

კახაბერ ბილაშვილი, მარიამ ელიზბარაშვილი,  
ნოდარ წივწივაძე

# ზღვის ეკოლოგია

თბილისი -2009

## **თავი I. ოკეანის დაბინძურების წყაროები და სახეობები**

- 1.1. დამაბინძურებელი ნივთიერებები
- 1.2. ჰიდრობიონტები და ოკეანის დაბინძურების ეკოლოგიური შედეგები
- 1.3. ნავთობი და ნავთობპროდუქტები
- 1.4. პესტიციდები
- 1.5. სინთეტიკური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები
- 1.6. კანცეროგენული თვისებების მქონე ნაერთები
- 1.7. მძიმე მეტალები
- 1.8. ნარჩენების ჩაშვება ზღვაში დამარხვის მიზნით
- 1.9. ტექნოგენური რადიონუკლიდები
- 1.10. პლასტმასის, პოლიეთილენის და ინფექციის გამავრცელებელი ნარჩენები
- 1.11. სითბური დაბინძურება
- 1.12. ხმაური

## **თავი II. ოკეანეში წყლის დაბინძურების გავრცელების მოდელირება**

- 2.1. ზღვის გარემოში მინარევების გავრცელების ამოცანის მათემატიკური ფორმულირება
- 2.2. ზღვის გარემოში მინარევის კონცენტრაციის ცვლილების ამოცანის ანალიზური ამოხსნები
- 2.3. მცირე სიღრმის ზღვაში მინარევის ტურბულენტური დიფუზიის განტოლების ამოხსნის რიცხვითი მეთოდები
- 2.4. წყლის ცირკულაციის, ტურბულენტური დიფუზიის და სასაზღვრო ჰირობების გავლენა გამაჭუჭყიანებელ ნივთიერებათა კონცენტრაციის გაანგარიშების შედეგებზე
- 2.5. შავ ზღვაში დამაბინძურებელი მინარევების განაწილების მოდელირების შედეგები
- 2.6. მინარევის გავრცელების შესწავლის ექსპერიმენტული მეთოდი

## **თავი III. მსოფლიო ოკეანის წყლების გაჭუჭყიანების თანამედროვე მდგომარეობა**

- 3.1. ნავთობის ნახშირწყალბადები
- 3.2. მდგრადი ორგანული დამაბინძურებლები (მოდები)

- 3.3 სინთეტიკური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები
- 3.4. მძიმე მეტალები
- 3.5. ოკეანის ზედაპირული მიკროფუნის დაბინძურება
- 3.6. კანცორეგენული ნივთიერებები
- 3.7. ოკეანის რადიაქტიული დაბინძურება

**თავი IV. დამაბინძურებელი ნივთიერებებისაგან ზღვის გარემოს თვითგაწმენდის პროცესები**

- 4.1. ნავთობის დეგრადაცია ზღვაში
- 4.2. სინთეტიკური ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებების ბიოდეგრადაცია
- 4.3. ფენოლებისაგან თვითგაწმენდა
- 4.4. პოლიარომატიკული ნახშირწყალბადების ბიოდაშლა

**თავი V ოკეანეში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ბალანსი**

- 5.1. დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ბალანსის მოდელი
- 5.2. დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ბალანსის ელემენტები

**თავი VI. წყლის გარემოში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციები და ზღვის ასსიმილაციური ტევადობა**

- 6.1. ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციების (ზღკ) ნორმირების პრინციპები
- 6.2. ზღვის გარემოს დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ზღკ
- 6.3. ზღვის ეკოსისტემის ასსიმილაციური ტევადობა
- 6.4. ზღვის ეკოსისტემის ასსიმილაციური ტევადობის შეფასება ბალტიის ზღვის მაგალითზე

**თავი VII მსოფლიო ოკეანის კომპლექსური გლობალური მონიტორინგი**

- 7.1. მონიტორინგის განსაზღვრება
- 7.2. ოკეანის კომპლექსური გლობალური მონიტორინგის ამოცანები და მონიტორინგის სისტემის განხორციელება

**თავი VIII ზღვის გარემოს დაცვა დაბინძურებისაგან**

- 8.1 უნარჩენო ტექნოლოგია
- 8.2. ზღვის გარემოს დაცვა გემების ექსპლუატაციის დროს
- 8.3. დაღვრილ ნავთობთან ბრძოლის ხერხები
- 8.4. მნიშვნელოვანი საერთაშორისო შეთანხმებები ზღვის

გარემოს დაცვის დარგში

## 8.5. დიაგნოზი და თერაპია

### შესავალი

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 კონტროლს 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, მათგან მინარევების გარემოში გავრცელების, გაანგარიშებისა და მათემატიკური მოდელირების შესახებ, ეს საკითხები და მასთან დაკავშირებული პრობლემები განხილულია წინამდებარე სახელმძღვანელოში.

სახელმძღვანელოში განხილული ძირითადი დებულებები ილუსტრირებულია მაგალითებით და ფაქტიური მონაცემებით, რაც საშუალებას იძლევა ვიმსჯელოთ ამა თუ იმ მოვლენის მნიშვნელობასა და მასშტაბებზე.

სახელმძღვანელოზე მუშაობისას ავტორებს დიდი დახმარება გაუწიეს: მ.კავილაძემ (თბილისის ივ. ჯავახიშვილის სახ. სახელმწიფო უნივერსიტეტი); ნ.მაჩიტაძემ, ნ. გელაშვილმა (საქართველოს ალ. ჯანელიძეს სახ. გეოლოგიური ინსტიტუტი და სამეცნიერო-კვლევითი ცენტრი “გამა”); დ.დემეტრაშვილმა (მნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი); ლ.ინწკირველმა, ნ.ნასყიდაშვილმა და ნ.ბუაჩიძემ (ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი).

სახელმძღვანელო განკუთვნილია ოკეანოლოგიის, ჰიდრომეტეოროლოგიის, ეკოლოგიის, გეოგრაფიის, გარემოსმცოდნეობის და ბიოლოგიის, სპეციალობის სტუდენტების, მაგისტრანტების და დოქტორანტებისათვის, აგრეთვე ამ დარგში მომუშავე სპეციალისტებისათვის. ის დახმარებას გაუწევს

მკითხველთა ფართო წრეს ვინც დაინტერესებულია ზღვის გარემოს ეკოლოგიური პრობლემებით.

## **თავი I. ოკეანის დაბინძურების წყაროები და სახეობები**

### **1.1. ოკეანის დაბინძურების წყაროები**

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

უკანასკნელ ათწლეულებში განსაკუთრებით გაიზარდა ზღვის ეკოსისტემებზე ანთროპოგენური ზემოქმედება. ოკეანის წყლებში მრავალი დამაბინძურებელი ნივთიერებების გავრცელებამ მიიღო ლოკალური, რეგიონალური და გლობალური მასშტაბიც 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 ოკეანოგრაფიის კომისიამ, ზღვის დაბინძურება შემდეგნაირად განმარტეს: “ადამიანის მიერ პირდაპირ ან ირიბად ნივთიერების ან ენერჯის 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 ხარისხის გაუარესება და მისი სასარგებლო თვისებების შემცირება.”

ოკეანეებისა და ზღვების დამაბინძურებელ წყაროებს მიეკუთვნება:

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

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

ცხრილში 1.1 წარმოდგენილია მსოფლიო ოკეანის მსხვილმასშტაბიანი დაბინძურების ყველაზე გავრცელებული ტოქსიკური კომპონენტები.

ცხრილი 1.1

მსოფლიო ოკეანის მსხვილმასშტაბიანი დაბინძურების ტოქსიკური კომპონენტები (პატინა, 1979)

დამაბინძურებელი ნივთიერებები	ბიოლოგიური საშიშროების ხარისხი	გავრცელების მასშტაბი
<b>რადიონუკლიდები</b>		გლობალური
სტრონციუმ-90 ( $^{90}\text{Sr}$ )		“
ცეზიუმ-137 ( $^{137}\text{Cs}$ )		“
პლუტონიუმი-238 ( $^{238}\text{Pu}$ )		“
ტრიტიუმი ( $^3\text{H}$ )		“
ცერიუმი-144 ( $^{144}\text{Ce}$ )		“
<b>ქლორორგანული ტოქსიკური დღტ და მათი მეტაბოლიტები</b>	++	“
პოლიქლოროირებული ბიფენილები	++	“
ალდრინი	++	“
დიდდრინი	++	ლოკალური
ლინდანი	++	“

<b>მეტალები</b>		
მეთილსინდიეი	++	გლობალური
კადმიუმი	(+)	“
ვერცხლისწყალი	++	“
ტყვია	(+)	“
თუთია	+	ლოკალური
სპილენძი	+	რეგიონალური
ქრომი	(+)	ლოკალური
რკინა	(-)	“
მანგანუმი	(-)	“
დარიშხანი	(+)	რეგიონალური
<b>ნავთობი და ნავთობპროდუქტები</b>	+	გლობალური
<b>დეტერგენტები</b>	?	რეგიონალური

ზღვის ორგანიზმებისათვის ბიოლოგიური საშიშროების ხარისხი აღნიშნულია: ++ - ძლიერი; + - მნიშვნელოვანი; (+) – სუსტი; ? – არ არის განსაზღვრული; (-) – უმნიშვნელო.

როგორც ცხრილიდან ჩანს ოკეანე ლეულობს დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ფართო ჩამონათვალს. მათ გარდა ოკეანეში სხვადასხვა გზით სვდება უამრავი ორგანული მინარევები, ნარჩენები, შეტივტივებული ნაწილაკები. ისინი განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან ტოქსიკურობის ხარისხით და გავრცელების მასშტაბით – ლოკალური (სანაპირო) გავლენიდან დაწყებული გლობალურით დამთავრებული.

ამჟამად მსოფლიო ოკეანეში პოულობენ ახალ-ახალ დამაბინძურებელ ნივთიერებებს. ორგანიზმებისათვის განსაკუთრებით საშიში ქლორორგანული შენაერთების, პოლიარომატიული ნახშირწყალბადების და ზოგიერთი სხვა ნივთიერებების გავრცელება გლობალურ ხასიათს ლეულობს. რომლებიც გამოირჩევა მაღალი ბიოაკუმულაციური თვისებებით, მკვეთრი ტოქსიკური და კანცეროგენული ეფექტით.

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

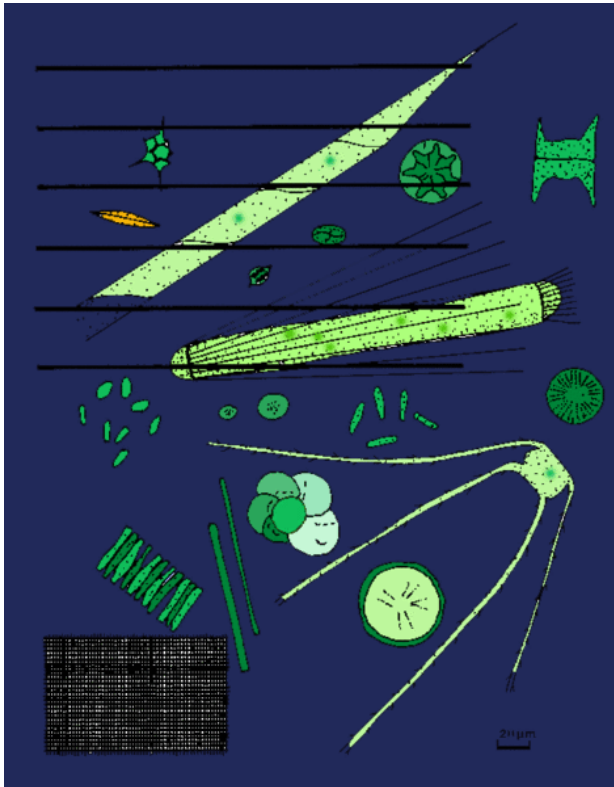
## 1.2. ჰიდრობიონტები და ოკეანის დაბინძურების ეკოლოგიური შედეგები

მცენარე არის პირველი რგოლი კვების ჯაჭვში როგორც ხმელეთზე ასევე წყალში. მხოლოდ მცენარეს შეუძლია მზის ენერგიით არაორგანული ნივთიერებიდან საკვების წარმოება. მცენარეები წარმოშობენ და ცხოველები შთანთქავენ. ამიტომ ყველა ცხოველი დამოკიდებულია მცენარეზე.

