



# ფიზიკური გეოგრაფიის

თეორიული საფუძვლები

ნაწილი მეხამე

თბილისი  
2016



**მელორ ალფენიძე**

**ფიზიკური გეოგრაფიის  
თეორიული საფუძვლები**

**ნაწილი მესამე**

**ენერგო-მასების მიმოქცევის სისტემურ-  
გეოგრაფიული ასპექტები**

**თბილისი, 2016**

ფიზიკური გეოგრაფიის თეორიული საფუძვლები განკუთვნილია უმთავრესად მაგისტრატურისა და დოქტორანტურის სტუდენტებისათვის და დეტალურად განიხილება ფიზიკურ-გეოგრაფიული თეორიის უმთავრესი თანამედროვე პრობლემები. ნაშრომი, შინაარსობრივად, თანამედროვე ფიზიკურ-გეოგრაფიული ცოდნის ღრმა და ფართო ათვისებას ემსახურება. წიგნი შვიდი ნაწილისაგან შედგება: 1. ფიზიკურ-გეოგრაფიული მეცნიერების სისტემური გააზრება, სტრუქტურა, გეოგრაფიული მოძღვრებები, კონცეფციები, პარადიგმები; 2. გეოსფეროების სისტემური ნიშნების გეოგრაფიული საფუძვლები; 3. ატმოსფერული, ჰიდროსფერული, ლითოსფერული და ბიოსფერული ენერგო-მასების მიმოქცევების სისტემურ-გეოგრაფიული ნიშნები; 4. ბუნების რიტმული მოვლენები, ციკლები, სტადიალურობა და გეოგრაფიული პროცნოზი; 5. გეოგრაფიული ზონალურობა, სიმაღლებრივი სარტყლურობა და ზონალურობის პერიოდულობის კანონი; 6. ლანდშაფტური სისტემის წარმოშობა და განვითარება; 7. გლობალური გეოგრაფიული პროცესები და მათი რეგულირება - მართვა.

აქედან გამომდინარე, მონოგრაფიის - „ფიზიკური გეოგრაფიის თეორიული საფუძვლები“ შედგენა და მკითხველისათვის მიწოდება აშკარად გამართლებული ქმედებაა, დარგის რთული საკითხების ათვისების წინაპირობაა და მომავალი გეოგრაფოსების მომზადების საფუძველია.

#### **რედაქტორები:**

**გეოგრაფიულ მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი ზურაბ სეფერთელაძე;**

**გეოგრაფიულ მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი ელიზბარ ელიზბარაშვილი**

#### **რეცენზენტები:**

**გეოგრაფიის აკადემიური დოქტორი, ასოც. პროფესორი, მერაბ გონგაძე**

**გეოგრაფიის აკადემიური დოქტორი, ასოც. პროფესორი, ეთერი დავითაია**

© სოხუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტის

ელექტრონული ბიბლიოთეკა

ალფენიძე მ. 2016

# მელორ ალფენიძე

სოხუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ფიზიკური გეოგრაფიის თეორიული  
სათუძვლები

ნაწილი მესამე

ენერგო-მასების მიმოქცევის სისტემურ-  
გეოგრაფიული ასპექტები

# თბილისი, 2016

## შინაარსი

წინასიტყვაობა	5
შესავალი	9
§ 11. ენერგო-მასების მიმოქცევების ძირითადი გეოგრაფიული ნიშნები	17
§ 12. ატმოსფერული ენერგო-მასების მიმოქცევების გეოგრაფიული გააზრება	23
§ 13. ხმელეთის წყლების წრებრუნვები და მათი ერთიანი სისტემა	30
§ 14. ოკეანური წყლების წრებრუნვების ერთიანი სისტემა	39
§ 15. ოკეანე-ატმოსფერო-ხმელეთის მიმოქცევების სისტემური ასპექტები	53
§ 16. ბუნებაში ენერჯის წრებრუნვების სისტემურ-გეოგრაფიული ნიშნები	78
§ 17. ელ-ნინოს ფენომენი და მისი გეოგრაფიული გააზრება	97
ნორმალური სიტუაცია	102
ბიოლოგიური პროდუქტიულობა	112
§ 18. ბიოლოგიური და ბიოგეოქიმიური წრებრუნვების გეოგრაფიული ნიშნები	119
§ 19. მიმოქცევების საფუძვლები და შედეგები	151
ლიტერატურა	156

## წინასიტყვაობა

საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა დარგების და, განსაკუთრებით, გეოგრაფიული მიმართულების სტუდენტების მიერ საწყისი - საბაკალავრო საგანმათლებო პროგრამით გათვალისწინებული მასალა მოიცავდა დედამიწის პლანეტარული ნიშნებსა და გეოგრაფიული (ლანდშაფტური) გარსის კომპონენტების - ატმოსფეროს, ლითოსფეროს, ჰიდროსფეროსა და ბიოსფეროს გეოგრაფიულ თავისებურებებს. აღნიშნული სახის ცოდნის მიღება, გასული საუკუნის შუა წლებიდან, დედამიწისმცოდნეობის კურსით ხორციელდებოდა. ამ საუკუნის დასაწყისში მომავალი გეოგრაფოსების მიერ საწყისი გეოგრაფიული მეცნიერების მთავარი საკითხების შესწავლას უფრო მეტი მოთხოვნები გაუჩნდა. ცხადია, შესაბამისი ცოდნის მიღებამ უმაღლესი დონის, ახალი თეორიული საფუძვლების მკითხველისათვის აუცილებელი მიწოდების მიზანშეწონილობა განაპირობა.

ამ კურსის შესახებ გასულ საუკუნეში გამოცემული კლასიკური ლიტერატურის დიდი ნაწილი, ჯერ ერთი, საკმაოდ მოძველდა და ასევე ბიბლიოგრაფიულ იშვიათობად იქცა და მეორეც - ძირეული ცვლილება განიცადა. ამიტომ, მათი შინაარსი ფაქტობრივად არ შეესაბამება გეოგრაფიული თეორიული საკითხების თანამედროვე მოთხოვნილებებს.

ამ მხრივ, ჩვენი ქვეყნის ქართულენოვანი სტუდენტები შედარებით მომგებიან პოზიციაში აღმოჩნდნენ. მეცნიერთა ჯგუფის მიერ შემუშავდა და გამოიცა (ალფენიძე მ., ელიზბარაშვილი ე., ხარაძე კ. ზოგადი ფიზიკური გეოგრაფია, თსუ, თბილისი, 2003. – 448 გვ) მომავალ გეოგრაფოსთა ახალი

სამაგიდო წიგნი, სადაც დამწყები სტუდენტები გეოგრაფიული მეცნიერების ჩამოყალიბების ისტორიისა და განვითარების გზების შესწავლასთან ერთად დედამიწის გეოსფეროების ზოგადი ასპექტების, ასევე მათი ორგანული კავშირებისა და ურთიერთობებიდან გამომდინარე კანონზომიერების აღქმას, ანუ გეოგრაფიის ალფასა და ომეგას შესახებ სწორი წარმოდგენისა და ამომწურავი ინფორმაციის მიღებას ახდენენ. აღნიშნული წიგნი საკმაოდ სქელტანიანი და გამართული, შინაარსობრივად მდიდარი სახელმძღვანელო გამოდგა.

ამავე დროს, აღნიშნული სახელმძღვანელო საკმაოდ ვრცელ ინფორმაციას მოიცავდა და, ფაქტობრივად, ორი დიდი ნაწილისაგან შედგებოდა. პირობითად, პირველი ნაწილი (I-IX თავები) ამჟამადაც საბაკალავრო პროგრამის ათვისების მიზნებს ემსახურება და იძლევა გეოგრაფიულ ცოდნას სამყაროს აგებულების, შედგენილობისა და ევოლუციის შესახებ, როცა მთავარი ყურადღება დედამიწა-კოსმოსური კავშირების მიერ გეოგრაფიულ გარსში გამოწვეულ შედეგებს ექცევა.

რაც შეეხება მეცნიერების ჩასახვისა და განვითარების ეტაპების საკმაოდ ფართო განხილვას, მისი უმთავრესი მიზანი გეოგრაფიული ცოდნის დაგროვების ისტორიული წარსულისა და აწინდელი გეოგრაფიული აზროვნების ჩამოყალიბებას, ასევე სამომავლო პროგნოზული მოდელის წარმოდგენას ემსახურება. განსაკუთრებული ადგილი ეთმობა ქართული გეოგრაფიული ცოდნის ჩამოყალიბებისა და განვითარების ისტორიის, ასევე მისი თანამედროვე მდგომარეობის საკითხების საფუძვლიან განხილვას.

საბაკალავრო პროგრამით გათვალისწინებული საწყისი გეოგრაფიული ცოდნის მიღებას ემსახურებოდა სახელმძღვანელოს პირველ

ნაწილში განხილული საკითხები - დედამიწის წიაღის აღნაგობა, ფორმისა და ზომების, მოძრაობათა გეოგრაფიული გააზრება, მათი გეოგრაფიული შედეგების ზედაპირის არაერთგვაროვნების, ასევე ატმოსფეროს, ლითოსფეროს, ჰიდროსფეროსა და ბიოსფეროს თავისებურებებისა და მათი გეოგრაფიული შედეგების დეტალური აღქმა.

ცხადია, რომ გეოგრაფიული მეცნიერების დაუთლებლის საწყის ეტაპზე - საბაკალავრო პროგრამა არ ითვალისწინებს, აღნიშნული გეოგრაფიული ასპექტებიდან გამომდინარე, უფრო რთული და ღრმაშინაარსიანი საკითხების განხილვას, რომელთა შორის შეიძლება აღინიშნოს: გეოგრაფიული (ლანდშაფტური) გარსის კომპლექსური წარმოდგენა და, მისგან გამომდინარე, ბუნებრივი გარემოს სისტემური ანალიზი; გეოგრაფიული გარსის (სისტემის) სტრუქტურის განვითარება; ერთიანობისა და მთლიანობის კანონზომიერება; ბუნებაში მიმდინარე მიმოქცევები (წრებრუნვები) და რიტმული მოვლენები; ზონალურობა-აზონალურობისა და ინტრაზონალურობის, სიმაღლებრივი სარტყლურობის სისტემურ-გეოგრაფიული გააზრება; ბუნებაში სითბოსა და სინოტივის მაჩვენებელთა შეფარდებიდან გამომდინარე სიმშრალის რადიაციული ინდექსის - K-ის ანგარიშის მიხედვით გეოგრაფიული ზონების გამოყოფის შესაძლებლობა; გეოგრაფიული ზონალურობის პერიოდულობის კანონის დეტალური გათავისება; სხვადასხვა რადიაციულ სარტყლებში ბუნებრივი ზონების გამეორების გეოგრაფიული პარადოქსი და მრავალი სხვ.

ცხადია, რომ მითითებულ ქართულენოვანი სახელმძღვანელო აღნიშნული თემატიკით გათვალისწინებულ საკითხებს აშკარად მოიცავს, განსაკუთრებით კი მას სახელმძღვანელოს მეორე (თავი X-XV) ნაწილი

პასუხობს. ამავე დროს, მაგისტრატურის პროგრამით გათვალისწინებული გეოგრაფიული ცოდნა სახელმძღვანელოს ფილოსოფიურ-კიბერნეტიკული შინაარსის ინფორმაციით გამდიდრებას მოითხოვს. მსგავსი შინაარსის შემცველი გეოგრაფიული სასწავლო ლიტერატურა, მშობლიურ ენაზე, მკითხველისათვის მიუწვდომელია. რაც შეეხება უცხოურ ლიტერატურას - წიგნის ბაზარსა და ინტერნეტ-ბაზაში მათი იშვიათობისა და სასწავლო პროგრამისაგან აშკარად შორს მდგარი მასალა გვაფიქრებინებს, რომ ახალი სახელმძღვანელოს შექმნა არა მარტო დროული და აუცილებელია, არამედ მის სამაგიდო წიგნად გადაქცევა ამაჟამად მიზანშეწონილიცაა.

ავტორის მიერ, ფიზიკური გეოგრაფიის თეორიული საფუძვლების შესახებ მონოგრაფიის შედგენა რამდენიმე ნაწილადაა ნაგარაუდები. ამაჟამად, დღის სინათლეზე უკვე გამოსულია (სსუ-ის ელ. ბიბლიოთეკა <https://drive.google.com/file/d/0B2VAaKxYsWISRWNxdjZZSUVoQIE/view?pref=2&pli=1>) მისი პირველი ნაწილი (ფიზიკურ-გეოგრაფიული მეცნიერების სისტემა, ერთიანი გეოგრაფიის სტრუქტურა, გეოგრაფიული მოძღვრებები და კონცეფციები, გეოგრაფიული პარადიგმები) ნაწილი. ამჯერად, მკითხველის ვთავაზებოთ მონოგრაფიის მესამე ნაწილს - ენერგო-მასების მიმოქცევების სისტემურ-გეოგრაფიული ასპექტებს, რომელიც თავის მხრივ ცხრა პარაგრაფისაგან შედგება.

მომდევნო ნაწილებში განხილული იქნება ფიზიკური გეოგრაფიის თეორიის პრობლემური საკითხები: გეოსფეროების სისტემური ნიშნების გეოგრაფიული ანალიზი; ბუნების რიტმული მოვლენები; გეოგრაფიული ზონალურობის პერიოდულობის კანონი; ლანდშაფტურ-გეოგრაფიული სისტემის წარმოშობა, განვითარება, თანამედროვე მდგომარეობა და

პროგნოზი; თანამედროვე გლობალური გეოგრაფიული პრობლემები და სხვ. მონოგრაფიის ამ მომდევნო თავებში გადმოცემული მასალა სავარაუდოდ 50-მდე პარაგრაფში იქნება განთავსებული.

## შესავალი

... თუ კი ნივთიერებისა და ენერჯის ზოგადი წრებრუნვების (მიმოქცევების) საბოლოო შედეგი - გეოგრაფიული გარსის განცალკევებულობა (განკერძობა) და ფუნქციონირებაა, მაშინ თვით ეს წრებრუნვები, საბოლოო ჯამში, მათი მიმოქცევების შინაარსის მატარებლები ხდებიან.

### **პროფ. თ. მილკოვი**

ვისწავლოთ ამინდისა და ქარის მართვა, ღრუბელთა გაფანტვა,  
წვიმიანი ან მზიანი ამინდის გამონვევა, სუსხის ან პაპანაქება  
სიცხისაგან თავის არიდება...

### **აკად. ვ. ობრუჩევი**

... სისტემის სივრცე-დროითი მახასიათებლების მჭიდრო  
ურთიერთობათა განხილვასთან ერთად მიზანშეწონილია  
ბუნების სხვა მნიშვნელოვანი თვისებების - მასისა და ენერჯის  
კავშირების შესწავლის აუცილებლობა.

### **პროფ. ნ. ბერუჩაშვილი**

საზოგადოების განვითარების თანამედროვე ეტაპზე - მესამე  
ათასწლეულის გარიჟრაჟზე, ადამიანის გონება მაღალ განვითარებას აღწევს

და სრულყოფილი ხდება. ჯერ არასდროს ყოფილა მეცნიერება ეგზომ დახვეწილი, მდიდარი და თავისუფალი, ძლიერი და გამბედავი, ნათელი და შემწყნარებელი, აქტიური და წარმატებული - როგორც ამჟამად, მესამე ათასწლეულის დასაწყისში. შეიძლება დანამდვილებით ითქვას, რომ ადამიანის მეცნიერული მასშტაბები არასდროს იყო ასე ამაღლებული და ესეოდენ პასუხისმგებელი კაცობრიობის წინაშე, როგორც აწინდელ ხანაში. თანამედროვე ეპოქა, ხომ მატერიალური ბაზის მძლავრ საყრდენზე დგას, მზარდი სანარმოო ძალებზე დაფუძნებული და, აქედან გამომდინარე, კოლოსალურ ინტელექტუალურ პოტენციალს ფლობს.

ადამიანთა საზოგადოების საქმიანობის ერთ-ერთი ურთულესი, მაგრამ ფრიად საინტერესო სფერო მეცნიერების სახელითაა ცნობილი, რომლის უმთავრეს ფუნქციას ჭეშმარიტების შესახებ ობიექტური ცოდნის თეორიული სისტემატიზაცია წარმოადგენს. მეცნიერების ცნება არა მხოლოდ ახალი ცოდნის მიღების საქმიანობითაა შემოსაზღვრული, არამედ მის თეორიულ და პრაქტიკულ შედეგებსაც მოიცავს. მათ შორისაა მოცემულ მომენტში არსებული მეცნიერული ცოდნა, მეცნიერული ძიებისა და მიგნების შესაძლებლობა, ინტელექტუალური ბაზის პრაქტიკაში რეალიზაციის საშუალებათა გამოძიება.

ამავე დროს, მეცნიერების უმთავრესი მიზანია ბუნებაში მიმდინარე მოვლენათა შესახებ კანონებსა და კანონზომიერებათა აღმოჩენა-დადგენა და მათ საფუძველზე ობიექტურად რეალური მოვლენების აღწერა, მათი ახსნა, ანალიზი და განვითარების წინასწარი გნაჭვრეტა ანუ პროგნოზი. მეცნიერების განსაკუთრებული მიზანია ობიექტური სინამდვილის შესახებ რაციონალური მართვის ხერხების, მიდგომებისა და მეთოდების შემუშავება და დასაბუთება.

ბუნებრივია, რომ გეოგრაფიული მეცნიერების მიზანი და ამოცანები საერთო-მეცნიერული განჭვრეტის ფარგლებში ექცევა და, აქედან გამომდინარე, ახდენს ბუნებრივი გარემოს ობიექტური რეალობის კვლევას, მიმდინარე პროცესების მიზეზ-შედეგობრივი კავშირების დადგენასა და ახსნას, მოვლენების განვითარების ტენდენციის დადგენას, ბუნებრივი სისტემების დიაგნოზისა და სამომავლო პროგნოზის მოდელის შექმნას, დარღვეული გარემოს აღდგენა-დაცვის ღონისძიებების შემუშავებასა და რეგულირება-მართვის პრინციპების ამოქმედებას.

გეოგრაფიული (ლანდშაფტური) გარსი ფიზიკური გეოგრაფიული მეცნიერების კვლევის ობიექტი - თავის მხრივ, საკმაოდ რთული ბუნებრივი წარმონაქმნია. მის დეტალურ შესწავლას მხოლოდ გეოგრაფიული მეცნიერება ვერ უმკლავდება და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა დარგების (ფიზიკა, ქიმია, ბიოლოგია, გეოლოგია) გაერთიანებულ ძალისხმევას მოითხოვს. საბოლოო ჯამში, ამ მეცნიერებათა კვლევებით მიღებული ფართო შინაარსისა და საკმაოდ დიდი ღირებულების მასალა სინთეზურ-ანალიზურ ანუ გეოგრაფიულ გააზრებასა და გათავისებას მოითხოვს. აშკარაა, რომ ბუნებრივ-ლანდშაფტური გარსის მრავალმხრივი შესწავლისა და მისი გეოგრაფიული ანალიზის გარეშე შეუძლებელია ამ სისტემური წარმონაქმნის სრულყოფილი აღქმა, რასაც გეოგრაფიული - კომპლექსური წარმოდგენითა და სისტემური აღქმის თვალსაზრისით - საკმაოდ ადვილად ვაღწევთ.

ამ მხრივ, ჩვენი მიზანია ბუნებრივი გარემოს კომპონენტებისა და ელემენტების რთული ურთიერთობათა სრულფასოვანი წარმოდგენა, მათ შორის არსებული ურთიერთობების (კავშირები, ზემოქმედებები, სახეცვლები,

გარდაქმნები) ლაბორინტებში შეღწევა და შეუიარაღებელი თვალით შეუმჩნეველი პროცესების დანახვა, მიმდინარე მოვლენების სისტემური აღქმა, რაოდენობრივი ცვლილებების გარკვევა, ხარისხობრივ-თვისებრივი ნიშნების გამოვლენა და, აქედან გამომდინარე, ბუნების ზოგადი (გეოგრაფიული) და კერძო კანონების შეცნობა. ცხადია, რომ იმ გეოგრაფიული სისტემური ამოცანების აღქმას, რომელსაც ჩვენ ვაპირებთ, ფიზიკურ-გეოგრაფიული შინაარსი გააჩნია. მისი გათავისება მაღალი საფეხურის ცოდნის მიღწევის საფუძველზე შესაძლებელი, თუმცა უეჭველად მოითხოვს ფიზიკური გეოგრაფიის ზოგადი თეორიული ასპექტების შესახებ სრული წარმოდგენის მიღებას.

მსგავსი თეორიული საკითხების ამოკითხვა სანყისი გეოგრაფიული ცოდნითაც შეიძლება, თუმცა ტრადიციული საგნების (დედამიწისმცოდნეობა ან ზოგადი ფიზიკური გეოგრაფია) შინაარსი სრულყოფილად ვერ ასახავს მაგისტრატურისა და, მითუმეტეს, დოქტორანტურის პროგრამებით გათვალისწინებულ მოთხოვნებს. ამიტომ, ცხადია გეოგრაფიული მეცნიერების გააზრების მაღალი დონე ბუნებრივი გარემოს სისტემურ გააზრებას საჭიროებს. ამიტომ, სახელმძღვანელოს ამ ნაწილში, ავტორი ცდილობს ენერგო-მასების მიმოქცევების გეოგრაფიული პრობლემის შესახებ ღრმა წარმოდგენის მიღებას.

ამგვარად, ფიზიკური გეოგრაფიის თეორიული საფუძვლების შესახებ ამ ნაწილში წარმოდგენილი მეცნიერული მასალა შეიცავს გეოგრაფიული (ლანდშაფტური) გარსის (სისტემის) ნივთიერი შემადგენლობის ენერგო-მასების სისტემურ-გეოგრაფიულ გააზრებას, მის განუყოფელ ერთიანობისა და მთლიანობის ასპექტებს და, აქედან გამომდინარე, ბუნებრივი გარსის

(სისტემის) შიდა საყრდენი ჩონჩხისა და კომპონენტების ორგანულ კავშირებს, ერთმანეთის განსაზღვრულობასა და განვითარების ტენდენციას. ცხადია, რომ ბუნებრივი გარსის „ცოცხალი ორგანული კავშირები“ სისტემის შინაგანი ორგანიზაციითა განპირობებული.

ბუნებრივ-ლანდშაფტური გარსის (სისტემის) გეოგრაფიული თვალსაზრისით შესწავლის ძირითადი ამოცანებია მისი სტრუქტურის, განვითარების ხასიათისა და ტემპების, ტერიტორიული დანაწევრებისა (გეოგრაფიული დიფერენციაციის) და ინტეგრაციის ძირ-ფესვიანი აღქმა. ამ პრობლემების შესწავლას დიდი შემეცნებითი და პრაქტიკული მნიშვნელობა ენიჭება. ბუნებრივი გარემოს სტრუქტურის, ანუ კომპონენტების (ელემენტების) შინაგანი ურთიერთკავშირების ხასიათის ზუსტი ცოდნა სხვა კომპონენტების მომავალი ქცევის პარამეტრების, ნორმებისა და განვითარების გზების წარმოდგენის საშუალებას იძლევა, როცა ცნობილია ერთი ან რამდენიმე ელემენტის უნებლიე ან ბუნებრივი ცვლილება.

მოვლენების განვითარების გზების (ტრენდის, მიმართულების) სრულფასოვანი აღქმა პროგნოზული მოდელის შემუშავების წინაპირობაა. იგი წარმოდგენას იძლევა იმის შესახებ, თუ როგორი გზით წარიმართება ბუნებრივი ან ანთროპოგენური დატვირთვებით ან უნებლიე ცვლილებებით გართულებული პროცესი: ბუნებრივი განვითარების გზით, თუ მისგან განსხვავებული მიმართულებით. ამდენად, თუკი გეოგრაფიული (ბუნებრივი) გარსის ზოგადი შესწავლის ამოცანა - მისი კანონზომიერების, განვითარებისა და სივრცობრივი განსხვავებების დადგენაა, მაშინ ამ შეცნობის საბოლოო მიზანი - გამომჟღავნებული ნიშნების გამოვლენაში, ზოგადი ან კონკრეტული კანონების დაუფლებასა და კაცობრიობის საკეთილდღეოდ პრაქტიკული

ამოცანების პრაგმატულ გადანწყვეტაში, აგრეთვე, რაციონალურ ათვისებასა და სარგებლობაში მდგომარეობს.

ფიზიკური გეოგრაფიის თეორია მოძღვრებაა ბუნებრივი გარსის შესახებ, რომლის საფუძვლები გასული საუკუნის 30-იან წლებში შეიქმნა. თუმცა, მისი სტრუქტურისა და ევოლუციის შესახებ იდეები გეოგრაფიული მეცნიერების ჩამოყალიბების ხანგრძლივი დროის განმავლობაში მიმდინარეობდა. ცნობილია, რომ საუკუნეთა განმავლობაში (XIX ს-ის შუა წლებამდე) გეოგრაფოსები დედამიწის ზედაპირის მხოლოდ აღწერით შემოიფარ-გლებოდნენ. მოგვიანებით, აღწერასთან ერთად, მოვლენათა მეცნიერული ახსნა-განმარტებითი ამოცანების გადანწყვეტას ეყრებოდა საფუძველი.

თანამედროვე ეტაპი - კაცობრიობის მიერ გარემოზე გამოცოცხლებული ზემოქმედების პერიოდია, გარემოცვის ძლიერი გაბინძურებისა და ბუნებრივი რესურსების დეფიციტის ხანაა. ამიტომ, სულ უფრო აქტუალური ხდება რაციონალური ბუნებათსარგებლობის, ბუნებრივი მოვლენების მართვის ამოცანების გადანწყვეტა, რომლებიც ბუნებრივი რესურსებით საზოგადოების მოთხოვნილებათა დაკმაყოფილებისა და გარემოს ოპტიმიზაციის მისაღწევადაა მიმართული.

ამდენად, ფიზიკური გეოგრაფიის, როგორც მეცნიერების თანამედროვე ამოცანა გეოგრაფიული გარსის შემადგენელი ელემენტების აგებულებისა და შედგენილობის, სივრცე-დროითი დინამიკისა და განვითარების კანონზომიერებების შეცნობათან ერთად, მისი შინაგანი სისტემური ასპექტების კვლევის საფუძველზე, ბუნებრივ-ტექნოგენური პროცესების ოპტიმალური რეგულირება-მართვის სისტემის შემუშავებაში მდგომარეობს.

დედამიწის ბუნება, წარმოადგენს რა ადამიანთა საზოგადოების სამეურნეო საქმიანობის ფართო საასპარეზო არენას, ბუნებრივ-ტექნოგენური სისტემის მუდმივ ფორმირებას განიცდის. ამ ახალ მდგომარეობას „არაბუნებრივი“ გარსი შეესაბამება, თვისებრივად ახალი ნიშნები აქვს შექნილი. მისი ოპტიმიზაციის კრიტერიუმები უკავშირდება არა მარტო ბუნების შენარჩუნებასა და გაუმჯობესებას, არამედ ახალი, ადრე უცნობი მდგომარეობების შეხამებათა შექმნას ემსახურება, ანუ ცდილობს იმ ამოცანების გადაწყვეტას, რომელიც კონსტრუქციული გეოგრაფიის ამოცანებს განეკუთვნება.

ბუნებრივი გარსის, როგორც რთული სისტემის მართვის მოდელების შემუშავება - კიბერნეტიკული ამოცანაა. ამიტომ, თავისი რეალიზაციისათვის იგი თანმიმდევრულ სისტემურ მიდგომას მოითხოვს. ამისათვის კი თვითრეგულირების ბუნებრივი მექანიზმის გამოაშკარავებაა აუცილებელი. ეს მექანიზმი, მართავს რა ენერჯისა და მასების მონაცვლეობას - თვითრეგულირების პრინციპების ამუშავებას გულისხმობს. თუმცა, ეს თეორია ჯერ არც სრულყოფილადაა ცნობილი და არც ბუნებრივი გარსის ერთიანი სისტემის მართვის ეფექტური სადავეები გვიჭირავს ხელში.

წინამდებარე სახელმძღვანელოში დადასტურებული ნივთიერებებისა და ენერჯის მიმოქცევების გეოგრაფიული ნიშნების გააზრების საფუძველს დედამიწის ბუნებრივი გარსის ზუსტი განუმეორებულობა და უნიკალურობა წარმოადგენს. ამიტომ, სხვა ბუნებრივი - ანალოგიური სისტემების არარსებობის გამო, ჩვენი თეორიული ცოდნის, მოდელების შედარებისა და შემოწმების საშუალება აშკარად არ გავვაჩნია. აქედან გამომდინარე, ექსპერიმენტის მოულოდნელი შედეგებისა და სირთულის (საფრთხის)

გაუცნობიერებულობის გამო, გეოგრაფიული მეცნიერება ეყრდნობა ბუნების განვითარების ისტორიის ანალიზის შედეგებს და ამით ახდენს მოვლენათა მიზეზების ახსნას. ამ მხრივ, ფიზიკური გეოგრაფიის თანამგზავრი - პალეო-გეოგრაფია ხდება. ენერგო-მასების წრებრუნვების აღქმის საფუძველზე - წარსული პირობების აღდგენა და თანამედროვე ბუნებრივი მოვლენების ანალიზი მომავლის პროგნოზირების წინაპირობაა.

ბუნებრივი გარსის სისტემის ფუნქციონირებასა და განვითარებაში დიდი როლის შესრულება მის სტრუქტურას ენიჭება, რომელიც ამ სისტემის მთლიანობასა და მდგრადობას განსაზღვრავს. ამიტომ, სისტემის შემადგენელი კომპონენტების მონაცვლეობათა შესწავლა ფიზიკური გეოგრაფიის ერთ-ერთი უმთავრესი თეორიული ამოცანაა. აკი, ლანდშაფტური გარსი დინამიური სისტემას წარმოადგენს. აქ, ხომ მუდმივად მიმდინარეობს ნივთიერებათა მასების მოძრაობა, ენერჯის ურთიერთგადასვლები, ერთმხრივ მიმართული ცვლილებები, მიმოქცევები და რიტმული მოვლენები, ისინი წარმოქმნიან ენერგ-ომასების მონაცვლეობათა რთულ სისტემას, რომელიც სხვადასხვა იერარქიულ დონეებზე მიმდინარეობს.

დედამიწის ბუნებრივი სისტემის „ცხოვრების“ წესებში გონივრული ჩარევისა და მისი ოპტიმიზაციის მიზნით აუცილებელია სისტემური ანალიზის შესახებ გეოგრაფიული წარმოდგენის მიღება. ამ მხრივ, უკვე მიღწეულია პირველი მეცნიერული შედეგები. აშკარაა, რომ ამ მიდგომის წარმატებულ გამოყენებაზე ბევრადაა დამოკიდებული იმ მთავარი ამოცანების გადაჭრა, რომელიც სახელმძღვანელოს შესავალ ნაწილშია ფორმულირებული.

## **§ 11. ენერგო-მასების მიმოქცევის ძირითადი გეოგრაფიული ნიშნები**

თანამედროვე ფიზიკის თვალსაზრისით ნივთიერება, როგორც წესი, აღქმულია როგორც მატერიის სახე, რომელიც ფერმიონებისაგან (ნაწილაკი ან ქვაზინაწილაკი - სახელწოდება შემოიტანა ენრიკო ფერმიმ) შედგება. მისი მაგალითებია კვარკები (რომლებიც ქმნიან პროტონებსა და ნეიტრონებს, თვითონ წარმოადგენენ ფერმიონებს), ლეპტონები (ელექტრონები,

ნეიტრინო) და სხვ. ფილოსოფიური გააზრებით ნივთიერებებს ფიზიკურ სუბსტანციას (ლათ. *substantia* - არსებითი, ძირითადი, საფუძვლად მდებარე) უწოდებდნენ. ნივთიერებები, ჩვეულებრივად (შედარებით დაბალი ტემპერატურისა და სიმკვრივის დროს), შედგება იმ ნაწილაკებისაგან, რომელთა შორის ხშირია ელექტრონების, პროტონებისა და ნეიტრონების არსებობა. აღნიშნულთაგან, ორი უკანასკნელი ატომურ ბირთვებს ქმნიან, ხოლო ყველა ერთად - ატომებს (ატომურ ნივთიერებას), მოლეკულებსა და კრისტალებს. განსაკუთრებულ შემთხვევებში კი (ნეიტრონულ ვარსკვლავებში) ნივთიერებათა არაჩვეულებრივი მდგომარეობა დასტურდება. აქ, დედამიწასთან შედარებით, ნივთიერებათა სიმკვრივე  $10 \times 10^8$  - ჯერ, ხოლო სიმძიმის ძალა  $10 \times 10^{11}$  - ჯერ მეტია.

ენერგია (ძვ.ბერძ. *ἐνέργεια* - მოქმედება, ძალა) - სკალირებული ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც მოძრაობისა და მატერიის ურთიერთმოქმედების სხვადასხვა ფორმების ერთიან საზომს, ან კიდევ, მატერიის ერთი ფორმიდან მეორეში გადასვლის შეფასების ერთეულს წარმოადგენს. ამ ცნებას ხელსაყრელი მნიშვნელობა აქვს, მაშინ როცა ფიზიკური სისტემა ჩაკეტილია, ანუ მისი ენერჯის დროში შენახვას აქვს ადგილი. იგი ენერჯის შენახვის კანონის სახელწოდებითაა ცნობილი და შემოტანილია არისტოტელეს მიერ.

გეოგრაფიული თვალსაზრისით ენერჯის გარდაქმნის, მუშაობისა და შენახვის ფიზიკურ ნიშნებს ლანდშაფტურ-გეოგრაფიულ სისტემაში თავიანთი აშკარა და სპეციფიკური გამოვლინებები გააჩნიათ. მასებისა და, განსაკუთრებით, ენერჯის გარდაქმნები (მიმოცვლები) ხომ ბუნებრივ გარემოში მიმდინარეობენ. აკი, ნობელის პრემიის ლაურეატი - რიჩარდ

ფეინმანი (1961 წ) გამოთქვამდა რწმენას, რომ „...ბუნების მოვლენების მართვაში მონაწილე, ჩვენთვის დღემდე ცნობილი, ყოველი ფაქტი ან კანონი - ენერჯის შენახვის სახელწოდებითაა ცნობილი, რომელიც ბუნებაში მიმდინარე ნებისმიერი გარდაქმნის შემთხვევაში უცვლელი რჩება...“.

მარტივად რომ ვთქვათ, ეს პოსტულატი არ წარმოადგენს მოვლენის მექანიზმის აღწერას, არამედ არსებობს ის უცნაური ვითარება, როცა სისტემის რაიმე A კვანძში (ამა თუ იმ  $T_0$  მომენტი) შეიძლება დავადგინოთ ენერჯის რაოდენობა -  $E_e$  და, შემდგომ კი, მშვიდად ვუთვალთვალოთ ბუნებაში მიმდინარე ნებისმიერ „ხრიკებს“. საბოლოო ჯამში, სისტემის შიგნით გარდაქმნების მიმდინარეობის სხვადასხვაობის მიუხედავად, სისტემის მეორე - B კვანძის  $T_1$  ფაზაში -  $E_e$  სიდიდე მაინც უცვლელი დარჩება.

აღნიშნულ ვითარების სრულყოფილი აღქმა დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობისაა და ჩვენ მიზნებს აშკარად ეხმარება. ენერგო-მასების (ნივთიერებისა და ენერჯის) აღნიშნული ფიზიკური ნიშნები და მათთან დაკავშირებული მასების გარდაქმნებისა და ენერჯის შენახვის ფუნდამენტალური კანონის აშკარა გამოვლინების მაგალითები ლანდშაფტურ-გეოგრაფიულ სისტემაში უხვადაა. ამჯერად, მხოლოდ ერთ ფაქტზე შევაჩერებთ მკითხველის ყურადღებას: ოკეანის ან ზღვის ზედაპირიდან წყლის აორთქლებისას დახარჯული ენერგია ორთქლის მასაში გადადის და ამ ნივთიერებაში (ჰაერის ორთქლში) იმყოფება ფარული სითბოს სახით. გაბატონებული ქარის მიერ ტენიანი ჰაერის მასის ხმელეთზე გადატანისას - წყლის ორთქლთან ერთად, იმავე მიმართულებით, ამჟამად უკვე იქ არსებული ფარული ენერგიაც გადაადგილდება. ხმელეთის თავზე ჰაერი ცივდება, ორთქლი კონდენსაციას განიცდის, მოდის ატმოსფერული

ნალექები და ფარული ენერჯის გამოთავისუფლებას აქვს ადგილი. როგორც ჩანს, მასების (ორთქლის) გადაადგილებასა და გარდაქმნასთან (კონდენსაცია) ერთად, ენერჯის (ფარული სითბოს) გადატანა და მისი უკლებლივი აღდგენა შეინიშნება.

ამ მსჯელობიდან ცხადია, რომ აორთქლებისას დახარჯული ენერჯია წყლის ორთქლში იყო „შენახული“ და გამოიყო ორთქლის კონდენსაციისა და ატმოსფერული ნალექების მოსვლის დროს. ამით ოკეანიდან, ხმელეთის ზედაპირზე, ნივთიერებათა მასების (წყლის ანუ ატმოსფერული ნალექების) შემოსვლასთან ერთად, ადგილი აქვს სითბოს (ენერჯის) დამატებითი „უღუფის“ შემოტანასაც.

ამავე დროს აღსანიშნავია, რომ ენერჯიას ფიზიკურ სისტემაში მუშაობის შესრულების უნარი გააჩნია. ჩვენ მისი მექანიკური მხარე გვაინტერესებს. კლასიკური მექანიკის კანონებიდან გამომდინარე სხეულის კინეტიკური (დამოკიდებულია მისი ნაწილაკების სიჩქარეზე) ენერჯია სხეულის მასისა და სიჩქარის კვადრატის პროპორციულია:

$$E_k = mv^2/2, \text{ სადაც } m - \text{სხეულის მასაა, } v - \text{სხეულის სიჩქარე}$$

სხეულების (ნაწილაკების) გრავიტაციული ენერჯია სისტემის მიზიდულობის ძალითაა განპირობებული. ამასთან მიღებულია, რომ სისტემის ნებისმიერი სხეულების დიდი დაშორების შემთხვევაში გრავიტაციული ენერჯია უარყოფითია, ხოლო უსასრულოდ დაშორებისას - ნულის ტოლია ანუ გრავიტაციულად არა ურთიერთმოქმედი სხეულები ცხადია, ერთმანეთს არ იზიდავენ. დადებითი ენერჯის სისტემები კი არასტაციონარულ მდგომარეობაში იმყოფებიან.

აღნიშნულიდან ჩანს, რომ დედამიწის ლანდშატურ-გეოგრაფიული სისტემის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს თავისებურებას მისი ნივთიერი შემადგენლობისა და ენერჯის გარდაქმნის მიმდინარეობა წარმოადგენს, რომელიც ბუნებრივი გარემოს ფრიალ დამახასიათებელი ნიშან-თვისებაა.

როგორც აღვნიშნეთ, ყოველ სხეულს გააჩნია მასა და ენერჯია. მასა - ნივთიერების რაოდენობაა რაიმე სხეულში, ენერჯია - სხეულის (სითბოს, სინათლის, მექანიკური მოძრაობის) დინამიურობის ზომაა, მისი მარაგია. მასა და ენერჯია მჭიდრო ურთიერთკავშირში იმყოფებიან: ყოველი მასა შეიცავს ენერჯის გარკვეულ მარაგს, ხოლო ყოველგვარი ენერჯია მასით (ე. ი. აქვს წონა) განისაზღვრება.

ცნობილია, რომ მოძრაობა ნივთიერებათა (გეოგრაფიული საგნების, ობიექტების) მნიშვნელოვანი და გარდაუვალი ფიზიკური თვისებაა. მისი საფუძველი კი ნივთიერებათა ურთიერთმოქმედების უნარიტაა გამონწვეული. ცხადია, რომ მოძრაობა განუწყვეტელი პროცესია და ბუნების ობიექტების მთლიან სტრუქტურას მოიცავს. ამავე დროს, მოძრავი სხეულების სიჩქარე და მიმართულება სივრცეში, თვით ობიექტების, ურთიერთგანლაგებაზეა დამოკიდებული, ხოლო მათი სტრუქტურის ფორმირება ნივთიერებათა მასებისა და ენერჯის გადაადგილებითაა შეპირობებული.

ბუნებაში ფიზიკურ ურთიერთმოქმედებათა შორის გეოგრაფიული ობიექტებისათვის დამახასიათებელია ელექტრომაგნიტური და გრავიტაციული თანამოქმედებები. პირველი მათგანითაა შეპირობებული ნივთიერებათა გამოსხივება და გათბობა, მოძრაობა და ქიმიური (ფოტოსინთეზი) რეაქციები, ასევე აგრეგატულ მდგომარეობათა ცვლა. რაც შეეხება გრავიტაციას, ის იწვევს ოკეანის წყლების მოქცევა-უკუქცევას,

მდინარეების წყლის ნაკადების არსებობას, ატმოსფეროს ჰაერიდან წვიმის წვეთების, თოვლის ფანტელის ან სეტყვის მარცვლების ქვეფენილ ზედაპირზე ჩამოცვენასა და ა.შ. გრავიტაციითაა განპირობებული ყველაზე გრანდიოზული მოვლენა - ატმოსფეროს შემოკავება დედამიწის გარშემო.

ცხადია, რომ თითოეული მათგანი ბუნებაში მიმდინარე ფიზიკურ მოვლენათა რიგს განეკუთვნება. თუმცა, მხოლოდ და მხოლოდ ფიზიკური კანონებით შეუძლებელია ბუნების ფიზიკურ-გეოგრაფიული პროცესების სრულყოფილი ახსნა. თითოეულ მათგანს თავისი, საკუთარი სპეციფიკა გააჩნია, რაც კონტინენტებისა და ოკეანეების, მთიანეთებისა და ვაკეების, თბილი და ცივი ღინებების, საბოლოოდ - ლანდშაფტური კომპლექსის მთლიანი სისტემის კანონზომიერ განაწილებაშია გამოხატული.

ყოველი გეოგრაფიული ობიექტი მუდმივ მოძრაობაში იმყოფება, რომელთა ნებისმიერი სივრცეობრივი არაერთგვაროვანი გადაადგილება მათი გამომწვევი ენერგიითაა შეპირობებული. ლანდშაფტურ-გეოგრაფიულ სისტემაში ენერგიის შემოსვლის წყაროებს წარმოადგენენ: მზისა და კოსმოსური, ასევე დედამიწის წიაღის სითბური, ან კიდევ, დედამიწა-მთვარის ურთიერთმოქმედების გრავიტაციული ენერგია; ნაწილობრივ, ენერგია წარმოიქმნება აგრეთვე დედამიწის ღერძულ და ორბიტალურ მოძრაობათა შედეგად. აღნიშნულ სისტემაში შემოსულ ენერგიას ასევე მრავალგვარი ნივთიერება შემოაქვს: მზის რადიაციული სითბო, წიაღის ვულკანური წარმონაქმნები და დეგაზაციის პროდუქტები, ოკეანის მოქცევისა და უკუქცევის ტალღებით გამონვეული წყლის დიდი მასების შემოდინება თუ გადინება, ცენტრიდანული ძალებით გამონვეული მინის ეკვატორულ ზოლში წიაღის მასების „ამონევა“...

მუდმივად მოძრავი მასები და ენერგია განუწყვეტელ გარდაქმნებს განიცდის. მოძრაობათა არაერთგვაროვანი გადანაწილება კი ენერგო-მასების გარდაქმნის სხვადასხვა მასშტაბებს ქმნის. მათ შორის, ყველაზე დიდია ჰაერისა და წყლის ნაკადები, რომლებიც ლანდშაფტურ-გეოგრაფიული სისტემის მდგრადი შეკრულობის გამო, მიმოქცევების (წრებრუნვების) სახის მატარებლებია. ნივთიერებათა მიმოქცევების პარალელურად ადგილი აქვს ენერგიის წრებრუნვის აღძვრას. ასე, წყლის აორთქლებასა და მყინვარის დნობას თან ახლავს ენერგიის შთანთქმა, ხოლო ორთქლის კონდენსაციასა და წყლის გაყინვას - სითბური ენერგიის გამოყოფა.

აშკარაა, რომ წრებრუნვებს ბუნებაში კოლოსალური როლის შესრულება უწევთ. ისინი უზრუნველყოფენ ერთი და იგივე პროცესების მრავალჯერადობას (გამეორებებს), მათი ჯამური გამოვლინების მაღალ ეფექტურობასა და გავრცელების საყოველთაობას.

## § 12. ატმოსფერული ენერგო-მასების მიმოქცევის

### გეოგრაფიული გააზრება

დედამიწის ჰაერის გარსში მასებისა (ნივთიერებების) და ენერგიის განუწყვეტელი მიმოქცევა მიმდინარეობს. მათი გენერირება გამოწვეულია მზრუნავ დედამიწაზე, მზის რადიაციის შედეგად, ატმოსფერული მოძრაობის მექანიკურ ენერგიაში გადასვლით, რომელიც მიმდინარეობს ე. წ. სითბური მანქანების (სითბური ენერგიის მექანიკურში გადასვლა) მეშვეობით. სითბური მანქანები შედგება როგორც „გამათბობელის“ (დაბალი განედები), ისე „მაცივრებისაგან“ (პოლარული განედები), რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია ნივთიერებათა თბოშემცველი ნაკადებით.

გეოგრაფიული გარსის მსხვილი სითბური მანქანას ეკვატორულ-პოლარული სისტემა წარმოადგენს. მას პირველი რიგის სითბურ მანქანას უწოდებენ. სწორედ, მასთანაა დაკავშირებული ატმოსფეროს მასშტაბური მოძრაობები. მისი მარტივი მექანიზმი ასე გამოიყურება: ეკვატორული სარტყელი ცხელი ორთქლის ქვაბს, ხოლო პოლუსების „თეთრი ქუდები“ - მაცივრებს წარმოადგენენ. მზის (გამათბობელი) სხივური ენერგია ქვაბში გროვდება და ეკვატორის ჰაერს ათბობს, რომელიც მაღლა აიწევს და მაცივრებისაკენ მიემართება. პოლუსებთან - მაცივრების მიდამოებში თბილი ჰაერი ცივ ჰაერს ათბობს, თვითონ კი სითბოს კარგავს, ცივდება და ძირს ეშვება. სითბოდაკარგული ცივი ჰაერი უკვე ზედაპირული დინებით ეკვატორისაკენ მიემართება და ცხელ ჰაერს აგრილებს. ასე და ამგვარად,

დედამიწის ზედაპირზე წარმოიქმნება კოლოსალური სიდიდის ჰაერის ბორბალი - პლანეტარული წრებრუნვის პირველი რიგის ცირკულაცია.

ამ პლანეტარულ წრებრუნვას საბოლოო ჯამში საკუთარი კონფიგურაციის ძირეული გარდაქმნა ელოდება. დედამიწის ღერძული ბრუნვის შედეგად ჰაერის ეს მოძრავი მასები მათ თავდაპირველად მდგომარეობას ვერ ინარჩუნებენ. ცნობილია, რომ ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში ისინი მარჯვნივ, ხოლო სამხრეთ ნახევარსფეროში - მარცხნივ გადაიხრებიან. ამიტომ, ეკვატორიდან მოძრავი ჰაერი არა ზუსტად ჩრდილოეთით, არამედ ჩრდილო-აღმოსავლეთი მიმართულებით იწყებს გადაადგილდებას. ჰაერის ეს მასები, ეკვატორიდან 30<sup>0</sup>-ის ფარგლებში, მერიდიანულის ნაცლად, უკვე განედურ მიმართულებას (დასავლეთიდან აღმოსავლეთით) იძენენ. ამ ზოლის გასწვრივ, ჰაერის დაგროვება, დედამიწის ზედაპირზე, მაღალი წნევის არეს წარმოქმნის და, აქედან ჰაერი ორივე მხარეს იწყებს გადინებას. ამავე დროს, ორივე მათგანი განიცდის რა დედამიწის ბრუნვის გადამხრელ გავლენას (კორიოლისის ძალა) - ჰაერის ერთი გაცივებული ნაწილი უკან - ეკვატორისაკენ შემობრუნდება და ჩრდილო-დასავლური მიმართულებით ქრის. ცხადია, რომ მას მუდმივი - პასატური ხასიათი აქვს და ატმოსფეროს ცირკულაციის მეორე - პასატური რგოლის დამაგვირგვინებელ მიმოქცევას წარმოადგენს.

ჰაერის მეორე - დანარჩენი მასები ჩრდილოეთისაკენ განაგრძობენ გადინებას. ამ მიმართულებით მოძრაობისას - მათ კორიოლისის ძალა მარჯვნივ გადახრის და, ზომიერ განედებში, ხელს შეუწყობენ სამხრეთ-დასავლური და დასავლური მიმართულების ქართა სისტემის გენერირებას. პოლუსების სექტორში კი ჰაერი გაცივებას განიცდის, ძირს ეშვება და

სამხრეთისაკენ იწყებს გადინებას. ეს უკანასკნელი, იმავე ძალის მოქმედებით, აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ მოძრაობს, ხოლო ზომიერი განედების ჰაერთან შეხვედრისას - მაღლა ადის და კონვექციას განიცდის. ამით, მიღწეულია ჰაერის მასების მესამე რგოლის წრებრუნვა.

