჩენები“ გარდაიქმნებოდა ძვირფას ნედლეულად ან პროდუქტად და იძენდა ეფექტური გამოყენების სფეროს. არსებობს მრავალი სამეცნიერო-ტექნიკური დამუშავების გზა ინდუსტრიული, კომუნალური და სასოფლო-სამეურნეო ნარჩენების ეფექტური გამოყენებისათვის. ამჟამად უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა ყველა ტექნოლოგიური მეთოდის გადაყვანა უნარჩენო ტექნოლოგიაზე.

1984 წელს ტაშკენტში გაეროს ევროპული კომისიის სემინარზე მიღებულ იქნა განმარტება: „უნარჩენო ტექნოლოგია – პროდუქციის წარმოების გზაა, რომლის დროსაც ნედლეული და ენერგია მაქსიმალურად რაციონალურად და კომპლექსურად გამოიყენება. თანაც გარემოზე ნებისმიერი ზემოქმედება არ იწვევს მისი ნორმალური ფუნქციონირების რღვევას“.

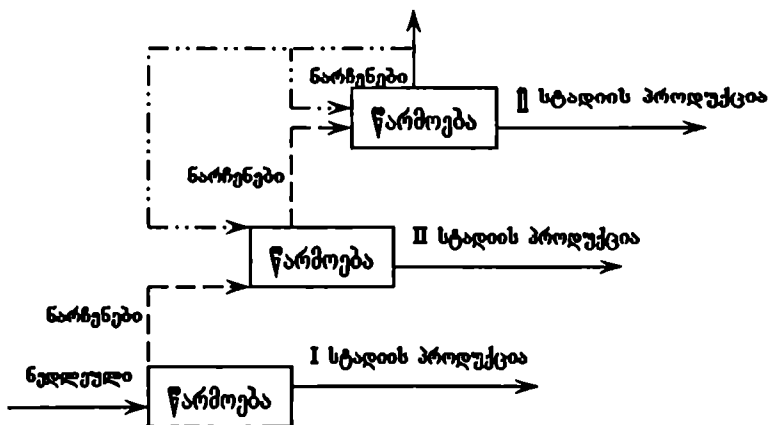
წარმოების უნარჩენო და მცირენარჩენიანი ტექნოლოგიური სისტემების არსი ასახულია სქემაზე (იხ. ნახ. 9.1.).

პირველი და მნიშვნელოვანი ეტაპი უნარჩენო წარმოების შექმნისათვის არის ჩაკეტილი წყლის ბრუნვის სისტემების დანერგვა. ასეთი სქემების დამუშავება ეფუძნება გაწმენდის ლოკალურ მეთოდებს.

დღეისათვის ჩამოყალიბებულია ძირითადი პრიორიტეტები, რომელთა შემუშავებაც უახლოეს პერიოდში ხელს შეუწყობს გარემოს დაცვის პრობლემის დროულ გადაწყვეტას.

თბოენერგეტიკაში საჭიროა შემუშავდეს გამონაბოლქვი გაზების აზოტის ოქსიდებისაგან, გოგირდის დიოქსიდისაგან და აეროზოლუ-

ბისაგან გაწმენდის ეფექტური მეთოდები; შეიქმნას სრულად ჩაკეტილი წყლის ბრუნვის სისტემები, რომლებიც გამოირიცხავენ დაბინძურებული ჩამონადენი წყლების წარმოქმნას.



მცირეწარმოების სისტემა -----> უნარჩენო სისტემა ----->

ნახ. 9.1. წარმოების მცირეწარმოების და უნარჩენო ტექნოლოგიური სისტემების სქემა  
(გ. სუპატაშვილი, გ. ქაჯაია 2001)

სამთო-მოპოვებით მრეწველობაში წიაღისეულის კომპლექსური ათვისების პრობლემა მიმართული უნდა იყოს გამამდიდრებელი მეთოდების სრულყოფაზე ყველა სასარგებლო კომპონენტის მიღების მიზნით, მალარობის წყლის გაწმენდაზე და მათ რაციონალურ გამოყენებაზე.

მეტალურგიულ მრეწველობაში საჭიროა შემუშავდეს ჩაკეტილი წყლის ბრუნვის სქემების სამეცნიერო-თეორიული საფუძვლები ყველა გამამდიდრებელი და მეტალურგიული ქარხნებისა და კომბინატებისათვის.

ქიმიურ და ნათობქიმიურ მრეწველობაში დარგის ეკოლოგიზაციის მიზნით მიზანშეწონილია დაინერგოს მემბრანული, სორბციული და ექსტრაქციული ტექნოლოგიის მეთოდები; შემუშავდეს ეკოლოგიურად უსაფრთხო სასუქების და მოსავლიანობის გაზრდის საშუალებების შექმნის მეთოდები, იმ ქიმიური ნივთიერებების შეცვლის მიზნით, რომლებიც მაინე გავლენას ახდენენ გარემოზე.

მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარების თანამედროვე დონეზე ყველა ჩამოთვლილი პრობლემების გადაწყვეტა სავსებით რეალურია.

## 9.2. სიღრმითი წყალჩამშვებების პარამეტრების საანგარიშო მეთოდის თეორიული საფუძვლები

ზღვის წყლის ეკოლოგიური ბალანსის აღდგენა შესაძლებელია ტრადიციული ზედაპირული გამწმენდი ნაგებობების შექმნით, მაგრამ ასეთი ნაგებობებისათვის საჭიროა სანაპირო ზოლში დიდი ფართობის მქონე ტერიტორიების მოძიება, რაც რიგ სირთულეებს უკავშირდება. გარდა ამისა, მცირე ქანობების შემთხვევაში აუცილებელია ფეკალური წყლების გადაქაჩვა სატუმბო სადგურების მეშვეობით, რაც მნიშვნელოვან ენერგოდანახარჯებს იწვევს და ბოლოს, ზედაპირული გამწმენდი ნაგებობების სიახლოვეს, დაახლოებით 5-10 კმ-ის რადიუსში, ეკოლოგიური სიტუაცია მკვეთრად უარესდება (ჩნდება ფეკალიების უსიამოვნოდ მძაფრი სუნი), რაც სარეკრეაციო ტერიტორიებისათვის კატეგორიულად დაუშვებელია. შესაძლებელია ამ პრობლემის გადაჭრა სიღრმითი წყალჩამშვების მოწყობით, რომლის მოქმედებაც დამყარებულია ტურბულენტური დიფუზიის პრინციპების გამოყენებაზე. უკანასკნელი გამორიცხავს დაბინძურებული წყლის (ღრუბლის) ზღვის ზედაპირზე ამოსვლას და ნაპირისკენ გადაადგილებას, რაც საბოლოოდ სანაპიროს სანიტარიულ-ჰიგიენურ მდგომარეობას გააუმჯობესებს. დეტალურად უნდა იყოს გათვლილი, ნაპირიდან რა მანძილსა და რა სიღრმეზე უნდა იყოს გადატანილი წყალჩამშვები და როგორი მიმართულება უნდა მიეცეს მის დაბოლოებას, რათა დამაბინძურებლის სრული დესტრუქცია მოხდეს სანაპიროსთვის უსაფრთხო ზონის, წყლის ქვედა ფენაში, რაც უზრუნველყოფს სანაპირო წყლების ხარისხისა

და სისუფთავის შენარჩუნებას და გამორიცხავს ბაქტერიოლოგიური დაავადებების ეპიდემიის საშიშროებას.

სიღრმითი წყალჩამშვებების პარამეტრების თეორიული და ექსპერიმენტული მეთოდებით განსაზღვრა წარმოადგენს საკმაოდ ძნელად გადასაწყვეტ ამოცანას, რაც აიხსნება ჰიდრომექანიკური და მასების გადატანის პროცესების მრავალფეროვნებითა და სირთულით.

საანგარიშო მეთოდები, რომელთა მეშვეობითაც განისაზღვრება სიღრმითი წყალჩამშვებების პარამეტრები, სახელდობრ, წყალჩამშვებების დიფუზორის მოწყობის დაშორება ნაპირიდან, ჩაშვების სიღრმე და ჩამდინარე წყლების განზავების ხარისხი, შემუშავებულია მრავალი ავტორის, კერძოდ, ლაპშევის, ცედერვალის, ბრუკს-კოხის, რუფელის, ზაცის, ოზმიდოვის, აბრახამსის, ზაიასისა და იტოს, როუნის, ეგგ-უიფორდის, რუფელის, ოკუბარას და პრიტჩარდის, ტალბოტის და სხვათა მიერ. აღნიშნული ნამუშევრების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მოვლენის სირთულის გამო ძალზე ძნელია მათემატიკური მოდელის შექმნა, რომელიც თავისუფალი იქნებოდა მთელი რიგი ისეთი სახის დაშვებისაგან, რომელიც არ დაამაზინჯებს შესასწავლ პროცესებს.

ქვემოთ მოკლედ შევჩერდებით იმ მეთოდებზე, რომლებიც ძირითადად გამოიყენებოდა მრავალ მშენებარე და მოქმედ ობიექტზე. ცხადია ეს მეთოდებიც არაა თავისუფალი რიგი დაშვებებისა და შინაგანი წინააღმდეგობებისაგან. ეს მეთოდებია: ა) საწყისი განზავებისათვის რამა-ცედერვალისა და ლაპშევის; ბ) ძირითადი განზავებისათვის ბრუკს-კოხისა და ლაპშევის.

საკითხის სირთულის გამო, აღნიშნული ავტორები მიდიან შემდეგ გამარტივებაზე, კერძოდ საერთო განზავების პროცესს ყოფენ ჩამდინარე წყლების საწყის განზავებად, რომელიც მიმდინარეობს ტურბულენტური ჭავლის კინეტიკური ენერგიის და ატინარების ძალების გავლენით და შემდგომ პორიზონტალურ ანუ ძირითად განზავებად, რომელიც განისაზღვრება ტურბულენტური დიფუზიის პროცესების გათვალისწინებით.