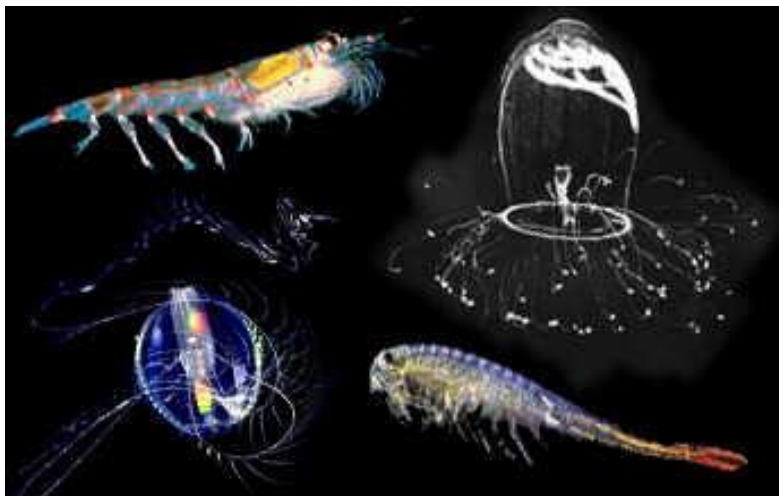
პლანქტონი ზღვის წყლის სვეტში მცხოვრობი ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი უმცირესი ზომის ორგანიზმია. პლანქტონის ერთ ერთი სახეობაა ფიტოპლანქტონი - მცენარე რომელიც წყლის ზედაპირზე ცხოვრობს და ფოტოსინთეზის საშუალებით ღებულობს ენერგიას. ფიტოპლანქტონის ზღვაში ვერტიკალური განაწილება დამოკიდებულია სინათლეზე, რომელიც საჭიროა ფოტოსინთეზისათვის. მაგალითად შავ 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 100მ. უფრო ღრმად განათებულობა სუსტია ამიტომ იქ ვითარდება მხოლოდ ჩრდილის მოყვარული ერთუჯრედოვანი ორგანიზმები და ბაქტერიები. ჩრდილის მოყვარული ფიტოპლანქტონი 80-125 მ. სისქის ფენაში არსებობს. ეს არის უფერული მცენარეები, რომლებიც იკვებებიან ორგანული ნივთიერებებით და ზოგიერთი სახეობის დიატომური წყალმცენარით ანუ ფოტოსინთეზთან ერთად საკვებად იყენებენ წყალში გახსნილ ორგანულ ნივთიერებებს.

ფიტოპლანქტონი არის მცირე, ერთუჯრედიანი მცენარე, რომლის შეუარაღებელი თვალით გარჩევა შეუძლებელია, თუმცა წყალში დიდი რაოდენობით არსებობისას ის წყალს შეფერილობას უცვლის. დაახლოებით 5 000 სახეობის ზღვის ფიტოპლანქტონი არსებობს, მათ შორის ერთ ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანია დიატომი. ფიტოპლანქტონის სხვადასხვა სახეობა სხვადასხვა ფერის პიგმენტებს შეიცავს – მწვანეს, წითელს, ყავისფერს და სხვ. შესაბამისად ოკეანესაც სხვადასხვა შეფერილობა ეძლევა. მზის სხივების გარდა ფიტოპლანქტონის ინტენსიური გამრავლება და ყვაილობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული წყალში ჭარბად

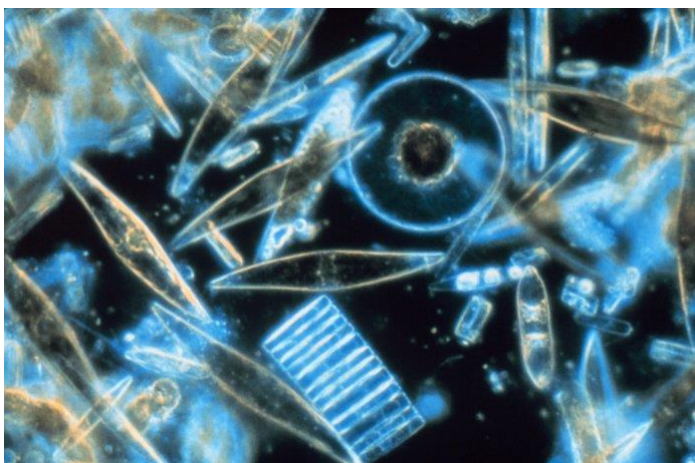
არსებულ საკვებ ნივთიერებებზე: ნიტრატებზე, ფოსფატებზე და სხვა. როცა საკვები ნივთიერებები კლებულობს, ფიტოპლანქტონის გამრავლება და ყვავილობა წყდება და იწყება ღპობის პროცესი, ხელახლა გამონთავისუფლებული ბიოგენური მარილები ხელს უწყობენ ფიტოპლანქტონის ყვავილობის და გამრავლების ხელახალ დაწყებას.



ნახ.1.1. ზოგიერთი ტიპიური ფიტოპლანქტონის დიაგრამა  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Phytoplankton>



ნახ.1.2. ზოოპლანქტონის ზოგიერთი წარმომადგენელი  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Phytoplankton>



ნახ.1.3. დიატომი  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Phytoplankton>



ნახ.1.4. ფიტოპლანქტონი ბალტიის ზღვაში  
3 ივლისი 2001 წ.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Phytoplankton>



ნახ.1.5. სამხრეთ ატლანტიკაში ფიტოპლანქტონი  
კოსმოსური სურათი 15 თებერვალი 2006 წელი

<http://en.wikipedia.org/wiki/Phytoplankton>



ნახ.1.6. კალიფორნია, წითელი ტალღები  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Red\\_tide](http://en.wikipedia.org/wiki/Red_tide)

ოკეანის ფერი საშუალებას გვაძლევს შევაფასოთ ფიტოპლანქტონის რაოდენობა და სახეობა, და ვიმსჯელოდ ოკეანის დაბინძურებაზე.

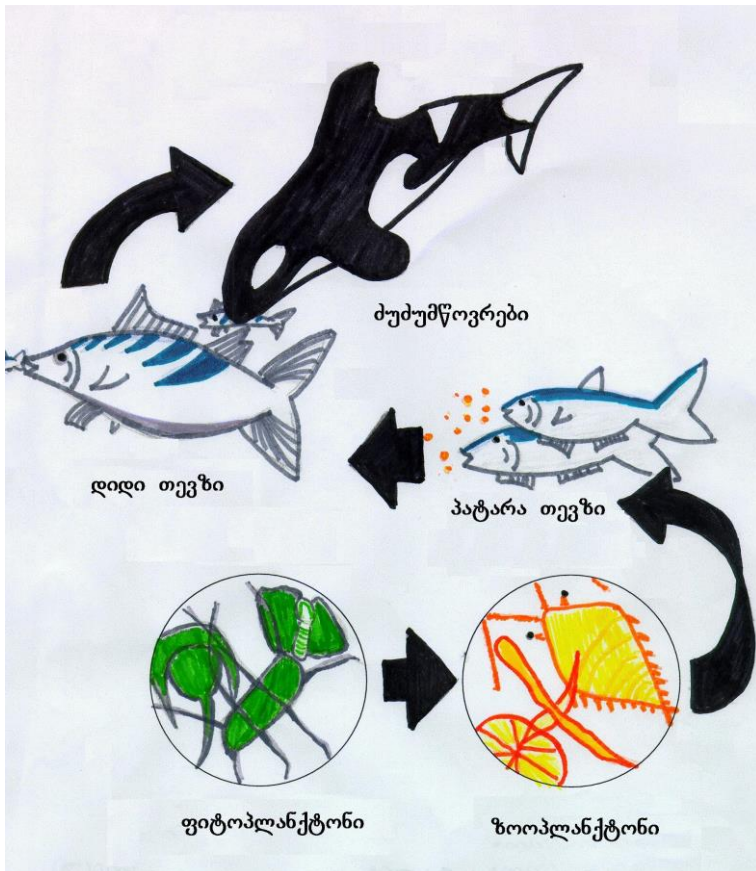
1.4. და 1.5. ნახაზებზე ნაჩვენებია ფიტოპლანქტონის მაღალი კონცენტრაციისას ბალტიის ზღვის და ჩრდილოეთ ატლანტიკის მწვანედ შეფერილი ლაქები.

ნიტრატების და ფოსფატების მაღალი კონცენტრაცია წარმოშობს ფიტოპლანქტონის მაღალ კონცენტრაციას - წითელ ტალღებს, რაც წამლავს წყალს, თევზებს, ზღვის ძუძუმწოვრებს და კვების ჯაჭვით ხვდება ადამიანის ორგანიზმში. პირველად ეს დაავადება 1924 წელს დაფიქსირდა, როცა მეთევზეებს აღენიშნებოდათ მაღალი სიცხე, სახსრების ტკივილი, ნერვული მოშლილობა.

წითელი მოქცევის გამომწვევი მიზეზები ბოლომდე არ არის შესწავლილი, ხშირად ის ბუნებრივი წარმოშობისაა (რკინით მდიდარი მტვერი საქარის ან სხვა უდაბნოდან), ზოგჯერ კი ანთროპოგენული ზემოქმედების შედეგია (დაბინძურებული ჩამონადენი წყლების გზით ოკეანეში ნიტრატების და ფოსფატების ზრდა). სანაპირო წყლების დაბინძურებასთან ერთად

ფიტოპლანქტონზე გავლენას ახდენს წყლის ტემპერატურის მომატებაც.

ზოოპლანქტონი აერთიანებს ცხოველურ ორგანიზმებს, იკვებება სხვა პლანქტონით, კვერცხით, თევზით. ბაქტერიოპლანქტონი ორგანული ნივთიერების რემინერალიზაციაში მნიშვნელოვან როლს თამაშობს. თევზები იკვებებიან ზოოპლანქტონით და საბოლოოდ ადამიანი არის ბოლო რგოლი კვების ჯაჭვში.