დედამიწის ქვეფენილი ზედაპირის განსხვავებული ნიშნები კონტინენტებისა და ოკეანეების არათანაბარ გათბობასთანაა დაკავშირებული. აკი, ხმელეთის ზედაპირული ფენის სითბოტევადობა დაბალია და ის სეზონების მიხედვით ან დღე-ღამის განმავლობაში, სწრაფად თბებიან ან სწრაფად ცივდებიან. ამ მხრივ, აშკარაა ზაფხულობით კონტინენტების შესამჩნევად სწრაფი გათბობა, ხოლო ზამთარში ასევე სწრაფი გადაცივება. ამავე დროს, ოკეანის წყლის მაღალი სითბოტევადობის გამო, მისი ზედაპირული ფენა შუა ზაფხულამდე გათბობას ვერ ასწრებს, ცივი ზამთრის პირობები კიდევ თვეობით გრძელდება და შედარებით ცივია. ზამთრის სეზონში კი ოკეანის წყლის ზედაპირული მასა ზაფხულის სითბოს ღრმა ზამთრამდე ინარჩუნებს და წყლის ფენაც ხმელეთთან შედარებით შესამჩნევად თბილია.

როგორც ჩანს, „პლანეტის მანქანაში“ ისეთი ბუნებრივი მაცივრების დანადგარები და გამათბობელი ქვაბები არსებობენ, რომლებიც სეზონების მიხედვით სხვადასხვაგვარად მუშაობენ: ზამთარში კონტინენტი - მაცივარია, ხოლო ოკეანე - ქვაბი, ზაფხულში კი პირიქით. აქედან გამომდინარე, მეოთხე რიგის სითბური მანქანებისა და შესაბამისი ჩაკეტილი რგოლის წარმოშობა გამომწვეულია კონტინენტებისა და ოკეანეების არაერთგვაროვანი გათბობით, რომელიც, თავის მხრივ, მუსონური ცირკულაციის რგოლის გენერირებას ახდენს: ზაფხულობით ნოტიო ჰაერი ხმელეთისაკენ ინაცვლებს და ხელს

უნყოფს წვიმიანი სეზონის ფორმირებას, ხოლო ზამთრობით - ხმელეთის გადაცივებული და მშრალი ჰაერი ოკეანისკენ ქრის და პირველ მათგანზე უნალექო ამინდებს ქმნის.

ხმელეთისა და მიმდებარე ზღვის აკვატორიის გათბობის არათანაბარი ტემპებიდან გამომდინარე სახეზეა „პლანეტის ადგილობრივი მანქანების“ ფორმირება. თუმცა, ამ მანქანის მუშაობა არა ხანგრძლივ სეზონურ მორიგეობას უკავშირდება, არამედ შედარებით მოკლე - დღე-ღამური მონაცვლეობით ხასიათდება: ღამით ზღვისპირა ხმელეთი - მაცივარს წარმოადგენს, ხოლო ზღვა - ქვების როლს ასრულებს. დღისით - ხმელეთი სწრაფად თბება და მისი ზედაპირი ქვების ფუნქციას იძენს, წყლის აკვატორია კი ცივი ღამის ნიშნებს ატარებს. ასე და ამგვარად, ბრიზების ფორმირებით გამოწვეულია უფრო დაბალი რანგის „სითბური მანქანა“, რაც ადგილობრივი ცირკულაციის მცირე რგოლის წარმოქმნას იწვევს.

ბუნებაში ცნობილია მრავალი დაბალი რანგის სითბური მანქანები, რომლებიც ბუნებრივი კონტრასტებითაა (წყალსატევი - სანაპირო ხმელეთი, მთები - ვაკეები, მყინვარი - მიმდებარე ტყე-ველი) განპირობებული. თითოეული ასეთი კონტრასტი, ერთგვარ - დაბალი რანგის სითბურ მანქანას წარმოადგენს. ამავე დროს, განხილული სქემის მიხედვით აშკარად ჩანს პირობითად ჩაკეტილი რგოლების საკმაოდ დიდი სიმრავლე. თუმცა, ბუნებაში ისინი ერთმანეთისაგან იზოლირებული სრულიადაც არ არიან. ასე, მაგალითად, ეკვატორული ჰაერი ზოგჯერ პასატური რგოლის ფარგლებშიც და, მისი გავლით, საკმაოდ შორს (პოლუსებამდეც კი) იჭრება. ან კიდევ, არც თუ იშვიათად, ხმელთაშუა ზღვის სანაპიროებზე არქტიკული ცივი ქარების შემოჭრასა და ბალებში მცენარეთა წაყინვებს აქვს ადგილი.

აღნიშნულის მიუხედავად, თითოეული რგოლი და მათი სიმრავლე ერთიან სისტემურ კავშირში იმყოფებიან და საერთო მექანიზმით მოქმედებენ. აკი, ქარები მხოლოდ ერთგვარი მარშრუტით არ მოძრაობენ, არამედ ხშირად იცვლიან გავრცელების არეალს, იჭრებიან ერთმანეთის ფარგლებში, იცვლიან შინაგან ბუნებასა და გარეგან იერ-სახეს. ამავე დროს, ხანგრძლივი დროის განმავლობაში, მათი საშუალო მდგომარეობა მუდმივია და, მცირე დროითი ცვლილებების მიუხედავად, ზოგადი ცირკულაციური ნიშნების აშკარა მატარებელია.

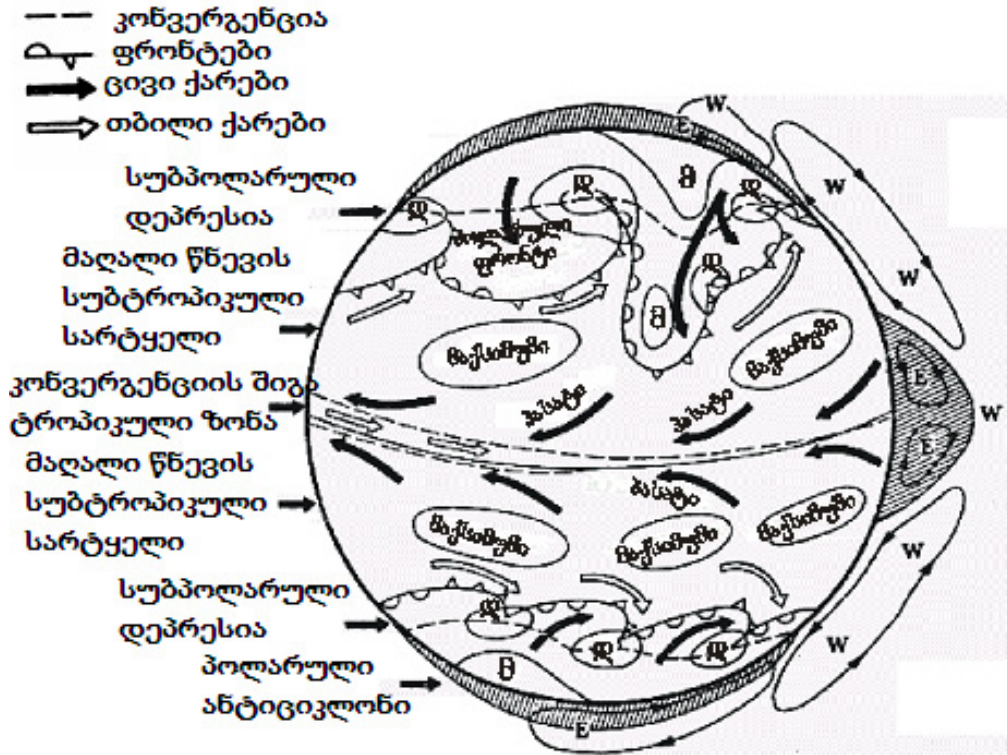
დედამიწის ზედაპირის თბილ რეგიონებში ადგილი აქვს დაბალი ატმოსფერული წნევის არეალების ფორმირებას. მაღალი წნევის არეალებს პირიქით - ცივი რეგიონები შეესაბამება. ამასთან ერთად, სრულიად საწინააღმდეგო სურათი იქმნება იმავე არეების თავზე - ტროპოსფეროს მაღალ ფენებში. ამდენად, ატმოსფეროში სითბოსა და წნევის არათანაბრობა ცირკულაციის ვერტიკალური კონვექციური ნაკადების - ელემენტარული „ვერტიკალური სითბური მანქანების“ ფორმირებას განაპირობებს.

ჰაერის მსხვილი წრიული ვერტიკალური ცირკულაცია ძირითადად დაბალ განედებზე მიმდინარეობს: ეკვატორულ ზოლში თბილი ჰაერი მძლავრ კონვექციას განიცდის. ტროპოსფეროს მაღალ ფენებში ის ტროპიკებისაკენ გადაადგილდება და ანტიპასატურ დინებას იწყებს. ტროპიკების თავზე კი, 30-35<sup>0</sup>-იან პარალელებზე, მაღალი წნევის გამო, ჰაერი ძირს ეშვება და, უკვე დედამიწის ზედაპირზე, ეკვატორისაკენ (პასატები) მიემართება.

ატმოსფერული ცირკულაცია არა მხოლოდ დაბალ განედებს, არამედ მთელ დედამიწას მოიცავს. მისი მიზეზია ე. წ. თერმული ფაქტორი, ანუ

ატმოსფეროში სითბოსა და, საბოლოო ჯამში, ატმოსფერული წნევის (ბარიული ფაქტორი) არათანაბარი განაწილება. ამასთან, დედამიწის ლერძის გარშემო ბრუნვისა (კორიოლისის ძალა) და უსწორმასწორო ზედაპირზე ხახუნის გამო, ატმოსფერული ცირკულაცია საკმაოდ რთულ სტრუქტურას ღებულობს.

ატმოსფერული წნევის საშუალო მრავალწლიური ანალიზის საფუძველზე შეიძლება დავინახოთ, ჰაერის გიგანტური მოძრაობათა მექანიზმი და გაბატონებული ქარების გავრცელების სურათი. ორივე მათგანი საკმაოდ რთული და თითქოს ქაოსური ხასიათისაა, თუმცა მათი ნიშნები გეოგრაფიულ კანონზომიერებას ემორჩილება. ამ მხრივ, ორი ძირითადი კანონზომიერების გამოვლინება შეიძლება შევნიშნოთ: პირველი - **განედური ზონალურობაა**, მეორე კი ოკეანე - კონტინენტის სისტემის მიერ შექმნილი **სექტორულობაა**. განედური ზონალურობის ზოგადი სურათი მარტივია: მაღალი და დაბალი ატმოსფერული წნევები, ეკვატორიდან პოლუსების მიმართულებით, ერთმანეთს ენაცვლებიან: ეკვატორულ ზოლში წნევა უფრო დაბალია, ვიდრე მომიჯნავე ტროპიკულ და სუბტროპიკულ არეებში; საშუალო და სუბპოლარულ განედებში კვლავ დაბალი წნევის არეებია გამეფებული, ხოლო პოლუსებთან (პოლარულ მხარეებში) ჰაერის წნევა ისევ მატულობს.



ნახ. 12.1. ატმოსფეროს ცირკულაციური სისტემების სქემა. (ხედი ზემოდან)<sup>1</sup>

ატმოსფერული წნევის განაწილების ამგვარი სურათის შესაბამისად, ადგილი აქვს ქართა სისტემის ფორმირებას. დაბალი განედების პასატური ცირკულაცია იცვლება ზომიერი სარტყლების ჰაერის დასავლური გადატანით, ხოლო პოლარულ მხარეებში აღმოსავლური ქარებია გავრცელებული. ცხადია, რომ ეს მარტივი სურათი, სინამდვილეში საკმაოდ რთული სტრუქტურისაა (ნახ.12.1) და რეალურად, მის მხოლოდ, ცალკეულ მომენტებს

<sup>1</sup> მარჯვნივ - მერედიანული ჭრილი. E და W - ქარების ჰორიზონტული მდგენელები. აღმოსავლური ქარების არეალები დაშტრიხულია. ჩრდ. სუბპოლარული დეპრესიის არეში გამოსახულია მიმოცვლის ჰორიზონტული ფორმა. სამხრეთში - მიმოცვლა ზონალურია. დ - დაბალი წნევის, მ - მაღალი წნევის არეალები

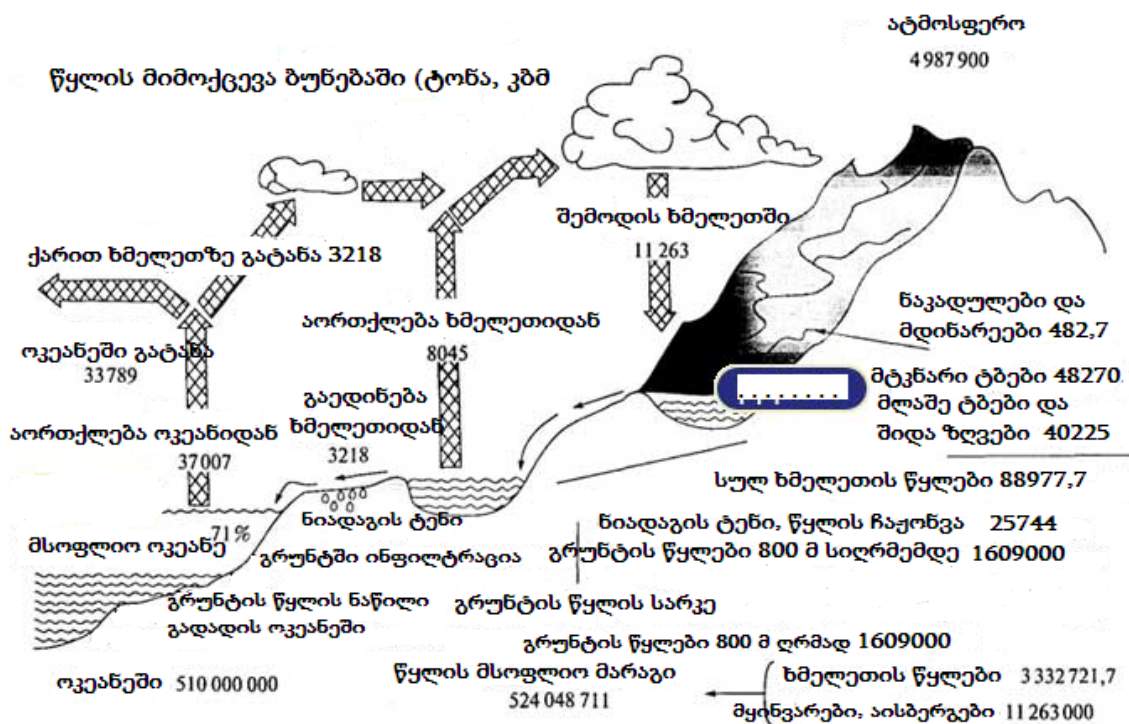
ან ზოგად ნიშნებს ემთხვევა. საშუალო და მაღალ განედებში ჰაერის დიდი მასშტაბების გადატანა კორიანტელისებური ნაკადების სახით მიმდინარეობს. ისინი ციკლონებსა და ანტიციკლონებს ქმნიან.

ჰაერის მუდმივი გადატანის მიუხედავად, ატმოსფერო წონასწორობის მდგომარეობას ინარჩუნებს. აღნიშნული მოძრაობები ერთმანეთთან ორგანულადაა დაკავშირებული და, საბოლოო ჯამში, გიგანტურ ატმოსფერულ წრებრუნვებს წარმოშობენ. ამასთან ერთად, ატმოსფეროს მექანიკური ენერგია თანდათანობით სითბურში გადადის, რომლის ნაწილი ბოლოს ისევ დედამიწაზე ბრუნდება და ნაწილობრივ ოკეანის ზედაპირს გადაეცემა, ხოლო დანარჩენი უფრო მაღალ ფენებში იფანტება.

ამრიგად, როგორც მოტანილი მსჯელობიდან ჩანს, ატმოსფერული ცირკულაციის მამოძრავებელ ძალებს ძირითადად დედამიწის ბრუნვისა და მის ზედაპირზე მზის რადიაციის მუდმივი შემოსვლის განუწყვეტელი პროცესები და მათი ურთიერთობები წარმოადგენენ. მათ გარეშე კი ატმოსფერული ცირკულაცია ვერც ჩამოყალიბდებოდა და, თანამედროვე ფორმით არსებობის შემთხვევაში, რამდენიმე დღეში, სწრაფად შეწყვეტდა თავის არსებობას.

### **§ 13. ხმელეთის წყლების წრებრუნვები და მათი ერთიანი სისტემა**

მზის სისტემაში და, სავარაუდოდ, მის ახლო კოსმოსურ სივრცეში, დედამიწის უნიკალურობის ერთ-ერთ ნიშანს წყლის არსებობა წარმოადგენს. პლანეტის ზედაპირის 61 % სწორედ წყალს უკავია. ამავე დროს, მას სამ აგრეგატულ მდგომარეობაში ვხვდებით, რაც წყლის მრავალფეროვნებასა და მის განსაკუთრებულ როლზე მიუთითებს. ამასთან ერთად, წყალი განუწყვეტელ მოძრაობასა და მიმოქცევაში (წრებრუნვაში) იმყოფება. ამ მოვლენების მამოძრავებელ ძალებს, პირველ რიგში, მზის სითბური ენერგია



და გრავიტაციის ძალები წარმოადგენენ.

ნახ. 13.1. წყლის წრებრუნვის სქემა დედამიწაზე

პლანეტის ხმელეთის წყლების ერთიანი მიმოქცევა ლანდშაფტურ-გეოგრაფიული სისტემის ერთ-ერთი ძირითადი და უმნიშვნელოვანესი

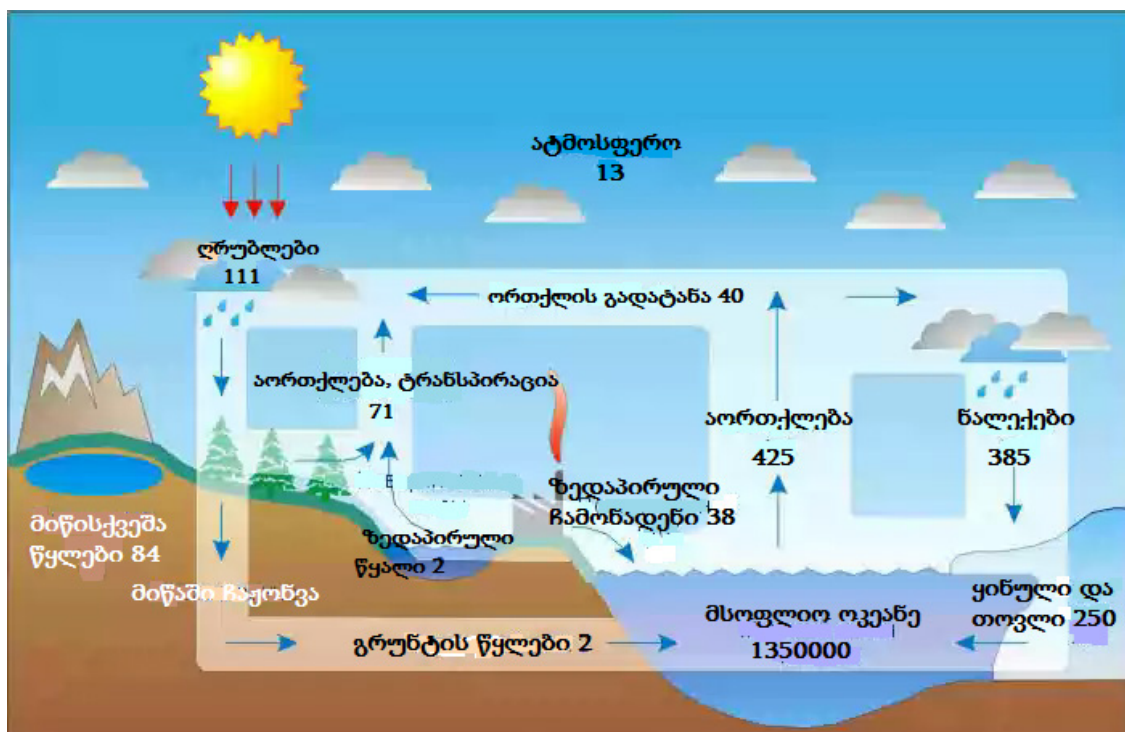
მოვლენაა. სწორედ, წყლის მიმოცვლასთანაა დაკავშირებული ხმელეთის ზედაპირის გარდაქმნა, მინერალური ნივთიერებისა და სითბური ენერჯის გადატანა, მდინარეებისა და მიწისქვეშა წყლის ნაკადების არსებობა, მცენარეულობისა და ცხოველთა სამყაროს ზრდა-განვითარება, ნიადაგების ფორმირება და, საბოლოო ჯამში, ბუნებრივი კომპლექსების ჩამოყალიბება.

განასხვავებენ ბუნებრივი წყლების მცირე და დიდ (ნახ.13.1) მიმოქცევებს, რომელთა მამოძავებელ ძალებს ბუნების შემდეგი ნიშნები და უნარები განსაზღვრავენ: წყლის ორთქლის გარკვეული მასა (4 987 900 ტ) ყოველთვის იმყოფება ატმოსფეროში; ოკეანური წრებრუნვის შემადგენელ ნაწილებს წარმოადგენენ - ოკეანიდან წყლის აორთქლება (37 007 ტ); ამ მოცულობის ორთქლიდან ოკეანურ ატმოსფერულ ჰაერში 33789 ტ წყლის ორთქლის მუდმივი არსებობა; დანარჩენი 3 218 ტ ორთქლის ქარების მიერ ხმელეთზე გადატანა; ოკეანურ ჰაერში გადატანილი წყლის ორთქლის (33789 ტ), ატმოსფერული ნალექების სახით, ისევ ოკეანის ზედაპირზე დაბრუნება; ოკეანიდან აორთქლებული წყლის ორთქლის (3 218 ტ), ჰაერის დინებების მიერ ხმელეთზე გადატანა, რომლის შევსება სრულდება ხმელეთის ზედაპირიდან აორთქლებული წყლის (8045 ტ) ორთქლის მიერ.

ამდენად, ხმელეთურ ატმოსფერულ ჰაერში ორთქლის ჯამური (3 218 ტ + 8 045 ტ) რაოდენობა 11 263 ტ შეადგენს; ცხადია, რომ ეს ორთქლი, ჰაერის გაცივებისას, კონდენსაციას განიცდის და ხმელეთზე ზედაპირული წყლების ჩამონადენის ფორმირებას იწვევს, ნაწილი კი ნიადაგ-გრუნტში ჩაჟონვის შედეგად, მიწისქვეშა ჩამონადენს ქმნის. რაც შეეხება, საკუთრივ დედამიწის ზედაპირზე ფორმირებულ წყლის ნაკადების - მდინარეებისა და ნაკადულების ჯამურ ჩამონადენს (3 218 ტ) - ის ისევ ოკეანისაკენ მიედინება

და, ხმელეთის სხვა წყლებთან ერთად, დიდი წრებრუნვის ერთ-ერთ მთავარ კომპონენტს წარმოადგენს.

ბუნებაში წყლის მიმოქცევის აღწერილი სქემა წინით ერთეულებშია წარმოდგენილი. ამ მოვლენის სრული აღქმის მიზნით მოვიტანთ მეორე (ნახ. 13. 2) სქემას, სადაც უკვე სხვა ავტორების მიერ წრებრუნვის მსვლელობა უფრო აშკარაა და, ტანაც მოცულობით ერთეულებშია წარმოდგენილი. ამ მარტივი სქემის ადვილად აღქმის გამო, ავტორი მისი დეტალების აღწერისაგან თავს იკავებს და მისი შინაარსის ათვისებას მკითხველის



მიანდობს.

ნახ. 13.2. დედამიწის ბუნებრივი წყლების მიმოქცევის (ბალანსის) სქემა. ციფრები მოცემულია ათას კმ<sup>3</sup>-ში.

ბუნებაში წყლის წრებრუნვების მიმდინარეობა დაკავშირებულია მისი ნაკადის სიჩქარეზე, რომელიც უმთავრესად დამოკიდებულია (ცხრილი, 13.1) ბუნებრივი წყლის აგრეგატულ მდგომარეობასა და წყალსატევის ხასიათზე. ტენის საერთო ბრუნვაში ყველაზე მოძრავი - ატმოსფერული წყალია. აქ, წყლის შემცველობა 13 ათასი კმ<sup>3</sup>-ია, ხოლო ატმოსფერული ნალექების წლიური რაოდენობა 496 ათას კმ<sup>3</sup>-ს შეადგენს. მაშასადამე, ტენის შემცველობა ატმოსფეროში წელიწადში 42-ჯერ, ანუ ყოველ 8 დღე-ღამეში იცვლება. ამ მოცულობის წყლის აორთქლებაზე იხარჯება დედამიწაზე შემოსული მზის ენერჯის 20%-ზე ოდნავ მეტი, თუმცა დახარჯული სითბო (600 კალ გრ-1) ისევ გამოიყოფა წყლის ორთქლის კონდენსაციის დროს.

ცხრილი 13.1.

წყლის მარაგების განახლების პერიოდები

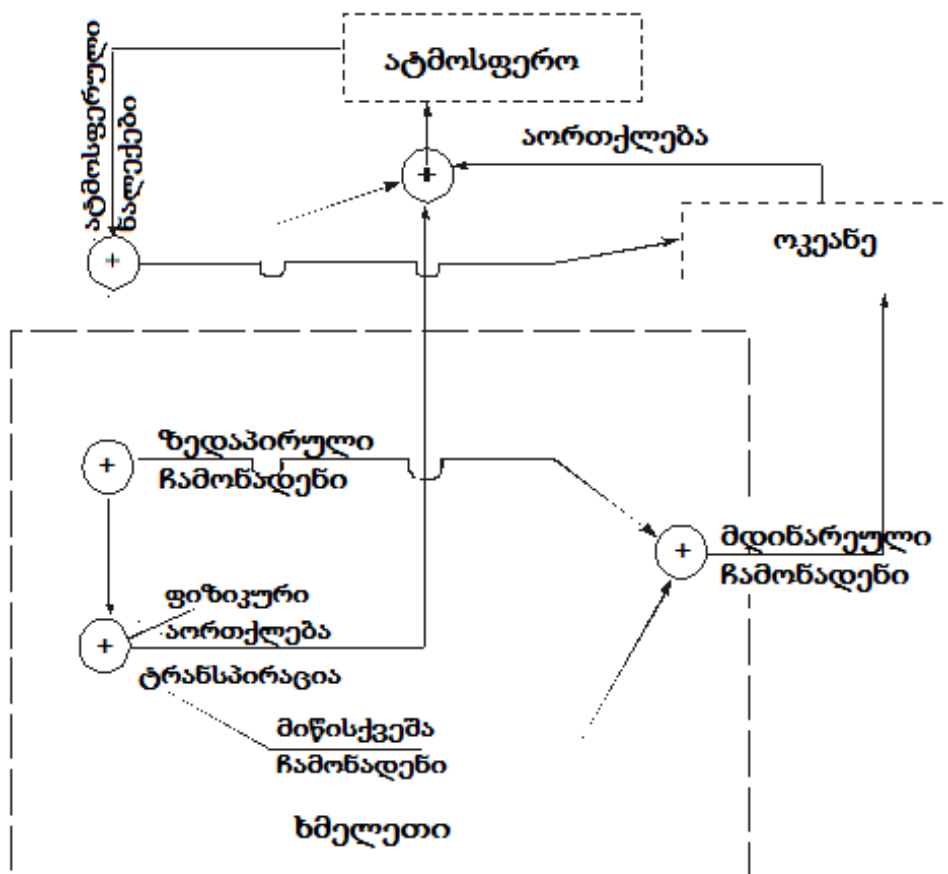
წყლის სახეები	წყლის განახლების პერიოდი
მსოფლიო ოკეანე	2500 წწ
მინისქვეშა წყლები	1400 წწ
ნიადაგის ტენი	1 წწ
პოლარული მყინვარები და მუდმივი თოვლის საბურველი	9700 წწ
მალალმთიანი მყინვარები	1600 წწ
მუდმივი მზრალობის არელების მინისქვეშა მყინვარები	10 000 წწ
ტბების წყლები	17 წწ
ჭაობების წყლები	5 წწ
მდინარეული წყლები	16 დღე-ღამე

ბიოლოგიური წყლები	რამდენიმე საათი
ატმოსფერული ტენი	8 ღღე-რამე

მარტივი გამოთვლებით შეიძლება დავადასტუროთ, რომ დედამიწის მდინარეების სადინარებში ერთდროულად არსებული წყლის მოცულობა მთლიანად იცვლება დაახლოებით ორი კვირის განმავლობაში. ზღვებსა და ოკეანეებში მოქცეული წყლის მასების შეცვლას კი 2 500 წელიწადი დაჭირდება. თანამედროვე საფარისებურ და მთიანეთების ფარგლებში მოქცეული მყინვარებში დაცული წყლის სრული მიმოცვლა, შესაბამისად 9700 და 1600 წწ განმავლობაში მიმდინარეობს. ამასთან ერთად, მხედველობაში უნდა მივიღოთ ხმელეთის ზედაპირის მყარ საბურველში (თოვლის საფარი და მყინვარები) დაცული ტენის წყლის საერთო წრებრუნვიდან რამდენადმე ამოვარდნა, რაც მყინვარებსა და თოვლის საფარში წყლის დროებით „შეჩერება-განამარხებასთანაა“ დაკავშირებული: როგორც უკვე ვნახეთ, მთების მყინვარებში წყლის მასის შეკავება საუკუნეებს მოითვლის, ხოლო მყინვარულ ფარებში - რამდენიმე ათასი წლით განისაზღვრება.

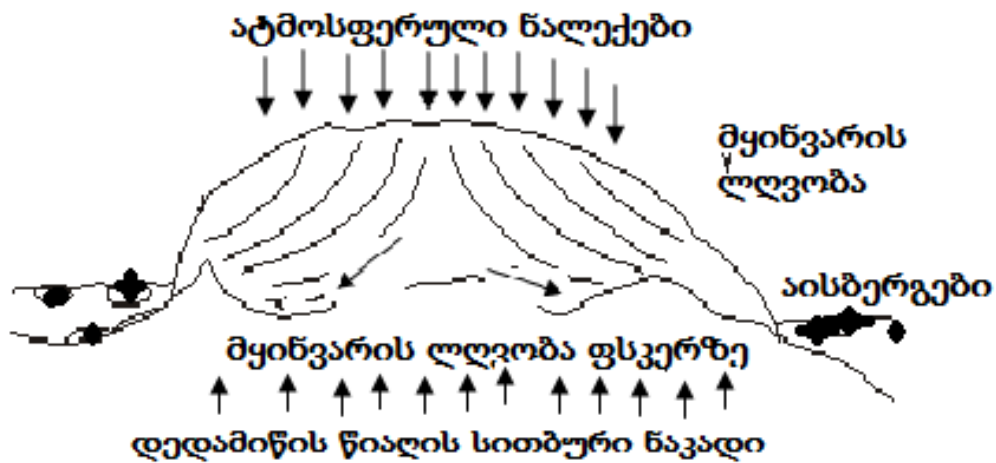
ცხრილი 13.1-დან აშკარად ჩანს, რომ ბუნებაში წყლის წრებრუნვა ძალიან სწრაფად (რამდენიმე საათი) მხოლოდ ცოცხალ ორგანიზმებში მიმდინარეობს. ატმოსფერულ და ხმელეთის წყლებში კი წყლის მიმოცვლა შედარებით მეტ დროს მოითხოვს, არცთუ იშვიათად კი, თვეობით და წლობით განისაზღვრება. თუმცა, წყლების განახლების სიჩქარე მყინვარულ საფარებში საკმაოდ ხანგრძლივი პროცესია. ასეული და ათასეული წლებით განისაზღვრება მიმოცვლის სიჩქარე მინისქვეშა და, განსაკუთრებით, მსოფლიო ოკეანის წყლებში.

ბუნებაში წყლის წრებრუნვა სამი ერთმანეთისაგან განსხვავებული რგოლის (კონტინენტური, ოკეანური და ატმოსფერული) გავლას ახერხებს. წყლის მიმოქცევის კონტინენტურ უბანზე (ნახ. 13. 3) ატმოსფერული ნალექების ნაწილი ნიადაგ-გრუნტში ვერტიკალური მიმართულებით მოძრაობის (ჩაუონვის) შედეგად მონაწილეობას ღებულობს მიწისქვეშა ჩამონადენის ფორმირებაში. ნალექების დანარჩენი ნაწილი, რელიეფის დახრილობის მიმართულებით, ხმელეთის ზედაპირზე იწყებს მოძრაობას და, გრავიტაციის გავლენით, მდინარეული ნაკადების რთული ქსელის ჩამოყალიბებას განაპირობებს.



**ნახ. 13. 3.** წყლის წრებრუნვა. ნივთიერებათა ნაკადების პრინციპული სქემა  
(პლუსი - ნაკადების შეჯამების მაჩვენებელია)

მინისქვეშა წყლების ნაწილი, ფესვთა სისტემის მეშვეობით, მცენარეთა საზრდოობაში ღებულობს მონაწილეობას. მისი მნიშვნელოვანი ნაწილი, ტრანსპირაციას განიცდის და ისევ უბრუნდება ატმოსფეროს. დანარჩენი წყალი, კაპილარული მოვლენის საშუალებით, მინის ზედაპირამდე ამოიწევა და ჩვეულებრივ აორთქლებას განიცდის. მინისქვეშა წყლების ნიადაგქვეშა ნაწილი უფრო ღრმა ჰორიზონტებში აღწევს ჩასვლას და წყაროების სახით ფერდობებზე, ან კიდევ ტბებისა და ზღვების ფსკერებზე იწყებენ გამოსვლას.



**ნახ. 13.4.** კონტინენტური (ანტარქტიდა) მცენარული მასის ბიოჯეტის სქემა  
(ა. კაპიცას მიხედვით, 1970)

კონტინენტური მცენარული – ანტარქტიდისა და გრენლანდიის ფარების საკმაოდ ფართო გავრცელებისა და შთამბეჭდავი (4,0-4,1 კმ)

სიმძლავრის პირობებში, თავიანთი სიმძიმის გამო, ასევე მათი პლასტიკური უნარიდან გამომდინარე, ეს სხეულები ცენტრიდან პერიფერიებისაკენ საკმაოდ ნელა, მაგრამ მუდმივად მოძრაობენ. ცხადია, რომ ამ დროს მყინვარების მუდმივ კვებასა და განახლებას აქვს ადგილი. მყინვარების „ახალი ულუფების“ ფორმირება მყარი ატმოსფერული ნალექების მიერ ხორციელდება. აქედან გამომდინარე, მყინვარის მასის ჭარბი დაგროვება და ამ პლასტიკური სხეულის წონასწორობის შენარჩუნების უნარი, მისი მოძრაობის (ნახ. 13. 4) მუდმივობას განაპირობებს.

მაღალი განედების ნივალური არეალებში, ხმელეთის მყინვართა კიდეების ზოლში, (ოკეანეთა სანაპიროზე) მონატეხი დიდი ზომის ყინულის ლოდები - აისბერგებს (სურ. 13.1) წარმოქმნის, რომლის დნობის შედეგად მსოფლიო ოკეანეს ისევ უბრუნდება მის მიერ გაცემული წყლის მასა. თუმცა, კონტინენტურ მყინვარებში დაცული წყლის მასის მიმოცვლა მუდმივი სრულებით არ არის. ასე, მაგალითად, მეოთხეული გამყინვარების დროს ოკეანის წყალი მყინვარულ საფარებში ხანგრძლივად იყო „განამარხებული“ და უმთავრესად პოლარულ არეში იყო თავმოყრილი. დათბობის ეპოქაში პოლარული მყინვარებისაგან თითქმის არათფერი დარჩა.



სურ. 13. 1. პოლარული მხარე. ხმელეთის მყინვარული ზედაპირიდან მონატეხი დიდი ზომის ყინულის ლოდი - აისბერგი

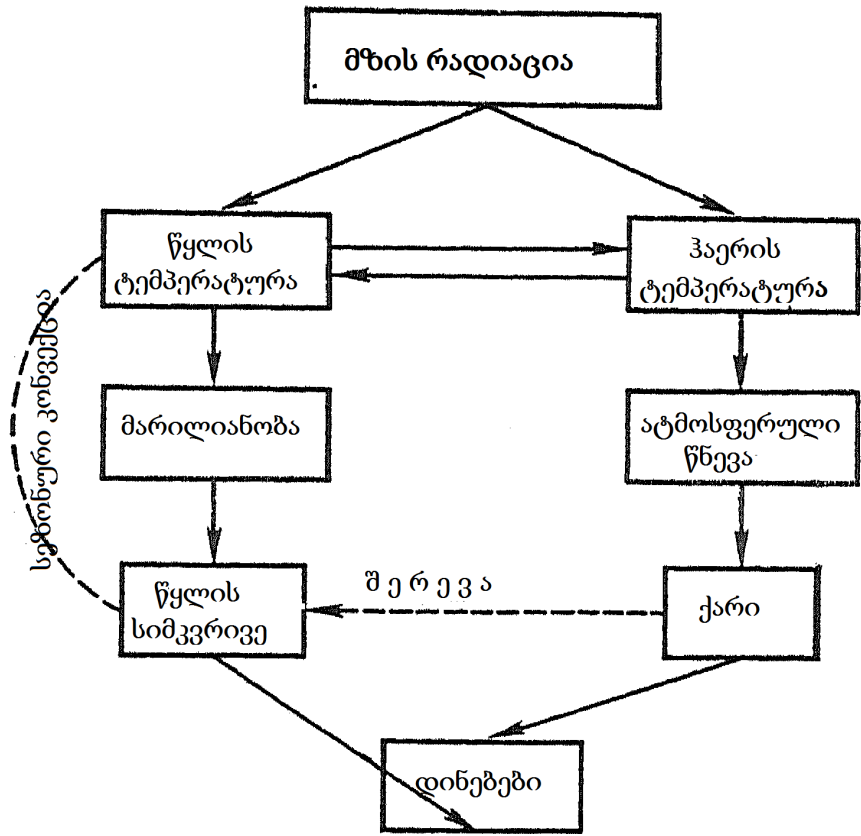
ამჟამად, დედამიწაზე გამყინვარების შემდგომი დათბობის პერიოდი დგას, თუმცა მყინვარები ჯერ კიდევ მნიშვნელოვანი გავრცელებით ხასიათდება. გამოთვლილია, რომ ანტარქტიდისა და გრენლანდიის მყინვარული საფარების ერთდროული გადნობის შემთხვევაში მსოფლიო ოკეანის დონემ 60 მ-ით უნდა აიწიოს, ხოლო მისი ფართობი 20 მლნ. კმ<sup>2</sup>-ით უნდა გაიზარდოს. ცხადია, რომ დედამიწის ამგვარი, კოლოსალური ცვლილებები მის ბუნებაზე მკაფიო ანაბეჭდებს დატოვებს. მათ შესახებ მონოგრაფიის მომდევნო თავებში გვექნება საუბარი.

#### **§ 14. ოკეანური წყლების წრებრუნვების ერთიანი სისტემა**

ოკეანური წრებრუნვები მოძრაობებისა და მიმოქცევების ფართო არენაა. დროის მიხედვით მიმოქცევები ფართო ღიაჰაზონში იცვლება და ხანმოკლე (ნამები, წუთები, საათები, ან კვირეები) დროიდან რამდენიმე ასეული წლებით განისაზღვრება. რაც შეეხება ოკეანური წყლების მიმოქცევების სივრცებრივ მასშტაბებს, მათი სიდიდეები ერთეული მილიმეტრებიდან ათასეული კილომეტრობით იზომება. აღნიშნული პარამეტრების მქონე ოკეანური წყლების მიმოქცევების მაგალითებია

მოქცევა-უკუქცევის მოვლენა, ოკეანური დინებები, ტალღური ფაზების მიმოცვლა და ა.შ.

წყლის მოძრაობის სახეებს შორის ზღვებისა და ოკეანეების დინებებში ყველაზე აშკარად აისახება იმ დინამიკური პროცესების მრავალფეროვნება და სირთულე, რომელთა მიმდინარეობას ჰიდროსფეროს ამა თუ იმ ნაწილში აქვს ადგილი. სწორედ, ისინი ახდენენ ოკეანის წყალსა და ტროპოსფეროს ჰაერს შორის თერმიული ურთიერთმოქმედებების სინთეზს. ამ ფაქტორების ურთიერთობათა შედეგად ყალიბდება შიდა სისტემური კავშირები. ისინი განსაზღვრავენ წყლის ფიზიკურ-ქიმიურ ასპექტებს - ტემპერატურასა და მარილიანობას, ასევე ორგანულ კავშირებს დასახელებულ ფიზიკურ სიდიდეებსა და მის ფიზიკურ სიმკვრივეს შორის. ამ სიდიდეების მჭიდრო ურთიერთობების შედეგად, საბოლოო ჯამში, ატმოსფეროსა და ჰიდროსფეროს შორის (ნახ. 14. 1) ერთიანი დინამიური ჯაჭვის ფორმირება ხორციელდება.



ნახ. 14. 1. ოკეანური დინებების გენერირების პრინციპული სქემა. ფიზიკური მახასიათებლებისა და ფაქტორების ურთიერთკავშირები

ოკეანური დინებების განმსაზღვრელი ფიზიკური მახასიათებლებისა და ფაქტორების ურთიერთკავშირების პრინციპული სქემის (ნახ. 14. 1) მარჯვენა ნაწილში ნაჩვენებია წყლის დინებებზე ტროპოსფერული ჰაერის ზემოქმედება, რომელიც შემდეგი ფაქტორების კავშირების ჯაჭვზე გადის: ჰაერის ტემპერატურა → ატმოსფერული წნევა → ქარი. ატმოსფერული ჰაერის მოძრაობისას - პირდაპირი ზემოქმედება ოკეანეთა ზედაპირულ წყლებზე

ინვეს ფრიქციული<sup>2</sup> დინებების (დრეიფული და ქარული) გენერირებას, რომლის ენერგეტიკულ წყაროს მოძრავი ჰაერის მიერ წყლის ზედაპირზე ხახუნი წარმოადგენს. მისი ზემოქმედებით ადგილი აქვს წყლის ზედაპირული ფენის მოძრაობაში მოყვანას, რაც ოკეანის უმთავრესად ზედა ფენის (100-200 მ სიღრმემდე) ფარგლებშია გავრცელებული.

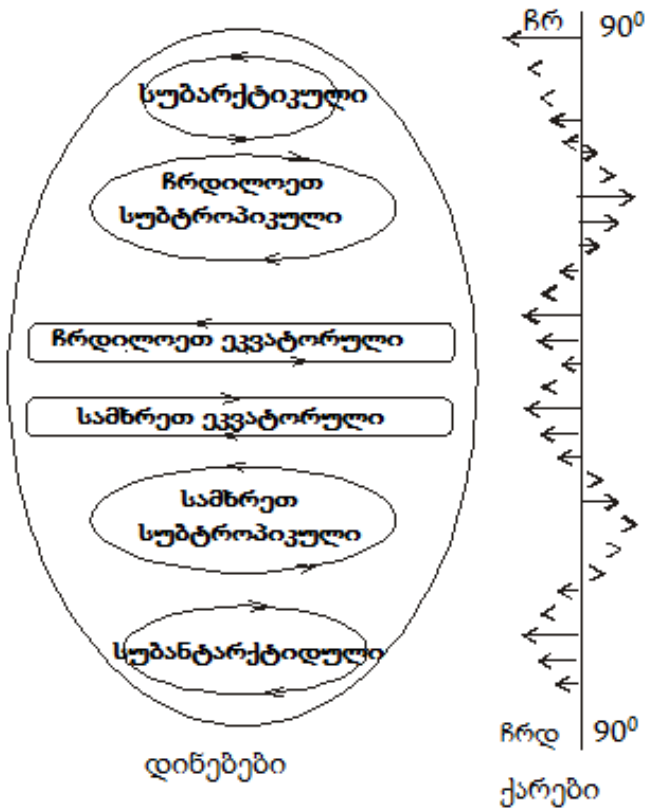
აღნიშნულის გათვალისწინებით, თუკი წარმოვიდგენთ ჰიპოთეტურ ოკეანეს, რომელსაც დედამიწის ჩრდილოეთი და სამხრეთი პოლუსებს შორის უწყვეტი გავრცელება ახასითებთ, და მის ზედაპირზე მოვახდენთ ატმოსფერული ქარების გენერალიზებული სქემის განფენას, მაშინ კორიოლისის გადამხრელი ძალის გათვალისწინებით, ოკეანური დინებების ექვსი ჩაკეტილი პარალელური რგოლის (ნახ. 14. 2) განლაგებას მივიღებთ: 1-2). ჩრდილოეთი და სამხრეთი ეკვატორული, 3-4). ჩრდილოეთი და სამხრეთი სუბტროპიკული, 5-6). სუბარქტიკული და სუბანტარქტიდული დინებები.

ოკეანური წყლების ცირკულაცია - მოძრაობათა მსხვილმასშტაბიანი სისტემაა. მათი უმრავლესობა ძირითადად ქარების მიერაა ფორმირებული. ამიტომ, ოკეანეების ზედაპირული წყლების ცირკულაციასა და ქართა სისტემას შორის - ორგანულად შეკავშირებული და მჭიდრო კავშირების არსებობა შეინიშნება. ზედაპირული დინებების ზოგადი სურათიდან აშკარად ჩანს, რომ ოკეანის წყლების ცირკულაციაში ანუ წრებრუნებებში ზოგადი სისტემური (ნახ. 14. 2) ნიშნების არსებობას აქვს ადგილი. მათ შორის, ყველაზე დიდი წრეები ეკვატორსა და 40<sup>0</sup>-იან პარალელებს შორისაა გავრცელებული. ამავე დროს, თითოეული მათგანი, კორიოლისის ძალით, ჩრდილოეთ

---

<sup>2</sup> ფრიქციული (ლათ. Frictio, ხახუნი) - მოქმედი ხახუნის მეშვეობით.

ნახევარსფეროში გადახრილია საათის ისრის ბრუნვის (ანუ მარჯვნივ) მიმართულებით, ხოლო სამხრეთ ნახევარსფეროში პირიქით - საპირისპირო მხარისაკენ (მარცხნივ) მიემართება.



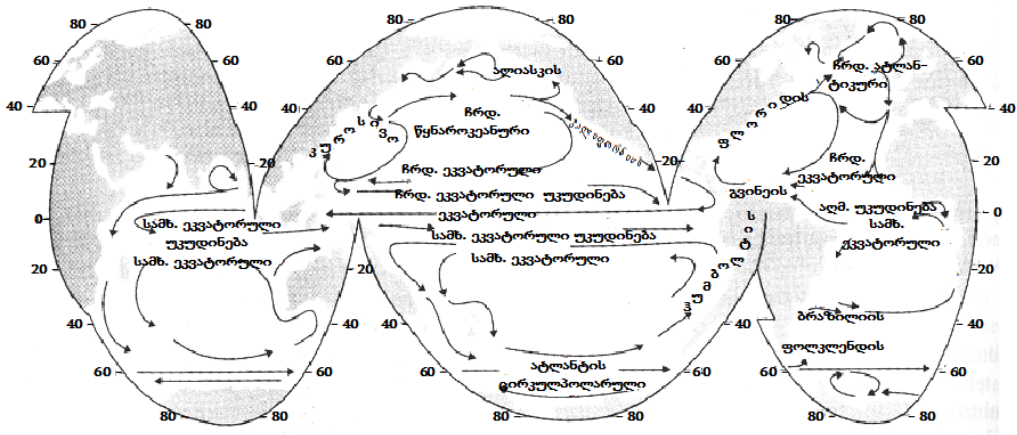
ნახ. 14. 2. ოკეანის ზედაპირის ჰიპოთეტური დინებების სქემა.

ორივე შემთხვევაში, დინებათა მიერ გავლილი წრეები სუბტროპიკული ანტიციკლონების გარშემო არიან გავრცელებული და, თავის მხრივ, წრიული მოხაზულობის არეალებს ქმნიან: დინებების მიერ გამოწვეული ცირკულაციის

პირველი რგოლი სარგასის ზღვის გარშემო არსებული დინებათა (ნახ. 14. 3 და 4) სისტემა.

ამ ზღვას დასავლეთით ანტილისა და გოლფსტრიმის, აღმოსავლეთით - კანარის, ხოლო სამხრეთით - ჩრდილო პასატური დინებები აკრავს; მეორე რგოლი წყნარი ოკეანის ჩრდილოეთ ნაწილშია წარმოდგენილი. მისი სამხრეთი საზღვარი ჩრდილო პასატურ დინებას გასდევს, დასავლეთით - კუროსიო საზღვრავს, რომელიც ჩრდილოეთ წყნაროკეანურ დინებას უერთდება, ხოლო აღმოსავლეთით კალიფორნიის ცივ დინებაში გადადის.

