**დედამიწა**

**სარჩევი**

სარჩევი

თავი 1. მოგზაურობა დედამიწის ცენტრისკენ .......................................................................... 3

თავი 2. ფილების ტექტონიკა .......................................................................... 9

თავი 3. მინერალები ..........................................................................13

თავი 4. ვულკანური აქტივობა ..........................................................................17

თავი 5. დანალექი ქანები .......................................................................... 22

თავი 6. გამოფიტვა და ნიადაგები .......................................................................... 30

თავი 7. მეტამორფული ქანები .......................................................................... 37

თავი 8. ვულკანები .......................................................................... 45

თავი 9. მიწისძვრები .......................................................................... 51

თავი 10. ქერქის დეფორმაცია და მთათა წარმოქმნა ................................................................ 57

თავი 11. დედამიწის ისტორია .......................................................................... 63

თავი 12. ენერგორესურსები .......................................................................... 73

თავი 13. ნაკადები და წყალმოვარდნები .......................................................................... 91

თავი 14. ოკეანეები და სანაპიროები .......................................................................... 98

თავი 15. მიწისქვეშა წყლები .......................................................................... 105

თავი 16. უდაბნოები .......................................................................... 119

თავი 17. მყინვარები .......................................................................... 126

**თავი 1**

**მოგზაურობა დედამიწის ცენტრისკენ**

***დედამიწის სისტემა***

დედამიწის გარშემო ორბიტაზე მოგზაურობისას გამოირჩევა რამოდენიმე გამოკვეთილი კომპონენტი: ატმოსფერო, ჰიდროსფერო, კრიოსფერო, ბიოსფერო და მყარი დედამიწა. თითოეული ეს კომპონენტი ურთიერთქმედებს ერთმენეთთან რიგი საშუალებებით. გეოლოგები ამ კომპონენტებს და მათ შორის კომპლექსურ ურთიერთკავშირს უწოდებენ დედამიწის სისტემას. მზის სისტემის ყველა პლანეტიდან დღეისთვის მხოლოდ დედამიწაზეა სიცოცხლე და თხევადი წყალი. დედამიწა მდებარეობს საცხოვრებლად გამოსადეგ ზონაში მზიდან დაშორებით იმ მანძილზე, რომ შესაძლებელია არსებობდეს თხევადი წყალი.

მოკლედ, დედამიწის სისტემა არის დინამიკური ადგილი. მისი ზედაპირი და მასზე არსებული ობიექტები მოძრაობენ, მისი ატმოსფერი და ოკეანეები მიმოიქცევა და ზედაპირიდან ნივთრებები იძირება დედამიწის გულში. ყველა ამ ქმედების გამომწვევი ძალები წარმოიქმნება დედამიწის გულიდან, გრავიტაციისგან და მზის სითბოსა და სინათლიდან.

***ხმელეთი და ოკეანეები***

დედამიწაზე ხმელეთი (კონტინენტები და კუნძულები) იკავებს ზედაპირის დაახლოებით 30%. დედამიწის ზედაპირი ზოგიერთ ადგილას შეიცავს ფუძე ქანებს, ზოგიერთი ადგილი დაფარულია ნალექებით. ზედაპირული წყლები ფარავს დედამიწის დანარჩენ 70%–ს. ზედაპირული წყლების უმეტესი ნაწილი მარილიანია და ავსებს ოკეანეებს, ხოლო გარკვეული ნაწილი კი წარმოდგენილია ტბებისა და მდინარეების სახით.

***ქანების კატეგორიები***

დედამიწა ძირითადად შეიცავს ვარსკვლავებში სინთეზის რეაქციის და ზეახალის აფეთქების შედეგად წარმოქმნილ ელემენტებს. მხოლოდ ოთხი ელემენტი (რკინა, ჟანგბადი, სილიკონი და მაგნიუმი) შეადგენს დედამიწის მასის 91,2%–ს; დანარჩენი 8,8% შედგება დარჩენილი ელემენტებისგან.

* *ორგანული ნივთიერებები.* ნახშირბადის შემცველი ნაერთები, რომლებიც წარმოდგენილია ცოცხალ ორგანიზმებში ან გააჩნიათ ცოცხალ ორგანიზმებში არსებული ნაერთების მსგავსი მახასიათებლები.
* *მინერალები.* მყარ, ბუნებრივ ნივთიერებას, სადაც ატომები განლაგებულია განსაზღვრული სტრუქტურით ეწოდება მინერალი. მინერალის ცალკეულ ნაწილს, რომელიც იზრდება მისის არსებული ფორმით ეწოდება კრისტალი, ხოლო არათანაბარი ფორმის მქონე ნიმუშს ან ოდესღაც უფრო დიდი კრისტალისდან ან კრისტალების ჯგუფისგან მიღებულ ფრაგმენტს ეწოდება მარცვალი.
* *მინა.* მყარი ნივთიერება, რომელშიც ატომები არ არის განლაგებული ორგანიზებული ფორმით, ეწოდება მინა.
* *ქანები.* მინერალის კრისტალების ან მარცვლების და ბუნებრივი მინის მასების ერთობლიობას ეწოდება ქანები. გეოლოგები განასხვავებენ ქანების სამ ძირითად ტიპს: (1) ვულკანური ქანები ფორმირდება, როდესაც გამდნარი (თხევადი) ქანი ცივდება, იყინება და ხდება მყარი. (2) დანალექი ქანი ფორმირდება მარცვლებისგან, რომლებიც ჩამოტყდა უწინ არსებული ქანიდან და შემდეგ შეცემენტდა ერთად, ან მინერალებიდან რომლებიც დაილექა წყლის ხსნარიდან; (3) მეტამორფული ქანები ფორმირდება მაშინ, როდესაც უწინ არსებული ქანი ექვემდებარება ცვლილებებს ტემპერატურასა და წნევაზე პასუხად.
* *ნალექი.* მინერალის შეუკავშირებელი მარცვლების დაგროვებას ეწოდება ნალექი.
* *ლითონები.* ლითონის ატომებისაგან შემდგარ მყარ ნივთიერებებს (მაგ. რკინა, ალუმინი, სპილენძი და ა.შ.) ეწოდებათ ლითონები.
* *ნადნობები.* ნადნობები ფორმირდება, როდესაც მყარი ნივთიერება გადაიქცევა თხევადად. გამდნრი ქანი არის ნადნობის სახეობა – გეოლოგები განასხვავებენ მაგმას (რომელიც წარმოადგენს გამდნარ ქანს დედამიწის ზედაპირის ქვეშ) და ლავას (გამდნარი ქანი, რომელიც მიედინება დედამიწის ზედაპირზე) შორის.
* *აქროლადი ნივთიერებები.* მასალები, რომლებიც მარტივად გარდაიქმნება აირად შედარებით დაბალ ტემპერატურებზე ეწოდებათ აქროლადი ნივთიერებები.

დედამიწაზე ყველაზე გავრცელებული მინერალები შეიცავენ სხვა ელემენტებთან სხვადასხვა პროპორციით შერეულ კვარცს. ამ მინერალებს ეწოდებათ კვარციანი (სილიკატური) ქანები. გეოლოგები განასხვავებენ 4 კლასის ვულკანურ სილიკატურ ქანებს რკინასა და მაგნიუმთან შეფარდებით, კვარცის შემცველობის მიხედვით. რაც უფრო მაღალია შემცველობა, ქანები არის მჟავე, შემდეგ შუალედური (ზომიერი), მაფური და ულტრამაფური. ქანში კვარცის შემცველობის მატებასთან ერთად მცირდება სიმკვრივე. შესაბამისად, მჟავე ქანები უფრომ ნაკლებად მკვრივია მაფურ ქანებთან შედარებით. თითოეულ კლასში გვხვდება უამრავი, სხვადასხვა ტიპის ქანები. ამჯერად განვიხილავთ ოთხ მათგანს. ესენია (1) გრანიტი– მსხვილმარცვლოვანი მჟავე ქანი; (2) გაბრო – მსხვილმარცვლოვანი მაფური ქანი; (3) ბაზალტი – წვრილმარცვლოვანი მაფური ქანი და (4) პერიდოტიტი – მსხვილმარცვლოვანი ულტრამაფური ქანი.

ადამიანები უძველესი დროიდან გამოთქვამდნენ სხვადასხვა მოსაზრებებს დედამიწის გულის შესახებ. მაგალითად, ჟიულ ვერნის 1864 წლის პოპულარულ ნაწარმოებში „*მოგზაურობა დედამიწის ცენტრისკენ“* , სამი მკვლევარი პოულობს გზას დედამიწის ცენტრისკენ ურთიერთდაკავშირებული ქვაბულების გავლით. დღეისთვის უკვე ვიცით, რომ დედამიწის შიგნით არსებობს სხვადასხვა ფენები და არა ღია სივრცეები.

***რისგან შედგება ფენები?***

***ქერქი***

როდესაც ჩვენ ვდგავართ დედამიწის ზედაპირზე, ეს ნიშნავს, რომ ჩვენ ვდგავართ ცენტრიდან ყველაზე დაშორებულ ფენაზე, ანუ ქერქზე. რა სისქისაა ეს უმნიშვნელოვანესი ფენა? ამ კითხვაზე პასუხი შეიძლება მოვიძიოთ ხორვატი მკვლევარის, ანდრეა მოჰოროვიჩიჩის (*Andrija Mohorovicic*) კვლევებში. 1909 წლს მან აღმოაჩინა, რომ მიწისძვრის ტალღების სიჩქარე უცაბედად იზრდება დედამიწის ზედაპირიდან ათობით კილომეტრზე ქვემოთ და მან გამოთქვა ვარაუდი, რომ ეს გამოწვეული იყო ქანის მახასიათებლების მოულოდნელი ცვლილებით. მოგივიანებით ჩატარებულმა კვლევებმა გვიჩვენა, რომ ეს ცვლილება შესაძლებელია მოხდეს პლანეტაზე ნებისმიერ ადგილას, რადგან იგი თავს იჩენს სხვადასხვა ადგილას, სხვადასხვა სიღრმეებზე. გეოლოგები დღეისთვის მიიჩნევენ ამას ქერქი–მანტიის საზღვრის ცვლილებად და ამას მოჰოროვიჩიჩის საპატივსაცემოდ უწოდებენ მოჰოს. მოჰოს შედარებით პატარა სიღრმე (ადგილმდებარეობის მიხედვით 7-დან 70კმ–მდე) დედამიწის რადიუსთან მიმართებით მიუთითებს იმაზე, რომ ქერქი სინამდვილეში ძალიან თხელია. რეალურად ქერქი შეადგენს დედამიწის რადიუსის მხოლოდ 0,1%-1,0%–ს და თუ წარმოვიდგენთ, რომ დედამიწას აქვს საჰაერო ბუშტის ზომა, მაშინ ქერქი იქნებოდა ბუშტის კანის სისქის.

გეოლოგები განასხვავებენ ქერქის ორ, ფუნდამენტურად განსხვავებულ ტიპს: ოკეანური ქერქი, რომელიც მდებარეობს ზღვის ფსკერის ქვეშ და კონტინენტური ქერქი, რომელიც მდებარეობს კონტინენტების ქვეშ. ქერქი არ არის უბრალოდ გაგრილებული მანტია, არამედ იგი შედგება რიგი ქანებისგან, რომლებიც განსხვავდება შემადგენლობით ზედა ფენისგან.

ოკეანური ქერქი არის მხოლოდ 7-10კმ სისქის. ზედა მხარეს წარმოდგენილია ნალექების ფენა (ზოგადად 1კმ–ზე ნაკლები სისქის), რომელიც შედგება თიხისა და პაწაწინა ნიჟარებისგან. ამ ფენის ქვეშ ოკეანის ქერქი შედგება ბაზალტის, ხოლო ქვემოთ კი გაბროს ფენისგან.

კონტინენტური ქერქი ძირითადად 35-40კმ სისქისაა (ოკეანურ ქერქზე 4-5–ჯერ სქელი), მაგრამ მისი სისქე მერყეობს მნიშვნელოვნად. ზოგიერთ ადგილას კონტინენტური ქერქი გაიწელა და გათხელდა და აქედან გამომდინარე ზედაპირიდან მოჰომდე მხოლოდ 25კმ–ა. ზოგიერთ ადგილას ქერქი შეკუმშული და გასქელებულია და იგი შესაძლოა იყოს 70კმ სისქის. ოკეანური ქერქისგან განსხვავებით, კონტინენტური ქერქი შეიცავს უამრავი ტიპის ქანს. საშუალოდ, ზედა კონტინენტური ქერქი ნაკლებად მაფურია, ვიდრე ოკეანური ქერქი. ამ უკანასკნელ გააჩნია მჟავედან ზომიერამდე შემადგენლობა და ამიტომ კონტინენტური ქერქი მთლიანობაში ნაკლებად მკვრივია ოკეანურ ქერქთან შედარებით. უნდა აღინიშნოს, რომ ქერქში ყველაზე დიდი რაოდენობით წარმოდგენილია ჟანგბადი.

***მანტია***

დედამიწის მანტია ქმნის 2,885კმ სისქის ფენას, რომელიც გარს აკრავს ბირთვს. მოცულობის მიხედვით იგი დედამიწის ყველაზე დიდი ნაწილია. ქერქისგან განსხვავებით მანტია შედგება მთლიანად ულტრამაფური ქანისგან, რომელსაც ეწოდება პერიდოტიტი. ეს ნიშნავს, რომ მიუხედავად იმისა, რომ პერიდოტიტი ძალიან იშვიათია დედამიწის ზედაპირზე, იგი რეალურად წარმოადგენს ჩვენს პლანეტაზე ყველაზე დიდი ოდენობით არსებულ ქანს. სეისმური ტალღების სიჩქარის ცვლილების საფუძველზე, გეოლოგები მანტიას ყოფენ ორ ქვეფენად: ზედა მანტია (ქვემოთ 660კმ სიღრმეზე) და ქვედა მანტია (660კმ–დან 2,900კმ სიღრმემდე).

თითქმის მთლიანი მანტია წარმოადგენს მყარ ქანს, მაგრამ მიუხედავად ამისა მანტიის ქანი 100-დან 150კმ სიღრმის ქვემოთ არის იმდენად ცხელი, რომ რბილდება და შეუძლია დენა. თუმცა, ამგვარი დენა მიმდინარეობს ძალიან ნელა – წელიწადში 15სმ–ზე ნაკლები სიჩქარით. აქ სიტყვა „რბილი“ არ ნიშნავს, რომ ქანი თხევადია; ეს ნიშნავს, რომ დროთა განმავლობაში მანტიის ქანს შეუძლია შეიცვალოს ფორმა მსხვრევის გარეშე, ცვილის მსგავსად. თუმცა უნდა აღვნიშნოთ, რომ მანტიის მცირეოდენი ნაწილი გამლღვალია. ლღობა თავს იჩენს მანტიაში მარცვლებს შორის ფირებსა ან ბუშტუკებში ოკეანის ფსკერიდან 100-200კმ სიღრმეზე.

მართალია მანტიის ტემპერატურა სიღრმის მატებასთან ერთად იზრდება, თუმცა, ტემპერატურა ერთიდაიმავე სიღრმეზე სხვადასხვა ადგილას მაინც განსხვავებულია. ცხელი რეგიონები ნაკლებად მკვრივია, ხოლო უფრო გრილი რეგიონები კი უფრო მკვრივი, უფრო ცხელი და უფრო გრილი მანტიის გავრცელება მიანიშნებს, რომ მანტია ახორციელებს კონვექციას გაცხელებულ ქვაბში წყლის მსგავსად; გამთბარი მანტია ნელ–ნელა იწევს ზემოთ, ხოლო გარილი და უფრო მკვრივი მანტია კი ეშვება ქვემოთ.

***დედამიწის ბირთვი***

ადრინდელი გამოთვლების მიხედვით ბირთვს გაჩნია იგივე სიმკვრივე, რაც ოქროს და წლების განმავლობაში ადამიანები ფიქრობდნენ, რომ ჩვენი პლანეტის გულში იმალებოდა აურაცხელი სიმდიდრე. თუმცა გეოლოგებმა საბოლოოდ დაასკვნეს, რომ დედამიწის გული შეიცავს ნაკლებად მომხიბვლელ ნივთიერებას – რკინის შენადნობს (სხვა ელემენტების მცირე ოდენობასთან შერეულ რკინას). სეისმური ტალღების შესწავლის საფუძველზე გეოლოგებმა დაყვეს ბირთვი ორ ნაწილად: გარეთა ბირთვად (2,900-5,155კმ სიღრმემდე) და შიდა ბირთვად (5,155კმ სიღრმიდან დედამიწის ცენტრისკენ 6,371კმ სიღრმემდე). გარეთა ბირთვი შეიცავს თხევადი რკინის შენადნობს. იგი თხევადია გარეთა გარსის შიგნით ძალიან მაღალი ტემპერატურის გამო. გარეთა ბირთვის რკინის შენადნობს შეუძლია დენა და აღნიშნული ნაკადი წარმოქმნის დედამიწის მაგნიტურ ველს.

დაახლოებით 1,220კმ რადიუსის მქონე შიდა ბირთვი წარმოადგენს მყარი რკინის შენადნობს, რომელსაც შეუძლია მიაღწიოს 4,7000C –ზე მაღალ ტემპერატურას. მიუხედავად იმისა, რომ გარეთა ბირთვზე ცხელია, შიდა ბირთვი არის მყარი იმიტომ, რომ იგი უფრო ღრმადაა განთავსებული და ექვემდებარება გაცილებით მაღალი წნევის ზემოქმედებას. წნევის ზემოქმედების შედეგად ატომები ერთმანეთთან მჭიდროდა არიან შეკავშირებულნი და წარმოქმნიან ძალიან მკვრივ ნივთიერებას.

***ლითოსფერო და ასთენოსფერო***

როგორც ვიცით არსებობს დედამიწის სამი ძირითადი ფენა – ქერქი, მანტია და ბირთვი, რომლებიც ერთმანეთისგან განსხვავდება შემადგენლობით, ამ ფენებში სეისმური ტალღები მოძრაობს სხვადასხვა სიჩქარით. ფენის შემადგენელ მასალებში, მათი დენადობის ხარისხის მიხედვით განასხვავებენ *მყარ* მასალებს (რომელიც შეიძლება მოიღუნოს ან დაიმსხვრეს, მაგრამ არ შეუძლია დენა) და *პლასტიკურ*  მასალებს (რომლებიც შედარებით რბილია და შეუძლიათ დენა დამსხვრევის გარეშე).

გეოლოგებმა განსაზღვრეს, რომ დედამიწის გარსის გარეთა 100-150კმ ნაწილი არის შედარებით მყარი, ანუ ეს გარსი შედგება ქანებისგან, რომელთაც არ შეუძიათ მარტივად დენა. ამ გარსს ეწოდება ლითოსფერო და იგი მოიცავს ქერქსა და მანტიის ზედა ნაწილს. ლითოსფეროს შიგნით მანტიის ნაწილს ეწოდება ლითოსფეროს მანტია. მიაქციეთ ყურადღება, რომ ტერმინი *ლითოსფერო* და *ქერქი*  არ არის სინონიმები – ქერქი წარმოადგენს ლითოსფეროს მხოლოდ ზედა ნაწილს. ლითოსფერო მდებარეობს ასთენოსფეროს თავზე, რომელიც არის მანტიის ის ნაწილი, რომელშიც ქანებს შეუძლიათ დენა. ლითოსფეროსა და ასთენოსფეროს შორის საზღვარი გადის იქ, სადაც დემპერატურა აღწევს დაახლოებით 1,2800C –ს და ამ ტემპერატურაზე მანტიის ქანი ხდება საკმაოდ რბილი იმისთვის, რომ დაიწყოს დენა. მიუხედავად იმისა, რომ ასთენოსფეროს შეუძლია დენა, იგი არ არის თხევადი. პირიქით, ასთენოსფერო საკმაოდ მყარია – ნადნობის მცირე ოდენობა წარმოიქმნება მხოლოდ ზედა ნაწილში, თუმცა ასთენოსფერო საკმაოდ პლასტიკურია იმისთვის, დაიწყოს დენა კონვექციის შედეგად წელიწადში 15სმ–ით.

გეოლოგები განასხვავებენ ორი ტიპის ლითოსფეროს. ოკეანის ლითოსფეროს სისქე, რომლის ზემოდან განთავსებულია ოკეანის ქერქი, ზოგადად შეადგენს 150კმ–ს. ასთენოსფერო მთლიანად მოქცეულია მანტიაში და ზოგადად მდებარეობს 100-150კმ– ს ქვემოთ.

**თავი 2**

**ფილების ტექტონიკა**

***შესავალი***

ტექტონიკური მოძრაობა ლითოსფეროს სტრუქტურის შეცვლას გულისხმობს. ამ მოძრაობის, ერთ–ერთი, თუმცა არა ერთადერთი შედეგი ახალგაზრდა მთათა სისტემების, ნაოჭა სარტყელების ჩამოყალიბებაა.

როგორ წარმოიშობა მთები? ეს საკითხი ყოველთვის დიდ ინტერესს იწვევდა. ამიტომაც არ არის გასაკვირი, რომ დღეისათვის მთების წარმოშობის შესახებ არაერთი მოსაზრება არსებობს, რომლებიც ფაქტობრივად XVIII – XX საუკუნეებში წარმოიშვა და მათი მიხედვით მთები არის ვულკანური, კონტრაქციული, ჰულსაციური, ანუ ოსცილაციური წარმოშობის, დედამიწის ქერქქვეშა დინებების და მატერიკების დრეიფის შედეგად წარმოქმნილი, თუმცა, ამ მოსაზრებების საფუძველზე შეუძლებელი იყო მთათა წარმოშობის შესახებ სრულყოფილი ინფორმაციის მიღება.

***ფილების ტექტონიკა***

მე-20 საუკუნის 60-იანი წლების მიწურულს, სხვადასხვა ქვეყნის გეოლოგთა და გეოფიზიკოსთა კვლევების საფუძველზე ჩამოყალიბდა საინტერესო კონცეფცია, რომელიც დასაბუთებულად და დამაჯერებლად ხსნიდა ლითოსფეროს ფილების მოძრაობის ფენომენს. ამ კონცეფციას თავიდან „ახალი გლობალური ტექტონიკა“, ხოლო ცოტა მოგვიანებით კი „ლითოსფეროს ფილების ტექტონიკა“ ეწოდა.

მე-20 საუკუნის დასაწყისში ალფრედ ვეგენერმა (*Alfred Wegener*), გერმანელმა მეტეოროლოგმა გამოაქვეყნა პატარა წიგნი სათაურით „*კონტინენტებისა და ოკეანეების წარმოშობა*“, რომელშიც იგი აკრიტიკებდა უარყოფდა გეოლოგების მიერ კონტინენტების უძრაობის შესახებ შემოთავაზებულ, უკვე დიდი ხნის მანძილზე გაბატონებულ მოსაზრებას. ამის სანაცვლოდ ვეგენერმა წარმოადგინა საკუთარი მოსაზრება, რომ სუპერკონტინენტი, რომელსაც მან უწოდა პანგეა, უწინ დაიყო ცალკეულ კონტინენტებად, რომლებიც ნელი მოძრაობით დაუბრუნდნენ თავიან უწინდელ პოზიციებს. ეს მოდელი ცნობილი გახდა კონტინენტების დრეიფის სახელით.