საწყისი განზავებისათვის რამა-ცედერვალის მეთოდით გამოიყენება დამოკიდებულება:

$$n_{II} = 0,54Fr \left( \frac{0,38H}{d_0 Fr} + 0,66 \right)^{2/3} \quad (9.1)$$

სადაც  $H$  – ჩაშვების სიღრმეა მ-ში;  $d_0$  – მილსადენის დიამეტრი მ-ში;  $Fr$  – ფრუდის რიცხვი.

ლაპშევის მეთოდით საწყისი განზავება განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$n_{II} = \frac{0,86 \cos^{1,5} \varphi_0}{\sqrt{Ri}} (1 + \operatorname{tg}^2 \psi) \sqrt{(\operatorname{tg} \psi - \operatorname{tg} \varphi_0) [1 + (3 \operatorname{tg} \psi - 2 \operatorname{tg} \varphi_0)^2]}, \quad (9.2)$$

სადაც  $Ri$  – რიჩარდსონის რიცხვია;  $\operatorname{tg} \psi$  – იმ რადიუს-ვექტორის დახრის კუთხის ტანგენსია, რომელიც აერთებს კოორდინატთა სათავეს ჩამდინარე წყლების ჭავლის ღერძთან;  $\varphi_0$  – ჭავლის გადინების კუთხეა.

ძირითადი განზავებისას გამოიყენება შემდეგი ფორმულები:

1. ბრუკს-კოხის მეთოდიკით

$$n_{0(x=r_0)} = \left\{ \operatorname{erf} \left[ \frac{1}{\left( 1 + \frac{8\alpha r_0}{V_x b^{2/3}} \right)^3 - 1} \right]^{1/2} \right\}^{-1} \quad (9.3)$$

სადაც  $\operatorname{erf}$  – შეცდომათა ფუნქციაა;  $V_x$  – ზედაპირული წყლების საშუალო სიჩქარე მ/წმ;  $b$  – ჩამდინარე წყლის ჭავლის ეფექტური სიგანე;  $\alpha = 4,64 \cdot 10^{-2} \text{ მ}^{2/3} / \text{წმ}$ .

2. ძირითადი განზავება ლაპშევის მიხედვით იანგარიშება შემდეგნაირად:

$$n_0 = \frac{3,64}{N \cdot B_n} \sqrt{\frac{D \cdot X}{V}}, \quad (9.4)$$

სადაც  $N$  – წყლის ჭავლის გამფრქვევების რიცხვია;  $B_n$  – საწყისი ლაქის ზომა;  $X$  – მანძილი წყალჩამშვებიდან, მ;  $V$  – ზღვის დინების საშუალო სიჩქარე ვერტიკალზე, მ/წმ;  $D$  – ტურბულენტური დიფუზიის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ტალღურ დინებებს.

შეწერდეთ იმ ნაკლოვანებებზე, რომლებიც ახასიათებს ზემო-მოყვანილ დამოკიდებულებებს: რამა-ცედერვალის (9.1) დამოკიდებულების მიხედვით საწყისი განზავება  $n_{11} \rightarrow \infty$ , როდესაც ჩამდინარე სითხის სიმკვრივე ტოლია ზღვის წყლის საშუალო სიმკვრივის. ასეთი რამ დასაშვებია დიდი მდინარეების ესტუარებთან. მაგრამ უსასრულო განზავების ფაქტორი არაა ცხადი, ასეთ დროს შეიძლება მივიღოთ ძალზე ოპტიმისტური შედეგი ნებისმიერი ჩაშვების სიღრმის დროს, რამაც შეიძლება მიგვიყვანოს შეცდომამდე.

ლაპშევის მეთოდში არადამაკმაყოფილებელია ძირითადი განზავების პროცესის აღწერა. უპირველეს ყოვლისა, წინააღმდეგობრივია განზავების უკუპროპორციული დამოკიდებულება ჭავლის გამფრქვევი დიფუზორების რიცხვთან. გარდა ამისა, ტურბულენტური დიფუზიის ინტენსივობა ზღვის ზედაპირზე დამოკიდებულია ფსკერული ნატანის დიამეტრზე, რაც ჩაშვების მნიშვნელოვანი სიღრმეებისათვის, რბილად რომ ვთქვათ, არაა მართებული.

ბრუკს-კოხის (9.3) და ლაპშევის (9.4) დამოკიდებულებებში ტურბულენტური დიფუზიის კოეფიციენტი დამოუკიდებელია ჭავლის ჰიდროდინამიკურ მახასიათებლებზე და მთლიანად განისაზღვრება ზღვის დინებებით, რაც არაა მართებული, რადგან ზღვრული შემთხვევისას, ე.ი. როდესაც ადგილი არა აქვს დინებებს, ეს კოეფიციენტი განუსაზღვრელია.

ძირითადი წინააღმდეგობა, რომელიც ახასიათებს ამ მეთოდებს, მდგომარეობს იმ გარემოებაში, რომ ისინი სრულებით არ ითვალისწინებენ დაბინძურების კონვექტიურ გადატანას ნაპირისაკენ, რომელიც გამოწვეულია სტოქსის დინებით და, გარდა ამისა, ამ მეთოდებში არაა გათვალისწინებული დაბინძურების მახასიათებლების დესტრუქციის პროცესები.

ყოველივე ზემოთქმულის გათვალისწინებით, წარმოიშვა ისეთი მეთოდიკის შექმნის აუცილებლობა, რომელიც თავისუფალი იქნება ზემოაღნიშნული ნაკლოვანებებისაგან.

მეთოდიკის განზოგადება შესრულებულია აკად. თ. გ. ვოინიჩ-სიანოჟენცკის და შემდგომ დახვეწილია აკად. ლ. დ. ლოლელიანის მიერ.

შეენიშნავთ, რომ მეთოდიკის შემუშავებისას გათვალისწინებულია როგორც ღელეითი პროცესების თანამდევი სტოქსის დინება, ასევე ნაპირგასწვრივი დინების არსებობა.



პროცესის აღწერისათვის გამოყენებულია ჰიდროდინამიკის განტოლება, რომელიც დაგეგმილია ევრტიკალურად ზევით მიმართულ  $Z$  ღერძზე:

$$\frac{\partial \rho V_z^2}{\partial z} + \frac{\partial \rho V_r V_r}{\partial r} = -gP - \frac{\partial P}{\partial t} - \frac{2}{3} \rho E + \bar{v} \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2}, \quad (9.5)$$

სადაც  $\bar{v}$  - მოლეკულური  $v$  და ტურბულენტური  $u_t$  კინემატიკური სიბლანტეების ჯამია;  $V_z$  და  $V_r$  - სიჩქარის ევრტიკალური და რადიალური მდგენელებია;  $E$  - პულსაციების კინეტიკური ენერგია;  $P$  - წნევა;  $g$  - სიმძიმის ძალის აჩქარება, ხოლო  $\rho$  - წყლის სიმკვრივე.

ამ განტოლების ინტეგრირება რადიალური  $r$  კოორდინატით ნულიდან ჭავლის გარე საზღვრამდე  $R$  და მხედველობაში იმის მიღება, რომ  $V_{z(R)} = 0$  ( $R$  საზღვართან გასწვრივი სიჩქარეები ნულოვანია),  $V_{r(z)} = 0$  (რადიალური სიჩქარე ჭავლის ღერძზე ნულია) და  $(\rho V_r V_r)|_{r=0}^R = 0$  და  $(\rho V_z^2)_{z=R} \frac{\partial R}{\partial z} = p$  გვაძლევს:

$$\frac{\partial}{\partial z} \int_0^R \rho V_z^2 dr = -g \int_0^R \rho dz - \frac{\partial}{\partial z} \int_0^R \left( P + \frac{2}{3} \rho E \right) dr - \left( P + \frac{2}{3} \rho E \right)_{r=R} \frac{\partial R}{\partial z} \quad (9.6)$$

სადაც სიმცირის გამო უგულებელყოფილია მხები ძაბვების შემცველი წევრი.

თუ ახლად მიღებულ განტოლებას გაეანტეგრირებთ 0-დან  $2\pi$ -მდე, გვექნება:

$$\frac{\partial}{\partial z} \int_0^{2\pi} \int_0^R \rho V_z^2 r dr d\varphi = -g \int_0^{2\pi} \int_0^R \rho r dr d\varphi dz - \frac{\partial}{\partial z} \int_0^{2\pi} \int_0^R \left( P + \frac{2}{3} \rho E \right) r dr d\varphi - \int_0^{2\pi} \left( P + \frac{2}{3} \rho E \right)_{r=R} r d\varphi \frac{\partial R}{\partial z}$$

აქ  $\int_0^{2\pi} \int_0^R \rho V_z^2 r dr d\varphi$  - წარმოადგენს  $\omega = \pi R^2$  კვეთის მქონე ჭავლის მოძრაობის რაოდენობას და ის შეიძლება გამოისახოს კვეთში სა-

შუალღ  $\bar{V}_z$  სიჩქარისა და  $\bar{\rho}$  სიმკვრივის მეშვეობით, როგორც ეს ბუსინესკის შრომების შემდგომმა მიღებული ჰიდრავლიკაში:

$$\int_0^{2\pi} \int_0^R \rho V_z^2 r dr d\varphi = \alpha \bar{\rho} \bar{V}_z^2 \omega ,$$

სადაც  $\alpha$  - მოძრაობის რაოდენობის კორექტივია

$$\alpha = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^R \rho V_z^2 r dr d\varphi}{\bar{\rho} \bar{V}_z^2 \pi R^2} ,$$

შემდეგ

$$-g \int_0^{2\pi} \int_0^R \rho r dr d\varphi = -g \bar{\rho} \pi R^2 = -g \bar{\rho} \omega ,$$

შემდგომში წვერი ჩაიწერება ასეთი სახით

$$\int_0^{2\pi} \int_0^R \left( p + \frac{2}{3} \rho E \right) r dr d\varphi = \left( \bar{p} + \frac{2}{3} \bar{\rho} \bar{E} \right) \omega ,$$

სადაც  $\bar{p}$  და  $\bar{E}$  ჭავლის  $\omega$  განივი კვეთის მიხედვით გასაშუალოებული წნევა და პულსაციების კინეტიკური ენერგიაა.