ცირკულაციის მესამე რგოლი ატლანტის ოკეანის სამხრეთ ნაწილში მდებარეობს. ამ რგოლის აღმოსავლეთ კიდებზე ბრაზილიის თბილი დინება სამხრული მიმართულებისაა, ხოლო ჩრდილოეთით - პასატური დინებაა გავრცელებული. ამავე წრის აღმოსავლურ პერიფერიაზე ბენგალიის დინება, ხოლო სამხრეთით - დასავლური ქარების ცივი დინებაა წარმოდგენილი,

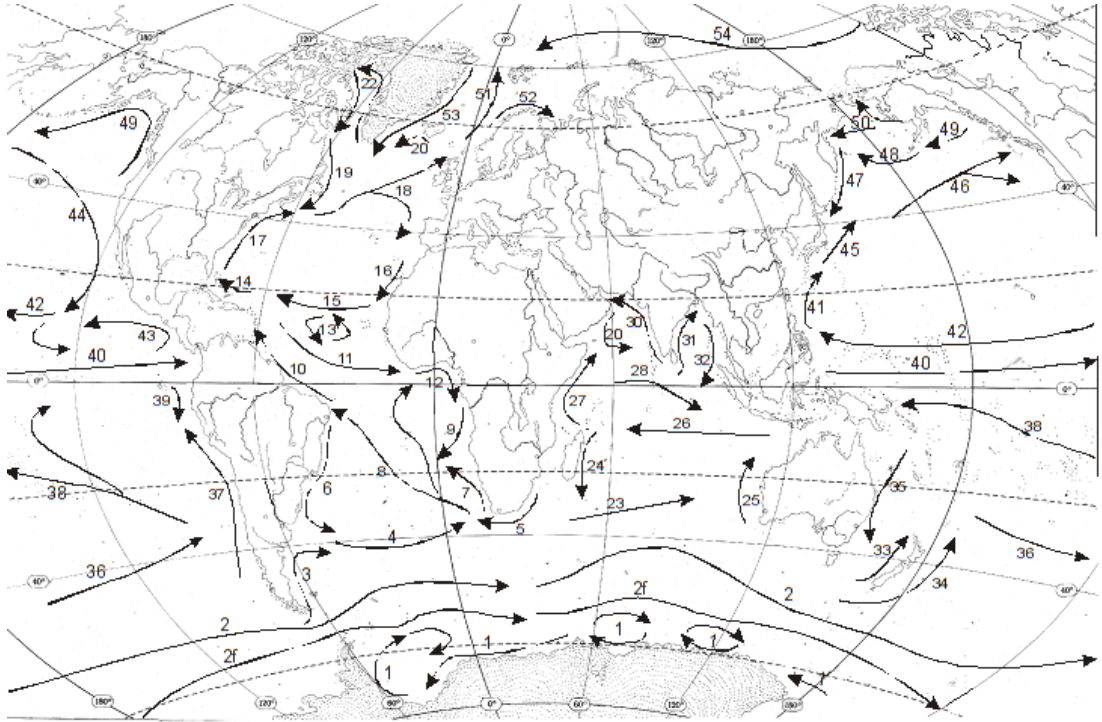


რომელსაც აღმოსავლური მიმართულება გააჩნია. აღნიშნული მიმოქცევის მეოთხე რგოლი - დასავლური ქარების, ანუ ატლანტიკური დინება უდიდესია თავისი სივრცებრივი განფენილობით. იგი წყლის განუწყვეტელი (დედამინის გარშემო) ნაკადის სახით სამხრეთ ნახევარსფეროს შუა განედებში წარმოდგენილი.

**ნახ. 14. 3.** მსოფლიო ოკეანის დინებების სქემა. (ჯ. მიურეის მიხედვით, მ. ჯაკობსონისა და სხვ. - 2000 წ. წიგნიდან)

ზედაპირული წყლების ოკეანური ცირკულაცია თითქმის მთლიანად ასახავს შესაბამის რეგიონებში ჩამოყალიბებულ ქართა მთავარ სისტემებს.

თუმცა, ოკეანური დინებების წარმოშობას ხელს უწყობს პლანეტარული მოვლენებით შეპირობებული წყლის დონის ანომალიური გადახრა და, ამის გამო, ოკეანის საკმაოდ რთული ზედაპირის ფორმირება.



ნახ. 14.4. მსოფლიო ოკეანის ზედაპირის ძირითადი დინებები<sup>3</sup>

<sup>3</sup> დინებების დასახელებანი: 1. სანაპირო ანტარქტიკული; 2. ცირკულპოლარული ანტარქტიკული; 2ა. ანტარქტიკულ-ცირკუმპოლარული დინების სამხ. შტო ატლანტის ოკეანეში; 3. ფოლკლენდის; 4. სამხ. ატლანტური; 5. იგოლნის; 6. ბრაზილიის; 7. ბენგელის; 8. სამხ. პასატური; 9. ანგოლის; 10. გვიანის; 11. ეკვატორული უკუდინება; 12. გვინეის; 13. მწვანე კონცხის; 14. ანტილის; 15. ჩრდ. პასატური; 16. კანარის; 17. გოლფსტრიმის; 18. ჩრდ. ატლანტიკური; 19. ლაბრადორის; 20. ირმინგერის; 21. ბაფინის; 22. დას. გრენლანდიის (ინდოეთის ოკეანე); 23. სამხ. ინდოოკეანური; 24. მადაგასკარის; 25. დას. ავსტრალიის; 26. სამხ. პასატური; 27. სამხ. ინდოოკეანური; 28. ეკვატორული უკუდინება; 29. დას. არაბეთის; 30. აღმ. არაბეთის; 31. დას. ბენგალის; 32. აღმ. ბენგალის; 33. დას. ახალზელანდიის; 34. აღმ. ახალზელანდიის; 35. აღმ. ავსტრალიის; 36. სამხრ. წყნაროკეანის; 37. პერუს; 38. სამხრ. პასატური; 39. პერუ-ჩილეს; 40. ეკვატორული

ოკეანური წრებრუნვების ერთ-ერთი ფორმა - წყლის დინებებია, რომლებიც დინამიური წონასწორობის პროცესის ანარეკლს წარმოადგენენ. ოკეანის ნებისმიერ უბანში, წყლის მასის შემცირებას თან სდევს მისი ტოლი მოცულობის შემოსვლა, ანუ კომპენსაციის დამყარება. ამგვარი ხასიათისაა, გოლფსტრიმის თბილი დინებაც. აკი, მისი წარმოშობა ატლანტის ოკეანის დასავლეთ ნაწილში, ჩრდილოეთ პასატური და გვიანის დინებების მიერ, წყლის დიდი მასის შემოტანასა და დაგროვებასთანაა დაკავშირებული.

ამრიგად, მსოფლიო ოკეანის ზედაპირული დინებები წყლის გიგანტური მასების გადაადგილებაა, რომლებიც სივრცეში ციკლონური და ანტიციკლონური წრებრუნვების სახით მონაცვლეობენ ხოლმე. მათი გავრცელების უმთავრესი უბნები დაახლოებით ატმოსფეროში პასატებისა და დასავლური ქარების მოძრაობათა საშუალო სიდიდეებს ემთხვევა, სადაც ოკეანეების ზონალურ მოძრაობათა სისტემაში მერიდიანული (კუროსიოს, კანარის, გოლფსტრიმი, კალიფორნიის, პერუს, ბრაზილიისა და სხვ) მიმართულების დინებები დომინირებს.

ოკეანური წყლების ცირკულაციის ფრიად დამახასიათებელი რგოლია კომპენსაციური უკუდინებები. ამ მხრივ, საყურადღებოა ეკვატორული პასატებსშორისი უკუდინებები, რომლებშიც გავრცელებულია ჩრდილოეთ და სამხრეთ პასატურ დინებებს შორის და დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენაა მიმართული. მათ მიერ ადგილი აქვს იმ ჭარბი წყლის მასის საწყისი

---

უკუდინება; 41. მინდანაო; 42. ჩრდ. პასატური; 43. მექსიკის; 44. კალიფორნიის; 45. კუროსიო; 56. ჩრდ. წყნაროკეანური; 47. ოიასიო; 48. ალეუტიის; 49. ალასკის; 50. აღმ. ბერინგის ზღვის (ჩრდ. ცინულოვანი ოკეანე); 51. ნორვეგიის; 52. ნორდკაპის; 53. აღმ. გრენლანდიის; 54. დას. არქტიკული.

წერტილისაკენ დაბრუნებას, რომელიც მძლავრი პასატური დინებებით (აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ მიმართული) ოკეანეების დასავლურ სანაპირო (ნახ. 14. 2 და 14. 3) პერიფერიებზე გროვდება.

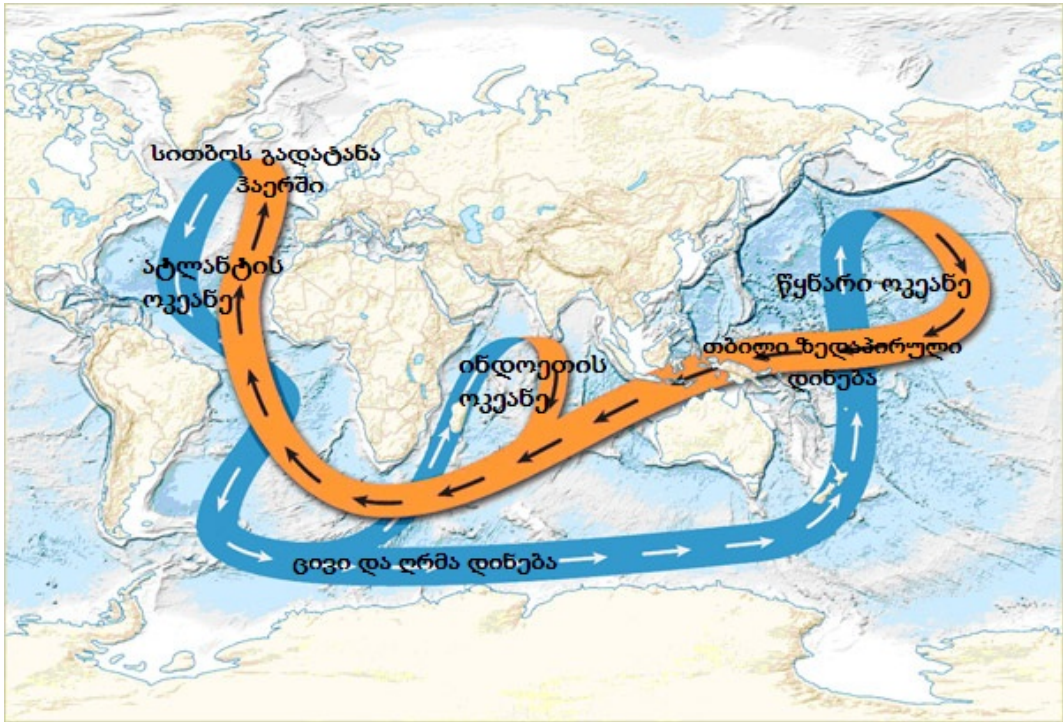
უკუდინებები, როგორც წესი, 50-300 მეტრის სიღრმემდე ვრცელდება. ამ მხრივ, წყნარ ოკეანეში ცნობილია ეკვატორული ზედაპირული წყლის ქვეშა უკუდინება, რომელიც კრომველის სახელს ატარებს. ატლანტის ოკეანეში კი ლომონოსოვის უკუდინებას, სამხრეთ პასატური უკუდინების ქვეშ, 5 ათასი კილომეტრის მანძილზე, 35 მლნ. მ<sup>3</sup> წმ-ში წყალი გადააქვს. ოკეანური დინებების გლობალური განაწილების სქემაზე (ნახ. 14. 4) ნათლად ჩანს, რომ მის ზედაპირზე მათი განშლადობისა (დივერგენციის) და თავშეყრის (კონვერგენციის) ცალკეული აკვატორიების ფორმირებას აქვს ადგილი.

ოკეანური წყლების წრებრუნვებს, თავის გრანდიოზულობასა და წყლის მასების დინამიკურობასთან ერთად, სითბური და მარილიანობის რეჟიმების განიველირების ფუნქციის შესრულებაც ევალება, რომლის შედეგად წყლის შერევის გამო, ხმელეთისაგან განსხვავებით, ძლიერი თერმული კონტრასტების არსებობას ადგილი არ აქვს.

განხილული მასალიდან ჩანს, რომ აშკარად სახეზეა მსოფლიო ოკეანის ზედაპირზე დინებების განსაკუთრებული სისტემის წარმოქმნა. ამ მხრივ აღსანიშნავია, რომ დინებების ერთი ნაწილი დიდი გრანდიოზულობით გამოირჩევა. თუმცა, ასეულობით დინება მხოლოდ ადგილობრივი გავრცელებით ხასიათდება და მათი განზომილებები რამდენიმე ასეული მეტრიდან ერთეულ კილომეტრების ფარგლებში არიან მოქცეული. შედარებით დიდი დინებები კი ერთიან (ნახ. 14. 5) სისტემას ქმნიან.

ამავე დროს, გავიხსენოთ ოკეანისა და ზღვების წყლების ის თვისება, რაც დინებებთანაა დაკავშირებული. კერძოდ, ზედაპირული წყლის რაიმე მიმართულებით მოძრაობას თან სდევს გარკვეულ სიღრმეში მისი საწინააღმდეგო მიმართულების უკუდინების ფორმირება. ცხადია, რომ წყლის „დაძირვას“ იწვევს მისი ტემპერატურის დანევა და ცივი წყლის წარმოშობა. ასევე აშკარაა, რომ გარკვეულ სიღრმეში უკუდინება მალლა ამოსვლასაც იწყებს და აპველინგის მომენტიც დგება.

აპველინგი ანუ წყლის სიღრმიდან მალლა ამოსვლა ანუ ამონევა ესაა ფიზიკური პროცესი, როცა ოკეანის ღრმა ფენების წყალი ზედაპირისაკენ მოძრაობს. ამ მოვლენას, უფრო ხშირად ადგილი აქვს კონტინენტების დასავლეთი სანაპიროების გასწვრივ, სადაც უფრო ცივი წყლები მოძრაობენ. ამ დროს, ცივი წყლები ზედაპირული წყლის თბილი ფენების ადგილს იკავებენ. მსგავსი მოვლენები მსოფლიო ოკეანის ნებისმიერ უბანზეც შეიძლება შევნიშნოთ. აკი, მათ წარმოშობას მრავალი ფაქტორი (სანაპიროს მოხაზულობა, ღია ზღვაში მსხვილმასშტაბიანი ქარული მოქმედება, კორიანტელების მიერ წყლის ვერტიკალური გადატანა, ფსკერის ტოპოგრაფიული თავისებურებების გავლენა და სხვ) განაპირობებს.



ნახ. 14. 5. ოკეანური წყლის დინების ერთიანი გლობალური სისტემა (მ. ჯაკობსონის მიხედვით, 2000 წ)

ერთიანი დინების სქემის (ნახ. 14. 5) მიხედვით ნათელია, რომ წყნარი ოკეანის ჩრდილო საზღვარზე თბილი დინების საწყისი უბანის ფორმირებას აქვს ადგილი. იქ, სიღრმის ცივი წყალი, სწორედ, ზედაპირზე მაღლა ამოსვლას (აპველინგი) ასრულებს, თუმცა ზედაპირზე მოხვედრილი წყლის ფენა გათბობას განიცდის და ჯერ სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით მოძრაობს და ჩრდილოეთი ამერიკის დასავლეთი საზღვარს გასწვრივ ეკვატორისაკენ გადაადგილდება. ეკვატორთან მოახლოებასთან ერთად ის კიდევ უფრო თბება და, ჯერ ჩრდილოეთი, ხოლო შემდგომ, სამხრეთი პასატური დინებების ფარგლებში, დასავლურ მიმართულებას ღებულობს. თბილი დინება გაედინება ჩრდილოეთი ავსტრალიისა და სამხრეთი

აღმოსავლეთი აზიის სანაპიროებს შორის და ინდოეთის ოკეანის შუა ნაწილში, სამხრეთ პასატურ დინებასთან ერთად განაგრძობს მოძრაობას.

ინდოეთის ოკეანის დასავლეთი აკვატორიის ზოლზე, კუნძული მადაგასკარის აღმოსავლეთი სანაპიროს გასწვრივ, ამავე სახელწოდების დინებასთან ერთად, თბილი დინება შემოუვლის აფრიკის კონტინენტის სამხრეთი სანაპირო პერიფერიას და ატლანტის ოკეანის აკვატორიაში გადადის. აქ, დინება მკვეთრად იცვლის მიმართულებას და, სამხრეთი პასატური დინების ფარგლებში, ჩრდილოეთით განაგრძობს მოძრაობას. შემდგომ კი გვიანის დინების გასწვრივ, ანტილის დინების გავლით, გოლფსტრიმის უბარმაზარ დინებას უერთდება და გრენლანდიისაკენ მიემართება. აქ თბილი დინება თანდათანობით ცივდება და „იძირება“, რის გამოც სიღრმის უკუდინების წარმოშობას უყრის საფუძველს.

ცივი და ღრმა უკუდინების გზა დაახლოებით აღწერილი თბილი დინების გავლილი მანძილის თანხვედნაა, ოღონდ ის რამდენადმე ოკეანის სიღრმეშია „ჩაძირული“. მას გზა და გზა ახალ-ახალი ცივი და ღრმა დინებები უერთდება. ერთ-ერთი მათგანი, ინდოსტანის ნახევარკუნძულის მიდამოებში, განიცდის აპველინგს, თბილი დინების სისტემაში ექცევა და ისევ უკან - ატლანტის ოკეანისაკენ ბრუნდება.

მსოფლიო ოკეანის ერთიანი დინების მთავარი შემადგენელი ნაწილი გოლფსტრიმის (ინგლ. Gulf Stream - ყურეს დინება) დინებაა, რომელიც ატლანტის ოკეანის ჩრდილოეთი ნაწილშია და, ფართო გაგებით, თბილი დინებების მძლავრი სისტემის სახით განიხილავენ, რომლის ერთი ნაწილი ფლორიდის ნახევარკუნძულიდან ჩრდილოეთით შპიცბერგენამდე, ხოლო

მეორე, ჩრდილო-აღმოსავლეთით - ახალი მიწამდე, 10 ათასი კმ-ის მანძილზე ვრცელდება.

აღნიშნული ღინება ფლორიდის სრუტის სამხრეთ ნაწილში, მექსიკის ყურედან წყლის გაღინებას უკავშირდება, რომელიც ანტილის ღინების წყლებს უერთდება და ნიუფაუნდლენდის მარჩხოვამდე ვრცელდება. გოლფსტრიმის ღინების ჩასახვა პასატური ქარების მიერ, იუკატანის სრუტის გავლით, წყლის დიდი მასის მექსიკის ყურეში გადატანას უკავშირდება. მექსიკის ყურეში წყლის მოდენის გამო მისი ღონე, მიმდებარე ატლანტის ოკეანის წყლის ღონესთან შედარებით, რამდენადმე უფრო მაღალია.

მექსიკის ყურედან ატლანტის ოკეანის აკვატორიაში მოხვედრისას ღინებას საკმაოდ შთამბეჭდავი სიმძლავრე (25 მლნ. მ<sup>3</sup>/წმ) ახასიათებს, რაც დღე-ღამეში 2160 კმ<sup>3</sup> შეადგენს. ეს სიდიდე 20-ჯერ მეტია, ვიდრე დედამიწის ყველა მდინარის ჯამური ჩამონადენი. ანტილის ღინებასთან შეერთების შემდგომ, გოლფსტრიმის ღინების სიმძლავრე კიდევ უფრო (3,28 ჯერ) იზრდება და 38<sup>0</sup>-იანი განედის მიდამოებში 82 მლნ. მ<sup>3</sup>/წმ-ს აღწევს.

გოლფსტრიმის ღინების ფარგლებში წყლის მოძრაობის სიჩქარე საშუალოდ 6 კმ/სთ-ს შეადგენს, ზოგჯერ კი 10 კმ/სთ-საც კი აღწევს, თუმცა მის ჩრდილოეთ ნაწილში 3-4 კმ/სთ-მდე მცირდება. ღინების სიგანე მის სამხრეთით 75 კმ-ია, ხოლო ჩრდილოეთი მიმართულებით თანდათანობით მატულობს და კონცხ ჰატერასთან 110-120 კმ-საც კი აღწევს. წყლის ნაკადის სისქე (სიმძლავრე) 700-800 მ-ის ფარგლებში მერყეობს.

ამ პარაგრაფის შინაარსი გოლფსტრიმის ღინების არა მარტო ფიზიკური პარამეტრების დახასიათებას მოითხოვს, არამედ, გეოგრაფიული თვალსაზრისით, მნიშვნელოვანია ღინების მიერ მარილიანი წყლის

გადატანისა (ნივთიერებათა მიგრაცია) და, განსაკუთრებით, სითბური ენერგიის ტრანსპორტირების სქემის ინტერპრეტაცია. ცხადია, რომ გოლფსტრიმის დინების ფარგლებში გრანდიოზული სიდიდის წყლის მასის კოლოსალურ მანძილზე გადატანა ხელს უწყობს როგორც წყლის შემცველი მარილების, ისე სითბური ენერგიის საკმაოდ შორ მანძილზე გადატანას.

დინების ზედაპირზე წყლის საშუალო წლიური ტემპერატურა  $25^{\circ}\text{C}$  -  $26^{\circ}\text{C}$ -ის, ხოლო მარილიანობა 36,2—36,4 ‰-ს ფარგლებში მერყეობს. რაც შეეხება დინების ფარგლებში, შედარებით წყლის ღრმა (-400 მ) ფენებში, წყლის ტემპერატურა  $10^{\circ}\text{C}$  -  $12^{\circ}\text{C}$  - მდე კლებულობს, ხოლო მაქსიმალური (36,5 ‰) მარილიანობა 200 მ-ის სიღრმეში ფიქსირდება.

გოლფსტრიმის დინების წყლის ტემპერატურის ცვლილება პასასტური ქარების სიძლიერის გამოვლინებასა და მექსიკის უბეში მათ შემოსვლას უკავშირდება. ამასთან, ჩრდილო-აღმოსავლური პასატების გაძლიერება დინების წყლის ტემპერატურის ზრდას იწვევს, თუმცა ეს მოვლენა რამდენადმე დაგვიანებით (3-6 თვე) ხორციელდება. სამხრეთ-დასავლური პასატების გაძლიერება კი იმავე მოვლენას იწვევს, თუმცა დროითი ინერცია, ამ შემთხვევაში, უფრო მეტია და დაგვიანებაც 6-9 თვეს აღწევს. წყლის ტემპერატური ზრდას თან მოსდევს მისი ტემპერატურის დაწვეის პერიოდის დადგომა. ეს მოვლენა კი პასატების გაძლიერებით, ატრიკის სანაპიროებთან, ოკეანის ღრმა ფენებიდან შედარებით ცივი წყლის აპველინგსა და მის გაგრილებას იწვევს.

დინების ჩრდილო ნაწილში (ნიუფაუნდლენდის მარჩხობი) გოლფსტრიმის დინებას ლაბრადორის ცივი დინება უახლოვდება და მის წყლებთან შერევასა და ზედაპირული წყლების „დაძირვას“ მოასწავებს. ამის

შემდეგ გოლფსტრიმი ჩრდილოეთ-ატლანტიკურ დინებაში გადადის და დასავლური ქარების მიერ აღმოსავლეთიდან დასავლური მიმართულებით მოძრაობს, გრენლანდიის სანაპიროების გავლით, ბაფინის ზღვამდე აღწევს.

ჩრდილო-ატლანტიკური დინების ძირითადი ნაკადი აგრძელებს დინებას ნორვეგიის ზღვის მიმართულებით, ხოლო სკანდინავიის ნახევარკუნძულის ჩრდილო დაბოლოებასთან მას ნორდკაპის დინება გამოეყოფა, მეორე ნაკადი კი ბარენცის ზღვისკენ გადაადგილდება. დინების ძირითადი ნაკადი კი შპიცბერგენის ნაპირებისაკენ მოძრაობს, რომელიც მალე სიღრმეში „იძირება“, ჩრდილოეთ ცინულოვანი ოკეანის ფარგლებში გადადის. რაც შეეხება ოკეანის ზედაპირს - აქ თბილი დინების ფენის ფორმირებას აქვს ადგილი.

როგორც ჩანს, მსოფლიო ოკეანის ერთიანი დინების ერთ-ერთი შტო - გოლფსტრიმის დინება, საკმაოდ რთული ხასიათისაა და დინებათა სისტემას მოიცავს. მას განსაკუთრებული როლი აქვს არა მარტო ზღვებისა და თვით ჩრდილოეთ ცინულოვანი ოკეანის წყლების ჰიდროლოგიური პირობების, არამედ ევროპის კონტინენტის ჰავის რბილი რეჟიმის ჩამოყალიბებაში.

ამგვარად, განვიხილეთ რა ოკეანური წყლების წრებრუნვების (მიმოქცევების) სისტემური ნიშნები ცხადია გახდა, რომ მსოფლიო ოკეანეში ფორმირებული დინების ერთიან სისტემას, თავის სივრცებრივ დიდ გრანდიოზულობასთან, ასევე ენერგომასების ორგანული მთლიანობისა და მათი მოძრაობით გამონვეული - სისტემურ-ინდუქციური ასპექტებთან ერთად, ერთმანეთთან დაკავშირებული მოძრაობით შეპირობებული მიმოქცევათა (წრებრუნვების) ერთიანი სისტემის ფორმირება ახასიათებს, რომლის

მნიშვნელოვანი ფუნქცია - ბუნებრივი გარემოს ერთიანობისა და მთლიანობის  
აშკარა გამოვლინებაა.

## § 15. ოკეანე-ატმოსფერო-ხმელეთის მიმოქცევის სისტემური ასპექტები

წყლის წრებრუნვის ატმოსფერული უბანი ტროპოსფეროს ქვედა ფენას მოიცავს. ჰაერის ამ ფენის მაღალი მოძრაობის უნარის გამო, აქ ინტენსიურ ტენზრუნვას აქვს ადგილი. დედამიწის მთლიან ზედაპირზე ყოველწლიურად მოსული ატმოსფერული ნალექების ( $57,7 \times 10^{12} \text{მ}^3$ ) მიერ 1 მ-ის სისქის ფენა უნდა შეიქმნას. სინამდვილეში ამას ადგილი არ აქვს. საქმე იმაშია, რომ ჯერ ერთი, მსოპლიო ოკეანის ზედაპირული წყლის დონის შენარჩუნება და, მეორეც - ატმოსფერული ჰაერის ტენით რეგულარული შევსება, დედამიწიდან წყლის აორთქლების ხარჯზე მიმდინარეობს. მისი ყოველწლიური მოცულობა  $5,8 \times 10^{14} \text{მ}^3$ -ს შეადგენს. თუმცა, აორთქლების დიდი ნაწილი ( $5,1 \times 10^{14} \text{მ}^3$ ) ოკეანის ზედაპირიდან (ნახ. 15. 1) მიმდინარეობს. ატმოსფეროს ინტენსიური ცირკულაციის გამო, წყლის ორთქლის ოკეანიდან, ჰაერის გავლით, ხმელეთის მიმართულებით გადატანა ათეული და ათასეული კილომეტრის მანძილზე სრულდება.

კოლოსალურდ დიდია ზემოთ აღწერილი ჰაერი-ტენის დინამიკური მოვლენის გეოგრაფიული მნიშვნელობა, რომელიც უმთავრესად ოკეანიდან ხმელეთის ზედაპირზე ტენის გადატანაშია გამოვლინებული. ხმელეთის ზედაპირზე ორთქლის მუდმივი კონდენსაციის შედეგად კონტინენტების ზედაპირზე ატმოსფერული ნალექების ( $119 \times 10^{12} \text{მ}^3$ ) ფორმირებას აქვს ადგილი. მისი დიდი ნაწილი ( $72 \times 10^{12} \text{მ}^3$ ) ისევ ჩაბმულია აორთქლების პროცესში, ხოლო მეორე - შედარებით მცირე ნაწილი ( $47 \times 10^{12} \text{მ}^3$ ) ხმელეთის ზედაპირულ (მდინარეები, მყინვარები) და მიწისქვეშა წყლებს

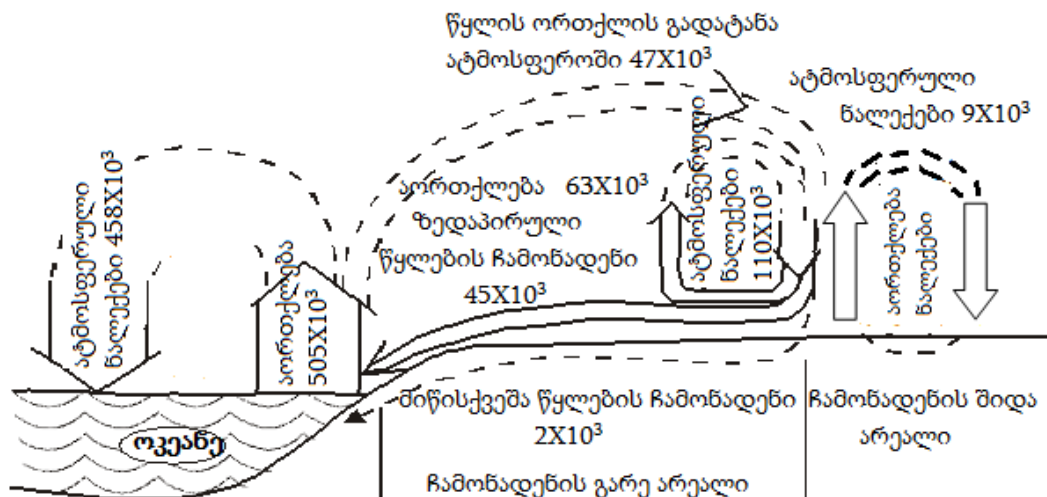
ქმნის, რომლებიც საბოლოო ჯამში, კონტინენტური ჩამონადენის სახით, ისევ ოკეანეს უბრუნდება.

როგორც ჩანს, დედამიწის ლანდშაფტურ-ბუნებრივ სისტემაში წყლის წრებრუნვას აქვს ადგილი, რომელსაც თავისი მიმოქცევი-როტაციული<sup>4</sup> უნარის გამო, ბალანსური ხასიათი გააჩნია. მისი ზოგადი სქემა წყლის ბალანსის განტოლების სახეს ღებულობს. განასხვავებენ წყლის ბალანსის ორ - მსოფლიო ოკეანისა და ხმელეთის ზედაპირების ტიპს:

$$E_0 = X_0 + f \text{ ----- მსოფლიო ოკეანის ზედაპირი და}$$

$$X_c = E_c + f \text{ ----- ხმელეთის ზედაპირი,}$$

სადაც,  $E_0$  - აორთქლებაა ოკეანის ზედაპირიდან,  $E_c$  - იგივე მოვლენაა ხმელეთის ზედაპირიდან,  $X_0$  - ატმოსფერული ნალექებია ოკეანის ზედაპირზე,  $X_c$  - ატმოსფერული ნალექებია ხმელეთის ზედაპირზე,  $f$  - კონტინენტური (ოკეანური შემონაკადი) ჩამონადენია.



ნახ. 15.1. ოკეანე-ატმოსფერო-ხმელეთი სისტემის ტენზრუნვა კმ<sup>3</sup>-ში

<sup>4</sup> როტაცია (ლათ. - rotation) - ბრუნვა, ტრიალი, წრებრუნვა.

როგორც მოტანილი სქემიდან (ნახ. 15. 1) ჩანს, მსოფლიო ოკეანის ზედაპირზე კოლოსალური რაოდენობის ( $458 \times 10^3 \text{ კმ}^3/\text{წწ}$ ) ატმოსფერული ნალექების მოსვლას აქვს ადგილი. თუმცა, ამავე ზედაპირიდან ყოველწლიურად  $505 \times 10^3 \text{ კმ}^3$  წყლის აორთქლება ფიქსირდება. ამ ორი სიდიდის შედარება გვიჩვენებს, რომ ატმოსფერულ ნალექებსა და აორთქლებას შორის სხვაობა  $47 \times 10^3 \text{ კმ}^3/\text{წწ}$  ანუ აორთქლება 10,26 %-ით მეტია ვიდრე ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა. ეს „გედმეტი“ ორთქლი გაბატონებულ ქარებს ოკეანიდან ხმელეთისაკენ გადააქვთ. დანარჩენი ( $458 \times 10^3 \text{ კმ}^3/\text{წწ}$ ) ორთქლი კი ოკეანის ზედაპირზე კონდენსაციას განიცდის და ძირითადად წვიმისა და, ნაწილობრივ, თოვლის სახით ოკეანის ზედაპირს უბრუნდება.

წყლის ბალანსის შემადგენელი მოტანილი ციფრებიდან (ნახ. 15. 1) ისიც ჩანს, რომ აორთქლების მაჩვენებლის ატმოსფერულ ნალექებთან შედარებით გადამეტებას ოკეანის წყლის თანდათანობითი გამოლევა და, რაც უფრო შესამჩნევია, მისი ღონის ძლიერი დაწევა უნდა გამოეწვიოს. მაგრამ, სინამდვილეში, ეს არ შეიმჩნევა. აკი, ოკეანიდან ხმელეთის ზედაპირზე გადმოტანილი ორთქლის ( $47 \times 10^3 \text{ კმ}^3/\text{წწ}$ ) კონდენსაცია იმავე სიდიდის ატმოსფერულ ნალექებს იძლევა, რომლის დიდი ნაწილი ( $45 \times 10^3 \text{ კმ}^3/\text{წწ}$ ) ხმელეთის ზედაპირული ჩამონადენის ფორმირებას იწვევს. დანარჩენი წყალი ( $2 \times 10^3 \text{ კმ}^3/\text{წწ}$ ) ნიადაგ-გრუნტში ჩაიჟონება და მიწისქვეშა ჩამონადენის სახით ისევ ოკეანეს უბრუნდება. ამდენად, ოკეანის ზედაპირზე აორთქლებული წყლის ( $505 \times 10^3 \text{ კმ}^3/\text{წწ}$ ) კომპენსაციას ისევ ოკეანეზე მოსული ატმოსფერული ნალექები ( $458 \times 10^3 \text{ კმ}^3/\text{წწ}$ ) და ხმელეთის ზედაპირული ( $45 \times 10^3 \text{ კმ}^3/\text{წწ}$ ) და მიწისქვეშა ( $2 \times 10^3 \text{ კმ}^3/\text{წწ}$ ) ჩამონადენი ახდენენ.

საკუთრივ, ხმელეთის ზედაპირზე მოსული ატმოსფერული (ნახ. 15. 1) ნალექების რაოდენობა  $110 \times 10^3 \text{ კმ}^3/\text{წწ}$ -ს შეადგენს. აქედან,  $47 \times 10^3 \text{ კმ}^3/\text{წწ}$ -ში წყლის მოცულობა ოკეანიდან გადმოტანილი ორთქლის კონდენსაციით მიღებულ ამოსფერულ ნალექებს წარმოადგენს, ხოლო  $63 \times 10^3 \text{ კმ}^3/\text{წწ}$  თვით ხმელეთის აკვატორიებიდან (ზღვებისა და ტბების, ასევე მდინარეების, ჭაობებისა და სხვ) აორთქლებული წყლის მასების კონდენსაციის შედეგია, რომელიც, დანაკარგების გარეშე ისევ ხმელეთის წყლის აუზებს უბრუნდება.

ხმელეთის ზედაპირის მეორე რგოლი (ნახ. 15. 1) ე. წ. დახშული (აუზები, მსოფლიო მიმოქცევებში მონაწილეობის გარეშე) არეალებია. ამ ჩაკეტილი აუზების არეალებიდან აორთქლებული წყლის მოცულობა აქვე, წლის განმავლობაში, მოსული ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა ( $9 \times 10^3 \text{ კმ}^3/\text{წწ}$ ), ჯერ ერთი, უმნიშვნელოდ მცირეა და, მეორეც, ეს სიდიდეები ერთმანეთის ტოლია და ბალანსიც ბუნებრივად დაცულია. ცხადია, რომ ამ არეალებში წყლის ოკეანიდან არც შემოსვლას და არც გასვლას ადგილი არა აქვს. აქ მოსული ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა აქედანვე აორთქლებული წყლის მოცულობის ექვივალენტური<sup>5</sup> სიდიდისაა.

აღნიშნული სქემა (ნახ. 15. 1) საერთო, ასე ვთქვათ, დედამიწის ზოგადი ანუ პლანეტარული ხასიათის ნიშნების მატარებელია. ამავე დროს, დედამიწის ცალკეულ ზონებსა და სარტყლებში, ასევე საკმაოდ ფართო არეალებშიც კი, ოკეანიდან აორთქლებული წყლის ორთქლი ხმელეთზე მოსულ ატმოსფერულ ნალექებს არათუ ვერ აჭარბებს, არამედ ხშირად

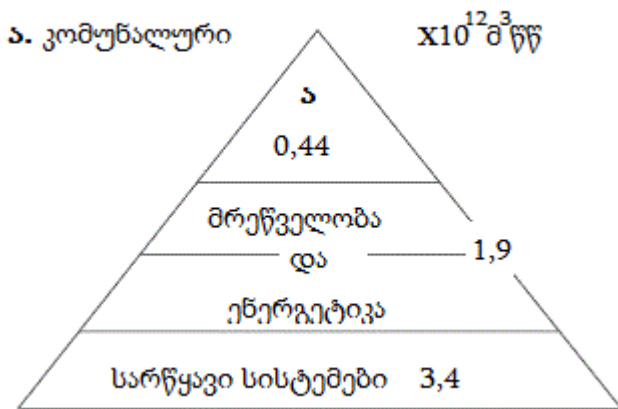
---

<sup>5</sup> ექვივალენტური (ლათ. *aequivalens (aequivalentis)* - რისამე ტოლფასი, თანაბარღირებული რამე.

მასზე შესამჩნევად ნაკლებია. მისი დამადასტურებელი მაგალითებია საშუალო და პოლარული განედების, აგრეთვე ეკვატორულსპირა სარტყლის ფართო ზოლები, სადაც ნალექები უფრო მეტი მოდის, ვიდრე ოკეანის ზედაპირზე აორთქლებას აქვს ადგილი.

წყლის წრებრუნვა მოიცავს აგრეთვე სამეურნეო სისტემის გავლას. მისი მოცულობა მნიშვნელოვნად ჩამორჩება აღნიშნული ძირითადი ბუნებრივი რგოლების მიმოქცევის სიდიდეებს, მაგრამ სასმელი წყლის ბალანსში უდიდესი როლი ენიჭება. ამ მხრივ, აღსანიშნავია სასმელი (მტკნარი) წყლის ისეთი დიდი მომხმარებლები, როგორცაა სოფლის მეურნეობა და მოსახლეობის კომუნალური მომსახურეობა.

**ბუნებრივი წყლების ათვისება**



**ნახ. 15.2.** წყლის წრებრუნვის სამეურნეო სისტემა

მათ შორის, პირველ მათგანში ანუ სოფლის მეურნეობაში, წყლის დიდი ნაწილი ( $3,4 \times 10^{12} \text{ მ}^3 / \text{წ}$ )

სარწყავად გამოიყენება. მისი

80 %-ზე მეტი მდინარეებს სამუდამოდ ჩამოშორებულია. წყალსატევებიდან ტრანსპორტირებული წყლის ნაწილი იხარჯება კომუნალურ (ნახაზზე - ა) მეურნეობაში ( $0,44 \times 10^{12} \text{ მ}^3 / \text{წ}$ ), მრეწველობის დარგების მუშაობასა ( $1,9 \times 10^{12} \text{ მ}^3 / \text{წ}$ ) და აორთქლებაზე ( $0,24 \times 10^{12} \text{ მ}^3 / \text{წ}$ ).

ამდენად, წყლის მოხმარების ჯამური მაჩვენებელი ( $6 \times 10^{12} \text{მ}^3/\text{წ}$ ) ხმელეთიდან ჯამური ჩამონადენის 13%-ის ტოლი გამოდგა. აქედან კი, მიმოქცევიდან სრულიად ამოვარდნილად უნდა ჩაითვალოს  $3 \times 10^{12} \text{მ}^3/\text{წ}$  მოცულობის მტკნარი წყლის მარაგი. ამავე დროს, თანამედროვეობის ერთ-ერთ ძირითად პრობლემას მტკნარი წყლების გაბინძურება წარმოადგენს. მისი მოცულობა წლითი წლობით იზრდება და ამჟამად  $0,45 \times 10^{12} \text{მ}^3/\text{წ}$  შეადგენს, რომლის გაუვნებლობა  $5-7 \times 10^{12} \text{მ}^3/\text{წ}$  მტკნარი წყალი იხარჯება.

ზღვები და ოკეანეები სითბოს დიდი აკუმულატორია და ატმოსფერო-ხმელეთის სისტემასთან სითბო- და ტენგაცვლის უნიკალური რგოლს წარმოადგენს. სითბოსთან ერთად, ამ სისტემაში, ადგილი აქვს როგორც ენერჯის, ისე ნივთიერებათა (მარილების) მიმოცვლასაც, რაც საბოლოო ჯამში ხმელეთის წყლების ქიმიური შემადგენლობის ფორმირებაში ღებულობს მონაწილეობას.

მიმოცვლების სხვადასხვა სახეებს შორის რთული ურთიერთ-კავშირები შეიმჩნევა. განსაკუთრებით ეს ჩანს სითბოსა და ტენის პლანეტარული მიმოქცევების დროს. ასე, აორთქლება განსაზღვრავს არა მარტო პლანეტარულ წყალმიმოცვლაში ჩაბმული ტენის რაოდენობას, არამედ დედამიწის ზედაპირზე შთანთქმული მზის ენერჯის დიდი ნაწილის ხარჯვასაც. ორთქლის კონდენსაციის დროს, ამ სითბოს ნაწილის ატმოსფეროში გამოყოფას კი ჰაერის ცირკულაციის ფორმირებასა და, მასთან დაკავშირებულ ენერგო- მასების მიმოქცევის საქმეში ანუ ენერგეტიკული ფაქტორების ფორმირებაში, მნიშვნელოვანი როლი გააჩნია.

ოკეანე-ატმოსფეროს თერმოდინამიკის თვალსაზრისით განიხილავენ როგორც ამ სისტემის ფარგლებში მოქმედი მძლავრი პირველი და მეორე

სახის სითბური მანქანების „მუშაობას“. პირველი რიგის სითბური მანქანების გამათბობელ წყაროდ ტროპიკების მაღალი ტემპერატურა და მის მიერ ჰაერის გათბობა ითვლება, ხოლო გამაცივებელ „ხელსაწყოს“ - ერთი მხრივ (ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში) არქტიკისა და, მეორეც (სამხრეთ ნახევარსფეროში) - ანტარქტიდის მყინვარული საფარები და მათ მიერ ჰაერის გაცივება წარმოადგენს. მისი „საქმიანობა“ ჰაერის პასატური ცირკულაციის შედეგადაა განსაზღვრული.

ზამთრის სეზონში, მეორე რიგის სითბური მანქანის გამათბობელი „მონყობილობა“ ოკეანის ზედაპირზე იქმნება, ხოლო „მაცივარის“ როლს კონტინენტის ზედაპირი წარმოადგენს. წლის თბილ დროს კი გამათბობელი და მაცივრები ერთმანეთს ენაცვლებიან. მეორე რიგის მანქანების მუშაობა თავის საქმიანობას მუსონური ცირკულაციის პირობებშიც ამჟღავნებენ. ზამთარში, ოკეანის ზედაპირზე, ჰაერის ტემპერატურა უფრო მაღალია, ვიდრე მიმდებარე ხმელეთის ფარგლებში. ამ შემთხვევაში, ქარის ნაკადი ხმელეთიდან ოკეანისაკენ ყალიბდება (ზამთრის მუსონი). განსაკუთრებით, მუსონური ცირკულაცია აზიის სამხრეთ და აღმოსავლეთ სანაპიროებზეა გამოსახული.

სითბოგაცვლის მსვლელობის სისტემა ყალიბდება აგრეთვე ოკეანის ზედაპირის არაერთგავროვანი გათბობისა და გაცივების დაბალი და მაღალი განედების ფრაგმენტებს შორის, რომლის განხორციელება ზღვიური დინებების მეშვეობით მიმდინარეობს. მათ ხშირად „ზომიერი და მაღალი განედების წყლის გამათბობელებს“ უწოდებენ.

ამავე დროს, ოკეანის ზედაპირის 25-40<sup>0</sup>-იანი განედების ფარგლებში, კონტინენტების აღმოსავლური ნაპირებისაკენ თბილი წყლების მასების გატანა

შეიმჩნევა. მსგავსი მოვლენა ფიქსირდება აგრეთვე, უფრო მაღალი განედების (50-60<sup>0</sup>) ფარგლებში, კონტინენტების დასავლური სანაპიროების მიმართულებით.

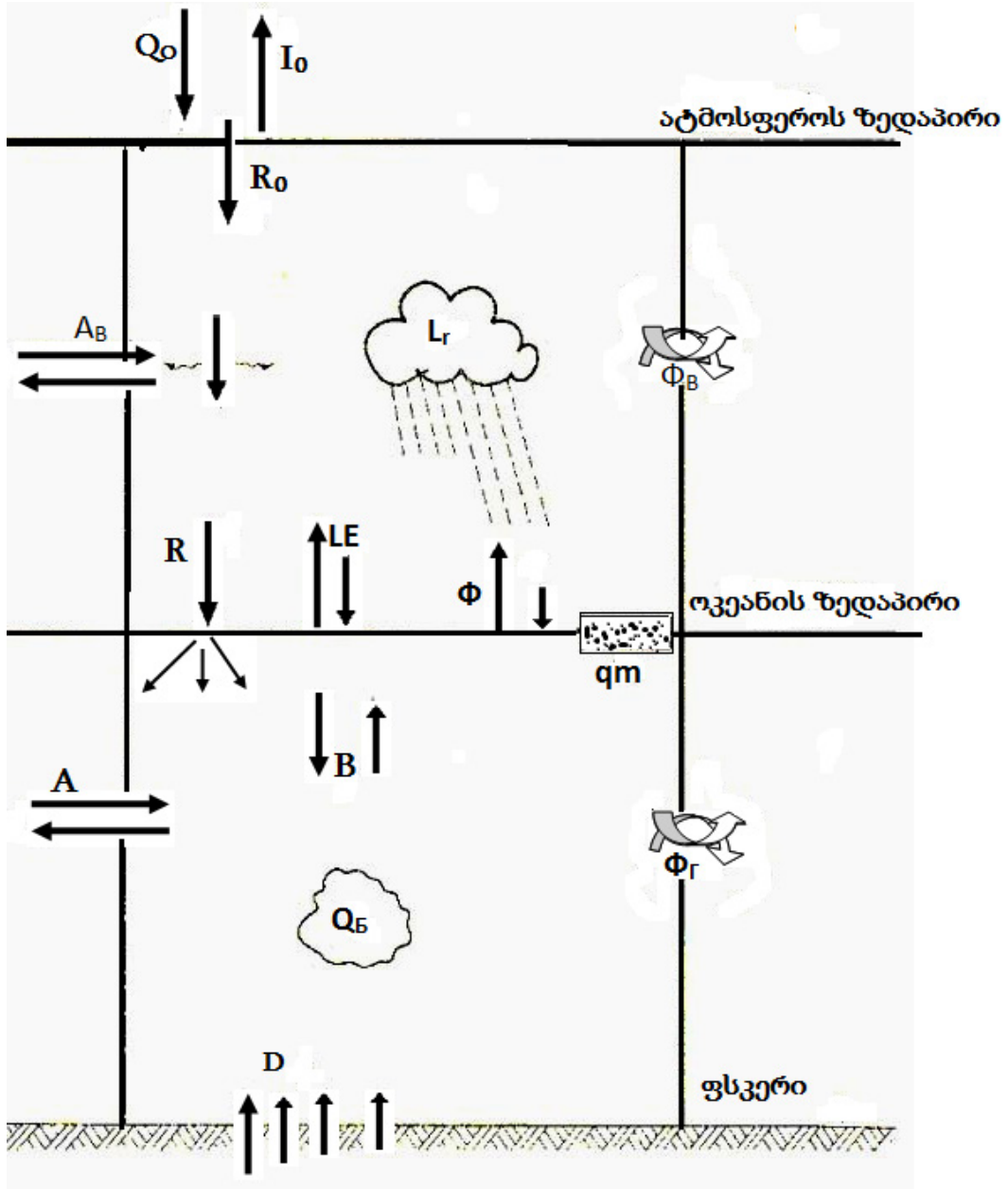
ორივე შემთხვევაში, დასახელებული აკვატორიის ფარგლებიდან, ხმელეთის აღნიშნული რაიონებისაკენ, თბილი წყლების შემოტანა მათი მნიშვნელოვანი გათბობის წინაპირობას წარმოადგენს. ასე, მაგალითად, დასავლეთი ევროპის (ჩრდ. განედის 60<sup>0</sup>) ჰაერის იანვრის საშუალო ტემპერატურა 15-20<sup>0</sup>-ით უფრო ნაკლებია, ვიდრე აღმოსავლეთ ევროპის იმავე განედებზე. ამ რაიონებში სითბო დამატებით ატლანტიკურ ციკლონებსაც შემოაქვთ. ზამთრის სეზონში ინტენსიური ციკლონური მოქმედებას ხელს უწყობს ასევე ჩრდილო-ატლანტიკური დინება, რომლის გაძლიერებას ხელს უწყობს ატმოსფერული წნევის ისლანდიის მინიმუმი.