ვეგენერის მოსაზრება რამოდენიმე ფაქტს ეყრდნობოდა: 1) კონტინენტების მოხაზულობის მსგავსება. ეს პირველ რიგში ეხებოდა სამხრეთ ამერიკას და აფრიკას. მართლაც ძალიან დიდია მსგავსება სამხრეთ ანერიკის აღმოსავლეთ და აფრიკის დასავლეთის სანაპირო ხაზის მოხაზულობაში. მიახლოების შემთხვევაში ეს ორი კონტინენტი ერთმანეთში ჯედება „ფაზლის“ ორი დეტალის მსგავსად. ასევე კარგად ჯდება ერთმანეთში ჩრდილოეთ ამერიკის, გრენლანდიის და ჩრდილო–დასავლეთ ევროპის სანაპირო ხაზი. 2) პანგეას არსებობაზე მიუთითებს ის ფაქტიც, რომ სახრეთ ნახევარსფეროს მატერიკებზე (სამხ. ამერიკა, აფრიკა, ავსტრალია, ანტარქტიდა) და ინდოეთში ნაპოვნია გვიან პალეოზოური ასაკის ხმელეთის ფაქტობრივად ერთნაირი განამარხებული ფლორა და ფაუნა, რაც შესაძლებელი იქნებოდა მხოლოდ ერთიანი კონტინენტის არსებობის პირობებში, რადგან სხვა შემთხვევაში მათ მიგრაციას ერთი კონტინენტიდან მეორეზე შეზღუდავდა ორი ოკეანის არსებობა. 3) სამრეთ ამერიკაში, აფრიკაში, ინდოეთსა და ავსტრალიაში ნაპოვნია გვიან პალეოზოურ–ტრიასული ასაკის მყინვარული წარმოშობის ქანები, რაც სამხრეთ ნახევარსფეროში იმ პერიოდში ძლიერ ზეწრულ გამყინვარებაზე მიუთითებს. ზეწრული გამყინვარება კი მხოლოდ დიდ კონტინენტებზეა შესაძლებელი. ანტარქტიდისა და გრენლანდიის დღევანდელი ზეწრული მყინვარები სწორედ დიდი მეოთხეული გამყინვარების ნარჩენებია. აქედან გამომდინარე, ეს ზეწრული გამყინვარებაც ერთიან კონტინენტზე უნდა მომხდარიყო. 4) კონტინენტების ქვეშ გრანიტული ფენაა, ოკეანეების ქვეშ კი მხოლოდ ბაზალტური. რა მოუვიდა ოკეანეების ქვეშ არსებულ გრანიტულ ფენა? ის ვერ ჩაიზირებოდა ოკეანის ქერქში, რადგან უფრო მსუბუქია. გამოდის, რომ იგი გაცურდა. საბოლოო დასკვნა კი ასეთია: გვიან პალეოზურ ხანაში არსებობდა ერთი სუპერკონტინენტი პანგეა, რომელიც შემდგომ ცალკეულ კონტინენტებად დაიშალა. კონტინენტთა ერთი ნაწილი გაცურდა ბაზალტურ ქერქზე დასავლეთის მიმართულებით. მოძრაობისას მათ წინა ნაწილში, გრანიტულ და ბაზლატურ ქერქებს შორის შეჯახებისას წარმოიშვა ნაოჭა მთები კორდილიერებისა და ანდების სახით. და ამ მოსაზრებების საფუძველზე ჩამოყალიბდა დასაბუთებული შეხედულება კონტინენტების დრეიფის შესახებ. ეს ჰიპოთეზა განამტკიცა მე20 საუკუნის 50-60–იან წლებში ოკეანის ფსკერის ინტენსიურმა შესწავლამ, რამაც ბევრ ახალ ფაქტს მოჰფინა ნათელი. მათ შორის, დადასტურდა, რომ ლითოსფერო ფილებისგანაა აგებული. დღეისთვის ცნობილია 7 დიდი და დაახლოებით ამდენივე ლითოსფეროს მცირე ფილა, როგორიცაა ჩრდ. ამერიკის, ევრაზიის, სამხ. ამერიკის, აფრიკის, ავსტრალიის, ანტარქტიდის და წყნარი ოკეანის. ფილათა უმეტესობა ერთდროულად მოიცავს, როგორც ოკეანურ, ასევე კონტინენტურ ქერქს და მათ შორის საზღვარი დგინდება მიწისძვრების ინტენსივობის მიხედვით.

ოკეანის ფსკერის შესწავლამ ასევე ხელი შეუწყო პალეომაგნეტიზმის აღმოჩენას, რაც გულისხმობს დედამიწსიწ ქერქის ამგები მინერალის, მაგნეტიტის შემცველი ზოგიერთი ქანი, მაგალითად ბაზალტი წარმოშობისას დამაგნიტებას განიცდის ისე, რომ მისი მაგნიტური ველის მიმართულება იმ დროს არსებული მაგნიტური მერიდიანის პარალელურია. ქანი ასეთ დამაგნიტებას არსებობის ბოლომდე ინარჩუნებს. ასეთ ქანში პალეომაგნიტური მეთოდით ისაზღვრება, როგორც მისი წარმოშობის ადგილი (გეოგრაფიული განედი), ასევე მისი თავდაპირველი განლაგება. ამგვარად შეიძლება გავიგოთ ქანის პალეოგანედი და გაზომოთ კუთხე, რა კუთხითაც შებრუნდა დროთა განმავლობაში დამაგნიტებული ქანით აგებული კონტინენტი (ლითოსფეროს ფილა). აღმოჩნდა, რომ სხვადასხვა კონტინენტზე არსებულ ერთიდაიმავე ასაკის ამგვარ ქანებს გააჩნიათ განსხვავებული მიმართულების მაგნიტური ველები, რაც წარმოუდგენელია, რადგან გამოდის, რომ ყველა კონტინენტის ამგებ ქანს საკუთარი მაგნიტური პოლუსი ჰქონია. დედამიწა კი ამ თვალსაზრისით ბიპოლარულია. პალეომაგნიტური მონაცემების გათვალისწინებით, კონტინეტების გადაადგილებისა და მათი სათანადო კუთხით შებრუნების შემთხვევაში დამაგნიტებული ქანების ველები ერთმანეთს დაემთხვევა. აშკარაა, რომ პალეომაგნეტიზმი ცალსახად მიუთითებს კონტინენტების მოძრაობაზე.

1960 წელს ჰარი ჰესმა (*Harry Hess*), პრინსტონის უნივერსიტეტიდან, ვეგენერის მოსაზრებების საფუძველზე, ივარაუდა, რომ რადგან კონტინენტები მოძრაობს, მათ შორის წარმოიშობა ახალი ოკეანის ფსკერი იმ პროცესის მეშვეობით, რომელიც ასევე მისმა თანამედროვემ, რობერტ დიეცმა (*Robert Dietz*) აღწერა და უწოდა მას ზღვის ფსკერის სპრედინგი. სპრედინგის თეორიის თანახმად კონტინენტურ ქერქზე ხდება რღვევა, რომელიც საბოლოოდ კონტინენტს ორად გაყოფს. რღვევის ზოლში მანტიიდან ზედაპირზე ამოდის მაგმური მასალა, რომლის გაცივებითაც შუაოკეანური ქედების სახით წარმოიშობა ახალი ოკეანური ქერქი. იწყება სპრედინგი (გაჭიმვა, გაფართოება), რომლის დროსაც ოკეანური ქერქი, შუაოკეანური ქედების ზოლიდან ოკეანის პერიფერიებისაკენ ერთმანეთის საპირისპიროდ გადაადგილდება. ოკეანური ქერქი პერიფერიებისკენ მიიწევს, შუაოკეანური ქედის ზოლში კი სულ ახალი და ახალი ქექი ჩნდება. ოკეანური ქერქის გადაადგილების ტემპი განსხვავდება და ზოგადად განისაზღვრება ერთეული სანტიმეტრებით წელიწადში.

***სუბდუქციის ზონა***

შემხვედრ ფილასთან შეჯახებისას, შეჯახების საზღვარზე ოკენური ქერქი, როგორც უფრო მძიმე, შემხვედრი კონტინენტური ქერქის ქვეშ იძირება. ამას ეწოდება სუბდუქციის (შეცოცების) ზონა. თუმცა, შეჯახებისას შესაძლებელია ოკეანური ქერქის ზედა ნაწილი შეაცოცდეს კონტინენტურ ქედს, რასაც ეწოდება ობდუქცია, ხოლო თუ ერთმანეთს ეჯახება ორი კონტინენტური ფილა, მაშინ ამ მოვლენას ეწოდება კოლიზია.ყველა შემთხვევაში, შეჯახება იწვევს ძლიერ დანაოჭებას, რასაც თან ახლავს ძლიერი მეტამორფიზმი და მაგმატიზმი, როს შედეგადაც აუცილებლად წარმოიქმნება ახალგაზრდა მთათა სისტემები.

***ცხელი ლაქები („ჰოთ–სფოთები“)***

როგორც ვიცით, ლითოსფეროს ფილების შიდა უბნები ასეისმურია, თუმცა ეს არ ნიშნავს, იმას, რომ ამ უბნებში სხვა გეოლოგიური პროცესები არ მიმდინარეობს. ამის მაგალითად, შეიძლება მოვიყვანოთ ვულკანიზმის ცენტრალური კერები, რომლებიც ფართოდ არის გავრცელებული დედამიწაზე და ძირითადად სწორედ ფილების შიდა ზონებს მოიცავს. მათ ეწოდებათ ცხელი ლაქები, ე.წ „“ჰოთ–სფოთები“.

***ოროგენეზი***

ოროგენეზი, ანუ მთათა წარმოქმნა მიმდინარეობს ლითოსფერული ფილების კონვერგენტულ საზღვრებზე ან სხვაგვარად, კონტინენტების აქტიური კიდეების საზღვრებში, რომელთაც გეოსინკლინი, ანუ მოძრავი სარტყელი ეწოდება. მთების წარმოქმნა ძალიან ხანგრძლივი პროცესია, რომელიც შესაძლოა გაგრძელდეს ათეულობით მილიონი წელი. ამავე დროს ეს გახლავთ უწყვეტი პროცესი.

***ეპიროგენეზი***

ლითოსფეროს ფილების მოძრაობა ძირითადად ჰორიზონტალურია, თუმცა, ზოგგან ის ვერტიკალურშიც გადადის. ამას ეწოდება ეპიროგენეზი (ბერძ.*epeiros*– ხმელეთი), რომელიც სიტყვა–სიტყვით ხმელეთის წარმოშობას ნიშნავს.

ეპიროგენეზი ოროგენეზისგან განსხვავებით არ ცვლის დედამიწის ქერქის შინაგან სტრუქტურას, არამედ იწვევს მხოლოდ მის დეფორმაციას.

რა არის ეპიროგენეზის მიზეზი და რა იწვევს მას? მყარი ლითოსფერო დევს პლასტიკურ ასთენოსფეროზე და ნაწილობრივ ჩაფლულია მასში. მათ შორის დამყარებულია იზოსტაზიური წონასწორობა. რაიმე მიზეზით ამ წონასწორობის დარღვევის შემთხვევაში, ლითოსფერო იწყებს აღმავალ ან დაღმავალ მოძრაობას, სანამ არ დამყარდება იზოსტაზიური წონასწორობა.

**თავი 3**

**მინერალები**

რატომ უნდა შევისწავლოთ მინერალები? ყოველგვარი გაზვიადების გარეშე შეიძლება ითქვას, რომ მინერალები წარმოადგენს ჩვენი პლანეტის სამშენებლო ბლოკებს. ნებისმიერი გეოლოგისათვის დედამიწის მასალების თითქმის ყველა კვლევა დამოკიდებულია მინერალების საფუძვლიან ცოდნაზე, რადგან მინერალები წარმოადგენენ ქანებისა და ნალექების შემადგენელ ნაწილს, რომლებიც თავის მხრივ არიან დედამიწისა და მისი ლანდშაფტის შემადგენელი ნაწილები. მინერალები ასევე მნიშვნელოვანია პრაქტიკული თვალსაზრისითაც. სამრეწველო მინერალები გამოიყენება როგორც ნედლეული ქიმიკატების, ბეტონისა და თაბაშირ-მუყაოს წარმოებისათვის. მადნეული მინერალები წარმოადგენს ისეთი ძვირფასი ლითონების წყაროს, როგორიცაა სპილენძი და ოქრო და უზრუნველყოფს ისეთ ენერგორესურსებს, როგორიცაა ურანი. გარკვეული სახის მინერალები გამოიყენება სამკაულების დასამზადებლად. თუმცა, სამწუხაროდ, ზოგიერთი მინერალი ქმნის გარემოს დაცვასთან დაკავშირებულ რისკებს. გასაკვირი არ არის, რომ მინერალოგია (მინერალების შესწავლა) ერთნაირად ხიბლავს, როგორც პროფესიონალებს, ასევე მოყვარულებს.

***რა არის მინერალი?***

გეოლოგებისათვის მინერალი არის ბუნებრივად არსებული, გეოლოგიური პროცესების შედეგად ჩამოყალბებული მყარი ნივთიერება, რომელსაც გააჩნია კრისტალური სტრუქტურა და განსაზღვრადი ქიმიური შემადგენლობა. თითქმის ყველა მინერალი არაორგანულია.

***კრისტალები და მათი სტრუქტურა***

***რა არის კრისტალი?***

სიტყვა კრისტალი გვახსენებს კაშკაშა ჭაღებს, ღვინის ელეგანტურ თასებსა და ბზინვარე ძვირფასეულობას. თუმცა გეოლოგებს აქვთ უფრო ზუსტი განმარტება. კრისტალი არის კრისტალური მყარი სხეულის ცალკეული, უწყვეტი ნაწილი, როგორც წესი შეკავშირებული ბრტყელი ზედაპირით, რომელსაც ეწოდება კრისტალის წახნაგი, რომელიც წარმოიქმნება ბუნებრივად მინერალის ფორმირებასთან ერთად. სიტყვა მინერალი ბერძნული  წარმოშობისაა (krystallos) და ნიშნავს ყინულს. ბევრ მინერალს ლამაზი ფორმა აქვს, ისეთი, თითქოს გეომეტრიის წიგნისთვისაა განკუთვნილი. ერთი ნიმუშის ორ მიმდებარე წახნაგს შორის არსებული კუთხე მეორე ნიმუშის შესაბამისი ზედაპირის კუთხის იდენტურია. მაგალითად, სრულყოფილად ფორმირებული კვარცის კრისტალი წააგავს ობელისკს. კვარცის კრისტალის სვეტისებტრი ნაწილის ზედაპირებს შორის კუთხე არის ზუსტად 120°. ეს წესი ვრცელდება მიუხედავად მთლიანი კრისტალის სიდიდისა და მიუხედავად იმისა, არის თუ არა ყველა წახნაგი ერთნაირი ზომის. გვხვდება მრავალფეროვანი ფორმის კრისტალები, მათ შორის კუბები, ტრაპეციები, პირამიდები, ოქტაედრები, ექვსკუთხა სვეტები, ნემსოვანი კრისტალები, სვეტები და ობელისკები.

***მინერალების ფორმირება და დაშლა***

ახალი მინერალის კრისტალები შესაძლოა ჩამოყალიბდეს ხუთი გზით. პირველი, გამდნარი ლითონის გამყარებით, რაც ნიშნავს სითხის გაყინვას. მაგალითად, ყინულის კრისტალები, მინერალის ერთ-ერთი ტიპი, ყალიბდება წყლის გაყინვით. მეორე – ისინი შესაძლოა წარმოიქმნას ხსნარის დანალექისაგან, რაც გულისხმობს იმას, რომ წყალში გახსნილი ატომები, მოლეკულები ან იონები ებმიან ერთმანეთს და გამოცალკევდებიან წყლისაგან. მარილის კრისტალი, მაგალითად, წარმოიქმნება ზღვის წყლის აორთქლებით. მესამე – ისინი შესაძლოა ჩამოყალიბდეს მყარ სხეულში დიფუზიის შედეგად - ატომების ან იონების მოძრაობა მყარ სხეულში იმისთვის, რომ წარმოიქმნას ახალი კრისტალური სტრუქტურა, პროცესი რომელიც მიმდინარეობს ძალიან ნელა. მაგალითად, გრანიტი ყალიბდება მყარ ქანებში დიფუზიის შედეგად. მეოთხე – მინერალები შესაძლოა ჩამოყალიბდეს დედამიწის სისტემის ფიზიკურ და ბიოლოგიურ კომპონენტებს შორის არსებულ ზედაპირზე ბიომინერალიზაციის პროცესის საშუალებით. ეს ხდება მაშინ, როდესაც ცოცხალი ორგანიზმები იწვევენ მინერალების დალექვას მათ სხეულში ან სხეულზე ან უშუალოდ მომიჯნავე სხეულზე. მაგალითად, მოლუსკები და სხვა ნიჟარიანი ორგანიზმები მინერალური ნიჟარის წარმოსაქმნელად იონებს იღებენ წყლიდან. მეხუთე – მინერალები შეიძლება დაილექოს უშუალოდ აირიდან. ეს პროცესს როგორც წესი, მიმდინარეობს ვულკანის ყელის გარშემო ან გეიზერების ირგვლივ, რადგანაც ასეთ ადგილას ვულკანური აირი ან ნაკადი ხვდება ატმოსფეროში და მოულოდნელად ცივდება.

კრისტალის ფორმირების პირველი ნაბიჯი მარცვლის ან ძალიან პატარა კრისტალის შემთხვევითი ფორმირებაა. როგორც კი გაჩნდება მარცვალი, სხვა ატომები გარემომცველი მასალიდან ებმიან მარცვლის ზედაპირს. კრისტალის ზრდასთან ერთად კრისტალის წახნაგები მოძრაობენ გარე მიმართულებით, თუმცა ინარჩუნებენ იმავე ორიენტაციას. კრისტალის უახლესი ნაწილები მდებარეობს მის ყველაზე გარე კიდეზე.

ნადნობის გამყარებით ფორმირებული კრისტალის შემთხვევაში, ატომები იწყებენ მარცვალზე მიმაგრებას მაშინ, როდესაც ნადნობი ცივდება იმდენად, რომ სითბურ ვიბრაციას აღარ შეუძლია დაარღვიოს მიზიდულობა მარცვალსა და ატომებს შორის ნადნობში. ხსნარიდან დანალექისაგან წარმოქმნილი კრისტალები ფორმირდება მაშინ, როდესაც ხსნარი ხდება გაჯერებული. ეს გულისხმობს იმას, რომ გახსნილი იონების რაოდენობა ხსნარის ერთეულ მოცულობაში იმდენად დიდია, რომ მათ შეუძლიათ საკმარისად მიუახლოვდნენ და მიებან ერთმანეთს.

კრისტალის ზრდასთან ერთად, მათ უვითარდებათ კონკრეტული კრისტალური ფორმა მათი შიდა სტრუქტურის გეომეტრიის საფუძველზე. ფორმა განისაზღვრება კრისტალის ფარდობითი ზომების და კრისტალის წახნაგებს შორის არსებული კუთხეების საშუალებით. როგორც წესი, მინერალების ზრდა შეზღუდულია ერთი ან მეტი მიმართულებით, რადგან არსებული კრისტალები მოქმედებენ დაბრკოლებების სახით. ასეთ შემთხვევაში მინერალები იზრდება, რათა შეავსოს არსებული სივცრე და მათი ფორმა განისაზღვრება მათი გარემომცველი ზონის ფორმის მიხედვით. მინერალებს, რომელთაც გააჩნიათ სრულყოფილად ჩამოუყალიბებელი კრისტალის წახნაგები ეწოდებათ ანჰედრალური (უწახნაგო) მარცვლები. თუ მინერალები იზრდება შეზღუდვების გარეშე ისე, რომ მას უყალიბდება სრულყოფილი წახნაგები, მას ეწოდება ევჰედრალური კრისტალი. ქანში არსებული სიცარიელის – ჟეოდას წახნაგები შესაძლოა იყოს ევჰედრალური.

მინერალი შესაძლებელია დაიშალოს გადნობის, გალღობის ან სხვა ქიმიური რეაქციის შედეგად. გადნობა მოიცავს მინერალის გახურებას იმ ტემპერატურაზე, როდესაც იონების ან ატომების სითბური ვიბრაცია ჯაჭვში შლის მათ შემაკავშირებელ ქიმიურ ბმებს. ამ დროს ატომები ან იონები იყოფა განცალკევებულად ან პატარა ჯგუფად, რათა კვლავ იმოძრაონ თავისუფლად. გახსნა ხდება მაშინ, როდესაც მინერალს ჩაძირავთ ისეთ გამხსნელში, როგორიცაა მაგალითად წყალი. ამ დროს ატომები ან იონები სცილდებიან კრისტალის წახნაგებს და მათ გარს ერტყმიან გამხსნელის მოლეკულები. ქიმიურ რეაქციებს შეუძლიათ მინერალის დაშლა მაშინ, როდესაც იგი კონტაქტში შედის რეაქტიულ ნივთიერებასთან. მაგალითად, რკინის შემცველი მინერალები რეაქციაში შედიან ჰაერთან და წყალთან და წარმოიქმნება ჟანგის. გარემოში მიკრობების აქტივობას ასევე შეუძლია მინერალების დაშლა. ფაქტობრივად, მიკრობები „შთანთქავენ“ გარკვეულ მინერალებს, იმ ქიმიურ ბმებში შენახული ენერგიის გამოყენებით, რომელიც მინერალის ატომებს აკავშირებს ერთად, როგორც მათი ენერგიის წყარო ნივთიერებათა ცვლისათვის.

***როგორ გავარჩიოთ ერთი მინერალი მეორესაგან?***

მოყვარულები და პროფესიონალები ერთნაირად იღებენ სიამოვნებას მინერალების ამოცნობით. ამოცნობის მთავარი ხერხი მდგომარეობს ძირითადი ფიზიკური თვისებების სწავლაში (ვიზუალური მხარე და მასალის მახასიათებლები), რაც გამოარჩევს ერთ მინერალს მეორესაგან. ზოგიერთი ფიზიკური თვისება, მაგალითად, ფორმა ან ფერი, აშკარად შესამჩნევია თუმცა, სხვა მახასიათებლები, როგორიცაა მაგალითად სიმაგრე და მაგნეტურობა, შესაძლებელია განისაზღვროს მხოლოდ ნიმუშის დამუშავებით ან მასზე საიდენტიფიკაციო ტესტირების ჩატარებით. საიდენტიფიკაციო ტესტირება მოიცავს სხვა საგნით მინერალის გაკაწვრას, მაგნიტთან ახლოს მის მოთავსებას, აწონვას, დეგუსტაციას ან მასზე მჟავის წვეთის დაწვეთებას. მინერალის იდენტიფიციკაციისას ძირითადად გამოიყენება შემდეგი ფიზიკური მახასითებლები: ფერი, ტკეჩვადობა, ბრწყინვალება, სიმაგრე, ხვედრითი წონა, კრისტალის ფორმა, სპეციფიური მახასიათებლები, მტვრევადობა და მსხვრევადობა.

***მინერალის კლასები***

მინეროლოგები განასხვავებენ მინერალების რამდენიმე ძირითად კლასს. ქვემოთ ჩამოთვლილია რამდენიმე ძირითადი მათგანი:

* *სალიკატები*: დედამიწის ქერქში სილიკატების უმრავლესობის ძირითად კომპონენტს წარმოადგენს SiO44- ანიონური ჯგუფი. SiO44- ჯგუფში ჟანგბადის ოთხი ატომი გარს ერტყმის სილიციუმის ერთ ატომს.
* *ოქსიდები:* ოქსიდები შედგება ლითონის კათიონებისაგან, რომლებიც ებმის ჟანგბადის ანიონებს. ტიპური ოქსიდური მინერალებია ჰემატიტი (Fe2O3) და მაგნეტიტი (Fe3O4).
* *სულფიდები:* სულფიდები შედგება ლითონის კათიონებისაგან, რომლებიც ებმის სულფიდის ანიონებს (S2-). სულფიდების მაგალითებია გალენიტი (PbS) და პირიტი (FeS2).
* *სულფატები:* სულფატები შედგება ლითონის კათიონებისაგან, რომლებიც ებმის SO42- ანიონურ ჯგუფს. ბევრი სულფატი ფორმირდება დედამიწის ზედაპირზე ან მასთან ახლოს წყლიდან დალექვის საშუალებით. მისი მაგალითია თაბაშირი (CaSO4 • 2H2O).
* *ჰალოიდები:* ჰალოიდში ანიონი არის ჰალოგენის იონი (როგორიცაა მაგალითად, ქლორიდი [C1-] ან ფტორიდი [F-], პერიოდული ცხრილის მარჯვნიდან მეორე სვეტის ელემენტი. ამის ძირითადი მაგალითებია ჰალიტი ანუ ქვამარილი (NaC1) და ფლუორიტი (CaF2).
* *კარბონატები:* კარბონატებში მოლეკულა CO32- მოქმედებს, როგორც ანიონური ჯგუფი. ისეთი ელემენტები, როგორიცაა კალციუმი ან მაგნიუმი ებმის ამ ჯგუფს. ორი ყველაზე მთავარი კარბონატი არის კალციტი (CaCo3) და დოლომიტი (CaMg[CO3]2).
* *თვითნაბადი ლითონები:* თვითნაბადი ლითონები შედგება ცალკეული ლითონის სუფთა მასებისაგან. ლითონის ატომები გადაბმულია ლითონური ბმებით. მაგალითად, სპილენძი და ოქრო შესაძლოა არსებობდეს თვითნაბადი სახით. ოქროს ნაწილაკი არის თვითნაბადი ოქროს მასა, რომელიც ქანისაგან ჩამოტყდა.