ნახ.1.7. ოკეანეში კვების ჯაჭვის სქემა

ბენტოსური ორგანიზმები ცხოვრობს ზღვის ფსკერზე. არსებობს ზღვის ფსკერზე მიმაგრებული, მჯდომარე (წყალმცენარეები, ღრუბლები, მარჯნები და სხვა); მოხრელები (მოლუსკები, ჭიები), მხოზავები (კიბოსნაირები, კანნემსიანები) ან თავისუფლად მოცურავე ბენტოსური ორგანიზმები. ბენტოსით მდიდარია ზღვისპირა რაიონები და ოკეანეები, განსაკუთრებით ატლანტიკის და წყნარი ოკეანის ჩრდილო დასავლეთ ნაწილი. ცხოველებს რომელიც ბენტოსს მიეკუთვნება ზოობენტოსი ეწოდება, ხოლო მცენარეებს - ფიტობენტოსი. მიკროსკოპულ ფსკერის ფაუნას მეიოფაუნა ეწოდება.

ბენტოს ჰყოფენ ზომის მიხედვითაც:

მაკრობენტოსი ( $> 1$  მმ),

მეზობენტოსი ( $0,1\text{მმ} < \text{და} < 1$  მმ),

მიკრობენტოსი ( $< 0,1\text{მმ}$ ).

ბენტოს დიდი მნიშვნელობა აქვს, რადგან ის არის ადამიანის და თევზების საკვები წყარო.



ნახ.1.8. ხამანწყა როფზე

<http://en.wikipedia.org/wiki/Benthos>

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

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

ნეისტონური ორგანიზმები ცხოვრობენ ან წყალში (ჰიპონეისტონი) ან ჰაერში (ეპინეისტონი), ზედაპირული დაჭიმულობის ფენის ერთ ან მეორე მხარეს 2-5 სმ სისქის წყლის ფენაში. ნეისტონის საერთო ბიომასა შეადგენს 2-3 ტ/კმ<sup>3</sup> ზედაპირულ წყლებში. ნეისტონური ორგანიზმების ზოგიერთი სახეობა ზედაპირულ ფენაში ატარებს მთელ სიცოცხლეს, სხვები მხოლოდ განვითარების ადრეულ სტადიებს - დაახლოებით რამოდენიმე თვეს, არის სახეობები რომლებიც ზედაპირულ ფენაში მხოლოდ დღეღამის ბნელ პერიოდს ატარებს.

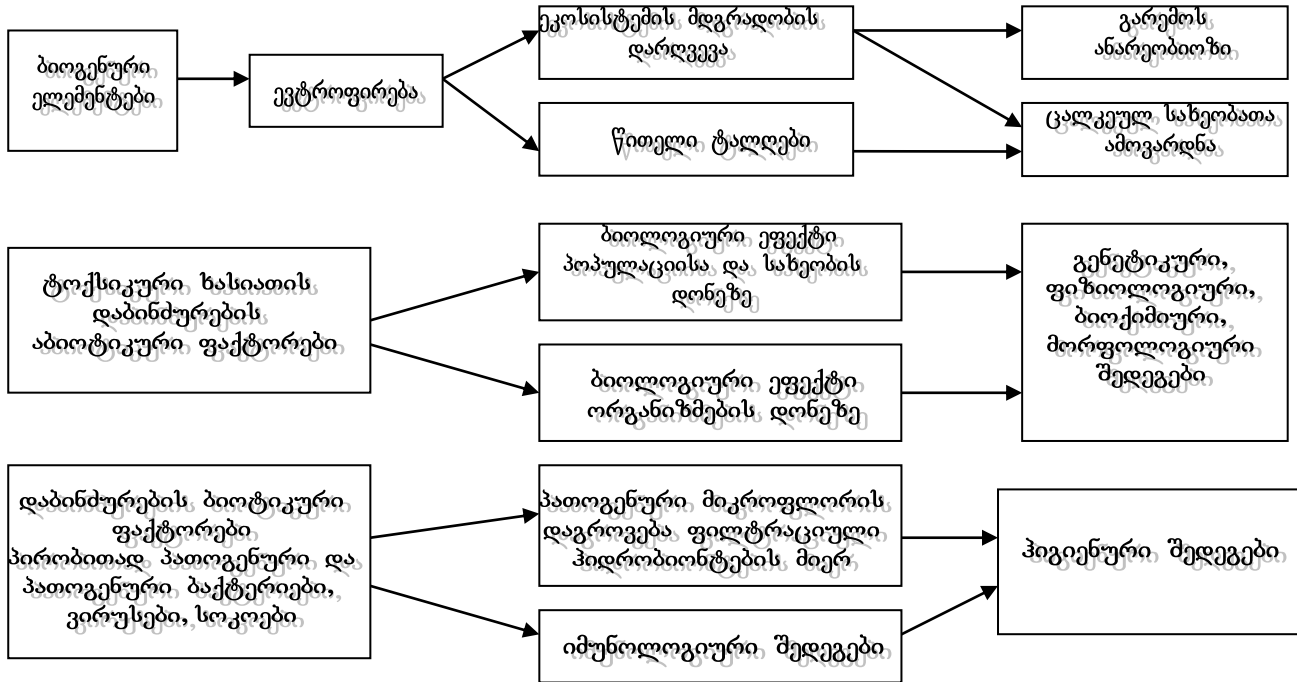
ნეისტონში და პლეისტონში გადის ყველა ნივთიერების და ენერჯის ნაკადი ოკეანეში მოხვედრისას. ნავთობის ნახშირწყალბადების, პოლიქლორობრენული ბიფენილების, დღტ-ს და სხვა ნივთიერებების მაღალი კონცენტრაცია ზედაპირულ ფენაში მოწმობს იმას, რომ ამ დამაბინძურებელ ნივთიერებებს ნეისტონი აგროვებს და შემდეგ აქტიურად გადააქვს სხვა ბიოტოპებში. ეს განსაკუთრებით დამლუპველია მათი ცხოველმოქმედებისათვის.

ბაქტერიონეისტონი ორგანული ნივთიერებების ძირითადი დამშლელი და ტრანსფორმატორია, რომლებიც ატმოსფეროდან ილექება 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 მიკროფენის დაბინძურებას მეტად საშიშ ეკოლოგიურ შედეგებთან მივყავართ.

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

პოპულაციურ-ბიოცენოტიკური ხასიათის დარღვევები ვლინდება პლანქტონური და ბენტოსური ორგანიზმების საშუალო ბიომასის ცვლილებაში, ჰიდრობიონტების გამრავლების შემცირებაში, ახალი ორგანიზმების წარმოშობაში (მაგალითად პათოგენური მიკროფლორა), ორგანული ნივთიერებების წარმოებასა და დესტრუქციის პროცესებს შორის თანაფარდობის ცვლილებაში, ეკოლოგიური მეტაბოლიზმის პროცესების დარღვევაში, ინდიკატორული ორგანიზმების გაჩენაში. ზღვის გარემოს დაბინძურებას მივყავართ ეკოსისტემის სტრუქტურის გამარტივებასთან, და ეკოსისტემის მრავალფეროვნების შემცირებასთან.



ნახ.1.9. ოკეანის დაბინძურების ეკოლოგიური შედეგები (იზრაელი, 1984)

### 1.3. ნავთობი და ნავთობპროდუქტები

მსოფლიო ოკეანის ძირითადი დამაბინძურებელი ნივთიერებაა ნავთობი.

ნავთობი ჩვეულებრივ მუქი ყავისფერი, ბლანტი, ზეთოვანი სითხეა, რომელსაც გააჩნია სუსტი ფლუოროსცენცია. 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>).

ნავთობის შემადგენლობაშია ქლოროფილისა და ჰემინის ნაწარმები, რომელთა წყარო შესაძლებელია იყოს ზღვის თევზების, ცხოველების, მიკროპლანქტონის, ზღვის წყალმცენარეების ნაშთები. ამიტომ შეიძლება დავასკვნათ, რომ ნავთობი ორგანული წარმოშობისაა. რომლის ძირითად მასალას წარმოადგენს ჰიდროსფეროში და ზღვის ფსკერზე დაშლილი ცხოველური და მცენარეული მიკროორგანიზმები.

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

ნავთობი შედგება გაჯერებული ალიფატური და ჰიდროარომატული ნახშირწყალბადებისაგან (C<sub>5</sub>-C<sub>70</sub>) 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 ჰყოფენ:

1. პარაფინები (ალკანები), (შეადგენენ ნავთობის საერთო შემადგენლობის 90%-მდე) მდგრადი გაჯერებული შენაერთებია 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 ხასიათდება მაქსიმალური აქროლადობით და წყალში ხსნადობით.
2. ციკლოპარაფინები (ნაფტენები) (30-60% მთლიანი შემადგენლობის) გაჯერებული ციკლური შენაერთები C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub> 5-

ნ ნახშირბადის ატომით წრეზე. გარდა ციკლოპენტანისა და ციკლოგექსანისა ნავთობში გვხვდება ბიციკლური და პოლიციკლური ნაფტენები. ეს შენაერთები ძლიერ მდგრადია და ცუდად ექვემდებარება ბიოდაშლას.

3. არომატული ნახშირწყალბადები (20-40% მთლიანი შემადგენლობის) – ბენზოლის გაუჯერებელი ციკლური შენაერთებია ნახშირბადის და 6 ატომით ნაკლებს შეიცავს წრეზე ვიდრე 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 შენაერთებია - 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 შემაჯალ 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) ნერთებს, ცხიმოვან მჟავებს (5%-მდე) და სხვა.

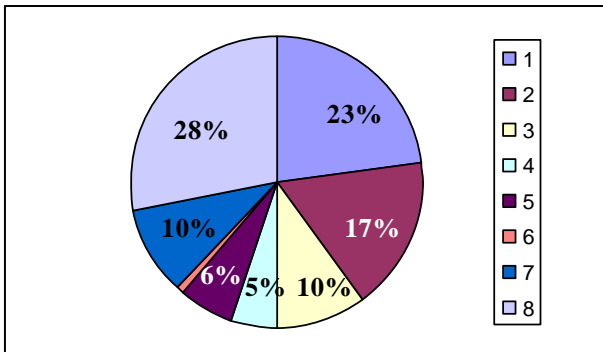
ნავთობის შემადგენლობაში ასევე აღმოჩენილია მიკროელემენტები. ამ მიკროელემენტებს ახასიათებთ მკაფიო მიდრეკილება, ერთი მხრივ მსუბუქი, მეორე მხრივ მძიმე ნავთობებისადმი. მაგ Fe, Co, Cr, Mn, Rb – შედარებით მაღალი კონცენტრაციებით მძიმე ნავთობის ფრაქციებში გვხვდება, ხოლო Hg, Sb, Sc - პირიქით, შედარებით მსუბუქ 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 ბიოგენური და ნავთობიდან წარმოშობილ ნახშირწყალბადებს რივი განსხვავებანი ახასიათებს:

1. ნავთობი წარმოადგენს ნახშირწყალბადების უფრო რთულ ნარევს, სტრუქტურების და შეფარდებითი მოლეკულური მასის დიდი დიაპაზონით.
2. ნავთობი შეიცავს რამდენიმე ჰომოლოგიურ სერიას, რომელშიც მეზობელ წევრებს გააჩნიათ თანაბარი კონცენტრაციები.
3. ნავთობი შეიცავს ციკლოალკანების და არომატიკული ნახშირწყალბადების ფართო დიაპაზონს.
4. ნავთობი შეიცავს მრავალრიცხოვან არომატიკულ ნახშირწყალბადებს, სხვადასხვა ჰეტეროშენაერთებს (რომელთა შემადგენლობაშია გოგირდი, აზოტი, ჟანგბადი, მეტალების იონები).

ნავთობის ნახშირწყალბადების ზღვებსა და ოკეანეებში მოხვედრის გზები მარავლრიცხოვანია.