ცივი დინების რაიონებში კი, პირიქით - ჰაერის ტემპერატურის დაცემას აქვს ადგილი. ასე, მაგალითად, სამხრეთი ამერიკის დასავლეთი სანაპიროს გასწვრივ არსებული პერუს ცივი დინება აქ ჰაერის ტემპერატურის 4<sup>0</sup>-მდე დაწევას განაპირობებს.

ოკეანისა და ხმელეთის ზედაპირების გათბობის მსვლელობაში განსხვავებების არსებობა რეგიონის ტემპერატურული, მოლრუბლულობისა და ატმოსფერული ნალექების მსვლელობის რეჟიმებს განაპირობებს. ეს კი, თავის მხრივ, ხელს უწყობს ზღვიური და კონტინენტური კლიმატური ტიპების ჩამოყალიბებას. ეს უკანასკნელი ზომიერ განედებში ჰაერის ტემპერატურის დიდი ამპლიტუდითა და დაბალი ტენიანობით ხასიათდება.

დასავლური გადატანის არსებობის გამო, ევრაზიის ხმელეთზე ჰაერის კონტინენტურობა დასავლეთიდან აღმოსავლეთის მიმართულებით

მკვეთრად მატულობს. ასე, მაგალითად, დიდ ბრიტანეთში (ჩრდ. განედის 52<sup>0</sup>) ჰაერის ტემპერატურის წლიური ამპლიტუდა მხოლოდ 8<sup>0</sup>C შეადგენს, ხოლო ჩრდილოეთი ყაზახეთის იმავე განედზე 45<sup>0</sup> C-ზე მეტია.



ნახ. 15. 3. ატმოსფერო-ოკეანე-ლითოსფეროს სისტემის სითბოგაცლის სქემა

ატმოსფერო-ოკეანე-ლითოსფეროს სისტემის სითბოგაცლის სქემის

(ნახ. 15.3) პირობითი აღნიშვნების განმარტებები:

$Q_0$  – მზის რადიაცია ატმოსფეროს ზედა ფენაში;

$I_0$  – ატმოსფეროს გრძელტალღიანი გამოსხივება;

$R_0$  – ატმოსფეროში შემოსული მზის რადიაცია;

$R$  – რადიაციული ბალანსი;

$B$  – სითბოს ტურბულენტური ნაკადი;

$\Phi$  – ტურბულენტური სითბოგაცვლა წყალსა და ჰაერს შორის;

$LE$  – ორთქლის ფარული სითბო,  $L$  – ორთქლადქცევის ფარული სითბო,

$E$  – აორთქლებული ან კონდენსირებული წყლის მასა;

$Q_m = L_k M$  – წყლის ფაზური (ყინულის წარმოშობა/დნობა) გადასვლების სითბოს რაოდენობა, სადაც  $L_k$  – კრისტალიზაციის ფარული სითბო,  $M$  – ყინულის დნობისას წარმოქმნილი მასა;

$D$  – დედამიწის ნიალიდან შემოსული სითბოს ნაკადი;

$A_B$  – სითბოს ადვექცია;

$\Phi_B$  – ჰორიზონტული ტურბულენტური სითბოგაცვლა;

$A$  – სისტემის გვერდითი საზღვრებიდან შემოსული დინებების სითბო;

$\Phi_r$  – ტურბულენტური მიმოცვლა გარემომცველ წყლებთან;

$L_r$  – ორთქლის ფარული სითბო ატმოსფეროში, სადაც

$r$  – კონდენსირებული ანუ ატმოსფერული ნალექების წყლის მასაა;

$Q_E$  – ბიოქიმიურ პროცესებში სითბოს შთანთქმა ან გამოყოფა.

დედამიწის ოკეანეების, ატმოსფეროსა და ხმელეთის სფეროებში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების ძირითადი წყარო – მზის ენერგიაა. იმ მიზნით, რომ ნათლად დავინახოთ მზის რადიაციის ენერგეტიკული ნაკადები დედამიწის ატმოსფერო-ჰიდროსფერო-ლითოსფეროს სისტემაში, ამისათვის წარმოვიდგინოთ ვერტიკალური სისტემის სქემა (ნახ. 15. 3) და გამოვყოთ ის ველი, რომელშიც ამ ენერგიის ნაკადებია განვითარებული. სქემაზე გვერდითი ზედაპირების ანუ მიმდებარე ქვესისტემის (ხმელეთის) გავლით წყლისა და ჰაერის მასების მუდმივ შემოსვლასა და გასვლას აქვს ადგილი.

იქვე, ჰაერისა და წყლის მასების სითბური მდგომარეობა სითბოს შემცველობით ხასიათდება, რომელიც მუდმივ ცვალებადობაში იმყოფება. სქემაზე ჩანს სითბოგაცვლის მიმდინარეობა იმ სისტემაში, რომელიც მოიცავს ატმოსფეროს ზედა საზღვარის, ოკეანის ზედაპირის, გვერდითი ანუ მიმდებარე ხმელეთის ფენებსა და ოკეანის ფსკერს. ამავე დროს, აღნიშნულ სფეროებში მიმდინარე პროცესები, სითბოსა და ენერგიის მუდმივ მიმოცვლასთან ერთად, მათ გამოყოფას ან შთანთქმას განაპირობებენ.

სითბოგაცვლის სქემაში ერთ-ერთ მთავარ ფიგურას ატმოსფეროს ზედა ფენაში შემოსული მზის ენერგია ( $Q_0$ ) წარმოადგენს, რომელიც მოკლელტალლიანი რადიაციის სახით აღწევს ატმოსფეროს ზედა ფენამდე. ატმოსფეროს ზედა ფენებიდან კი სამყაროს სივრცეში გრძელტალლიან გამოსხივებას ( $I_0$ ) აქვს ადგილი. რადიაციის შემაჯამებელი ნაკადი -  $R_0$  ატმოსფეროში შემოდის. მოკლე- და გრძელტალლიანი რადიაციების ნაკადები ოკეანის ზედაპირზე ენერგიის ნაკადის ჯამს ანუ რადიაციულ ბალანსს -  $R$  იძლევა.

სხვადასხვა ტემპერატურის ჰაერისა და წყლის შეხების ზედაპირზე ტურბულენტური სითბოგაცვლა -  $\Phi$  ფიქსირდება. ოკეანის ზედაპირიდან აორთქლებისას ან, კონდენსაციის პროცესში, წყლის სფერო სითბოს გარკვეულ რაოდენობას კარგავს ან ისევე იბრუნებს მას. ეს მოვლენა მარტივად  $LE$  ნიშნით გამოისახება. წყლის ფაზურ გადასვლას ციხულში და, პირიქით ციხულის დნობას, შესაბამისად სითბოს გამოყოფა და შთანთქმა ახლავს თან. ამ მოვლენას -  $Q_m = L_k M$  დამოკიდებულებით გამოსახავენ და ორი სიდიდისაგან შედგება:  $L_k$  - კრისტალიზაციის ფარული სითბოა, ხოლო  $M$  - ციხულის დნობისას წარმოქმნილი წყლის მასა.

გვერდითი სფეროებიდან ოკეანეში სითბოგაცვლა დინებების მიერ აღვექციური სითბოს (A) შემოსვლით ხორციელდება, რომელიც წყლის გარემომცვიდან ( $\Phi_r$ ) შემოდინების წყალობით მიმდინარეობს. აღვექციური სითბო მოიცავს აგრეთვე მდინარეთა ჩამონადენის სითბურ ეფექტსაც.

ორთქლის კონდენსაციის დროს, ოკეანიდან ჰაერში გადაცემული აორთქლების სითბო ატმოსფეროს გადაეცემა. აორთქლებისას დახარჯული სითბოს ორთქლში გადასვლის მექანიზმის ანალოგიურად, ჰაერში სითბოს შემოსვლა ორი სიდიდით ( $L_r$ ) გამოისახება, სადაც -  $r$  კონდენსაციის შედეგად მიღებული, რაც იგივეა, ატმოსფერული ნალექების წყლის მასაა. მოცემული სქემის შიგნით წყლის სითბოს შემცველობა, დინებების მექანიკური ენერჯის დისიპაციის, ხახუნის სითბოში გადასვლის, ასევე ბიოქიმიური პროცესებისას სითბოს გამოყოფის ან შთანთქმის გამო, შეიძლება რამდენადმე შეიცვალოს.

სითბოს ჩამოთვლილ ნაკადებს ერთნაირი სიდიდეები არ გააჩნიათ. ამ მხრივ, ყველაზე დიდი მნიშვნელობით მზის შთანთქმული რადიაცია ხასიათდება. ამასთან, რადიაციული ბალანსი (R) მსოფლიო ოკეანის სითბოს ბიუჯეტში დადებით მნიშვნელობას ღებულობს, თუმცა პოლარული მხარეების შემოდგომა-ზამთრის სეზონები უარყოფითი მნიშვნელობით ხასიათდებიან.

პლანეტის სამხრეთ ნახევარსფეროში ოკეანეს გაცილებით მეტი ფართობი უკავია, ვიდრე მის მოპირდაპირე მხარეზეა დაფიქსირებული. ამიტომ, სამხრეთი ნახევარსფეროს ოკეანურ სფეროში მზის რადიაციის შთანთქმის სიდიდე 55 %-ს შეადგენს, ხოლო დანარჩენი ნაწილი (45 %) ჩრდილოეთი ნახევარსფეროს წილად მოდის. ამავე დროს, მსოფლიო ოკეანის შუა განედების ფარგლებში მზის რადიაციის საშუალო სიდიდე  $+29,8 \times 10^{16}$  კკალ/წწ შეადგენს. აქედან, როგორც ჩრდილოეთის

მიმართულებით, ისე ეკვატორისაკენ, მისი მნიშვნელობა, თანდათანობით კლებულობს.

მსოფლიო ოკეანის შუა განედებში ოკეანის ატმოსფეროსთან ტურბულენტური სითბოგაცვლის ხვედრითი სიდიდე საშუალოდ 5-10 %-ია, ტროპიკებზე კი 1-3 %-ს შეადგენს. ტურბულენტური სითბოგაცვლის ინტენსივობა ჰაერისა და წყლის ტემპერატურათა სხვაობით განისაზღვრება. სითბოს გასაგალი ნაწილის ბიუჯეტში ტურბულენტური სითბოგაცვლის ხვედრითი წილი  $2,7 \times 10^{16}$  კკალ/წნ, რასაც გლობალური სითბოგაცვლის განმსაზღვრელი მნიშვნელობა გააჩნია.

ატმოსფეროსთან ტურბულენტურ სითბოგაცვლაზე მთლიანი რადიაციის მხოლოდ 5 % იხარჯება. ის ოკეანის წყლების მიერ შთაინთქმება და, თავისი სიმცირის მიუხედავად, სწორედ მსოფლიო ოკეანის სითბოს ნაკადის ბიუჯეტის შემადგენელი ეს მაჩვენებელი, ოკეანისპირა ჰაერის მასის გათბობის მნიშვნელოვან წყაროს წარმოადგენს. აქედან გამომდინარე, ოკეანესა და ატმოსფეროს შორის სითბოგაცვლის არსებობას პლანეტის თერმული პროცესების მსვლელობაში, განსაკუთრებული ადგილი უკავია.

ოკეანის სითბურ ბალანსში დიდი პლანეტარული მნიშვნელობა ადვექციასა და წყლის ფაზური გარდაქმნების სითბოს გააჩნია. პირველი მათგანი, ჩვეულებრივად, საკამოდ დიდია მუდმივი (თბილი ან ცივი) დინებების არეალებში. ასე, მაგალითად, გოლფსტრიმის ძლიერი თბილი დინების მოქმედების გამო, ატლანტის ოკეანის დასავლურ ნაწილში, მზის რადიაციის შემოსვლასთან შედარებით, უფრო მეტი სითბოს შემდინებას აქვს ადგილი. ამ აკვატორიაში სითბოს შემოტანა, თბილი დინების ზედაპირიდან აორთქლებისას, სითბოს გადაცემის ზრდასთან ერთად, დაკავშირებულია

აგრეთვე ატმოსფერულ ჰაერთან ტერბულენტური სითბოგაცვლის მიმდინარეობასთან.

მსოფლიო ოკეანის ჩრდილოეთი ნაწილის - პოლარული აკვატორიის ზღვებისა და ოკეანის აკვატორიის სითბურ ბალანსში მნიშვნელოვანი როლის შესრულება უწევთ როგორც დიდი მყინვარული ფრაგმენტების ფორმირების (სითბოს გამოყოფა), ისე მათი დნობის (სითბოს შთანთქმა) პროცესების მიმდინარეობას.

სქემაზე (ნახ. 15. 3) მითითებული სითბოგაცვლის სხვა შემადგენელი სტატიების (ნაწილების) როლი, ოკეანის სითბურ ბალანსში, შეუდარებლად მცირეა. ასე, ოკეანის ფსკერის გავლით, მსოფლიო ოკეანეში დედამიწის წიაღის სითბური ნაკადის შემოსვლა მხოლოდ ფსკერისპირა თხელი ფენის ფარგლებში შეიგრძნობა. მსოფლიო ოკეანის სითბურ ბალანსისა და პლანეტის სითბური მიმოქცევის მსვლელობაში უაღრესად მცირე როლი აქვს სითბოს, რომლებიც მიიღება ოკეანური დინებების დისიპაციის, ბიოქიმიური პროცესების, ატმოსფერული ნალექების მიერ ოკეანის წყლის გათბობის ან გაცივების, გრუნტის წყლების შემოსვლის პროცესების შედეგად.

ოკეანე-ატმოსფერო-ლითოსფეროს სისტემის მიმოქცევის სურათი სრული არ იქნება თუ მას ერთიან-მთლიანობაში არ წარმოვადგენთ. ამ მხრივ ერთხელ კიდევ დავუბრუნდეთ მზის რადიაციის ტრანსფორმაციას ატმოსფეროში, ვნახოთ მისი ოკეანეებიდან ჰაერში შემოსვლა, წარმოვადგინოთ ენერჯისა და მასების გარდაქმნები როგორც ხმელეთის ზედაპირზე, ისე ატმოსფეროს სხვადასხვა ფენებში.

გეოგრაფიულ გარსში შემოსული მზის ენერჯია მრავალ გარდაქმნას (ნახ. 14. 4) განიცდის. მზის ენერჯის გარდაქმნა დედამიწის ატმოსფეროში

მისი ტრანსფორმაციით იწყება. მეცნიერთა მიერ გამოთვლილია (კ. კონდრატიევი, 1980) მზის რადიაციის ატმოსფეროს სხვადასხვა ფენებში შთანთქმის, გაბნევისა და არეკვლის სიდიდეები, დადგენილია მზის რადიაციის ტრანსფორმაციის (ოზონის ფენა, წყლის ორთქლი, ატმოსფერული მტვერი, ღრუბლები) წყაროები.

როგორც აღვნიშნეთ, მზის რადიაცია დედამიწის ატმოსფეროში შესამჩნევ ტრანსფორმაციას განიცდის, თუმცა მისი მეორე მნიშვნელოვანი ნაწილი დედამიწის ზედაპირისაკენ მოემართება. აქ, რადიაციის ერთი ნაწილი შთაინთქმება, ხოლო მეორე ნაწილი, არეკვლილი რადიაციის სახით, ისევ კოსმოსურ სივრცეს უბრუნდება. ამავე დროს, მზის რადიაციის დედამიწის ზედაპირისაკენ მომართული რადიაციის ნაწილი (ნახ. 14. 4) ჰაერის სხვადასხვა ფენებიდანაც აირეკვლება და, საბოლოო ჯამში, დედამიწის ალბედოს 28 % ჰქმნის<sup>6</sup>.

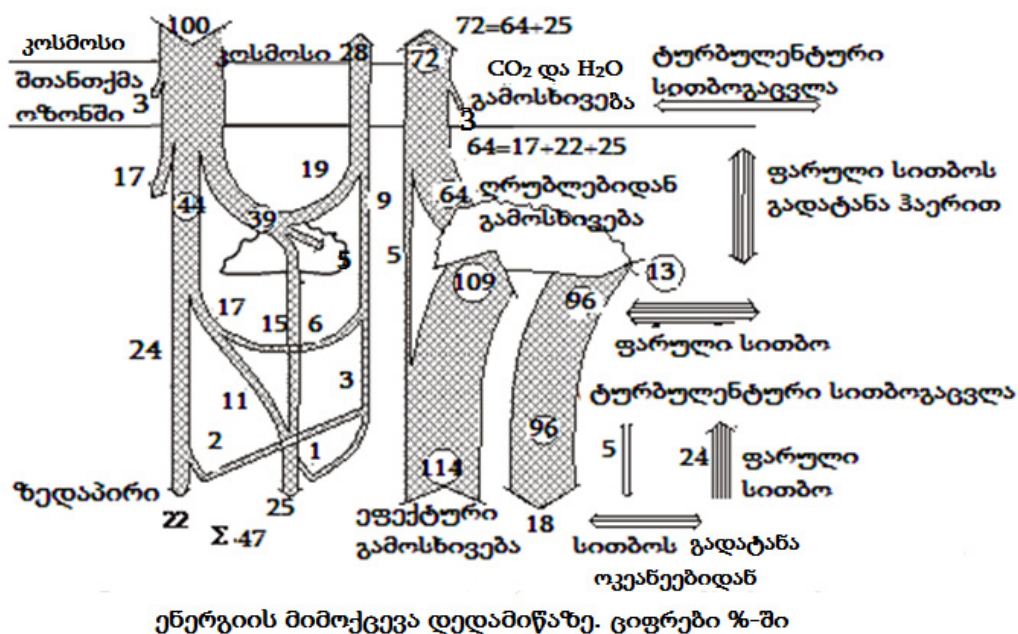
ატმოსფეროში შემოსული და მისგან არეკვლილი რადიაციების სხვაობა შთანთქმულ გამოსხივებას წარმოადგენს, რომელიც საბოლოოდ სითბოში გადადის და ათბობს კიდევაც დედამიწის ჰაერსა და ხმელეთის ზედაპირს. გამთბარი ზედაპირი თვითონ ხდება გამოსხივების<sup>7</sup> წყარო. ამავე დროს, დედამიწის ზედაპირის მზესთან შედარებით დაბალი ტემპერატურის (-90-დან +80<sup>0</sup> C-მდე) გამო, აღნიშნული გამოსხივების ტალღათა ინტერვალი 4-დან 120-მდე მიკრომეტრის (მკმ), უმთავრესად კი 10-15 მკმ-ის ფარგლებში

---

<sup>6</sup> ამ სახელმძღვანელოში მითითებული (ნახ. 14. 4) სითბური ბალანსის, მასებისა და ენერჯის მიმოქცევების მაჩვენებლები სხვადასხვა ავტორებს ეკუთვნის. ამიტომ, ისინი ერთმანეთისაგან მცირედ განსხვავდებიან. მკითხველისათვის მთავარია მოტანილი მსჯელობიდან ბუნებაში მიმდინარე მოვლენების პრინციპული აღქმა. (ავტორი).

<sup>7</sup> კელვინის სკალის ნულზე მაღალი ტემპერატურის მქონე სხეულები თვითონ იძენენ სითბოს გამოსხივების უნარს და გამოსხივების წყარო ხდებიან. (ავტორი)

მერყეობს. აქედან ცხადია, რომ დედამიწა უხილავი, ინფრანითელი რადიაციის უნარის მქონე სხეულია<sup>8</sup>.



ნახ. 14. 4. მზის ენერგიის ტრანსფორმაცია და დედამიწის სითბური ბალანსის სქემა.

<sup>8</sup> ინფრანითელი გამოსხივება - ელექტრომაგნიტური გამოსხივება, რომელსაც უკავია სპექტრული არე ხილული სინათლესა ( $\lambda = 0,74$  მკმ) და მიკროტალღურ გამოსხივებას ( $\lambda \approx 1-2$  მკმ) შორის. მას ენერგია გააქვს დედამიწიდან კოსმოსში, რაც მის გაცევენას იწვევს. ამიტომ, უდაბნოებში ატმოსფეროდან ენერგია უხვად გადის და ღამით სცივდება, თუმცა დღისით ცხელა. ღრუბლიან ზამთარში კი ენერგიის გასვლა კოსმოსში გაძნელებულია და ენერგიაც დედამიწის ზედაპირის დამატებით გათბობას იწვევს.

მოტანილი სქემის (ნახ. 14. 4) მიხედვით, დედამიწის ატმოსფეროს ზედა ფენებში (2000-3000 კმ-ის სიმაღლეზე) შემოსული მზის რადიაცია 100 %-ის ტოლად მიღებული. სქემაზე ჩანს, რომ უკვე სტრატოსფეროს ფარგლებში (25-30 კმ-ის სიმაღლეზე) ამ რადიაციის მცირე (3 %) ნაწილი შთანთქმება ოზონის ფენის მიერ. უფრო დაბლა კი ატმოსფერულ ჰაერში არსებული მტვრის ნაწილაკებისა და წყლის ორთქლის მიერ რადიაციის 17 %-ის შთანთქმას აქვს ადგილი. ჩანს, რომ ამ ორ ფენაში შთანთქმული რადიაციის რაოდენობა 20 % შეადგენს. ცხადია, რომ დარჩენილი რადიაცია 80 %-ს შეადგენს, რომელიც ორ დიდ ნაწილად იყოფა: დედამიწის ზედაპირისაკენ მიმართული პირდაპირი (41 %) და ატმოსფეროში როგორც გაბნეული, ისე შთანთქმული რადიაცია. ამ ორი უკანასკნელი სიდიდეთა ჯამი 39 % შეადგენს.

დედამიწის ზედაპირისაკენ მიმართული პირდაპირი რადიაცია (41 %) ასევე ორ ნაწილად იყოფა: ერთი მინის ზედაპირისაკენ მიემართება (24 %), ხოლო მეორე (17 %) ატმოსფერულ ჰაერში (ნახ. 14. 4) შთანთქმება. თითოეული მათგანი, უკვე მინის ზედაპირზე, განიცდიან თავიანთი სიდიდეების რაოდენობრივ ცვლილებებს. პირდაპირი რადიაციის (24 %) ნაწილი მინის ზედაპირის მიერ შთანთქმება (22 %), ხოლო დარჩენილი 2 % აირეკვლება დედამიწის ზედაპირიდან.

ატმოსფეროში შთანთქმული რადიაციის (17 %) ერთი ნაწილი (11 %) მინის ზედაპირისაკენ (ნახ. 14. 4) მიემართება. ამ უკანასკნელის დიდი ნაწილი (10 %) შთანთქმება დედამიწის ზედაპირის მიერ, ხოლო დარჩენილი 1 % - იმავე ზედაპირიდან აირეკვლება. ამდენად, უკვე ცხადი გახდა დედამიწის ზედაპირის მიერ შთანთქმული ( $22+10=32$  %) და არეკვლილი რადიაციის (3 %) რაოდენობა.

ატმოსფერულ ჰაერში შთანთქმული და გაბნეული რადიაციის (39 %) ერთი ნაწილი (19 %) ამავე ფენიდან აირეკვლება. მეორე ნაწილი (5 %) ღრუბლებში შთაინთქმება. დანარჩენი 15 % კი მიწის ზედაპირისაკენ წამოვა, რაც მზიდან (22 %) და ჰაერიდან მიწის (ნახ. 14. 4) ზედაპირისაკენ წამოსულ გამოსხივებებთან (10 %) ერთად ჯამურ პირდაპირ რადიაციას ( $15\% + 22\% + 10\% = 47\%$ ) შექმნის. რაც შეეხება დედამიწიდან გამოსხივებულ რადიაციას აღვნიშნავთ, რომ ღრუბლებიდან არეკვლილ რადიაციას (19 %) ემატება რა მიწის ზედაპირიდან (3 %) და ჰაერის მიერ შთანთქმული (6 %) გამოსხივება და ( $19\% + 3\% + 6\%$ ) ჯამში 28 % - არეკვლილ (ალბედო) გამოსხივებას შეადგენს.

როგორც სქემიდან (ნახ. 14. 4) ჩანს, დედამიწის ზედაპირისა და ატმოსფეროს, ასევე ოკეანის მიერ შთანთქმული რადიაციის სიდიდე ( $17\% + 47\% = 64\%$ ) საკმაოდ მაღალი მაჩვენებელია. თუმცა, მთლიანი რადიაცია 72 %-ს შეადგენს. სითბოს 8 %-იანი ნაშთი მიღებულია ატმოსფეროდან „გაპარული“ (5 %) და წყლის ორთქლიდან, ასევე ნახშირბადის დიოქსიდიდან გამოსხივებული (3 %) რადიაციების ჯამიდან, რომელიც შემოსული რადიაციის ანუ 100 %-ის ტოლია.

ცალკე ორგანიზაციულ რგოლს, გეოგრაფიული თვალსაზრისით, მნიშვნელოვან ჯგუფს - ორგანულ უჯრედს ქმნის დედამიწიდან გამოსხივებული რადიაცია (იხ. ნახ. 14. 4 - ის მარჯვენა ქვედა კომპონენტი). მისი 96% ატმოსფეროს მიერ შთანთქმება. ამ სიდიდის ნაწილი, ატმოსფეროს გავლით კოსმოსურ სივრცეში გადადის, ხოლო ძირითადი ნაკადი ისევ დედამიწის ზედაპირისაკენ ბრუნდება. ამგვარი წრებრუნვა განუწყვეტელი ბუნებისაა: ატმოსფეროდან 8,5 - 11 მკმ სპექტრის სხივები ზემოთ მიიწევს,

ხოლო ძირითადი ნაწილი ჰაერში რჩება, რაც მის საბოლოო გათბობას ხმარდება.

დედამიწის გამოსხივების უმთავრეს მშთანთქმელებს ატმოსფეროში არსებული წყლის ორთქლი და ნახშირბადის დიოქსიდი წარმოადგენენ. რადგან, ატმოსფეროში გრძელტალღიანი გამოსხივების უდიდესი (96%) ნაწილის შთანთქმას აქვს ადგილი, ამიტომ ატმოსფეროში მიღწეულია ე. წ. სათბურის (ორანჟურული) ეფექტის ბუნებრივი გზით ფორმირება, რასაც დედამიწის ზედაპირის დამატებით გათბობამდე მივყავართ.

ამ ორანჟურული ეფექტის შედეგად დამატებითი გათბობის სიდიდე ჰაერში  $38^{\circ} \text{C}$  შეადგენს. იგი დაკავშირებულია ენერჯის მრავალჯერად გადატანასთან მიწის ზედაპირსა და ატმოსფეროს შორის, და პირუკუ. ამ მოვლენის მრავალჯერადობის გამო, შეიძლება ხატოვნად ვთქვათ: ამ პროცესის ბუნებრივი მსვლელობა, საზოგადოებრივ მეურნეობის დარგებში, მცირენარჩენიან ტექნოლოგიას მოგვაგონებს, რომელიც ერთი და იგივე ნივთიერების მრავალჯერადი გამოყენების შედეგად მიიღწევა. ამავე დროს და აქედან გამომდინარე, შეიძლება ადვილად ავხსნათ ისეთი ბუნებრივი პარადოქსი, რომლის მიხედვით დედამიწის ზედაპირის გამოსხივება უფრო მეტი გამოდგება ხოლმე, ვიდრე ატმოსფეროს ზედა საზღვართან შემოსული მზის რადიაციის სიდიდე.

ვნახოთ ამ მოვლენის მექანიზმი: ატმოსფეროს ღრუბლები, მტვრის ნაწილაკების, წყლის ორთქლისა და ნახშირბადის დიოქსიდის ფენიდან დედამიწის ზედაპირისაკენ სითბოს ნაკადი (96 %) შთანთქმება მიწის ზედაპირის მიერ. აქვე, მას ემატება ოკეანიდან ხმელეთისაკენ მომართული 18 ერთეული სითბო და ჯამში 114-მდე იზრდება. დედამიწის ზედაპირის მიერ

შთანთქმული ეს გრძელტალღიანი რადიაცია ისევ გამოსხივდება ატმოსფეროს მიმართულებით. ამ რაოდენობიდან 5 % ატმოსფეროს მაღალი ფენებისაკენ გადაინაცვლებს და საბოლოოდ დატოვებს კიდევაც მის ფარგლებს. დარჩენილი 109 ერთეულიდან 13 % ატმოსფეროს ორთქლის, ღრუბლებისა და ნახშირბადის დიოქსიდის ფენაში რჩება. სიტბოს „ნარჩენი“ (109-13=96) ისევ მიწის ზედაპირს უბრუნდება და პროცესი ხელახლა მეორდება. მას მუდმივი ხასიათი გააჩნია და დედამიწის პლანეტარული ნიშნების, ასევე ტროპოსფეროს გეოგრაფილი მოვლენების წარმართვაში მნიშვნელოვანი როლის შესრულების ფუნქცია აქვს მინიჭებული.

დავუბრუნდეთ (ნახ. 14. 4) ატმოსფერული ჰაერის წყლის ორთქლის, ღრუბლებისა და ნახშირბადის დიოქსიდის გავრცელების ფენას, სადაც თავს იყრის მიწის ზედაპირსა და ჰაერში (ორთქლი და მტვერი) შთანთქმული სიდიდეების გამოსხივება, რომელთა მაჩვენებლები შესაბამისად 47 % და 17 %-ია, რაც ჯამში 64 % შეადგენს. აქ შემოდის მიწის ზედაპირიდან ჰაერში გავრცელებული ნაკადიდან „ამოვარდნილი“ სიტბო (5 %) და კოსმოსური სივრცისაკენ გასასვლელად „გამზადებული“ ნაკადის სიდიდეს 69 %-მდე ზრდის. მასვე ემატება ნახშირბადის დიოქსიდისა და წყლის ორთქლიდან გამოსხივებული (3 %) გრძელტალღიანი ნაკადი, რაც, საბოლოო ჯამში. ატმოსფეროდან კოსმოსურ სივრცეში გამოსხივებას 72 %-ის მნიშვნელობას ანიჭებს. ჰაერის დაბალ ფენაში გროვდება მიწის ზედაპირიდან შემოსული რადიაციის 109 ერთეულიდან გამოთავისუფლებული 13 %-ის სიტბოც, თუმცა ის ატმოსფეროს მაღალი ფენებისაკენ არ გადაადგილდება და ჰაერის მიწისპირა ზონის ენერგო-მასების წრებრუნვაში არ მონაწილეობს.

ზემოთ აღნიშნული სათბურის ეფექტის განუხრელი ზრდა ატმოსფეროში წყლის ორთქლისა და ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის მატებას უკავშირდება. აქედან გამომდინარე, ჰაერის ტენიანობისა და ნახშირორჟანგის ატმოსფეროში შემცველობა რამდენადმე განსაზღვრავენ ჰაერის ტემპერატურას დედამიწის ზედაპირზე. ამიტომ, მეცნიერები ხშირად მიმართავენ ამ კომპონენტების უნინდელი შემცველობის განსაზღვრას პალეოგეოგრაფიული სურათის აღდგენის მიზნით. ამავე დროს, არანაკლები მნიშვნელობისაა მათი შემდგომი შესაძლებელი ცვლილების განსაზღვრაც. ცნობილია, რომ ამჟამად ატმოსფერული ნახშირორჟანგი განუხრელ ზრდას განიცდის, რომლის ტენდენცია, ალბათ, დიდხანს შენარჩუნდება კიდევაც. ამიტომ, დედამიწის ზედაპირის ტემპერატურის თანდათანობითი ზრდა უნდა ვივარაუდოთ.

როგორც მოტანილი ინფორმაცია გვიჩვენებს - ზოგადად, დედამიწის ზედაპირზე შემოდის მზის პირდაპირი და გაბნეული რადიაცია, აგრეთვე, ატმოსფეროს უკუ გამოსხივება ანუ შემხვედრი რადიაცია. რადიაციული ენერჯიის დანაკარგი, ატმოსფერო-ხმელეთის სისტემაში, არეკვლილი და გამოსხივებული ნაკადებისაგან შედგება. შემოსული და გასული (დაკარგული) ენერჯიათა სხვაობა დედამიწის ზედაპირის რადიაციული ბიუჯეტის სახელწოდებისაა. მას, ნარჩენ რადიაციას უწოდებენ. რაც შეეხება რადიაციათა ნაკადების აღგებრულ ჯამს, რომელიც შემოდის და გადის დედამიწის ზედაპირის სისტემიდან, მას რადიაციული ბალანსი ჰქვია და ხშირად, ამ ორ ცნებას (ბიუჯეტი და ბალანსი) აღნიშნავენ ერთი ტერმინით -რადიაციული ბალანსით, რაც არათუ მოუხერხებელია, არამედ მოვლენის შესახებ არასწორ წარმოდგენას იძლევა.

დედამიწის ზედაპირის რადიაციული ბიუჯეტი წარმოადგენს რადიაციული ენერგიის იმ ნაწილს, რომელიც სხვადასხვა გეოგრაფიულ პროცესებს ხმარდება: აორთქლება, ყინულის დნობა, წყლისა და ჰაერის გათბობა, ატმოსფეროში ჰაერის, ხოლო ჰიდროსფეროში წყლის მასების გადაადგილებები, ქანების გამოფიტვა, ფოტოსინთეზი, ეროზია და მრავალი სხვ. დაბალი განედების რადიაციული ბიუჯეტის საშუალო მრავალწლიური მნიშვნელობები სუსტი გრადიენტებით ხასიათდება, თუმცა ზომიერ და პოლარულ განედებში სწრაფად მცირდება.

ოკეანეების ზედაპირი კიდევ უფრო მაღალი მაჩვენებლისაა, რაც ხმელეთთან შედარებით ალბედოს შემცირებითაა განპირობებული. დედამიწის ზედაპირისაგან განსხვავებით, ატმოსფეროს რადიაციული ბიუჯეტი - საკმაოდ უარყოფითია. ატმოსფეროს მიერ კოსმოსურ სივრცესა და დედამიწის ზედაპირის მიმართულებით გამოსხივებული ენერგია, მის მიერ შთანთქმულ რადიაციასთან შედარებით, განუზომლად დიდია. ატმოსფეროს რადიაციული ბიუჯეტის საშუალო მნიშვნელობა  $3,16 \times 10^9$  ჯ/მ<sup>2</sup>წმ შეადგენს, ანუ აბსოლუტური სიდიდის მიხედვით, მიწის ზედაპირის რადიაციული ბიუჯეტის ტოლია.

დედამიწის ზედაპირის რადიაციული ენერგიის ნამეტი ხელს უწყობს ფიზიკურ-გეოგრაფიული პროცესების წარმართვას. რადიაციული ენერგიის უკმარისობა ატმოსფეროში კომპენსირებულია იმ სითბური ნაკადის შემოსავლით, რომელიც დედამიწის ზედაპირის რადიაციული ბიუჯეტის გარდაქმნისას გამოიყოფა. მის განხორციელებას ადგილი აქვს წყლის ფაზური გადასვლებისა (აორთქლება-კონდენსაცია, რადიაციული ბიუჯეტის 83%) და ტურბულენტური სითბოგაცვლის (რადიაციული ბიუჯეტის 17%)

შემთხვევებში. ამიტომ მიუთითებენ, რომ დედამიწა ხარჯავს იმდენივე ენერგიას, რამდენსაც ღებულობს. ამის გამო, მეცნიერები აღნიშნავენ დედამიწის რადიაციული წონასწორობის მდგომარეობაში არსებობას. თუმცა, იგი აბსოლუტურ მდგრადობას სრულიადაც არ ნიშნავს. მზის ენერჯის მცირედი ნაწილი, ფოტოსინთეზის პროცესში, გადადის რა მიწის ქერქში განამარხებული ქიმიური კავშირების ენერჯიაში, საკმაოდ დიდი ხნით, წრებრუნვებიდან ამოვარდნილად ითვლება. ამ ენერჯის ხელახალ აღდგენას, დედამიწის გეოგრაფიულ გარსში ხანგრძლივი გეოლოგიური ციკლის საფუძვლიანი შეცვლის შედეგად ექნება ადგილი.

ატმოსფეროსა და ქვეფენილი ზედაპირის რადიაციული ბიუჯეტები, დედამიწის სითბური ბალანსის შემადგენელი ნაწილია. დედამიწის სითბური ბალანსი არის სხივური და თბური ენერჯის შემოსავლისა და გასავლის თანაფარდობა დედამიწის ზედაპირზე, ატმოსფეროსა და დედამიწა-ატმოსფეროს სისტემაში. დედამიწის გეოგრაფიული გარსის შემადგენელი კომპონენტების (გეოსფეროების) სითბური ბალანსის შესწავლის მიზნით, ცალ-ცალკე განიხილავენ დედამიწის ზედაპირის, ატმოსფეროს ვერტიკალური სვეტისა და ატმოსფერო-ლითოსფეროს, ატმოსფერო-ჰიდროსფეროს ზედა ფენაში გამავალი ვერტიკალური სვეტის სითბურ ბალანსებს.

დედამიწის ზედაპირის-ატმოსფეროს ზედა და ქვედა ფენების სისტემის სითბური ნაკადები საკმაოდ რთულია და არაერთგვაროვანი. ამ ნაკადების ზოგადი სურათი საკმაოდ ცვალებადი ხასიათისაა, გეოგრაფიული სიჭრელით გამოირჩევა და დროთა განმავლობაში უცვლელი სრულებით არაა. ამის

მიუხედავად, აქ მოტანილი მონაცემები<sup>9</sup> (ცხრილი 15.1) შეესაბამება დედამიწის ზედაპირისა და ატმოსფეროს სითბური ბალანსის წევრთა ალგებრულ ჯამს და საშუალო მონაცემების ანგარიშის საფუძველზეა მიღებული. ამიტომ, სხვა სახელმძღვანელოებსა და მონოგრაფიებში დაფიქსირებული სიდიდეები შეიძლება ერთმანეთს არ დაემთხვეს.

მოცემული ცხრილის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ატმოსფეროს ზედა საზღვართან შემოსული მზის რადიაციიდან (100%) არეკვლა (ალბედო) 37%-ს შეადგენს და მოიცავს ატმოსფერული (7%), ღრუბლებისა (27%) და დედამიწის ქვეფენილი ზედაპირის (3%) მიერ კოსმოსურ სივრცეში დაბრუნებულ სხივთა კონას. ცხადია, რომ დედამიწის ალბედოს ნაკადი გეოგრაფიული გარსის თბო-ენერგეტიკულ მუშაობაში მონაწილეობას არ ღებულობს. მზის ენერჯის მეორე სახე - შთანთქმული რადიაცია ხმარდება პირდაპირი და გაბნეული რადიაციების შთანთქმას როგორც ატმოსფეროდან (20%), ისე დედამიწის (43%) ზედაპირიდან. ამდენად, ატმოსფეროს ზედა ფენებში შემოსული რადიაცია (100%) გასული (ალბედო და გამოსხივება) რადიაციული სიდიდეების ტოლია.

ამავე დროს, თუკი შევაჯამებთ დედამიწა-ატმოსფეროს სისტემის სითბური ბალანსის ელემენტებს მივიღებთ რომ დედამიწის ზედაპირის მიერ საკუთარი გამოსხივებით (116%) გაცემული სითბო, ნაწილობრივ (96%) კომპენსირებულია ატმოსფეროს შემხვედრი საკუთარი გამოსხივებით. მათ შორის სხვაობა ეფექტური გამოსხივების (სითბოს ფაქტობრივი დანაკარგი) სახელწოდებას ატარებს.

---

<sup>9</sup> ციფრები მოცემულია პროცენტებში ატმოსფეროს ზედა საზღვარზე შემოსული 225 კკალ/სმ<sup>2</sup>წ მნიშვნელობიდან.

დედამიწა-ატმოსფეროს სისტემის სითბოს<sup>10</sup> ნაკადების ბალანსი

სითბოს შემოსავალი <sup>11</sup>	სითბოს გასავალი		
<b>ატმოსფეროს ზედა საზღვარი</b>			
ატმოსფეროს (7), ღრუბლებისა (27) და დედამიწის ზედაპირის (3) მიერ არეკვლილი რადიაცია	37		
ატმოსფეროს გრძელტალღიანი გამოსხივება კოსმოსურ სივრცეში	55		
დედამიწის ზედაპირის გრძელტალღიანი გამოსხივება	8	მზის რადიაცია	100
ჯამი	100	ჯამი	100
<b>ატმოსფერო</b>			
მზის პირდაპირი და გაბნეული რადიაციის შთანთქმა	20	ატმოსფეროს გრძელტალღიანი გამოსხივება კოსმოსურ სივრცეში	55
დედამიწის ზედაპირის გრძელტალღიანი გამოსხივების შთანთქმა	108	ატმოსფეროს გრძელტალღიანი გამოსხივება დედამიწის ზედაპირისაკენ	96
წყლის ორთქლის კონდენსაცია	19		
დედამიწის ზედაპირიდან ატმოსფეროში ტურბულენტური თბოგადაცემა	14		
ჯამი	151	ჯამი	151
<b>დედამიწის ზედაპირი</b>			
პირდაპირი რადიაციის შთანთქმა	27	დედამიწის გრძელტალღიანი გამოსხივება	116
გაბნეული რადიაციის შთანთქმა	16	დედამიწის ზედაპირიდან წყლის აორთქლებაზე დახარჯული სითბო	19
ატმოსფეროს გრძელტალღიანი გამოსხივება	96	დედამიწის ზედაპირიდან ატმოსფეროში ტურბულენტური თბოგადაცემა	4

<sup>10</sup> ციფრები მოცემულია პროცენტებში ატმოსფეროს ზედა საზღვარზე შემოსული სითბოს სიდიდეები 225 კკალ/სმ<sup>2</sup>წ მნიშვნელობიდან.

<sup>11</sup> სითბური ბალანსის სიდიდეები მიღებულია სხვადასხვა ავტორების გამოთვლებით, ამიტომ ისინი ერთმანეთისაგან მცირედ განსხვავდებიან. აქ, მოცემულია მათი საშუალო პარამეტრები.

ჯამი	139	ჯამი	139
------	-----	------	-----

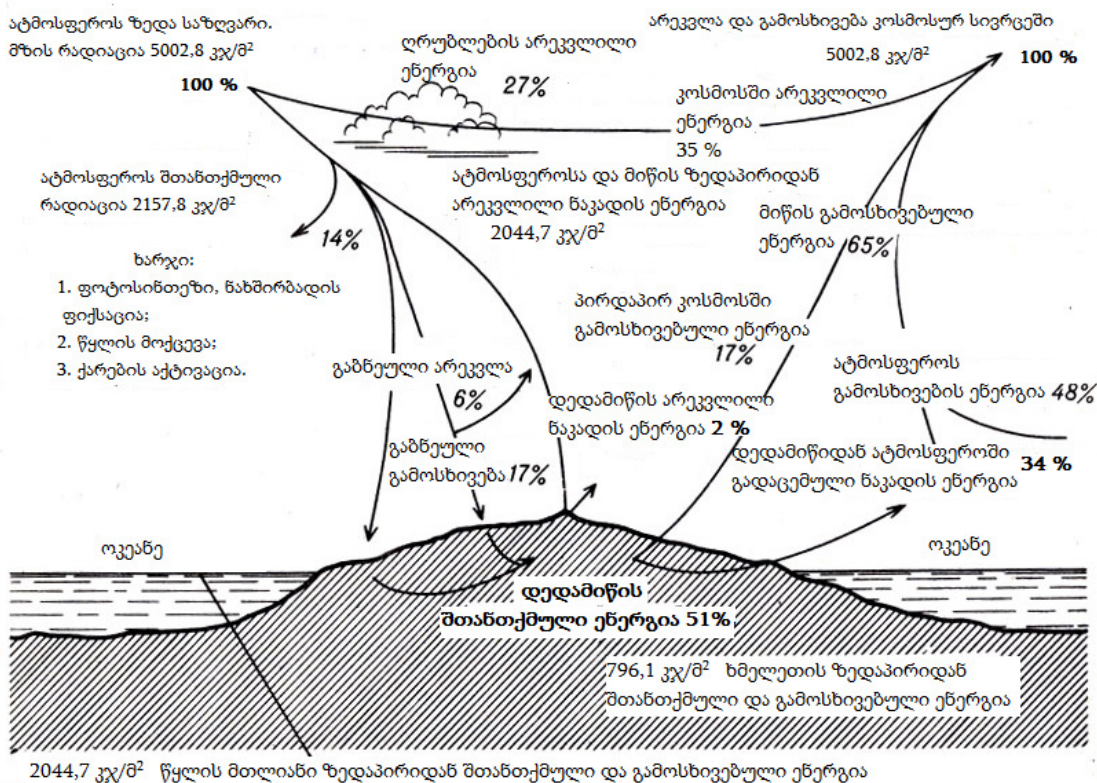
ასეთია დედამიწის ურთულესი სითბური ბალანსის ზოგადი სურათი. მისი კონკრეტული უბნების ბალანსის მაჩვენებლები ერთმანეთისაგან განსხვავებული სიდიდებით ხასიათდება. ერთგან, დედამიწა მეტ სითბოს ღებულობს ან გასცემს, ხოლო მეორეგან - პირიქით. თუმცა, ეს უბნები პროგრესიულ გადაცივებას ან გადახურებას სრულებით არ განიცდიან. სითბური ბალანსი მიღწეულია ატმოსფერული ჰაერის მუდმივი გადაადგილებითა და ოკეანური დინებებით, რომლებიც დედამიწის მაღალ და დაბალ განედებს შორის სითბოს განუწყვეტელ გადანაწილებასა და, მათ შორის, სისტემის ტემპერატურული კონტრასტების ე. წ. „შემსუბუქებას“ განაპირობებენ.

## § 16. ბუნებაში ენერჯის წრებრუნვების სისტემურ-გეოგრაფიული ნიშნები

ბუნებრივ გარემოში მიმდინარე მიმოქცევების შესახებ მეცნიერებაში დაგროვილი მასალის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ლანდშაფტურ-გეოგრაფიული სისტემის ნივთიერებები და მასთან დაკავშირებული ენერჯია სტაგნაციურ მდგომარეობაში სრულიადაც არ იმყოფება. მათ მიერ შესრულებული მოძრაობანი წრებრუნვების ფორმისაა და ბუნებაში საკმაოდ შესამჩნევად მიმდინარეობს. ამავე დროს, არ იქნებოდა სწორი იმის დაშვება, რომ აღნიშნული მიმოქცევები მხოლოდ დედამიწის ბუნებრივ გარემოში აქვს ადგილი. ცხადია, რომ ნივთიერებებისა და ენერჯის დინამიკური ნიშნები მჭიდროდ უკავშირდება ბუნებრივი გარემოს მიმდებარე სფეროებსა და მათ მომიჯნავე გარდამავალ სექტორებს. ამიტომ, ენერჯომასების მიმოცვლას ცხადია, მათ კიდევზეც ექნება ადგილი. აქედან ცხადია, რომ მსგავსი კავშირები (ნახ. 16. 1) შეინიშნება როგორც ბუნებრივი გარემოს გარე „მეზობელთან“ - კოსმოსურ სივრცესთან, ისე „საკუთარ“ მიწის წიაღთანაც.

ცნება ენერჯია (ძვ.ბერძნ.  $\epsilon\nu\rho\gamma\epsilon\iota\alpha$  – მოქმედება, საქმიანობა, ძალა, სიმძლავრე) ბუნების ელემენტების (ჰაერი, წყლები, ლავა, ორგანიზმები) მოძრაობისა და ურთიერთობის სხვადასხვა ფორმების განზომილების ერთეულია, მათი ერთი ფორმიდან მეორეში გადასვლისას შესრულებული მოძრაობის (სიჩქარე, მიმართულება და სხვ) საზომია. ჩაკეტილი ფიზიკური

სისტემის შემთხვევაში, რაიმე დროის (სანამ სისტემა ჩაკეტილია) მონაკვეთში, ენერჯის შენახვას<sup>12</sup> აქვს ადგილი (ენერჯის შენახვის კანონი<sup>13</sup>).



**ნახ. 16. 1. ლანდშაფტურ-გეოგრაფიული სისტემის მიმოქცევის ენერჯეტიკული ნაკადები**

ამ პარაგრაფში მოტანილი ენერჯეტიკული ნაკადების პრინციპული სქემიდან (ნახ. 16. 1) აშკარაა, რომ ატმოსფეროს ზედა საზღვართან შემოსული მზის რადიაცია 5002,8 ჯჯ/მ², „ატმოსფერო-ოკეანე-ხმელეთი“ სისტემაში ასრულებს რა საკმაოდ რთულ გარდაქმნებს - ჰაერის გარსიდან

<sup>12</sup> შენახვის კანონი ეწოდება მტკიცებას, რომ იზოლირებული სისტემის რაიმე ფიზიკური სიდიდე არ იცვლება სისტემის ევოლუციის დროს.

<sup>13</sup> ენერჯის შენახვის კანონი - ნიშნავს ბუნების რაიმე იზოლირებული სისტემის ენერჯის დროში უცვლელობასთან ერთად მის, ერთი მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლისას - ფორმის უცვლელ ცვლილებას.