**თავი 4**

**ვულკანური აქტივობა**

***შესავალი***

დროდადრო გავარვარებული სითხე – ცხელი, გამდნარი ქანი ამოიფრქვევა ხოლმე კრატერიდან ან ნაპრალიდან ჰავაიზე. დედამიწის გულიდან ზედაპირზე გამდნარი მასის ამოსვლას ეწოდება ვულკანის ამოფრქვევა. გამდნარი მასის ანუ ლავის ნაწილი, როდესაც მიაღწევს დედამიწის ზედაპირს გროვდება ვულკანის ყელის გარშემო, დანარჩენი კი ეშვება ქვემოთ ბლანტი, მოწითალო–მოყვითალო ფერის ნაკადად, რომელსაც ეწოდება ლავის ნაკადი. წყაროს სიახლოვეს ლავას ტემპერატურა აღწევს 1,2000C –ს და მოძრაობს სწრაფად, კასკადურად ქანობებზე დაახლოებით 60კმ/სთ სიჩქარით. მთის ძირში ლავას ნაკადის სიჩქარე მცირდება. ნაკადის სიჩქარე გაცივებასთან ერთად მცირდება. მისი ზედაპირი მუქდება და ზემოდან იკეთებს ქერქს, რომელიც ხანდახან სკდება და იქიდან ამოდის ცხელი, წებოვანი მასა, რომელიც აგრძელებს დენას. ბოლოს ნაკადი საბოლოოდ წყვეტს მოძრაობას და დღეების ან კვირების განმავლობაში ოდესღაც წითელი, ცხელი გამდნარი მასა გადაიქცევა შავ მყარ მასად. ეს პროცესი შესაძლებელია განმეორდეს კვლავ და კვლავ გეოლოგიური დროის განმავლობაში. გამდნარი მასის გამყარების შედეგად ფორმირდება ახალი ვულკანური ქანი.

გეოლოგები დედამიწის ზედაპირის ქვეშ არსებულ გამდნარ მასას უწოდებენ მაგმას. მიწისქვეშ მაგმის გაცივების შედეგად წარმოქმნილ ქანს მას შემდეგ, რაც იგი გაიკვლევს გზას ქერქის უწინ არსებულ ქანში, ეწოდება ინტრუზიული ვულკანური ქანი. ქანს, რომელიც ფორმირდება მიწის ზემოთ ლავის გაცივების შედეგად, მას შემდეგ, რაც იგი ამოდის დედამიწის ზედაპირზე და შედის კონტაქტში ატმოსფეროსთან ან ოკეანესთან, ეწოდება ექსტრუზიული ვულკანური ქანი. ექსტრუზიული ვულკანური ქანი შეიცავს, როგორც მყარი ლავის ნაკადებს, ასევე პიროკლასტური ნარჩენების ნალექებს. ამგვარი ნარჩენები შეიცავს ვულკანურ ფერფლს, რომელიც შედგება მინის უმცირესი ნაწილაკებისგან, რომლებიც ყალიბდება ლავის ამოფრქვევის და ჰაერში მისი გაცივების შედეგად. ზოგჯერ ფერფლი იფანტება ჰაერში ვულკანის თავზე რამოდენიმე კილომეტრზე და საბოლოოდ ეშვება ძირს თოვლის მსგავსად. თუმცა ზოგჯერ ფერფლი ეშვება ქვემოთ ვულკანის გვერდებზე გახურებული მასის სახით და ამას ეწოდება ფერფლის ნაკადი.

***რისგან შედგება მაგმა?***

მაგმა შეიცავს სილიციუმს და ჟანგბადს, რომლებიც შეკავშირებულია და წარმოქმნის სილიციუმ–ჟანგბადის ტეტრაედრს. თუმცა, მაგმა სხვადსახვა პროპორციით ასევე შეიცავს ისეთ ელემენტებს, როგორიცაა მაგალითად ალუმინი, კალციუმი, ნატრიუმი, კალიუმი, რკინა და მაგნიუმი. გამომდინარე იქიდან, რომ მაგმა თხევადია, მისი ატომები არ არის განლაგებული თანმიმდევრულად კრისტალის ფორმით, შეკავშირებულია ჯგუფებად ან მოკლე ჯაჭვებად და შედარებით თავისუფლად შუძლიათ მოძრაობა. “მშრალი“ მაგმა არ შეიცავს აქროლად ნივთიერებებს, ხოლო „სველი“ მაგმა კი პირიქით შეიცავს დაახლოებით 15% გახსნილ ისეთ ნივთიერებებს, როგორიცაა წყალი, ნახშირმჟავა, აზოტი, წყალბადი და გოგირდის დიოქსიდი. ეს აქროლადი ნივთიერებები წარმოიშობა დედამიწაზე ვულკანებიდან აირის სახით. ჩვეულებრივ, წყალი შეადგენს ვულკანიდან ამოსული აირის თითქმის ნახევარს და ამიტომ მაგმა შეიცავს არა მხოლოდ იმ ელემენტებს, რომლებიც წარმოადგენს მყარ ნივთიერებებს ქანში, არამედ ასევე მოლეკულებს, რომლებიც იქცევა წყლად ან ჰაერად.

***მაგმის ძირითადი ტიპები***

გეოლოგები განასხვავებენ მაგმის ოთხ ძირითად ტიპს მასში კვარცის (SiO2) შემცველობის მიხედვით (ცხრილი 4.1). მაგმის აღნიშნული ტიპები განსხვავდება ერთმანეთისგან იმის მიხედვით, თუ რამდენად ადვილად შეუძლია მას დენა და გამყარება იმისთვის, რომ წარმოქმნას სხვადასხვა ქანები. მაგმის ტიპების სახელწოდებები ასახავს მაგმაში არსებულ ელემენტებს. მაგალითად, მაფური (*mafic*) მაგმის სახელი განპირობებულია მასში რკინის ოქსიდის (FeO ან Fe2O3) და მაგნიუმის ოქსიდის (MaO) შედარებით მაღალი შემცველობით – „ma“ აღნიშნავს მაგნიუმს, ხოლო „-fic“ კი მიუთითებს რკინაზე, ლათინური სახელწოდებიდან „*ferric*“. კვარციანი მაგმა დიდი ოდენობით შეიცავს კვარცს (მიაქციეთ ყურადღება, რომ ელემენტარულ დონეზე გეოლოგები იყენებენ ტერმინებს – „*felsic*“ (მჟავე) და „*silicic*“ (კვარციანი) ერთმანეთის აღსანიშნავად. შუალედური მაგმის სახელი განპირობებულია მასში „*felsic*“ და „*mafic*“ შორის შემადგენლობის შემცველობით.

***ცხრილი 4.1.******მაგმის ოთხი კატეგორია***

მჟავე (ან კვარციანი) მაგმა – 66-76% კვარცი

შუალედური მაგმა – 52- 66% კვარცი

მაფური (ფუძე) მაგმა – 45-52% კვარცი

ულტრამაფური (ულტრაფუძე) მაგმა – 38-45% კვარცი

***გამდნარი ქანის მოძრაობა***

თუ მაგმა მისი ჩამოყალიბებისას დარჩება უძრავი, ახალი ვულკანური ქანი არ წარმოიქმნება ქერქში ან ქერქზე. მაგრამ მაგმა არ რჩება უძრავად. ზოგიერთ შემთხვევაში იგი აღწევს დედამიწის ზედაპირს და ამოიფრქვევა ვულკანიდან. ეს მოძრაობა წარმოადგენს დედამიწის სისტემის ძირითად კომპონენტს, რადგან მისი მეშვეობით ნივთიერებები დედამიწის სიღრმიდან ამოდის ზემოთ და წარმოქმნის ნედლეულს, რომლის საშუალებითაც ყალიბდება ახალი ქანები და ატმოსფერო და ოკეანე.

***რატომ ამოდის მაგმა?***

მაგმა ამოდის ორი მიზეზის გამო: პირველი, მაგმა მომიჯნავე ქანზე მყარია; ტივტივადობის გამო მაგმა ამოდის ზემოთ, როგორც ხის ნაჭერი წყალში. და მეორე, ზემოთ განლაგებული ქანის მასა წარმოშობს წნევას, რაც უბიძგებს მაგმას ზემოთ.

სიბლანტე ან დენადობისადმი წინააღმდეგობა ზემოქმედებს მაგმის ან ლავას მოძრაობის სიჩქარეზე. დაბალი სიბლანტის მქონე მაგმა მოძრაობს უფრო ადვილად, მაღალი სიბლანტის მქონე მაგმასთან შედარებით. სიბლანტე დამოკიდებულია ტემპერატურაზე, აქროლადი ნივთიერებების და კვარცის შემცველობაზე. ცხელი მაგმა გრილთან შედარებით ნაკლებად ბლანტია, რადგან სითბური ენერგია შლის ბმებს და ატომებს ეძლევათ საშუალება იმოძრაონ უფრო თავისუფლად. მაფური (ფუძე) მაგმა უფრო ნაკლებად ბლანტია, ვიდრე მჟავე მაგმა და აქედან გამომდინარე, უფრო ცხელ მაფურ ლავას გააჩნია შედარებით დაბალი სიბლანტე, მიედინება თხელ ფენებად და ფარავს უფრო დიდ ტერიტორიებს, ხოლო გრილ, მჟავე ლავას გააჩნია მაღალი სიბლანტე და იჭედება ვულკანის ყელში.

***მაგმისა და ლავის ქანად გარდაქმნა***

უმეტეს შემთხვევებში მაგმა მყარდება უბრალოდ მაშინ, როდესაც იგი ცივდება მისი გამყარების ტემპერატურაზე ქვემოთ და იწყება კრისტალების წარმოქმნა. გამომდინარე იქიდან, რომ ტემპერატურა კლებულობს რაც უფრო უახლოვდება დედამიწის ზედაპირს, გამყარებაც ხდება ავტომატურად მაგმის ზედაპირზე ამოსვლისას. უფრო ცივი გარემო შესაძლოა იყოს ცივი გვერდითა ქანი, თუ მაგმა ამოდის მიწისქვეშ ან ეს შესაძლოა იყოს ატმოსფერი ან ოკეანე, თუ მაგმა ლავის სახით ამოდის დედამიწის ზედაპირზე.

მაგმის გაცივების დრო დამოკიდებულია იმაზე, თუ რამდენად სწრაფად შეუძლია მას გადასცეს სითბო მის გარშემო არსებულ გარემოს. ამისთვის წარმოვიდგინოთ ყავის გაცივების პროცესი. თუ ცხელ ყავას ჩავასხამთ თერმოსში და დავუცობთ თავს, ყავა რამოდენიმე საათის განმავლობაში დარჩება ცხელი.; იზოლაციის გამო ყავა თერმოსში სითბოს კარგავს ძალიან ნელა. თერმოსის მსგავსად, გარშემო არსებული ქანი მოქმედებს, როგორც იზოლატორი და ამიტომ მაგმა მიწისქვეშ ძალიან ნელა ცივდება. და პირიქით ზედაპირზე ამოსული ლავა ცივდება ძალიან სწრაფად.

***ვულკანური ქანების კლასიფიკაცია***

გამომდინარე იქიდან, რომ ნადნობ მასას შესაძლებელია გააჩნდეს განსხვავებული შემადგენლობა და შეუძლია გამყარდეს ვულკანური ქანის წარმოქმნის მიზნით ძალიან ბევრ სხვადასხვა გარემოში, როგორც დედამიწის ზედაპირის ქვეშ, ასევე ზედაპირზე, არსებობს ვულკანური ქანების ტიპების ძალიან დიდი სპექტრი. მათი კლასიფიკაცია ხდება ტექსტურისა და შემადგენლობის მიხედვით. ქანის ტექსტურის შესწავლით ვიგებთ მისი გაცივების სიჩქარეს და ასევე გარემოს, სადაც იგი ფორმირდება. შემადგენლობის შესწავლა გვიჩვენებს მაგმის თავდაპირველ წყაროს და საბოლოოდ გამყარებამდე მაგმის წარმოშობის მეთოდს. ქვემოთ მითითებულია ყველაზე მნიშვნელოვანი ვულკანური ქანის ტიპები.

***კრისტალური ვულკანური ქანები***

კრისტალური ვულკანური ქანების ძირითადი ტიპების კლასიფიკაციის სქემა ძალიან მარტივია, კვარცის შემცველობის საფუძველზე განასხვავებენ სხვადასხვა შემცველობით კლასებს – ულტრამაფური (ულტრაფუძე), მაფური (ფუძე), შუალედური (საშუალო სიმჟავიანობის) ან მჟავე, ხოლო ტექსტურული კლასები განსხვავდება იმის მიხედვით მარცვლები მსხვილია თუ წვრილი. უხეში მითითებით, ვულკანური ქანის ფერი ასახავს მის შემადგენლობას: მაფური ქანები არის შავი ან მუქი ნაცრისფერი; შუალედური ქანები – ღია ნაცრისფერი ან მომწვანო ნაცრისფერი, ხოლო მჟავე ქანები კი ღია კრემისფერიდან ვარდისფერამდე ან მუქ მალინისფერამდე.

***მინისებრი ვულკანური ქანები***

მინისებრი ტექსტურა ძირითადად წარმოიქმნება მჟავე ვულკანურ ქანებში, რადგან კვარცის მაღალი შემცველობა ხელს უწყობს კრისტალების წარმოქმნას. თუმცა, ბაზალტის შემცველ და შუალედურ (საშუალო სიმჟავიანობის) ლავასაც შეუძლია წარმოქმნას მინა, თუ ისინი ძალიან სწრაფად ცივდება. ზოგიერთ შემთხვევაში სწრაფად გაცივებული ლავა მყარდება და მასში კვლავ რჩება აირის ბუშტუკების მაღალი კონცენტრაცია და ეს ბუშტუკები რჩება ღია ხვრელების სახით, რომელთაც ეწოდება ვეზიკულები. გეოლოგები განასხვავებენ რამოდენიმე სხვადასხვა მინისებრ ქანს:

* ***ობსიდიანი*** წარმოადგენს მყარი, მჟავე მინის მასას. იგი არის შავი ან ყავისფერი. რადგან იგი იმსხვრევა ნაჭუჭის მსგავსად, მასზე ჩაქუჩის დარტყმისას იგი იმტვრევა ბასრკიდეებიან ნაწილებად. ადრე ადამიანები ამ ნამსხვრევებს იყენებდნენ ისრის თავებად, საფხეკებად და დანებად.
* ***პემზა*** წარმოადგენს მჟავე ვულკანურ ქანს, რომელიც შეიცავს დიდი ოდენობით ვეზიკულებს, რაც მას აძლევს ღრუბელის სახეს. იგი წარმოიქმნება ქაფიანი ლავის სწრაფი გაცივების შედეგად. ზოგიერთ შემთხვევაში პემზა შეიცავს იმდენ ჰაერით სავსე ფორებს, რომ მას შეუძლია პენოპოლისტიროლის მსგავსად იტივტივოს წყალში.
* ***ვულკანური შლაკები*** წარმოადგენს მაფურ ვულკანურ ქანს, რომელიც შეიცავს დიდი ოდენობით ვეზიკულებს (დაახლოებით 30%–ზე მეტს). ზოგადად, ვულკანურ შლაკებში ბუშტუკები პემზაზე დიდია და ქანის უფრო მუქი ფერისაა.

***ფრაგმენტული ვულკანური ქანები***

გეოლოგები განასხვავებენ რიგ ფრაგმენტულ ვულკანურ ქანებს მათი ფრაგმენტების ზომის და ფრაგმენტების ერთმანეთთან შეწებების მეთოდის მიხედვით. ფრაგმენტული ქანები წარმოიშობა, როდესაც ნაკადი მოძრაობისას იშლება ნაწილებად და შემდეგ ეს ნაწილები ედუღება ერთმანეთს, როდესაც ლავის შადრევანი ჰაერში აფრქვევს წვეთებს, რომლებიც ცივდება და გროვდება ყელის გარშემო; ან როდესაც ფერფლი, კრისტალები და უწინ არსებული ვულკანური ქანი ფეთქდება ვულკანიდან ამოფრქვევისას. ფრაგმენტულ ქანს, რომელიც შეიცავს ვულკანიდან ამოფრქვეულ ან ლავის შადრევანით გაფრქვეულ ნარჩენებს, ეწოდება პიროკლასტური ქანი და ამის ორი მაგალითია:

* ***ტუფი*** – წვრილმარცვლოვანი პიროკლასტური ქანი, რომელიც შედგება ვულკანური ნაცრისგან. იგი შესაძლებელია შეიცავდეს პემზის ფრაგმენტებს.
* ***ვულკანური ბრექჩია*** – შედგება ვულკანური ნარჩენების უფრო დიდი ფრაგმენტებისგან, რომლებიც იფრქვევა ჰაერში და გროვდება ან ფორმირდება მაშინ, როდესაც ლავას ნაკადი იმსხვრევა ნაწილებად.

**თავი 5**

**დანალექი ქანები**

***შესავალი***

დანალექი ქანი წარმოადგენს ქანს, რომელიც ფორმირდება დედამიწის ზედაპირზე ან მის სიახლოვეს, უწინ არსებული ქანის ფიზიკური და ქიმიური გამოფიტვის შედეგად წარმოქმნილი შეუკავშირებელი მარცვლების ერთმანეთთან შეცემენტებით, წყლის ხსნარებიდან მინერალების დალექვით, ნიჟარების და ნიჟარების ფრაგმენტების ერთმანეთთან შეცემენტებით ან ნიჟარების წარმომქმნელი ორგანიზმების მასების ზრდით. დანალექი ქანების ფენები წააგავს წიგნის ფურცლებს, სადაც მოთხრობილია დედამიწაზე მომხდარი უძველესი მოვლენების და უძველესი გარემოს შესახებ. ისინი წარმოიქმნება მხოლოდ დედამიწის ქერქის ზედა ნაწილში და წარმოქმნის „საფარს“ , რომელიც ფარავს ვულკანური და/ან მეტამორფული ქანების ქვეშმდებარე „ფუნდამენტს“.

***დანალექი ქანების კლასები***

გეოლოგები დანალექ ქანებს ყოფენ ოთხ ძირითად კლასად მათი წარმოშობის მიხედვით: (1) კლასტური დანალექი ქანები, შედგება უწინ არსებული ქანებიდან მიღებული, ერთმანეთთან შეცემენტებული მყარი ფრაგმენტებისა და მარცვლებისგან; (2) ბიოქიმიური დანალექი ქანები, შედგება ნიჟარებისგან; (3) ორგანული დანალექი ქანები, შედგება მცენარეების ნახშირბადით მდიდარი ნარჩენებისგან და (4) ქიმიური დანალექი ქანები, შეიცავს მინერალებს, რომლებიც ილექება პირდაპირ წყლის ხსნარებიდან. განვიხილოთ თითოეული მათგანი.

***კლასტური დანალექი ქანები***

***ფორმირება****.* ქვიშაქვა წარმოადგენს კლასტური ან დეტრიტული ქანის მაგალითს. იგი შედგება მყარი მარცვლებისგან, რომლებიც შეჭედილია ერთმანეთში და წარმოქმნის მყარ მასას. მარცვლები შესაძლებელია შეიცავდეს ცალკეულ მინერალებს (მაგ. კვარცის მარცვლებს ან თიხის ფიფქებს) ან ქანის ფრაგმენტებს (მაგ. გრანიტის ხრეში). ნალექის ფხვიერი მარცვლები გარდაიქმნება კლასტურ დანალექ ქანად შემდეგი ხუთი საფეხურის მეშვეობით:

* *გამოფიტვა:* დეტრიტი წარმოიქმნება ქვეშმდებარე ქანის დაშლის შედეგად ქიმიური და ფიზიკური გამოფიტვის ზემოქმედებით;
* *ეროზია:* ეროზია აღნიშნავს პროცესების კომბინაციას, რომელიც აცალკევებს ქანს ან რეგოლითს მისი ქვედა ფენისგან და გადააქვს იგი;
* *ტრანსპორტირება:* ქარი, წყალი ან ყინული ახდენს ნალექის გადაადგილებას. გარემოს ნალექების გადატანის უნარი დამოკიდებულია მის სიბლანტესა და სიჩქარეზე. მყარ ყინულს შეუძლია გადაიტანოს ნებისმიერი ზომის ნალექი მიუხედავად იმისა თუ რამდენად ნელა მოძრაობს ყინული. ძალიან სწრაფად მოძრავ ტურბულენტურ წყალს შეუძლია გადაიტანოს მსხვილი ფრაგმენეტები, შედარებით ნელა მოძრავ წყალს შეუძლია მხოლოდ ქვიშისა და ხრეშის გადატანა, ხოლო ნელა მოძრავ წყალს გადააქვს მხოლოდ სილა და ტალახი. ძლიერ ქარს შეუძლია გადაიტანოს ქვიშა და მტვერი, ხოლო მსუბუქ ბრიზს კი მხოლოდ მტვერი;
* *დალექვა:* დალექვა წარმოადგენს პროცესს რომლის მეშვეობითაც ნალექი ილექება გადატანილი მასალიდან. ნალექები ილექება ქარიდან ან მიმდინარე წყლიდან, როდესაც მათი დინებები ნელდება, რადგან სიჩქარის შემცირებასთან ერთად ისინი კარგავენ ნალექის გადატანის უნარს. ნალექი ყინულისგან ილექება მისი დნობის შედეგად.
* *გაქვავება:* გეოლოგები გაქვავებას უწოდებენ ფხვიერი ნალექის მყარ ქანად გარდაქმნის პროცესს. კლასტური ნალექის გაქვავების პროცესი შედგება ორი საფეხურისან: პირველი, როდესაც ნალექი დამარხულია, ზემოდან არსებული მასალის მასით გამოწვეული წნევა კუმშავს კლასტებს შორის მოქცეულ წყალსა და ჰაერს და კლასტები ერთმანეთს ეკვრის მჭიდროდ. შეკუმშული ნალექი შესაძლებელია შემდეგ მიებას ერთმანეთს ცემენტაციის საშუალებით. ცემენტი შეიცავს მინერალებს, რომლებიც ილექება მიწისქვეშა წყლებიდან და ავსებს კლასტებს შორის ცარიელ ადგილებს. ცემენტი მოქმედებს წებოს მსგავსად და ერთმანეთთან აკავშირებს დეტრიტებს.

***კლასტური დანალექი ქანის კლასიფიკაცია***

გეოლოგები კლასტური დანალექი ქანის კლასიფიკაციას ახდენენ შემდეგი მახასიათებლების მიხედვით:

* *კლასტის ზომა*: ზომა აღნიშნავს ქანის შემადგენელი კლასტების დიამეტრს. ქვემოთ მითითებულია კლასტის ზომების მიხედვით დახარისხებული მასალები, ყველაზე მსხვილმარცვლოვანიდან წვრილმარცვლოვანამდე: ლოდი, მსხვილი ხრეში, ხრეში, ქვიშა, სილა და თიხა.
* *კლასტის შემადგენლობა*: კლასტები შესაძებელია შეიცავდეს ცალკეულ მინერალებს ან ქანის ფრაგმენტებს;
* *კუთხოვნება და სფეროსებურობა*: კუთხოვნება მიუთითებს ხარისხზე, თუ რამდენად გლუვი თუ დაკუთხული კიდეები და კუთხეები აქვს კლასტს. სფეროსებურობა კი მიუთითებს ხარისხზე, თუ რამდენად თანაბარზომიერია კლასტი თუ იგი წააგავს სფეროს.
* *სორტირება*: კლასტების სორტირება მიუთითებს ხარისხზე თუ რამდენად ერთი ზომისაა კლასტები ქანში.
* *ცემენტის თვისებები:* ყველა კასტურ დანალექ ქანს არ გააჩნია ერთნაირი ცემენტი. ზოგიერთ მათგანში ცემენტი უფრო დიდი რაოდენობით შეიცავს კვარცს, ხოლო ზოგი კი კალციტს.

ამ მახასიათებლების მიხედვით შეგვიძლია განვასხვავოთ კლასტური დანალექი ქანის რამოდენიმე ძირითადი ტიპი, რომლებიც წარმოდგენილია ქვემოთ ცხრილში. ცხრილში მოცემულია ქანის გავრცელებული სახელები, თუმცა სპეციალისტები ზოგჯერ იყენებენ სხვა სახელებსაც, კლასიფიკაციის უფრო კომპლექსური სქემის საფუძველზე:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **კლასტის ზომა** | **კლასტის მახასიათებელი** | **ქანის სახელი (ალტერნატიული სახელი)** |
| მსხვილმარცვლოვანი და ძალიან მსხვილმარცვლოვანი | მომრგვალებული კენჭები და მსხვილი კენჭები  კუთხოვანი კლასტები  დიდი კლასტები ტენიან ქანში | კონგლომერატი  ბრექჩია  დიამიქტიტი |
| საშუალო ზომის მარცვლები | ქვიშის ზომის მარცვლები   * მხოლოდ კვარცის მარცვლები * კვარცი და მინდვრის შპატი * ქვიშის ზომის ქანის ფრაგმენტები * ქვიშა და ქანის ფრაგმენტები თიხით მდიდარ ქანში | ქვიშაქვა   * კვარცული ქვიშაქვა (კვარცული არენიტი) * არკოზი * ლითიური ქვიშაქვა * ვაკა (არაოფიციალური სახელი: რუხი ვაკა) |
| წვრილმარცვლოვანი | სილის ზომის კლასტები | ალევრიტი |
| ძალიან წვრილმარცვლოვანი |  | ფიქალი (თუ იგი იშლება პლასტიკურ ფურცლებად)  არგილიტი (თუ იგი არ იშლება პლასტიკურ ფურცლებად) |

დანალექი ქანის მახასიათებლები იძლევა მინიშნებას ნალექის წყაროს და დალექვის გარემოს შესახებ. მაგალითად, განვიხილოთ თუ რა გზას გადის ქანის ფრაგმენტები, როდესაც ისინი ნელ–ნელა მოძრაობს კლდეებიდან ზღვის სანაპიროსკენ მდინარის საშუალებით. მარშრუტის გასწვრივ წარმოიქმნება სხვადასხვა სახის ნალექები და მთლიანობაში ნალექი იცვლის მის მახასითებლებს რაც უფრო შორდება იგი მის წყაროს. ნალექის თითოეული ეს ტიპი, თუ იგი დამარხულია და გაქვავებულია, წარმოქმნის სხვადასხვა სახის დანალექ ქანს.