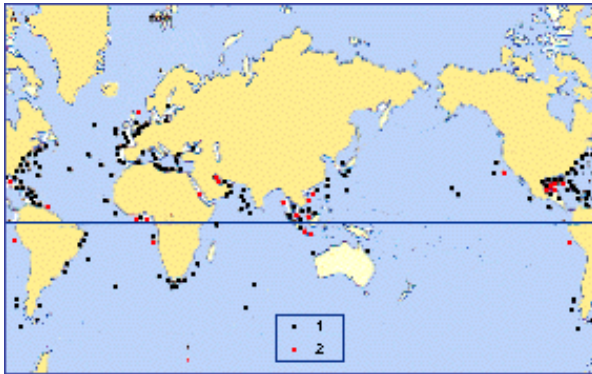


ნახ 1.10. ნავთობის ნახშირწყალბადების ოკეანეებში მოხვედრის გზები:

1. ზღვაში გემებიდან ნარეცხი და ბალასტური წყლების ჩაშვება (23%);

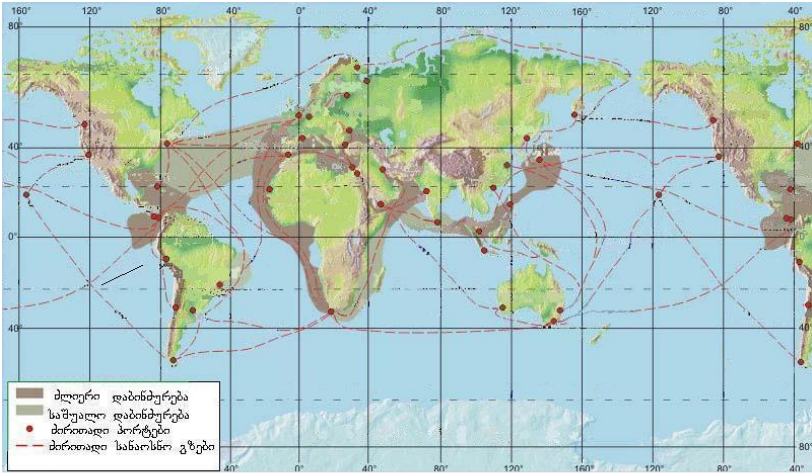
2. გემების ჩატვირთვა გადმოტვირთვის და სხვა ოპერაციების დროს პორტებში და საპორტო აკვატორიაში მოხვედრა. (17%)
3. სამრეწველო ნარჩენების და ჩამონადენი წყლების ჩაშვება (10%);
4. თავსხმა ჩამონადენი (5%);
5. გემების და საბურღი მოწყობილობების კატასტროფები ზღვაში (6%);
6. შელოფზე დაბურღვითი სამუშაოები (1%);
7. 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 გაჭუჭყიანების მულმივი ველების არსებობას (ნახ2.2, 2.3).



ნახ. 1.11. ავარიული დაღვრების მდებარეობა

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



*ნახ.1.12. მსოფლიო ოკეანის ნავთობით დაბინძურება.*

ძლიერი დაბინძურება შეიმჩნევა სანაპიროსთან სადაც პორტები, ნავთობგადამამუშავებელი ქარხნები მდებარეობენ და დაბინძურებული წყლის ჩაშვება ხდება ზღვაში.



*ნახ 1.13. ბალასტური წყლის ჩაშვება გემიდან შავ ზღვაში. (კერტმფრენიდან გადაღებული ფოტო)*

1.4. ნახაზზე წარმოდგენილია შავ ზღვაში გემიდან ბალასტური წყლის ჩაშვების სურათი. ისრით ნაჩვენებია გემი, ბალასტური წყალი შავი ფერის მოჩანს ზღვაში. ზედაპირული დაბინძურება ძირითადად დაკავშირებულია ნავთობის და ნავთობპროდუქტების დაღვრასთან, ასევე ზღვაში სხვადასვა სამრეწველო და სამეურნეო ნივთიერებების ჩაშვებასთან.



ნახ 1.14. ტანკერი “პრესტიჟი” იძირება ესპანეთის ჩრდილო დასავლეთით.

<http://www.guardian.co.uk/gall/0,8542,842603,00.html>

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 ნავთობის და ნავთობპროდუქტების რაოდენობა მოცემულია ცხრილში.

ცხრილი 1.2.

ზღვევში ტანკერების კატასტროფა (ნგელაშვილი)

№	თარიღი	ტანკერის სახელწოდება	დაღვრილი ნავთობის და ნავთობპროდუქტების რაოდენობა	კატასტოფის ადგილი
1	1907 წ.	“Thomas w”	8000 ტ. ნავთობი	დიდი ბრიტანეთის სანაპირო
2	1967წ.	“Торри Каньон”	100-110 ათასი ტ. ნავთობი	დიდი ბრიტანეთის სანაპირო
3	1973წ. აგვისტო	“Dona Marika”	3000 ტ. ბენზინი	დიდი ბრიტანეთი, უელსის სანაპირო
4	1974წ. აგვისტო	“Метула”	50-63 ათასი ტ. ნავთობი	მაგელანის სრუტე
5	1976წ. 12 მაისი	“Vrguliola”	110 ათასი ტ. ნავთობი	ესპანეთი პორტი Ла-Корунья
6	1977წ. 22 აპრილი	“Argos”	24-25 ათასი ტ. ნავთობი	სამხრეთის ზღვა ბაქანი Браво
7	1978წ. 16 მარტი	“Амоко Кадис”	223 ათასი ტ. ნავთობი	დიდი ბრიტანეთის სანაპირო
8	1979წ. 8 იანვარი	“Бетелгейзе”	80 ათასი ტ. ნავთობი	ირლანდიის სანაპირო
9	1979წ. თებერვალი	“Антонио Грамши”	6 ათასი ტონა ნავთობი	ლატვიის სანაპირო
10	1980 წ.	“Eurial” და “Independent a”	94600 ტ. ნავთობი	შავი ზღვა

11	1984 წ. 30 ივლისი	“Алвенус”	8 ათასი ტ. ნავთობი	მექსიკის ყურე
12	1989 წ. 19 დეკემბერი	“Харк - 5”	70 ათასი ტ. ნავთობი	კანარის კუნძულები

2002 წელს ესპანეთის სანაპიროსთან მოხდა ნავთობის დიდი რაოდენობით დაღვრა, 25 ათასი ტონა ნავთობპროდუქტი ჩაიღვარა ჩრდილოეთ ატლანტიკაში პირინეის ნახევარკუნძულთან, ტანკერ “პრესტიჟის” კატასტროფის დროს. ისევე როგორც 1997 წლის ტანკერების “ნახოდკას” და 1999 წლის “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 მიადწია 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. გალისიაში კრიზისული პოლიტიკური სიტუაცია ჩამოყალიბდა.

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

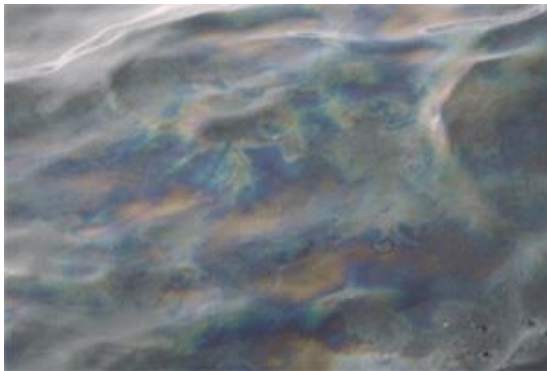
უდიდესი კატასტროფა 1967 წელს განიცადა ტანკერმა “ტორი კანიონ”-მა, რომელიც ეზიდებოდა 117 ათას ტონა კუვეიტურ ნავთობს. ტანკერი დაეჯახა შელფს, დაზიანდა და ზღვაში დაიღვარა 100 ათასი ტონა ნავთობი. ქარის ზემოქმედებით ნავთობი სწრაფად გავრცელდა დიდ სივრცეზე და მნიშვნელოვანი ზარალი გამოიწვია.

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.



ნახ 1.15. ორი ადამიანი გზას იკვლევს ნავთობით დაფარულ ესპანეთის ჩრდილო-დასავლეთ პლიაჟზე  
<http://www.guardian.co.uk/gall/0,8542,842603,00.html>



ნახ 1.16. შავ ზღვაზე ნავთობის ფენა  
<http://www.home.thezone.net>

წყალზე დაღვრისას ნავთობი თავდაპირველად განიცდის განფენადობას, რომლის სიჩქარე დამოკიდებულია დაღვრილი ნავთობისა თუ ნავთობპროდუქტების ტიპზე. რაც უფრო მსუბუქია დაღვრილი ნავთობი მით უფრო დიდია განფენადობის სიჩქარე,

აფსკის დიამეტრი და ნაკლებია სისქე. ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებებისგან განსხვავებით ნავთობი არ განიღვრება მონომოლეკულურ ფენად, ხოლო მისი აფსკის სისქე რამდენიმე სანტიმეტრიდან მილიმეტრის მეთაღებამდეა. 100-200 ლ ნავთობი იძლევა 1კმ<sup>2</sup> ფართობის აფსკს (ლაქას), რომლის სისქე 0,1 მკ.მ-ია. ზღვაში ჩალვრილი ნავთობის მიერ წარმოქმნილი სხვადასხვა სიმძლავრის ზედაპირული ფენის სისქე შეიძლება შეფასდეს ფერის მიხედვით (ცხრილი 2.2).

ცხრილი 1.3.

*წყალში ნავთობის აფსკის მახასიათებლები  
(ნელსონ-სმიტი, 1977)*

გარეგანი სახე	სისქე მკმ	ნავთობის რაოდენობა, ლ/კმ <sup>2</sup>
ძლივს შეიმჩნევა	0,038	44
ვერცხლისფერი	0,076	88
შეფერილობის ნიშნები	0,152	176
მკვეთრად შეფერილი	0,305	352
მკრთალად შეღებილი	1,016	1170
მუქად შეღებილი	2,032	2340

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

ზღვის ზედაპირზე აფსკის გავრცელებაზე გავლენას ახდენს ქარი (დრეიფი), ტალღები და დინებები. 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 დიამეტრის 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

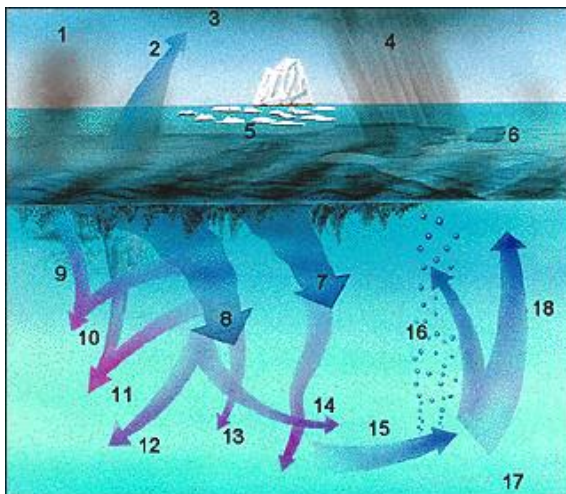
კომპონენტები, რომლებიც დაუმუშავებელ ნავთობში 20-50% მდგა, აორთქლებიან, აორთქლებული ნავთობის მნიშვნელოვანი ნაწილი ბრუნდება ზღვაში ატმოსფერული ნალექების საშუალებით და მეორად დაბინძურებას იწვევს. ცნობილია რომ, ყოველწლიურად ატმოსფერული ნალექების საშუალებით ზღვაში 5.3 ათასი ტ ნავთობპროდუქტი ხვდება. აორთქლების 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 დეღვისას, 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. 1ლ წყალში ერთი დღელამის განმავლობაში 5.75მგ. ნავთობი, 1,5მგ. დიზელის საწვავი და 0,46მგ. მძიმე საწვავი იხსნება. აქროლადი ნაწილის მოშორების შემდეგ დარჩენილი ნავთობისაგან ხშირად იქმნება შებრუნებული ემულსიები, და დროთა განმავლობაში ზღვის დეღვის 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 მხოლოდ ნავთობის 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 ნალექებში და ბენტოსის ცოცხალ ორგანიზმებში და წარმოქმნის მეორადი დაბინძურების წყაროს, ღინებებით გადაიტანება ან ნაპირზე გამოირიყება. რაც უფრო დიდხანს რჩება ნავთობის აგრეგატები ზედაპირზე, მათი ტოქსიკურობა უფრო იზრდება რადგანაც ის პათოგენური მიკროორგანიზმების სახლი ხდება.