დაბოლოს, უკანასკნელი შესაყრები გვაძლევს:

$$\int_0^{2\pi} \left( p + \frac{2}{3} \rho E \right)_{r=R} r d\varphi \frac{\partial R}{\partial z} .$$

წნევა  $\bar{p}$  შეიძლება გამოისახოს, როგორც  $\bar{p} = \bar{\rho} g (H - z)$ , სადაც  $H$  ზღვის სიღრმეა ჩამშვების თავზე. წნევა  $\bar{p}_{r=R}$  - ე.ი. წნევა ჭავლის საზღვრებზე გამოისახება ასე:

$$\bar{p}_{r=R} = \rho_\mu g (H - z) ,$$

სადაც  $\rho_\mu$  - ზღვის წყლის სიმკვრივეა.

საბოლოოდ განტოლება (9.6) მიიღებს შემდეგ სახეს

$$\frac{\partial}{\partial z}(\bar{\alpha} \bar{\rho} \bar{V}_z^2 \omega) = g(H-z)(\rho_\mu - \bar{\rho}) \frac{\partial \omega}{\partial z} - g(H-z) \omega \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial z}, \quad (9.7)$$

სადაც  $\bar{\alpha} = \alpha + \frac{2}{3} \int_{\omega} \frac{\bar{E} d\omega}{\bar{V}_z^2 \omega}$ , ამასთან შესაქრები  $\frac{2}{3}(\bar{\rho} \bar{E} - \bar{\rho}_\mu E) \frac{\partial \omega}{\partial z}$

უგულებელყოფილია, როგორც უფრო მაღალი სიმცირის მქონე წვერი სხვებთან შედარებით.

(9.7) განტოლებას უნდა დაემატოს უწყვეტობის განტოლება, რომელიც ერთგანზომილებიანი ძრავის შემთხვევაში შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\frac{d(\bar{\rho} Q)}{dz} = 2\rho_\mu \pi R_z V_z^*, \quad (9.8)$$

სადაც  $V_z^*$  - წარმოადგენს ჭავლის გარემომცველი ზღვის წყლის მასების წარტაცვის სიჩქარეს. სიჩქარე  $V_z^*$  განისაზღვრება იგივე სიმკვრივის მქონე სითხეში დაძირული ჭავლის გაერთელების დამოკიდებულებიდან და იგი ტოლია

$$V_z^* = \frac{\Delta Q}{2\pi R_z} = \frac{\beta Q_0}{2\pi R R_0},$$

სადაც  $R_0$  - წყალჩამშვების მილსადენის საცმის რადიუსია,  $\beta = 0, 2$ ,  $R$  - ჭავლის რადიუსი.

(9.7) და (9.8) განტოლებების ამოხსნა, ამოცანის პირობების და რიგი დამუშევების გათვალისწინებით, რომლებიც მიმდინარე პროცესებში არ თამაშობენ განმსაზღვრელ როლს, გვაძლევს დამოკიდებულებებს, რომელთა საშუალებითაც განისაზღვრება წყალჩამშვების ჭავლის პარამეტრები, დაბინძურების ღრუბლის დაძირვის სიღრმე და რადიუსი სხვადასხვა შემთხვევისათვის. კერძოდ, ჩამდინარე წყლების და ზღვის წყლის ნარევის, ე.ი. დაბინძურების ღრუბლის სრული აწევის სიმაღლე განისაზღვრება ასეთნაირად:

$$Z_{\text{აწ.}} = Z_* + Z'', \quad (9.9)$$

სადაც  $Z_0$  წარმოადგენს აწვეის სიმაღლეს, რომელიც განპირობებულია ჩამდინარე წყლების და ზღვის წყლის სიმკვრივეთა სხვაობით:

$$Z^* = \sqrt{\frac{R_0^2}{\beta^2} + \frac{2HR_0(\rho_{M10} - \rho_0)}{\beta(\rho_{M0} - \rho_0)}} - \frac{R_0}{\beta}, \quad (9.10)$$

ხოლო  $Z^*$  აწვეის ის სიმაღლეა, რომელიც გამოწვეულია ინერციული ძალების გავლენით

$$Z^* = H - \sqrt{H^2 + Z_0^2 - 2HZ_0 - \frac{\bar{p}_z V_z^2 \omega_z}{g\pi\beta\bar{R}(\rho_z - \rho_\mu)}}, \quad (9.11)$$

შენიშნოთ, რომ წყალჩამშვებიდან ჭავლის ჰორიზონტალური გამოძინების შემთხვევაში  $Z^*$  ნულის ტოლია.

დაბინძურების ღრუბლის რადიუსის გამოსათვლელად გამოიყენება დამოკიდებულება:

$$R = \sqrt{\frac{6W^*}{\pi H} - 8R_0^2}, \quad (9.12)$$

სადაც  $W^* = \frac{C_0 Q}{k([C_i] - C_{\text{н}})}$  დაბინძურების ღრუბლის ის ზღვრული

მოცულობაა, რომლის შემდგომაც დაბინძურების კონცენტრაციები ფონურ კონცენტრაციებს (ე.ი. გარემომცველი ზღვის წყალში არსებული კონცენტრაციები) უტოლდება.

დაბინძურების ღრუბლის (რომელიც წარმოადგენს ჩამდინარე წყლებისა და ზღვის წყლის ნარევს) მიერ  $Z_0$  სიმაღლის მიღწევის შემდგომ მის ვერტიკალურ მიგრაციაზე ზეგავლენას ახდენენ პროცესები, რომლებიც გამოწვეულია ჩამდინარე და ზღვის წყლების სიმკვრივეთა რხევებით, ასევე ტალღური და სხვა ტიპის მცირე შემფოთებებით.

ასე რომ, ისმის დაბინძურების ღრუბლის მდგრადობის შესწავლის აუცილებლობა, რადგან არამდგრადობის პირობებში შესაძლებელია მოხდეს დაბინძურების ღრუბლის გავრცელება ზღვის ზედაპირამდე, რაც მკვეთრად გააუარესებს არსებულ სიტუაციას.

$W^*$  მოცულობის მქონე დაბინძურების ღრუბლის დინამიკის განტოლება დაგეგმილი  $Z$  კოორდინატის მიმართ ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$\bar{\rho} W^* \frac{dV_z}{dt} = -g(\bar{\rho} - \bar{\rho}_\mu) W^* - \bar{\rho}_\mu k_r \frac{V_z^2}{2} \Omega, \quad (9.13)$$

სადაც  $k_r$  ჰიდროდინამიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტია,  $\Omega$  - ღრუბლის მოდელური კვეთის ფართი. დანარჩენი აღნიშვნები იგივეა.

(9.13) განტოლების გაწერევა, იმ პირობების გათვალისწინებით, რომ  $\frac{dV_z}{dt}$  შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ როგორც  $\frac{d^2(\bar{\xi} - \xi')}{dt^2}$ , სადაც  $\bar{\xi}$  და  $\xi'$  - ღრუბლის ზედაპირის შეუსწოთებული და შესწოთების კოორდინატებია, მივყავართ შემდეგ განტოლებაზე:

$$\frac{d^2 \xi'}{dt^2} + g \frac{\Delta \rho_\mu}{\bar{\rho} H} \xi' = 0, \quad (9.14)$$

სადაც  $\Delta \rho_\mu = \rho_{H0} - \rho_{\mu H}$ . ეს განტოლება, რომელიც ფაქტიურად წარმოადგენს ბრენტ-ვეისაიდის განტოლებას ღელვის შემთხვევაში, ე.ი. როცა

$$H = H_0 + a \cos \sigma t,$$

სადაც  $a$  - ტალღების ამპლიტუდა,  $\sigma$  - სიხშირე. როცა  $a \ll H_0$  (ღრმა ზღვა) (9.14) განტოლება დადის მათივე განტოლებაზე:

$$\frac{d^2 \xi'}{dt^2} + g \frac{\Delta \rho_\mu}{\bar{\rho} H} \left( 1 - \frac{a}{H_0} \cos \sigma t \right) \xi' = 0, \quad (9.15)$$

თუ შემოვიყვანთ უგანზომილებო დროს  $\bar{t} = \frac{t}{\tau}$ , სადაც  $\tau = \frac{2\pi}{\sigma}$

ტალღების პერიოდია, გვექნება:

$$\frac{d^2 \xi'}{d\bar{t}^2} + (a, -2q, \cos \sigma t) \xi' = 0, \quad (9.16)$$

$$a_+ = \frac{g\Delta\rho_H\tau^2}{H_0\bar{\rho}} \quad \text{და} \quad q_+ = \frac{ag\Delta\rho_H\bar{V}^2}{2\bar{\rho}H_0^2}.$$

აინს-სტრუქტის თეორიის მიხედვით, მდგრადობის პირობა ე.ი. პარამეტრული რეზონანსის არარსებობა (მცირე  $q_+$ -ის დროს) შემდეგნაირია:

$$q_+^2 < (1 - a_+)^2 \quad (9.17)$$

აქედან ნათლად ჩანს, რომ ეს პირობა პრაქტიკულად ყოველთვის სრულდება ღრმა ზღვის შემთხვევაში და პარამეტრული არამდგრადობა შესაძლებელია აღიძრას მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც ადგილი აქვს კონტაქტური ზედაპირების წყვეტის შემთხვევებს და დიდი ამპლიტუდის მქონე შიგა ტალღების არსებობას.

ამრიგად, ვასკენით, რომ დაბინძურების ღრუბელი მისი წონასწორობის მიღწევის პირობებში პრაქტიკულად მდგრადია ღრმა ზღვის შემთხვევაში.

### 9.3. ზღვის გარემოს დაცვა გემების ექსპლუატაციის დროს

ზღვის გარემოს დაბინძურების წყაროებს გემების ექსპლუატაციის დროს წარმოადგენს ენერგეტიკული დანადგარების მიერ გამოშვებული აირები, სათბობის და ზეთის ნარჩენები, რეაქტორული დანადგარების გამონაბოლქვები, საყოფაცხოვრებო ჩამონადენი წყლები, ყველანაირი საყოფაცხოვრებო და სამრეწველო ნაგავი. ამ შემთხვევაში გარემოს დაცვის ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ არ დაეუსვათ დაბინძურების კრიტიკული დონე.