დასაწყისითვის წარმოვიდგინოთ, რომ ქანის ზოგიერთი დიდი ბლოკი გორდება კლდის ქანობზე და ეჯახება უკვე ძირში დაყრილ სხვა ბლოკებს. შეჯახების შედეგად ეს ბლოკები იშლება და წარმოქმნის მჭრელ კიდეებიანი კუთხოვანი ფრაგმენტების გროვას. თუ ეს ფრაგმენტები შეცემენტდება, შედეგად წარმოიქმნება ბრექჩია. მოგვიანებით, შტორმს ეს ფრაგმენტები (კლასტები) მიაქვს ქვემოთ აბობოქრებულ მდინარეში. წყალში კლასტები ეჯახება ერთმანეთს და მდინარის კალაპოტს და ისინი იშლება კიდევ უფრო მცირე ზომის ნაწილებად და მათ სტყდებათ მჭრელი კიდეები. კუთხოვანი კლასტები თანდათანობით გარდაიქმნება მომრგვალებულ კლასტებად. როდესაც მდინარის დინება წყნარდება, კენჭები და მსხვილი კენჭები წყვეტს მოძრაობას და წარმოქმნიან ხრეშის გროვას. ამ მომრგვალებული კლასტების დამარხვით და გაქვავებით წარმოიქმნება კონგლომერატი.

***ბიოქიმიური და ორგანული დანალექი ქანები***

დედამიწის სისტემა მოიცავს ცოცხალ ორგანიზმებსა და ფიზიკურ პლანეტას შორის ურთიერთკავშირს. უამრავ ცოცხალ ორგანიზმს განუვითარდა უნარი შეითვისოს გახსნილი იონები ზღვის წყლიდან, რათა ჩამოუალიბდეთ მყარი ნიჟარები. როდესაც ორგანიზმები კვდებიან მათ ნიჟარებში არსებული მყარი ნივთიერებები უერთდება ბიოქიმიურ დანალექ ქანს. მცენარეების, წყალმცენარეების, ბაქტერიებისა და პლანქტონის ცოცხალი უჯრედებიც ასევე უზრუნველყოფენ ნივთიერებებს, რომლებიც შესაძლებელია გაერთიანდეს დანალექ ქანებში. ამ ნივთიერებებიდან ფორმირებული ქანები შეიცავს ქიმიურ ნივთიერებებს და ამიტომ მათ ეწოდებათ ორგანული დანალექი ქანები. გეოლოგები განასხვავებენ ბიოქიმიური და ორგანული დანალექი ქანების რამოდნიმე განსხვავებულ ტიპს. ესენია:

***კირქვა (ბიოქიმიური).*** რიფებში ცურვისას მყვინთავები შეამჩნევენ მარჯნისა და წყალმცენარეების გასაოცარ მრავალფეროვნებას, რომელთა გარშემოც ბინადრობენ ისეთი არსებები, როგორიცაა ორსაგდულიანი მოლუსკები, ხამანწკები, ლოკოკინები (მუცელფეხიანი მოლუსკები) და ბრაქიოპოდები და რომელთა ზემოთაც ტივტივებს პლანქტონი. მიუხედავად იმისა, რომ ისინი გარეგნულად ძალიან განსხვავდებიან ერთმანეთისგან, ამ ორგანიზმების უმეტესობას ერთიანებს ერთი მახასიათებელი: ისინი ქმნიან მყარ ნიჟარებს კალციუმის კარბონატისგან (CaCO3), რომელიც წარმოდგენილია მინერალი კალციტის ან არაგონიტის სახით. ორგანიზმების სიკვდილის შემდეგ ნიჟარები რჩება და ისინი შესაძებლია დაგროვდეს. ძირითადად ამ მასალისგან ფორმირებული ქანები წარმოადგენს კირქვის ბიოქომიურ ვარიანტს.

***ორგანული (ნახშირბადოვანი) ქანები: ნახშირი და ფიქლის ნავთობი.*** მეცხრამეტე საუკუნის სამრეწველო რევოლუცია დამოკიდებული იყო ორთქლის ძრავების მიერ გამომუშავებულ ენერგიაზე. ამ ძრავებისთვის საწვავის უზრუნველსაყოფად ტყეების განადგურების შემდეგ, მეწარმეები გადავიდნენ ნახშირზე, როგოც საწვავზე. ნახშირი წარმოადგენს შავი ფერის, აალებად ქანს, რომლის 50%–ს შეადგენს ნახშირბადი და შესაბამისად მნიშვნელოვნად განსხვავდება აქამდე განხილული სხვა დანალექი ქანებისგან. ნახშირის ნახშირბადი გვხვდება სუფთა ნახშირბადის სახით ან ორგანულ ქიმიურ ნივთიერებებში. ნახშირს განვიხილავთ დანალექ ქანად იმიტომ, რომ იგი შეიცავს ფენებში დალექილ დეტრიტს.

***ტრავერტინი (ქიმიური კირქვა).*** ტრავერტინი წარმოადგენს ქანს, რომელიც შედგება მიწის ზედაპირზე ცხელ ან ცივ წყაროებში ან გამოქვაბულების კედლებზე ჩაჟონილი მიწისქვეშა წყლებიდან ქიმიური დალექვით ფორმირებული კრისტალური კალციუმის კარბონატისგან. რა იწვევს ამგვარ დალექვას? ეს ხდება ნაწილობრივ მაშინ, როდესაც ხდება მიწისქვეშა წყლების დეგაზირება, ანუ, მიწისქვეშა წყლებში გახსნილი ნახშირბადის დიოქსიდი ბუშტუკების სახით გამოეყოფა ხსნარს. ნახშირბადის დიოქსიდის მოცილებით წყლის უნარი შეაკაოს გახსნილი კარბონატი სუსტდება. დალექვა ასევე ხდება მაშინ, როდესაც წყალი ორთქლდება და შედეგად იზრდება კარბონატის კონცენტრაცია. უამრავი მიკრობი ცხოვრობს გარემოში, სადაც გროვდება ტრავერტინი და აქედან გამომდინარე, ბიოლოგიური აქტივობაც ასევე ხელს უწყობს დალექვის პროცესს. წყაროებში წარმოქმნილი ტრავერტინით ფორმირდება რამოდენიმე ან ასობით მეტრი სისქის ტერასები და ბორცვები. გამოქვაბულებში ტრავერტინი წარმოქმნის ულამაზეს და კომპლექსურ სტრუქტურებს – სპელეოთემებს.

***დანალექი სტრუქტურები***

გეოლოგები იყენებენ ტერმინს „დანალექი სტრუქტურები“ დანალექი ქანების ფენებად განლაგებისთვის, დალექვისას ფენებზე ფორმირებული ზედაპირული მახასიათებლებისთვის და ფენებში მარცვლების განლაგებისთვის. ქვემოთ განვიხილავთ რამოდენიმე ყველაზე მნიშვნელოვან ტიპს.

***დაშრევება და სტრატიფიკაცია***

ნალექის ერთ შრეს ან დანალექ ქანს შესამჩნევი ზედა და ქვედა ნაწილით ეწოდება შრე; ორ შრეს შორის ზღვარს ეწოდება დაშრევების სიბრტყე; რამოდენიმე შრე ერთად ქმნის შრეებს, ხოლო შრეების რიგში ნალექის მთლიანად განთავსებას ეწოდება დაშრევება, ან სტრატიფიკაცია.

რატომ ხდება დაშრევება? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად საჭიროა დავფიქრდეთ იმაზე, თუ როგორ ილექება ნალექი. კლიმატის ცვლილება, წყლის სიღრმე, დინების სიჩქარე ან ნალექის წყარო განსაზღვრავს მოცემულ დროს მოცემულ ადგილას დალექილი ნალექის ტიპს. მაგალითად, ერთ ჩვეულებრივ დღეს ნელი დინების მდინარეს შეუძლია გადაიტანოს მხოლოდ ლამი, რომელსაც იგი აგროვებს მდინარის კალაპოტზე. წყალდიდობის დროს, დინება ხდება სწრაფი და მდინარეს გადააქვს ქვიშა და კენჭები და ამიტომ ლამის ფენაზე ფორმირდება ქვიშიანი ხრეშის ფენა. წყალდიდობის შეწყვეტის შემდეგ უფრო მეტი სილა მარხავს ხრეშს და თუ მოხდება მათი გაქვავება და შემდეგ გაშიშვლება დაინახავთ, რომ ისინი წარმოადგენს ალევრიტისა და ქვიშიანი კონგლომერატის ფენების მონაცვლეობას.

გეოლოგიური დროის განმავლობაში, დანალექ გარემოში შესაძლებელია ადგილი ჰქონდეს გრძელვადიან ცვლილებებს. შესაბამისად, შრეების მოცემული თანმიმდევრობა შესაძლებელია მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდეს ზემოთ ან ქვემოთ არსებული შრეებისგან. შრეების თანმიმდევრობას, რომელიც განსხვავებულია საკმაოდ დიდი რეგიონის ფარგლებში, ეწოდება სტრატიგრაფიული ფორმაცია ან უბრალოდ ფორმაცია. მაგალითად, რეგიონში შესაძლებელია წარმოდგენილი იყოს მდინარეების მიერ დალექილი ქვიშაქვისა და ფიქლების შრეების მონაცვლეობა, გადაფარული ზღვის კირქვის შრეებით, რომლებიც დაილექა მოგვიანებით, როდესაც რეგიონი დაიტბორა ზღვის მიერ.

***როგორ ამოვიცნოთ დანალექი გარემო?***

გეოლოგები პირობებს, სადაც დაილექა ნალექები უწოდებენ დანალექ გარემოს. მაგალითები მოიცავს სანაპიროების, მყინვარების და მდინარის გარემოებს. ამ გარემოების იდენტიფიცირებისთვის გეოლოგები დეტექტივების მსგავსად ეძებენ ისეთ მინიშნებებს, როგორიცაა მაგალიათად, მარცვლების ზომა, შემადგენლობა, დახარისხება და კლასტების სიმრგვალე, რომელთა საფუძველზეც შესაძლებელია გავიგოთ თუ რა მანძილზე იქნა გადატანილი ნალექი მისი წყაროდან და დაილექა ის ქარის მიერ, სწრაფი დინების მდინარიდან თუ დამდგარი წყლიდან. მინიშნებები, როგორიცაა მაგალითად ნამარხების შემცველობა და დანალექი სტრუქტურები, შესაძლებელია დაგვეხმაროს იმის გარკვევაში თუ საიდან დაილექა ნალექი, მიწისზევით, სანაპიროდან თუ ზღვის სიღრმეში.

***დანალექი აუზები***

დედამიწის ზედაპირის ნალექების ზედა ფენა მნიშვნელოვნად განსხვავდება სისქის მიხედვით. თუ გაემგზავრებით ცენტრალურ ციმბირში ან სამხრეთ–ცენტრალურ კანადაში, აღმოაჩენთ, რომ დგახართ ვულკანურ და მეტამორფულ ქვეშმდებარე ქანებზე, რომლებიც მილიარდობით წლისაა. ტეხასის სამხრეთ სანაპიროს გასწვრივ, მოგიწევთ გაბურღოთ დანალექი ქანები 15კმ–ზე მეტ სიღრმეზე, სანამ მიაღწევთ ვულკანურ და მეტამოფრულ ქვეშმდებარე ქანებამდე. ნალექების სქელი ფენა ფორმირდება მხოლოდ სპეციფიურ რეგიონებში, სადაც დედამიწის ლითოსფეროს ზედაპირი იძირება ნალექების დაგროვებასთან ერთად. გეოლოგები ლითოსფეროს დაძირვასთან დაკავშირებით იყენებენ ტერმინს „დაჯდომა“, ხოლო ტერმინს „დანალექი აუზი“ კი ნალექებით ამოვსებული ღრმულების აღსანიშნავად.

***დანალექი აუზების ტიპები ფილაქნების ტექტონიკის თეორიის კონტექსტში***

გეოლოგები განასხვავებენ სხვადასხვა ტიპის დანალექ აუზებს იმ ლითოსფეროს ფილაქნის რეგიონის მიხედვით, სადაც ისინი ფორმირდება. განვიხილოთ რამოდენიმე მაგალითი:

* *რიფტული აუზები:*  ისინი წარმოიქმნება კონტინენტურ რღვევებში, რეგიონებში, სადაც ლითოსფერო გაიჭიმა. რღვევის ზრდასთან ერთად ნაპრალის ქანობზე ქანის ბლოკები ცვივა ქვემოთ და წარმოქმნის დაბალი მთის ქედებით შემოსაზღვრულ დაბლობ ადგილებს. ეს ღრმულები ამოვსებულია ნალექებით;
* *პასიურსაზღვრებიანი აუზები:* ისინი წარმოიქმნება იმ კონტინენტების კიდეების გასწვრივ, რომლებიც არ წარმოადგენს ფილის საზღვრებს. მათ ქვეშ განლაგებულია გაჭიმული ლითოსფერო, რღვევის ნარჩენები, რომელთა ევოლუციამაც საბოლოო ჯამში გამოიწვია შუაოკეანური ქედის ფორმირება. პასიურსაზღვრებიანი აუზები წარმოიქმნება იმიტომ, რომ გაჭიმული ლითოსფეროს დაჯდომა გრძელდება მას შემდეგაც, რაც შეწყდება რღვევა და დაიწყება ზღვის ფსკერის სპრედინგი. ისინი ამოვსებულია მდინარეების მიერ ზღვაში ჩატანილი ნალექებით და სანაპიროს რიფებზე წარმოქმნილი ნახშირბადიანი ქანებით.
* *კონტინენტთაშორისი აუზები:* ისინი ფორმირდება კონტინენტების შიგნით თავდაპირველად რღვევაზე დაჯდომის გამო. მათ შეიძლება განაგრძონ დაჯდომა მათი პირველად წარმოშობიდან ასეულობით მილიონი წლის შემდეგაც და ამის მიზეზები ჯერ–ჯერობით არ არის ცნობილი.
* *სანაპირო ზოლის აუზები:* ისინი წქრმოიქმნება მთათა სარტყლის კონტინენტურ მხარეს, რადგან მთათა სარტყლის ზრდასთან ერთად ქანის დიდი ნატეხები ამოდის კონტინენტის ზედაპირზე. ამ ნატეხების სიმძიმე აწვება ლითოსფეროს ზედაპირს და წარმოქმნის სოლისებრ ჩაღრმავებებს მთის ქედის ახლოს, რომლებიც ივსება ქედიდან ეროზიის შედეგად ჩამოყრილი ნალექებით.

***ტრანსგრესია და რეგერსია***

ზღვის დონის ცვლილება მოქმედებს ნალექების წარმოქმნაზე, რომლებიც შეგვიძლია დავინახოთ დანალექ აუზში. ერთ დროს დედამიწის ისტორიის განმავლობაში ზღვის დონემ აიწია რამოდენიმე ასეული მეტრით, წარმოქმნა წყალმარჩხი ზღვები, რომელთაც ჩაძირეს კონტინენტები. ოდესღაც ზღვის დონე დაეცა რამოდენიმე ასეული მეტრით და გააშიშვალ კონტინენტური შელფებიც კი. ზღვის დონის ცვლილებები შესაძლებელია გამოწვეული იყოს რიგი ფაქტორებით, მათ შორის კლიმატის ცვლილებებით, რომელიც აკონტროლებს პოლარული ყინულის საფარში არსებული ყინულის მოცულობას და ასევე ოკეანის აუზების მოცულობასთან დაკავშირებული ცვლილებებით. ზღვის დონის აწევისას, სანაპირო იხევს ხმელეთისკენ. ამ პროცესს ეწოდება ტრანსგრესია. სანაპიროს დახევასთან ერთად იგი ეტაპობრივად იფარება ღრმა წყლის ნალექებით. ზღვის დონის დაცემისას, სანაპირო იხევს ზღვისკენ. ამ პროცესს ეწოდება რეგრესია. ტრანსგრესიის და რეგრესიის პროცესები იწვევს ნალექის დიდი ფართობის მქონე საფარის ფორმირებას.

***დიაგენეზი***

როგორც ვიცით, გაქვავება წარმოადგენს ფართომასშტაბიანი მოვლენის ასპექტს, რომელსაც ეწოდება დიაგენეზი. გეოლოგები ტერმინს „დიაგენეზი“ იყენებენ ყველა იმ ფიზიკურ, ქიმიურ თუ ბიოლოგიურ პროცესთან დაკავშირებით, რომლებიც გარდაქმნის ნალექს დანალექ ქანად და რომელიც ცვლის დანალექი ქანის მახასიათებლებს ქანის ფორმირების შემდეგ.

დანალექ აუზებში დანალექი ქანები შესაძლებელია ჩაიმარხოს ძალიან ღრმად. შედეგად, ქანებზე მოქმედება ძალიან მაღალი წნევა და ტემპერატურა და ისინი კონტაქტში შედიან ცხელ მიწისქვეშა წყლებთან. ამ პირობებში დიაგენეზს შეუძლია გამოიწვიოს ქიმიური რეაქციები ქანში, რომელის შედეგადაც წარმოიშობა ახალი მინერალები და შესაძლებელია ასევე მოახდინოს ცემენტის გახსნა ან დალექვა.

რადგან დედამიწის ზედაპირის ქვეშ წნევა და ტემპერატურა ოზრდება სიღრმის ზრდასთან ერთად, სულ უფრო და უფრო მნიშნელოვანი ხდება ქანებში მიმდინარე ცვლილებებიც. საკმაოდ მაღალი წნევის და ტემპერატურის პირობებში ფორმირდება მინერალების ახალი კოლექცია და/ან მინერალის მარცვლები ლაგდება ერთმანეთის პარალელურად. დანალექ ქანებში დიაგენეზიდან მეტამორფიზმზე გადასვლა ხდება ეტაპობრივად და თავს იჩენს 150-3000C ტემპერატურაზე.

**თავი 6**

**გამოფიტვა და ნიადაგები**

***გამოფიტვა: ნალექების ფორმირება***

გამოფიტვა აღნიშნავს პროცესების კომბინაციას, რომლებიც შლის მყარ ქანს, იწვევს მის ეროზიას და საბოლოო ჯამში გარდაქმნის მას ნალექად. დედამიწის ზედაპირზე გაშიშვლებული ქანი გამოფიტვის შედეგად ადრე თუ გვიან იშლება. გეოლოგები განასხვავებენ ორი ტიპის გამოფიტვას: ფიზიკურს და ქიმიურს.

***ფიზიკური გამოფიტვა***

ფიზიკური გამოფიტვისას, რომელიც ზოგჯერ ასევე აღნიშნავს მექანიკურ გამოფიტვას, მთლიან შლის ქანს შეუკავშირებელ კლასტებად (მარცვლებად ან ლოდებად), რომელთაც ერთობლივად ეწოდებათ ნამსხვრევები ან დეტრიტი. კლასტების ზომის თითოეულ დიაპაზონს გააჩნია სახელი (ცხრილი 1). სხვადასხვა ფაქტორი უწყობს ხელს გამოფიტვას და ამას განვიხილავთ ქვემოთ.

***ნაპრალოვნება****.* დედამიწის ქერქში ღრმად დამარხული ქანები ექვემდებარება უდიდესი წნევის ზემოქმედებას, რაც გამოწვეულია ზემოდან განლაგებული ქანის მასით ან გადამხურავი ქანებით. სიღრმეში ქანები უფრო ცხელია ვიდრე ზედაპირის ახლოს, დედამიწის გეოთერმული გრადიენტის გამო. დიდი ხნის მანძილზე მიმდინარე წყალი, ჰაერი და ყინული დედამიწის ზედაპირიდან გადახვეტს და აცილებს გადამხურავ ქანებს და უწინ სიღრმეში არსებული ქანი ამოდის დედამიწის ზედაპირის ახლოს. ამის შედეგად, ამ ქანის შემკუმშავი წნევა მცირდება და ქანი ცივდება. წნევისა და ტემპერატურის ცვლილება უმნიშვნელოდ ცვლის ქანის ფორმას. ამგვარი ცვლილებები იწვევს მყარი ქანის დაშლას. გადამხურავი ქანების მოცილების ან გაგრილების გამო ქანში წარმოქმნილ ბუნებრივ ბზარებს ეწოდებათ ნაპრალები.

თითქმის ყველა გაშიშვლებულ ქანს აქვს ნაპრალები. ზოგიერთი ნაპრალი წრფივია, ზოგი ტალღოვანი, ხოლო ზოგი კი უსწორმასწორო ფორმის. დიდი ზომის გრანიტის მაგმური წარმონაქმნები შეიძლება დაიყოს ხავის ფურცლების მსგავს ფენებად ნაპრალების გასწვრივ, რომლებიც მდებარეობს მთის ზედაპირის პარალელურად; ამ პროცესს ეწოდება განშრევება. თუმცა, დანალექი ქანების ფილები იშლება ოთხკუთხა ბლოკებად. მათი ორიენტაციის მიუხედავად, ნაპრალების ორიენტაცია შლის უწინ დაუზიანებელ ძირითად ქანს ბლოკებად. საბოლოო ჯამში ეს ბლოკები ჩამოიყრება გაშიშვლებული ადგილებიდან, საიდანაც ისინი წარმოიქმნა. გარკვეული დროის შემდეგ ისინი შესაძლოა დაგროვდეს დელუვიურ ფერდობში, დისლოკაციურ ბრექჩიაში ფერდობის ძირში.

***ცხრილი 1. მარცვლის დიამეტრის მიხედვით კლასიფიცირებული კლასტები***

|  |  |
| --- | --- |
| ლოდები | 26 მილიმეტრზე მეტი (მმ) |
| მსხვილი ხრეში | 64-256 მმ |
| კენჭები | 2-64 მმ |
| ქვიშა | 1/16-2 მმ |
| ლამი | 1/256 – 1/16მმ |
| ტალახი | 1/256 მმ–ზე ნაკლები |

***ყინვით გამოფიტვა.*** გაყინული წყალი ხეთქავს მილებსა და ბოთლებს, რადგან წყალი გაყინვისას ფართოვდება და აწვება კონტეინერის კედლებს. მსგავსი მოვლენა ხდება ქანებშიც. როდესაც ნაპრალში ჩასული წყალი იყინება, იგი აწვება ნაპრალის კედლებს და შესაძლოა გამოიწვიოს ნაპრალის გაფართოება.

***ფესვების გამოსოლვა****.* ალბათ ოდესმე გინახავთ თუ როგორ ამსხვრევს ძველი ხის ფესვები ტროტუარს. მიუხედავად იმისა, რომ ხის ფესვები ერთი შეხედვით არ ჩანს ძლიერი, მათ შეუძლიათ ნაპრალის გახსნა და ამ პროცესს ეწოდება ფესვების გამოსოლვა.

მარილის გამოსოლვა. მშრალ კლიმატურ პირობებში, გახსნილი მარილი მიწისქვეშა წყლებში ილექება და იზრდება კრისტალების სახით ქანში არსებულ ფორებში. ამ პროცესის დროს გარშემო არსებული მარცვლები გამოიდევნებიან და ეს იმდენად ასუსტებს ქანს, რომ ქარისა და წვიმის ზემოქმედების შედეგად ქანი იშლება მარცვლებად. იგივე მოვლენა ხდება სანაპირო ზონებშიც, სადაც მარილის ნისლი აღწევს ქანში და შემდეგ შრება.

***თერმული გაფართოება****.* როდესაც ტყის ინტენსიური ხანძრებით გამოწვეული სიცხე აცხობს ქანს, ქანის გარეთა შრე ფართოვდება. გაგრილებისას ფენი იკუმშება. ეს ცვლილება წარმოქმნის საკმარის ძალებს ქანში იმისთვის, რომ ქანის გარეთა მხარე დაიშალოს ფურცლისმაგვარ ნაწილებად.