გასული ენერჯის (5002,8 კჯ/მ<sup>2</sup>) ტოლია. ამ ორი სიდიდის ტოლობა მზის ენერჯის დედამიწის ბუნებრივ სისტემაში რეალურად არსებულ ბალანსზე მიუთითებს. ამასთან, ბუნებრივი გარემოს სისტემაში ენერჯის ნაკადები საკმაოდ საკმაოდ დახლართული გზების გავლას ახერხებენ და, ამავე დროს, რთული ბუნებრივი პროცესების მსველელობას განაპირობებენ. მათ შორისაა ფოტოსინთეზის „წარმოება“, ნახშირბადის ფიქსაცია, ბუნებრივი წყლების მიმოქცევა - დინებები და ტალღები, ჰაერის ცირკულაცია და ქარების აქტივაცია და ა.შ. საბოლოო ჯამში, დედამიწის ატმოსფეროს ზედა ფენებში შემოსული მზის რადიული ენერჯიდან (5002,8 კჯ/მ<sup>2</sup> მიწის ზედაპირზე 796,1 კვ/მ<sup>2</sup> ენერჯია ხვდება. ცხადია, რომ მისი ტოლი სიდიდის გამოსხივება (34 %) ემატება ატმოსფერული ჰაერიდან გამოსხივებულ ენერჯიას (48 % - 17 %<sup>14</sup> = 31 %) და, საბოლოოდ, მისი სიდიდე 65 % შეადგენს, რაც ალბედოსთან ერთად, ლანდშაფტურ-გეოგრაფიულ სისტემის ენერგეტიკული ნაკადების რეალურ მიმოქცევას წარმოაჩენს.

აღნიშნული სფეროებისა და, საკუთრივ, ბუნებრივი გარემოს ურთიერთობათა შედეგად, ამ უკანასკნელის ფარგლებში, ნივთიერებათა და ენერჯიების რთული გარდაქმნები სრულდება. ენერჯიათა წრებრუნვის მექანიზმი ნივთიერებათა მიმოქცევების (ნახ. 16. 2) შინაარსში დევს. აქ, ნათლად ჩანს, რომ როგორც ნივთიერებათა მოძრაობა და, ასევე, მათი გამომწვევი და მამოძრავებელი ენერჯიაც შეუქცევადი მოვლენაა. თუკი ნივთიერებათა წრებრუნვები გეოგრაფიული გარსის განვითარებას იწვევენ, ცხადია ენერჯიათა ანალოგიური ქცევები ამ ნივთიერების ინტენსიურობის განმსაზღვრელ როლში უნდა გამოვიდეს.

<sup>14</sup> აქ ნაჩვენები 17 % - ის გამოსხივებას ატმოსფეროდან პირდაპირ კოსმოსში აქვს ადგილი.

კერძოდ, ატმოსფეროს ზედა ფენებში მზის შემოსული ჯამური რადიაციის ( $342 \text{ W/m}^2$ ) ერთი ნაწილი ( $77 \text{ W/m}^2$  ანუ  $22,5 \%$ ) ატმოსფეროდან ღრუბლებისა და აეროზოლის მიერ არეკვლას განიცდის, ხოლო მეორე - შედარებით მცირე ნაწილი ( $67 \text{ W/m}^2$  ანუ  $19,6 \%$ ) ატმოსფერულ ჰაერში შთანთქმას ახერხებს. ჯამური რადიაციის მესამე კომპონენტი ( $198 \text{ W/m}^2$ ) დედამიწის ზედაპირისაკენ ვრცელდება, თუმცა აქედან  $30 \text{ W/m}^2$  ანუ ( $8,8 \%$ ) არეკვლას განიცდის და საერთო ალბედოს ( $107 \text{ W/m}^2$  -მდე ) ანუ  $31,3 \%$ -მდე ზრდის. მზის რადიაციის დანარჩენი ნაწილი ( $168 \text{ W/m}^2$ ) ანუ  $49,1 \%$  - დედამიწის ზედაპირზე შემოდის და შთაინთქმება კიდევაც მის მიერ.

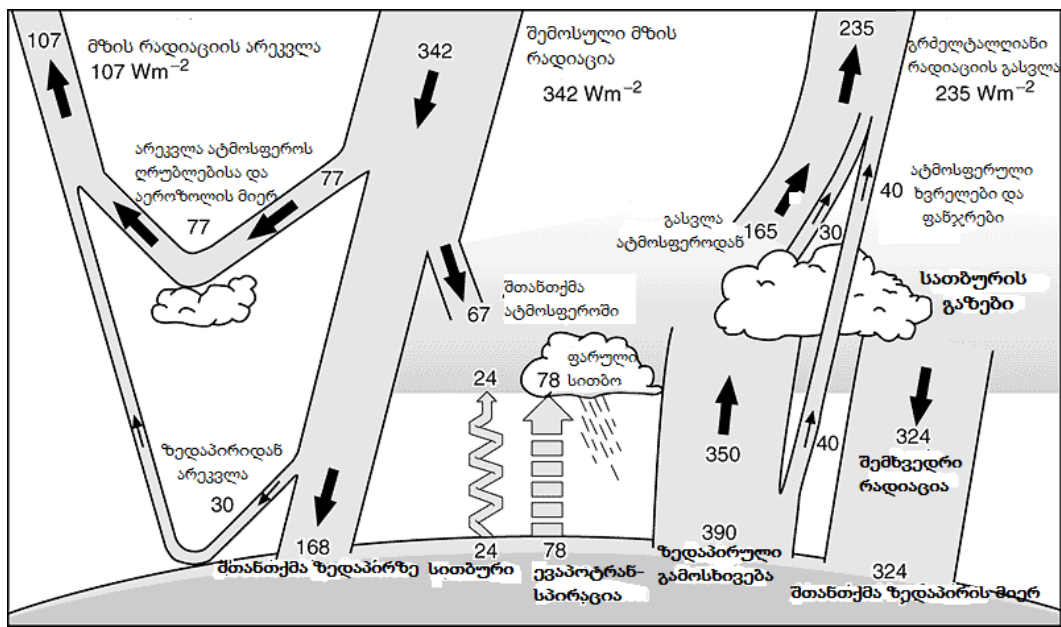
დედამიწაზე შემოსული მზის რადიაციის მეოთხე დიდი რგოლი - შთანთქმულ რადიაციას ქმნის, რომლის წილი ატმოსფეროში  $67 \text{ W/m}^2$  შეადგენს. სწორედ ამ რადიაციითაა შეპირობებული ატმოსფეროს ხილული ფონი ცისფერი „შეფერილობა“. ამასთან ერთდ, ატმოსფერული ჰაერი დედამიწის ზედაპირიდან დამატებით ღებულობს ენერგიას სითბური ( $24 \text{ W/m}^2$ ) და ევაპორანსპირაციის<sup>15</sup> ( $78 \text{ W/m}^2$ ) სახით. ამ გზით ატმოსფერულ ჰაერში მოხვედრილი წყლის ორთქლში გადასულია ის ენერგია, რაც მისი აორთქლების დროს დაიხარჯა და, ამიტომ, ეს უკანასკნელი, ატმოსფეროში ფარული სითბოს სახით რჩება. ამ ენერგიის სრულ გამოყოფას ორთქლის კონდენსაციის დროს აქვს ადგილი.

---

<sup>15</sup> ევაპორანსპირაცია (ლათ. Evaporatio - აორთქლება, trans - იქით, spiro - ვსუნთქავ) მცენარეების და ნიადაგის ზედაპირის მიერ ფართობის ერთეულიდან დროის გარკვეულ მონაკვეთში წყლის ჯამური აორთქლება.

ამდენად, დედამიწის ზედაპირზე შთანთქმული ენერჯის მიერ შესრულებული „სამუშაო“ შემდეგნაირ სურათს იძლევა. სქემის (ნახ. 16. 2) მარცხენა მხარეზე ჯერ ერთი, მზის პირდაპირი რადიაციის შედეგად გამთბარი ხმელეთის ზედაპირი თვითონ იწყებს გათბობას და, თავის მხრივ, გრძელტალღიანი გამოსხივების წყარო ხდება. მისგან გაცემული სითბო, ჯერ ერთი, უშუალოდ იწვევს ატმოსფეროს ჰაერის გათბობას, მეორეც - სითბო გადადის ნიადაგის ფენებში და იწვევს მისი სტრუქტურის ჩამოყალიბებას, ასევე ცოცხალი ორგანიზმების ფუნქციონირების წარმართვას, მესამე - სითბური რეჟიმის ცვლილების შესაბამისად, ჰაერის ქვეფენილი - მიწისპირა და მიმდებარე ფენების ცირკულაციას, ადგილობრივი მეტეოროლოგიური ელემენტების დღე-ღამური და სეზონური რყევების ფაზური ცვლილებების შესაბამისად კი ბუნებრივი პროცესების ტალღუ მსვლელობებსა და ა.შ.

თუმცა, აქ მოტანილი მსჯელობა ამ რთული პროცესის მსვლელობას მხოლოდ ცალმხრივად ახასიათებს. ატმოსფერო-ხმელეთის სისტემაში მზის რადიაციის ტრანსფორმაციის მერე მარჯვენა რგოლი, ბუნებრივი პროცესების მიმდინარეობის თვალსაზრისით, მარცხენა რგოლთან შედარებით, კიდევ უფრო მეტი მნიშვნელობასაა. მისი სიდიდეების დეტალური წარმოჩინება და



მათი მუშაობის ასპექტების წარმოდგენა ერთიანი-მთლიანი სისტემის რაოდენობრივ-თვისებრივი ასპექტების აშკარა სურათის მიღებას მოასწავებს. მისი წარმოჩინების მიზნით ვნახოთ სქემის (ნახ. 16. 2) მარჯვენა მხარეზე წარმოდგენილი სისტემის ნაკადები და მათ მიერ გამოწვეული პროცესების მსვლელობა.

**ნახ. 16.2.** ენერჯიათა ნაკადების წრებრუნვის მექანიზმი და ნივთიერებათა მიმოქცევები

მოტანილი სქემიდან (ნახ. 16.2) ჩანს, რომ მზის ჯამური ( $342 \text{ W/m}^2$ ) რადიაციის ტრანსფორმაცია ატმოსფერო-ხმელეთის სისტემაში შემდეგნაირ სტრუქტურას ამჟღავნებს: ატმოსფეროში შთანთქმული ( $67 \text{ W/m}^2$ ) და არეკვლილი ( $107 \text{ W/m}^2$ ), ასევე მიწის ზედაპირზე შთანთქმული ( $168 \text{ W/m}^2$ ) რადიაციის ალგებრული ჯამი ( $67+107+168=342$ ) სრული ბალანსის მიღწევას ადასტურებს. ასევე, დედამიწიდან გასულ ( $107 \text{ W/m}^2$ ), არეკვლილ ( $31,3 \%$ ) რადიაციასთან (ალბედო) ერთად ატმოსფეროს მაღალი ფენებიდან კოსმოსურ სივრცეში გასული გრძელტალღიანი რედიაციის რაოდენობრივი მაჩვენებელი ( $235 \text{ W/m}^2$ ) ალბედოს  $2,2$  - ჯერ ჭარბობს და  $68,7 \%$  შეადგენს.

თუმცა, ამ სიდიდეების სუფთა არითმეტიკული ოპერაციული მიდგომა, ჩვენ ამოცანას (ბუნებრივი პროცესების მსვლელობას) მხოლოდ ნაწილობრივ პასუხობს. ჩანს, რომ მზის რადიაციის ენერჯიის ნაკადების სურათი მხოლოდ ამ აღნიშნული ბალანსური სქემით არ შემოიფარგლება.

მისი სრული წარმოდგენის მიზნით, უნდა ვნახოთ სქემაზე გამოსახული სიდიდეების მიერ ბალანსის „დარღვევის“ აშკარა გეოგრაფიული პარადოქსი: ატმოსფეროსა და დედამიწის ზედაპირზე შთანთქმული რადიაციების ჯამის ( $67+168=235$ ) ატმოსფეროში დაგროვებამ, შემხვედრი რადიაციის ფორმირება

უნდა გამოიწვიოს. ამ მოვლენას სინამდვილეში, მართლაც აქვს ადგილი, თუმცა მისი მნიშვნელობა ( $235 \text{ W/m}^2$ ) ფაქტობრივ სიდიდესთან ( $324 \text{ W/m}^2$ ) შედარებით ( $89 \text{ W/m}^2$ ) რამდენადმე ნაკლებია. ამ ბალანსურ განტოლებაში „არითმეტიკული შეუსაბამობა“ მხოლოდ გეოგრაფიული მოვლენების სისტემური აღქმითაა შესაძლებელი.

ცხადია, რომ საქმეში ერთვება დედამიწა-ატმოსფერო-ჰიდროსფეროს სისტემაში მიმდინარე პროცესები. კერძოდ, ატმოსფეროში შთანთქმულ რადიაციას ( $67 \text{ W/m}^2$ ) ემატება დედამიწიდან ატმოსფეროში გადასული სითბური ნაკადი ( $24 \text{ W/m}^2$ ) და ევაპოტრანსპირაციით ( $78 \text{ W/m}^2$ ) მიღებული ფარული სითბო, რომელთა ჯამი  $169 \text{ W/m}^2$  შეადგენს. ამ სიდიდეს ემატება ოკეანიდან სითბოგაცვლით შემოსული რადიაცია ( $155 \text{ W/m}^2$ ), რომლებიც ერთობლივად მიწის ზედაპირისაკენ ბრუნდება (ნახ. 16.2-ის მარჯვენა რგოლი) და მის „ზედმეტ“ გათბობას იწვევს. ამ გზით მიღებული  $324 \text{ W/m}^2$  სიმძლავრის შემხვედრი რადიაცია დედამიწის შთანთქმულ რადიაციას  $1,93$  - ჯერ აღემატება, ხოლო მზის ჯამურ რადიაციას თითქმის უტოლდება და მისი მნიშვნელობის  $94,7\%$  შეადგენს.

მაგრამ ეს, ჯერ კიდევ, შორსაა ამ მოვლენის სრული სურათისაგან. ატმოსფეროს შემხვედრი გამოსხივების სიდიდე ( $324 \text{ W/m}^2$ ) დედამიწის ზედაპირის მიერ შთანთქმება, რომელსაც ემატება მზის პირდაპირი რადიაციის ხმელეთზე შთანთქმული ნაწილი, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ მას გამოაკლდება დედამიწის ზედაპირიდან უკვე გამოსხივებული სითბური ( $24 \text{ W/m}^2$ ) ნაკადი და ევაპოტრანსპირაციის ( $78 \text{ W/m}^2$ ) ფარული სითბო, რაც  $66 \text{ W/m}^2$  - ს შეადგენს. ამის გამო, დედამიწის ზედაპირის გამოსხივებაც  $390 \text{ W/m}^2$ -მდე მატულობს.

ამ სიდიდის მცირე ნაწილი ( $40 \text{ W/m}^2$ ) ანუ  $10,25 \%$  ჰაერის ხვრელებისა და ფანჯრების გავლით - ატმოსფეროდან „გაჰარვას“ ახერხებს, ხოლო დანარჩენი ( $350 \text{ W/m}^2$ ) ხელახალ ე.წ. მარჯვენა რგოლის ფორმირებასა და დედამიწის დამატებითი გათბობის „ეფექტში“ ლებულობს მონაწილეობას. ამ რგოლის ატმოსფეროსაკენ მიმართული დედამიწის უკვე „გამდიდრებული“ გამოსხივების ( $350 \text{ W/m}^2$ ) მცირე ნაწილი ( $30 \text{ W/m}^2$ ) ღრუბლების ფენიდან კოსმოსურ სივრცეში უკან მოუბრუნებლად გადადის. დარჩენილი ( $324 \text{ W/m}^2$ ) შემხვედრი გამოსხივების სახით ისევ დედამიწის ზედაპირისკენ მოემართება და ამ „ჩაკეტილ წრედში“ ერთგვარ თითქმის უდანაკარგო მიმოქცევას აწარმოებს.

დაბოლოს, ამ სქემის ორივე - მარჯვენა და მარცხენა მხარეების გაერთიანებით შესაძლებელია მოცემული ნაკადების როგორც ალგებრული ჯამის, ისე მისი გეოგრაფიული შედეგების ნათლად წარმოდგენა. როგორც სქემიდან (ნახ. 16.2) ჩანს, დედამიწის ზედაპირზე სთანთქმული რადიაციის სიდიდე ( $168 \text{ W/m}^2 + 324 \text{ W/m}^2 = 492 \text{ W/m}^2$ ) მზის ჯამურ რადიაციაზე ( $342 \text{ W/m}^2$ ) მეტი გამოდგა და მას  $150 \text{ W/m}^2$ -ით ანუ  $44 \%$  - ით აჭარბებს. ატმოსფერულ ღრუბლებში შთანთქმული რადიაციის სიდიდემ კი  $67 \text{ W/m}^2 + 24 \text{ W/m}^2 + 78 \text{ W/m}^2 = 169 \text{ W/m}^2$  შეადგინა. საბოლოო ჯამში კი დედამიწის ზედაპირიდან ატმოსფეროში გამოსხივებული და თვით ჰაერში არსებული რადიაციის სიდიდემ  $519 \text{ W/m}^2$  მიაღწია.

ატმოსფერულ ჰაერში დაგროვილი რადიაცია სხვადასხვა მიმართულებით იწყებს მოძრაობას: აქედან დედამიწისაკენ შემხვედრი რადიაციის გასვლის შედეგად ჰაერში  $519 \text{ W/m}^2 - 324 \text{ W/m}^2 = 195 \text{ W/m}^2$ , ხოლო ღრუბლებიდან არეკვლის შედეგად საბოლოოდ დარჩა  $165 \text{ W/m}^2$ .

ატმოსფეროდან გასული გრძელტალღიანი რადიაცია კი  $165 \text{ W/m}^2 + 30 \text{ W/m}^2 + 40 \text{ W/m}^2 = 235 \text{ W/m}^2$ , რასაც უნდა დაემატოს ატმოსფეროდან არეკვლილი ( $107 \text{ W/m}^2$ ) მზის რადიაციის სიდიდე, რომელთა ჯამი  $342 \text{ W/m}^2$ -ს, ანუ მზის შემოსული რადიაციის ტოლია.

როგორც ჩანს, ბუნებრივ გარემოში ნივთიერებათა მიმოქცევების მამოძრავებელი ენერგია, მისი შემოსვლა და მუშაობის ასპექტები, საკმაოდ რთული, თუმცა ვიზუალურად შესამჩნევი მოვლენაა და ბუნებრივი მოვლენების კანონზომიერ მსვლელობას განაპირობებენ. აღნიშნული თეზისის დადასტურების მიზნით, ვნახოთ ამ მიმოქცევის პრინციპული შინაარსი.

ცხადია, რომ ბუნებრივ სისტემაში შემოსული ენერგიის ძირითადი წყაროებიდან უმთავრესია მინის წიაღი, დედამიწის ბრუნვა ლერძის გარშემო და მზის გარშემო შემოვლა, მზის რადიაცია და მისი ტრანსფორმაცია ატმოსფერო-ჰიდროსფერო-ლითოსფერო-ბიოსფეროს სისტემაში. ბუნებრივ გარსში შემოსულ ენერგიათა შორის აღსანიშნავია დედამიწის შინაგანი სითბო. აკად. ა. მონინის გამოთვლებით, დედამიწის განვითარების ხანგრძლივი ისტორიის მანძილზე გამოთავისუფლებული ენერგია  $1,6 \times 10^{31}$  ჯოულს შეადგენს. დედამიწის შინაგანი ენერგიის მეორე წყაროა რადიოგენური ენერგია, რომელიც მიღებულია ზოგიერთი ქიმიური ელემენტის რადიოაქტიური დაშლის შედეგად. დადგენილია, რომ ამ გზით მინის წიაღში უკვე გამოიყო  $0,9 \times 10^{31}$  ჯოული, ხოლო წიაღიდან ზედაპირზე გაბნევამ (შემოსვლამ)  $0,74 \times 10^{31}$  ჯოული შეადგინა.

წიაღში დაგროვილი ენერგიის ნაწილი დედამიწის ზედაპირიდან დანალექი ქანების სიღრმეში გადასვლასთანადა დაკავშირებული. ამ

მოვლენას ადასტურებს ზედაპირული თიხოვანი შრეების შინაგანი ენერჯის დიდი მარაგი. ამ ნალექების ღრმად დაძირვისა და გათბობის შემთხვევაში, ქანების მიერ დედამიწის ზედაპირზე ქანებში შთანთქმული ენერჯია - მიწის წიაღში უნდა გამოიყოს.

ამდენად, თიხოვანი მინერალები „სათბობი წიაღისეულის“ როლში გამოდიან, რომელთა შინაგანი ენერჯის გამოყოფა მაღალ (გალღვობის) ტემპერატურაზე მიმდინარეობს. ანალოგიური თვისებისაა ქვანახშირიც. აკი, წარსულის გეოლოგიურ ეპოქაში, დედამიწის ზედაპირზე მცენარეულ საფარში მზის ენერჯის გადასვლამ (ფოტოსინთეზი) და აკუმულირებამ, ამ ორგანულ ნივთიერებასთან ერთად, წიაღში განამარხება განიცადა, რომლიც დიდი ხნის განმავლობაში ამ მცენარეთა სხეულში „ისვენებდა“, ხოლო უკვე ამჟამად, ამ ქვანახშირის ადამიანის მიერ მოპოვებისა და მოხმარების შემთხვევაში - „განამარხებული“ ენერჯის გამოყოფას აქვს ადგილი. ასეთი ნიშნების მატარებელ სხეულებს „გეოქიმიურ აკუმულატორებს“ უწოდებენ.

მიწის წიაღიდან ლანდშაფტურ-გეოგრაფიულ სისტემაში ენერჯია შემოდის სითბური ნაკადების სახით. ამ ნაკადის სიდიდე დადგენილია (0,006 ჯ/მ<sup>2</sup>წმ) გამოთვლებით. მისი ინტენსიურობა განსაკუთრებით მაღალია დედამიწის მოძრავ (წყნაროკეანური, ხმელთაშუაზღვიური და რიფტული ზონები) არეალებში. ისინი უფრო მაღალ სიდიდეებს ღებულობენ წითელი ზღვის მიდამოებში, ან კიდევ, ვულკანური ამოფრქვევებისა და მიწის ქერქის ტექტონიკური დისლოკაციის ზოლებში.

ბუნებრივ გარემოში შესამჩნევი ენერჯია შემოდის დედამიწისა და კოსმოსურ სხეულებს (მზე და მთვარე) შორის ურთიერთმოქმედების შედეგად. მოქცევითი ხახუნის ენერჯის რაოდენობა  $3,5 \times 10^3$  ჯ/კმ<sup>2</sup>წმ შეადგენს. წარსულში,

ეს სიდიდე რამდენადმე მეტი ძალით უნდა ყოფილიყო გამოვლენილი, რაც დედამიწის ბრუნვის მეტი სიჩქარითა და მთვარემდე ნაკლები მანძილით იყო გამოწვეული. ბუნებრივია, რომ ამ მოვლენას წარსულის ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პროცესებზე დიდი გავლენა უნდა მოეხდინა.

ამჟამადაც კი, მოქცევა და უკუქცევა თანდათანობით ანელებენ დედამიწის ღერძულ ბრუნვას, რაც, თავის მხრივ, ამცირებს კორიოლისის ძალასა და ზრდის დღის ან ღამის ხანგრძლივობას. ამის შედეგად, ადგილი აქვს ატმოსფერული ცირკულაციის ახალი სურათის ჩამოყალიბებას, ჰაერის ტემპერატურისა და ატმოსფერული ნალექების წლიური, სეზონური და დღე-ღამური აწინდელისაგან განსხვავებული რეჟიმების ფორმირებას.

ბუნებრივი გარემოში შემოსული მზის ენერგია ( $2,3 \times 10^2$  ჯ/მ<sup>2</sup>წმ) რამდენიმე ათასჯერ ჭარბობს ენერგიის სხვა (ცხრილი 16. 1) ნაკადებს, თუმცა ფიზიკურ-გეოგრაფიული პროცესების მსვლელობა დამოკიდებულია არა მარტო ენერგიის ნაკადის სიმძლავრეზე, არამედ ბუნებრივ მოვლენებს ამ ენერგიის შემოსვლის ფორმაც განსაზღვრავს.

ცხრილი 16. 1.

ბუნებრივი გარემოში შემოსული ენერგიის ნაკადების თანათარღობა

ენერგიის ნაკადები	ენერგია, ჯ/მ <sup>2</sup> წმ
მზის ენერგია (შთანთქმული ატმოსფეროსა და მიწის ზედაპირის მიერ)	$2,3 \times 10^2$
კოსმოსური ენერგია	$2 \times 10^{-6} - 3 \times 10^{-6}$
ენერგიის ანთროპოგენური წარმოება	$16 - 20 \times 10^{-3}$
რადიოაქტიური იზოტოპების დაშლა	$\approx 7 \times 10^{-3}$
ელექტრონული განმუხტვების ენერგია	$\approx 4 \times 10^{-3}$
მოქცევათა ხახუნის ენერგია	$3,5 \times 10^{-3}$
ორგანული ნივთიერებების დაშლისა და უანგბადის შეკავშირების ენერგია	0,4-0,6

ბიოთერმული სითბო	$\approx 0,1$
ტექტონიკური ენერგია	$\approx 10^{-3}$

როგორც ეს ზოგადი ფიზიკური გეოგრაფიის კურსიდან ცნობილია - ლანდშაფტურ-გეოგრაფიულ სისტემაში შემოსული მზის ენერგია მრავალგვარ (არეკვლა, შთანთქმა, გაბნევა) გარდაქმნას განიცდის. აქ შემოსული ენერგიის წლიური რაოდენობა  $3,16 \times 10^9$ ჯ/მ<sup>2</sup>-ს შეადგენს. ამასთან, პოლარულ მხარეში იგი უარყოფითი მნიშვნელობისაა, ხოლო ეკვატორულ ზოლში დადებითია და  $4,8 \times 10^9$ ჯ/მ<sup>2</sup>წ-მდე იზრდება. ამიტომ, მისი საშუალო მრავალწლიური მაჩვენებელი მაღალი განედების მიმართულებით სწრაფად იზრდება. მნიშვნელოვან ცვლილებას განიცდის აგრეთვე დედამიწის ზედაპირის დღე-ღამური და სეზონური რადიაციული ბიუჯეტი.

ქვეყნილი ზედაპირის რადიაციული ბიუჯეტი ენერგიის ის ნაწილია, რომელიც იხარჯება აორთქლების, მყინვარების დნობის, წყლისა და ჰაერის გათბობის, გამოფიტვის, ფოტოსინთეზის, ეროზიის, ჰაერისა და წყლის მასების მოძრაობის წარმართვისათვის.

ატმოსფეროს რადიაციული ბიუჯეტი, მიწის ზედაპირისაგან განსხვავებით, უარყოფითია. ეს იმას ნიშნავს, რომ ატმოსფერო (კოსმოსისა და დედამიწის მიმართულებით) უფრო მეტ ენერგიას ასხივებს, ვიდრე შთანთქავს მას. ამავე დროს, ატმოსფეროს რადიაციული ბიუჯეტის საშუალო სიდიდე ( $3,16 \times 10^9$ ჯ/მ<sup>2</sup>წ), დედამიწის ზედაპირზე, რადიაციული ბიუჯეტის აბსოლუტური სიდიდის ტოლია.

დედამიწის ზედაპირის რადიაციული ენერგიის ნამეტის ხარჯვა, აქვე ფიზიკურ - გეოგრაფიული პროცესების კანონზომიერი მსვლელობის წარმართვას განაპირობებს. ატმოსფეროში კი რადიაციული ენერგიის

დეფიციტის შევსება დედამინის ზედაპირიდან მომდინარეობს. ენერჯის კომპენსაცია წყლის ფაზური გადასვლითა (აორთქლება და კონდენსაცია, 83%) და ტურბულენტური სითბოგაცვლით (რადიაციული ბიუჯეტის 17%) ხორციელდება. საერთოდ, დედამინის როგორც პლანეტის რადიაციული ენერჯის შემოსული და გასული (გაცემული) ნაწილები, ერთმანეთის ტოლია, ანუ დედამინა - რადიაციული წონასწორობის მდგომარეობაში იმყოფება. თუმცა, ეს წონასწორობა შეფარდებითია, რადგან ენერჯის ნაწილი ფოტოსინთეზის მსვლელობისას, ქიმიური კავშირების ენერჯის სახით, წრებრუნვებიდან ამოვარდნილია და, ღრობით, მიწის ქერქის ფენებშია განამარხებული.

სახელმძღვანელოში, განხილული სითბური მანქანების მუშაობის პრინციპისა და მისი გეოგრაფიული შედეგების პარალელურად, შევეხეთ მის ენერგეტიკულ მხარესაც. გეოგრაფიული გარსის სითბური მანქანების მარგი ქმედების კოეფიციენტი საკმაოდ მცირე მნიშვნელობისაა. იგი განსაზღვრულია როგორც „გამათბობელისა“ და „მაცივრებს“ შორის ტემპერატურათა მცირე სხვაობით, ასევე გარემოში ენერჯის დიდი დანაკარგებით. ამის მიუხედავად, ჰაერის მასების გადაადგილებებს საკმაოდ დიდი გეოგრაფიული მნიშვნელობის მუშაობის შესრულება აკისრიათ. მათ მიერ, სითბოსა და სინოტივესთან ერთად, დიდძალი ენერჯია მიმოიქცევა. ოკეანის ზედაპირიდან  $505 \times 10^{12} \text{ მ}^3$  წყლის აორთქლებაზე (თბილ პერიოდში აორთქლებაზე იხარჯება  $1,3-2,5 \times 10^9 \text{ ჯ/მ}$  ენერჯია) დახარჯული სითბური ენერჯია ( $2,62 \times 10^9 \text{ ჯ/წ}$ ) იმავე ორთქლში იმყოფება ფარული სითბოს სახით.

ორთქლის ხმელეთის ზედაპირზე გადაადგილებას თან სდევს მისი კონდენსაცია ( $119 \times 10^{12} \text{ მ}^3$ ) და აორთქლებაზე დახარჯული სითბოს

გამოთავისუფლება. ამიტომ, წვიმის ან თოვლის მოსვლის დროს, ოკეანის ზედაპირიდან შემოსული სითბო, ხმელეთის ზედაპირზე გარემოს რამდენადმე „ათბობს“ კიდევაც. თუ კი ვივარაუდებთ საქართველოში ატმოსფერული ტენის შავი და ხმელთაშუა ზღვების, ან კიდევ, ნაწილობრივ ატლანტის ოკეანის აკვატორიებიდან შემოსვლას - მაშინ უნდა დავასკვნათ, რომ აქ, ჩვენ ქვეყანაში, ატმოსფეროში არსებული ენერჯის გარკვეული ნაწილი საკმაოდ შორიდან - აღნიშნული წყალსატევების ზედაპირიდან შემოდის, რადგან წყლის ამ დიდი აუზებში აორთქლებაზე დახარჯული ენერჯია ორთქლთან ერთად აღმოსავლეთით (სამხრეთი კავკასიისაკენ) გადმოადგილდება.

მუდმივი ენერგო-მიმოცვლა მიმდინარეობს აგრეთვე ოკეანეებსა და ატმოსფეროს შორის, რაც მათი სითბური არათანაბრობითაა გამოწვეული და მიმართულია ამ გეოგრაფიული ობიექტების (ატმოსფერო და ოკეანე) ტემპერატურათა გათანაბნობისაკენ. ამავე დროს, ოკეანესა და ჰაერს შორის წონასწორობის მიღწევა არა მარტო მათი ტემპერატურული, არამედ ჰაერის ორთქლით გაჯერების პირობების თანასწორობითაა შესაძლებელი. ამასთან, ოკეანესა და ჰაერის მასებს შორის სითბოგაცვლის ფიზიკური მექანიზმით განისაზღვრება მნიშვნელოვანი გეოგრაფიული შედეგი: შედარებით მაღალი ტემპერატურის ჰაერის გათბობა უფრო მეტი სითბოს დახარჯვას მოითხოვს. ამიტომ, ტროპიკული სარტყლების ჰაერის მაღალი ტემპერატურის შენარჩუნებას უფრო მეტი ენერჯია ჭირდება პოლარული მხარეების ჰაერის მასებთან (პ. ვეილი, 1977) შედარებით.

როგორც ჩანს, ოკეანის ზედაპირის მიმდებარე ჰაერი მუდმივად ახლოსაა წყლის ორთქლით გაჯერებასთან. ხმელეთზე კი ეს მოვლენა პირიქითაა: ვინაიდან, ჰაერის კონვექცია ნიადაგისა და მცენარეული საფარის

არეალებიდან სრულდება, ჰაერი დაბალი შეფარდებითი სინოტივით ხასიათდება და ფარული სითბოს მცირე რაოდენობას ღებულობს. მისი გათბობა უფრო ადვილია და ამიტომ, ხმელეთზე ჰაერის ტემპერატურა ზაფხულში, ოკეანესთან შედარებით, უფრო მეტია. ტროპიკების ოკეანური ჰაერის გათბობის შეზღუდულობა განსაზღვრულია ორთქლადქცევის სითბოს ხარჯვასთან, რაც მისი ტემპერატურის „პიკების ჩამოჭრას“ განაპირობებს. ამდენად, დედამიწა „მშრალი“ პლანეტა რომ ყოფილიყო, ტროპიკების ჰაერის ტემპერატურა, ფაქტობრივთან შედარებით, გაცილებით მეტი იქნებოდა.

ჰაერის მოძრაობა ოკეანის ზედაპირზე ტალღების გენერაციას (რყევით მოძრაობას) იწვევს: ჰაერის ნაკადის ენერგია ოკეანის წყალს გადაეცემა და მის ზედაპირს როგორც პოტენციალურ, ისე კინეტიკურ ენერგიებს ანიჭებს, რაც ტალღების ფორმირებასთანაა დაკავშირებული. მათი ჯამური ენერგია (E) ფართობის ერთეულზე შემდეგნაირად განისაზღვრება:

$$E=125H^2\text{ერგი/სმ}^2,$$

სადაც H - ტალღის სიმაღლეა. ცხადია, რომ ქარის სიჩქარის ზრდასთან ერთად მატულობს ტალღის სიმაღლე და, შესაბამისად, მისი ენერგიაც. ამ უკანასკნელის გადატანა (გადაადგილება) კი რამდენიმე ასეულიდან ათეული ათასი კილომეტრამდე (ანტარქტიკიდან ალიასკამდეც კი) მერყეობს. მაღალი ენერგიის ოკეანური ტალღები სანაპიროებზე, ხშირად კატასტროფულ ნგრევას განაპირობებს.

გაბატონებული ქართა სისტემები მსოფლიო ოკეანის უმთავრესი დინებების გამომწვევი მიზეზთაგანია, თუმცა დამატებით ფაქტორებად წყლის

ტემპერატურა და მარილიანობაც გვევლინება, რაც საბოლოო ჯამში -მის სიმკვრივეს განსაზღვრავს.

ოკეანური დინებები გიგანტური არხების „სისხლძარღვთა“ სისტემას მოგვაგონებს: დინებებს გადააქვთ სითბური ენერგია, მარილები, საკვები; დინებები ასრულებენ იმ ფუნქციებს, რაც ცოცხალი ორგანიზმის სისხლძარღვებს აქვთ დაკისრებული.

ოკეანესა და ატმოსფეროს შორის ენერგო-მიმოცვლის მუდმივი კავშირები არსებობს: ატმოსფერო აღძრავს ოკეანურ დინებებს, თუმცა საკუთარი ენერგიის უდიდეს ნაწილს (83%) ოკეანისაგან ღებულობს. ასე, გოლფსტრიმისა და კუროსიოს დინებების ფარგლებში სითბური ენერგიის გადაცემა ატმოსფეროში იმდენად დიდია, რომ წყლის ორთქლს ატმოსფეროს ძირითად „სათბობს“ ადარებენ ხოლმე.

ოკეანეს დიდი სითბური და დინამიური ინერციულობაც ახასიათებს. ატმოსფეროდან მიღებული ენერგია ოკეანის წყალში საკმაოდ ხანგრძლივობით შემოინახება. ასე, ქარის ენერგია ოკეანის წყლის ტალღურ გენერაციას რამდენიმე დღე-ღამე აგრძელებს, თუმცა მისი გამომწვევი მიზეზი უკვე დიდი ხანია ჩაცხრა. ოკეანე, აკად. ა. მონინის ხატოვანი გამოთქმით „დამამახსოვრებელი მონყობილობა“, ანუ ახლებურად რომ ვთქვათ – „კომპიუტერული ტექნიკა“, რომელიც გასული დროის ატმოსფერული აღელვებების „ნაკვალევს“ შემოინახავს, თუმცა დროის არცთუ ხანგრძლივ პერიოდში.

ენერგიის წრებრუნვას ადგილი აქვს ბიოსფეროშიც. ცოცხალი ორგანიზმების სფეროში (მასა  $2,5-3,0 \times 10^{24}$  გრ) ენერგიის ყოველწლიური დაგროვება  $3,5 \times 10^{21}$  ჯოულს შეადგენს. ამ მხრივ, ფოტოსინთეზისა და

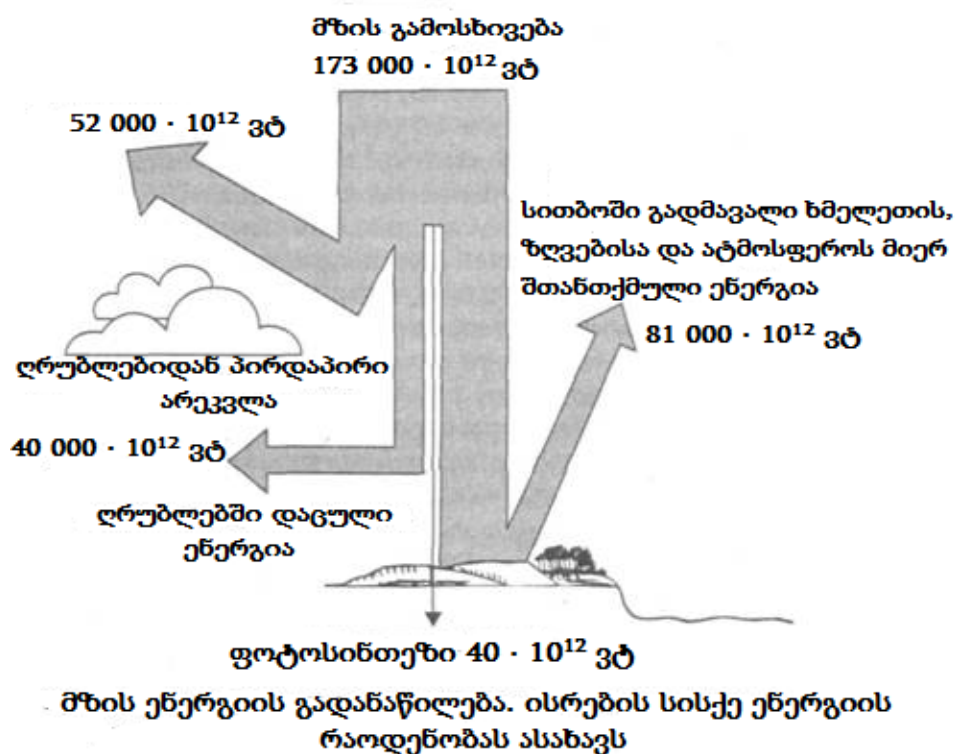
ნიადაგნარმოქმნის პროცესებში ენერჯის ხარჯვა რადიაციული ბიოქეტის 1%-ზე ნაკლებია და დედამიწის სითბურ რეჟიმზე მნიშვნელოვან გავლენას ვერ ახდენს. თუმცა, უნდა გავითვალისწინოთ გეოლოგიურ დროში ამ პროცესებზე დახარჯული ენერჯის დაგროვების უნარი. ბუნებრივი გარემოს არსებობის განმავლობაში ქვანახშირის, ტორფის, ნავთობის, საწვავი ფიქლებისა და სხვ. ორგანული ნივთიერებების შემადგენლობაში დაგროვილი კოლოსალური ( $11 \times 10^{14} \text{ჯ/მ}^2$ ) ენერჯია მათი ენერჯეტიკული ბალანსის მნიშვნელოვან შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს.

ლითოსფერული მიმოქცევების ენერჯეტიკულ კოლოსალურობაზე მიუთითებენ ვულკანიზმის (ამჟამად, მომქმედი 800 ვულკანი წლიურად ამოაფრქვევს 3-6 მლრდ. ტონა ნივთიერებას), მიწისძვრების, მიწის ქერქის ვერტიკალური და ჰორიზონტური მოძრაობის გამოვლინებები. გეოლოგიურ ისტორიაში დედამიწის ზედაპირზე ამონთხეული ვულკანური პროდუქციის რაოდენობა  $13,5-27 \times 10^{18}$  ტონას შეადგენს. მუდმივია მიწის ქერქის დანაოჭება, ეპიროგენეტიკური და ტექტონიკური ფილების მოძრაობანი. ცხადია, რომ ეს მოძრაობა ენერჯის ხარჯზე მიმდინარეობს.

გავიხსენოთ, რომ დედამიწის გეოლოგიურ ისტორიაში წიაღის გრავიტაციული დიფერენციაციისა და ნივთიერებათა გამკვრივების პროცესში გამოთავისუფლებული სითბური ენერჯია აკად. ა. მონინის გამოთვლებით  $1,6 \times 10^{31}$  ჯოულს შეადგენს, ხოლო რადიოგენური გზით -  $0,9 \times 10^{31}$  ჯოულს. წიაღის ამგებელი ქანების შენაერთების ატომებსშიდა კავშირების ენერჯიასთან ( $0,24 \times 10^{31}$  ჯოული) ერთად დედამიწის წიაღის ჯამური ენერჯია  $2,74 \times 10^{31}$  ჯოულ სითბოს შეადგენს. მიწის წიაღიდან გაბნეული ( $0,74 \times 10^{31}$  ჯოული) ენერჯის გათვალისწინებით უნდა ვივარაუდოთ, რომ პლანეტის წიაღში უკვე

დაგროვილია  $2 \times 10^{31}$  ჯოული სითბური ენერგია, რომლის შედეგად წიაღის ავტონომიური გათბობა და ნაწილობრივი გალღობაა გამოწვეული.

დედამიწაზე ბუნებრივი ენერგეტიკული ნაკადების კოლოსალური სიდიდისა და მუდმივობიდან გამომდინარე ეჭვგარეშეა მისი პრაგმატული მნიშვნელობა. მათ შორის, ყველაზე რაციონალურია ენერგიის გენერირება მზის, ქარის, მინის წიაღის, ზღვის ტალღებისა და სხვ. წყაროებიდან. ამავე დროს, ეს ღონიძიება, ჯერ ერთი, არ გამოიწვევს დედამიწის გადახურებასა და, მეორეც - ატმოსფერო-ჰიდროსფეროს სისტემის, განსაკუთრებით კი ბიოსფეროს გაბინძურებას.



ნახ. 16. მზის ენერგიის ნაკადის გადანაწილება ბუნებრივ გარემოში

მზე დედამიწაზე ყოველ წამს 4 ტრილიონ კალორია სითბოს აგზავნის. მისი ნახევარი ატმოსფეროში შთაინთქმება ან განიბნევა, ხოლო სითბოს 10 % - წყლის ორთქლისა და ჰაერის მტვრის ნაწილაკების მიერ ღროებით შეყოვნებას (გაბნევას) განიცდის. ამის მიუხედავად, დედამიწის ზედაპირამდე შემოსული სითბო გრანდიოზულ სიდიდეს აღწევს და თერმობირთვული ენერჯის ზღვრულ დასაშვებ წარმოებას ერთი რიგით აღემატება.

ამჟამად, უკვე ცნობილია მზის რადიაციის სითბურ ენერჯიად გარდაქმნისა და ენერჯეტიკაში ათვისების ხერხები. მათ, პირობითად, 4 ტიპად ყოფენ: სითბოტექნიკური, ფიზიკური, ქიმიური და ბიოლოგიური. თუმცა, ჯერ კიდევ მათი მარგი ქმედების კოეფიციენტი 5 – 10 % არ აღემატება და 100 ჯერ (ფიზიკური გარდამქმნელები) ძვირია, ვიდრე ატომურ ელექტროსადგურში წარმოებული ენერჯია.

მზის ენერჯის ბიოლოგიური გარდაქმნა მცენარეთა ფოტოსინთეზის შედეგად მიმდინარეობს. ბუნებაში წიაღისეული სათბობიც, ხომ ამ გზით დაგროვდა. დედამიწაზე შემოსული მზის რადიაციის ფოტოსინთეზში მონაწილეობის მცირე ხვედრითი წილის (1 % -ზე ნაკლები) მიუხედავად, მცენარეულობის მიერ მწვანე მასის წლიური შემოსავალის კალორიულობა ყოველწლიურად მოპოვებული სათბობი წიაღისეულის ტოლფასი სიდიდისაა.

ამჟამად, აქტუალურია ასევე მზის ენერჯის ქიმიური გადამუშავება ანუ მზის ენერჯის აკუმულირება და შენახვა ფოტოსინთეზის მეთოდის გამოყენებით. ამ მხრივ, საინტერესოა, მზის ენერჯის გარდაქმნის საფუძველზე, წყლიდან წყალბადის მიღება და ამ უკანასკნელის ენერჯეტიკული ათვისება. წყალბადი მაღალკალორიული და ეკოლოგიურად სუფთა სათბოა. ის მოხერხებულია როგორც სტაციონარული, ისე

სატრანსპორტო ენერგეტიკაში. უდავოა, რომ ის მომავლის უნივერსალური სათბობია.

ამავე დროს, ამჟამად აქტიურად მიმდინარეობს მოლეკულიარული ფოტოკატალიზატორების ხელოვნური სისტემების დამუშავებისა და მათი სრულყოფის ტექნოლოგიური დამუშავება, რომლის საფუძველზე მომავალში შესაძლებელია არა მარტო ბუნებრივი ფოტოსინთეზირების ობიექტების მუშაობის, არამედ თვით სისტემის ორგანიზაციის პრინციპებთან მაქსიმალური მიახლოება.

აღნიშნული მეცნიერული თეორიული პრობლემების რეალური გადაჭრის შემთხვევაში, მომავალში ხელოვნურ პირობებში, მცენარეთა ფოტოსინთეზირების აპარატის მეშვეობით, შესაძლებელია ერთდროულად როგორც უანგბადის, ისე მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტის (40-50 %) ენერჯის გენერირება.

## § 17. ელ-ნინოს ფენომენი და მისი გეოგრაფიული გააზრება

რამდენიმე ათეული წლის წინ სამეცნიერო ლიტერატურაში შემოვიდა ესპანური სახელწოდებები ელ-ნინიო (ესპ. El Niño - ბავშვი, ბიჭი) და ლა-ნინია (ესპ. La Niña - ბავშვი, გოგონა) ანუ, უფრო ვიწრო მეცნიერული გაგებით, სამხრული ოსცილაციის (ინგლ. [Southern Oscillation](#)) ფაზა. ამ სახელწოდებებს შეესაბამება წყნარი ოკეანის ეკვატორული ნაწილის ზედაპირული წყლის ტემპერატურის რყევა, რომელსაც საკმაოდ დიდი არეალის კლიმატურ პირობებზე მნიშვნელოვანი გავლენის გამოწვევა (<https://ru.wikipedia.org/wiki/Эль-Ниньо>) შეუძლია. ამ შემთხვევაში, გამთბარი ზედაპირული წყლები აღმოსავლეთის მიმართულებით გადაადგილდება. ამავე დროს, პასატური ცირკულაციის შესუსტებას ან მის სრულ შეწყვეტას, ხოლო წყნარი ოკეანის აღმოსავლეთ სანაპიროზე, პერუს ნაპირებთან, აპველინგის<sup>16</sup> შესუსტებას აქვს ადგილი.

წყნარი ოკეანის აკვატორიის ამ ნაწილში, ჩვეულებისამებრ, ცივი წყლის გათბობა, თევზებისა და ზღვის მობინადრე სხვა ორგანიზმების, ასევე მათზე მონადირე ფრინველების შემცირება, ხმელეთზე კი თავსხმა წვიმები, წყალდიდობები, ხოლო ზღვაზე შტორემის გაძლიერება მოაქვს. ზღვის წყლის ტემპერატურის დაწევას ხელსაყრელი ამინდისა და ეკოლოგიური პირობების

---

<sup>16</sup> ოკეანის წყლის ღრმა ფენებიდან ზედაპირისაკენ აწევის, ამოწევის, ამოტანის პროცესი, რომელიც მეტ-ნაკლებად ხშირად ჩანს კონტინენტების დასავლეთ სანაპიროებზე, სადაც ცივი და ორგანიზმებით მდიდარი წყლების მიერ ორგანიკით ღარიბი, თბილი წყლების ფენებში შერევას აქვს ადგილი. გამოყოფენ აპველინგის 4 ტიპს: სანაპირო, ღია წყლის, კორიანტელის, ფსკერის ტოპოგრაფიასთან დაკავშირებული. სანინალმდეგო მოვლენას დაუნაპველინგს უწოდებენ.

შემობრუნება, ოკეანის წყლების ბიორესურსებისა და ხმელეთის ცოცხალი სამყაროს პროდუქტიულობის ზრდა მოსდევს. ცხადია, რომ ელ-ნინოს მოვლენა ლა-ნინიას საწინააღმდეგო ფაზით იცვლება, პირველი მათგანით გამოწვეული „ზარალი“ სწრაფ აღდგენას ექვემდებარება და ისევ წინა მდგომარეობას უბრუნდება.