წყლის ზედაპირზე ნავთობის დაღვრის შემდეგ მიმდინარე კომპლექსური ფიზიკო-ქიმიური პროცესები: განფენალობა, 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 დაჟანგული ნახშირწყალბადები, რომელთა ტოქსიკურობა გაცილებით მაღალია ვიდრე არადაჟანგული ნახშირწყალბადებისა.



ნახ.1.17. ოკეანეში ჩაღვრილი ნავთობის ურთიერთქმედება წყალთან და ატმოსფეროსთან

<http://www.oceansatlas.com/unatlas/-ATLAS-/chapter12f.html>

1. აორთქლება 2. ქარისმიერი გადატანა 3. ორთქლისა და გაზის დაჟანგვა ატმოსფეროში 4. შემცირება ატმოსფერულ ნალექებით 5. მოდრიფეე ყინულით ტრანსპორტირება 6. ზედაპირზე ფოტო-დაჟანგვა 7. ემულსია: ნავთობი-წყალში 8. ემულსია: წყალი-ნავთობში 9. გახსნა 10. ქიმიური ურთიერთქმედება 11. ბაქტერიული დაშლა (ბიოდეგრადაცია) 12. დალექვა შეტივტივებულ ნაწილაკებზე 13. ნავთობის ბურთულებისა და აგრეგატების ფსკერზე დალექვა 14. პლანკტონის მიერ მონხმარება 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. ბიოდეგრადაციის 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.

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 ჰიდრო ბიოლოგიურ პროცესებზე, რაც ართულებს ნავთობისა და ნავთობპროდუქტების ბაქტერიულ დაშლას და ბუნებრივ დაჟანგვას. დაღვრილი ნავთობის აფსკი არღვევს ჟანგბადურ ბალანსს, წყალში ვეღარ 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 მიკროორგანიზმები შედარებით დიდი რაოდენობით გვხვდება იქ, სადაც ნავთობის ნახშირწყალბადებით დამბინძურება ხშირია, ხოლო იქ, სადაც

დაბინძურება არ შეინიშნება მათი შემცველობა შედარებით ნაკლებია.



ნახ 1.18. ნავთობით დაფარული ფრინველი წვეს სანაპიროზე  
<http://www.guardian.co.uk/gall/0,8542,842603,00.html>

ნავთობით დაბინძურებას აქვს ძლიერი გავლენა ზღვის ბიოლოგიურ ბალანსზე, ნავთობის ფენა მზის სხივებს არ უშვებს და ანელებს წყალში ჟანგბადის განახლებას. ამის გამო ზღვის ცხოველების ძირითადი საკვები - წყლის მცენარეები და პლანქტონები 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 მაჩვენებლები, რომლებიც აუცილებელია ცოცხალი ორგანიზმების არსებობისათვის (გლუკოზენი, გემოგლობინი, ერითროციტები და სხვა). შავ ზღვაში ჩატარებული კვლევების საფუძველზე დადგინდა, რომ აქტიური, ზღვის ზედაპირზე მყოფი თევზების ტიპები მეტად მგრძობიარენი 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<sub>2</sub>-ის მაღალი გაჯერებულობით, ხოლო შესაბამისად ზედაპირულ ფენებში მყოფი თევზების მაღალი მგრძობიარობა კი სისხლში O<sub>2</sub>-ის ნაკლები შემცველობით.

ნავთობროდუქტები განსაკუთრები საშიშია ზღვის ფრინველებისთვის. ნავთობით იფარება ფრინველის ბუმბული, ბუმბულის ქვეშ წყალი აღწევს, ფრინველი გადაცივდება, კარგავს ცურვის უნარს და იძირება. როდესაც ფრინველი ცდილობს ბუმბული ნისკარტით გაიწმინდოს ნავთობის ტოქსიკური კომპონენტები, ხვდება საყლაპავ მილში და შედგომში მოქმედებს კვერცხზე, ნაყოფის რეპროდუქციისა და ბუდობის დროს. თუ ნავთობით მთლიანად დაიფარება კვერცხის ზედაპირი, სიცოცხლისუნარიანი შთამომავლობა არ მიიღება. ყოველწლიურად მსოფლიო ოკეანეში მილიონობით ფრინველი იღუპება ნავთობით დაბინძურების გამო. მწვანეთა მოძრაობა, მოხალისეები, ვეტერინარები ეხმარებიან ფრინველებს ნავთობისაგან გაწმენდაში.



ნახ. 1.19. ვეტერინარი წმინდავს ფრინველის ბუმბულს ნავთობისაგან

<http://www.guardian.co.uk/gall/0,8542,842603,00.html>

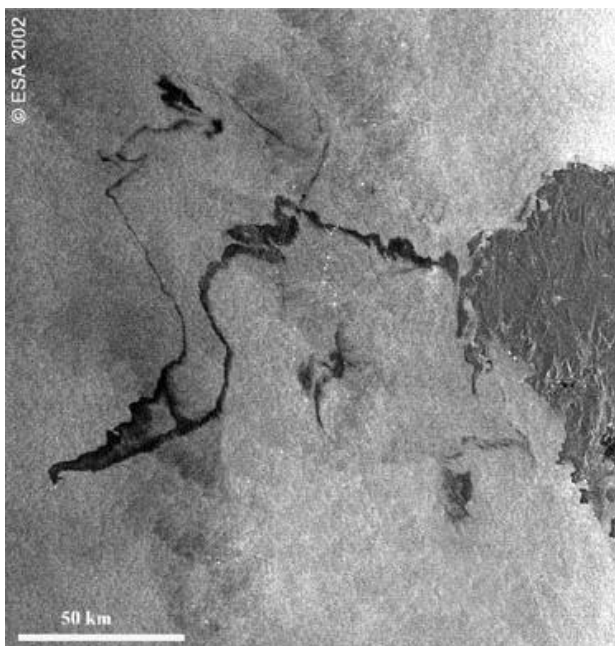
ზოოპლანქტონებში ნავთობის ნახშირწყალბადების კონცენტრირების ხარისხი დიდია და მერყეობს ზღვრებში 36,0-328 მკგ/გრ. ბიოლოგიურ ობიექტებში ნავთობის

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 თბილისისხლიან ორგანიზმებზე ნაკლები ტოქსიკურობით ზემოქმედებენ ცივისხლიან ორგანიზმებთან შედარებით.

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

ზღვის სანაპირო ზოლის ეკოსისტემაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ნავთობპროდუქტები, მძიმე მეტალები, ფენოლები, პესტიციდები და სხვა ტოქსიკანტები. მათი ტოქსიკური გავლენა ჰიდრობიონტებზე და მითუმეტეს 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. გამწმენდი 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 ტემპერატურეს შემცირებისას 22-24°C- მდე ზაფხულში და 3-7°C- მდე ზამთარში ბაქტერიოლოგიური დესტრუქციის ინტენსივობა თითქმის ერთი რიგით მცირდება, აქედან გამომდინარე ზღვის სანაპირო ზოლის დაბინძურება ორგანული ნივთიერებებით, ნავთობის ნახშირწყალბადებით და ასევე მდგრადი ციკლური შედგენილობის ნაერთებით ზამთრის პერიოდში განსაკუთრებით სახიფათოა, ვინაიდან ამ დროს ხდება მათი კონცენტრაციის ზრდა დანალექ ქანებში.

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



ნახ 1.20. რადიოლოკაციური სურათი ჩრდილოეთ ატლანტიკაში ტანკერ “პრესტიჟის” კატასტროფისა, ნოემბერი 2002 წელი. ავარიის პირველი დღეები. ფოტო მიღებულია თანამგზავრიდან ERS-2.

[http://www.oilcapital.ru/technologies/2003/11/031704\\_70226.shtml](http://www.oilcapital.ru/technologies/2003/11/031704_70226.shtml)

## 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, გერბიციდები – სარეველა ბალახების საწინააღმდეგოდ და ა.შ. ეკოლოგიური გამოკვლევების საფუძველზე დადგინდა, რომ პესტიციდები ანადგურებენ რა მოსავლის მავნებლებს, მნიშვნელოვან ზიანს აყენებენ ორგანიზმებს და უარყოფითად მოქმედებენ ბუნებრივი ბიოცენოზების ჯანმრთელობაზე. 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 ტ 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 გერბიციდების არსებობა.

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

ქლორორგანული ინტექტიციდები მიიღება არომატული ან ჰეტეროციკლური თხევადი ნახშირწყალბადების ქლორირების გზით. ქლორორგანული ინტექტიციდებს მიეკუთვნება დიქლორდიფენილტრიქლორეტანი (დდტ) და მისი წარმოებულები, ციკლოდიენის ყველა შესაძლო ქლორირებული წარმოებულები (ელდრინი, დილდრინი, გეპტაქლორი და სხვა), აგრეთვე გექსაქლორციკლოგექსანის იზომერები, რომელთაგანაც განსაკუთრებით საშიშია ლინდანი. ამ ნივთიერებების ნახევარდაშლის პერიოდი რამოდენიმე ათეული წელია და ძლიერ მდგრადი არიან ბიოდეგრადაციის მიმართ.

წყლის გარემოში ხშირად ხვდება დიქლორდიფენილტრიქლორეტანიდან (დღტ) წარმოებული პოლიქლორბიფენილები (პქბ). ისინი გამოიყენება პლასტმასების, საღებავების, ტრანსფორმატორების წარმოებაში და ხვდებიან გარემოში სამრეწველო ჩამონადენი წყლების გზით ან მყარი ნარჩენების წვის შედეგად. პქბ-ები წვის შედეგად განიბნევა ატმოსფეროში და შემდეგ ნალექების საშუალებით დედამიწის ყველა რაიონში ვრცელდება. ასე მაგალითად თოვლის სინჯებში რომელიც ანტარქტიდაზე იქნა აღებული პქბ –ებმა შეადგინა 0,03-1,2 ნგ/ლ.

ფოსფორორგანული პესტიციდები – ორთოფოსფორული მჟავის სხვადასხვა სპირტებია. ამ ჯგუფს მიეკუთვნება თანამედროვე ინსექტიციდები. რომელიც ერთი თვეში იშლება როგორც ნიადაგში, ისე წყალში.

კარბამატები – რთული მეტაკარბამინული მჟავეებია.