***ცხოველების საშუალებით გამოფიტვა****.* ცხოველებიც ხელს უწყობენ ფიზიკურ გამოფიტვას: მიწაში მცხოვრები არსებები, იქნება ეს ჭიაყელები თუ თრიები, ხსნიან ნაპრალებს და გადაადგილებენ ქანის ფრაგმენტებს. და წინა საუკუნეში, ადამიანები გახდნენ ალბათ ფიზიკური გამოფიტვის უმთავრესი მიზეზები. საბადოების, საძირკვლების, კარიერების თუ გზის ფუნდამენტების გათხრისას და აფეთქებისას, ხდება ქანის დაშლა და გადაადგილება, რომელიც შესაძლოა სხვა შემთხვევაში მილიონობით წლის განმავლობაში დარჩენილიყო დაუზიანებელი.

***ქიმიური გამოფიტვა***

ქიმიური გამოფიტვა მიუთითებს ქიმიურ რეაქციებზე, რომლებიც ცვლიან ან შლიან მინერალებს, როდესაც ქანი კონტაქტში შედის წყლის ხსნარებთან ან ჰაერთან. ქვემოთ წარმოდგენილია ძირითადი რეაქციები, რომლებიც ჩართულია ქიმიური გამოფიტვის პროცესში:

* *გახსნა:* ქიმიურ გამოფიტვას, რომლის დროსაც მინერალები იხსნება წყალში, ეწოდება გახსნა. გახსნა ძირითადად ეხება მარილებს და კარბონატის მინერალებს, თუმცა კვარციც უმნიშნელოდ იხსნება. ზოგიერთი მინერალი, მაგალითად ჰალიტი შესაძლოა სწრაფად გაიხსნას სუფთა წვიმის წყალში, მაგრამ ზოგიერთი კი, მაგალითად კალციტი სწრაფად იხსნება მხოლოდ მაშინ თუ წყალი მჟავეა, ანუ როდესაც იგი შეიცავს წყალბადის იონებს. მჟავე წყალი რეაქციაში შედის კალციტთან და წარმოქმნის CO2–ის ხსნარსა და ბუშტუკებს.

როგორ ხდება წყალი დედამიწის ზედაპირის ახლოს მდებარე ქანში მჟავე? წვიმის წყალი ხსნის ნახშრბადის დიოქსიდის გაზს ატმოსფეროში და როდესაც წყალი ჩადის ნიადაგში, რომელიც შეიცავს ორგანულ ნარჩენებს, იგი რეაქციაში შედის ამ ნარჩენებთან. ორივე პროცესისას წარმოიქმნება ნახშირმჟავა. კალციტების ხსნადობიდან გამომდინარე, კირქვა და მარმარილო (ორივე შეიცავს კალციტს) იხსნება, აფართოებს ნაპრალებს და ხელს უწყობს ქვაბულების წარმოქმნას.

* *ჰიდროლიზი:*  ჰიდროლიზის დროს, წყალი ქიმიურ რექაციაში შედის მინერალებთან და შლის მათ. მაგალითად, კალიუმიანი მინდვრის შპატი, ძირითადი მინერალი გრანიტში რეაქციაში შედის მჟავე წყალთან და წარმოქმნის კაოლინიტს და სხვა გახსნილ იონებს.

ჰიდროლიზის რეაქციები შლის არა მარტო მინდვრის შპატს, არამედ ბევრ სხვა სილიკატების შემცველ მინერალებსაც, მაგალითად, ამფიბოლიტს, პიროქსენს, ქარსს და ქრიზოლიტს, რომელთაგან ყველა მათგანი რეაქციაში შედის ნელა და გარდაიქმნება სხვადასხვა ტიპის თიხად. კვარციც ასევე ექვემდებარება ჰიდროლიზს, თუმცა ისე ნელა, რომ იგი უმეტეს კლიმატურ პირობებში გადაურჩება ხოლმე გამოფიტვას.

* *დაჟანგვა.* რეაქციას, რომლის დროსაც ელემენტი კარგავს ელექტრონებს ქიმიკოსები უწოდებენ დაჟანგვის რეაქციას, რადგან ამგვარი დანაკარგი, როგორც წესი თავს იჩენს მაშინ, როდესაც ელექტრონები უერთდებიან ჟანგბადს. ამის მაგალითს წარმოადგენს რკინის დაჟანგვა. დაჟანგვის რეაქცია ქანებში გარდაქმნის რკინის შემცველ მინერალებს (მაგ. ბიოტიტსა და პირიტს) სხვადასხვა რკინის ოქსიდიანი და რკინის ჰიდროქსიდიანი მინერალების მუქ ყავისფერ ნარევად.
* *ჰიდრატაცია:* ჰიდრატაცია, ანუ მინერალების კრისტალური სტრუქტურის მიერ წყლის შთანთქმა იწვევს ზოგიერთი მინერალის (მაგ. თიხის გარკვეული ტიპები) გაფართოებას.

ყველა მინერალი არ ექვემდებარება ქიმიურ რეაქციას ერთიდაიმავე სიჩქარით. ზოგიერთს სჭირდება თვეები და წლები, ზოგიერთებს კი მილიონობით წელიც კი. მაგალითად, ტენიანი კლიმატის პირობებში ჰალიტი და კალციტი იფიტება სილიკატების შემცველ უმეტეს მინერალებზე სწრაფად.

არც ისე დიდი ხანია გასული მას შემდეგ, რაც გეოლოგიის სპეციალისტები თვლიდნენ ქიმიურ გამოფიტვას მკაცრად არაორგანულ ქიმიურ რეაქციად, რომელიც მიმდინარეობს ცოცხალი ორგანიზმებისგან დამოუკიდებლად. მაგრამ ახლა ჩვენ უკვე ვიცით, რომ ცოცხალი ორგანიზმები მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ ქიმიური გამოფიტვის პროცესში.

***ნიადაგი***

ნიადაგი შედგენა ქანის ან ნალექისგან, რომელიც დროთა განმავლობაში შეიცვალა ორგანულ ნივთიერებებთან და წვიმის წყალთან ფიზიკური და ქიმიური ურთიერთქმედების შედეგად, რათა წარმოქმნილიყო სუბსტრატი, რომელიც ხელს უწყობს მცენარეების ზრდას. ნიადაგი წარმოადგენს ჩვენი პლანეტის ერთ–ერთ ყველაზე ღირებულ რესურსს, რომლის გარეშეც წარმოუდგენელია სოფლის მეურნეობა, ტყის მეურნეობა, მეცხოველეობა ან მებაღეობა.

***როგორ წარმოიქმნება ნიადაგი?***

დედამიწის ზედაპირზე ან მის ქვეშ უშუალო სიახლოვეს მიმდინარე სამი პროცესი ხელს უწყობს ნიადაგის წარმოქმნას. პირველი, ქიმიური და ფიზიკური გამოფიტვა წარმოქმნის ფხვიერ ნამსხვრევებს, ახალი მინეარლის მარცვლებს და იონებს ხსნარში. მეორე, წვიმის წყალი აღწევს ნამსხვრევებში და გადააქვს გახსნილი იონები და თიხის ფანტელები ქვემოთ. ზონას, სადაც ხდება აღნიშნული ქვემოთ გადატანა ეწოდება გამოტუტვის ზონა. შემდეგ, უფრო ქვემოთ, ახალი მინერალის კრისტალები ილექება უშუალოდ წყლიდან ან წარმოიშობა წყლის ნამსხვრევებთან რეაქციაში შესვლის შედეგად. ასევე, წყალი ტოვებს წვრილმარცვლოვანი თიხის მასას. ზონას, სადაც ხდება ახალი მინერალებისა და თიხის დაგროვება, ეწოდება დაგროვების ზონა. მესამე, მიკრობები, სოკოები, მცენარეები და ცხოველები ურთიერთქმედებენ ნალექებთან მჟავების წარმოქმნით, რომელიც ფიტავს მარცვლებს საკვები ნივთიერებების ატომების შთანთქმით და ორგანული ნარჩენების დატოვებით. მცენარეთა ფესვები და მიწაში მცხოვრები ცხოველები აფხვიერებენ და შლიან ნიადაგს, ხოლო მიკრობები ახდენენ მინერალის მარცვლების მეტაბოლიზაციას და გამოათავისუფლებენ ქიმიურ ნივთიერებებს,

ზემოთაღნიშნული პროცესების შედეგად წარმოიქმნება ნიადაგი. ნიადაგის მახასიათებლები ძალიან განსხვავდება საწყისი მასალისგან. უნდა აღინიშნოს, რომ დედამიწის სისტემის ბიოლოგიური და ფიზიკური კომპონენტები მნიშვნელოვნად ურთიერთქმედებენ ნიადაგში. რეალურად, ნიადაგები წარმოადგენ სახლს უამრავი ცოცხალი ორგანიზმისთვის: თბილ რეგიონებში ტენიანი ნიადაგის ერთ კუბური სანტიმეტრში ცხოვრობს 1 მილიარდზე მეტი ბაქტერია და 1 მილიონი უმარტივესი ცხოველი.

გამომდინარე იქიდან, რომ ნიადაგის წარმომქმნელი სხვადასხვა პროცესი მიმდინარეობს სხვადასხვა სიღრმეზე, ნიადაგი ჩვეულებრივ წარმოქმნის ერთმანეთისგან გამორჩეულ ზონებს, რომლებიც ცნობილია ნიადაგის ჰორიზონტების სახელით. განვიხილოთ ნიადაგის თეორიული ჭრილი ზედა ფენიდან ქვედამდე ზომიერი კლიმატის ტყეებში ფორმირებული ნიადაგის მაგალითზე. ყველაზე ზედა ჰორიზონტი არის O–ჰორიზონტი (პრეფიქსი „O“ აღნიშნავს ორგანულს), რომელსაც სახელი ეწოდა იქიდან გამომდინარე, რომ იგი მთლიანად შედგება ორგანული ნივთიერებებისგან და შეიცავს მინერალურ ნივთიერებებს ძალიან მცირე ოდენობით. O–ჰორიზონტის ქვეშ მდებარეობს A–ჰორიზონტი, სადაც ჰუმუსი (ნეშომპალა) დაიშალა და შეერია მინერალების მარცვლებს (თიხა, სილა და ქვიშა). A–ჰორიზონტში შეღწეული წყალი იწვევს ქიმიური გამოფიტვის რეაქციებს და წარმოიქმნება ხსნარში იონები და ახალი თიხის მინერალები. ქვემოთ მიმავალ წყალს თან გადააქვს ხსნადი ქმიური ნივთიერებები და წვრილმარცვლოვანი თიხა უფრო ღრმად, ზედაპირის ქვეშ მდებარე ფენებში. O და A წარმოადგენს მუქი რუხიდან მოშაო – მოყავისფრო ფერის ზედაპირის ზედა ფენას, ნიადაგის ნაყოფიერ ფენას, რომელსაც ამუშავებენ ფერმერები მოსავლის მისაღებად. ზოგიერთ ადგილას A–ჰორიზონტს ქვემოთ მოსდევს E–ჰორიზონტი, ნიადაგის ფენა, რომელიც დაექვემდებარა მნიშვნელოვან გამოტუტვას, მაგრამ ჯერ არ შერევია ორგანულ ნივთიერებებს. უნდა აღინიშნოს, რომ ჩვენი აღწერილობიდან გამომდინარე O, A და E ნიადაგები წარმოადგენს გამოტუტვის ზონას, ხოლო B ჰორიზონტი კი ქმნის დაგროვების ზონას.

და ბოლოს, ზედაპირის ჭრილის ძირში წარმოდგენილია C–ჰორიზონტი, რომელიც შედგება სუბსტრატიდან მიღებული ნივთიერებებისგან, რომელიც ქიმიურად გამოიფიტა და დაიშალა, თუმცა ჯერ არ დაქვემდებარებია გამოტუტვას ან აკუმულაციას. C–ჰორიზონტი მიემართება ქვემოთ გამოუფიტავი ძირითადი ქანისკენ ან გამოუფიტავი ნალექისკენ.

***ნიადაგის კლასიფიკაცია***

მათი განვითარებისა და შემადგენლობის საფუძველზე ნიადაგები განსხვავდება მათი ტექსტურის, აგებულების და ფერის მიხედვით. ნიადაგის ტექსტურა ასახავს ქვიშის, სილის და თიხის მარცვლის ზომის მარცვლების ფარდობით პროპორციას ნიადაგში. კულტურების უმეტესობის მოსაყვანად ფერმერები ამჯობინებენ მათ დათესვას თიხნარში, ნიადაგის ტიპი, რომელიც შეიცავს 10-30% თიხას და დანარჩენს კი სილას და ქვიშას. თიხნარში შესაძლებელია დარჩეს ფორები და წყალი და ჰაერი ადვილად მოძრაობს მათში. დიდი ოდენობით თიხის შემცველ ნიადაგებში თიხა იკვრება და ზღუდავს წყლის მოძრაობას. ნიადაგის სტრუქტურა მიუთითებს ხარისხზე, თუ რამდენად ეკვრის ნიადაგის მარცვლები ერთმანეთს ლოშტების ან ბელტების წარმოსაქმნელად, რასაც ნიადაგის სპეციალისტები უწოდებენ ნიადაგის კოლტებს (ლათინური სიტყვიდან *pedo*–ნიადაგი). ნიადაგის განვითარებასთან ერთად სტრუქტურა იცვლება, რადგან იგი დამოკიდებულია თიხის და ორგანული ნივთიერებების შემცველობაზე და ორივე მათგანი დროთა განმავლობაში ექვემდებარება ცვლილებებს. ეს ნივთიერებები განაპირობებს ნიადაგის წებოვნებას. ნიადაგის ფერი ასახავს მის შემადგენლობას: ორგანული ნივთიერებებით მდიდარი ნიადაგი რუხი ან შავი ფერისაა, ორგანული ნივთიერებებით ღარიბი და კალციტით მდიდარი ნიადაგი მოთეთრო ფერისაა, ხოლო რკინით მდიდარი ნიადაგი კი წითელი ან ყვითელი ფერის.

***ნიადაგის ეროზია***

როგორც უკვე ვიცით, ნიადაგს სჭირდება დრო ფორმირებისთვის და აქედან გამომდინარე ნიადაგი, სადაც შესაძლებელია მოსავლის მოყვანა ან ტყეების გაშენება უნდა ჩავთვალოთ ბუნებრივ რესურსად, რომლსაც სჭირდება დაცვა. თუმცა, სასოფლო–სამეურნეო საქმიანობებები, საძოვრების ბოროტად გამოყენება და ტყეების ჭრა იწვევს ნიადაგის განადგურებას. სასოფლო–სამეურნეო კულტურები სწრაფად აცლიან ნიადაგს საკვებ ნივთერებებს და თუ არ მოხდება მათთვის ადგილის შეცვლა, ნიადაგში აღარ დარჩება მცენარეების სიცოცხლისთვის საკმარისი საკვები ნივთიერებები. როდესაც ბუნებრივი მცენარეული საფარი ქრება, ნიადაგის ზედაპირი ხდება დაუცველი ქარისგან და წყლისგან და შედეგად იგი გაირეცხება წყლით ან ქარი მას აიღებს მტვრის სახით. ამას ეწოდება ნიადაგის ეროზია, ანუ მდინარე წყლებისა ან ქარის მიერ ნიადაგის აღგვა. ადამიანების საქმიანობა 10-100–ჯერ აჩქარებს ნიადაგის ეროზიის ტემპს და ეს მაჩვენებელი მნიშვნელოვნად აჭარბებს ნიადაგის ფორმირების ტემპის მაჩვენებელს. სიტუაციას ასევე ართულებს გვალვებიც.

განსაკუთრებით აღსანიშნავია წვიმიანი ტყეების განადგურების შედეგები ნიადაგთან დაკავშირებით. წვიმიან ტყეებში მცენარეების ზრდა უზრუნველყოფს საკმარისი ორგანული ნარჩენების წარმოქმნას ხეების ზრდის უზრუნველსაყოფად. მაგრამ ტყის გაკაფვის ან სასოფლო–სამეურნეო საქმიანობისთვის მისი გაწმენდის შემთხვევაში, ჰუმუსი სწრაფადვე ქრება და რჩება ლატერიტი, რომელიც შეიცავს ძალიან მცირე ოდენობით საკვებ ნივთიერებებს. სასოფლო–სამეურნეო კულტურები იმდენად სწრაფად ითვისებს საკვებ ნივთიერებებს, რომ ნიადაგი ერთ–ორ წელიწადში ხდება უნაყოფო, სოფლის მეურნეობისთვის და წვიმიანი ტყეების ხეების ხელახალი დარგვისთვის გამოუსადეგარი.

ნიადაგის ეროზია წარმოადგენს უამრავი პრობლემიდან მხოლოდ ერთს, რასაც ვაწყდებით. სასუქის, პესტიციდების და ჰერბიციდების გადაჭარბებული გამოყენება, ასევე სხვადასხვა ტოქსიკური ნივთიერებების დაღვრა აბინძურებს ნიადაგს. გადამეტებულმა ირიგაციამ მშრალი კლიმატის რეგიონებში ნიადაგი შესაძლებელია გახადოს ძალიან მარილინი მცენარეების გასაშენებლად. საბედნიეროდ ადამიანებმა გააცნობიერეს ნიადაგის მნიშნელობა და იკვლევენ მეთოდებს მის დასაცავად. უამრავ ქვეყანაში არსებობს ნიადაგის დაცვის სააგენტოები.

**თავი 7**

**მეტამორფული ქანები**

***შესავალი***

თანამედროვე ტერმინოლოგიით **მეტამორფული ქანი** (“meta“–ბერძნ. “ცვლილება“, “morphe”-“ფორმა“) ისეთი ქანია, რომელიც წარმოიშობა როცა პირველადი ქანი ანუ **პროტოლითი** (დედაქანი) გარემოს ცვლილების გამო თავის მყარ მდგომარეობას იცვლის. ცვლილების ამ პროცესს **მეტამორფიზმი** ეწოდება. მეტამორფული ქანი მაგმას გამყარებით არ წარმოიქმნება. გეოლოგები მაგმას გამყარებით წარმოქმნილ ქანებს ვულკანური წარმოშობის ქანებად მიიჩნევენ. სიტყვით “ცვლილება“ ვგულისხმობთ, რომ მეტამორფიზმის შედეგად წარმოიქმნება ახალი, პროტოლითში (დედაქანში) არ არსებული, მინერალები ან/და სტრუქტურა (მინერალების მარცვლების განლაგება). “გარემოს ცვლილება“ გულისხმობს, რომ მეტამორფიზმი ხდება, როცა პროტოლითი (დედაქანი) განიცდის ტემპერატურის და/ან წნევის მატებას ან დაცემას, იკუმშება და გადაადგილებით დეფორმირდება ან ძალიან ცხელი წყლით რეაგირებს. ვინაიდან მეტამორფული ქანები ვულკანური ჩანართების მიმდებარედაა განლაგებული, გამოდის, რომ მეტამორფიზმს ადგილი აქვს, როცა ამგვარი ჩანართით გამოყოფილი სიცხოვლე “ხარშავს“ ქანს, რომელშიც ის არის. რადგანაც ჩანართების არმქონე მეტამორფულ ქანებს დიდ ტერიტორიებზე ვხვდებით, შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ მეტამორფიზმი შესაძლოა ღრმად დაძირულმა ქანმაც განიცადოს, როგორც ეს მთის წარმოქმნისას ხდება ხოლმე.

მეტამორფიზმის ზუსტი დახასიათების მიზნით გეოლოგები დიდი ხანია საველე კვლევებს, ლაბორატორიულ ექსპერიმენტებსა და თეორიულ გაანგარიშებებს მიმართავენ. ამ თავში სწორედ მათ მიერ მიღებულ შედეგებს წარმოგიდგენთ. ვიწყებთ მეტამორფიზმის მიზეზებითა და იმით, თუ რას ეფუძნება მეტამორფული ქანების კლასიფიკაცია. დაბოლოს, ვიხილავთ გეოლოგიურ გარემოს, რომელშიც ამგვარი ქანები წარმოიქმნება. მეტამორფული ქანების სიღრმისეული შესწავლა მხოლოდ ფილების ტექტონიკის თეორიამ გახადა შესაძლებელი.

***მეტამორფიზმის მიზეზები და შედეგები***

რა არის მეტამორფული ქანი?

რით მივხვდეთ, რომ ქანი მეტამორფულია? ჯერ ერთი, მეტამორფულ ქანებს მეტამორფული სტრუქტურა გააჩნიათ, რაც იმას ნიშნავს, რომ ქანის მარცვლები მყარ ქანში წარმოიქმნებიან.

მეორეც, ასეთ ქანებს, შესაძლოა, მეტამორფული ანუ ახალიმინერალები გააჩნდეთ, რომლებიც მხოლოდ მეტამორფული ტემპერატურისა და წნევის პირობებში წარმოიქმნება. სახელდობრ, მეტამორფიზმის შედეგად შეიძლება წარმოიშვას მინერალების ჯგუფი ანუ მეტამორფული მინერალების გროვა.

მესამეც, მეტამორფულ ქანებს, შესაძლოა, მეტამორფული ფენები ჰქონდეთ ანუ ფილოვანი მინერალების (როგორიცაა ქარსი) პარალელური განლაგებით ან/და ბაცი და მუქი შრეების მონაცვლეობით ხასიათდებოდნენ. ამ მახასიათებლებით მეტამორფული ქანი მისი პროტოლითისგან ისევე განსხვავდება როგორც პეპელა ჭუპრისგან. მაგალითად, წითელი ფიქალთიხის მეტამორფიზმის შედეგად შეიძლება წარმოიქმნას წრფეზე განლაგებული ქარსის ფთილებისა და კაშკაშა ძოწისფერი კრისტალებისგან შემდგარი მეტამორფული ქანი (ნახ. 7.1ა). ერთმანეთთან შედუღაბებული წიაღისეული ფრაგმენტებისგან შემდგარი კირქვის მეტამორფიზმის შედეგად შესაძლოა კალციტის მსხვილი, ერთმანეთზე გადაჭდობილი კრისტალებისგან შემდგარი მეტამორფული ქანი წარმოიქმნას (ნახ.7.1ბ). მეტამორფული სტრუქტურები და მინერალები ძალზე ნელა – ათასობითა თუ მილიონობით წლის განმავლობაში არც თუ იშვიათად რამდენიმე ცალკეული ან ერთობლივად მიმდინარე პროცესის შედეგად წარმოიშობა, რომელთაგან ყველაზე გავრცელებულია:

* *რეკრისტალიზაცია,* რაც მათი შემადგენელი მინერალის შეუცვლელად მარცვლებს ფორმასა და ზომას უცვლის. (ნახ. 7.2 ა)
* *ფაზის შეცვლა,* რის შედეგადაც ერთი მინერალი მეორე, იმავე შემადგენლობის, მაგრამ კრისტალების განსხვავებული სტრუქტურის მინერალად გარდაიქმნება. ფაზის ცვლილება ატომების სხვაგვარ განლაგებას იწვევს.
* რეკრისტალიზაციური მცოცაობას ადგილი აქვს მაშინ, როდესაც ქანი წყლის არსებობის შემთხვევაში ერთი მიმართულებით უფრო ძლიერად იკუმშება, ვიდრე სხვა მხარეს. მინერალის მარცვლები იხსნება, როდესაც მათი ზედაპირები აწვება სხვა მარცვლებს და წარმოქმნის იონებს, რომლებიც მოძრაობენ წყალში სადმე დალექვის მიზნით.
* *პლასტიკურ დეფორმაციას* ადგილი აქვს მაშინ, როდესაც ქანი იკუმშება ან განიცდის ძვრას მაღალ ტემპერატურაზე. ამ პირობებში მინარალები წააგავს რბილ პლასტმასს და იცვლის ფორმას დამსხვრევის გარეშე.

***გახურებით გამოწვეული მეტამორფიზმი***

ქანის გახურებისას, იგი გარდაიქმნება ახალ მასალად – მეტამორფულ ქანად. სიცხის ზემოქმედების შედაგად ატომები იწყებენ უფრო სწრაფად მოძრაობას, ქიმიური ბმები, რომელთა მეშვეობითაც ატომები ებმიან სხვა ატომებს, იწელება და იღუნება. იმ შემთხვევაში თუ ბმები გაიწელება ზედმეტად და გაწყდება, ატომები მოსცილდება მათ თავდაპირველ მეზობელ ატომებს, გადაინაცვლებს მცირედ და წარმოქმნის ახალ ბმებს სხვა ატომებთან. ამ პროცესის განმეორება იწვევს მარცვლებს შორის ატომების ხელახლა განლაგებას ან მარცვლებში ან მარცვლებს გარეთ ატომების მიგრაციას.