მსხვილმასშტაბიანი ოსცილაციის გამოვლინების დრო 3-დან 8-მდე წლით მერყეობს, თუმცა, ელ-ნინოს ძალა და ხანგრძლივობა რეალურად დროის უფრო ფართო დიაპაზონში მერყეობს. ასე, მაგალითად, ამ მოვლენის ძლიერი ფაზები 1790-1793, 1828, 1876-1878, 1891-1925-1926, 1982-1983, 1986-1987, 1997-1998, 2002-2003 წლებში იყო დაფიქსირებული. თუმცა, ის 1991-1992, 1993 და 1994 წლებშიც შეინიშნებოდა. თუმცა, ეს ბოლო ფაზები რამდენადმე შესუსტებულ გამოვლინებას (<https://ru.wikipedia.org/wiki/Эль-Ниньо>) ამჟღავნებდა. ამასთან ერთად, ელ-ნინოს ფენომენი შესამჩნევი ძალით 1997-1998 წლებში გამოირჩეოდა, რასაც მეცნიერთა ნაწილი გლობალურ დათბობას უკავშირებს.

როგორც აქ მოტანილი, ისე გარემოში მიმდინარე ბუნებრივი თუ სხვა სახის აქტიურობათა უდიდესი ნაწილი მეცნიერებს ჰავის გლობალურ დათბობასთან აქვთ დაკავშირებული. ამასთან დაკავშირებით აღსანიშნავია, რომ წინამდებარე მონოგრაფიის ავტორის აზრით, პლანეტის კლიმატური გლობალური ცვლილებების აშკარა გამოვლინების დადასტურებასთან ერთად, მსჯელობა იმის შესახებ, რომ ეს მოვლენა საყოველთაო (გლობალური) თვისებითა და პლანეტარული ხასიათის მატარებელია - თვით ამ მეცნიერთა დაკავშირებების შედეგად მიღებული ფაქტებით არ დასტურდება: პლანეტის კლიმატის დათბობის მიმანიშნებელ მონაცემებთან

ერთად, დედამინის არც თუ უმნიშვნელო სიდიდის მთელ რიგ უბნებში, აცივებასა და ჰაერის ტემპერატურის დაწვევასაც აქვს ადგილი.

1997-1998 წლებში განვითარებული და დაფიქსირებული ელ-ნინოს ფენომენის გამოვლინის მასშტაბი იმდენად გრანდიოზული გამოდგა, რომ მის სიდიადემ, ამ მოვლენაზე დაკვირვების ისტორიაში, ყველაზე კოლოსალური (Сывороткин, <http://kocmi.ru/prirodnij-fenomen-el-nino.html>) შედეგი მოგვცა.

ამ შემთხვევაში, შეიძლება დაისვას ბუნებრივი კითხვა: რას წარმოადგენს ეს იდუმალებით მოცული მოვლენა? მის შესახებ ხომ, აგერ უკვე რამდენიმე ათეული წელიწადია, დიდი აურ-ზაურია ატეხილი, ხოლო მასიური ინფორმაციის საშუალებების მიერ ის ფართო მითქმა-მოთქმის საფუძვლად იქცა. ცხადია, რომ ყოველივე ამან მეცნიერების მიერ, პრობლემის შესახებ, დაუნიშნული ყურადღების გამახვილება გამოიწვია.

მეცნიერული ერთ რომ ვთქვათ, ელ-ნინო - ოკეანის წყლისა და ატმოსფეროს თერმობარიული, ასევე ჰაერის ქიმიური პარამეტრების ორგანულად დაკავშირებული და ურთიერთგანმსაზღვრავი ცვლილებების კომპლექსს წარმოადგენს, რომლის საბოლოო შედეგი გარემოს სტიქიური უბედურების ხასიათს ღებულობს. ზოგადად, როგორც ეს საცნობარო ხასიათის ლიტერატურული წყაროებიდან ჩანს, ელ-ნინო - ოკეანის თბილი დინებაა, რომლის წარმოშობის დეტალები ბოლომდე, ჯერ კიდევ უცნობია, თუმცა ცნობილია, რომ მათი გავრცელება ეკვადორის, პერუსა და ჩილეს სანაპიროებს ემთხვევა.

მეოცე საუკუნის მეორე ნახევარში ამ ბუნებრივი მდგომარეობის შესწავლით სპეციალისტების დაინტერესებამ ელ-ნინოს ფენომენის შესახებ წარმოდგენა მნიშვნელოვნად გააფართოვა. ახალი წარმოდგენით, ელ-ნინო

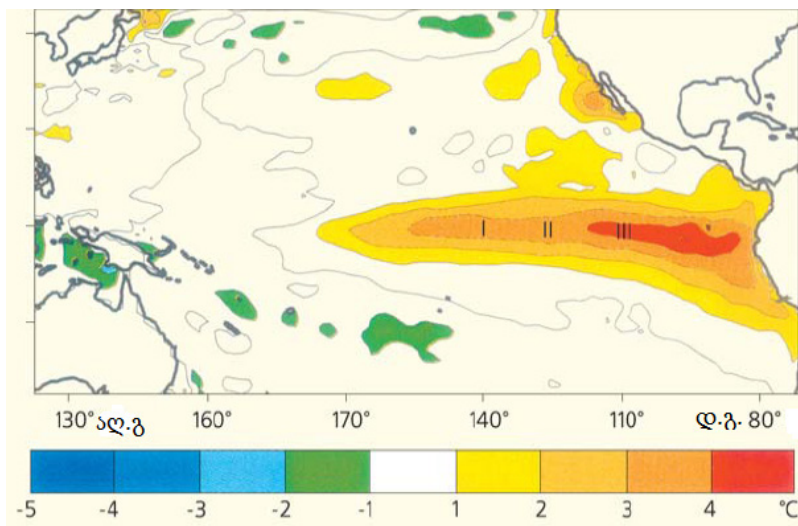
გლობალური მოვლენაა, რომლის დროს ეკვატორული წყნარი ოკეანის აღმოსავლეთი ნაწილის (სამხრეთი ამერიკის - ეკვატორის სანაპირო, პერუ და ნაწილობრივ ჩილე) წყლის ზედაპირული ფენის ტემპერატურა საშუალო (26° C) მდგომარეობიდან 4-5° C-ით მატულობს. ამასთან, ჰიდროლოგიური და მეტეოროლოგიური პირობების ცვალებადობას ადგილი აქვს არა მარტო წყნარი ოკეანის სამხრეთ ნაწილში, არამედ მთელი დედამიწის ტროპიკული და სუბტროპიკული ზონების ფარგლებში.

ელ-ნინოს გამოვლინების პერიოდში როგორც ავსტრალიასა და ინდონეზიაში, ასევე ინდოეთის ოკეანის აუზის ქვეყნებში ძლიერი გვალვები ფიქსირდება. რადგან, მსოფლიოს სახნავ-სათესი ფართობების დიდი ნაწილი სწორედ ამ არეალებშია, ატმოსფერული ნალექების დეფიციტის შედეგად როგორც ამ რეგიონებში, ისე მსოფლიოს მარცვლეული კულტურების უმთავრეს რაიონებში მოსავლიანობის მკვეთრი დაგარდნა და შესამჩნევი შემცირება ფიქსირდება. არასრული მონაცემებით, ერთ-ერთი ყველაზე ძლიერი ელ-ნინოს (1982-1983 წწ) მიერ მიყენებულმა ზარალმა 13 მლრდ. აშშ დოლარი შეადგინა.

ლა-ნინიას მოვლენის დროს კი წყლის აღნიშნულ ფენაში ტემპერატურა დაახლოებით იმავე სიდიდით ეცემა და პირვანდელ მდგომარეობას უბრუნდება. მეცნიერთა კვლევებით დადგინდა, რომ ორივე მდგომარეობა - ერთიანი მოვლენის შედეგია, ხოლო ელ-ნინიო და ლა-ნინია - მისი განვითარების უკიდურეს სტადიებს წარმოადგენენ.

ელ-ნინიო - ლა-ნინიას წარმოშობის მიზეზების შესახებ, ამჟამად საკმაოდ მრავალი ერთმანეთისაგან პრინციპულად განსხვავებული მოსაზრება (Бондаренко, 2006) არსებობს. მათ ორ ტიპად ყოფენ: პირველი

მათგანის მიხედვით ელ-ნინოს ფორმირებას მსხვილმასშტაბიანი ეკვატორული დინებები და, ამავე დროს, მათი საწინააღმდეგო მხარეს



წყნარი ოკეანის წყლის ზედაპირის ეკვატორული ზონის ტემპერატურული ანომალიები (1987 წლის ოქტომბერი) საშუალო მნიშვნელობასთან (1980-1995 წწ) შედარებით (Webster P.J., Palmer T.N. // Nature. 1997. V.390) მიხედვით, ა. ბონდარენკოს (Бондаренко, 2006) სტატიიდან. I, II, III - დინებების ხანგრძლივი გაზომვების პუნქტები.

მიმართული - ოკეანის უკუდინებები განსაზღვრავენ. მოვლენის წარმოქმნის მთავარი მიზეზი ოკეანის დინებების მიერ, თბილი წყლის მასების შემოტანასთანაა დაკავშირებული, რომელსაც წყნარი ოკეანის დასავლეთი ნაწილიდან აღმოსავლეთი მიმართულებით აქვს ადგილი. ამ მოვლენის ფორმირება კი განპირობებულია პასატების მოქმედების შეწყვეტის შემთხვევაში, ზედაპირული უკუდინების გაბატონებით. თუმცა, როგორც დაკვირვებებმა (Бондаренко, 2006) აჩვენეს, აქ ასეთი დინებები ან არ შეინიშნება, ან კიდევ, მათ საკმაოდ სუსტი ნიშნები ახასიათებთ.

**ნახ. 17.1.** წყნარი ოკეანის ეკვატორული ზონის წყლის ზედაპირული ტემპერატურული ანომალიები.

ელ-ნინო - ლა-ნინიას ფორმირების მეორე ტიპის მიხედვით მოვლენა პლანეტარული ტალღების (კელვინის და როსბის) მოქმედებას უკავშირდება.

მათი წარმოშობა და განვითარება მჭიდრო კავშირშია ოკეანის ზედაპირის ქარულ აქტივობასთან. სხვა სიტყვებით, რომ ვთქვათ ელ-ნინიო - პასატების მოქმედებას უკავშირდება, რომელთა მიერ ეკვატორის როგორც ჩრდილოეთ, ისე სამხრეთ პერიფერიაზე სწორედ როსბის (ეკვატორიდან 15-20<sup>0</sup>-ის დაშორებით) ტალღების<sup>17</sup> გენერირებას აქვს ადგილი. ეს ტალღები ვრცელდებიან რა დასავლეთი მიმართულებით, ოკეანის პერიფერიაზე აირეკლებიან და კელვინის ტალღების სახეს (გრძელი ტალღები) ღებულობენ. აქედან ისინი უკვე ეკვატორის გასწვრივ ვრცელდებიან, ხოლო აღმოსავლეთ ნაპირებთან მიახლოებასთან ერთად - სწორედ ელ-ნინიოს ფორმირებას აძლევენ დასაბამს.

**ნორმალური სიტუაცია.** მეცნიერების მიერ შემოთავაზებულია მარტივი ე. წ. სტანდარტული კლიმატური სიტუაცია, რომელსაც წყნარი ოკეანის სამხრეთი ამერიკის სანაპიროსთან (Бондаренко, 2006) აქვს ადგილი. ის განპირობებულია პერუს ცივი ღინებით, რომელსაც ანტარქტიკის განედებიდან სამხრეთი ამერიკის დასავლეთი (ეკვატორული გალაპაგოსის კუნძულები) სანაპიროებისაკენ საკმაოდ ცივი წყლის მასები გადააქვს. ამ ღინების დასავლეთი მიმართულებით მობრუნების წერტილში, ეკვატორის გასწვრივ, წყლის ღრმა ფენებიდან ცივი და პლანქტონით მდიდარი წყლის მასის შემოდინებას აქვს ადგილი, რაც ოკეანის ამ ნაწილში სიცოცხლისა აქტიური განვითარების მსვლელობას განსაზღვრავს.

ცხადია, რომ ცივი ღინება პერუს ამ სანაპირო ზოლში, მშრალი ჰავის (უდაბნოს) პირობების დასადგურებას განაპირობებს. რამდენადმე გამთბარი

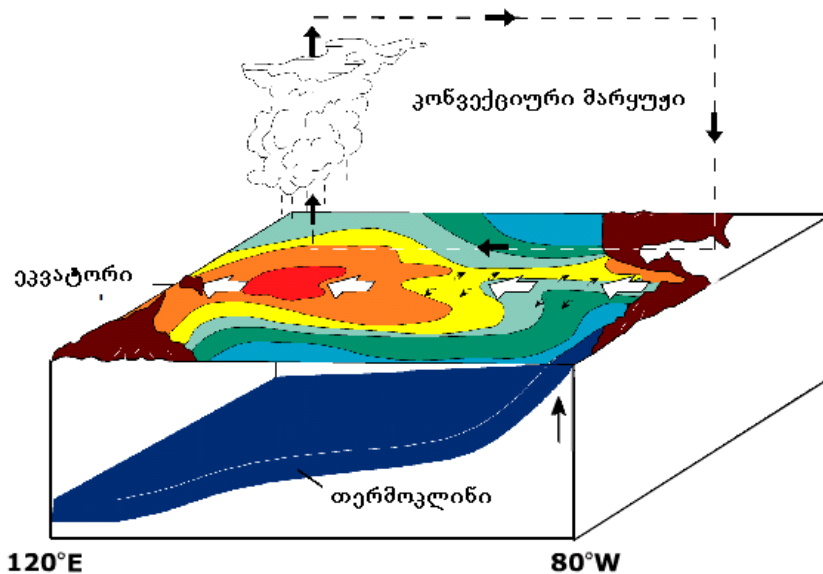
---

<sup>17</sup> როსბის ტალღები - მცირე ამპლიტუდის (რამდენიმე ათეული სმ) და დიდი სიგრძის (რამდენიმე ასეული კმ) ტალღები.

ზედაპირული ფენის წყლები, პასატების მიერ, წყნარი ოკეანის ტროპიკული ნაწილის დასავლეთი ნაწილისაკენ გადაიტანება, სადაც ე. წ. ტროპიკული თბილი (100-200 მ სიღრმემდე) აუზის ფორმირებას აქვს ადგილი.

აღნიშნულთან დაკავშირებით, მოგვაქვს ელ-ნინიო - ლა-ნინიას ფორმირებისა და განვითარების სამი სქემა:

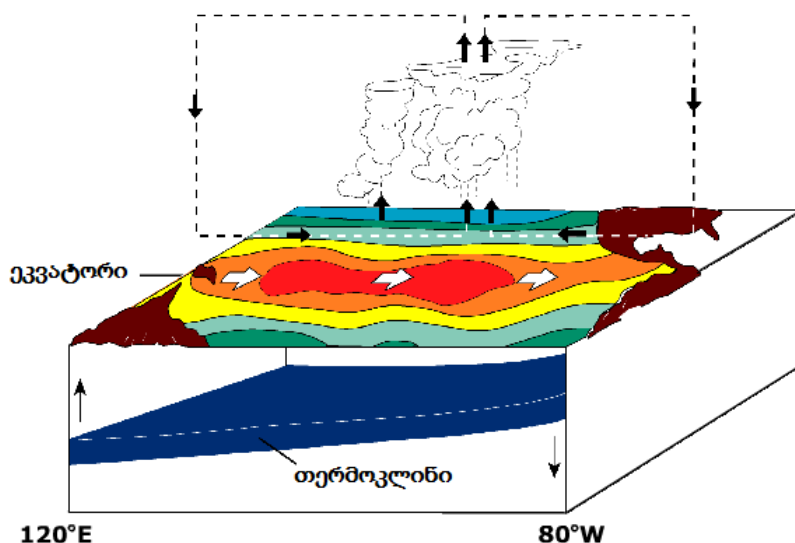
პირველი მათგანის (ნახ. 17.2) მიხედვით, რომელსაც ნორმალური წყნაროკეანური ცირკულაციური სქემა შეესაბამება - ოკეანის ზედაპირზე ფორმირებული ქარების მიერ წყლის ზედაპირული თბილი მასების დასავლეთი მიმართულებით გადატანას აქვს ადგილი. ამ შემთხვევაში ცივი წყლების ზედაპირისაკენ აპველინგი სამხრეთი ამერიკის სანაპირო ზონაში ფიქსირდება.



**ნახ. 17.2.** ნორმალური წყნაროკეანური სქემა: ეკვატორული ქარები თბილი წყლის მასებს დასავლეთი მიმართულებით მიერეკება. ცივი წყლების ზედაპირზე ამონევას კი სამხრეთი ამერიკის სანაპიროზე აქვს ადგილი.

ელ-ნინოს მოვლენის წარმოქმნის მეორე სქემის წინაპირობას (ნახ. 17.3) წარმოადგენს თბილი წყლის მასივის მოძრაობა სამხრეთი ამერიკის სანაპიროს მიმართულებით. ამ შემთხვევაში, სილრმიდან ცივი წყლის აპველინგის არსებობა არ დასტურდება, რაც წყლის ტემპერატურის ზრდასა და ჰაერის გათბობას უწყობს ხელს.

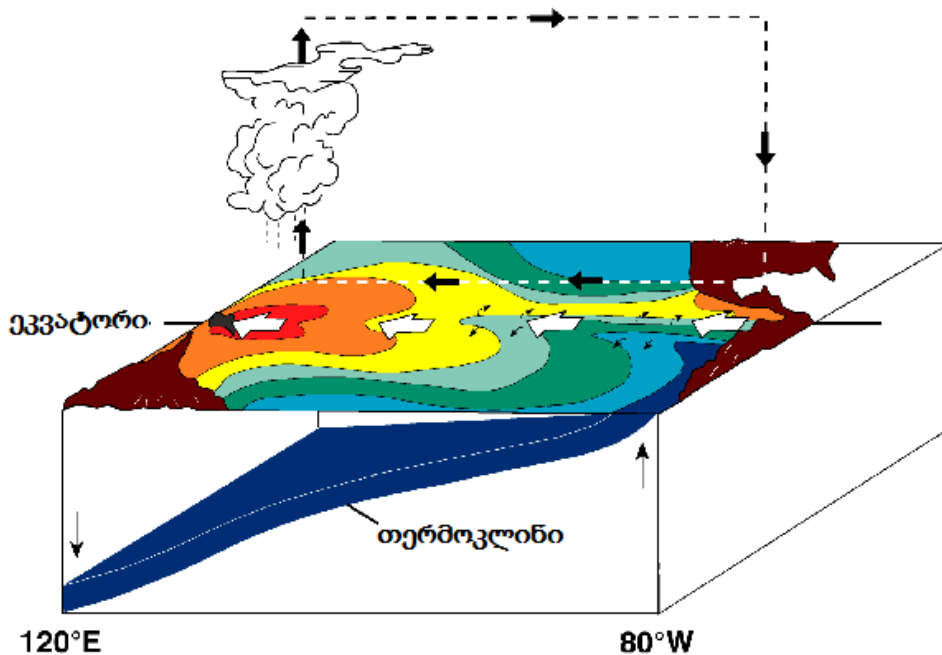
ჩვეულებრივად, ატლანტიკიდან მონაბერი პასატებს აქ ანდების მაღალმთიანი ბარიერი ეღობება, რომლის აღმოსავლურ ფერდობებზე ტენის მნიშვნელოვანი ნაწილი რჩება. აქედან გამომდინარე, სამხრეთი ამერიკის დასავლურ სანაპიროზე მშრალი ქვოვანი უდაბნოა ფორმირებული, რომლის ზედაპირზე წვიმიანი დღეები უკიდურესად იშვიათია, ხოლო ზოგჯერ რამდენიმე წლის განმავლობაშიც კი არ შეინიშნება.



ნახ. 17.3. ელ-ნინოს წარმოქმნის მეორე სქემა: თბილი წყალი სამხრეთი ამერიკის სანაპიროსაკენ მოძრაობს, სილრმიდან კი ცივი წყლის აპველინგი არ შეინიშნება, რაც წყლის ტემპერატურის ზრდას განაპირობებს.

პასატების მიერ წყნარი ოკეანის დასავლურ სანაპიროზე შემოტანილი ტენი და ჰაერის ცირკულაცია ოკეანის წყლის დასავლური მიმართულების ზედაპირულ დინებას ქმნის, რომელიც, თავის მხრივ, ნაპირებთან „ზედმეტი“ წყლის შემოდენას იწვევს. ამ უკანასკნელის განტვირთვა კი წყნარი ოკეანის ეკვატორულ სარტყელში ფიქსირდება, რასაც კრომველის უკუპასატური დინება განაპირობებს. ამ დინების გავრცელების ფართო (400 კმ) ზოლზე, 50-დან 300 მ სიღრმის ფარგლებში, წყლის კოლოსალური მასების უკუმიმართულებით, ანუ აღმოსავლეთისაკენ გადატანა ფიქსირდება.

ელ-ნინიო - ლა-ნინიას ფორმირებისა და მესამე სქემის (ნახ. 17.4) მიხედვით, ჩვეულებრივი მდგომარეობისაგან განსხვავებით, თბილი წყლების მოძრაობა დასავლეთის მიმართულებით ფიქსირდება.



**ნახ. 17.4.** ლა-ნინიას წარმოშობის მესამე სქემა. ჩვეულებრივი მდგომარეობისაგან განსხვავებით, ოკეანის ზედაპირული თბილი წყლები დასავლეთი მიმართულებით მოძრაობენ.

ამ მოვლენასთან დაკავშირებით, საყურადღებოა პერუ-ჩილეს სანაპირო წყლების ბიოლოგიური აქტიურობის მაღალი მაჩვენებელი. აკვატორიის ამ შედარებით მცირე, მსოფლიო ოკეანის უმნიშვნელო ნაწილში, თევზჭერა (უმთავრესად, ანჩოუსი) მსოფლიო წლიური რენვის 20 % შეადგენს.

სამხრეთ ამერიკის პერიფერიაზე, ანდების დასავლეთ ფერდობზე - ატაკამის უდაბნოა წარმოდგენილი. მისი ფორმირება განპირობებულია პერუს ცივი ღინებით, რომელიც ამ კონტინენტის გასწვრივ, ეკვატორის მიმართულებით მოძრაობს. როცა სამხრეთ ამერიკის კონტინენტზე ზამთარია, პერუს ცივი ღინება თითქმის ეკვატორამდე აღწევს, ხოლო ზაფხულში სამხრეთ-აღმოსავლური პასატი შესუსტებულია და პერუს ღინებაც კარგავს თავის გრანდიოზულობას. ამიტომ, ეკვატორის ზოლში ადგილი აქვს თბილი, მაგრამ ეპიზოდური (12 წელიწადში ერთხელ) ელ-ნინიოს ანუ პერუ-ჩილეს ღინების ფორმირებას, რომელიც სამხრეთისაკენ შორს (700-800 კმ) იჭრება და ატაკამის უდაბნოს დასავლეთ პერიფერიაზე აღწევს.

ამ დროს (როგორც ეს მაგალითად, 2002 წლის სექტემბერში დაფიქსირდა), უდაბნოს თავს ატყდება ტროპიკული თავსხმა წვიმა, მშრალ კალაპოტებში ჩნდება წყლის ნაკადები, ნიადაგი ტენით იჟლინთება, იფურჩინება მცენარეები. ამასთან ერთად, სანაპირო კუნძულების ფრინველები ტოვებენ თავიანთ ადგილსამყოფელსა და აქედან მიფრინავენ. ფრინველთა მიგრაცია ელ-ნინიოს ღინების თბილ წყალში ჟანგბადის სიმცირესთანაა დაკავშირებული, რაც პლანქტონის დალუპვასა და,

შესაბამისად, მათი მომხმარებლის - თევზების საბინადრო ადგილის შეცვლას იწვევს. ეს უკანასკნელი კი, თავის მხრივ, ზღვის ფრინველების საკვებს წარმოადგენს.

ოკეანის სანაპირო აკვატორიის ასეთი მდგომარეობა ერთიდან 2-3 თვეს გრძელდება. ამ დროის გავლის შემდგომ, პერუს დინება ისევ გაძლიერდება და ელ-ნინოს თბილი დინებაც უკან იხევს. უანგბადით ნაჯერი და საკვებით (პლანქტონი, თევზები) მდიდარი პერუს დინების ცივი წყალი თავის ჩვეულ ადგილს იკავებს. კუნძულებსა და სანაპიროზე კვლავ ჩნდება უამრავი ფრინველი - ალბატროსები, ფრეგატები, ფაეტონები. ატაკამა კი ისევ გაუდაბნობას განიცდის: ისპობა მწერები, ჭკნება მცენარეულობა, შრება მდინარეები.

ელ-ნინოს დეგაზაციური სცენარები. ელ-ნინოს ფენომენს (Сывороткин, <http://kocmi.ru/prirodnij-fenomen-el-nino.html>) გეოლოგიური სახის ნიშნებიც გააჩნია. აშკარაა, რომ ელ-ნინოს მოვლენის არეალი, გეოლოგიური თვალსაზრისით, დედამიწის ერთ-ერთი აქტიური - რიფტული სისტემის (აღმოსავლეთი წყნაროკეანური აზევება) გავრცელების ზოლში ვითარდება. აქ, სპრედინგის (ოკეანის ფსკერის განწევა) მაქსიმალური სიჩქარე 12-15 სმ/წწ შეადგენს. ამ წყალქვეშა ქედის ღერძულ ნაწილში, მიწის წიაღიდან ძლიერი სითბური ნაკადის არსებობასა და თანამედროვე ბაზალტური შედგენილობის ვულკანური მასების, ასევე თერმული წყლების შემოდინებას აქვს ადგილი, რასაც თან ინტენსიური მადანწარმომშობი პროცესების მიმდინარეობა ახლავს.

ოკეანის აღნიშნულ ზოლში (სამხრეთი განედის 20<sup>0</sup>-სა და 35<sup>0</sup>-ს შორის) ფსკერზე წიაღიდან ათამდე წყალბადიანი აირის მძლავრი ჭავლის

გამოსასვლელი ფიქსირდება. ასე, 1994 წლის ექსპერიმენტული გამოკვლევები აქ მსოფლიოში ყველაზე მძლავრი ჰიდროთერმალური სისტემის არსებობას ადასტურებს. ამოფრქვეული გაზების შემადგენლობაში  $\text{He}^3$  და  $\text{He}^4$  იზოტოპების შეფარდება აჩვენებს, რომ მათი დეგამაცია საკმაოდ ღრმა ფენებიდან ხორციელდება. ანალოგიური სიტუაცია დამახასიათებელია პლანეტის სხვა „ცხელ (ისლანდია, ჰავაის კუნძულები, წითელი ზღვა) წერტილებზე“. ოკეანის ფსკერის აღნიშნულ უბნებზე (უმთავრესად ჩრდ. ნახევარსფერო) წყალბადოვან-მეთანური გაზების შემოდინების მძლავრი ცენტრები ფიქსირდება. ოკეანის წყლების ამ უბნების თავზე კი (სიმაღლე 25 კმ) ოზონის ფენის დესტრუქციას (დეგრადაციას, დაშლას) აქვს ადგილი.

ზემოთ მითითებული საყურადღებო ნაშრომში (Сывороткин В. Л. Природный феномен Эль-Ниньо) ნაჩვენებია ამ მოდელის ჩამოყალიბებისა და მიმდინარეობის პროცესის მსვლელობა. ოკეანის ფსკერის აღმოსავლეთი-წყნაროკეანური რიფტული ხეობიდან გამოყოფილი და ზედაპირამდე მოღწეული წყალბადი აქ არსებულ უანგზადთან რეაქციაში შედის. ამის გამო, წარმოქმნილი სითბო ოკეანის წყლის ზედაპირული ფენის გათბობას იწვევს. უანგვითი რეაქციის წარმოების ხელსაყრელი პირობები აქ აშკარად არსებობს. აკი, ოკეანური ტალღებისა და ატმოსფერული ჰაერის ურთიერთმოქმედება წყლის ზედაპირული ფენის უანგზადით გამდიდრების ხელშემწყობი ბუნებრივი პირობაა.

თუმცა, ამავე დროს, ჩნდება ბუნებრივი კითხვა: შესაძლებელია თუ არა ოკეანის ფსკერიდან შემოფრქვეული წყალბადის მნიშვნელოვანი რაოდენობის წყლის ზედაპირამდე შემოსვლა? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად

აღნიშნულ ავტორს მოაქვს კალიფორნიის ყურეში ჩატარებული კვლევის შედეგები, რომლის თანახმად დადგინდა, რომ ჰაერის ოკეანისპირა ფენაში წყალბადის გაზის რაოდენობა, ფონურთან შედარებით, ორჯერ მეტია. აკი, ფსკერული წყაროებიდან წყალბადიან-მეთანური შენაერთის ჯამური დებიტი აქ  $1,6 \times 10^8$  მ<sup>3</sup>/წნ შეადგენს.

ამჟამად დადასტურებულია, რომ ოკეანის ფსკერული ფენებიდან შემოდინებული წყალბადის გავრცელებას არა მარტო ოკეანისპირა ნაწილში აქვს ადგილი, არამედ სტრატოსფეროს ქვედა და შუა ნაწილებშიც კი აღწევს და ოზონის ფენაში შესამჩნევი ხვრელების წარმოშობასაც უწყობს ხელს. სწორედ, ამ ხვრელებში მზის ულტრაიისფერი და ინფრარითელი გამოსხივების „ჩავარდნა“ შეინიშნება, რომლებიც, საბოლოო ჯამში, ოკეანის ზედაპირამდე აღწევს და, წყალბადის დაჟანგვის შედეგად, წყლის ზედაპირის უკვე დაწყებული გათბობის პროცესის კიდევ უფრო გახურებას უწყობენ ხელს.

სწორედ, მზის ეს დამატებითი ენერგია მოცემული პროცესის მთავარ და განსაზღვრულ ფაქტორს წარმოადგენს. აღსანიშნავია, რომ წყლის გახურებაში დაჟანგვითი რეაქციის როლი საკმაოდ პრობლემატურია. მის შესახებ შეიძლებოდა არც კი გველაპარაკა, თუმცა საყურადღებო ფაქტია, მასთან ერთად, სინქრონულად მიმდინარე უკეანის წყლის შესამჩნევი (36-32,7 %) გამტკნარების პროცესის არსებობა. ვარაუდობენ, რომ სწორედ ეს უკანასკნელი ახორციელებს წყალბადის დაჟანგვის პროცესში მიმდინარე დამატებითი წყლის წარმოქმნას.

დაკვირვებებით დადგენილია და აღნიშნული ავტორის (Сывороткин В. Л) მიერ დადასტურებულია, რომ ოკეანის წყლის ზედაპირული ფენის გახურების შედეგად მასში CO<sub>2</sub>-ის ხსნადობის შემცირება შეიმჩნევა, რაც ამ

აირის ატმოსფეროში შემოთრქვევას აძლიერებს. ასე, მაგალითად, ელ-  
ნინოს ფორმირების პროცესში (1982-1983 წწ), ჰაერში ნახშირბადის  
დიოქსიდის დამატებითი „უღუფის“ შემოსვლამ 6 მლრდ. ტ. შეადგინა.  
ამასთან ერთად, წყნარი ოკეანის აღმოსავლურ ნაწილზე, წყლის  
აორთქლების გაძლიერება, ღრუბლების გამოჩენა, ჰაერში სათბურის გაზების  
- წყლის ორთქლისა და CO<sub>2</sub>-ის ზრდა დასტურდებოდა. ამ გაზების მიერ  
სითბური გამოსხივების შთანთქმის გაძლიერება ოზონის ხვრელებიდან  
„გამსხლტარი“ რადიაციის დამატებითი ენერჯის შედეგად ფორმირებული  
ბუნებრივი აკუმულატორია, რასაც მნიშვნელოვანი როლი აქვს პლანეტის  
სითბური რეჟიმის ჩამოყალიბებაში. დროთა განმავლობაში, აღწერილი  
პროცესი თანდათანობით ძალას იკრებს.

აღსანიშნავია აგრეთვე ისიც, რომ ჰაერის ანომალური გათბობა მისი  
წნევის შემცირებას იწვევს. ამიტომ აშკარაა, რომ წყნარი ოკეანის  
აღმოსავლურ ნაწილში ციკლონური არეალის ფორმირებას აქვს ადგილი.  
სწორედ, ის ახდენს ატმოსფერული დინამიკის სტანდარტული პასატური  
სქემის დეფორმირებას და ჰაერის „გამოწოვას“ წყნარი ოკეანის დასავლეთი  
ნაწილიდან.

პასატური ცირკულაციის როლის მიყუჩებასთან ერთად, პერუ-ჩილეს  
ნაპირებიდან, წყლის მოდენის შემცირება და კრომველის ეკვატორული  
უკუდინების მოქმედების შეწყვეტა ფიქსირდება. წყლის ძლიერი გახურება კი  
ძლიერი ტაიფუნების ჩასახვას იწვევს, რაც ჩვეულებრივი წლების  
განმავლობაში, პერუს დინების გამაცივებელი გავლენის გამო, ადრე დიდი  
იშვიათობა იყო. 1980-დან 1989 წლის ჩათვლით აქ ფორმირებული ათი

ტაიფუნიდან შვიდი (1982-1983 წწ) მათგანის ჩამოყალიბება ელ-ნინიოს ბობოქრობის პირობებში დაფიქსირდა.

ამ აზრის ავტორის მიერ (СЫВОРОТКИН В. Л) მოტანილი რამდენიმე ფაქტი ელ-ნინიოს ზემოთ უკვე აღნიშნული - დეგაზაციური სცენარის არსებობის სასარგებლოდ მეტყველებს. მასვე მოაქვს ამერიკელი მკვლევარის - დ. უოკერის დასკვნა, რომლის თანახმად, ელ-ნინიოს გამოვლინების წლებში, აღმოსავლეთ-წყნაროკეანური აზვების სეისმური აქტიურობა მკვეთრად მატულობს.

ამ წყალქვეშა ქედის ფარგლებში (სამხრეთი განედის 20-40<sup>0</sup>) სეისმური აქტიურობა ჩატარებული დაკვირვებების (1964-1992 წწ) შესაბამისი მონაცემების ანალიზის შედეგად დასტურდება. ამავე დროს ეჭვგარეშეა, რომ სეისმური მოვლენების გაძლიერებას მინის წიალიდან დეგაზაციის მსვლელობის გააქტიურება მოსდევს. ამ დროს, კი სამხრეთი ამერიკის დასავლეთ სანაპიროზე, ელ-ნინიოს გამოვლინება, ოკეანის ზედაპირზე, გაზების გაძლიერებული შემოდინებით ხასიათდება და გემების კორპუსიც შავი ფერის ლაქებით იფარება. ამიტომაც, ამ მოვლენას მეზღვაურები „El-Pintor“-ს უწოდებენ (ესპანურად - „მღებავი“). ამ „ფერადი“ ხსნარის - გოგირდწყალბადის მძაფრი სუნი საკმაოდ შორს იგრძნობა.

ელ-ნინიოს გავლენით ანომალური ბიოპროდუქტიულობით გამორჩეული აფრიკის სანაპირო უოლფიმ-ბეის ყურეს აკვატორიაში პერიოდულად გამონჭვეული ეკოლოგიური კრიზისი ისეთივე სცენარით მიმდინარეობს, როგორც სამხრეთი ამერიკის დასავლეთ სანაპირო ნაწილში. აღნიშნულ ყურეს ფარგლებში მიმდინარე გაზების ამოტივტივებას თან სდევს ცოცხალი სამყაროს, კერძოდ თევზების მასიური განადგურება, რის შედეგად

აქ ე.წ. „წითელი მოქცევების“<sup>18</sup> განვითარებას აქვს ადგილი, ხოლო გოგირდწყალბადის ლაყე კვერცხის მძაფრი სუნი ნაპირიდან ხმელეთის ღრმა ფრაგმენტებზეც (40 მილის მანძილზე) კი იგრძნობა.

ცხადია, რომ ყოველი აღწერილი ფაქტი გოგირდწყალბადის შემოღინებას უკავშირდება, თუმცა მისი წარმოქმნა ოკეანის ფსკერზე „განამარხებული“ ორგანული ნარჩენების გახრწნითაა გამოწვეული. თუმცა, უფრო ლოგიკურია ნაერთის ( $H_2S$ ) გენეზისი ფსკერის სიღრმისეული კომპონენტის ემანაციას (გამოყოფის შედეგად გამოჩენას) დაუკავშიროთ. აკი, გოგირდწყალბადი სწორედ რიფტული ანუ ფსკერზე რღვევის ზონების არსებობის შემთხვევაში<sup>19</sup> ჩანს.

აქედან გამომდინარე შეიძლება ითქვას, რომ სიღრმიდან გაზების შემოსვლის დროს ოკეანის წყალში მათ სეპარაციას (გამოცალკევებას) აქვს ადგილი, რაც მათი წყალში ხსნადობის მკვეთრად განსხვავებული სიდიდეებითაა (ზოგჯერ რამდენიმე რიგით) გამოწვეული. ამის შედეგად, წყალბადისა და ჰელიუმის შემთხვევაში, ეს მაჩვენებელი  $1\text{სმ}^3$  წყალში 0,0181 და 0,0138  $\text{სმ}^3$  შეადგენს, როცა წყლის ტემპერატურა  $20^\circ\text{C}$ , ხოლო წნევა 0,1 მპა-ის ფარგლებშია. თუმცა, იგივე მაჩვენებლები გოგირდწყალბადისა და ამიაკის შემთხვევაში, შესაბამისად  $1\text{სმ}^3$  წყალში 2,6 და 700  $\text{სმ}^3$  შეადგენს.

სწორედ, ამიტომაც დეგაზაციის ზონაში წყალი ამ გაზებით გამდიდრებული. სიღრმიდან გაზების გამოყოფასა და მათ მიერ ელ-ნინიოს

---

<sup>18</sup> ეკოლოგიური მოვლენა, როცა ზღვის წყალში ეპიზოდურად, თუმცა პიროფიტული წყალმცენარეების (*Entomosigma*, *Gymnodinium*, *Gonyalax*, *Exuviella* და სხვ) პოპულაციის მასიური ზრდას აქვს ადგილი, როცა მათი სიმჭიდროვე 60 000 მლნ უჯრედი/ლ-ს აღწევს.

<sup>19</sup> შავ ზღვაში გოგირდწყალბადის საკმაოდ მაღალი კონცენტრაციის არსებობას ზღვის ბინადართა გახრწნის შედეგად წარმოქმნილ პროცესს უკავშირებენ.

ფენომენის გამოვლენაში მონაწილეობის სასარგებლოდ მეტყველებს აგრეთვე ის ფაქტი, რომ პლანეტის ეკვატორიული სარტყლის თავზე, კოსმოსური ხომალდების დაკვირვებათა მონაცემების მიხედვით, ოზონის ფენის ფარგლებში O<sub>3</sub>-ის პერიოდული (დეგაზაციის მაქსიმუმების ფაზებში) დეფიციტი დასტურდება.

**ბიოლოგიური პროდუქტიულობა.** ზემოთ უკვე აღვნიშნავდით, რომ სამხრეთი ამერიკის დასავლეთი სანაპიროს ოკეანის წყლებში, ელ-ნინოს გამოვლინების უამს, სამხრეთი ამერიკის დასავლეთი სანაპირო საკმაოდ გამოცოცხლებული ბიოლოგიური აქტიურობით ხასიათდება. მეცნიერებისა და სპეციალისტების შეფასებებით, ოკეანის ხმელეთისპირა შედარებით ვიწრო ზოლში, ოკეანის სხვა აკვატორიასთან შედარებით, ცოცხალი სამყაროს პროდუქცია ერთი-ორად მატულობს და, ხშირად, აზიის ზოგიერთი თევზების მოსაშენებელ ფერმებში დაფიქსირებულ რაოდენობას რამდენიმე ათეულ ათასჯერ (!) აღემატება. ბუნებრივია, ისმის კითხვა: რით აიხსნება ეს მოვლენა და რა კავშირი აქვს მას ელ-ნინოს ფენომენტთან?

ტრადიციულად, ამ ფენომენის ახსნას ოკეანის წყლის აპვლენიგის მოვლენით ხსნიან. ამ დროს, ნაპირიდან თბილი წყლის ქარისმიერი მიზეზით გადინების პირობებში, ოკეანის ღრმა ფენებიდან ცივი წყლის ზედაპირზე ამოსვლასა და კვებისათვის აუცილებელი და სასარგებლო ნივთიერებებით, განსაკუთრებით აზოტითა და ფოსფორით გამდიდრებას უწყობს ხელს. ელ-ნინოს გამოვლენის წლებში კი, როცა ქარი თავის მიმართულებას იცვლის - აპველინგისა და, შესაბამისად, საკვებით მდიდარი წყლის შემოსვლის შეწყვეტას აქვს ადგილი.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, თავდაპირველად, წყლის ბინადარ თევზებს, ხოლო შემდგომ კი მათ მომხმარებელ ფრინველებს შიმშილისაგან დახოცვა ემუქრება, რასაც მათი აქედან შორს მიგრირება შველის, რაც ფაქტობრივად ფიქსირდება კიდევაც. მსგავსი სურათი „მუდმივი ძრავის“ ხასიათის მატარებელია, როცა სისტემაში ერთ-ერთი მოქმედება მეორე რგოლის გაძლიერებას ან შესუსტებას იწვევს ანუ დადებითი და უარყოფითი უკუკავშირების პრინციპებით (ალფენიძე და სხვ., 1993) რეგულირდება: ოკეანის წყლის ზედაპირულ ფენაში სიცოცხლის გაფურჩქვნა სიღრმიდან საკვებით მდიდარი ნივთიერებების შემოსვლითაა განპირობებული, ხოლო სიღრმეში მათი სიჭარბე, ზემო ფენაში სიცოცხლის სიუხვითაა გამოწვეული, რადგან მკვდარი ორგანული მასა სწორედ ფსკერზე ილექება.

მსგავსი სახის წრებრუნვების ანუ მიმოქცევების გეოგრაფიული წარმოდგენები ამ მონოგრაფიაში ფართო განხილვის საგანს წარმოადგენს. ლანდშაფტური სისტემის ერთ-ერთ უმთავრეს დამახასიათებელ ნიშანს სწორედ ენერგო-მასების წრიული მიმოქცევები წარმოადგენენ. მათი გეოგრაფიული შედეგები სისტემის მდგრადობასა და განვითარების უტყუარი ტენდენციის არსებობაში ვლინდებიან, რომლის გამო ადვილი შესაძლებელია ლანდშაფტური გარსის მდგომარეობის დიაგნოსტიკისა და სამომავლო პროგნოზული მოდელის შემუშავება.

ამავე დროს, თეორიულ-გეოგრაფიული საკითხების გათავისების მიზნით, საინტერესოა თუ რომელი ფაქტორი შეიძლება დავაყენოთ საწყის მომენტში ანუ რომელი მათგანია პირველადი, რაც მსგავსი წრებრუნვის მსვლელობის საწყისი ბიძგის (იმპულსის) როლს ასრულებს? ან კიდე, ენერჯის რა წყაროს ემყარება ამ მუდმივი მიმოქცევის გამოუღვეველი მარაგი

და რის საფუძველზე მიმდინარეობს ის საკმაოდ ხანგრძლივი (ათასწლეულობით) დროის განმავლობაში? ასევე, მეცნიერთათვის, ჯერ კიდევ, არც თუ კარგადაა ცნობილია ქარული აპველინგის მექანიზმის დეტალები. და ბოლოს, ამ მოვლენის კიდევ ერთი გაუცნობიერებულობა: კონტინენტის განაპირა ოკეანის ზოლში გაბატონებული ქარი სანაპირო ხაზის გასწვრივ მოძრაობს, ხოლო წყლის დონის ამოწვევას ქარის მიმართ შვეული მიმართულებით აქვს ადგილი.

მეცნიერთა ერთი ნაწილის მიერ, მათ შორის მოსკოვის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გეოლოგის - სივოროტკინის აზრით, ელ-ნინიოს ფენომენის ფორმირება და ოკეანის ბიოპროდუქტიულობის ზრდის გამომწვევი მნიშვნელოვანი ფაქტორი წყლის აპველინგის გარდა, ოკეანის ფსკერიდან სხვადასხვა გაზების შემოდინებას უკავშირდება. ასეთი დასკვნის გამოტანის შესახებ ამ ავტორს რამდენიმე ფაქტი მოაქვს: ჯერ ერთი, პერუ-ჩილეს ოკეანისპირა ზოლის მთელი აკვატორია ორგანიზმების არაერთგვაროვანი პროდუქტიულობით ხასიათდება, რომელიც კლიმატური აპველინგის შემთხვევაში მეტ-ნაკლებად ერთგვაროვანი უნდა ყოფილიყო. ამის მიუხედავად, აქ ერთმანეთისაგან გამოცალკევებული ორი, სამხრეთი და ჩრდილოეთი „ლაქების“ ფრაგმენტები შეინიშნება, რომლებიც სწორედ ტექტონიკური ფაქტორების კონტროლს ექვემდებარება. მათ ქვეშ, ოკეანის ფსკერზე, ორი რკალისებრი გეოლოგიური სტრუქტურა დეგაზაციის ზონებს წარმოადგენენ და მათგან ქიმიური შენაერთების (აზოტი, ფოსფორი, მანგანუმი) გამოყოფას აქვს ადგილი.

ამ აკვატორიის წყლის ფენაში უანგბადის შემცველობა ძალზე დაბალია, თუმცა მეთანის, გოგირდწყალბადის, წყალბადის, ამიაკის

ხვედრითი შემცველობა საკმაოდ მაღალია. გამონაკლისს წარმოადგენს ოკეანის წყლის ზედაპირული - თხელი ფენა (20-30 მ), რომელშიც უანგზადის შემცველობა ანომალიურად მაღალია, რასაც აქ ანტარქტიდის ნაპირებიდან პერუს დინებით შემოდენილი ცივი წყალი განაპირობებს. წყლის ამ ფენაში, ენდოგენური ბუნების საკვებით მდიდარი, ნივთიერებების შემოსვლა სიცოცხლის აქტიური ფორმების განვითარების უნიკალურ პირობებს იძლევა. მსგავსი პირობები შავი ზღვის მთლიან აკვატორიაშიც ფიქსირდება (ალფენიძე, 2011; 2016), რომლის ანალოგები სხვაგანაც (სამხრეთი კურილის კუნძულები, კურილის ტბა სამხრეთ კამჩატკაში და სხვ) მრავლადაა.

ელ-ნინოს მოქმედების ფარგლებში კი, სამხრეთი ამერიკის სანაპიროზე დევაზაციის გააქტიურების ფაზაში, უანგზადით მდიდარი და სიცოცხლით „სავსე“ წყლის ზედაპირული ფენა, მეთანისა და წყალბადის აირებით შემოფარქვევის გამო, ჯერ უანგზადით ღარიბდება, მერე მთლიანად ქრება და, როგორც წესი, ცოცხალი არსებების მასიური განადგურება იწყება. ბიოპროდუქტიულობის შემცირებასა და ზღვის წყლის ყოველივე ცოცხალის გაქრობას, მითითებული ავტორი სიღრმიდან შხამიანი და მომწამვლელი გაზების შემოდინებით ხსნის. რაც შეეხება ფაუნის სხვა წარმომადგენლებს - მათი გაქრობა ტროფიულ (კვების) ჯაჭვთანაა დაკავშირებული.

როგორც ზემოთ მოტანილი მასალის ანალიზიდან ჩანს, ელ-ნინო - ლა-ნინიას ფენომენის სუფთა ფიზიკური, ან კიდევ დინამიკური არსის აღქმა, გეოგრაფიული თვალსაზრისით რიგი დაფიქრებისა და, აქედან გამომდინარე, საკმაოდ ღრმაშინაარსიანი დასკვნების გამოტანის საშუალებას იძლევა. ამ მიზნით, მიზანშეწონილია ელ-ნინო - ლა-ნინიას ფენომენის როგორც

დინამიკური ნიშნების, ისე მისი მიზგზ-შედევლობრივი გამოვლინების ასპექტების წარმოდგენა.

ცნობილია, რომ ელ-ნინოს ფენომენი წყნარი ოკეანის აღმოსავლეთი აკვატორიის (ტროპიკული და ცენტრალური ნაწილები) ზედაპირული ( $10^7$  კმ<sup>2</sup> ფართობზე) წყლის ტემპერატურის მკვეთრი ზრდით (5-9° C) ხასიათდება. ამავე დროს, ამ ფენომენის გეოგრაფიული ასპექტები შემდეგნაირად შეიძლება წარმოვიდგინოთ: ჩვეულებრივი ამინდის პირობებში, მაშინ როცა ელ-ნინო ჯერ კიდევ არ ჩამოყალიბებულა, ოკეანის თბილი ზედაპირული წყლები ტრანსფორმაციასა და აღმოსავლური ქარების - პასატების მიერ, წყნარი ოკეანის დასავლეთი ნაწილის ტროპიკულ ზონაში, „დამუხრუჭებას“ განიცდის, სადაც ტროპიკული თბილი აუზის (ტოა) ფორმირებას (100-200 მ სიღმემდე) აქვს ადგილი. სითბოს ამ უდიდესი რეზერვუარის მიერ სწორედ ელ-ნინოს ფენომენის რეჟიმის ჩამოყალიბებას განაპირობებს. ტოა-ის ფორმირების პარალელურად, ატმოსფეროში სითბოს ყველაზე დიდი რაიონის წარმოშობა მიმდინარეობს.