გამონაბოლქვი აირებისაგან ზღვის გარემოს გასუფთავებისა და ნეიტრალიზაციისათვის გამოიყენება შემდეგი მეთოდები:

1. კატალიზური ნეიტრალიზატორები. მათ, როგორც წესი, ამონტაჟებენ გამომშვებ კოლექტორებში. ნეიტრალიზატორების მოქმედება ემყარება არასრული წვის პროდუქტების უალო ჟანგვას.

2. ააღებადი ნეიტრალიზატორები. ისინი წარმოადგენს სპეციალურ კამერას, სადაც ხდება გამომუშავებული აირების სრული წვა  $700-850^{\circ}\text{C}$ -ის პირობებში.

3. თხევადი ნეიტრალიზატორები – სადაც გადამუშავებულ აირს ატარებენ სითხეში (ჩვეულებრივ წყალში), ხსნადი ნივთიერებების (ალდეჰიდი, აზოტის და გოგირდის ოქსიდები) გაუვნებელყოფის, მურის, ზეთის და საწვავის თხევადი აეროზოლების მოშორების, გავარვარებული საწვავი ნაწილაკების ჩაქრობის მიზნით. უცვლელი რჩება მხოლოდ ნახშირბადის ოქსიდები.

4. კომბინირებული სისტემები – ამ შემთხვევაში ხდება ნეიტრალიზაციის რამდენიმე მეთოდის ერთდროული გამოყენება.

გემიდან ჩამონადენი წყლების ნეიტრალიზაციისათვის გამოიყენება სამი ძირითადი მეთოდი:

1. ბიოლოგიური, რომელიც ემყარება ნარჩენების ბიოქიმიურ ჟანგვას;

2. ფიზიკური – ემყარება მექანიკურ ფილტრაციას, დალექვას და ა.შ.;

3. ფიზიკურ-ქიმიური – უზრუნველყოფს წერილდისპერსიული ნაწილაკების კოაგულაციას, აღსორბციას და ჟანგვას.

ჩამონადენი წყლებიდან ნავთობის პროდუქტების მოცილება ხდება გაწმენდის უხეში და ზუსტი სისტემებით. უხეში გაწმენდა გულისხმობს წყლიდან ნავთობპროდუქტების მსხვილდისპერსიული ნაწილაკების მოშორებას, ხოლო ზუსტი – დანარჩენი ნაწილაკებისას.

#### 9.4. დაღვრილ ნავთობთან ბრძოლის ხერხები

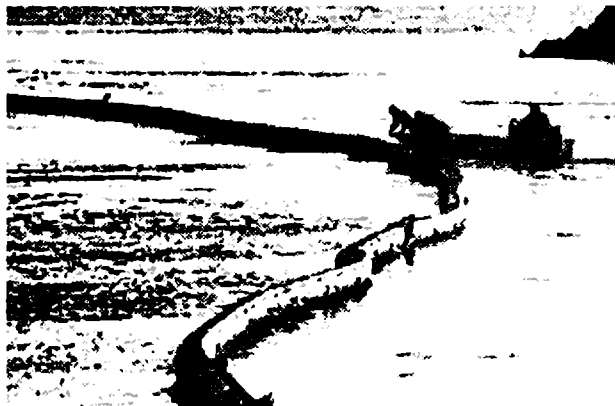
თუ ზღვაში ჩაიღვარა ნავთობი, უპირველეს ყოვლისა, საჭიროა მისი გავრცელების შეჩერება, ხოლო შემდეგ ზღვის ზედაპირიდან მოცილება.

ნავთობის აფსკის გავრცელების შეჩერება პორტის მიმდებარე აკვატორიაზე მიიღწევა სპეციალური ბონური ბარიერის გამოყენებით (ნახ. 9.2). ასეთ ბონებს აწყობენ ნაპირის მიმართ კუთხით, რათა ნავთობი ღინებით მოგროვდეს ნაპირთან (ნახ. 9.3). ღინების დაბალი სიჩქარეების დროს გამოიყენებენ პნევმატურ ბარიერს. წნევის საშუალებით იქმნება აღმავალი ნაკადი, რაც ზედაპირზე წარ-

მოშობს მდგარ ტალღებს. წყალი მოძრაობს ბარიერის ორივე მხარეთულებით, რითაც ხელს უშლის ნავთობის მოძრაობას.

ხშირად მიმართავენ შემკრებ ნივთიერებებს, რომლებიც ზრდიან ნავთობის აფსკის სისქეს და ამით მნიშვნელოვნად ამცირებენ დაღერის ფართობს. ასეთ ნივთიერებებს მიეკუთვნება თხევადი კარბონული მჟავები, სპირტები, ეთერი და სხვა.

ნავთობის მოშორება ზღვის ზედაპირიდან ხორციელდება სხვადასხვა მეთოდით. ნავთობის ამოსატუმბად გამოიყენება სხვადასხვა სეპარატორი.



ნახ. 9.2. ნავთობის გავრცელების შეჩერება სპეციალური ბარიერის გამოყენებით, ჩრდილო-დასავლეთ ესპანეთი

არსებობს ნავთობის წყლიდან მოშორების სხვა ხერხი — სპეციალური კოლექტორების გამოყენებით, რომელიც დამყარებულია მბრუნავი ცილინდრების პრინციპზე. ამ მეთოდით ნავთობის მოცილების სიჩქარე აღწევს 4500 ლ/საათში.

ნავთობის წყლის ზედაპირზე შეკრების ზოგიერთი ხერხი მდგომარეობს ზღვის დაბინძურებულ ზედაპირზე გამდნარი პარაფინის დასხურებაში. მისი გაცივების შედეგად ნავთობი მიეკვრება პარაფინს, ხოლო მინარევის გამყარებული ნაჭრების წყლიდან მოცილება ხდება მექანიკური გზით.



ნავთობის შეგროვებისათვის ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა სინთეზური ნივთიერება, რომელთაც შეუძლია ნავთობის ეფექტურად სორბირება.

ნავთობის აფსკის დაშლის, დანაწევრების და მისი შემდგომი ემულსიაში გადასვლისათვის გამოიყენებენ სპეციალურ ნივთიერებებს — დისპერგენტებს. ისინი აჩქარებენ ნავთობის ბიოქიმიურ დაშლას.

ნავთობის მოცილებაში მონაწილეობენ აგრეთვე ბიოლოგიური აგენტები — ორგანიზმი-ფილტრატორები. მაგალითად, შავი ზღვის შიდასაშენებლო, ფსევდოფეკალიის სახით, რომელიც შედგება ლორწოსა და ნავთობის წვეთებისგან. ეს ცხოველები არ ითვისებენ ნაყლაპულ ნავთობს, არამედ გარდაქმნიან მათ მიკროორგანიზმებისათვის უფრო ხელმისაწვდომ საკვებად. ცნობილია ბაქტერიების დაახლოებით 100-ზე მეტი სახეობა, რომელთაც ნავთობპროდუქტების დაჟანგვა შეუძლიათ.



ნახ. 9.3. ეკოუტური ზელსაწყო სანაპიროზე ნავთობის მოსაშორებლად

ამრიგად, წყლის ზედაპირიდან ნავთობის მოშორების მრავალი მეთოდია ცნობილი. თითოეული მათგანი ხასიათდება თავისი უპირატესობებით და ნაკლოვანებებით. ამიტომ განსაკუთრებით პერს-

პექტიულია კომბინირებული მეთოდების გამოყენება შემდეგი თანმიმდევრობით: მექანიკური → სორბირული → დისპერგირული → ბიოლოგიური.

## 9.5. მნიშვნელოვანი საერთაშორისო შეთანხმებები ზღვის გარემოს დაცვის დარგში

ზღვის გარემოს დაცვის პრობლემების წარმატებით გადაწყვეტა შესაძლებელია მხოლოდ ყოველმხრივი საერთაშორისო თანამშრომლობის საფუძველზე, რაც ითვალისწინებს ყველა სახელმწიფოს, განვითარებულის თუ განვითარებადის, ზღვისპირა და მათ, ვისაც არ აქვს გასასვლელი ზღვაზე, აქტიურ მონაწილეობას.

პირველი საერთაშორისო შეთანხმება მსოფლიო ოკეანის (ნავთობისაგან და სხვა მავნე ნივთიერებებისაგან) დაცვის შესახებ შედგა ლონდონში 1954 წელს. ამ კონვენციამ განსაზღვრა ნავთობის განზრახ დაღვრის აკრძალული ზონები – ჩრდილოეთის და ბალტიის ზღვები, 1969 წელს მათ დაემატა შავი და აზოვის ზღვები, ხოლო შემდეგ – მთელი მსოფლიო ოკეანის აკვატორია.

1972 წელს ასევე ლონდონში 80 სახელმწიფოს მონაწილეობით შემუშავდა კონვენცია, რომლის დანართიც შეიცავდა „შავ სიას“ – იმ ნივთიერებათა ნუსხას, რომელთა ჩაშვებაც ოკეანეში იკრძალებოდა. მათ მიეკუთვნება ქლორორგანული შენაერთები, ვერცხლისწყალი და მისი შენაერთები, კადმიუმი და მისი შენაერთები, ნავთობი და ნავთობპროდუქტები და სხვ.

1973 წელს ლონდონში ჩატარებულ კონფერენციაზე მიღებულ იქნა საერთაშორისო კონვენცია გემებიდან ნარჩენების ჩაშვების შესახებ. განსაკუთრებულ რაიონებში კი, მათ შორის ხმელთაშუა ზღვაში, ბალტიის, შავ და წითელ ზღვაში, სპარსეთის ყურეში აიკრძალა ნარჩენების ყოველგვარი ჩაშვება. ამ რაიონებში გემებმა უნდა შეინახონ ნავთობის ყველა ნარჩენი თუ ბალასტი და ჩააბარონ სპეციალურ მიმღებ მოწყობილობებში.