მეტამორფიზმი ხდება იმ ტემპერატურებზე, როდესაც ადგილი აქვს დიაგენეზს და რომლებიც იწვევენ დნობას. უხეშად რომ ვთქვათ ეს ნიშნავს, რომ მეტამორფული ქანები ფორმირდება 200-8500C ტემპერატურაზე.

***წნევით გამოწვეული მეტამორფიზმი***

წნევამ შეიძლება გამოიწვიოს მასალის შეკუმშვა. მაგალითად, თუ ჰაერით გაბერილ ბუშტს ტბაში 10მ სიღრმეზე მოათავსებთ, ბუშტი მნიშვნელოვნად დაპატარავდება. მინერალებზეც წნევამ შესაძლოა იგივე გავლენა მოახდინოს. დედამიწის ზედაპირთან ახლო მდებარე, კრისტალების შედარებით ღია სტრუქტურის მქონე მინერალები შეიძლება სტაბილური იყოს, მაგრამ უკიდურესი წნეხის შემთხვევაში, მათი ატომები უფრო შეჯგუფდება, რის შედეგადაც უფრო მკვრივი მინერალების წარმოშობაა შესაძლებელი. ამგვარი ტრანსფორმაცია ფაზის ცვლილებებსა და/ან ნეოკრისტალიზაციას გულისხმობს.

***წნევისა და ტემპერატურის ერთობლივი ცვლილება***

აქამდე წნევისა და ტემპერატურის ცვლილებებს ცალ–ცალკე განვიხილავდით. მაგრამ დედამიწის სიღრმეში ისინი ერთობლივად იცვლება. მაგალითად, 8კმ სიღრმეზე მიწის ქერქის ტემპერატურა 2000C, ხოლო წნევა კი – 2.3 კილობარს აღწევს. თუ ქანი ნელ–ნელა 20კმ სიღრმეზე იძირება, როგორც ეს ზოგჯერ მთების წარმოქმნისას ხდება ხოლმე, ტემპერატურა მასში 5000C, ხოლო წნევა კი – 5.5 კილობარამდე მატულობს. ექსპერიმენტები და გამოთვლები ადასტურებს, რომ გარკვეული მინერალების და მათი გროვების ’’სტაბილურობა“(დიდი ხნის განმავლობაში შენარჩუნება) წნევასა და ტემპერატურაზეა დამოკიდებული. ამიტომ, 8 კმ სიღრმეზე წარმოქმნილი მეტამორფული ქანი არ შეიცავს იმავე მინერალებს, რასაც 20 კმ - ზე წარმოქმნილი.

***შეკუმშვა, გადაადგილება და უპირატესი ორიენტაციის ჩამოყალიბება***

წარმოიდგინეთ, რომ კარტებისგან სახლი ააგეთ, რომელსაც ფეხი დააბიჯეთ. ნაგებობა დაიშლება, ვინაიდან ფეხით დაწოლის ძალა სხვა მიმართულებით ჰაერის ამომგდებ ძალას აღემატება. შეიძლება ითქვას, რომ კარტები შევკუმშეთ (ნახ. 7.3 ა). გადაადგილება კი, პირიქით, მასალის ერთ ნაწილს მეორის გვერდით ათავსებს.

როდესაც ქანები მაღალი ტემპერატურისა და წნევის პირობებში იკუმშება და გადაადგილდება, მათი ფორმა და შიდა სტრუქტურა შესაძლოა მსხვრევის გარეშე შეიცვალოს. მაგალითად, ფილოვანი მარცვლები ერთმანეთის მიმართ პარალელურად და სიგარისებურად წაგრძელებულებიც იმავე მიმართულებით განლაგდება. როგორც ფილოვანი, ასევე წაგრძელებული მარცვლები არათანაბარი მარცვლებია, რაც იმას ნიშნავს, რომ მარცვლის ზომა სხვადასხვა მიმართულებით სხვადასხვაა. ამისგან განსხვავებით, თანაბარი მარცვლების ზომები ყველა მიმართულებით დაახლოებით ერთნაირია (ნახ. 7.3 დ). ქანში არათანაბარი მინერალების წყობა შედეგად იწვევს უპირატეს ორიენტაციას.

***ცხელი წყლის როლი***

ჩვეულებრივ მეტამორფული რეაქციები ძალიან ცხელი წყლის არსებობისას ხდება, ვინაიდან წყალი ქერქში აღწევს. ამგვარი ჰიდროთერმული სითხეები ქანთან შედის ქიმიურ რეაქციაში. მაგალითად, ჰიდროთერმული სითხეები მეტამორფულ რეაქციებს აჩქარებს, რადგანაც მონაწილე ატომები სითხეში უფრო სწრაფად მოძრაობს, ვიდრე მყარ სხეულში. ჰიდროთერმული სითხეები იძლევა წყალს, რომელსაც მეტამორფული რეაქციისას მინერალები შეიწოვს. და ბოლოს, ქანში გამავალმა სითხეებმა შეიძლება ზოგი გახსნილი იონი მოიკრიბოს, ხოლო სხვები კი უკუაგდოს, რითაც მეტამორფიზმის დროს ქანის მთელი ქიმიური შემადგენლობა იცვლება. ჰიდროთერმულ სითხეებთან რეაქციების შედეგად ქანის ქიმიური შემადგენლობის ცვლილებას **მეტასომატიზმი** ეწოდება.

***მეტამორფული ქანების ტიპები***

დედამიწაზე არსებული მრავალგვარი მეტამორფული ქანების კლასიფიცირება და მათთვის სახელების შერჩევა ადვილი არ აღმოჩნდა. ათწლეულების განმავლობაში მიმდინარე კამათის შემდეგ გეოლოგებმა მეტამორფული ქანები დაყვეს ორ ძირითად კლასად: ფენოვან და არაფენოვან ქანებად, რომელთაგან თითოეული რამდენიმე ტიპის ქანებს მოიცავს. არაფენოვან ქანებს ერთმანეთისგან ძირითადად მათი შემადგენელი მინერალებით, ხოლო ფენოვანებს კი ნაწილობრივ მინერალებითა და ნაწილობრივ ფენების ხასიათით გამოვარჩევთ.

***ფენოვანი მეტამორფული ქანები***

ქანების ამ კლასის გასაგებად ჯერ საჭიროა ფენოვანებისარსში გარკვევა. ეს სიტყვა ლათინური სიტყვიდან “*folium*” (ფოთოლი) წარმოსდგება. გეოლოგები ამ ტერმინით მეტამორფულ ქანში ბრტყელ, განმეორებად ზედაპირებს ანუ შრეებს გულისხმობენ. ზოგი შრე ფოთლის სისქე ან უფრო თხელია, მაგრამ სხვები კი 1 მ–ზე მეტი სისქისა შეიძლება იყოს. ფენოვანობის შედეგად გაშიშვლებული მეტამორფული ქანი დაზოლილი ან დაძარღვული შეიძლება იყოს ან/და ფურცლებად იყოფოდეს. ფენოვანი მეტამორფული ქანი ფენოვანი იმიტომაა, რომ იგი ერთმანეთის პარალელურად განლაგებულ არათანაბარ მინერალურ კრისტალებს შეიცავს, რაც უმჯობეს ორიენტაციას განაპირობებს და/ან იმიტომ, რომ ქანი ურთიერთმონაცვლე მუქი და ბაცი შრეებისგან შედგება

ფენოვან მეტამორფულ ქანებს ერთმანეთისგან შემადგენლობა, მარცვლების ზომა და ფენებად დაყოფა განასხვავებს. მათი ყველაზე გავრცელებული ტიპებია:

* *ფიქალი:* წმინდამარცვლოვანი, ფენოვანი მეტამორფული ქანი, რომელიც თიხის შემცველი ქანების – ფიქალთიხის ან არგილიტის მეტამორფიზმით წარმოიქმნება შედარებით დაბალი ტემპერატურისა და წნევის არსებობისას. ფიქალი მკვეთრ შრეებს – ფილებს შეიცავს, რის გამოც იგი თხელ ფურცლებად იყოფა, რომლებიდანაც სახურავის ჩინებული ყავარი მზადდება. ფილებად დაყოფა ხდება, როდესაც შეკუმშვის შედეგად თიხის ფთილები ორიენტაციას იცვლის და შეკუმშვის მიმართულების პერპენდიკულარულად განლაგდება. ამის გამო ფიქალთიხის ფენების გრძივი კუმშვა ვერტიკალურ ფილებს წარმოქმნის და ხშირად ამგვარი კუმშვის შედეგად ფენები იღუნება და იკეცება.
* *ფილიტი:* წმინდამარცვლოვანი მეტამორფული ქანი, რომლის ფენოვანებას ძალზე წმინდამარცვლოვანი თეთრი ქარსის უმჯობესი ორიენტაცია იწვევს.
* *მეტაკონგლომერატი:* მეტამორფულ პირობებში, რომლებშიც ფიქალი ან ფილიტი იქმნება, კონგლომერატის პროტოლითი კონგლომერატად იქცევა. კერძოდ, რეკრისტალიზაციური ცოცვადობა და პლასტიკური დეფორმაცია კენჭებსა და ღორღს ბლინის ფორმას ანიჭებს. ქანში არათანაბარი ნამსხვრევების წრფივი განლაგება ფენოვანებას განაპირობებს.
* *ასპიდური ფიქალი:* ასპიდური ფიქალი არის მსხვილმარცვლოვანი მეტამორფული ქანის გარემო, რომლის შრეების სტრუქტურას ფიქლოვნება ეწოდება, რაც ქარსის დიდი ფთილების უმჯობესი ორიენტაციითაა განპირობებული. ასპიდური ფიქალი ფილიტზე უფრო მაღალ ტემპერატურაზე წარმოიქმნება.
* *გნეისი:* ჩვეულებრივ, გნეისი მუქი და ბაცი შრეებისგან შემდგარი მეტამორფული ქანია. შრეების სისქე რამდენიმე მილიმეტრსა და მეტრს შორის მერყეობს. ამგვარი კომპოზიციური შრეების გამო გნეისი ზოლებიანია.

როგორ იქმნება გნეისის ზოლები? გნეისის ზოგ ნიმუშში ზოლები უშუალოდ ქანის თავდაპირველ ქვიან ფსკერზე განვითარდა. მაგალითად, ქვიშაქვისა და ფიქალთიხის ურთიერთმონაცვლე ფსკერებისგან შემდგარი პროტოლითის მეტამორფიზმით კვარციტისა და ქარსის ურთიერთმონაცვლე ფსკერების მქონე გნეისი წარმოიქმნება. უფრო ხშირად გნეისის ზოლები იქმნება პროტოლითის გადაადგილებისას იმ პირობებში, როცა ქანი რბილი პლასტმასივით მიედინება. ამგვარი დინება ჭიმავს, კეცავს და თხაპნის ქანის თავდაპირველ კომპოზიციურ კონტრასტებს და მათ თანწყობილ ფურცლებად აქცევს. დაბოლოს, ზოგ გნეისში ზოლები არც თუ მთლად გასაგები პროცესის – მეტამორფული დიფერენციაციის შედეგად ჩნდება, რომლის დროსაც ქიმიური რეაქციები სხვადასხვა მინერალებს სხვადასხვა შრეებად ყოფს

* *მიგმატიტი:* გარკვეულ პირობებშიგნეისმა შესაძლოა დნობა დაიწყოს და ფელსიკური მაგმა წარმოქმნას. თუ ნგრევის (ჩამოშლის) ადგილიდან გამოსვლამდე გამდნარი გნეისი კვლავ გაიყინა, ვულკანური ქანისა და ნარჩენი მეტამორფული ქანის ნაზავი წარმოიქმნება, რომელსაც მიგმატიტი ეწოდება.

***არაფენოვანი მეტამორფული ქანები***

არაფენოვანი მეტამორფული ქანები მეტამორფიზმის დროს რეკრისტალიზებულ ან წარმოქმნილ მინერალებს შეიცავს, რომლებსაც შრეები არა აქვთ, რაც იმას ნიშნავს, რომ ან მეტამორფიზმს შეკუმშვა და გადაადგილება არ ახლდა ან რომ ახალი კრისტალების უმრავლესობა ტოლია. ქვემოთ ჩამოთვლილია არაფენოვანი ქანების ზოგიერთიტიპი.

* *რქაქანი:* რქაქანი არის მრავალგვარი მეტამორფული მინერალების შემცველი არაფენოვანი ქანი. კონკრეტული მინერალები დაგროვება რქაქანში პროტოლითის შემადგენლობასა და მეტამორფიზმის ტემპერატურასა და წნევაზეა დამოკიდებული.
* *კვარციტი:* კვარციტი კვარცის სუფთა ქვიშაქვის მეტამორფიზმის შედეგად წარმოიქმნება. მეტამორფიზმის დროს თავდაპირველი კვარცის მარცვლები ახალ, უფრო მსხვილ მარცვლებად რეკრისტალიზდება. ამ პროცესში განსხვავება ცემენტსა და მარცვლებს შორის ქრება და ეს უკანასკნელნი ერთმანეთს გადაეჭდობა. კვარციტის გაბზარვისას, ბზარი მარცვლის საზღვრებს სცდება, მაშინ როდესაც ქვიშაქვის ბზარები მარცვლების *ირგვლივ* განლაგდება. კვარციტი ქვიშაქვაზე უფრო გამჭვირვალეა და არც მარცვლოვანი, ზუმფარისებრი ზედაპირი აქვს. კვარცის მინარევებიდან გამომდინარე კვარციტი შეიძლება თეთრი, ნაცრისფერი, მეწამული ან მწვანე იყოს.
* *მარმარილო:* მარმარილო კირქვის მეტამორფიზმის შედეგად წარმოიქმნება. მარმარილოს წარმოქმნისას პროტოლითის შემადგენელი კალციტი რეკრისტალიზდება და, ამრიგად, ნიჟარისებრი გრუნტი, ფორები და განსხვავება მარცვლებსა და ცემენტს შორის ქრება. ამიტომაც, ჩვეულებრივ მარმარილო კალციტის ურთიერთგადაჭდობილი, კრისტალების საკმაოდ ერთგვაროვანი მასისგან შედგება.

მოქანდაკეებს მარმარილოთი მუშაობა უყვართ, რადგანაც ქანი შედარებით რბილი, ერთგვაროვანი და შეკრულია, რაც მასიური, გლუვი და დახვეწილი დეტალების მქონე ქანდაკებების შექმნის საშუალებას იძლევა. მისი მინარევებიდან გამომდინარე, მარმარილო მრავალფეროვანია: თეთრი, ვარდისფერი, მწვანე და შავი.

**თავი 8**

**ვულკანები**

***შესავალი***

გეოლოგებმა დაადგინეს, რომ ვულკანის ამოფრქვევა ხდება მაშინ, როდესაც დედამიწის გულში დადნობის შედეგად წარმოქმნილი ცხელი მაგმა ამოდის ქერქის გავლით ზედაპირზე. ზოგადად ვულკანები არის არაპროგნოზირებადი და საშიში.

***ვულკანის ამოფრქვევის პროდუქტები***

ვულკანს ამოფრქვევისას ამოაქვს ნივთიერებები (მასალები) დედამიწის გულიდან ზედაპირზე. ამოფრქვევის პროდუქტები არსებობს სამი ფორმით: ლავის ნაკადები, პიროკლასტური ნარჩენები და გაზი.

***ლავის ნაკადები***

ზოგჯერ იგი ეშვება ვულკანის გვერდზე სწრაფი, გავარვარებული ნაკადის სახით, ზოგჯერ თავს იყრის ვულკანის თავზე ქვაბით დაფარულ ყრილზე და ზოგჯერ კი მოედინება ბლანტი, მაგრამ გავარვარებული მასის სახით. აშკარაა, რომ ყველა სახის ლავა არ ხასიათდება ერთნაირი თვისებებით, როდესაც იგი ამოდის ვულკანიდან და აქედან გამომდინარე არც ლავის ნაკადებია ერთნაირი. რატომ? ლავის ნაკადი ძირითადად ასახავს მის სიბლანტეს და ყველა საიხს ლავას გააჩნია განსხვავებული სიბლანტე. სიბლანტეებს შორის განსხვავება დამოკიდებულია რიგ ფაქტორებზე, რაც მოიცავს ქიმიურ შემადგენლობას, ტემპერატურას, აირის და კრისტალების შემცველობას. სიბლანტის მართვაში წამყვან როლს ასრულებს კვარცის შემცველობა – კვარცით ღარიბი ლავა (ბაზალტური) ნაკლებად ბლანტია და შესაბამისად მიედინება უფრო სწრაფად, ვიდრე ლავა კვარცის მაღალი შემცველობით (რიოლიტური).

***ბაზალტური ლავის ნაკადები.*** ბაზალტურ (მაფურ) ლავას გააჩნია ძალიან დაბალი სიბლანტე, როდესაც იგი პირველად ამოიფრქვევა ვულკანიდან, რადგან იგი შეიცავს შედარებით მცირე რაოდენობით კვარცს და იგი ძალიან ცხელია. აქედან გამომდინარე, ვულკანის მწვერვალთან ახლოს დამრეც ქანობებზე იგი მიედინება სწრაფად, ზოგჯერ 30კმ/სთ–ზე მაღალი სიჩქარითაც კი. ლავის სიჩქარე მცირდება მას შემდეგ, რაც იგი გაივლის რამოდენიმე კილომეტრს და იწყებს გაგრილებას.

მიუხედავად იმისა, რომ ყველა ტიპის ლავა მიედინება მისი პირველი ამოფრქვევისას, სწრაფად გაცივება ნაკადის ზედაპირზე წარმოქმნის ქერქს მას შემდეგ, რაც ლავა დასცილდება ამოფრქვევის წყაროს. მყარი ქერქი მოქმედებს იზოლატორის სახით და საშუალებას აძლევს ნაკადის ცხელ შიდა მასას დარჩეს თხევადი და განაგრძოს მოძრაობა. ზოლირებულ, გვირაბის მსგავს არხს, რომელშიც მიედინება ლავა ეწოდება ლავის მილი. ზოგჯერ ლავის მილები შრება და საბოლოო ჯამში გადაიქცევა ცარიელ გვირაბებად. მას შემდეგ, რაც ლავის ნაკადი დაფარავს მიწას და გაცივდება, იგი გადაიქცევა ქანის მყარ საფარად.

ბაზალტური ლავის ნაკადის ზედაპირის ტექსტურა მას შემდეგ, რაც იგი გაცივდება ასახავს გაციების დროს მის მოძრაობასთან დაკავშირებით.

ცხელი, ბლანტი ზედაპირების მქონე ნაკადები ნაოჭდება პრიალა, მინისებრ, თოკის მსგავს ქედებად; გეოლოგებმა ამგვარი ნაკადები აღნიშნეს ჰავაური სიტყვით **პაჰოეჰოე.** თუ ლავის ზედაპირის ფენა ცივდება და შემდეგ სკდება ქვემოდან უწყვეტად მოძრავი ლავის ზემოქმედებით, იგი გადაიქცევა მახვილი, კუთხოვანი ფრაგმენტების გროვად, რომელიც წარმოქმნის ხრეშის ნაკადს და მას ასევე აღნიშნავენ ჰავაური სიტყვით აჰ–აჰ.

გაციების საბოლოო სტადიაზე ლავის ნაკადები ხდება სხვაგვარი და შესაძლებელია დანაპრალდეს უხეშ ექვსკუთხა სვეტებად. დანაპრალების ამგვარ ტიპს ეწოდება სვეტური განწევრება.

წყალქვეშ ამოფრქვეული ბაზალტური ნაკადები განსხვავდება მიწაზე ამოფრქვეულისგან, რადგან წყალში ლავა ცივდება უფრო სწრაფად. სწრაფი გაცივების გამო, წყალქვეშა ბაზალტური ლავა გაცივებისას წარმოქმნის მინით დაფარულ ბურთულას ან ბალიშს. ბალიშის ქერქი მომენტალურად აჩერებს ნაკადის მოძრაობას, მაგრამ რამოდენიმე წუთში ლავის წნევა ხეთქავს ბურთულას, წარმოქმნის ლავის ახალ ბურთულას და შემდეგ თვითონ ცივდება ბალიშში

***ვულკანოკლასტური ნალექები***

ვულკანებს შეუძლიათ ამოაფრქვიონ დიდი ოდენობით ვულკანური ფრაგმენტული ნივთიერებები. ამ ნივთიერებების აღსანიშნავად გეოლოგები იყენებენ საერთო ტერმინს – ვულკანოკლასტური ნალექები. ვულკანოკლასტური ნალექები მოიცავს პიროკლასტურ ნარჩენებს, რომლებიც წარმოიქმნება ლავისგან, რომელიც მოძრაობს ჰაერში და ცივდება. იგი ასევე მოიცავს ნარჩენებს, რომლებიც წარმოიქმნება მაშინ, როდესაც ამოფრქვევა აფეთქებს ვულკანის ყელის გარშემო უწინ არსებულ ქანს და მოიცავს ასევე ნარჩენებს, რომლებიც გროვდება ვულკანიდან მეწყერის სახით ჩამოშლისას ან წყლით მდიდარი თიხოვანი მასით მისი გადატანის შედეგად.

***პიროკლასტური ნალექები***

პიროკლასტური მარცვლების შეუკავშირებელი ნალექები მათი ზომის მიუხედავად შეადგენს ტეფრას. ფერფლი ან ფერფლთან შერეული ლაპილი გადაიქცევა ტუფად ჩამარხვისას და გარდაიქმნება ცემენტირებულ მყარ ქანად. თოვლის მსგავსად ციდან ჩამოყრილი ფერფლისგან ფორმირებულ ტუფს ეწოდება ჰაერიდან ჩამოყრილი ტუფი. პიროკლასტური ნაკადისგან წარმოქმნილი ტუფის საფარს ეწოდება იგნიმბრიტი. იგნიმბრიტში ფერფლი იმდენად ცხელია, რომ მას შეუძლია ერთმანეთთან შედუღება და მყარი მასის ფორმირება.

***ვულკანური აირი***

მაგმის უმეტესობა შეიცავს გახსნილ აირებს, წყლის, ნახშირორჟანგის, გოგირდის დიოქსიდის და წყალბადის სულფიდის ჩათვლით. რეალურად, მაგმა შესაძლებელია შეიცავდეს დაახლოებით 90% აირისებრ კომპონენტებს. ზოგადად, კვარცის მაღალი შემცველობის მქონე ლავაში უფრო მაღალია აირის შემცველობა. ვულკანური აირები ბუშტუკების სახით წარმოიქმნება მაშინ, როდესაც მაგმა აღწევს დედამიწის ზედაპირს და წნევა მცირდება. ნაკლებად ბლანტ მაგმაში აირის ბუშტუკებს შეუძლიათ მაგმის მოძრაობაზე უფრო სწრაფად ამოსვლა ზემოთ და გაიფანტონ ატმოსფეროში ლავამდე. აქედან გამომდინარე, ვულკანებს გარკვეული დროის განმავლობაში შეუძლიათ წარმომქნან დიდი ოდენობის ორთქლი, დიდი ოდენობის ლავის გარეშე. თუმცა ბუშტუკები ასევე მყარდება ლავაში და ისინი გადაიქცევა ღრუებად, რომელთაც ეწოდებათ ვეზიკულები (სიღრუეები). მაღალი სიბლანტის მქონე მაგმაში აირს უჭირს გამოთავისუფლება, რადგან ბუშტუკები ვერ მოძრაობს წებოვან ლავაში და როდესაც ეს ხდება, ვულკანის შიგნით ან ქვეშ წარმოიქმნება ფეთქებადი წნევა.

***ვულკანების არქიტექტურა და ფორმა***

როგორც წესი, მაგმა გროვდება მიწისქვეშ მაგმის კამერაში, ძლიერ დანაპრალებული ქანის ღია სივრცეში ან ზონაში, სადაც შესაძლებელია დიდი ოდენობით მაგმის დაგროვება. ზოგიერთი მაგმა მყარდება მაგმის კამერაში და გარდაიქმნება ინტრუზიულ ვულკანურ ქანად, თუმცა ზოგიერთი მაგმა ნაპრალების ან არხის გავლით ამოდის დედამიწის ზედაპირზე და ამოიფრქვევა, რათა წარმოქმნას ვულკანი. ზოგიერთ ვულკანში არხს გააჩნია ვერიკალური მილის ფორმა, ხოლო ზოგიერთ ვულკანში არხის ფუნქციას ასრულებს ნაპრალი, რომელსაც ეწოდება ფისურა.

დროთა განმავლობაში ამოფრქვევის მყარი პროდუქტები (ლავა და/ან პიროკლასტური ნარჩენები) გროვდება არხის გარშემო და წარმოქმნის ბორცვს ან კონუსს. კრატერი, წრიული ჩაღრმავება, წარმოიქმნება ბორცვის თავზე ამოფრქვევისას ან ამოფრქვევის შემდეგ.