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

ჰერბიციდებს 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 ჰერბიციდები სანაპიროზე მცენარეულობის მოსასპობად, ეს ჰერბიციდები მოხვდა წყალში და გამოიწვია ოკეანისა და მისი მობინადრეების მოწამვლა.

ოკეანის წყლებში მდგრადი პესტიციდების არსებობისას პლანქტონი შთანთქავს მათ, შემდგომში 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 იმსხვრევა. 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 ისინი ასევე დრამატულად მოქმედებენ ადამიანის ჯანმრთელობაზე, განსაკუთრებით ბავშვებზე. გერმანელ მეცნიერთა გამოკვლევის თანახმად ეს დამაბინძურებელი ნივთიერებები გროვდება მძებური ქალების რძეში.

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

## 1.5. სინთეტიკური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები (სზან)

დეტერგენტები (სინთეტიკური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები) მიეკუთვნება ნივთიერებების ჯგუფს, რომლებიც ამცირებენ წყლის ზედაპირულ დაჭიმულობას. ისინი ფართოდ გამოიყენება სინთეტიკურ საყოფაცხოვრებო სარეცხ საშუალებების შემადგენლობაში შედის. სინთეტიკური სარეცხი საშუალებები შეიცავს ნატრიუმის პოლიფოსფატებს, რომლებშიც გაზავეულია დეტერგენტები, ასევე წყლის ორგანიზმებისათვის მთელი რიგი ტოქსიკური ინგრედიენტები: არომატიზირებული ნივთიერებები, გამათეთრებელი რეაგენტები (პერსულფატი, პერბორატი), კალცირებული სოდა, ნატრიუმის სილიკატები და სხვა. სინთეტიკური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები ხვდებიან ზედაპირულ წყლებში და ოკეანეში.

ჰიდროფილური ნაწილის ბუნებისა და სტრუქტურის თვალსაზრისით სინთეტიკური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების მოლეკულა იყოფა ანიონოაქტიურ, კატიონოაქტიურ, ამფოტერულ და ნეიონოგენურ ნივთიერებებად, ეს უკანასკნელნი

არ წარმოქმნიან წყალში იონებს. ყველაზე მეტად გავრცელებულია ანიონაქტიური ნივთიერებები. ისინი შეადგენენ მსოფლიოში წარმოებული სინთეტიკური ზედაპირული აქტიური ნივთიერებების 50%-ზე მეტს. ნეიონგენური სხან-ები უფრო მეტად ტოქსიკურია ვიდრე ანიონაქტიური.

სინთეტიკური ნივთიერებები ფართოდ გამოიყენება მრეწველობის მიერ ისეთ პროცესებში როგორებიცაა წიაღისეულის ფლოტაციური გამდიდრება, ქიმიური ტექნოლოგიის პროდუქტების დაშლა, პოლიმერების მიღება, ნავთობის და გაზის ჭაბურღილების გაბურღვის პირობების გაუმჯობესება და სხვა., სწორედ ამ გზით ეს ნივთიერებები ხვდება ჩამონადენ წყლებში.

სოფლის მეურნეობაში სინთეტიკური ნივთიერებები გამოიყენება პესტიციდების შემადგენლობაში. სხან-ების საშუალებით ემულგირებას უკეთებენ თხევად და ფხვნილისებრ ტოქსიკურ ნივთიერებებს, რომლებიც წყალში არ იხსნება მაგრამ იხსნება ორგანულ გამხსნელ სითხეებში. უმეტეს სხან-ებას თვითონ გააჩნია ინსექტიციდური და გერბიციდული თვისება.

## 1.6. კანცეროგენული თვისებების მქონე ნაერთები

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

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

კანცეროგენული თვისებების მქონე ნივთიერებებს მიეკუთვნება ქლოლირებული ალიფატური ნახშირწყალბადი, ვინილქლორიდი, და განსაკუთრებით პოლიციკლური არომატული ნახშირწყალბადები (პან). პან-ის მაქსიმალური რაოდენობა თანამედროვე მონაცემებით აღმოჩენილია მსოფლიო ოკეანში (100მკტ/კგ მასის მშრალი ნივთიერება) 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 წარმოებაში, მაგრამ გამწმენდი დანადგარების მიუხედავად მათი შემცველობა სამრეწველო ჩამონადენ წყლებში ძალზე მნიშვნელოვანია. ამავე შენაერთების დიდი რაოდენობა ხვდება ოკეანეში ატმოსფეროდან. ზოგიერთი მეტალის გეოქიმიური და სამრეწველო ნაკადები წარმოდგენილია ცხრილში 1.6.

ზღვის ბიოცენოზებისათვის განსაკუთრებით საშიში ვერცხლისწყალი, ტყვია და კადმიუმი.

მეორეს 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 ანთროპოგენური წარმოშობისაა. ვულკანების ამოფრქვევის შედეგად ატმოსფერულ ნალექებთან ერთად ოკეანეში ხვდება ყოველწლიურად 50 ათას ტონამდე ვერცხლისწყალი. სასარგებლო წიაღისეულის წვის შედეგად მსოფლიო ოკეანე ლებულობს 2 ათას ტონა ვერცხლისწყალს ყოველწლიურად.

1956 წელს მინიმანტაში (კუსუს კუნძული, იაპონია) დაუდგენელი დაავადების ეპიდემია დაფიქსირდა. მოსახლეობას აღენიშნებოდა მხედველობის, სმენის, მეტყველების გაუარესება და გონების დაკარგვა. მოძრაობები არაბუნებრივი გაუხდათ, აკანკალებდათ. რამდენიმე ათასი ადამიანი დაავადდა და 43 ფატალური შემთხვევა დარეგისტრირდა. გამოკვლევების შემდეგ დადგინდა, რომ ამის გამომწვევი მიზეზი იყო ქიმიური ქარხანა,

რომელიც სანაპიროზე მდებარეობდა. საწარმოდან არასაკმარისად გაწმენდილი ჩამდინარე წყლებით ქლორვილინის და აცეტალდეჰიდის წარმოების შედეგად მიღებული ნარჩენები, კატალიზატორისთვის გამოიყენებოდა ქლორირებული ვერცხლისწყალი, ხვდებოდა მინიმატის ყურეში. ვერცხლისწყლის მარილები თავისთავად შხამიანია, ხოლო სპეციფიკური მიკროორგანიზმების გავლენით ისინი გარდაიქმნება განსაკუთრებით მომწამლავ მეთილვერცხლისწყლად, რომელიც კონცენტრირდება თევზების ქსოვილებში, აწორედ 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. კონტინენტურ მტკვერთან ერთად მსოფლიო ოკეანე ყოველწლიურად ღებულობს  $(20-30) 10^3$  ტ. ტყვიას, ატმოსფერულ ნალექებიდანაა  $(400-2500)10^3$ ტ-ს, ხოლო 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.

ცხრილი 1.4.

ზოგიერთი მიკროელემენტის გეოქიმიური და სამრეწველო ნაკადი (გერლახი, 1985)

წყარო	საზომი ერთეული	Pb	Hg	Cd	Sb	
დედამიწის ქერქი	მგ/კგ	15	0,06	0,2	0,2	
ოკეანის წყალი	მკგ/ლ	0,00	0,007	0,1	0,3	
მთლიანად მსოფლიო ოკეანეში	10 <sup>6</sup> ტ	2	10	140	420	
ეროზიის წვლილი	10 <sup>3</sup> ტ/წელიწადი	2,8	3,5	0,5	1,3	
სათბობის წვის წვლილი	10 <sup>3</sup> ტ/წელიწადი	150	2,0	0,2	?	
სამთომოპოვებითი მრეწველობა	10 <sup>3</sup> ტ/წელიწადი	34	9,0	15,0	70	
წლიური მოპოვება	% მსოფლიო ოკეანეში	3500	0,1	0,01	0,015	
	არსებული შემადგენლობიდან	125				
		Cr	Se	As	Cu	Zn
დედამიწის ქერქი	მგ/კგ	?	0,09	2	45	40
ოკეანის წყალი	მკგ/ლ	0,3	0,5	2	2	3
მთლიანად მსოფლიო ოკეანეში	10 <sup>6</sup> ტ	420	700	2800	2800	4200
ეროზიის წვლილი	10 <sup>3</sup> ტ/წელიწადი	236	7,2	72	325	720
სათბობის წვის წვლილი	10 <sup>3</sup> ტ/წელიწადი	1,5	1,1	8,2	2,1	37
სამთომოპოვებითი მრეწველობა	10 <sup>3</sup> ტ/წელიწადი	3000	1,2	30	7500	5000
წლიური მოპოვება	% მსოფლიო ოკეანეში	0,7	2 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	0,3	0,1
	არსებული შემადგენლობიდან					

გემები სანაპირო წყლებს აბინძურებენ მძიმე მეტალებით. განსაკუთრებით დაბინძურებულია პორტები, მათი დაბინძურება გამოწვეულია ტოქსიკური საღებავების გამოყენებით რაც აფერხებს გემის კორპუსის დაბინძურებას ზღვის ორგანიზმებით წყალწყვის ზოლზე და მის ქვემოთ. დიდი ხანი არაა რაც ვერცხლისწყალს, ღარიშხანს, დღტს, პქბ-ებს იყენებენ საღებავებში. ასევე საღებავები შეიცავს სპილენძს, ტყვიას, თუთიას, ქრომს, კადმიუმს.



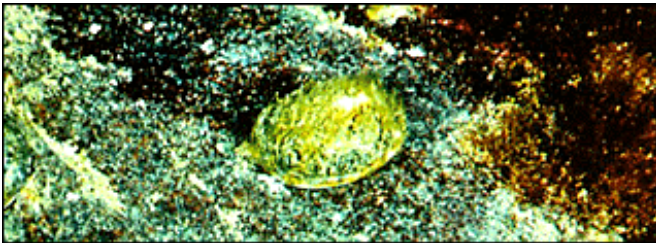
*ნახ. ზღვის დაბინძურება საღებავით*

<http://www.oceansatlas.com/unatlas/-ATLAS-/chapter12f.html>

სამხრეთ კალიფორნიის სანაპიროს გასწვრივ 37,500-ზე მეტი გემის ფსკერი ყოველწლიურად 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 გემების შედეგია. მართლაც იმ ყურეებში სადაც კონცენტრირებულია ყველა სახეობის გემი, მოლუსკებში სპილენძის კონცენტრაცია

რამდენჯერმე აღმატება იმ მოლუსკებში სპილენძის კონცენტრაციას, რომლებიც დაჭერილია პორტებიდან მოშორებით.



*ნახ..1.12. ზღვის მოლუსკები*

*1 - სუფთა წყალში,*

*2 - საღებავით დაბინძურებულ წყალში*

<http://www.oceansatlas.com/unatlas/-ATLAS-/chapter12f.html>

რეალურ პირობებში ბუნებრივი ეკოსისტემების დაბინძურება რამდენიმე ტოქსიკური ნივთიერებით ერთდროულად ხდება. ამასთან სშირად აღინიშნება სინერგიზმის ეფექტი, როცა ერთდროული ტოქსიკური ეფექტი აღმატება ცალკეული ნივთიერების ანალოგიურ ზემოქმედებას. მაგალითად ნავთობისა და დღტ-ს ერთდროული მოქმედებისას ეფექტი რამდენჯერმე აღმატება მათ ცალცალკე 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 კონტროლს და სათანადო რეგულირებას.