ჯერ კიდევ, ჩვენთვის უცნობი მიზეზებიდან გამომდინარე, 3-7 წლის ინტერვალით პასატების მოქმედების შესუტებას აქვს ადგილი. ამის გამო, შეინიშნება ბალანსის დარღვევა და დასავლური აუზის თბილი წყლები (Хунджа, 2000) აღმოსავლეთი მიმართულებით იწყებენ მოძრაობას. წყნარი ოკეანის ტროპიკულ და ეკვატორულ ნაწილებში ტემპერატურის ზრდა ფიქსირდება, რაც ელ-ნინოს საწყისი სტადიის ფორმირებას განაპირობებს. მისი დასაწყისი ხანგრძლივი და ძლიერი დასავლური ქარების ბობოქრობით ხასიათდება, რომელიც შედარებით სუსტი პასატებით იცვლება და ღრმა ფენებიდან ცივი წყლების აპველინგის ბლოკირების მომასწავებელია.

ელ-ნინოს ფაზის რეგიონალურობის მიუხედავად, მისი შედეგები გლობალური ხასიათის მატარებელია. მას, როგორც წესი, მოსდევს გვალვები, ხანძრები, თავსხმა წვიმები, დასახლებების დატბორვები, დიდი ზარალი და მსხვერპლი.

ელ-ნინოს გამოვლინების ერთი წლის შემდგომ თბილი დასავლური აუზი სანინალმდევო ფაზაში შედის და ე.წ. ლა-ნინიას სტადიაში წყნარი ოკეანის აღმოსავლეთ ნაწილში სითბოს დაცემას იწვევს და ოკეანის წყალიც ცივდება. დათბობისა და აცივების ფაზებს შორის დგება ნორმალური მდგომარეობის სტადია, რომელიც დასავლური აუზის (ტ0)ა ფარგლებში სტაციონარული არამდგრადი წონასწორობის მდგომარეობის ფორმირებას აქვს ადგილი.

ამ დროს, ბუნებრივია ისმის კითხვა: რაში მდგომარეობს ელ-ნინოს მიერ დედამიწის ატმოსფეროზე ძლიერი ზემოქმედებისა და ჰავის გლობალური ცვლილებების საიდუმლოება? მეცნიერის (Хунджа, 2000) მიერ მოტანილია კლიმატოლოგ პ. ჯ. ვებსტერის მიერ გამოთქმული მოსაზრება, რომლის მიხედვით ... „უპირველესად, ეს გამოწვეულია კლიმატური სისტემის არანონასწორული და არახაზობრივი უნარის შედეგად. ცხადია, რომ ელ-ნინოს არ ძალუძს ატმოსფეროში სწრაფი ცვლილებების გამოწვევა ანუ მისი მდგომარეობის მომენტალური შეცვლა, თუმცა ამ ფენომენს შეუძლია მოახდინოს ზემოქმედება უკვე შემფოთებული ატმოსფეროს ალბათი მდგომარეობის სტოქასტიკურ<sup>20</sup> არჩევანზე.

---

<sup>20</sup> სტოქასტიკური - შემთხვევითი პროცესი, რომლის ქცევა დეტერმინირებული (განპირობებული) არაა და ასეთი სისტემის შემდგომი მდგომარეობის აღწერა

მეცნიერთა დიდი ნაწილი დარწმუნებულია, რომ ბუნებრივი კატაკლიზმების უმეტესი ნაწილის მიზეზი ჰავის გლობალური ცვლილებებითაა (გლობალური დათბობით) განპირობებული, რომელიც დაკავშირებულია თანამედროვე ტექნოგენური ზემოქმედებებითა და ატმოსფეროში სათბურის გაზების (წყლის ორთქლი, ნახშირბადის დიოქსიდი, მეთანი, აზოტის ზეჟანგი, ოზონი, ქლოროფტორნახშირბადი - ფრეონი) დაგროვებით გამოწვეულ „სათბურის ეფექტის“ მოქმედებასთან.

დედამიწის ზედაპირისპირა ფენის ჰაერის ტემპერატურის შესახებ მეტეოროლოგიური მონაცემების მიხედვით დასტურდება, რომ ამ ბოლო 100 წლის განმავლობაში პლანეტის ჰავის დათბობამ  $0,5^{\circ}\text{C}$  შეადგინა, თუმცა, ტემპერატურის ზრდასთან ერთად, შეიმჩნეოდა მისი შემცირება, რასაც შედარებით მოკლე პერიოდი (1940-1970 წწ) ჰქონდა დაკავებული. ამავე დროს, ჰაერის ტემპერატურის აწევა „სათბურის ეფექტის“ ჰიპოთეზას შეესაბამება, დათბობის გამომწვევ მიზეზებს შორის სპეციალისტები კიდევ სხვა ფაქტორებზეც ამახვილებენ ყურადღებას. მათ შორისაა ვულკანური ამოფრქვევების გააქტიურება, ოკეანური დინებები და სხვ.

ამავე დროს, მეცნიერთა მიერ ელ-ნინიოს პროგნოზის შესახებ შემუშავებული მოდელების უმრავლესობა ნათლად აჩვენებს, რომ მომავალი ათწლეულების განმავლობაში დათბობის პროცესის მნიშვნელოვან ზრდას უნდა ველოდოთ. აქედან შეიძლება დავასკვნათ, რომ ელ-ნინიოს ფენომენის

---

შესაძლებელია როგორც პროგნოზირებადი (წინასწარ განსაზღვრებადი), ისე შემთხვევითი სიდიდეებით.

დანყების სიხშირისა და მისი გამოვლინების ინტენსიურობაში, საკმაოდ სწრაფი და შესამჩნევი ზრდის შინაგანი ტენდენცია შეიმჩნევა.

## **§ 18. ბიოლოგიური და ბიოგეოქიმიური წრებრუნვების გეოგრაფიული ნიშნები**

ბიოლოგიურ და ბიოგეოქიმიურ წრებრუნვებთან დაკავშირებული გეოგრაფიული პროცესების მსვლელობას ლანდშაფტურ-გეოგრაფიულ სისტემაში განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს. ამ მხრივ, პირველი მათგანი მოიცავს ორგანულ ნივთიერებათა შექმნისა და დაშლის ურთიერთსაზიარებლო მიმართულების პროცესების ერთობლიობას. თუკი, ამავე პროცესებს განვიხილავთ ქიმიური ელემენტების (C, N, O, H, Ca, P, Fe და სხვ) მიგრაციის თვალსაზრისით, მაშინ საქმე გვაქვს ბიოგეოქიმიურ წრებრუნვებთან.

ბუნებაში მიმდინარე ბიოლოგიური წრებრუნვების მნიშვნელოვანი პროცესი ფოტოსინთეზის მსვლელობაა. ამ მხრივ, მზის სხივების მოქმედებითა და ქლოროფილის მონაწილეობით, აგრეთვე ნახშირბადის დიოქსიდისა და წყლის ურთიერთქმედებით მიმდინარეობს ორგანული შენაერთის სინთეზი, ხოლო ბუნებაში ადგილი აქვს წყლის დაშლის პროდუქტის - თავისუფალი უანგბადის, აგრეთვე ორგანული ნივთიერების გამოყოფას. ფოტოსინთეზთან ერთად, ყოველ მცენარეში, უკუპროცესიც (სუნთქვა) მიმდინარეობს. ამავე

დროს, ამ ბიოლოგიური პროცესის მსვლელობისას წარმოქმნილი ორგანული ნივთიერება, როგორც წესი, უმეტესად ჭარბი აღმოჩნდება ხოლმე, ვიდრე სუნთქვისას დაშლილი ნივთიერების რაოდენობა. ბუნებაში ამ განსხვავებას ფოტოსინთეზის წლიურ პროდუქციას უწოდებენ.

ფოტოსინთეზი, ბიოლოგიური წრებრუნვის საწყისი შტოა, რომლის შემდგომი რგოლები ორგანიზმების იმ თანმიმდევრულ რიგს შეადგენენ, რომელთა ყოველი მომდევნოსათვის წინამყოფი მათგანი კვების წყაროს წარმოადგენს. ამგვარი, ერთმანეთთან დაკავშირებული რგოლები ტროფიულ (საკვებ) ჯაჭვს ქმნის, რომელიც პროდუცენტებს, კონსუმენტებსა და რედუცენტებს მოიცავს.

ბიოლოგიური მიმოქცევის ზოგადი სქემა შემდეგნაირია: 1. მზის სინათლეზე მწვანე მცენარეულობაში ფოტოსინთეზის მიმდინარეობა, რომელიც სამ საფეხურს მოიცავს: ქლოროფილის მარცვლებში წყლის დაშლას, წყალბადის გამოყოფნას ორგანულ ნაერთთა შესაქმნელად და უანგბადის გამოყოფას ატმოსფეროში; 2. მცენარეული და ცხოველური ორგანული ნივთიერებების კვდომის შემდგომ ეტაჰზე მიკრობებით დაშლა უმარტივეს ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$  და სხვ) ნაერთებად; 3. მარტივი მინერალური ნაერთების ხელახალი შთანთქმა მცენარეების, ცხოველების, მიკრობების მიერ და ისევ ახალი რთული ორგანული ნივთიერებების წარმოქმნა.

ამდენად, ბიოლოგიური წრებრუნვების მიმდინარეობაში ერთი და იგივე მინერალური ელემენტი არაერთხელ წარმოქმნის ცოცხლი ორგანიზმების ორგანულ ნაერთებსა და, ამავე დროს, ისევ გადადის საწყის, თუმცა სხვა სახის მინერალურ მდგომარეობაში. ამასთან, ბიოლოგიური მიმოქცევის ტემპები განსაზღვრავენ ბუნებრივ გარემოში ქიმიური ელემენტების ან მათი ნაერთების

მიგრაციის უმნიშვნელოვანეს ნიშნებსა და გეოსფეროებს შორის კავშირების ხასიათს.

ორგანულ ნივთიერებებს, წარმოშობასთან ერთად, დაშლის უნარიც გააჩნიათ. ამ მოვლენას რედუცენტები წარმართვავენ. მკვდარი მასა თანდათან მინერალიზაციას განიცდის და ქვანახშირის, ტორფის, ნავთობის, სანვაჟი აირების სახით გროვდება. ამდენად, ორგანული ნივთიერების მუდმივი მიმოქცევა ბალანსური (სისტემური) ხასიათისაა. მისი კომპონენტებია:

**ბიომასა** - ცოცხალი ორგანული ნივთიერებების სრული (მიწისქვეშა, მიწისზედა და წყლის ფენებში) რაოდენობა;

**მკვდარი მასა** - ორგანული ნივთიერების რაოდენობა, რომელიც მკვდარი მცენარეულობისა და ცხოველების სახით მოქცეულია ტყის ქვეშ, ტორფის ჰორიზონტებსა და სხვა ფენებში;

**ჩამონაცვენი** - დროის მანძილზე (ჩვეულებრივ, ერთი წელიწადი) წარმოქმნილი მკვდარი ორგანული ნივთიერების რაოდენობა;

**პროდუქცია** - დროის მონაკვეთში წარმოქმნილი ორგანული ნივთიერება.

ბუნებრივ გარემოს ცალკეულ კომპონენტებში ორგანული ნივთიერების ბალანსის ელემენტები არათანაბრად (ცხრილი 18.1 გავრცელებული. მათი ჯამური რაოდენობა (მშრალი წონა) დედამიწაზე  $2,4 - 3,6 \times 10^{12}$  ტონითაა შეფასებული. ოკეანის ბიომასა ხმელეთის ანალოგიური წარმონაქმნის მნიშვნელობას საგრძნობლად ჩამოუვარდება. ამავე დროს, წლიური პროდუქტიულობის მიხედვით ეს განსხვავება (2,5-ჯერ) შედარებით უმნიშვნელოა.

ცხრილი 18.1.

ცოცხალი ნივთიერების განაწილება დედამიწაზე (ტონებში)

ბიომასები	მშრალი მასა	
	ხმელეთი	ოკეანე
პროდუცენტები (ფიტომასა და ფიტოპლანქტონი)	$2,6 \times 10^{12}$	$0,18 \times 10^9$
კონსუმენტები (პლანქტონი, ბენტოსი, ნექტონი, ხმელეთის ბიომასა)	$2 \times 10^9$	$6,83 \times 10^9$
ცოცხალი ნივთიერება	$2,6002 \times 10^{12}$	$7,01 \times 10^9$

რაც შეეხება წლიური პროდუქციის შეფარდებას მთელ ბიომასასთან, ხმელეთზე ეს სიდიდე 0,069-ს შეადგენს, ხოლო ოკეანეში იგი 11,4-ის ტოლია, ანუ ხმელეთის წლიური პროდუქტიულობა მისი ბიომასის მხოლოდ 7%-ია, ოკეანეში კი მის ერთჯერად ბიომასას 11-ჯერ აღემატება.

ხმელეთზე ორგანული ნივთიერებები ასევე არათანაბრადაა განაწილებული. ასე, მაგალითად, ნოტიო ტროპიკულ ტყეებში (ფართობი,  $17 \times 10^6$  კმ<sup>2</sup>) მშრალი ბიომასის სიდიდე  $70$  კგ/მ<sup>2</sup> შეადგენს, ნოტიო სუბტროპიკულ ტყეებში იგი  $45$  კგ/მ<sup>2</sup>-მდეა, ზომიერი სარტყლის ფართოფოთლოვან ტყეებში  $40$  კგ/მ<sup>2</sup>, ხოლო ტაიგაში  $35$  კგ/მ<sup>2</sup>-ის ტოლია; საკმაოდ მცირეა ორგანული ნივთიერებები სავანებსა ( $2-4$  კგ/მ<sup>2</sup>) და სტეპებში ( $1-2,5$  კგ/მ<sup>2</sup>); ტუნდრასა და უდაბნოებში მშრალი ბიომასა კიდევ უფრო უმნიშვნელოა. დაბალი ბიომასით გამორჩეულ ზონებში ცოცხალი ნივთიერების ძირითადი მასა (80 %) მიწის ქვეშაა მოქცეული, რაც მიწისზედა ფენებში არახელსაყრელი პირობების არსებობით აიხსნება.

წლიური პროდუქციის უმეტესი ნაწილი ( $2,5 - 3,5$  კგ/მ<sup>2</sup>) ნოტიო ტროპიკულ ტყეებში შეიმჩნევა. თუმცა, სავანებისა და სტეპების ორგანული

ნივთიერების პროდუქტიულობაც ანალოგიურ სიდიდეს უმნიშვნელოდ ჩამორჩება. ბიოლოგიური წრებრუნვების სიჩქარე განსაზღვრულია ორგანული ნივთიერების დაშლის ინტენსივობით, რომელიც მიიღება ჩამონაცვენისა და მკვდარი მასის შეფარდებით. გამოთვლებით დადგენილია, რომ ეს სიდიდე სხვადასხვა ბუნებრივ ზონებში ძალზე ცვალებადია: ტუნდრაში იგი 90-ზე მეტია, ტაიგაში - 10-12, ფართოფოთლოვან ტყეში - 3-4, სტეპებში - 1-1,5, სუბტროპიკულ ტყეებში მხოლოდ 0,7 შეადგენს, ხოლო ნოტიო სუბტროპიკულ ტყეებში სრულიად უმნიშვნელო (0,1) სიდიდისაა.

ამ მაჩვენებელთა გაცნობისას ცხადი ხდება, რომ აღნიშნული შეფარდების მაღალი მაჩვენებლები ნივთიერების გახრწნის შენელებულ პროცესზე მიუთითებს. ასე, მაგალითად, ტუნდრისა და ტაიგის ჩამონაცვენის სუსტი გახრწნა, დაბალი ტემპერატურის პირობებში, მიკროორგანიზმების შენელებული აქტიურობითაა გამოწვეული. იგი უფრო მაღალ ინტენსიურობას სტეპებსა და სავანებში აღწევს. ტროპიკული ტყეების სწრაფი მინერალიზაცია და გახრწნის დიდი სიჩქარე მაღალი ტემპერატურისა და საკმარისი დანესტიანების თანაშემხმებითაა განპირობებული.

როგორც ჩანს, ხმელეთზე ორგანული ნივთიერების ბალანსის კომპონენტების ტერიტორიულ კანონზომიერ განაწილებას, ბუნებრივი კომპლექსების სიტბოსა და ტენის რეჟიმის ხასიათი განსაზღვრავს. აღნიშნული ორი კომპონენტიცაა გამოწვეული ფოტოსინთეზის ინტენსიურობა, ბიოცენოზის სტრუქტურა და მინერალიზაციის ხარისხი.

ოკეანეების ბიომასა და მისი პროდუქტიულობა უფრო რთული კომპლექსითაა განსაზღვრული. ბიომასის დიდი ნაწილი (74 %) ზოოპლანქტონს (ცოცხალი მასა  $21,2 \times 10^{12}$  კგ) უკავია, თუმცა წლიური

პროდუქციის უდიდეს (96%) ნაწილს ფიტოპლანქტონი ( $0,9 \times 10^{12}$ კგ) იძლევა, რომლებსაც უმთავრესად კონსუმენტები (ზოოპლანქტონი, ზოობენტოსი, ნექტონი) მოიხმარს. ოკეანეებში ორგანული ნივთიერების გავრცელების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ბიომასისა და პროდუქტიულობის მაღალი მაჩვენებლების საკონტაქტო (შელფი, აპველინგის უბანი) ზონებთან დამთხვევა, სასაზღვრო ზოლების ნივთიერებათა ენერგიული ცვლის მაღალი უნარიტაა შეპირობებული.

ცხრილი 18.2.

ორგანული ნივთიერების მოხმარება (ციციშვილის და სხვ. წიგნიდან, 1997)

ადამიანის სამეურნეო საქმიანობა	არაორგანული ნივთიერების დანაკარგი (მლრდ. ტ/წწ)
ტყეების გაჩეხვა	4,5
ნიადაგის ეროზია	0,45
მინების დამუშავებისას ჰუმუსის დაჟანგვა	0,3
საძოვრების ჭარბი გამოყენება	0,7
სხვა მიზეზებ	1-2
ჯამური დანაკარგები	5-6

დედამიწაზე ცოცხალი ნივთიერების რაოდენობა დამოკიდებულია, აგრეთვე, ადამიანთა საზოგადოების სამეურნეო საქმიანობასთან. მისი ნეგატიური გამოვლინების რაოდენობრივი მაჩვენებლები ქვემოთ მოტანილ ცხრილშია (18.2) ასახული. როგორც ჩანს, ბიომასის ყოველწლიური მოხმარება 5-6 მლრდ. ტონას შეადგენს. მათ შორის, ფიტომასის წლიური ხარჯი 4,5-5,0 მლრდ. ტონაა. მიწისზედა ფიტომასის ჯამი კი მხოლოდ  $2,6 \times 10^{12}$

ტონაა და კრიტიკულ ზღვართან საკმაოდ ახლოს დგას. აქედან გამომდინარე, ცოცხალი ნივთიერების შენარჩუნებასთან ერთად, ბიოგეოცენოზებში მნიშვნელოვანი როლი სწორედ მწვანე მცენარეულობას ენიჭება, რომელიც ბიომასის ძირითად ნაწილს ქმნის, ხოლო ფოტოსინთეზის წყალობით, ხელს უწყობს უანგბადისა და ნახშირბადის დიოქსიდის ბალანსის შენარჩუნებას, წყლის წრებრუნვასა და ბიოგენურ მიგრაციებს.

ცოცხალი სამყაროს ძირითადი ქიმიური ელემენტი - ნახშირბადია. მის მიერ წარმოქმნილი ორგანული შენაერთები დედამიწის თერმოდინამიკური პირობების მიმართ განსაკუთრებულ მდგრადობას ინარჩუნებს. უსიცოცხლო სფეროში ეს შენაერთები უმნიშვნელოდ იცვლებიან და მონაწილეობენ ქვანახშირის, ტორფის, ნავთობის აგებულებაში.

ბიოლოგიურ წრებრუნვაში ნახშირბადის მონაწილეობის ერთი უბანი (ფოტოსინთეზი) საკმაოდ საინტერესო მოვლენაა. ამ მხრივ, აღსანიშნავია მწვანე მცენარეების მიერ წლის მანძილზე შთანთქმული ნახშირბადის ატმოსფერული შემცველობის მთლიანი მარაგი და ორგანიზმების სუნთქვის, ასევე მათი ნარჩენების გახრწნის, ბუნებრივი (ვულკანიზმი) და ტექნოგენური (სათბობის წვა) რეაქციების წყალობით ფორმირებული ნახშირბადის რაოდენობა თითქმის ერთმანეთის ტოლია.

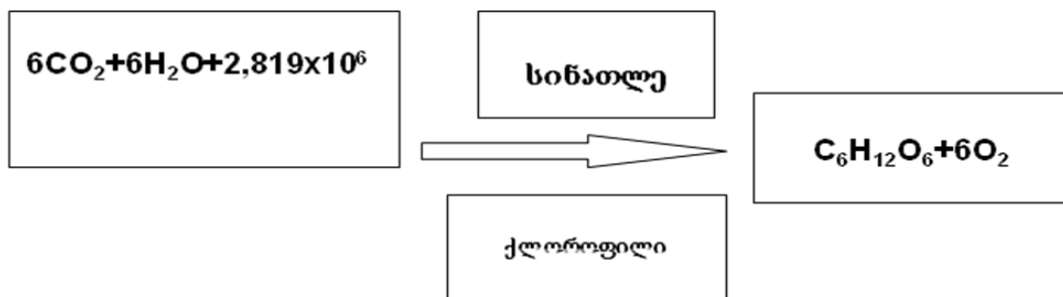
დედამიწაზე თავისუფალი უანგბადი  $10^{15}$  ტონაა. იგი საკმაოდ აქტიური ელემენტია და ენერგიულად შედის შენაერთებში, დაუანგვის პროცესში კი ადვილად შთაინთქმება, ხოლო მისი რაოდენობა უცვლელი რჩება, რაც „დახარჯვასთან“ ერთად, „გამოთავისუფლებასაც“ გულისხმობს. თავისუფალი უანგბადის წარმოქმნის წყაროს მწვანე მცენარეულობაა. ამ ცოცხალი

ორგანიზმების მიერ ბუნებაში ფოტოსინთეზის საკამოდ რთული პროცესის განუწყვეტლივ მიმდინარეობს.

ფოტოსინთეზი ბუნების უზარმაზარი „წარმოებაა“. მის მიერ, ატმოსფეროდან  $2 \times 10^{12}$  ტ/წწ ნახშირბადის დიოქსიდის დახარჯვას თან სდევს  $1,45 \times 10^{11}$  ტ თავისუფალი ჟანგბადის გამოთქმაც. ფოტოსინთეზის შედეგად დედამიწის მცენარეულობა ყოველწლიურად  $10^{11}$  ტ ორგანულ ნივთიერებას ქმნის. მათ შორის, თითქმის ნახევარი ზღვებისა და ოკეანეების მცენარეულობის შექმნაზე მოდის. ამ პროცესის გრანდიოზულობაზე მიუთითებს ის ფაქტი, რომ ფოტოსინთეზის მსვლელობაში დახარჯული ენერგია ( $3 \times 10^{21}$ ჯ), ადამიანთა საზოგადოების მიერ ათვისებულ ენერგიას ( $3 \times 10^{20}$ ჯ) რამდენადმე აღემატება.

მწვანე მცენარეულობასთან როგორც მზის ენერგიის ტრანსფორმაციის უნარის მქონე ბუნების ობიექტთან ორგანულად დაკავშირებულია დანარჩენი ორგანიზმების (ფაუნა, ფლორა, მიკროორგანიზმები, გარდამქმნელები და სხვ) ფუნქციონირება. მზის ენერგიის შეთვისება ამ მცენარეთა ფოთლების მეშვეობით ხორციელდება. ამ ფოთლების ჯამური ფართობი რამდენჯერმე მეტია, ვიდრე თვით მცენარეთა მიერ დაკავებული სივრცე. ასე, მაგალითად, ყოველ 1 ჰა-ზე წიფლის ტყის ფოთლების ჯამური ფართობი 7,5 ჰა-ს ტოლია, მდელოებისა კი 22-28 ჰა-ს, ხოლო იონჯისა - 85 ჰა-ს შეადგენს. ეს სიდიდეები კიდევ უფრო გაიზრდება თუ მივუთითებთ, რომ მცენარის ფოთლებზე ქლოროფილის მარცვლებით დაკავებული ზედაპირი (მზის ენერგიის შთანთქმის ფაქტობრივი ფენა), თვით ფოთლების ფართობზე 200-ჯერ მეტია. ასე, რომ ერთი ასწლოვანი წიფელის ფოთლების ქლოროფილის მარცვლით დაფარული ფართობი 2 ჰა-ს აღწევს.

მწვანე მცენარეულობის მიერ შთანთქმული მზის ენერგია წყლის დაშლასა და თავისუფალი უანგბადის გამოყოფას ხმარდება. ფოტოსინთეზის მსვლელობის მარტივი სურათი ნაჩვენებია ნახაზზე 18.1.



ნახ. 18.1. ფოტოსინთეზის მარტივი სქემა

რეაქციიდან ჩანს, რომ ნახშირბადის დიოქსიდისა და წყლის ურთიერთქმედების შედეგი - ენერგიით მდიდარი ორგანული შენაერთის (ნახშირწყლები) სინთეზია. ამის შედეგად, ბუნებრივ გარემოში ძლიერი დამუანგავი - თავისუფალი უანგბადი გამოიყოფა. ამ პროცესთან ერთად მცენარეებში უკუპროცესი - სუნთქვა მიმდინარეობს. ნორმალურ პირობებში ფოტოსინთეზის შედეგად მიღებული ორგანული ნივთიერება ყოველთვის ჭარბობს სუნთქვისას დაშლილი ნივთიერების რაოდენობას, რაც ერთი წლის მანძილზე ფოტოსინთეზის წლიურ პროდუქციას ქმნის. მისი მნიშვნელობა, დამოკიდებულია რადიაციული ბალანსისა და სიმშრალის რადიციული ინდექსის (K) სიდიდეებზე, რომლებიც დედამიწის სხვადასხვა სახის ლანდშაფტურ-გეოგრაფიულ წარმონაქმნებში სრულიად განსხვავებული პროდუქტიულობით ხასიათდება. ამის დასტურად, მოვიტანთ ზოგიერთ მაჩვენებლებს ნ. ბერუჩაშვილის (1990) მონოგრაფიიდან.

ფოტოსინთეზის გაჩენამ დედამიწაზე ენერგიით მდიდარი ორგანული შენაერთების წარმოქმნა და მისი უზარმაზარი მარაგის მუდმივი განახლება

გამოიწვია, რის შედეგადაც წარმოიშვა ცოცხალი სამყაროს ნაირფეროვნება, სადაც მცენაეერთან ერთად ჰეტეროტროფული ორგანიზმების (ადამიანის ჩათვლით) სწრაფ განვითარებას დაედო საფუძველი. დედამიწაზე დამყარდა ნივთიერებათა სტაბილური ბრუნვა, რომელშიც სასიცოცხლო ღონის სიდიდე ფოტოსინთეზის მასშტაბებმა განსაზღვრა. ამასთანავე, ამჟამად, როდესაც ფოტოსინთეზის პროდუქტების ათვისება მკვეთრად იზრდება, მისი მთავარი მომხმარებლის - ადამიანის მიერ, სულ უფრო ნათელი ხდება, რომ საწვავის, სურსათის, ტყის რესურსების მარაგი შეიძლება არასაკმარისი გახდეს. ამიტომ, ფოტოსინთეზის პროდუქტიულობის შენარჩუნება, მისი გაძლიერება და ოპტიმიზაცია, კაცობრიობის წინაშე მდგომ პრობლემათა შორის, ერთ-ერთი უმთავრეს ადგილს იკავებს.

ცხრილი 18.3.

ფიტომასა და მისი პროდუქტიულობა

ლანდშაფტები	ფიტომასა ტ/ჰა	პროდუქტიუ- ლობა ტ/ჰა
პოლარული უდაბნოები	5	1,0
ტუნდრა	28	2,5
ტყეტუნდრა	100	4,0
ფართოფოთლოვანი ტყეები	400	13,0
ტიპიური შავმიწების სტეპები	20	8,0
მშრალი სტეპები	13	5,0
სუბტროპიკული სტეპები	35	10,0
ნოტიო სუბტროპიკული ფართოფოთლოვანი ტყეები	450	20,0
ქსეროფიტული და სუბტროპიკული ტყეები	170	16,0
ბომიერი სარტყლის უდაბნოები	9	3,2

ტროპიკული უდაბნოები	1,5	1,0
მარადმწვანე ტროპიკული ტყეები	600	27,0
მთის ტყეები	700	35,0
ჭაობების ტროპიკული ტყეები	500	25,0
ქსეროფიტული ტროპიკული ტყეები	250	17,0

როგორც ჩანს, ფიტომასის რაოდენობა და მისი პროდუქცია მჭიდრო კავშირშია როგორც რადიაციულ ბალანსთან (თერმული რეჟიმი), ისე ატმოსფერული ნალექების სიდიდესთან. ამდენად, იგი გეოგრაფიული სარტყლებისა და ზონების მიხედვით კანონზომიერად იცვლება: დაბალი ტემპერატურისა და ატმოსფერული ნალექების პირობებში ფიტომასები და მათი პროდუქტიულობა - უმნიშვნელოა; დაბალია ეს მაჩვენებლები მაღალი ტემპერატურისა და სინოტივის დეფიციტის (უდაბნოები) პირობებშიც. მაღალი ტემპერატურისა და უხვი ატმოსფერული ნალექების არეალებში (ტროპიკული ტყეები) პირიქით, როგორც ფიტომასა, ისე პროდუქტიულობა საკმაოდ დიდია.

ვაგრძელებთ რა, ფოტოსინთეზის შედეგად ორგანული ნივთიერების ფორმირების მსვლელობის აღწერას აღვნიშნავთ, რომ ფიტომასაში მზის ენერჯიის დაგროვება და შინაგანი ენერჯიის წარმოქმნა ეჭვს არ იწვევს. მას კალორიმეტრიული ხელსაწყოებით განსაზღვრავენ და მცენარის ექსპერიმენტულ წვას მიმართავენ. ამ ექსპერიმენტებიდან ჩანს, რომ მცენარეები არა მარტო ორგანული ნივთიერების დამგროვებელია, არამედ მზის ენერჯიის კოლექტორიცაა. ამჟამად, ადამიანი ამ ენერჯიას გამოიყენებს, თუმცა მისი დაგროვება მცენარეების მიერ რამდენიმე ასეული წლის წინ მოხდა. ან კიდევ, ქვანახშირის წვისას გამოყოფილი სითბო, მილიონობით წლის წინ შეითვისეს მცენარეებმა, რომელიც მოგვიანებით განამარხებული და ქვანახშირად ქცეული აღმოჩნდა.

აქედან ჩანს, რომ ცოცხალ ორგანიზმებში დაგროვილი მზის ენერგია ხანგრძლივი დროის მანძილზე „განამარხებულ მდგომარეობაში“ იმყოფება და ადამიანის გამოჩენას დალოდებული - სამეურნეო ენერგეტიკულ მიმოქცევაში ღებულობს მონაწილეობას. მოყვანილი მაგალითიდან ნათელია, რომ წარსული გეოლოგიური პერიოდების ბიოსფერო სრულიად არაერთგვაროვანი უნდა ყოფილიყო. გარდასული ეპოქები მცენარეთა არა მარტო ზომების, ფორმებისა და აღნაგობის ცვლილებებით, არამედ მათი ქიმიური შემადგენლობის სირთულით ხასიათდებოდა. ამასთან ერთად, დროთა განმავლობაში იცვლებოდა მიკრობებიც, რომლებიც ორგანიზმების გახრწნაში ღებულობდნენ მონაწილეობას. უნდა ვიფიქროთ, რომ ყოველი კაუსტობიოლითის წარმოქმნა მიმდინარეობდა თავისი განსაზღვრული და განუმეორებელი თანაშეხამების პირობებში.

ამა თუ იმ ორგანიზმის მიერ მზის ენერგიის შთანთქმის ინტენსიურობა სავარაუდოდ არაერთგვაროვანია. მცენარეებში ენერგიის შემცველობა მათი შინაგანი ენერგიის დაგროვების უნარის განსხვავებულობას აჩვენებს. ამის დასტურია ცხრილში (18. 4) მოტანილი მცენარეების ენერგეტიკული მახასიათებლები.

ცხრილი 18. 4

მცენარეთა მშრალი ორგანული ნივთიერების ენერგიის შემცველობა  
(ვ. ლარხერის (1971) მიხედვით; ნ. ბერუჩაშვილის (1990) წიგნიდან)

მცენარეული მასალა	ენერგიის შემცველობა კჯ/გ
პლანქტონური წყალმცენარეები	19,3-20,5
მუქი წყალმცენარეები	18,4-18,9
ლიქენები, ხავსები	14,2-19,3

ბალახეული მცენარეულობა	15,9-21,0
პარკოსნები	18,4-20,5
ფოთოლმცვენი ხეები	
მერქანი	17,6-19,3
მარადმწვანე ტროპიკული ტყეების ფოთლოვანი მცენარეები	
მერქანი	16,3-17,6
ფესვები	16,3-18,6
მარდმწვანე წიწვიანი ხის მერქანი	19,7-20,1
უდაბნოს ბუჩქნარი	18,9-21,0

უნდა ვივარაუდოთ, რომ აწინდელ დროის მცენარეებში ენერჯის შემცველობის არაერთგვაროვნება ამა თუ იმ გეოლოგიურ პერიოდში ფორმირებული წიაღისეული ნამარხების შემადგენლობის არაერთგვაროვნებაზეც უნდა მიუთითებდეს. მართლაც, გამოირკვა, რომ ანთრაციტის წარმოქმნა დაკავშირებულია დევეონურ-კარბონული ფსილოფიტებისა და გვიმრისნაირების განამარხებასთან, ხოლო ქვანახშირის ფორმირება კარბონული და პერმული გვიმრისებრი მცენარეულობის, მურა ნახშირისა კი ცარცული და მესამეული ასაკის ფარულთესლიანების მასიურ განამარხებას უკავშირდება, თანამედროვე ტორფები - ხავსების ლჰობით მიიღება. ამ ნამარხი კაუსტობიოლითების ჩამოთვლის რიგისა და ასაკის შემცირების მიხედვით კლებულობს მათი როგორც კალორიულობა, ისე ამ ნამარხებში ნახშირბადის შემცველობა. ცოცხალ ორგანიზმებში, უანგბადთან ერთად, დიდი როლი აზოტსაც ეკისრება, რომელიც ასევე ბიოგენური წარმოშობისაა. ატმოსფეროში მისი არსებობა აზოტოვანი შენაერთების (უანგბადოვანი, წყალბადოვანი, ორგანული) ბაქტერიულ გარაქმნასთან უკავშირდება.

ცოცხალი ორგანიზმები ბუნებრივ გარემოში ნივთიერებათა ცვლის რთულ პროცესს ასრულებენ, რაც მათი მაღალი აქტიურობისა და კვლავწარმოების უნართაა შეპირობებული. ამავე დროს, ორგანიზმების გამრავლების ინტენსიურობა განუსაზღვრელად დიდია, თუმცა მათი პოტენციური შესაძლებლობანი შეზღუდულია საკვები პროდუქტების უკმარისობით, საცხოვრებელი გარემოს გაბინძურებით, ურთიერთშორის კონკურენციით, სივრცობრივი შეზღუდულობითა და სხვა ეკოლოგიური ფაქტორებით.

იმ მიზნით, რომ მკითხველი საფუძვლიანად გაერკვეს ერთი მხრივ, ბიოსფეროსა და მისი კომპონენტების (ცოცხალი ორგანიზმები, ბიომასა, ბიოგენური ნივთიერებები) ბიოლოგიურ ასპექტებსა და მეორეც - ბუნებრივ გარემოში მათი ურთიერთქმედებების შესახებ, ქვემოთ მოგვაქვს რამდენიმე (ავტორის აზრით) განმარტება:

**ბიოსფერო** - დედამიწის გარსი, რომელიც დასახლებულია ცოცხალი ორგანიზმებით და მუდმივად გარდაიქმნება მათ მიერ. მისი ფორმირება დაიწყო არა უგვიანეს 3,8 მლრდ. წლის წინ, როცა პლანეტაზე დაიწყო პირველი ორგანიზმების ჩასახვა;

**ცოცხალი ნივთიერება** - ბიოსფეროში მობინადრე, სისტემატიკური კუთვნილების მიუხედავად, ფიზიკურ-ქიმიური თვალსაზრისით ერთიანი ცოცხალი ორგანიზმების ერთობლიობა. ცოცხალი ნივთიერებების მასა მცირეა -  $2,4 - 3,6 \cdot 10^{12}$  ტ (მშრალი წონა) და მთლიანი ბიოსფეროს ( $3 \cdot 10^{18}$  ტ) 0,000001 ნაწილს წარმოადგენს. ამის მიუხედავად, ბიოსფერო ჩვენი პლანეტის ერთ-ერთი ყველაზე ძლევაგამოსილი გეოქიმიური ძალაა, რადგან ორგანიზმები აქ არა თუ ბინადრობენ, არამედ გარდაქმნიან კიდევაც მას;

**ბიომასა** - ბიოგენური ნივთიერების ნაწილი, მცენარეთა და ცხოველთა ორგანიზმების ერთობლივი (პლანეტის ცოცხალი ორგანიზმების) მასა, რომელიც ამა თუ იმ დაკვირვების მომენტში (დაკვირვების დროს) შეინიშნება ბიოგეოცენოზში. ბიოსფეროს ნივთიერების მშრალი ჯამური მასა 85-100 მლრდ. ტონაა. ადამიანების ბიომასა 350 მლნ. ტონას ანუ 100 მლნ. ტონას (მშრალ მასაზე გადაყვანით) შეადგენს. დედამიწის ბიომასა  $2,423 \times 10^{12}$  ტონა და დედამიწის მასის 0,01%-ია.

**ბიოგენური ნივთიერება** - ორგანული და ორგანომინერალური პროდუქტები, შექმნილი ცოცხალი ორგანიზმების მიერ გეოლოგიური დროის მანძილზე, შედგება ცოცხალი ორგანიზმების ცხოველმყოფელობის ან მათი გახრწნის ნარჩენების - კირქვებისა და ნიჟარებიანი ქანების, ასევე ნახშირის, საწვავი ფიქლების, ნავთობისა და სხვ. პროდუქტებისაგან. ისინი იქმნებიან და გარდაიქმნებიან სიცოცხლის სფეროში ან მათი მეშვეობით.

**ბიოგეოცენოზი** - რაიმე ტერიტორიის ბუნებრივი ეკოსისტემა, რომელიც მოიცავს: ცოცხალ ორგანიზმებსა და მათთან დაკავშირებულ აბიოტურ ფაქტორებს, წარმოადგენს დაკავშირებულ ნივთიერებებისა და ენერჯის ნაკადების წრებრუნვების სისტემას. ბუნებრივი ეკოსისტემა - თვითრეგულირებადი და მდგრადი ეკოსისტემაა, რომელშიც ორგანიზმები (ცხოველები, მცენარეები) არაორგანულ (წყალი, ნიადაგი) ნივთიერებებთან განუწყვეტელ კავშირებში იმყოფებიან. მაგ.: ფიჭვის ტყე, მთის ხეობა;

**კოსნური ნივთიერება** - ბიოსფეროში ან მის ფარგლებს გარეთ ცოცხალი ორგანიზმების მონაწილეობის გარეშე წარმოქმნილი არაბიოგენური ნივთიერებები - მინერალები, ქანები და სხვ;

**ბიოკოსნური ნივთიერება** - ცოცხალი და არაცოცხალი სინთეზის პროდუქტი - დანალექი ქანები, ნიადაგები, შლამები.

დედამიწის ცოცხალი ნივთიერებების მასის შესახებ მონაცემები (ცხრილი 18. 5) მიუთითებენ, რომ მათ მიერ დაკავებული სივრცე და შესრულებული „საქმიანობა“ საკმაოდ მრავალფეროვანი და კოლოსალური სიდიდისაა. ამავე დროს, ცოცხალი ორგანიზმები - ენერჯის აქტიური კერაა. თუკი ხმელეთის მცენარეულობის ენერჯის შემცველობას საშუალოდ 17-20 კ ჯ/გრ-ის ტოლად ჩავთვლით, ხოლო ფიტომასის სიდიდეს -  $6,5 \times 10^{12}$  ტონით შემოვფარგლავთ, მაშინ ცხადი გახდება თუ რა კოლოსალურ ენერჯის ( $110,5 \times 10^{18}$  კჯ) შეიცავს ერთდროულად ხმელეთის ფიტოცენოზი.

ცხრილი 18. 5

**დედამიწის ცოცხალი ნივთიერება**

(ვ. კორმილიცინის, მ. ციცქიშვილის, ი. იალამოვის მიხედვით, 1977)

ცოცხალი ორგანიზმების ჯგუფები	ბიომასა, ტ-ში			
	ცოცხალი მასა		მშრალი მასა	
	ხმელეთი	ოკეანე	ხმელეთი	ოკეანე
ხმელეთის ფიტომასა	$6,5 \times 10^{12}$	-	$2,6 \times 10^{12}$	-
ფიტოპლანქტონი	-	$0,9 \times 10^{12}$	-	$0,18 \times 10^9$
ხმელეთის ზოომასა	$6 \times 10^9$	-	$2 \times 10^9$	-
ზოოპლანქტონი	-	$21,2 \times 10^9$	-	$4,2 \times 10^9$
ზოონენტოსი	-	$6,6 \times 10^9$	-	$2,4 \times 10^9$
ნექტონი	-	$1,0 \times 10^9$	-	$0,23 \times 10^9$
ცოცხალი ნივთიერება ერთად	$6,5006 \times 10^{12}$	$0,9288 \times 10^{12}$	$2,6002 \times 10^{12}$	$7,01 \times 10^9$ ანუ $0,00701 \times 10^{12}$

ამ სიდიდეზე წარმოდგენას მარტივი გაანგარიშება იძლევა: ხმელეთის მთელი ფიტომასის ერთდროული დანვისას გამოყოფილი ენერჯია 28 ათასი

წლის განმავლობაში განუწყვეტლივ ამუშავებდა კოსმოსური ხომალდის მატარებელ რაკეტას, რომლის სიმძლავრე  $125 \times 10^6$  კვტ-ის ტოლია. თანამედროვე მაღალი კლასის მსუბუქი ავტომანქანის ძრავას კი (სიმძლავრე 70 კვტ), იმავე ენერგიით 50 მლრდ. წელიწადი უნდა ემუშავა განუწყვეტლივ, რაც ასეთივე სიმძლავრის 5 მილიარდი მანქანის, 10 წლის განმავლობაში, უწყვეტი მუშაობის ტოლფასია.

დავუბრუნდეთ ისევ ბიოლოგიური და ბიოგეოქიმიური პროცესების მიმოქცევების მსვლელობასა და მათ ბუნებრივ გარემოში „ჩატარებულ“ საქმიანობას. გარემოში მიმდინარე ნახშირბადის წრებრუნვის შეუქცევადი პროცესი ასეთია: მისი ატომების ნაწილი - ორგანული (ჰუმუსი, ტორფი, საპროპელი) და არაორგანული (კარბონატები) ნაერთები ღრთთა განმავლობაში განამარხებას განიცდის. ღრმა ფენებში მოხვედრილი  $10^{16}$  ტონა ნახშირბადი, ქვანახშირი, ნავთობი, კირქვები მილიონობით წლის განმავლობაში ამოვარდნილია ბუნებაში მიმდინარე საკმაოდ სწრაფი მიმოქცევებიდან.

ვულკანიზმის მიმდინარეობისას, წიაღიდან დედამიწის ზედაპირზე ამონთხეულ ვულკანურ მასას თან ახლავს მანტიაში განმარხებული ნახშირბადი, რომელიც დედამიწის ლანდშაფტურ-გეოგრაფიულ სისტემაში ისევ ბრუნდება. ამდენად, ვულკანურ მასალასთან ერთად ამონთხეული ნახშირბადი და მისი ნაერთები ისევ აგრძელებენ ბიოლოგიურ მიმოქცევაში მონაწილეობას.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ბუნებრივი პროცესების როტაციაში თავისუფალი უანგბადის მონაწილეობა. დაუანგვა ხომ ბუნებაში ფრიალ გავრცელებული მოვლენაა. უანგბადი შედის ქანების, ნიადაგების, წყლის

შემადგენლობაში. თავისუფალი ჟანგბადი დედამიწაზე ამ 3 მლრდ. წლის წინათ გაჩნდა. ბუნებრივი გარემოს ისტორიის მანძილზე, ჟანგბადი მიწის ქერქის ზედა ფენაში, გამოფიტვის ქერქსა და ნიადაგებში დაგროვდა. მოგვიანებით, ჟანგბადის ზრდამ გამოიწვია ოზონის ფენის წარმოშობა, რომელიც აჩერებს ულტრაიისფერი, ინფრანითელი, რენტგენისა და სხვა კოსმოსური სხივების შემოჭრას, ხელს უწყობს ცოცხალი ორგანიზმების დაცვასა და სწრაფ გავრცელებას დედამიწაზე.

მწვანე მცენარეულობის არსებობით, ატმოსფეროში დაგროვილი თავისუფალი ჟანგბადი  $1,18 \times 10^{15}$  ტონას შეადგენს. ამჟამად, თავისუფალი ჟანგბადის ყოველწლიური ნამატი მხოლოდ  $1,55 \times 10^9$  ტონაა, ხოლო მისი ხარჯვა  $2,16 \times 10^{10}$  ტონას აღწევს. ცხადია, რომ თავისუფალი ჟანგბადის ხარჯვითი ნაწილი, მის წლიურ ნამატთან შედარებით,  $2,005 \times 10^{10}$ -ით მეტია. აქედან ცხადია, რომ ჟანგბადის დანახარჯი შემოსავალს 13,9-ჯერ აღემატება. მათ შორის, ტექნოლოგიურ პროცესებში ყოველწლიურად  $9 \times 10^9$  ტონა ანუ 5,8-ჯერ მეტი ჟანგბადი იხარჯება, მის ემისიასთან შედარებით. ჩანს, რომ ჟანგბადის ბალანსში შემოსავალი ერთი რიგით დაბალია გასავალთან შედარებით, რომელსაც ბუნებრივ გარემოში მკვეთრად უარყოფითი შედეგები მოსდევს. ამიტომ, იგი განიხილება როგორც გადაუდებელი ზოგადსაკაცობრიო პრობლემა, რომლის ლიკვიდაციის გარეშე დატოვება სოციალურად გაუმართლებელი და ეკოლოგიურად სახიფათო ქმედებაა, სასიცოცხლო გარემოს გაუარესებისა და დეგრადაციის მომასწავებელია.

ბიოლოგიურ წრებრუნვებში მონაწილეობენ აგრეთვე კალციუმი, აზოტი, გოგირდი და სხვ. ელემენტები. პირველი მათგანი შედის კირქვების შემადგენლობაში. კირქვიანი ქანების წყალში გახსნის გამო, მდინარეების

მიერ ყოველწლიურად ხმელეთიდან ოკეანეებში  $5 \times 10^8$  ტონა კალციუმი გადაიტანება. თბილი ზღვების ორგანიზმები (მარჯნები) მას ინტენსიურად გარდაქმნიან თავიანთი ჩონჩხის შესაქმნელად. მარჯნების ნარჩენებისაგან კი ზღვის ფსკერზე დანალექი ქანების (კირქვები) დაგროვებას აქვს ადგილი. ზღვის ღონის დანევის, ანუ რეგრესიის, ან კიდევ, ტექტონიკური აზვების შედეგად კირქვები, ხმელეთზე გაშიშვლების გამო, ისევ სუბაერალური გარდაქმნის არეში ხვდება და ბუნებრივი პროცესის მიმოქცევაც გრძელდება.

კალციუმის მიმოქცევაც შეუქცევადი ბუნებრივი პროცესია. ამ წრებრუნვის მიმდინარეობაში, კალციუმი ოკეანიდან ხმელეთსა და, საბოლოოდ, ისევ ოკეანეში ბრუნდება. თუმცა, ხელახლა მიღებული კარბონატების ქიმიური შემადგენლობა ერთნაირი სრულებით არ არის. ასე, პალეოზოური კირქვები მაგნიუმით მდიდარია. ამიტომ, მას თან დოლომიტები ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) ახლავს. უფრო ახალგაზრდა და თანამედროვე კირქვები კი მაგნიუმს ნაკლებად, ან იშვიათად, შეიცავს. შესაბამისად, ასეთი კარბონატები დოლომიტებით საკმაოდ ღარიბია.

აზოტი უფრო მეტად ატმოსფეროშია გავრცელებული ( $4 \times 10^{15}$  ტონა) და შედის ქვანახშირის (1-2,5%), ნავთობის (1,5%-მდე), აგრეთვე ნიადაგებისა (0,1%) და ცოცხალი ორგანიზმების (0,3%) შემადგენლობაში. ატმოსფერული აზოტი მცენარეულობისა და ცხოველების მიერ ნაკლებად ხელმისაწვდომია. ბუნებაში აზოტის ბიოლოგიურ წრებრუნვაში მონაწილეობა ორი გზით მიმდინარეობს: მათ შორის, პირველი - აზოტის ოქსიდების წვიმის წყალში გახსნას უკავშირდება, ხოლო მეორეს - მიკროორგანიზმების ფიქსირებით აქვს ადგილი.