ძლიერი ამოფრქვევებისას ვულკანის ცენტრი შესაძლოა ჩამოიშალოს ქვემოთ დიდ, დამშრალი მაგმის კამერაში და წარმოქმნას კალდერა, დიდი ზომის წრიული ჩაღრმავება, რამოდენიმე ათასი მეტრამდე სიგრძით და რამოდენიმა ასეუილი მეტრის სიღრმის. როგორც წესი, კალდერას აქვს ციცაბო კედლები და საკმაოდ მოსწორებული ძირი. ვულკანის ამოფრქვევისას ფორმირებული ზოგიერთი კალდერა ჰაერში ამოაფრქვევს იმდენ მასალას, რომ რჩება მხოლოდ ვულკანის გარკვეული ნაწილი. კალდერები კრატერებისგან განსხვავდება ზომით, ფორმით და ფორმირების მეთოდით.

გეოლოგები განასხვავებენ მიწისზედა ვულკანების სამ განსხვავებულ ფორმას. **ფარისებრი ვულკანები**, რომლებიც წააგავს მიწაზე დადებულ მებრძოლის ფარს, არის ფართე გუმბათის ფორმის. ფარები ზოგადად ფორმირდება დაბალი სიბლანტის მქონე ბაზალტური ლავის ნაკადებისგან. **ტუფის კონუსები** შედგება ტეფრას კონუსის ფორმის ფილებისგან. როგორც წესი, ტუფის კონუსები სიმეტრიულია და გააჩნიათ ღრმა კრატერები. **სტრატოვულკანები** არის დიდი და კონუსის ფორმის და შედგება ლავის, ტეფრას და ნამსხვრევების მონაცვლეობითი ფენებისგან.

***ამოფრქვევის ფორმები***

ერთიდაიმავე ვულკანიდან ამოფრქვევები შესაძლოა განსხვავდებოდეს ერთმანეთისგან. გეოლოგები განასხვავებენ შემდეგი ტიპის ამოფრქვევებს:

* ***ეფუზიური ამოფრქვევები:*** ამგვარი ამოფრქვევები წარმოქმნის ძირითადად ლავის ნაკადებს. ძირითადად წარმოიქმნება დაბალი სიბლანტის მქონე ლავა, რომელიც მიედინება ათეულიდან ასობით კილომეტრზე. ეფუზიური ამოფრქვევებისას ლავამ შესაძლებელია წარმოქმნას ტბა ყელის გარშემო ან ამოიფრქვეს შადრევანივით.
* ***ფეთქებადი ამოფრქვევები:*** ამგვარი ამოფრქვევისას წარმოიქმნება ღრუბლები და პიროკლასტური ნასხვრევების ზვავები. პიროკლასტური ამოფრქვევა ხდება მაშინ, როდესაც ზემოთ მოძრავ მაგმაში ფართოვდება გაზი, მაგრამ იგი ვერ თავისუფლდება. საბოლოო ჯამში წნევა იზრდება იმდენად, რომ იგი აფეთქებს ლავას. ზოგიერთ შემთხვევაში ფეთქებადი ამოფრქვევის შედეგად ვულკანი ფეთქდება და რჩება მხოლოდ დიდი კალდერა. ამგვარ ამოფრქვევები, რომლებიც გამაოგნებელია მათი სიმძლავრის და შედეგად გამოწვეული კატასტროფების თვალსაზრისით ზედაპირზე ამოისვრის მრავალი კუბური მეტრი მოცულობის ვულკანურ ნივთიერებებს. ამოფრქვევის შედეგად წარმოქმნილი ნამსხვრევების სვეტი წააგავს ატომური აფეთქებისას წარმოქმნილი სოკოსებრ ღრუბელს. მსხვილმარცვლოვანი ფერფლი და ლაპილი ილექება ღრუბლიდან ვულკანის ახლოს, ხოლო უფრო წვრილმარცვლოვანი ფერფლი კი იფანტება უფრო შორს.

ვულკანის ტიპი დამოკიდებულია მისი ამოფრქვევის სტილზე. ვულკანები, საიდანაც ხდება მხოლოდ ეფუზიური ამოფრქვევა ხდება ფარისებრი ვულკანი; ვულკანები, საიდანაც ხდება პიროკლასტური ამოფრქვევები შადრევანივით ამოსული ბაზალტური ლავის გამო, წარმოქმნის ტუფის კონუსებს და ვულკანები, საიდანაც მონაცვლეობით ხდება ეფუზიური მასშტაბური პიროკლასტური ამოფრქვევები, წარმოადგენს შერეულ ვულკანებს.

რატომ არის ამხელა განსხვავება ამოფრქვევის ფორმებს შორის? ამოფრქვევის ფორმა დამოკიდებულია ვულკანში მაგმის სიბლანტესა და მასში აირის შემცველობაზე. ეს მახასიათებლები თავის მხრივ დამოკიდებულია მაგმის შემადგენლობასა და ტემპერატურაზე და იმ გარემოზე, სადაც ხდება ამოფრქვევა.

***ვულკანიზმის გეოლოგიური პირობები***

დედამიწაზე სხვადასხვა ადგილას თავს იჩენს ვულკანიზმის განსხვავებული სტილი. ამოფრქვევების უმეტესობა ხდება ფილაქნების საზღვრების გასწვრივ, მაგრამ ამორქვევების დიდი ნაწილი ასევე მოდის აქტიურ ზონებზე („ჰოთ–სპოტ“). განვიხილოთ პირობები, სადაც ხდება ამოფრქვევები ფილაქნების ტექტონიკის თეორიის კონტექსტში.

***ოკეანისშუა ქედები***

შუაოკეანური ქედის ვულკანიზმის პროდუქტები მოიცავს ჩვენი პლანეტის ზედაპირის 70%–ს. ჩვენ ზოგადად ვერ ვხედავთ ამ ვულკანურ აქტივობას, რადგან მათი უმეტესობა დაფარულია ოკეანეში წყლის საფარის ქვეშ. შუაოკეანური ქედის ვულკანების უმეტესობა, რომლებიც წარმოიქმნება ქედის ღერძის პარალელური ნაპრალების გასწვრივ, არ არის მუდმივად აქტიური. თითოეული მათგანი აქტიურდება ათეულობიდან ასეულობით წლით გაზომილ დროის მონაკვეთებში. მათგან ამოიფრქვევა ბაზალტი, რომელიც გამომდინარე იქიდან, რომ მალე ცივდება წყალქვეშ, წარმოქმნის ელიფსოიდური ლავის ბორცვებს. წყალი, რომელიც ცხელდება იმის გამო, რომ იგი მოძრაობს ქერქში მაგმის კამერის ახლოს, აფეთქებს ჰიდროთერმულ ყელს ამგვარი ბორცვების გასწვრივ. ვულკანის ასეთ ყელს ეწოდება ჰიდროთერმული წყარო.

***კონვერგენტული საზღვრები***

მიწისზედა ვულკანების უმეტესობა დედამიწაზე მდებარეობს კონვერგენტული ფილაქნის საზღვრების გასწვრივ. ვულკანები ფორმირდება მაშინ, როდესაც აქროლადი ნაერთები, როგორიცაა, მაგალითად წყალი და ნახშირორჟანგი, გამოთავისუფლდება გადაადგილებული ფილაქნიდან და ამოდის ზემოდან გადაფენილ ცხელ მანტიაში, იწვევს ლღობას და მაგმის წარმოქმნას, რომელიც შემდეგ ამოდის ლითოსფეროში და ამოიფრქვევა. ზოგიერთი ამგვარი ვულკანი წარმოიშობა ოკეანის ქერქზე და წარმოქმნის ვულკანური კუნძლების რკალს, როგორიცაა მაგალითად დასავლეთ წყნარი ოკეანის მარიანის კუნძულები.

***კონტინენტური ნაპრალები***

კონტინენტების ქერქის გარღვევისას წარმოიქმნება სხვადასხვა ტიპის ვულკანები, რადგან მაგმა, რომელიც კვებას ამ ვულკანებს წარმოიქმნება, როგორც მანტიის, ასევე ქერქის ნაწილობრივი გალღობისგან. ნაპრალებიდან ხდება ბაზალტური ნაპრალური ამოფრქვევები. აქ ასევე გვხვდება ფეთქებადი რიოლიტური ვულკანები და ზოგიერთ ადგილას კი სტრატოვულკანებიც კი.

**თავი 9**

**მიწისძვრები**

***შესავალი***

მიწისძვრები დედამიწის ცხოვრების განუყოფელი ნაწილია: ყოველწლიურად დედამიწაზე ფიქსირდება თითქმის 1 მილიონი მიწისძვრა. საბედნიეროდ მათი უმეტესობა არ იწვევს ზიანს ან უბედურ შემთხვევებს, რადგან ისინი სუსტია ან ხდება დაუსახლებელ ადგილებში; თუმცა რამოდენიმე ასეული მიწისძვრა წელიწადში მნიშვნელოვნად არყევს დედამიწას, აზიანებს შენობებს და ზიანს აყენებს ადამიანებს და საშუალოდ ყოველ 5-20 წელიწადში ერთხელ უძლიერესი მიწისძვრა ატყდება დედამიწას. რომელი გეოლოგიური ფენომენი იწვევს მიწისძვრებს? რატომ ხდება მიწისძვრები იქ, სადაც ხდება? შეგვიძლია თუ არა მიწისძვრების პროგნოზირება ან მათი თავიდან აცილება? ამ შეკითხვებმა საკმაოდ დიდი თავსატეხი გაუჩინა სეისმოლოგებსა და გეოლოგებს, რომლებიც ათეული წლების მანძილზე იკვლევენ მიწისძვრებს.

***რა იწვევს მიწისძვრებს?***

სეისმურობასთან (მიწისძვრის აქტივობა) დაკავშირებით უძველესი კულტურები გვთავაზობდნენ სხვადასხვა განმარტებებს, რომელთაგან უმეტესობა გულისხმობდა გიგანტური ცხოველის ქმედებას ან ღმერთის განრისხებას. სამეცნიერო კვლევები ადასტურებს, რომ სეისმურობა სინამდვილეში გამოწვეულია რამოდენიმე მიზეზით, მათ შორის შემდეგით:

* ახალი რღვევის მოულოდნელი ფორმირება;
* მოულოდნელი ძვრა არსებულ ნაპრალზე;
* ქანის მინერალებში ატომების განლაგებასთან დაკავშირებული მოულოდნელი ცვლილება, ვულკანში მაგმის მოძრაობა;
* ვულკანის ამოფრქვევა;
* უდიდესი მეწყერი;
* მეტეორიტის ზემოქმედება, ან
* მიწისქვეშ ატომური ბომბის გამოცდა.

როგორც ვიცით, ადგილს დედამიწაზე, სადაც ქანი ირღვევა და იძვრის, ან ადგილს, სადაც ხდება ამოფრქვევა ეწოდება მიწისძვრის ჰიპოცენტრი. ჰიპოცენტრიდან ხდება ენერგიის გამოსხივება. წერტილს დედამიწის ზედაპირზე, რომელიც მდებარეობს უშუალოდ ჰიპოცენტრის ზემოთ ეწოდება ეპიცენტრი.

ნაპრალების ფორმირება და მოძრაობა იწვევს დამანგრეველი მიწისძვრების უმეტესობას და ჩვეულებრივ მიწისძვრის ჰიპოცენტრი უკავშირდება ნაპრალის ზედაპირს.

***რღვევები ქერქში***

რღვევები წარმოადგენს ნაპრალებს, რომლებზედაც ფიქსირდება გადაადგილება ან ძვრა. ისინი მარტივად შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ, როგორც ზედაპირები, რომლებიც ჭრის დედამიწის ქერქს. ჩვეულებრივი რღვევა თავს იჩენს ქერქის გაჭიმვისას ან გაფართოებისას. უკურღვევა ან ღია რღვევა წარმოიქმნება ქერქის შეკუმშვის და შევიწროებისას, ხოლო მცოცავი გადაადგილება კი მაშინ, როდესაც ქერქის ერთი ბლოკი ეჯახება მეორეს გვერდიდან.

რღვევების ნახვა შესაძლებელია ყველგან, მაგრამ ყველა მათგანი არ წარმოადგენს მიწისძვრის წყაროს. რღვევებს, რომლებიც გადაადგილდა ბოლო ხანს ან სავარაუდოდ გადაადგილდება უახლოეს მომავალში, ეწოდებათ *აქტიური* რღვევები. რღვევებს, რომლებიც გადაადგილდა დიდი ხნის წინ და სავარაუდოდ აღარ გადაადგლდება უახლოეს მომავალში, ეწოდებათ *არააქტიური* რღვევები. ზოგიერთი რღვევა არააქტიური იყო მილიარდი წლის განმავლობაში. რღვევასა და მიწის ზედაპირს შორის ურთიერთკავშირს ეწოდება რღვევის კვალი ან რღვევის ხაზი. იმ ადგილებში, სადაც აქტიური ჩვეულებრივი ან უკურღვევა კვეთს მიწას, მოძრაობა რღვევაზე წაანაცვლებს მიწის ზედაპირს და წარმოიქმნება მცირე ზომის საფეხური, რომელსაც ეწოდება ნასხლეტის შვერილი.

***რღვევა წარმომქნის მიწისძვრის ენერგიას***

რა კავშირი არსებობს მიწისძვრასა და რღვევას შორის? მიწისძვრა შესაძლებელია მოხდეს მაშინ, როდესაც ქანი ირღვევა და წარმოიქმნება ახალი რღვევა ან როდესაც უწინდელი რღვევა მოულოდნელად კვლავ იძვრის.

ქანის რღვევა წარმოქმნის მიწისძვრის ენერგიას. ანუ, მიწისძვრა ხდება იმიტომ, რომ იზრდება წნევა და ქანი ამ დროს იღუნება ელასტიურად მანამ სანამ არ წარმოიქმნება რღვევა და ამას ეწოდება დრეკადი ნახტომის თეორია. ერთი ფილის ფარდობით მოძრაობას მეორის მიმართ ფილის საზღვრის გასწვრივ შეუძლია წარმოქმნას დაძაბულობა, რომელიც ბიძგს აძლევს ამ პროცესს.

რღვევის გასწვრივ ძლიერ მიწისძვრას შესაძლებელია წინ უსწრებდეს სუსტი მიწისძვრა, ანუ წინასწარი სეისმური ბიძგები, გამოწვეული უფრო მცირე ნაპრალების წარმოშობით, რომლებიც საბოლოო ჯამში ებმიან ერთმანეთს და ქმნიან დიდ ნაპრალს. სუსტ მიწისძვრებს, რომლებიც მოჰყვება ძლიერ მიწისძვრას ეწოდებათ განმეორებითი სეისმური ბიძგები („აფთერ–შოკები“), რომელებიც შესაძლებელია განმეორდეს დღეების ან კვირების განმავლობაში.

***სეისმური ტალღები***

მიწისძვრის ენერგია გადაადგილდება ქანში და ნალექში ტალღების სახით. ამ ტალღებს ეწოდებათ სეისმური ტალღები.

სეისმოლოგები განასხვავებენ სხვადასხვა ტიპის სეისმურ ტალღებს იმის მიხედვითთუ სად და როგორ მოძრაობს ისინი. მოცულობითი ტალღები გადიან დედამიწის გულში, ხოლოს ზედაპირული ტალღები კი მოძრაობენ დედამიწის ზედაპირის გასწვრივ. ტალღებს, რომლებიც იწვევენ მასალის ნაწილაკების უკან მოძრაობას და იმ მიმართულების პარალელურად, საითაც თვითონ ტალღა მოძრაობს, ეწოდებათ შეკუმშვის ტალღები. ტალღები, რომლებიც იწვევენ მასალის ნაწილაკების უკან მოძრაობას და იმ მიმართულების პერპენდიკულარულად, საითაც თვითონ ტალღა მოძრაობს, ეწოდებათ ძვრის ტალღები. ამ კონცეფციის საფუძველზე შეგვიძლია განვსაზღვროთ სეისმური ტალღების ოთხი ძირითადი ტიპი:

* P–ტალღები (P აღნიშნავს პირველადს (*primary*) არის შეკუმშვის მოცულობითი ტალღები.
* S –ტალღები (S აღნიშნავს მეორადს (*secondary*) არის ძვრის მოცულობითი ტალღები
* L-ტალღები (L ნიშნავს ლავს, სეისმოლოგის გვარის მიხედვით) არის ზედაპირული ტალღები, რომლებიც იწვევს მიწის წინ და უკან აზვირთებას და გველის სრიალის მსგავს მოძრაობას.
* R-ტალღები (R ნიშნავს რეელს, ფიზიკოსის სახელის მიხედვით) არის ზედაპირული ტალღები, რომლებიც იწვევს მიწის ზემოთ და ქვემოთ მოძრაობას.

სხვადასხვა ტიპის ტალღები მოძრაობს სხვადასხვა სიჩქარით. P–ტალღები მოძრაობს ყველაზე სწრაფად და ამიტომ წარმოიქმნება პირველ რიგში. S –ტალღები მოძრაობს შედარებით ნელა, P–ტალღების სიჩქარის დაახლოებით 60% სიჩქარით და ამიტომ ისინი წარმოიქმნება მოგვიანებით, ხოლო ზედაპირული ტალღების სიჩქარე არის ყველაზე ნელი.

***როგორ გავზომოთ მიწისძვრები და დავადგინოთ მათი ადგილმდებარეობა***

***სეისმოგრაფები და მიწისძვრის ჩანაწერები***

1889 წელს გერმანელმა ფიზიკოსმა შეამჩნია, რომ ქანქარა მის ლაბორატორიში ამოძრავდა იაპონიაში დამანგრეველი მიწისძვრის შემდეგ. ამ დაკვირვებამ დაადასტურამ რომ მიწისძვრის ენერგიას შეუძლია გავრცელდეს პლანეტაზე. ამ აღმოჩენის საფუძველზე სხვა მკვლევარებმა მოძებნეს მეთოდი, შეექმნათ ხელსაწყო, რომელსაც ეწოდება სეისმოგრაფი (ან სეისმომეტრი), რომელიც სისტემატურად იწერს დედამიწის ნებისმიერ ადგილას მომხდარი მიწისძვრით გამოწვეულ მიწის მოძრაობას. სეისმოლოგები დღეისთვის იყენებენ სეისმოგრაფების ორ ძირითად კონფიგგურაციას: ერთი მათგანი ზომავს მიწის ვერტიკალურ მოძრაობას, ხოლო მეორე კი ჰორიზონტალურს. ჩვეულებრივ, ეს ხელსაწყოები განთავსებულია ძირითად ქანზე გადახურულ ადგილას, სატრანსპორტო მოძრაობიდან და ქალაქის სხვა ხმაურისაგან მოშორებით.

***ეპიცენტრის განსაზღვრა***

როგორ უნდა განვსაზღვროთ მიწისძვრის ეპიცენტრის ადგილმდებარეობა? ამ პრობლემის გადაწყვეტა შესაძლებელია სეისმოგრაფის სადგურში P–ტალღების შემოსვლის დროსა და S–ტალღების შემოსვლის დროს შორის სხვაობის განსაზღვრით. P და S–ტალღები გადის დედამიწის გულში სხვადასხვა სიჩქარით. P და S–ტალღების შემოსვლის დროებს შორის შეფერხება იზრდება ეპიცენტრიდან მანძილის ზრდასთან ერთად.

***მიწისძვრის მაგნიტუდის შკალა***

მიწისძვრის მაგნიტუდა წარმოადგენს ციფრს, რომელიც მიუთითებს მის ფარდობით სიმძლავრეზე (ზომაზე), რომელიც ფასდება სეისმოგრაფით ჩაწერილი გრუნტის მოძრაობის მაქსიმალური ამპლიტუდის განსაზღვრით. „გრუნტის მოძრაობის ამპლიტუდაში“ იგულისხმება გრუნტის ზემოთ და ქვემოთ და წინ და უკან მოძრაობის რაოდენობა. რაც უფრო ძლიერია გრუნტის მოძრაობა, მით უფრო დიდია სეისმოგრაფის კალმის ან ნემსის გადახრა სეისმოგრამაზე მოძრაობისას. მაგნიტუდის გამოთვლისას სეისმოლოგები ითვალისწინებენ მანძილს ეპიცენტრსა და სეისმოგრაფს შორის და აქედან გამომდინარე მაგნიტუდის მაჩვენებელი არ არის დამოკიდებული ამ მანძილზე.

ამერიკელმა სეისმოლოგმა ჩარლზ რიხტერმა (*Charles Richter*) 1935 წელს შეიმუშავა მიწისძვრის მაგნიტუდის განსაზღვრისა და გაზომვის კონცეფცია, რომელიც ცნობილია რიხტერის შკალის სახელით.

***სად და რატომ ხდება მიწისძვრები?***

მიწისძვრები არ ხდება ყველგან დედამიწაზე. რუკაზე მიწისძვრების ეპიცენტრების გავრცელების ადგილების მითითების საფუძველზე სეისმოლოგებმა დაადგინეს, რომ მიწისძვრების უმეტესობა, მაგრამ არა ყველა მათგანი ხდება სეისმურ სარტყლებში ან სეისმურ ზონებში. სეისმური სარტყლების უმეტესობა შეესაბამება ფილის საზღვრებს. ამ სარტლების ფარგლებში მიწისძვრებს ეწოდებათ ფილის საზღვრის მიწისძვრები, ხოლო მიწისძვრებს, რომლებიც ხდება ამ საზღვრების ფარგლებს გარეთ კი ფილისშიდა მიწისძვრები.

უნდა აღინიშნოს, რომ მიწისძვრები არ ხდება დედამიწის შერჩევით სიღრმეებზე. სეისმოლოგები განასხვავებენ მიწისძვრების სამ კლასს ჰიპოცენტრის სიღრმის საფუძველზე: ზედაპირული მიწისძვრები ხდება დედამიწის ზედა 20კმ ფარგლებში; შუალედური მიწისძვრები – 20-30კმ ფარგლებში, ხოლო ღრმა მიწისძვრები კი დაახლოებით 660კმ სიღრმეზე. ამ სიღრმეზე ქვევით არ შეიძლება მოხდეს მიწისძვრა, რადგან აქ ქანს არ შეუძლია გაირღვეს ან შეიცვალოს იმგვარად, რომ წარმოქმნას დარტყმის ტალღები.

***შეგვიძლია თუ არა დიდი მიწისძვრების პროგნოზირება?***

შეუძლიათ თ არა სეისმოლოგებს მიწისძვრის პროგნოზირება? ამ კითხვაზე პასუხი დამოკიდებულია პროგნოზირების დროის პერიოდზე. სეისმური ზონების გავრცელებისა და მიწისძვრების სიხშირეების ცოდნის საფუძველზე შეგვიძლია გავაკეთოთ გრძელვადიანი პროგნოზი. მაგალითად, მეტნაკლებად ზუსტად შეგვიძლია ვივარაუდოთ, რომ ძლიერი მიწისძვრა თავს დაატყდება კალიფორნიას მომავალი 100 წლის განმავლობაში და რომ ძლიერი მიწისძვრა არ ემუქრება კანადას მომდევნო ათი წლის მანძილზე. თუმცა, მიუხედავად ფართომასშტაბიანი კვლევებისა, სეისმოლოგებს არ შეუძლიათ გააკეთონ ზუსტი მოკლევადიანი პროგნოზი.

***საინჟინრო სეისმოლოგია და ზონირება***

ადამიანის სიცოცხლისთვის მიწისძვრით მიყენებული ზიანი დამოკიდებულია რიგ ფაქტორებზე: დასახლებულ ადგილებთან ეპიცენტრის სიახლოვე, ჰიპოცენტრის სიღრმე, ეპიცენტრულ რეგიონში მშენებლობის მეთოდი, ხდება თუ არა მიწისძვრა ციცაბო ქანობებიან რეგიონში ან სანაპიროს გასწვრივ, არის თუ არა შენობების საძირკვლები აგებული მყარ დედაქანზე თუ სუსტ სუბსტრატზე, მიწისძვრა მოხდა მაშინ, როცა ადამიანები იყვნენ სახლებში თუ გარეთ და შეეძლო თუ არა ხელისუფლებას დაუყოვნებლივ უზრუნველეყო სამაშველო მომსახურებები.