საყოფაცხოვრებო ნაგავი შეიცავს საშუალოდ 32-40% ორგანულ ნივთიერებას, 0,56% აზოტის, 0,44% ფოსფორის ნაერთებს, აგრეთვე თუთიას, ტყვიას, კადმიუმს, ვერცხლისწყალს. კომუნალური ჩამონადენი 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 სიმღვრივე, 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 კურკის ხელა.

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. ვინაიდან პროტონის და ნეიტრონის მასები თითქმის ზუსტად ტოლია 1 ნ.ე.<sup>1</sup> ამიტომ, თუ

---

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

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, მეორეზე 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 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) ღრთოთა განმავლობაში მცირდება. ღრთოს, რომლის განმავლობაშიც რადიოაქტიური ნივთიერების ყოველი ორი ატომიდან დაიშლება ერთი, ეწოდება ამ ნივთიერების ნახევრადდაშლის პერიოდი. სხვადასხვა რადიოაქტიურ ნივთიერებას ნახევრადდაშლის ძალზე განსხვავებული პერიოდები აქვს, დაწყებული წამის მეათასედებიდან, რამდენიმე მილიარდ წლამდე.

აღმოჩნდა, რომ ბირთვიდან შეიძლება გამოტყორცნოს 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.

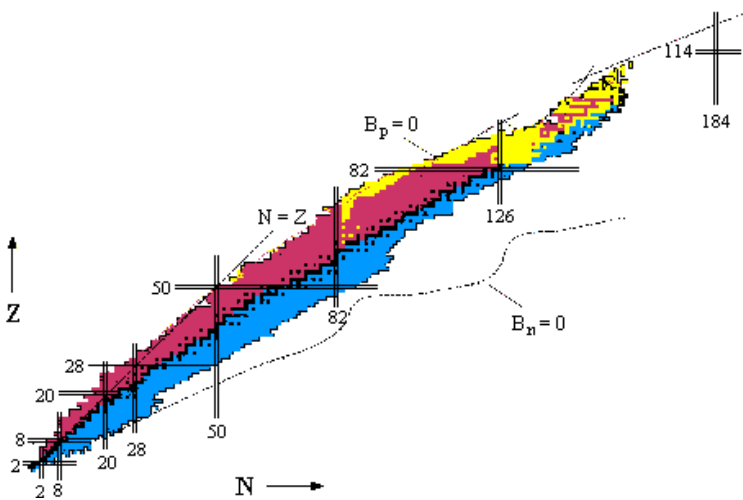
$\beta$  დაშლა სამი სახისაა: 1) ელექტრონული, ანუ  $\beta^-$  დაშლა, რომლის დროსაც ბირთვიდან გამოიტყორცნება ელექტრონი და ელექტრონული ანტი-ნეიტრონი. ამ დროს ბირთვის მუხტი და რიგითი ნომერი  $Z$  იზრდება ერთი ერთეულით. შესაბამისად, ჩნდება პერიოდულ სისტემაში ერთი უჯრედით მარჯვნივ მდგომი ქიმიური ელემენტი. 2)  $\beta^+$  დაშლისას ბირთვიდან გამოიტყორცნება დადებითი მუხტის მქონე პოზიტრონი (ანუ ანტი-ელექტრონი) და ელექტრონული ნეიტრონი, 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 აღვზნებული მდგომარეობიდან უფრო ნაკლები ენერჯის 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, როგორც 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 ვიწრო დაშტრიხული ზოლით ნაჩვენებია  $\beta^-$  და  $\beta^+$  რადიოაქტიური ბირთვების საზღვრები და ჯერ-ჯერობით უცნობი ბირთვების არე. ამ არის ზემოთ და ქვემოთ განლაგებული ბირთვები არასტაბილურია.



ნახ.

$Z$  – 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 – ამოაგლოს 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, რომლებსათვისაც 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 ჯავშან-ჟილეტებს 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.) 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 აღზენაზე 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 ახასიათებს ბუნებრივი რადიოაქტივობა, რაც განპირობებულია მასში ბუნებრივი რადიოიზოტოპების არსებობით. წყლის

ბუნებრივი რადიოაქტივობის 90%-ზე მეტი მოდის კალიუმ 40-ზე ( $^{40}\text{K}$ ), რაც შეადგენს  $18,5 \cdot 10^{21} \text{ Bk}$ .<sup>2</sup>

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

1948-1962 წ.წ. 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 მტკვრს 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 ნახევრადდაშლის 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 ნახევრადდაშლის 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 ქმნიან  $^3\text{H}$ ,  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{14}\text{Ce}$ ,  $^{31}\text{Si}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{45}\text{Ca}$ ,  $^{54}\text{Mn}$  და სხვა, რომლებიც წარმოიქმნება ნეიტრონების ურთიერთქმედებით გარემოსთან.

---

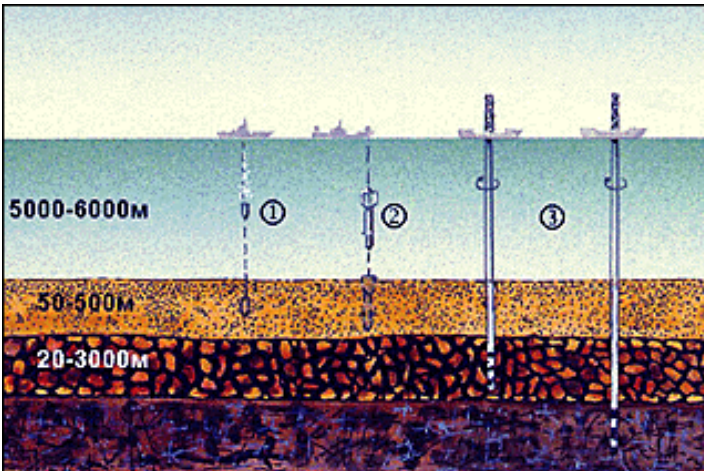
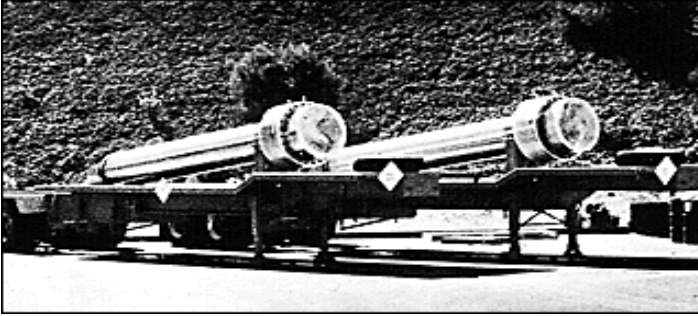
<sup>2</sup> 1 Bk – ბეკერელი – აქტივობის ერთეული Si სიტემაში, ტოლია იზოტოპის ისეთი აქტივობისა, როდესაც ერთეულოვან დროში 1 გახლეჩვა ხდება. ადრე ფართოდ გამოიყენებოდა ერთეული – კიური, რომელიც შეესაბამება 1 წმ-ში  $3,7 \cdot 10^{10}$  გახლეჩვას.

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 გადაშუშავების შედეგად ჩნდება მნიშვნელოვანი რაოდენობის რადიოაქტიური ნარჩენები, თხევად, მყარ და გაზისებურ მდგომარეობაში. ამ ნარჩენების გადაშუშავება 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 პლასტების 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. <sup>90</sup>Sr ზღვის ორგანიზმებში ტრანსფორმირდება და შემდეგ ხვდება ადამიანის ორგანიზმში და გროვდება ძვლებში, დროთა განმავლობაში კალციუმს ენაცვლება და იწვევს სისხლის დაავადებებს, კერძოდ, ლეიკემიას. <sup>137</sup>Cs გროვდება კუნთებში და ენაცვლება კალიუმს. ქსოვილებში დაგროვების შემდეგ ამ ნივთიერებების გამოყვანა ორგანიზმიდან ვეღარ ხერხდება.



ნახ. 1.13. რადიოაქტიური ნარჩენების კონტეინერი

ნახ. 1.14. ოკეანეში რადიოაქტიური კონტეინერის დამარხვა

1. თავისუფლად ჩაშვებადი კონტეინერი
2. სპეციალური მოწყობილობით ჩაშვება
3. დაბურდილი ზვრელები

<http://www.oceansatlas.com/unatlas/-ATLAS-/chapter12f.html>

რადიოაქტიული ნივთიერების გამოსხივება იწვევს დასხივებულ ორგანიზმის ზრდის შენელებას, იმუნიტეტის და სიცოცხლის ხანგრძლივობის შემცირებას, აზიანებს გენეტიკურ აპარატს, რისი შედეგები მეორე ან მესამე თაობაში გამოვლინდება ხოლმე.

დასხვიების სიმძიმე დამოკიდებულია ორგანიზმის მიერ შთანთქმული რადიაციის დოზაზე. ამ ენერგიის ერთეულია 1 რადი – ეს დასხვიების 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.

საშუალოდ ერთ წელიწადში პლანეტის თითოეული მოსახლე ღებულობს 50-200 მილირადს. ბუნებრივ რადიაციაზე მოდის კოსმოსური სხივები – 25 მრადი, მთის ქანების რადიაცია – დაახლოებით 50-150 მრადი. ასევე აღსანიშნავია ხელოვნურად მიღებული რადიაცია, მაგალითად ყოველწლიური რენტგენოსკოპური გამოკვლევისას ადამიანი ღებულობს დაახლოებით 100 მრადს, ტელევიზორის გამოსხივება იძლევა დაახლოებით 10 მრადს. ადამიანი ადვილად ეგუება ბუნებრივ რადიაციულ ფონს. მაგალითად, ბრაზილიის ერთ-ერთ რაიონში მაცხოვრებლები ერთ წელიწადში ღებულობენ დაახლოებით 1600 მრადს, რაც დასხვიების ჩვეულებრივ დოზაზე 10-20-ჯერ მეტია.

*ცხრილი 1.5.*

*ზღვის წყალში არსებული უმთავრესი რადიოიზოტოპები*

იზოტოპის დასახელება	ნახევარდაშლის 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	$^{32}\text{P}$	0,04 წელი	$\beta$
ქრომი-51	$^{51}\text{Cr}$	0,08 წელი	$K-\gamma$
მანგანუმი-54	$^{54}\text{Mn}$	0,86 წელი	$K-\gamma$
რკინა-55	$^{55}\text{Fe}$	2,7 წელი	$K$
კობალტი-57	$^{57}\text{Co}$	0,74 წელი	$K-\gamma$
კობალტი-60	$^{60}\text{Co}$	5,3 წელი	$\beta-\gamma$
თუთია-65	$^{65}\text{Zn}$	0,67 წელი	$K-\beta-\gamma$
ვერცხლი-110	$^{110}\text{Ag}$	0,69 წელი	$\beta-\gamma$
ცეზიუმი-134	$^{134}\text{Cs}$	2,1 წელი	$\beta-\gamma$
გოგირდი-35	$^{35}\text{S}$	87,1 დღე-ღამე	$\beta$
კალციუმი-45	$^{45}\text{Ca}$	160 დღე-ღამე	$\beta$
ნატრიუმი-24	$^{24}\text{Na}$	15 საათი	$\beta-\gamma$
<b>ტრანსურანული ელემენტები</b>			
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	$\alpha-\gamma$
<b>ატომურ რეაქტორებში დაყოფის პროდუქტები</b>			
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 შეადწევს 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 ორგანიზმები 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 მინდინარეობს როგორც პასიურად, ასევე აქტიურად. პასიური გაცვლა უკავშირდება მარილის კონცენტრაციის გათანაბრებას წყალში და ქსოვილში და წარმოადგენს ზედაპირულ ადსორბციას, 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 ადსორბციური გზა, ხოლო გარემოს დაბალი აქტივობის პირობებში ორგანიზმების დაბინძურებაში ძირითადი როლი ენიჭება ტროფულ კავშირებს – ნუკლიდების გადაცემა კვების ჯაჭვის საშუალებით. პლანქტონური ორგანიზმები რადიონუკლიდებს აგროვებენ გარემოდან ბიოასიმილაციის, ადსორბციის და ბიოფილტრაციის გზით.