ანალოგიური საერთაშორისო შეთანხმებები დაიდო ზღვის გარემოს რადიაქტიური და ბაქტერიოლოგიური დაბინძურებისაგან დაცვის დარგში.

პირველი მრავალმხრივი საერთაშორისო შეთანხმება ზღვის რადიოაქტიურ გაჭუჭყიანებასთან დაკავშირებით არის ჟენევის 1958 წლის კონვენცია.

1963 წელს მოსკოვში დაიდო საერთაშორისო ხელშეკრულება ბირთვული იარაღის გამოცდის აკრძალვის შესახებ ატმოსფეროში, კოსმოსურ სივრცესა და წყალში. ამის შედეგად დაწყებული 1964 წლიდან აღინიშნება დადამიწაზე რადიოაქტიურობის მკვეთრი შემცირება.

გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის გენერალური ასამბლეის 25-ე სესიაზე (1970 წ.) მიღებულ იქნა საერთაშორისო მნიშვნელობის ხელშეკრულება ოკეანეებისა და ზღვების ფსკერზე ბირთვული და მასობრივი განადგურების სხვა იარაღის განლაგების აკრძალვის შესახებ.

1971 წელს იმავე გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის გენერალურმა ასამბლეამ მიიღო კონვენცია ბაქტერიოლოგიური და ტოქსიკური იარაღის დამუშავების, წარმოებისა და შენახვის შესახებ.

1982 წელს ჩატარდა გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის მე-3 კონფერენცია. მასში მონაწილეობა მიიღო 156-მა სახელმწიფომ. კონფერენციამ მიიღო ახალი კონვენცია საზღვაო სამართლის შესახებ. ამ კონვენციის თანახმად, ის სახელმწიფოები, რომელთა იურისდიქციის ქვეშ იმყოფება წყლები, ვალდებული არიან მიიღონ ზომები, რათა გაჭუჭყიანება არ გავრცელდეს მათი სუვერენული უფლებების ქვეშ მყოფი რაიონების გარეთ.

მსოფლიო ოკეანეში დადგენილია 200-მილიანი ეკონომიკური ზონა სანაპირო სახელმწიფოების ეკონომიკური ინტერესების დაცვის მიზნით. ამ ზონაში სახელმწიფოს მინიჭებული აქვს სუვერენული უფლებები ბუნებრივი რესურსების ძიების, მოპოვებისა და დამუშავებისათვის. ამავე დროს ეკონომიკურ ზონაში ყველა სხვა სახელმწიფოს უფლება ეძლევა, გაატაროს თავისი წყლისა და საჰაერო ტრანსპორტი.

## 9.6. პრობლემები და პერსპექტივები

- ბიოლოგიურად დაშლილი ორგანული ნივთიერებების საყოფაცხოვრებო ჩამონადენთან ერთად ან სხვა გზით ზღვაში მოხვედრისას, ხდება წყალში ჟანგბადის შემცირება ან სრული გაქრობა. ჩამონადენი წყლების გაწმენდა ამცირებს ბიოლოგიურად დაშლილი ორგანული ნივთიერებების მოხვედრას ზღვაში.
- საყოფაცხოვრებო ჩამონადენით ზღვის სანაპირო ზოლში ხდება ფეკალური ბაქტერიები და პათოგენური ორგანიზმები. ზღვის თვისებიდან გამომდინარე, ბაქტერიების რაოდენობა და სიცოცხლის ხანგრძლივობა მცირდება ზღვაში, მაგრამ მაინც არის საშიშროება ინფექციის გავრცელებისა ბანაობისას ან ზღვის პროდუქტების საკვებად გამოყენებისას.  
გამწმენდი ნაგებობები ამცირებს პათოგენური ორგანიზმების რაოდენობას ჩამონადენში. ასევე აუცილებელია ზღვის გარემოში საშიში პათოგენური ორგანიზმების – ბაქტერიების და ვირუსების გავრცელების შესწავლა.
- სამრეწველო და სასოფლო-სამეურნეო ჩამდინარე წყალთან ერთად, ზღვაში ხდება მცენარისათვის აუცილებელი საკვები ნივთიერებები. ასეთ, დამატებითი განაყოფიერების, პირობებში ხდება ფიტოპლანქტონის და დიდი წყალმცენარეების სახეობათა შემადგენლობის ცვლილება. მცენარის პროდუქციის ზრდა ნიშნავს ბიოლოგიურად დაშლილი ორგანული ნივთიერებების ზრდას, რასაც მიყვავართ ჟანგბადის რეჟიმის გაუარესებასთან.  
სარეცხ ფხვნილებში ფოსფატების ცეოლითებით შეცვლა იწვევს ჩამდინარე წყლებში საკვები ნივთიერებების შემცირებას. აუცილებლობის შემთხვევაში საკვები ნივთიერებების მოცილება ჩამონადენი წყლიდან შესაძლებელია გამწმენდ ნაგებობებზე წყლის ქიმიური დამუშავებით. ევტროფიკაციასთან ბრძოლისათვის გამწმენდი ძვირად ღირებული ღონისძიებების გატარების მიზანშეწონილობის გამოსარკვევად აუცილებელია შემდგომი კვლევების ჩატარება. აუცილებელია ევტროფიკაციისა და წითელ მოქცევას შორის კავშირის უფრო დეტალური შესწავლა.

- ბალტიის ზღვის წყლის სიღრმეში ანაერობული პროცესები ვითარდება.

თუ ეს გამოწვეულია კლიმატის ბუნებრივი და ზღვის დონის ცვლილებით, წინააღმდეგობის გაწევა შეუძლებელია. თუ პროცესი გამოწვეულია ანთროპოგენური ექტროფიკაციით, მაშინ შესაძლებელია პროცესის რეგულირება.

- გაუწმენდავი ან ბიოლოგიურად გაწმენდილი ჩამონადენი წყლების ჩაშვება ოკეანის სანაპირო რაიონებში თავისუფალი წყლის ცვლით და ჟანგბადის კარგი მიწოდებით არ წარმოშობს ეკოლოგიურ პრობლემას.

ამის დასამტკიცებლად საჭიროა შემდგომი მეცნიერული გამოკვლევები.

- დეტერგენტები ტოქსიკურია – უნდა შეიქმნას ნაკლებად ტოქსიკური დეტერგენტები.

- ზომიერ ზონაში ზღვის ორგანიზმები კარგად იტანენ წყლის ტემპერატურის  $2^{\circ}\text{C}$ -ით მომატებას. ტროპიკებში ორგანიზმები ცხოვრობენ ზღვრულ ტემპერატურებთან ახლო პირობებში და ვერ იტანენ ტემპერატურის შემდგომ მომატებას.

სანამ კონკრეტულ დასკვნებს გავაკეთებთ, საჭიროა სითბური დაბინძურების მრავალი კონკრეტული შემთხვევის შესწავლა.

- ზღვისპირა ქალაქების დაბინძურების წყაროსთან ახლოს იცვლება სანაპირო ფლორის და ფაუნის შედგენილობა. მგრძნობიარე სახეობები იცვლება უფრო მდგრადი სახეობებით.

შემდგომმა გამოკვლევებმა უნდა გვიჩვენოს, ეს ცვლილებები არის ერთი-ერთი უმნიშვნელოვანესი ფაქტორის – დაბინძურების ზემოქმედებით გამოწვეული თუ რამდენიმე მანევრის ფაქტორის ერთობლივი ზემოქმედების შედეგი. აუცილებელია ზღვის ნაკრძალების შექმნა.

- ვერცხლისწყლის მაღალი კონცენტრაცია თევზებში და სხვა ზღვის პროდუქტებში შესაძლებელია იყოს მოწამვლისა და ლეტალური შედეგის მიზეზი.

ვერცხლისწყლის ჩაშვება სამრეწველო ჩამონადენთან ერთად იკრძალება. საჭიროა ჩამონადენი წყლიდან მოხედრილი ვერცხ-

ლისწყლის მცირე რაოდენობის ზღვის ეკოსისტემაზე გავლენის შემდგომი შესწავლა.

- თევზებში დღტ-ს მაღალი კონცენტრაცია საშიშროებას უქმნის ზღვის ფრინველებსა და ბუბუმწოვრებს და დაუშვებელია მათი საკვებად გამოყენება.

ქლორნახშირწყალბადის და სხვა ტოქსიკური ორგანული ნივთიერებების ჩაშვება ზღვაში უნდა აიკრძალოს. ჩამონადენი წყლებიდან მოხვედრილი ამ ნივთიერებების მცირე რაოდენობის ზემოქმედების შეფასებისათვის ზღვის ეკოსისტემაზე საჭიროა შემდგომი გამოკვლევები.

- გამწმენდი ნაგებობებიდან ფილტრებად გამოყენებული ქვიშის ზღვაში დამარხვა იწვევს ჟანგბადის მარაგის შემცირებას, ასევე ტოქსიკური მძიმე მეტალების და ორგანული ნაერთების კონცენტრაციის ზრდას.

ეს ქვიშა შეიძლება მავნე შედეგების გარეშე დაიმარხოვოს ღია ზღვაში. მისი ჩაშვება უნდა აიკრძალოს სანაპირო რაიონებში, სადაც წყლის შესუსტებული ცირკულაციაა.

- მეტალის შემცველი საღებავის გამოყენება იწვევს ზღვაში მძიმე მეტალების შემცველობის ზრდას და უარყოფითად მოქმედებს ორგანიზმების ცხოვრების პირობებზე.

საჭიროა გემის საღებავების არამდგრადი ტოქსიკური კომპონენტების შექმნა.

- გემებიდან ჩაშვებული ნაგავი აბინძურებს ზღვას. უნდა აიკრძალოს ნაგავის (გარდა საკვები ნარჩენების) ჩაშვება სანაპირო რაიონებში.

- ყველაზე დიდ ზარალს დაღვრილი ნავთობი აყენებს ზღვის ფრინველებს და სანაპიროს. ნავთობი იშლება სხვადასხვა მიკრობით. თუ ნავთობი არ ჩაიძირება ფსკერის უჟანგბადო ნალექში, ის დროთა განმავლობაში ზღვის გარემოდან გაქრება. დიდი სიფრთხილით უნდა მიუდგეთ დაღვრილ ნავთობთან ბრძოლას, ამასთანავე საჭიროა ეფექტური მოწყობილობების ქონა.