გოგირდის ბიოლოგიურ წრებრუნვებში მონაწილეობა ატმოსფერული ნალექების მეშვეობით მიმდინარეობს, როცა ვულკანური ამოფრქვეული მასალის ისევე ოკეანის წყალში დაბრუნებას აქვს ადგილი. გოგირდი ცოცხალი ორგანიზმების შემადგენლობაშიც შედის. ამიტომ, გოგირდის ნაერთებით გარემოს გაბინძურების აღსაკვეთად მიზანშეწონილია წყალმცენარეებით, სოკოებითა და ბაქტერიებით (მათი ავტოტროფული შეთვისების უნარის გამო) გარემოს თვითგანმენდის მექანიზმის ამუშავება.

ლანდშაფტურ-გეოგრაფიული სისტემის ხანგრძლივი განვითარების ისტორიაში, ბიოგეოქიმიური წრებრუნვების მუდმივმა პროცესმა, უანგვა-აღდგენითი კონტრასტების არეალების წარმოშობა განაპირობეს. სიცოცხლის წარმოშობამდე დედამიწაზე მხოლოდ სუსტი აღდგენითი გარემო იყო გაბატონებული. ამჟამად, დაუანგვითი გარემო ბუნების ე.წ. ზედა ჰორიზონტებზეა (ჭაობები, პლამიანი ნალექები, ქანები, წყლები) მოქცეული, სადაც თავისუფალი უანგბადის დაგროვება მიმდინარეობს. იგივე მოვლენას უფრო ღრმადაც - ანაერობულ სივრცეში აქვს ადგილი. აქ მიმდინარეობს გოგირდწყალბადის, მეთანის, სულფიდებისა და სხ. წარმოქმნა.

ინტენსიური ბიოგეოქიმიური წრებრუნვები მიმდინარეობს ნოტიო ტროპიკების ლანდშაფტებში. აქ, ორგანული ნივთიერება არა მარტო სწრაფად წარმოიქმნება, არამედ ჩქარა იხრწნება კიდევაც. უხვ ატმოსფერულ ნალექებს ნიადაგებიდან სწრაფად გამოაქვთ ადვილადხსნადი ელემენტები (გოგირდი, ქლორი, კალიუმი, ნატრიუმი, კალციუმი). ამავე დროს, გრუნტის წყლებს საკმაოდ ნელა გამოაქვთ რა ნიადაგიდან რკინა და ალუმინი, ამ ელემენტების ოქსიდების წარმოქმნას, დაგროვებასა და, შესაბამისად, წითელმიწებისა და ყვითელმიწების ფორმირებას უწყობენ ხელს.

ტაიგის ლანდშაფტებში, მზის სუსტი ენერჯის შემოსვლის გამო, გამოფიტვა და ნიადაგწარმოშობა ნელა მიმდინარეობს. შედარებით ინტენსიურია ამ ნიადაგების გამოტუტვის პროცესი, რაც კალციუმის, კალიუმისა და ფოსფორის მინერალური შენაერთების დეფიციტის შექმნას განაპირობებს. ქიმიური ელემენტები არა მარტო ბიოგენური გზით, არამედ ჰაერისა და წყლის ნაკადებითაც მოძრაობენ. ამასთანავე, ჰაერის მიგრანტები - წყალბადი, უანგბადი, აზოტი, ნახშირბადი და სხვ. ატმოსფერული ცირკულაციის პირობებში საკმაოდ შესამჩნევ მოძრაობებს განიცდიან. წყლის მიგრანტების (Na, Mg, Al, P, S, Fe) გადაადგილება იონების, მოლეკულებისა და კოლოიდების სახით მიმდინარეობს. ზოგიერთ მათგანს (S, Cl, K, Na, Mg, Ca) მოძრაობის მაღალი უნარი გააჩნია. ამიტომ, მათი დიდი ნაწილი ნიადაგებში იშვიათად რჩებიან, თუმცა, მშრალი ჰაერის პირობებში ეს ელემენტები ნიადაგებსა და გრუნტებში მეტ-ნაკლებად დაგროვებასა და აკუმულაციას განიცდიან.

მსგავსი პირობებია სტეპებშიც, სადაც ტენის უკმარისობა და ამ ელემენტების ნაკლები მოძრაობის უნარი, მათ დაგროვებასა და ნიადაგების მინერალური ნაერთებით გამდიდრებას განაპირობებს. ამ პირობებში, არა მარტო ნიადაგსარი, არამედ მდინარეთა წყლებიც შედარებით მაღალი (500 - 1000 მგ/ლ) მინერალიზაციით ხასიათდება.

როგორც აღვნიშნეთ, ქიმიური ნაერთებისაგან განსხვავებით, მინერალური ნაწილაკების მიგრანტებს ჰაერი, წყლები, მყინვარები და სხვ. წარმოადგენენ. მინის ზედაპირზე გადატანისას, მოძრავ სხეულებს დედამიწის უსწორმასწორო ზედაპირის მოსწორება და მოვლუვება შეუძლიათ. დედამიწის ზედაპირზე მიმდინარე წყლებს მყარი ჩამონადენის დიდი მასა

გადააქვთ, რომლის ყოველწლიური რაოდენობა 14 მლრდ. ტონაა. წყალში გახსნილი ნივთიერებათა სიდიდე კი 2 მლრდ. ტონითაა შეფასებული. ინტენსიური დენუდაციის მიერ, მთიან ქვეყნებში, ძლიერი ზედაპირული გარდაქმნები წარმოებს. მნიშვნელოვანია, აგრეთვე მყინვარული დენუდაცია (ეგზარაცია), რომელიც განსაკუთრებით, ანტარქტიკასა და გრენლანდიაშია გავრცელებული.

კონტინენტებიდან ნივთიერებათა გამოტანასთან ერთად, ხმელეთზე მის შემოსვლასაც აქვს ადგილი. ნივთიერებათა ძირითადი მასა შემოდის მიწის წიაღიდან (ვულკანიზმი), აგრეთვე გამოფიტვის პროდუქტებისა და ზღვიური მარილების დალექვის შედეგად. ხმელეთის მინერალური ნივთიერების ბალანსი (ცხრილი 18. 6) გვიჩვენებს კონტინენტური გადარეცხვის უპირატესობას (7-ჯერ) მასალის დალექვასთან შედარებით. მათ შორის, განსაკუთრებით აქტიურია ეროზიული გადარეცხვა.

დედამიწის ამგებელი ქანების ნელი მოძრაობის მიუხედავად, სახეზეა მათი მიმოცვლის მაღალი ინტენსიურობა. ასე, დედამიწის წიაღიდან ამოფრქვეული ლავის გაცივების შედეგად ვულკანური ქანები, დროთა განმავლობაში, დესტრუქციას განიცდიან. ნგრეული მასალა კი გრავიტაციის ძალით უფრო დაბალი ჰიფსომეტრიული არეალებისაკენ გადაადგილდება. სხვა გარემოში (წყალსატევების ფსკერზე) ისინი დანალექ ქანებად გარდაიქმნება, ხოლო დიაგენეზის წყალობით თანდათანობით გამკვრივებას განიცდის.

ცხრილი 18.6.

ხმელეთის მინერალურ ნივთიერებათა ბალანსი

გასავალი	სიდიდე	შემოსავალი	სიდიდე,
----------	--------	------------	---------

	X10 <sup>12</sup> კგ/წ		X10 <sup>12</sup> კგ/წ
მყარი ჩამონადენი	14,1	გამოფიტვის მასალა	0,1-2,6
იონური ჩამონადენი	1,6-1,7	ვულკანური აკუმულაცია	1,8
მყინვარული ჩამონადენი	2,2-2,3	ბიოგენური აკუმულაცია	1,0
ზღვიური აბრაზია	0,7-1,1	კოსმოსური ნივთიერება	0,02
ეოლური გადატანა	2,0-4,0		
სათბობის წვა	2,6		
ჯამი	23,2-25,7	ჯამი	2,9-4,4

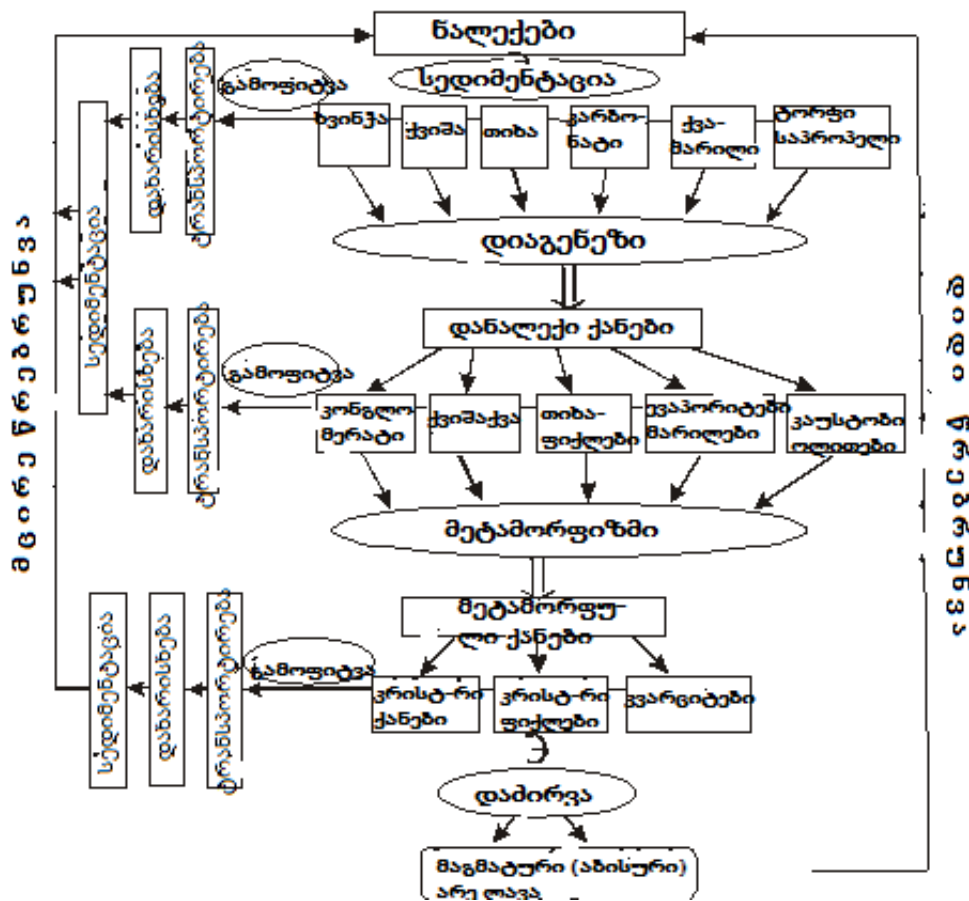
ამ პროცესის ხანგრძლივი და უწყვეტი მიმდინარეობა და სულ უფრო ახალი შრეების დალექვა, მათი დაძირვისა და მაღალი წნევის პირობებში მოხვედრას - საბოლოოდ კი ქანების მეტამორფიზმს განაპირობებს. მაღალი ტემპერატურის არეში კი მეტამორფული ქანების გალღვობა და ახალი ლავების ფორმირება - ვულკანიზმის წყაროდ იქცევა, რომელიც ისევ ბრუნდება დედამიწის ზედაპირზე.

დედამიწის ხანგრძლივი ასაკი მიგვანიშნებს, რომ ქანების მიმოცვლას ზოგჯერ შეუქცევადი ხასიათი გააჩნია. ამას ადასტურებს თუნდაც, მაგმის გაცივებასთან ერთად, აქროლადი ელემენტების უკან მოუბრუნებელი გაბნევა ატმოსფეროსა და ახლო კოსმოსურ სივრცეში.

მინერალურ ნივთიერებათა გადაადგილებას ანთროპოგენური პროცესებიც უწყობენ ხელს. მათ შორისაა მინათმოქმედება, ტყის ჩეხვა, სამთომომპოვებელი საქმიანობა. მათი ჯამური ეფექტი 6-10 მლრდ. ტ/წ-ის ფარგლებში მერყეობს, რაც პლანეტარული დენუდაციის 40%-ზე მეტია. შესაბამისად, ნივთიერებათა მიმოცვლის მიმდინარეობაში, ანთროპოგენური ფაქტორის როლი, ბუნებრივი პროცესების მაჩვენებლებთან შესაბამისობაში მოდის. ამავე დროს, ბუნებაზე ადამიანის ნეგატიური მოქმედებით ადგილი

აქვს ბუნებრივი ფაქტორების მიერ ნივთიერებათა გადატანის პროცესის კიდევ უფრო გააქტიურებას, ხოლო მასალის ინტენსიურ გადაადგილებას - თვით ბუნებრივი ფაქტორები (ზედაპირული წყლები, ქარი, მყინვარები) ასრულებენ.

ნივთიერებების ინტენსიური გადაადგილებები და მასთან დაკავშირებული ცვლილებები მიწის ქერქში მკვეთრ ასახვას პოულობს. ლითოსფეროს ამგებელი ნივთიერება ინტენსიურ მოძრაობასთან ერთად შესამჩნევ ცვლილებებს განიცდის. განასხვავებენ ამ ნივთიერებათა მცირე და დიდ (ნახ. 18. 1) მიმოქცევებს.



## ნახ. 18. 1. ნივთიერებათა მცირე და დიდი მიმოქცევები

მცირე წრებრუნვა ხმელეთის მყარი ნივთიერების (ქანების) დაშლითა და დაქუცმაცებით იწყება, რომელსაც გამოფიტვის (ფიზიკური ანუ მექანიკური, ქიმიური ანუ წყალში გახნა და ბიოლოგიური ანუ ცოცხალი ორგანიზმების მოქმედებით) პროცესები განაპირობებენ. მასიური აღნაგობის ნივთიერებების ტრანსპორტირება შედარებით ადვილად მიმდინარეობს, რასაც მათი მიგრაცია მოსდევს. გრაფიტაციის შესუსტება, ამ მასალის დაგროვებასა (დიაგენეზი) და განსხვავებულ გარემოში მოხვედრას იწვევს. ცხადია, რომ მაღალი წნევისა და ტემპერატურის პირობებში სახეცვლის ანუ მეტამორფიზმის დასადგურებას აქვს დგილი.

მინის გეოტექტონიკური აქტივობის პირობებში, ძლიერი აზეცებისა და ოროგენეტიკული პროცესების შედეგად, ადვილი მოსალოდნელია ამ ქანების ისევ გამოფიტვის არეში მოხვედრა, რაც მათ ხელახალ დაშლა-დაქუცმაცებასა და ხელახალ ციკლში ჩაბმის მომასწავებელია. როგორც აღვნიშნეთ, ლითოსფეროს ნივთიერებათა დიდ წრებრუნვაში მონაწილეობს აგრეთვე მეტამორფული ქანები, თუმცა მათი შემდგომი დაძირვა მაგმატურ არეში მოხვედრასა და ვულკანური ამოფრქვევის ციკლში მონაწილეობას მოიცავს.

ნივთიერებათა დიდი და მცირე წრებრუნვები ერთიან სისტემაშია მოქცეული და ერთმანეთისაგან გამიჯნულნი სრულიადაც არ არიან. მცირე წრებრუნვა დიდი წრებრუნვის ერთი რამდენიმე ქვერგოლიდან (გამოფიტვა და მასალის ტრანსპორტირება) იწყება და დახარისხების მეორე რგოლის გავლით ანუ სედიმენტაციით მთვარდება. ამასთან, გამოფიტვის მასალის

მცირე წრებრუნაში შემოსვლა დიდი წრებრუნვის სამი რგოლიდან (ნგრეული მასალა, დანალექი და მეტამორფული ქანები) ხორციელდება.

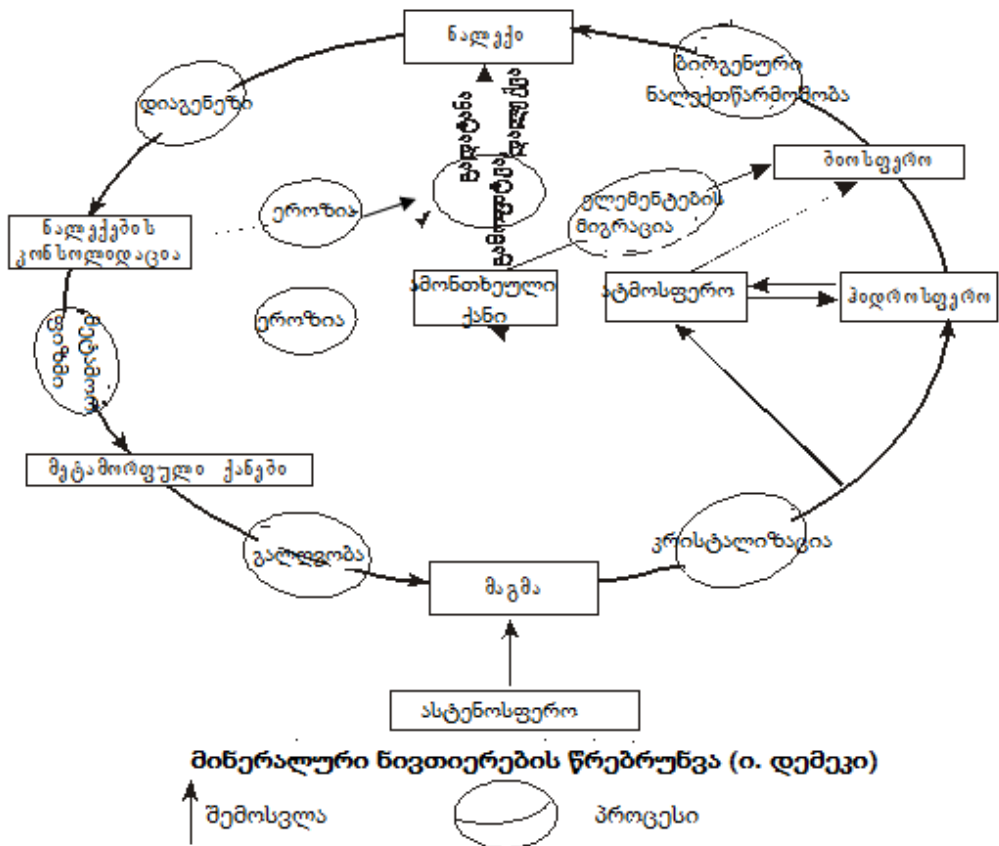
ორივე წრებრუნვის ფარგლებში ნივთიერების მოძრაობის გზა საკმაოდ მარტივია: მთიანეთების დაშლის შედეგად მიღებული ნგრეული მასალა, ხანგრძლივი დაქუცმაცების შემდეგ, ხვდება ოკეანის ფსკერზე, იძირება, მაღალი წნევისა და ტემპერატურის პირობებში მეტამორფიზმსა და, საბოლოოდ, ლღვობას (დნობას) განიცდის, ვულკანური პროცესებით კი მიწის ზედაპირზე ამოინთხევა და ხმელეთურ (სუბაერალურ) პირობებში მოექცევა. აქ მისგან შეიქმნება მთიანეთები, რომლებიც ხელახალ დაშლა-დაქუცმაცებას განიცდის. ცხადია, რომ ხანგრძლივი პროცესი ისევ თავიდან იწყება.

დედამიწის ნივთიერებათა წრებრუნვები სტრუქტურული ნიშნებით ხასიათდება, რომლებიც ბუნებრივი გარემოს შემადგენელი ნაერთების სახესხვაობის გამო, მიმოქცევის არაერთგვაროვნებას ამჟღავნებენ. ბუნებაში ნივთიერებათა წრებრუნვების მრავალი სქემების გარჩევის შედეგად ცხადი ხდება, რომ მათი მიმოქცევები თავიანთი ციკლების არაერთგვაროვანი ხანგრძლივობით გამოირჩევა. იგი მოიცავს დროის იმ მონაკვეთს, რომელიც საჭიროა ამა თუ იმ ნივთიერების ერთჯერადი და სრული წრებრუნვის მისაღწევად.

მიმოქცევათა ცალკეული ციკლების ხანგრძლივობის ცოდნას დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა გააჩნია, რადგან მოძრავი და მცირე დროში განახლებული ნივთიერებები უფრო სწრაფად გარდაიქმნებიან, ხოლო ნეგატიური გზით მათი წარმართვის შემთხვევაში - უფრო სწრაფი და მეტი ზიანის მოტანა შეუძლიათ. ამიტომ, ასეთი მიმოქცევების პირობებში, ისინი

ადამიანებისაგან ფაქიზ მოპყრობას, დიდ ყურადღებასა და საზოგადოების გონივრულ ჩარევას მოითხოვენ.

ამრიგად აღმოჩნდა, რომ გეოგრაფიული გარსის დინამიურობის ერთ-ერთი საფუძვლიანი გამოხატულება - ნივთიერებათა განუწყვეტელი მიმოცვლა, დაკავშირებულია რა დედამიწის ფიზიკურ თვისებებთან, წრებრუნვის (მიმოქცევების) ხასიათის მატარებელია, რომლის მუდმივი შეუქცევადობა განსაზღვრავს ბუნებრივი გარემოს, მისი ცალკეული სისტემების ან ობიექტების, პლანეტარული მასშტაბების კომპლექსებისა და ლანდშაფტურ-გეოგრაფიული სისტემის ცვლილების წარმართვის ზოგად ნიშნებს, მისი მიმართულების (ნახ. 18. 2) ხასიათს, რის შედეგადაც ადგილი აქვს, ერთი მხრივ სისტემის კომპლექსურ განვითარებასა და, მეორე - უფრო რთული სტრუქტურის ჩამოყალიბებას.



ნახ. 18.2. მინერალური ნივთიერების წრებრუნვა (ი. დემეკვი)

აღწერილი სქემა საკმაოდ ხანგრძლივი დროის განმავლობაში მიმდინარეობს და გეომორფოლოგიური თუ გეოლოგიური ციკლების პერიოდში მიმდინარეობს. ერთი შეხედვით, მისი გარეგნულად მარტივი იერსახე, სინამდვილეში ურთულესი გეოლოგიურ-ტექტონიკური და გეომორფოლოგიური პროცესების ერთობლიობისაგან შედგება, ხანგრძლივი დროითი და პლანეტარული სივრცობრივი მასშტაბები გააჩნია და ენერგომასების კოლოსალური მიმოქცევებით ხასიათდება. ამიტომ, ამ

პროცესების კვლევაში აღნიშნულთან ერთად, თავს იყრის ფიზიკურ-ქიმიური, გეოფიზიკური, ბიოლოგიური და მრავალი საბუნებისმეტყველო თუ ზუსტი მეცნიერებათა დარგები.

ამ რთული სისტემის მარტივი აღქმის მიზნით (ნახ. 18. 3) მკითხველს ვთავაზობთ ბუნებრივი გარემოს სხვადასხვა ქვესისტემების წრებრუნვათა ცალკეულ რგოლებში მიმდინარე პროცესების სტრუქტურული ნიშნების პრინციპული სქემების ერთობლიობას.

სქემა ოთხი მონაკვეთისაგან შედგება. ჩვენ თითოეულ მათგანს ერთიანი და მთლიანი სხეულის - ლანდშაფტურ-გეოგრაფიული სისტემის ქვესისტემები ვუწოდეთ. მათ შორის, პირველი (ზედა მარცხენა) ბლოკი A – გეოლოგიური ციკლის ქვესისტემა ერთმანეთთან დაკავშირებული მეორე რიგის რამდენიმე ქვესისტემებისაგან შედგება. გეოლოგიური ქვესისტემა მხოლოდ მიწის ქერქსა და ასტენოსფეროში მიმდინარე პროცესებით როდი შემოიფარგლება. ის იწყება ატმოსფერული ნახშირბადითა და, გაივლის რა ვულკანური წარმონაქმნების ფაზური გარდაქმნების ცალკეულ ქვებლოკებს, ისევ ატმოსფეროში მთავრდება.

აღნიშნულის დადასტურების მიზნით, მოტანილ სქემაზე ნაჩვენებია ატმოსფერული ნახშირბადის მონაწილეობა როგორც ამოფრქვეული, ისე დანალექი (კარბონატული) ქანების გამოფიტვასა და დაქუცმაცებაში ანუ ნგრეული მასალის წარმოქმნაში. ამ პროცესის წარმართვაში ნახშირბადის დიოქსიდის როლი ძალზე დიდია, განსაკუთრებით კი, ქიმიური გამოფიტვის წარმართვაში. ამ უკანასკნელის შემთხვევაში, უმთავრესად კარბონატული ქანების ნგრევა ან მათი ქიმიური დაშლა და ნივთიერი შედგენილობის შესამჩნევი შეცვლა მიმდინარეობს.

ორივე შემთხვევაში, ნგრეული ან წყალში გახსნილი მასალის გამოტანასა და დანალექი ქანების ფორმირებას აქვს ადგილი. ამავე დროს, გამოფიტვის სახისა და ნგრეული მასალის თავისებურებების მიხედვით, ფიზიკურ-მექანიკური გამოფიტვის დომინირების შემთხვევაში ძირითადად ლოდების, ლორღის, ქვიშისა და სხვ. მასალით აგებული გამოფიტვის ქერქის წარმოქმნა მიმდინარეობს. ქიმიურად გარდაქმნილი ნგრეული მასალის

დალექვა და დაგროვება მონტმორილონიტის, კაოლინის, განსაკუთრებით კი, წითელმიწებისა და ლატერიტების ქერქის ფორმირებას იწვევს.

გეოლოგიური ქვესისტემის ფარგლებში ნივთიერებათა წრებრუნვის შემდგომ ეტაპზე დანალექი ქანები, განსხვავებულ პირობებში (მაღალი ტემპერატურა, გაზრდილი წნევა) მოქცევისას, ხანგრძლივი დროის მანძილზე, პირველადი სახის შეცვლასა (მეტამორფიზმი) და მეტამორფული ქანების წარმოშობას განაპირობებენ. ეს უკანასკნელი თანდათანობით გალღვობას განიცხადებს, მაგმის წყაროდ იქცევა და, ვულკანური პროცესების აქტივობის პირობებში, დედამიწის ზედაპირზე ლავის ამონთხევასთან ერთად, ატმოსფერულ ჰაერში ნახშირბადის დიოქსიდის შემოფრქვევას განაპირობებს. როგორც აღმოჩნდა, ატმოსფეროს ნახშირორჟანგმა ხანგრძლივი და დიდი გზა გაიარა და ისევ თავის პირვანდელ „სახლში“ დაუბრუნდა.

განსახილველი სქემის B ბლოკი ბიოლოგიური ქვესისტემაში ატმოსფერული ნახშირბადის დიოქსიდის ( $CO_2$ ) მიმოქცევას ასახავს. ჰაერის ნახშირბადი ფოტოსინთეზის წარმოქმნის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი კომპონენტია. მისი მონაწილეობით ბუნებაში მცენარეული საფარის ანუ საკვები პროდუქციის (პროდუცენტები) ზრდასა და განვითარებას აქვს ადგილი. მცენარეული პროდუქცია ცხოველთა (კონსუმენტები) მიერ მოიხმარება, რასაც მათი ზრდა-განვითარება მოსდევს. ამავე დროს, როგორც პროდუცენტების, ისე კონსუმენტების ნაწილი მკვდარ მასაში გადადის და ორგანული ნივთიერების მიღებას უწყობს ხელს.

ცხადია, რომ მკვდარი ორგანული ნივთიერება პლანეტის უზარმაზარი „ტვირთია“, რომლის მარტივ შემადგენელ ნაწილებად დაშლის გარეშე დარჩენა ბიოსფეროში საკამოდ დიდ სიძნელეს შექმნიდა. დედამიწაზე ამ

მეტად საჭირო ფუნქციას რედუცენტები (ბაქტერიები, სოკოები) ასრულებენ. სწორედ, ისინი ახდენენ მკვდარი ორგანული ნივთიერების დაშლას, რის შედეგად ბუნებაში ძირითადად წყლისა და ნახშირბადის დიოქსიდის ფორმირებას აქვს ადგილი.

ამდენად, სქემის ამ ბლოკშიც ნახშირბადის ოქსიდის სრული მიმოქცევა მიმდინარეობს, რომლის გზა ატმოსფერულ ჰაერში იწყება და ცოცხალი თუ არაცოცხალი ორგანიზმების გავლით - ისევ ატმოსფერულ ჰაერში მთავრდება.

მსგავსი პროცესის მიმდინარეობა ფიქსირდება C ბლოკშიც, სადაც ნახშირბადის დიოქსიდის მიმოქცევა ასახულია. როგორც ჩანს, ეს აირი არა მარტო ფოტოსინთეზის მსვლელობაში (ბლოკი B) მონაწილეობს, არამედ მისი ათვისება და როტაციული გადასვლები ცოცხალი ორგანიზმების მიერ მიმდინარეობს. ამ მხრივ, განსაკუთრებით, აღსანიშნავია ატმოსფერული ნახშირორჟანგის ცოცხალი ორგანიზმების ჩონჩხში გადასვლა, სადაც ეს ნივთიერება შედარებით მცირე დროის განმავლობაში „განამარხება“ განიცდის.

ცოცხალი ორგანიზმების უცილობელი კვდომის ფაზაში, მათი „მინერალიზაციის“ შედეგად, მკვდარი ორგანული ნარჩენების შემადგენლობაში გადადის და საბოლოოდ, განამარხების პროცესში - სედიმენტაციის გზით, განსხვავებულ გარემო პირობებში - ქვანახშირისა და ნავთობის შემადგენლობაში ხვდება. ცხადია, რომ ამ ფაზაში (გეოლოგიური დრო) ყოფნას მილიონობით წლების განმავლობაში აქვს ადგილი.

თუმცა, ნახშირბადსა და სხვა ნაერთებს ამ პირობებში სტაგნაცია და მუდმივი დასადგურება არ უწერია. ბოლოს და ბოლოს ისინი ბუნებრივი ან

კიდევ ხელოვნური გზით დაშლას (გამოფიტვა, ლპობა, წვა და სხვ) განიცდის, რაც მათგან ნახშირბადის გამოყოფასა და ისევ ჰაერში გადასვლას მოასწავებს.

ამ ბლოკში მიმდინარე გარდაქმნები ძალზე ნელი პროცესია. ის ხანგრძლივი დროის განმავლობაში „უძრავად“ დგას და, შესაბამისად, ამ ნივთიერების მიმოქცევიდან ამოვარდნაც სახეზეა. ამის მიუხედავად, წრებრუნვის პროცესის „მენელებული“ სქემა მიმოქცევის მექანიზმის მსვლელობას მაინც აშკარად ადასტურებს, რომელიც თავისი ბუნებრივი - როტაციული შინაარსის საფუძველზე მიმდინარეობს და საერთო სისტემის ფუნქციონირებაში მონაწილეობს.

ბუნებრივი მიმოქცევის საინტერესო სურათს ვხედავთ ნივთიერებათა წრებრუნვის ლითოსფერულ (სქემის ქვედა მარჯვენა ბლოკი) ნაწილში, სადაც ნივთიერებათა მოძრაობა და, ფაზური გადასვლები რელიეფის გეომორფოლოგიური პროცესების მსვლელობას უკავშირდება. ბლოკის მარჯვენა კიდებზე ხმელეთის ან ოკეანის ფსკერის ზედაპირზე მიმდინარე ეროზიის პროდუქციის ხანგრძლივი აკუმულაცია, ნიშნულების დაწვევისა და დაძირვის ტენდენციის პირობებში, მასალის მეტამორფიზმის ხელშემწყობი ფაქტორის როლს ასრულებს.

სახეცვლილი ქანები დაძირვას კიდევ აგრძელებენ და, მიწის წიაღის ღრმა ფენებში, მაღალი ტემპერატურის გამო, გალღვობას განიცდის. ეს უკანასკნელი მაღალი წნევის გამო, ვულკანური პროცესების აქტიურ მსვლელობაში ებმება, ლავა ზედაპირზე ამოაქვს და ხელს უწყობს მთების ფორმირებას. ბლოკის მარცხენა კიდებზე ჩანს ხმელეთის ეროზირების შედეგად ნალექთადაგროვების პროცესის მსვლელობა, დანალექი ქანების

ფორმირება და მათი მეტამორფულ ქანებში, საბოლოოდ კი მაგმურ სხეულში გადასვლა. მაგმის ამონთხევა მიწის ზედაპირზე მთიანეთების ფორმირებასა და ისევ ეროზიის გააქტიურებას იწვევს.



ამგვარად, ბუნებრივი გარემოს ამგებელი ნივთიერებების სისტემური მიმოქცევები წრიული ხასიათის გამოდგა, რომელთა შემადგენელი ფიზიკურ-ქიმიური კომპონენტების განუწყვეტელი წრებრუნვების ხანგრძლივი პროცესის მიმდინარეობაში, შთამბეჭდავი ცვლილებების პარალელურად, აშკარად ჩანს სისტემის შიდა სტრუქტურული მდგრადობა, პროცესის განვითარების მუდმივი ტენდენციის მიმართულების - ტრენდის შენარჩუნება და მისი მაჩვენებლის დისკრეტული ხასიათი, რომლის შედეგად სახეზეა სისტემის ისეთი განვითარება, როცა მიღწეულია მისი ფუნქციონალურ-სტრუქტურული გართულების (მარტივიდან რთულისაკენ გადასვლის მუდმივობა), მდგრადი დინამიზმისა და მტკიცე შიდა ორგანული კავშირების არსებობა.

## § 19. მიმოქცევის საფუძვლები და შედეგები

ლანდშაფტურ-გეოგრაფიული სისტემის მნიშვნელოვანი და მთავარი დამახასიათებელი თვისება ენერგო-მასების განუწყვეტელი მიმოცვლის მიმდინარეობაა. მისი საფუძველი კი ბუნებაში მიმდინარე ქიმიური ელემენტების მიგრაცია და მუდმივი სივრცეებრივი გადანაწილებაა, რომლის გამომწვევი მიზეზი ნივთიერებათა (მასების) მოძრაობის უნარით აიხსნება.

მიგრაციის ხარისხს განსაზღვრავენ  $K$  კოეფიციენტი. ამასთან, არჩევენ ჰაერის, წყლისა და ბიოგენურ მიგრანტებს. მიგრაციის მაღალი უნარით ხასიათდება ის ქიმიური ელემენტები, რომლებსაც ადვილად შეუძლიათ სხვადასხვა რეაქციებში შესვლა. ამ მხრივ, განსაკუთრებით აქტიურ ელემენტებს მიეკუთვნება წყალბადი, უანგბადი, ნახშირბადი, აზოტი.

წყლის მიგრანტებიდან აღსანიშნავია გოგირდი, ქლორი, ბორი, ბრომი. ისინი ადვილად ხსნად მარილებს წარმოშობენ, ხოლო წყლის აორთქლებისას ასევე ადვილად გამოკრისტალდებიან სხვადასხვა მარილების - თაბაშირის, მირაბილიტისა და სხვ. სახით. შედარებით ნაკლები მიგრაცია ახასიათებთ კალიუმს, ნატრიუმს, სტრონციუმს, რადიუმს, ფტორს. მათი გამოკრისტალება კალციტისა და თაბაშირის მარილებს იძლევა. სუსტად მოძრავი ელემენტებია ბარიუმი, რუბიდიუმი, ბერილიუმი, სილიციუმი, ფოსფორი.

ელემენტების მიგრაციის ხარისხი მხოლოდ წყალში ხსნადობით როდი განისაზღვრება. მიგრაციის უნარს ასუსტებს აგრეთვე, მათი შთანთქმა ორგანიზმების მიერ (ბიოლოგიური აკუმულაცია), ან კიდევ კოლოიდების გავლენა, ადსორბციისა და დალექვის შემთხვევები. მიგრაციის უნარს

აძლიერებს ორგანული ნაერთების მინერალიზაციის, გახსნისა და დესორბციის პროცესები.

მიმოქცევების სრული შეუკვრელობა, რომლის მრავალი ფაქტი უკვე მოტანილი გვაქვს, რამდენადმე დისკრეტული (შეუკვრელი, წყვეტილი) მდგომარეობის ფორმირების წინაპირობას წარმოადგენს. წრებრუნვების დისკრეტულობა ბუნებრივი მოვლენების მიმართული შეცვლისა და გარდაქმნის, ანუ განვითარების ვექტორის წარმოშობას განაპირობებს.

განვითარების ვექტორის (ტრენდის, მიმართულების) არსებობა არა მარტო ბუნებრივი პროცესის მსვლელობის ხასიათს განსაზღვრავს, არამედ მისი პარამეტრების წლიდან წლამდე ცვლილების რაოდენობრივ მაჩვენებლებსაც განაპირობებს, რომელიც საბოლოო ჯამში გეოგრაფიული ობიექტების თვისებრივი გარდაქმნების ვიზუალურ ასახვას მოასწავებს. განვითარების ვექტორი, გეოგრაფიული (ბუნებრივი გარემოს) ობიექტების გარდაქმნის ის მიმართულებაა, რომელიც განსაზღვრავს ამ ობიექტების განვითარების ტენდენციას, მისი რაიმე მიმართულებით გარდასახვის მიდრეკილებას.

ბუნებრივი გარემოს ობიექტების განვითარების ტენდენციის თვალსაჩინო მაგალითების მოტანა ძნელი არაა. ასე, მაგალითად, ახალგაზრდა მთიანი სისტემა ძლიერი დანაოჭებითა და ტექტონიკური აღმავალი მოძრაობით, აგრეთვე ვულკანიზმითა და სეისმური მოვლენებით ხასიათდება. ამის გამო, ყოველწლიურად და განუწყვეტლივ მატულობს მისი ნიშნულების ვერტიკალური მაჩვენებლები. ასეთი მთიანეთის შესახებ იტყვიან - აზვეების ტენდენცია გააჩნიაო. წინააღმდეგ შემთხვევაში კი - ზედაპირის

დაძირვის ტენდენციაა გამეფებული. არც ერთი მათგანის გარეშე მდგომარეობას - წონასწორობის ტენდენციის შესახებ საუბრობენ. ასეა ჩამოყალიბებული ცნებები: გადარეცხვის, გაუდაბნოების, დათბობის, წარეცხვის, გამყინვარებისა და სხვ. ტენდენციები.

გეოგრაფიული ობიექტების განვითარების ტენდენციის გარკვევას უდიდესი თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობები გააჩნია. სწორედ, განვითარების ტენდენციის დადგენა, ბუნების ობიექტების სასურველი მიმართულებით ხელოვნურად რეგულირების მექანიზმების ჩართვის საშუალებას იძლევა.

განვითარების ტენდენციის პლანეტარული მასშტაბის ზოგიერთ გზას თეორიული მნიშვნელობაც გააჩნია, მათ შორისაა რიგი თეორიული პრობლემის ამოხსნის წარმატებული ცდა: დედამიწის ნივთიერებათა დიფერენციაციისა და რადიოგენური დაშლით მიღებული სითბოს მიერ წიაღის გახურებისა და მანტიის წარმოქმნის, ასევე ვულკანიზმისა და მთათაწარმომშობი ოროგენეტიკული პროცესების მსვლელობის დაკავშირება დედამიწის პირველადი რელიეფის ფორმირებასთან.

ამავე დროს, მანტიის ნივთიერების მიმოცვლის, როგორც ბუნებრივი გარემოს ფუნქციონირების განმსაზღვრელი ფაქტორის აქტიური მონაწილეობით მიმდინარეობს დედამიწის ზედაპირის CO<sub>2</sub>-ით გამდიდრება. განსაკუთრებით მაღალია CO<sub>2</sub>-ის ჰაერში შემოსვლა ვულკანიზმის აქტიურობის პერიოდში. თუკი დედამიწაზე ბაქნური რეჟიმი დამყარდება და ვულკანური ამოფრქვევები შეწყდება, ცხადია CO<sub>2</sub>-ის კონცენტრაციაც შემცირდება და ბოლოს შეწყდება კიდევაც, რაც რამდენიმე ათეული და

ასეული მილიონი წლის შემდეგ - დედამინაზე სიცოცხლის დასრულებას გამოიწვევს.

ამდენად, მუდმივად მშფოთვარე და დაუცხრომელი დედამინა, თავისი განუწყვეტელი მოძრაობითა და გარდაქმნებით, გეოგრაფიული გარსის არა მარტო რთული სტრუქტურის ჩამოყალიბებას უწყობს ხელს, არამედ თვით სიცოცხლის შესაძლებლობასაც განსაზღვრავს. მსგავსი, სასიცოცხლოდ აუცილებელი პროცესი წარმართება მანამ, სანამ პლანეტის აქტიურობა და ენერგომასების მიმოცვლა არ შეწყდება დედამინის წიაღსა და მის ზედაპირს შორის.

ბუნებრივი გარემოს ნივთიერებათა მიმოქცევები, თავისი სისტემური ხასიათის გამო, ფუნქციონირების ნიშნების მატარებელია. მიმოქცევების მიმდინარეობისას, სისტემის ყოველ შემადგენელ ნაწილს - თავისი დანიშნულება გააჩნია. ამდენად, სისტემის შიგნით, კომპონენტებს შორის მიღწეულია „შრომის ფუნქციონალური დანაწილება“. კერძოდ: უანგბადს აერობული ორგანიზმები მოიხმარებენ, ხოლო ამ ელემენტის „წარმოება“ მხოლოდ მწვანე მცენარეულობის ხვედრია; ბიოგეოცენოზის სისტემაში პროდუცენტებს ნივთიერებები მინერალურიდან ორგანულში გადაჰყავთ, კონსუმენტები - მათ მოიხმარებენ, ხოლო რედუცენტები - შლიან ორგანულ წარმონაქმნებს და ქმნიან მინერალურ ნაერთებს. მსგავსი მაგალითები ბუნებრივ სისტემაში უთვალავია.

მიმოქცევები განსხვავდებიან, აგრეთვე, მათი მიმდინარეობის სირთულის მიხედვით. ამ მხრივ, განარჩევენ წრებრუნვების შემდეგ სახეებს: წრიული და მექანიკური მოძრაობის (ჰაერისა და ზღვის დინებების,

აგრეგატული მდგომარეობის შეცვლა (წყლების ფაზური მიმოქცევა), ნივთიერების ქიმიური ტრანსფორმაცია და ბიოლოგიური მიმოქცევა და მრავალი სხვ.

ამგვარად, ვამთავრებთ რა ბუნებრივი გარემოს ტრანსფორმაციის ძირითადი თავისებურებების განხილვას შეიძლება დავასკვნათ, რომ ბუნებრივი სისტემა წარმოადგენს აღნიშნული წრებრუნვების ცენტრალურ კვანძს, რომელშიც კოსმოსური და დედამიწის წიაღისეული ენერგომასების ნაკადები არა მარტო რაიმე ჩაკეტილ წრეზე მიმოიცვლებიან (მოძრაობენ), არამედ მიმდინარეობს მათი იერ-სახის საფუძვლიანი გარდაქმნები. ასე, რომ მოძრაობათა მიმოქცევითი ფორმის არსებობა მათ განუწყვეტლობას (უწყვეტობას) განსაზღვრავს. როგორც ჩანს, წრებრუნვის რაიმე ციკლი ნივთიერებათა მოძრაობის ელემენტარული ერთეულია, თუმცა მათ სრულ გამეორებას კი არა აქვს ადგილი, არამედ ყოველი ახალი ციკლის დაწყება - ძველისაგან განსხვავებულ დონეზე მიმდინარეობს, მისი სხვა ფორმისა და შინაარსის ჩამოყალიბებას აქვს ადგილი. აქედან გამომდინარე, ენერგეტიკული და ნივთიერი ნაკადები შემადგენლობის (სტრუქტურის) მუდმივ და მიმართულ ცვლილებებს განიცდიან, რომლებიც გეოსფეროების (საბოლოოდ, ლანდშაფტურ-გეოგრაფიული სისტემის) ღრმადსაფუძვლიან გარდაქმნას მოასწავებს.

ამავე დროს, შეიძლება დავასკვნათ, რომ ბუნებაში ენერგომასების მოძრაობათა (წრებრუნვათა) საბოლოო ფაზების სივრცეებრივი წყვეტით ანუ დისკრეტულობითა და მათი მოძრაობის ტრაექტორიის სივრცე-დროითი ცვლილებების მასშტაბების სხვადასხვაობა იწვევს მიმოქცევების (ან

ცალკეული ნაკადების) დამოუკიდებელი (ავტოქრონული) სისტემების - ციკლების ფორმირებას.

ამავე დროს აშკარაა, რომ ბუნების ობიექტების განვითარების ტენდენცია არა მარტო მათი დიაგნოსტიკურ-პროგნოსტიკული მოდელის შემუშავების, არამედ ხელოვნურად გარდაქმნილი გარემოს ობიექტების სასურველი მიმართულებით მართვის შესაძლებლობას განსაზღვრავს.

#### ლიტერატურა - Литература

1. ალფენიძე მ., ლომთათიძე ზ. შავი ზღვა: აბიოტური და ბიოტური პროცესების დინამიკა. აბიოტური პროცესები. ნაწილი პირველი. (მეორე შესწორებული და გადამუშავებული გამოცემა). თბილისი. 2016. – 512 გვ. <https://drive.google.com/file/d/0B2VAaKxYsWISRUR0bE9FdnQtazQ/view?pref=2&pli=1>
2. ალფენიძე მ. ფიზიკური გეოგრაფიის თეორიული საფუძვლები. თავი პირველი. თბილისი, 2013. – 71 გვ. <https://drive.google.com/file/d/0B2VAaKxYsWISRWNxdjZZSUVoQIE/view?pref=2&pli=1>
3. ალფენიძე მ. გარემოს პრობლემების ტერმინოლოგიური ცნობარი-ლექსიკონი. (პროცესები, ცნებები, განსაზღვრებები). თბ., 2011. – 126 გვ. <https://drive.google.com/file/d/0B2VAaKxYsWISRTJERy1QVnZrQTg/view?pref=2&pli=1>
4. ალფენიძე მ, ელიზბარაშვილი ე, ხარაძე კ. ზოგადი ფიზიკური გეოგრაფია. თსუ, თბ., 2003. – 448 გვ.
5. გამოჩენილი მოგზაურები და ბუნების მკვლევარები. თბ., 1989.
6. გეხტმანი გ. ნარკვევები გეოგრაფიის ისტორიიდან. თბ., 1955.

7. გონგაძე მ., მზარელუა ლ. გეოგრაფიის შესავალი. თბ., 2012. – 148 გვ.  
<https://drive.google.com/file/d/0B2VAaKxYsWISS0RMY0xxT2tCVjg/view?pref=2&pli=1>
8. კალესნიკი ს. დედამინის ზოგადი გეოგრაფიული კანონზომიერებები. თბ., 1972.
9. Анучин В. А. Теоретические проблемы географии. М., 1960.
10. Берлянт А. М. Геоиконика. М., 1996.
11. Беручашвили Н. Геофизика ландшафта. М., 1990.
12. Бондаренко А.Л. Эль-Ниньо - Ла-Нинья: механизмы формирования. Природа, №5, 2006, 39-47 с.
13. Бунге В. Теоретическая география. М., 1967.
14. Геренчук К. И., Боков В. А., Черванев И. Г. Общее землеведение. М., 1984.
15. Геттнер А. География, ее история сущность и методы. Л.-М., 1930.
16. Геоинформационное картографирование //Отв. ред. А. М. Берлянт. М., 1993.
17. Голубчик М. и др., Теория и методология географической науки. М., ВЛАДОС, 2005.
18. Григоров Г. И. Причинность и связи в географии (методологический аспект). Киев, 1983.
19. Ермолаев М. М. Введение в физическую географию. Л-д, 1975.
20. История открытий - Энциклопедия I. М., 1998.
21. Калесник С. В. Основы общего землеведения. М., 1955.
22. Калесник С.В. Краткий курс общего землеведения.
23. Кошкарёв А. В., Тикунов В. С. Геоинформатика. М., 1993.
24. Краткая географическая энциклопедия. т. I-V. М., 1960-1966.
25. Марков К. К. и др. Введение в физическую географию. М., 1973.
26. Машбиц Я. Г. Комплексное страноведение. М.-Смоленск, 1998.
27. Мильков Ф. Физическая география. Учение о ландшафте и географическая зональность. Воронеж, 1986.
28. Мильков Ф. Общее землеведение. М., 1990

29. Николаев В.А. О возрасте ландшафтов / В.А. Николаев // Вестн. МГУ. - 1976. -№ 1.

30. Саушкин Ю. Г. История и методология географической науки: Курс лекций. М., 1976.

31. Сывороткин В. Л. Природный феномен Эль-Ниньо. <http://kocmi.ru/prirodnij-fenomen-el-nino.html>

32. Трофимов А. М., Панасюк М. В. Геоинформационные системы и проблемы управления окружающей средой. Казань, 1984.

33. Трофимов А. М. Вопросы методологии современной географии: Учеб. пособие. - Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1986. - 83 с.

34. Федоров Е. К. Взаимодействия общества и природы. Л-д, 1972.

35. Шубаев Л. П. Общее землеведение. М., 1977. – 438 с.

36. Хунджуа Г.Г. Феномен Эль-Ниньо. <http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1158162&uri=index.html>

37. Эль-Ниньо. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Эль-Ниньо>