ცხრილში მოყვანილია ზღვის ზოგიერთ ორგანიზმში რადიონუკლიდების დაგროვების კოეფიციენტი. ტოქსიკური ნივთიერებების დაგროვების კოეფიციენტი უდრის ცოცხალი არსების ერთეულოვან 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. მარილიანობის შემცირებით ამ რადიონუკლიდების დაგროვების კოეფიციენტი ჩვეულებრივ იზრდება. <sup>90</sup>Sr და <sup>137</sup>Cs კონცენტრაცია იზრდება თევზებში და წყალში ოკეანის სამხრეთი აკვატორიიდან ჩრდილოეთისკენ და მაქსიმალურია ჩრდილოეთი ნახევარსფეროს შიდა მცირეწყლიან ზღვებში.

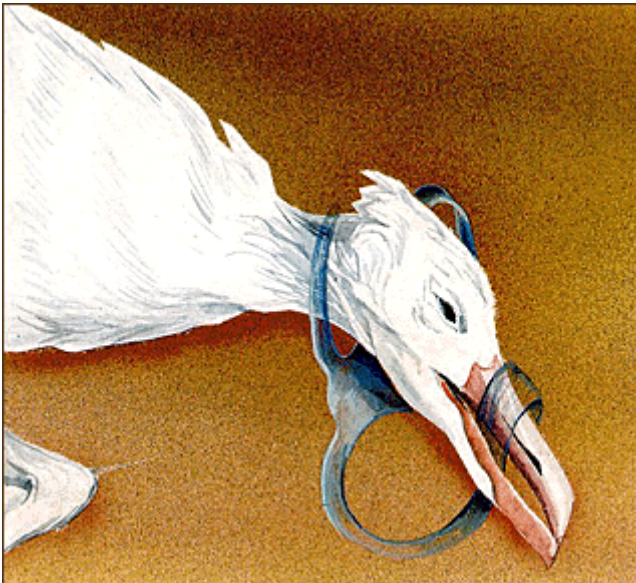
ჩერნობილის ატომური სადგურის ავარიის შემდეგ 1986 წლის 26 აპრილს, რადიოაქტიური ნაწილაკები მოხვდნენ ატმოსფეროში და გავრცელდნენ ბალტიის, თეთრ და შავ ზღვებში. 1986 წლის ივნისში გერმანელმა, ამერიკელმა და თურქმა მეცნიერმა ქიმიკოსებმა, გეოლოგებმა, მოაწყვეს ექსპედიცია შავ ზღვაში რადიოაქტიური დაბინძურების შესასწავლად. 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  $5,5 \cdot 10^{19}$  Bk, რაც ჯერჯერობით არ არის დიდი ბუნებრივ დონესთან შედარებით ( $18,5 \cdot 10^{21}$  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, თევზმჭერი, სამხედრო, სამგზავრო გემებიდან. აშშ-ების ნაციონალურმა აკადემიამ შეაფასა, რომ 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, ჯონხები, მძივები, განსაკუთრებით სარგასის ზღვაში და ფლორიდას სამხრეთ აღმოსავლეთით.



ნახ 1.15. პლასტმასის ლენტამ რომელიც გამოიყენებოდა ქილების ერთად შესაკრავად გამოიწვია პელიკანის სიკვდილი <http://www.oceansatlas.com/unatlas/-ATLAS-/chapter12f.html>



*ნახ. თოლია პოლიეთილენის პარკით*

ოკეანის ზედაპირის საერთო დაბინძურების თითქმის ნახევარი პლასტმასის დამაბინძურებლებზე მოდის. ამ მხრივ განსაკუთრებით გამოირჩევა ხმელთაშუა ზღვა, აშშ-ების 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 6 პლასტმასის და 4 შუშის ბოთლი, 22 პოლიეთილენის პარკი, 12 თევზსაჭერი ტივტივა, თოკი, მეტეოროლოგიური რადიოზონდები, ფენსაცმლის ჯაგრისი, სანდლები, 3 ქალაღის 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. ფრინველები და კუები პოულობენ და ყლაპავენ პლასტმასის ბურთებს, რაც იწვევს კუჭის ბლოკირებას და შიმშილით ნელ სიკვდილს. ხშირად პოლიეთილენის პარკები

ხვდება ცხოველთა საჭმლის გადამამუშავებელ ტრაქტში და იწვევს სიკვდილს. მოტივტივე პლასტმასის ნარჩენები იზიდავს ოკეანის წყლებში არსებულ ორგანულ ნაწილაკებს, სასიკვდილო ბაქტერიებს, ნავთობს, რომელიც ღინებებით გადმოიტანება ოკეანის ყველა მხრიდან.

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

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

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 შვედეთსა და აშშ-ებში 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°C-ით მომატებას. გამთბარი წყლის ლაქების ფართობი ზღვის სანაპირო რაიონებში 30კმ<sup>2</sup>-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 დაიკვირვება თევზების სიკვდილიანობა გაზური ემბოლიით (აზოტის მიკრობუშტების გაჩენით თევზის სისხლში). სითბოთი დაბინძურებულ ეკოსისტემებში უჯვრედული აქტივობა და მთელი ბიოცენოზის სუნთქვის ინტენსივობა ძლიერდება. ზღვის ფლორის, ფიტოპლანქტონის, ზოოპლანქტონის სახეობათა მრავალფეროვნება მცირდება და მოლუსკები ზიანდებიან.

თევზის ყოველი სახეობისათვის არსებობს ქვედა ლეიტალური ტემპერატურა, რომლის ქვემოთ სახეობა ვერ იარსებებს და ზედა ლეიტალური ტემპერატურა, რომელზე მაღალი ტემპერატურის შემთხვევაში მოცემული სახეობა იღუპება. წლის განმავლობაში თევზები ეგუებიან წყლის ტემპერატურის სეზონურ ცვლილებას. ზაფხულში მათი ლეიტალური ტემპერატურა იმატებს ხოლო ზამთარში კლებულობს. ზოგადად თევზებზე უარყოფითად მოქმედებს ტემპერატურის ნებისმიერი მომატება, არღვევს რა მათი კვების რიტმს, ბიომასის ზრდას ანელებს და სიცოხლის ხანგრძლივობას ამცირებს.

## 1.12. ხმაური

თანამედროვე მსოფლიოს ერთ-ერთი დიდი პრობლემაა ხმაური. ტალღების, ქარის, მიწისძვრის და სხვა ბუნებრივი ხმაურის გარდა არსებობს ანთროპოგენული 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 ნაწილებით შეიძლება აღქმულ იქნას, 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 იყენებს მაღალი სიხშირის ბგერებს, რომლებიც ადამიანის სმენადობის ზღვარს მიღმაა. ადამიანს ჩვეულებრივ ესმის ბგერები 20 ჰც-დან 20 კჰც-მდე სიხშირის ფარგლებში. ეს დიაპაზონი მნიშვნელოვნად იცვლება ასაკთან, სქესთან და სმენით დაზიანებასთან ერთად. თანამედროვე განვითარებულ ქვეყნებში თინეიჯერებს თითქმის არ შეუძლიათ 20 კჰც სიხშირის ბგერების აღქმა და ასაკის მომატებასთან ერთად პროგრესირებულად კარგავენ მაღალი და დაბალი სიხშირის ბგერების აღქმის უნარს.

ადამიანის ყური აღიქვამს ბგერებს ამპლიტუდის ფართო საზღვრებში, რომლის საზომ ერთეულად შემოღებულია ლოგარითმული 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 ჰც-ს.

ანთროპოგენური ხმაური დროთა განმავლობაში ანგრევს ოკეანის ცხოველთა სამყაროს.

გემები ზღვის ცხოველების მიერ შეიძლება აღქმული იქნას, როგორც მტაცებლები, ამ შემთხვევაში ცხოველების თავდაცვითი რეაქცია გამოიხატება ან თავდასხმით, ან გაქცევით. გემზე თავდასხმა ადამიანისათვის ზარალის მომტანია, ხოლო ასეთ სიტუაციაში რამოდენიმეჯერ გაქცევა ცხოველებში დამღუპველ რეფლექს 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 ანთროპოგენული ხმაურით. როცა ერთი სახეობა იწყებს ხმამაღალ კომუნიკაციას, ის გადაფარავს სხვა სახეობების ხმას, ამიტომ საბოლოოდ მთელი ეკოსისტემა “ალაპარაკდება” უფრო ხმამაღლა.



*ნახ 1.16. ვეშაპების მასიური თვითმკვლელობა*

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 დაყრუვება. ისევე, როგორც როკ-კონცერტზე ყოფნისას თქვენ მოგწონთ მუსიკა, მაგრამ ძლიერმა ხმაურმა შეიძლება გამოიწვიოს თქვენი დროებითი დაყრუვება.

ეგრეთწოდებული “აკუსტიკური სმოგი” ფაქტიურად “აბრმავეებს” ზღვის ცხოველებს და ნეგატიურად მოქმედებს მათ კვებასა და რეპროდუქციაზე. ზოგიერთი მეცნიერის აზრით, სწორედ ხმაური უბიძგებს ვეშაპებსა და დელფინებს მასიური თვითმკვლელობისაკენ.

ხმაურს გააჩნია შემდეგი პოტენციური ზემოქმედება:

- როდესაც ცხოველები ცდილობენ ხმაურს თავი დააღწიონ, ზღვა მნიშვნელოვანი ენერჯის 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 მგრძობიარეა 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 - აკუსტიკური თერმომეტრი ოკეანის კლიმატისა). 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, დაასკვნიან, რომ ოკეანე და, შესაბამისად, დედამიწა გათბა. 1997 წელს ამ პროექტის წინააღმდეგ გამოვიდა მეცნიერეთა ნაწილი, მიიჩნიეს რა ოკეანის ხმაურით დაბინძურების ერთ-ერთ სერიოზულ წყაროდ, მაგრამ

ATOC-ის ექსპერიმენტის ხელმძღვანელობამ შეძლო ეჩვენებინა, რომ ამ ექსპერიმენტის შედეგად გამოწვეული ხმაური გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე სხვა ანთროპოგენური ხმაური.

*ცხრილი 1.7.*

*ბუნებრივი ოკეანის ხმაური*

ქარი და ტალღები	85 დეციბალი
მიწისძვრა	95-135 დეციბალი
სელაპის ხმა	130-140 დეციბალი
დეღფინი	150 დეციბალი
ვეშაპი	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 სავაჭრო ტანკერების ტონაჟი 85-დან 550 მილიონ ტონამდე გაიზარდა და, შესაბამისად, ხმაურის დონემაც 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, რათა 1.6 და 1.7 ცხრილში მოყვანილი ხმაურის დონის სიძლიერე გავიაზროთ.

ცხრილი 1.9.

ჰაერში ხმაურის მაკალითები

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