ზოგჯერ ნავთობის გავრცელების შეჩერების მიზნით ავარიის ზონაში აფრქევენ ჰიდროფობური ნივთიერებებით (ზედაპირულად

აქტიური ნივთიერებები) დამუშავებულ სილას, კირქვას, დოლომიტს, ნაცარს და სხვ., რომლებიც სორბირებულ ნავთობთან ერთად იძირებიან. ეს მეთოდი ეკოლოგიური თვალსაზრისით გაუმართლებელია, რადგანაც იწამლება ბენტოსი და არაა გამორიცხული გარკვეული დროის შემდეგ ნავთობის ამოტივტივება.

- ბუნებრივი წარმოშობის ვერცხლისწყალი ზღვის გარემოში დიდი რაოდენობით გროვდება მსხვილ თევზებში, სელაპში, ვეშაპში, ზღვის ფრინველებში. ხშირად ვერცხლისწყლის დაგროვების დონე იმდენად მაღალია ზღვის პროდუქტებში, რომ მათი გამოყენება სახიფათოა ადამიანისათვის. საკვები პროდუქტებიდან ვერცხლისწყლის რაიმე გზით გამოყვანა შეუძლებელია. ამიტომ ასეთი საკვების მიღებისაგან თავი უნდა შევიკავოთ.
- დაბინძურების ლოკალური წყაროდან მოშორებით კადმიუმით დაბინძურება უმნიშვნელოა. ამ დროს ადამიანისთვის სახიფათოა საკვებად მოლუსკების გამოყენება. საკვები პროდუქტებიდან კადმიუმის გამოყვანაც შეუძლებელია.
- ერთი წლის განმავლობაში მსოფლიოში ხდება ტყვიის იმ რაოდენობის მოპოვება, რაც გახსნილია დღესდღეობით მსოფლიო ოკეანეში. საჭიროა ავტომობილის ბენზინში ტყვიის გამოყენების აკრძალვა.
- როგორ ავარიდოთ თავი ციანობაქტერიებით გამოწვეულ დაავადებებს? უნდა შევწყვიტოთ ყოველგვარი საქმიანობა აღნიშნული წყლის ობიექტის სიახლოვეს, რომ არაფერი ვთქვათ ამ წყლის მოხმარებაზე როგორც სასმელად, ასევე საირიგაციო თუ სარეკრეაციო მიზნებისთვის. აღსანიშნავია, რომ ამ ტოქსინებით მოწამვლა შეიძლება როგორც ცურვისას, ასევე წყლის თხილამურებზე სრიალისა და ნაგებით სეირნობისას, ვინაიდან მომწამვლელი, ტოქსიკური ნივთიერებები აეროზოლების სახით ხვდება ადამიანის სასუნთქ სისტემაში. ძირითადი დაავადებები, რომელიც გვხვდება ადამიანების ასეთ წყალთან კონტაქტის პირობებში, ეს არის ორგანიზმის ალერგიული რეაქციები კანის გაღიზიანების სხვადასხვა სიმძიმის ფორმით და ნაიარევების წარმოქმნით. წყლის ნაწილაკების შესუნთქვა აეროზოლების სა-

ხით იწვევს ცრემლდენას, ცხვირის სისველეს, ასთმისმაგვარ გაგუდვას, ციანოზს და სხვა ალერგიულ რეაქციას. დაბინძურებული წყლის სასმელად მოხმარებისას ადამიანი დაავადდება მძიმე გასტროენტერიტით, ღვიძლისა და თირკმლის ტოქსიკოზით, რაც ფატალური შედეგებით მთავრდება, ვინაიდან არ არსებობს დღეისათვის ამ შხამების წინააღმდეგ მოქმედი ანტიდოტი. ორგანიზმში ამგვარი შხამის მცირე დოზით მოხვედრაც კი იწვევს ნევრალგიურ დაავადებებს. მეცნიერთა მიერ ადამიანისა და, საერთოდ, ცოცხალი ორგანიზმების ამ დაავადებებისგან დაცვის მიზნით, შემუშავებულ იქნა წყლის ობიექტებში ლურჯ-შვანე წყალმცენარეების გავრცელების, ანუ მათი წყალში კონცენტრაციის კრიტერიუმები, რომელიც პრაქტიკულად ერთნაირია როგორც ირიგაციისთვის, ასევე ფერმერული მეურნეობისთვისა და სასმელი წყლისათვის. თუ ციანობაქტერიების უჯრედები 1 მილილიტრ წყალში 500 ერთეულს აღემატება, საჭიროა გაძლიერებული, კომპლექსური მონიტორინგის წარმოება (უნდა ჩატარდეს წყლის მიკრობიოლოგიური გამოკვლევა კვირაში 2-ჯერ მაინც) საშიში პერიოდის განმავლობაში; თუ მათი რაოდენობა 2000 ერთეულს აღემატება მილილიტრში, აუცილებელია სპეციალისტი ექსპერტების რჩევა. 6500 ერთეულის შემთხვევაში საჭიროა ჯანდაცვის ორგანიზაციების ჩარევა, ხოლო, როდესაც უჯრედების რაოდენობა 15 000 ერთეულს აღწევს, მილილიტრში წყლის გამოყენება პრაქტიკულად აკრძალულია ზემოაღნიშნული მიზნებისთვის სპეციალური დამუშავებისა და ფილტრაციის გარეშე, რომლის ტექნოლოგიაც, სამწუხაროდ, ჩვენს ქვეყანაში შემუშავებული და დანერგილი ჯერ არ არის. წყლის ადუღება და ფილტრაცია არ აუვნებელყოფს წყალს ამგვარი შხამებისაგან, ხოლო წყლის ქიმიური დამუშავება კი აუარესებს არსებულ მდგომარეობას, ანუ აძლიერებს ტოქსიკური ნივთიერებების გამოყოფას, რომ არაფერი ვთქვათ ბაქტერიების მუტაციის ინტენსიფიკაციისა და წყლის ადამიანის ორგანიზმისათვის მავნე ქიმიური ნივთიერებებით გაჯერების შესახებ მთლიანობაში.



ციანობაქტერიების ჭარბი რაოდენობისაგან თავის დაღწევის ეკოლოგიური მეთოდი გულისხმობს ბიოგენურ მანიპულირებას – ევტროფირებულ წყალსაცავში აზოტის ფოსფორთან შეფარდების გაზრდას. ამ მეთოდის არაორდინალურობა იმაში გამოიხატება, რომ აუცილებელი ზრდა მიიღწევა არა ფოსფორის რაოდენობის შემცირებით, არამედ აზოტის ნაერთების დამატებით. როგორც მოდელირებისა და ექსპერიმენტების კვლევები გვიჩვენებს, ამგვარი მანიპულაციები ციანობაქტერიების „ყვავილობის“ პროცესის დათრგუნვასა და პროტოკოკული მიკრომცენარეების დომინირებას უწყობს ხელს.

- არსებობს უამრავი კანონი და ნაციონალური თუ საერთაშორისო შეთანხმებები გარემოს დაცვის შესახებ.

ეს შეთანხმებები და კანონები უნდა გახდეს უფრო მეტად ეფექტური, რათა მოხდეს მათი საშუალებით ზღვის გარემოში დაბინძურების შემცირება.

## ლიტერატურა

1. გელაშვილი ნ. შავი ზღვის საქართველოს სექტორის ნავთობის ნახშირწყალბადებით დაბინძურების ხარისხის შესწავლა. დისერტაცია. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ალ. ჯანელიძის სახ. გეოლოგიური ინსტიტუტი და სამეცნიერო კვლევითი ფირმა „გამა“. 120 გვ. თბილისი, 2004.
2. დემეტრაშვილი დ., კორძაძე ა. Numerical Modeling of Distribution of Polluting Substances on the Black Sea. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ი. ვეკუას სახ. გამოყენებითი მათემატიკის ინსტიტუტის სემინარის გაფართოებული სხდომების მოხსენებები, ტ. 17, №3; 44-57 გვ. 2002.
3. კერესელიძე ზ. ზღვებისა და მტკნარი წყლების ბიოლოგია. 204 გვ. თსუ გამომცემლობა. თბილისი, 2003.
4. კავილაძე მ. ენერგიის წყაროები და მათი პერსპექტივები საქართველოში (პოპულარულად). 170 გვ. თბილისი, 2005.
5. კიკნაძე ა., რუსო გ., ზორავა ს. ზღვის ნაპირდაცვის პრობლემების გადაჭრა აჭარაში. საქართველოს საინჟინრო აკადემია: მდგომარეობა და პერსპექტივები. 1998.
6. კობახიძე მ. საქართველოს წყალმომარაგების წყაროების ფენოლოგიით დაჭუჭყიანების პრობლემის ეკო-საინჟინრო ანალიზი. დისერტაცია. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 127 გვ. თბილისი, 2006.
7. მაჩიტაძე ნ. მძიმე ლითონების შემცველობა შავი ზღვის საქართველოს სექტორის წყალქვეშა ფერდის თანამედროვე ნალექებში. დისერტაცია. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ალ. ჯანელიძის სახ. გეოლოგიური ინსტიტუტი. 117 გვ. თბილისი, 2002.
8. ონინი ჯ. ცოცხალი ბუნების დაცვა. 438 გვ. თსუ გამომცემლობა. თბილისი, 2003.

9. ონიანი ჯ. ზოგადი ჰიდრობიოლოგია. თსუ გამომცემლობა. თბილისი, 2000.
10. ონიანი ჯ. ტოქსიკოლოგიის ზოგადი საფუძვლები. თსუ გამომცემლობა. 316 გვ. თბილისი, 2005.
11. საინჟინრო-გეოლოგიური და გეოეკოლოგიური განმარტებითი ლექსიკონი. „მეცნიერება“. 230 გვ. თბილისი, 2005.
12. სუპატაშვილი გ., ქაჯაია გ. გარემო და ადამიანი. თსუ გამომცემლობა, 156 გვ. თბილისი, 2001.
13. შავი ზღვის სანაპირო ზოლის გაჭუჭყიანების თანამედროვე მდგომარეობის დადგენა ანთროპოგენური ზემოქმედების პირობებში. თემა №2.30, საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, 63გვ. 1995.
14. წივწივაძე ნ., ზაზალაია რ., ქეთარაძე ა. საქართველოს შავი ზღვის პორტების განვითარების პერსპექტივები და პრობლემები. საქართველოს გეოგრაფია. გვ.67-71, №3, 2004.
15. Anton V. Syroeshkin, Irina S. Matveeva, Sergey S. Pletenev, Alexandr V. Grigor'ev & Vladimir B. Lapshin. Heavy Metals in Marine Aerosols of the Russian Part of the Black Sea.
16. Alexander Korshenko (Russia). Water pollution of the Black Sea.
17. Alexander Korshenko, B. Gvakharia, N. Machitadze Bottom Sediment Pollution of the Black Sea.
18. Bilashvili K. et.al. "The Black Sea – New Challenges: Complex socio-economic and ecological problems and solutions". Currents, ORF, San Francisco, USA, p.11-14 Autumn 1999.
19. Bilashvili K. A., et.al. "Study of Biodegradation Dynamics of the Process of Destruction of Oil Products by Microorganisms". In Book, paper: Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea, 2<sup>nd</sup> International Conference, p.670-674. Ankara, 2002.
20. Buachidze N., Bilashvili K. et.al. "Research of pollution by oil products and destruction dynamics of oil contamination by microorganisms in the coastal zone of the Black Sea, Georgia". Intern. Conference "Scientific and policy challenges towards an effective management of the marine environment in support of regional sustainable development". Presentation: Session IV; Albena Resort, Bulgaria, 13-18 October, 2003.

21. Buachidze N., Bilashvili K. et.al. "Research of pollution by oil products and destruction dynamics of oil contamination by microorganisms in the coastal zone of the Black Sea, Georgia". Paper: in the book "Problems of Ecology", v. IV, TEMPUS, Tbilisi Technical University, pp.155-163, 2006.
22. Gvakharia V. G., Machitadze N. O., Tvalchrelidze A. G. Distribution Cu, Zn, Mo and Fe in contemporary marine sediments of the Georgian sector of Black sea. – A. Janelidze Geological Institute, Proceeding, New Series, Vol. 117, p. 424-429, 2002.
23. Gvakharia V. G., Gelashvili N. E., Gvakharia T. A., Adamia T. M., Janashvili N. D., Maisuradze G. B. Method for determination of petroleum hydrocarbons and the study of pollution level of bottom sediments within the Georgian section of the Black Sea water area. – Georgian Engineering News, №2, p.108-110, 2004.
24. Gvakharia V., Tsitsishvili V., Maisuradze G., Gelashvili N., Loria Kh., Girgvliani D. Use of Chromatography in Ecological Audit of Water Areas and Neighboring Territories of Black Sea coast of Georgia. – Second West Ukrainian Symposium on Adsorption & Chromatography, p. 151-155, 2002.
25. JaoShvili Sh. The rivers of the Black Sea. Tbilisi, 2003.
26. Keith Bayha. Invasion of the Jellies: Unwelcome Visitors to the Black Sea. University of Delaware College of Marine Studies. 2003.
27. Kvavadze E., Bilashvili K. SOUTHERN EUROPEAN SEAS: ASSESSING AND MODELLING ECOSYSTEM CHANGE – SESAME PROJECT IN PROGRESS (GEORGIA). Abstracts, Inter. Conf., Riga, 2007.
28. Machitadze N., V. Gvakharia, A. Tvalchrelidze. Vanadium and chromium content in present sediments of Georgian sector of the Black sea. – Bull. of Georg. acad.of Sci., 164, No 3, p. 501-503, 2001.
29. Machitadze N., Tvalchrelidze M., Gvakharia V. Particularities of geochemical zones formation in the sediments of south-eastern sector of the Black sea Georgia. – Bull. of Georg. acad. of Sci., 163, No 2, p. 297-300, 2001.

30. Владимиров А. М., Ляхин Ю. И., Матвеев Л. Т., Орлов В. Г. Охрана окружающей среды – Ленинград Гидрометеониздат, 418 с. 1991.
31. Герлях С. А. Загрязнение морей. пер. с англ. – Ленинград Гидрометеониздат, 264 с. 1985.
32. Гвахария В., Мачитадзе Н., Гелашвили Н., Гиргвлиани Д. Химическая экология донных отложений грузинского сектора Чёрного моря. Сообщения АН Азербайджана, Науки о Земле. 2007.
33. Грушко Я. М. Вредные органические соединения – Ленинград – 214 с. 1982
34. Загрязнение морей. диагноз и терапия. Ленинград Гидрометеониздат, 260 с. 1985
35. Израель Ю. А., Цыбань А. В. Научное обоснование экологического мониторинга антропогенного воздействия на морскую экосистему (на примере Балтийского моря) – океанология, 28, № 2, с. 293-299, 1988.
36. Израель Ю. А., Цыбань А. В. Вентцель М. В., Шигасв В. В. Обобщенная модель ассимиляционной емкости морской экосистемы – ДАН, т. 298. № 2, с. 459-462. 1988.
37. Израель Ю. А., Цыбань А. В. Антропогенная экология океана. – Вестник АН СССР, № 9, с. 29-39. 1988.
38. Израель Ю. А., Цыбань А. В. Антропогенная экология океана. – Ленинград Гидрометеониздат, 528 с. 1989.
39. Каплин П. Предисловие редактора в книге Э. Барда. Изменение береговой линии. Л.: «Гидрометеониздат». 1990.
40. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И., Сурмава А. А. Численное моделирование распространения примеси в Чёрном море и атмосфере Кавказа – Environment ecology and safety of life activity, № 6 (24). Ukraina 31-41с. 2004.
41. Мазманиди Н. Экология рыб Чёрного моря и нефть. Ао издательство Аджара, Батуми. 146 с. 1997.
42. Меладзе Ф. Г. Инженерные решения защиты морских берегов. Тб. 1993.
43. Метревели Г., Билашвили К. и др. „Динамика моря в исключительной экономической зоне Грузии и проблемы ее загрязнения нефтепродуктами в текущем климатическом цикле“. Кавказский географический журнал. Тбилиси, 2003.

44. Нелсон-Смит А. Нефть и экология моря. – М: Прогресс, 1977.
45. Патин С. А. Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана. – М: Пищепромиздат, 379 с. 1979.
46. Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н. Морская динамическая радиохеомозкология – М: Энергоатомиздат, 176 с. 1986
47. Проблемы химического загрязнения вод Мирового Океана – Ленинград Гидрометеоиздат, 1985.
  - т. 1. Динамика и прогноз загрязнения океанических вод. Под ред. А. И. Симонова – т. 2. Процессы турбулентной диффузии примесей в море. Под ред. В. И. Заца.
  - т. 3. Влияние загрязнения поверхностного слоя на тепло-, газо- и влагообмен океана с атмосферой. Под ред. Э. К. Бютнер и А. С. Дубова.
  - т. 4. Влияние нефти и нефтепродуктов на морские организмы и их сообщества. Под ред. О. Г. Миронова.
  - т. 5. Эколого-токсикологические аспекты загрязнения морской среды. Под ред. С. А. Патина.
  - т. 6. Изменение физико-химических свойств морских вод под влиянием загрязнения. Под ред. Е. Ф. Шульгиной.
  - т. 7. Процессы самоочищения океанических вод. Под ред. А. И. Симонова и А. Н. Зубакиной.
  - т. 8. Методы борьбы с нефтяным загрязнением вод Мирового океана. Под ред. М. П. Нестеровой.
  - т. 9. Измайлов В. В. Трансформация нефтяных пленок в системе океан-лед-атмосфера.
48. Руссо Г., Сафьянов Г., Хорава С. Влияние искусственных изъятий пляжеобразующих наносов на динамику приустьев-ного взморья р.Чорохи. М.: 1987.
49. Станев Е., Трухчев Д., Русенов В. Циркуляция вод и численное моделирование течений Чёрного моря. София – Университетское издательство “Климат охридски”, 222 с. 1988.
50. Цивцивадзе Н. Ш., Рыбка В. Г. – Результаты Исследований Волнения в Прибрежной Зоне Моря. Труды ВНИИ Транспортного Строительства Минтрансстроя СССР. Вопросы Гидравлики Прибрежной Зоны Моря, вып. № 86. Москва, 1976 г. стр. 46-52.

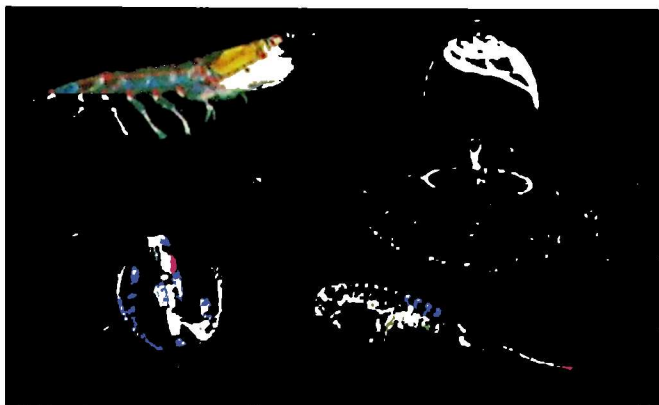
51. Цивцивадзе Н. Ш., Аджиашвили Д. С., Рустамов А. Н. – Экспериментальное Исследование Затопленных Плавающих Струй. Сборник материалов конференции ВНИИ Транспортного Строительства Минтрансстроя СССР. Москва, 1980 г. стр. 31-42.
52. Цивцивадзе Н. Ш., Кантаржи И. Г., Хазалия Р. М., Гагнидзе Ш. Д. – Растекание Речной Струи на Взморье. Материалы Республиканской Конференции Молодых Ученых. Изд. ТГУ, Тбилиси, 1986 г. стр. 28-30.
53. Цивцивадзе Н. Ш., Сванидзе Н. Н. – Вопросы Загрязнения Хлорорганическими Пестицидами ЮВ Части Черного моря. Материалы Второй Республиканской Конференции ТГУ. Изд. ТГУ, Тбилиси, 1990 г. стр. 37-40.
54. Цивцивадзе Н. Ш., Хуцишвили В. В. – Результаты Численных Расчетов Трансформации Элементов Волн в Прибойной Зоне. Материалы Второй Республиканской Конференции ТГУ. Изд. ТГУ, Тбилиси, 1990 г. стр. 41-43.
55. Цивцивадзе Н., Хатиашвили Э., Кавтუაშვილი Н., Арсшидзе М. – Влияние Трансформированных Морских Волн на Перенос "Пятен" Загрязнения Поступающих из Водовыпусков. Кавказский Географический Журнал № 7-8. Изд. "Универсал" Тбилиси, 2007 г. стр. 100-104.
56. Чёрное море. Гидрометиздат, 406с. 1983
57. <http://www.learningdemo.com/noaa/lesson13.html>
58. [http://en.wikipedia.org/wiki/Red\\_tide](http://en.wikipedia.org/wiki/Red_tide)
59. <http://en.wikipedia.org/wiki/Phytoplankton>
60. <http://en.wikipedia.org/wiki/Benthos>
61. <http://www.guardian.co.uk/gall/0,8542,842603,00.html>
62. <http://www.oceansatlas.com/unatlas/-ATLAS-/chapter12f.html>
63. [http://www.oilcapital.ru/technologies/2003/11/031704\\_70226.shtml](http://www.oilcapital.ru/technologies/2003/11/031704_70226.shtml)
64. <http://scicom.ucsc.edu/SciNotes/9601/OceanNoise/00Intro.html>
65. <http://homepage.mac.com/cparada/GML/Oceanus.html>
66. <http://news.nationalgeographic.com/news/2007/11/071112-oil-video-ap.html>
67. <http://www.abc.net.au/news/photos/2007/11/13/2089055.htm>
68. <http://www.oceandna.ge/>
69. [http://www.geographer.ru/lecture/az\\_eco/index.shtml](http://www.geographer.ru/lecture/az_eco/index.shtml)
70. <http://www.carboocean.org/>



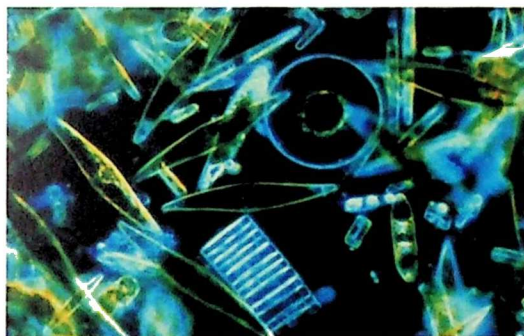


დაწერეთ

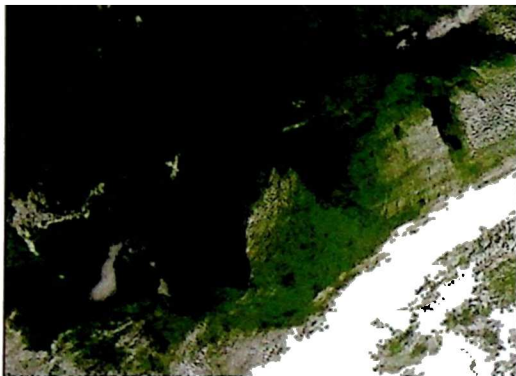




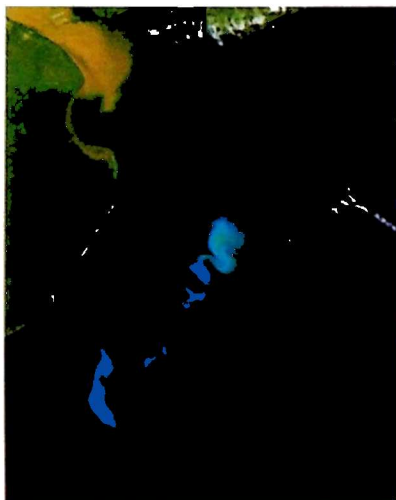
სურათი 1. ზოოპლანქტონის ზოგიერთი წარმომადგენელი



სურათი 2. დიატომი



სურათი 3. ფიტოპლანქტონი ბალტიის ზღვაში  
(3 ივლისი, 2001 წელი)



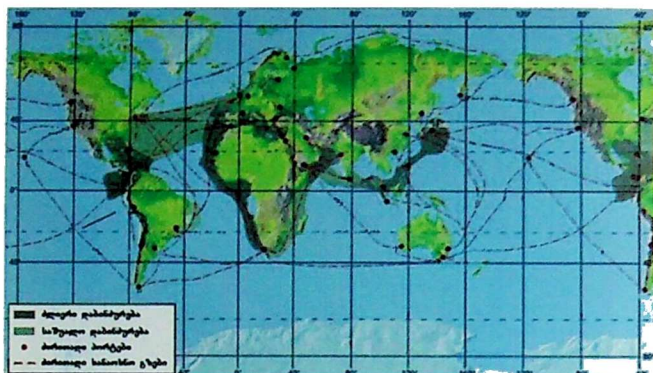
სურათი 4. სამხრეთ ატლანტიკაში ფიტოპლანქტონი  
(კოსმოსური სურათი, 15 თებერვალი, 2006 წელი)



სურათი 5. კალიფორნია, წითელი ტალღები



სურათი 6. ზამანწყა რიფზე



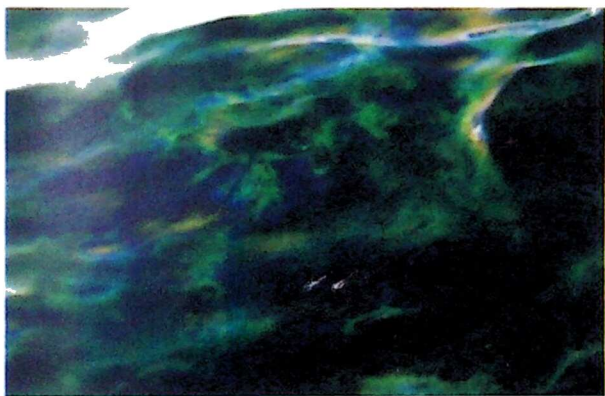
სურათი 7. მსოფლიო ოკეანის ნავთობით დაბინძურება



სურათი 8. გემიდან ბალასტური წყლის ჩაშვება ზღვაში



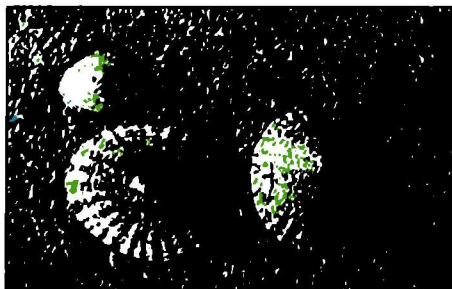
სურათი 9. ორი ადამიანი გზას იკვლევს ნავთობით დაფარულ  
ესპანეთის ჩრდილო-დასავლეთ პლაჟზე



სურათი 10. ნავთობის ფენა შავ ზღვაში



სურათი 11. ზღვის დაბინძურება საღებავით



სურათი 12. ზღვის მოლუსკები: 1 – სუფთა წყალში,  
2 – საღებავით დაბინძურებულ წყალში

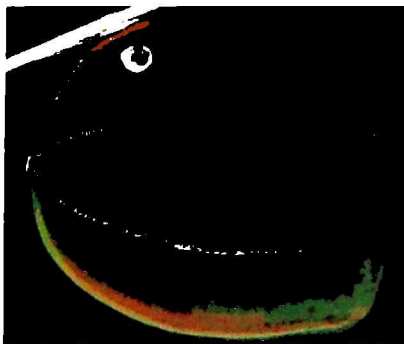




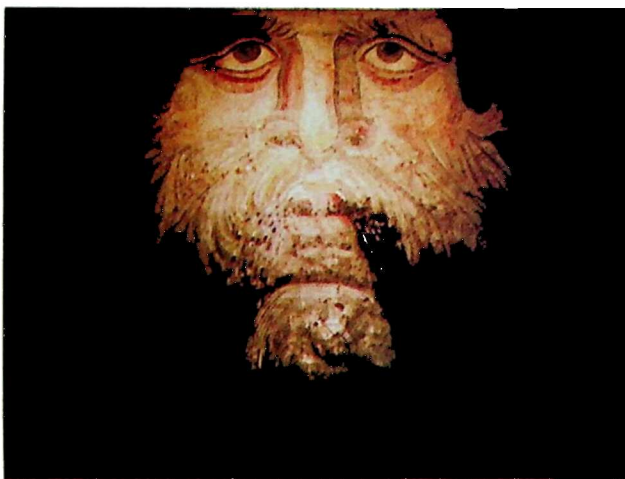
სურათი 13. მედეზა



სურათი 14. მნემიოპსისი (Mnemiopsis)



სურათი 15. ბეროე ოვატა (Beroc ovata)



ოკეანე, ოკეანოსი (Okeanos, ლათ. Oceanus) – ტიტანი, ურანოსის და გეას (ცისა და მიწის) შვილი, კრონოსის, ჰიპერიონის და რეას ძმა. მშობელი ყოველი არსისა, რაც წყალთა სამყაროშია (ზღვათა, მდინარეთა), ზოგადად – წყალთა სტიქიის მეუფე

|                           |                     |
|---------------------------|---------------------|
| გამოცემლობის რედაქტორი    | მარინე ვარაშაშვილი  |
| გარეკანის დიზაინი         | თინათინ წირინაშვილი |
| კომპიუტერული უზრუნველყოფა | ნინო ეაჩეიშვილი     |

0128, თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზირი 14

0128, Tbilisi, 14, I. Chavchavadze Av.

[www.press.tsu.ge](http://www.press.tsu.ge) (25-14-32)