მაგალითად, 1988 წელს სასომხეთში მომხდარი მიწისძვრა არ იყო სამხრეთ კალიფორნიაში 1971 წელს მომხდარ მიწისძვრაზე ძალიან ძლიერი თუმცა სასომხეთში დაიღუპა 500-ჯერ მეტი ადამიანი (24,000 სასომხეთში, ხოლო კალიფორნიაში 50). ამ რიცხვებს შორის განსხვავება ასახავს მშენებლობის სტილსა და ხარისხს და სუბსტრატის მახასიათებლებს შორის განსხვავებას. სასომხეთში სახლები, რომლებიც არ იყო აგებული რკინა–ბეტონის გამოყენებით დაინგრა, ხოლო კალიფორნიაში შენობები აგებული იყო სამშენებლო ნორმების დაცვით. 1976 წელს ჩინეთში, ტანშანში მომხდარმა მიწისძვრამ შეიწირა 250,000 ადამიანის სიცოცხლე, რადგან გრუნტი ეპიცენტრის ქვეშ დასუსტებული იყო ნახშირის საბადოების გათხრის გამო და იგი ჩამოიშალა და ასევე შენობებიც არ იყო შესაბამისად აგებული.

ჩვენ შეგვიძლია მიწისძვრის შედეგების შესუსტება სათანადო უსაფრთხოების ზომების გახორციელებით, კერძოდ საინჟინრო სეისმოლოგიისა და ზონირების გამოყენებით. ძლიერი მიწისძვრებით გამორჩეულ რეგიონებში შენობები და ხიდები უნდა აიგოს ისე, რომ მათ გაუძლონ ვიბრაციებს ჩამონგრევის გარეშე.

**თავი 10**

**ქერქის დეფორმაცია და მთათა წარმოქმნა**

***შესავალი***

გეოლოგებისთვის მთები წარმოადგენს დედამიწაზე დინამიკური აქტივობის ერთ–ერთ ყველაზე აშკარა მაჩვენებელს. მთის წარმოსაქმნელად დედამიწის ძალებმა უნდა ზემოთ ასწიონ ქანის მრავალი კუბური კილომეტრი მიზიდულობის ძალის საწინააღმდეგოდ. ცხელ ზონებზე წარმოქმნილი დიდი ვულკანების გარდა მთები არ წარმოიქმნება იზოლირებულად, არამედ წარმოიქმნება, როგორც წრფივი ქედების ნაწილი, რომელთაც უწოდებენ მთათა სარტყლებს ან ოროგენებს.

მთათა სარტყლის წარმოქმნის პროცესი არა მხოლოდ ზემოთ სწევს დედამიწის ქერქის ზედაპირს, არამედ ასევე იწვევს ქანების დეფორმაციას, პროცესს, რომლის ზემოქმედებითაც ქანები იღუნება ან იშლება დაწნევის, გაჭიმვის ან შეკუმშვის შედეგად. დეფორმაცია წარმოქმნის გეოლოგიურ სტრუქტურებს, ნაპრალებს, რღვევებს , ნაკეცებს და აშრევებას. მთათა წარმოქმნა ასევე შესაძლოა მოიცავდეს მეტამორფიზმსა და ვულკანურ აქტივობას.

მთათა წარმოქმნის პროცესი, ანუ ოროგენი, შესაძლოა გაგრძელდეს ათეულობით მილიონი წელი. გრუნტის ამოწევასთან ერთად ეროზია იწყებს მის დამუშავებას და წარმოქმნის ნალექს და გასაოცარ, დაკბილულ ტოპოგრაფიას.

***ნაპრალები და ძარღვები: ბუნებრივი ბზარები ქანებში***

თუ დააკვირდებით გაშიშვლებულ ქანებს, შეამჩნევთ შავ ხაზებს, რომლებიც კვეთს ქანის ზედაპირს. ეს ხაზები წარმოადგენს ბუნებრივი ბზარების კვალს, რომლის გასწვრივაც ტყდება ქანი და იშლება ორ ნაწილად მსხვრევადი დეფორმაციისას. გეოლოგები ამ ბუნებრივ ბზარებს უწოდებენ ნაპრალებს.

ნაპრალები წარმოიშობა მსხვრევად ქანში გამჭიმი დაძაბულობის ზემოქმედების შედეგად. ნაპრალები შესაძლებელია წარმოიშვას სხვადასხვა გეოლოგიური მიზეზების გამო. მაგალითად, ზოგიერთი ნაპრალი წარმოიშობა მაშინ, როდესაც ქანი ცივდება და იკუმშება, სხვა შემთხვევაში ნაპრალი ფორმირდება მაშინ, როდესაც სიღრმზე ქანში მცირდება წნევა ზემოთმდებარე ქანის ეროზიის შედეგად, ხოლო ზოგი კი ფორმირდება ქანის ფენების დანაოჭების შედეგად.

თუ მიწისქვეშა წყლები დიდი ხნის განმავლობაში გაედინება ნაპრალებში, მინერალები, მაგალითად, კვარცი და კალციტი ილექება წყლიდან და ავსებს ნაპრალს. ამგვარ მინერალებით ამოვსებულ ნაპრალებს ეწოდებათ ძარღვები. ზოგიერთი ძარღვი მცირე ოდენობით შეიცავს ისეთ ძვირფას ლითონებს, როგორიცაა მაგალითად ოქრო.

ინჟინერ–გეოტექნიკოსები დიდ ყურადღებას აქცევს ნაპრალებს, როდესაც ისინი იძლევიან რეკომენდაციებს გზების, კაშხლებისა თუ შენობების მშენებლობასთან დაკავშირებით. წყალი გაცილებით მარტივად გაედინება ნაპრალებში, ვიდრე მყარ ქანში და აქედან გამომდინარე ცუდი გადაწყვეტილება იქნება წყლის აუზის მოთავსება დანაპრალებულ ქანზე. ასევე სარისკო იქნება გზის მშენებლობა დანაპრალებული ქანების შემცველ ციცაბო ფერდობზე.

***რღვევები: ძვრის ზედაპირები***

რღვევები გავრცელებულია დედამიწის ქერქში. ზოგიერთი მათგანი ამჟამად აქტიურია, რაც ნიშნავს, რომ მათზე ძვრა მოხდა უახლოესი გეოლოგიური დროის განმავლობაში, ზოგიერთი კი არის არააქტიური და ეს ნიშნავს, რომ ძვრა მათზე შეწყდა მილიონობით წლის წინ. ზოგიერთი რღვევა კვეთს დედამიწის ზედაპირს და მოძრაობისას ახდენს გრუნტის წანაცვლებას. ზოგიერთი იწვევს ქანების რღვევას ქერქში სიღრმეზე და რჩება შეუმჩნეველი ზედაპირზე, სანამ არ გაშიშვლდებიან ეროზიის შედეგად.

***რღვევების კლასიფიკაცია***

რღვევის სიბრტყე შესაძლებელია იყოს ვერტიკალური, ჰორიზონტალური ან გარკვეულ კუთხით დახრილი, მათ შორის არსებული მიმართულების. არსებობს რღვევების რამოდენიმე ტიპი:

* *ნასხლეტი დაქანებაზე,* ნაწევური სხლეტვა*, დიაგონალური რღვევები:*  *ნასხლეტი დაქანებაზე* ძვრა ხდება რღვევის ქანობის ზემოთ ან ქვემოთ; ნაწევური სხლეტვისას ერთი ბლოკი ცურდება მეორეზე ჰორიზონტალურად, ხოლო დიაგონალური რღვევისას, ძვრა ხდება რღვევის სიბრტყის დიაგონალურად.
* *ნასხლეტი დაქანებაზე ტიპები:*  *ნასხლეტი დაქანებაზე* იყოფა ორ ტიპად იმის მიხედვით თუ რა გზით მოძრაობს ზედა ფრთა ქვედა ფრთის მიმართ. შეცოცებებსა და შესხლეტვებზე ზედა ფრთა ზემოთ გადაადგილებს რღვევის ქანობს. შეცოცებები განსხვავდება შესხლეტვებისგან მხოლოდ რღვევის სიბრტყის დახრილობის თვალსაზრისით, შესხლეტვების ქანობი 300–ზე მეტია. ნორმალურ რღვევებზე ზედა ფრთა მოძრაობს რღვევის სიბრტყეზე ზე ქვემოთ.
* *ნაწევური ნასხლეტების ტიპები:* გეოლოგები განასხვავებენ *ნაწევური ნასხლეტების* ორ ტიპს რღვევის ერთი მხარის ფარდობითი მოძრაობის მიხედვით მეორის მიმართ.

***რღვევების ამოცნობა***

როგორ უნდა ამოვიცნოთ რღვევა? ყველაზე აშკარა კრიტერიუმს წარმოადგენს ძვრის (წანაცვლების) არსებობა, რაც ნიშნავს მოძრაობის რაოდენობას რღვევის სიბრტყის გასწვრივ. ძვრა (წანაცვლება) არღვევს ქანში ფენებს ისე, რომ ფენები ქანის ერთ მხარეზე არ ებმის მეორე მხარეზე არსებულ ფენებს.

რღვევებს ასევე შეუძლიათ თავისი კვალი დააჩნიონ ლანდშაფტსაც. რღვევებს, რომლებიც კვეთენ მიწის ზედაპირს მათი აქტიურობისას შეუძლიათ შეცვალონ ლანდშაფტის ბუნებრივი და ადამიანის მიერ შექმნილი პირობები. ძვრა (წანაცვლება) ნასხლეტი დაქანებაზე ან დიაგონალურ რღვევებზე წარმოქმნის პატარა საფეხურს მიწის ზედაპირზე, რომელსაც ეწოდება ნასხლეტის ფლატე.

რღვევის ზედაპირები და მათი საზღვრები როგორც წესი განსხვავდება დაშრევების სიბრტყეებისგან. მაგალითად, რღვევას მსხვრევად გარემოში შეუძლია ჩამოშალოს ან გახლიჩოს მიმდებარე ქანი. თუ ეს დამსხვრეული ქანი შეიცავს ხილულ კუთხოვან ფრაგმენტებს, მაშინ მას ეწოდება რღვევის ბრექჩია, მაგრამ თუ იგი შეიცავს წვრილმარცვლოვან ფხვნილს, მას ეწოდება ნასხლეტის ფხვნილი.

***ნაოჭები***

წარმოიდგინეთ სწორ იატაკზე დაგებული ფარდაგი. თუ ფარდაგს ერთი მხრიდან ავწევთ და დავიქნევთ იგი ანაოჭდება ან წარმოქმნის რიგ ტალღისებურ ნაკეცებს. მთათა წარმოქმნის და სხვა ტექტონიკური პროცესების დროს წარმოქმნილ წნევებს შეუძლიათ გამოიწვიონ ქანში მსგავსი ნაოჭები ან მისი დეფორმაცია და ამის შედეგია ქანის ფენის გაღუნვა ან ატალღოვნება, ანუ წარმოიქმნება ნაოჭი.

ყველა ნაოჭი არ გამოიყურება ერთნაირად; ზოგიერთი მათგანი წააგავს თაღებს, ზოგი ღრმულს, ხოლო დანარჩენები სხვადასხვა ფორმისაა. ამ ფორმების აღწერის მიზნით პირველ რიგში განვიხილოთ ნაოჭის ელემენტები. ნაოჭის ღერძი ანუ შარნირი აღნიშნავს ნაოჭის იმ ნაწილს, სადაც მრუდი ყველაზე დიდია, ხოლო ნაოჭის ფრთები კი არის ნაოჭის გვერდები, სადაც სიმრუდე ნაკლებადაა გამოხატული. ღერძული ზედაპირი წარმოადგენს წარმოსახვით ზედაპირს, რომელიც მოიცავს სიმეტრიულად გაყოფილ ნაოჭებს. ამ ტერმინების გამოყენებით შეგვიძლია განვიხილოთ ნაოჭების ტიპები:

* *ანტიკლინები, სინკლინები და მონოკლინები:* ნაოჭებს, რომელთაც გააჩნიათ თაღისებრი ფორმა, სადაც ფრთები ეშვება ქვემოთ ნაოჭის საპირისპირო მიმართულებით, ეწოდებათ ანტიკლინები. ხოლო ნაოჭებს, რომელთაც აქვთ ღრმულის ფორმა და სადაც ფრთები ეშვება ქვემოთ ნაოჭის მიმართულებით, ეწოდებათ სინკლინები. მიწის ზედაპირზე, უძველესი ფენები შიშვლდება ნაოჭის სიახლოვეს, ხოლო ყველაზე ახალგაზრდა ფენები კი ნაოჭიდან მოშორებით ანტიკლინში. პირიქით ხდება სინკლინში. მონოკლინს გააჩნია კიბეზე დაფენილი ხალიჩის ფორმა.
* *დაძირვადი ნაოჭები და არადაძირვადი ნაოჭები*: თუ ფრთა ჰორიზონტალურია, ნაოჭს ეწოდება *არადაძირვადი ნაოჭი* და თუ ფრთა გადახრილია, ნაოჭს ეწოდება *დაძირვადი ნაოჭი*. ქანის ფენები *არადაძირვადი ნაოჭებში* *არის ერთმანეთის პარალელური ორივე მხარეს. დაძირვად ნაოჭებს* რუკაზე მათ გააჩნიათ U–ს ფორმა.
* *გუმბათები და სტრუქტურული ნაოჭები*: ამობრუნებული ჯამის ფორმის ნაოჭს ეწოდება გუმბათი, ხოლო სწორად მდგარი ჯამის ფორმის ნაოჭს კი ეწოდება სტრუქტურული ნაოჭი. უძველესი ფენა შიშვლდება გუმბათის ცენტრში, ხოლო ყველაზე ახალგაზრდა ფენა კი სტრუქტურული ნაოჭის ცენტრში.

ნაოჭები წარმოიშობა ძირითადად ორი გზით. სრიალის ფლექსურული ნაოჭების ფორმირებისას, ფენების კონა იღუნება და ფენებს შორის ადგილი აქვს ძვრას (გაცურებას). პასიური დინების ნაოჭები ფორმირდება მაშნ, როდესაც ქანი იმდენად რბილია, რომ იგი წააგავს სუსტ პლასტმასს და ნელა მიედინება; აღნიშნული ნაოჭები წარმოიშობა უბრალოდ იმიტომ, რომ მაგმური სხეულის სხვადასხვა ნაწილები მოძრაობს სხვადასხვა სიჩქარით.

ნაოჭები წარმოიშობა სხვადასხვა მიზეზით. ზოგიერთი ფენა ნაოჭდება ან იბურცება ფლანგური კომპრესიის შედეგად; სხვები ფორმირდება მაშინ, როდესაც ძვრის დაძაბულობა ნელ–ნელა ფენის ერთ ნაწილს მეორის ვერტიკალურად. ზოგიერთი ნაოჭი წარმოიქმნება, როდესაც ქანის ფენები ვერტიკალურად ამოძრავებს საფეხურების მსგავს მრუდებს ნაოჭში და იგი უნდა მოიღუნოს იმისთვის, რომ შესაბამოს ნაოჭის ფორმას. და ბოლოს, ზოგიერთი ნაოჭი ფორმირდება მაშინ, როდესაც ნაოჭზე ჩამოცურება (ძვრა) იწვევს ფუნდამენტის ფილის ზემოთ გადაადგილებას ისე, რომ ზემოდან დაფენილი დანალექი ქანები დეფორმირდება.

***მთათა წარმოქმნის მიზეზები***

ფილაქნების ტექტონიკის თეორიის ჩამოყალიბებამდე გეოლოგებმა არ იცოდნენ თუ როგორ წარმოიქმნება მთები. თუმცა, ახალი თეორიის კონტექსტში ნათელი მოეფინა მთათა წარმოქმნის მამოძრავებელ ბევრი პროცესს: მთები წარმოიქმნება კონვერგენტული საზღვრების დეფორმაციის, კონტინენტების შეჯახების და რღვევების შედეგად.

***კონვერგენციასთან დაკავშირებული მთები***

კონტინენტური კონვერგენტული ფილაქნის საზღვრების გასწვრივ, სადაც ოკეანის ლითოსფერო ეშვება კონტინენტის ქვემოთ, წარმოიქმნება ვულკანური რკალი (თაღი) და ორ ფილაქანს შორის კომპრესია იწვევს მთის ქედის წარმოქმნას. თუ ფილაქნის მოძრაობის შედეგად კონტინენტი მჭიდროდ ეკვრის სუბდუქციის ზონას ვულკანური თაღის (რკალის) კონტინენტის მხრიდან, წარმოიქმნება ნაოჭა-შეცოცებითი რკალი. ამგვარ სარტყლებში ფორმირდება რიგი ძვრის და მასთან დაკავშირებული ნაოჭები. მაგალითად, სამხრეთ ამერიკის დასავლეთ სანაპიროს გასწვრივ კონვერგენციის შედეგად წამრმოიქმნა ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყელი, ანდების აღმოსვლეთით.

კონვერგენტული საზღვრების ოროგენეზის დროს, სანაპირო კუნძულის ვულკანური რკალები (თაღები) ოკეანის პლატოები და კონტინენტური ქერქის მცირე ფრაგმენტები შესაძლებელია გადაადგილდეს კონვერგენტული საზღვარისკენ. აღნიშნული ფილაქნები ძალიან ტივიტივაა და არ იძირება და ისინი ეჯახება კონვერგენტულ საზღვარს და ეწებება ან ერწყმის კონტინენტს. გეოლოგები ამგვარ ფილაქნებს უწოდებენ ქანების ეგზოტიკურ ზონას.

***კონტინენტების შეჯახებასთან დაკავშირებული მთები***

როდესაც ოკეანის ლითოსფერო ორ კონტინენტს შორის მთლიანად იძირება, კონტინენტები ეჯახებიან ერთმანეთს. კონტინენტების შეჯახება იწვევს მთის ისეთი დიდი ქედების წარმოქმნას, როგორიცაა მაგალითად ჰიმალაები ან ალპები.

შეჯახებისას, ინტენსიური კომპრესია წარმოქმნის ნაოჭა-შეცოცებით სარტყელებს ოროგენის საზღვრებზე. ოროგენის შიგნით, სადაც ერთი კონტინენტი ზემოდან ეფარება მეორის კიდეს, წარმოიშობა მაღალი ხარისხის მეტამორფიზმი, რომელსაც თან სდევს დინების ნაოჭების წარმოქმნა და ტექტონიკური აშრევება. ამ პროცესის დროს ოროგენის ქვეშ მდებარე ქერქი სქელდება მის ნორმალურ სისქეზე ორჯერ მეტად. ნელ–ნელა, ქანი იკუმშება ზემოთ და ეს უკანასკნელი შიშვლდება ექსგუმაციის მიერ.

***კონტინენტურ რღვევებთან დაკავშირებული მთები***

კონტინენტური რღვევები წარმოადგენს ადგილებს, სადაც კონტინენტები იხლიჩება ორ ნაწილად. როდესაც წარმოიქმნება რღვევა, ადგილი აქვს ზემოთ მოძრაობას, რადგან ლითოსფერო თხელდება, ცხელი ასთენოსფერო იწევს მაღლა და ამის გამო დარჩენილი ლითოსფერო ცხელდება და ხდება ნაკლებად მკვრივი. ეს ლითოსფერო უფრო ტივტივაა და შესაბამისად იწევს ზემოთ, რათა აღადგინოს იზოსტატიკური ბალანსი.

***კრატონების აუზები და გუმბათები***

კრატონი შედგება ქერქისგან, რომელსაც ოროგენი არ შეხებია მინიმუმ დაახლოებით 1 მილიარდი წლის განმავლობაში. რადგან ოროგენს კრატონებში ადგილი ჰქონდა ასე დიდი ხნის წინ, მათი ქერქი გახდა სამაოდ ცივი და შესაბამისად შედარებით მყარი და სტაბილური. ჩვენ შგვიძლია დავყოთ კრატონები ორ რეგიონად: ფარები, სადაც მიწის ზედაპირზე წარმოიშვა პრეკამბრიული მეტამორფული და ვულკანური ქანები და კრატონული პლატფორმები, სადაც ფანეროზოული ნალექის შედარებით თხელი ფენა ფარავს პრეკამბრიულ ქანებს.

ფარის ზონებში გვხვდება ინტენსიურად დეფორმირებული მეტამორფული ქანები დინების ნაოჭებისა და ტექტონიკური აშრევების უამრავი მაგალითით. ეს გამოწვეულია იმით, რომ კრატონების წარმომქმნელი ქერქი დეფორმირდა პრეკამბრიულ პერიოდში ოროგენეზისას.

კრატონულ პლატფორმაში, სტრატიგრაფიულ ფორმირებებს შორის კონტაქტის ნიმუში განსაზღვრავს რეგიონულ გუმბათებსა და აუზებს. ეს არის დიდი ტერიტორიები, რომლებიც ეტაპობრივად ჩაიძირა ან ამოიზარდა, შესაბამისად.

**თავი 11. დედამიწის ისტორია**

***დედამიწის ბიოგრაფია***

ჯეიმს ჰატონს (*James Hutton*) მე-18 საუკუნის შოტლანდიელ გეოლოგს, რომელმაც პირველმა წარმოადგინა საფუძვლიანი მტკიცებულება იმის თაობაზე, რომ დედამიწა ძალიან დიდი ხნისაა, პირდაპირ არ გამოუთვლია დედამიწის ასაკი და რეალურად ვარაუდსაც კი გამოთქვამდა, რომ შესაძლოა „არც არსებობდეს დასაწყისის კვალი“. თუმცა, ბოლო ათწლეულების მანძილზე ჩატარებულმა, იზოტოპური მეთოდით ასაკის განსაზღვრის კვლევებმა გვიჩვენა, რომ რეალურად შესაძლებელია განისაზღვროს ჩვენი პლანეტის ასაკი. კონკრეტულად, იმ მეტეორიტების კლასის მიხედვით განსაზღვრული თარიღები, რომლებიც ითვლება პლანეტარული ნისლეულის ნარჩენებად, საიდანაც წარმოიშვა დედამიწა ითვლის 4,57 მილიარდ წელს. დღეისთვის გეოლოგები ამ რიცხვს მიიჩნევენ დედამიწის დაბადების თარიღად, თუმცა, დედამიწის ისტორიის ზუსტი ჩანაწერები (როგორც ეს დაფიქსირებულია კონტინენტური ქერქის ქანებში) არ იწყება დაახლოებით 3,80 მილიარდ წლამდე ადრე, რაც 3,80 მილიარდი წლის ასაკის ქერქის ქანებისთვის ძალიან წარმოუდგენელია. გეოლოგები დედამიწის დაბადების თარიღიდან 3,80 მილიარდ წლამდე დროის ინტერვალს უწოდებენ ჰადესის ეონს (ბერძნულ მითოლოგიაში მიწისქვეშეთის ღმერთის – ჰადესის სახელის მიხედვით), რადგან ამ პერიოდის განმავლობაში დედამიწის ზედაპირი დროდადრო წააგავდა ჯოჯოხეთს.

ჰადესის ეონი დაიწყო დედამიწის ფორმირებასთან ერთად პლანეტების ზრდის გამო. პლანეტის ზრდის შედეგად, მყარ ბურთში ნივთიერების დაგროვებამ და შეკუმშვამ წარმოქმნა ძლიერი სიცხე. ამის შემდეგ, ყოველ ჯერზე დედამიწასთან თითოეული მეტეორიტის შეჯახებისას მისი კინეტიკური ენერგია გარდაიქმნებოდა უფრო მეტ სითბოდ. რადიოაქტიური დაშლის შედეგად წარმოიქმნებოდა სულ უფრო და უფრო მეტი სითბო ახლადწარმოქმნილ პლანეტაზე. საბოლოო ჯამში დედამიწა გახდა იმდენად ცხელი, რომ იგი ნაწილობრივ დადნა და როდესაც ეს მოხდა (დაახლოებით 4,5 მილიარდი წლის წინ) იგი დაექვემდებარა შიდა დიფერენციაციას – გრავიტაციის ძალამ გაისროლა რკინა ქვემოთ, დედამიწის ცენტრში, სადაც იგი დაგროვდა და წარმოქმნა ბირთვი. მკვლევარები ვარაუდობენ, რომ ძალიან მალე ამის შემდეგ (ან დიფერენციაციის დროსაც კი) მარსის ზომის პროტოპლანეტა შეეჯახა დედამიწას. ამ შეჯახების ენერგიამ ააფეთქა დედამიწის მანტიის მნიშვნელოვანი ნაწილი; შედეგად წარმოქმნილი ნამსხვრევებისგან შეიქმნა სილიკატური ქანის ნამსხვრევების რგოლი დედამიწის ორბიტაზე. აღნიშნული რგოლი სწრაფად გაერთიანდა, რათა წარმოქმნილიყო მთვარე.

დიფერენციაციისა და მთვარის ფორმირების შედეგად დედამიწა გახდა იმდენად ცხელი, რომ მისი ზედაპირი ძირითადად დაფარული იყო მდუღარე მაგმის ოკეანით. მაგმის ოკეანის ზედაპირზე აქა–იქ დროებით წარმოიქმნა მყარი ქანის მასები, თუმცა ისინი საბოლოო ჯამში ჩაიძირა და კვლავ გალღვა. ეს ეტაპი გაგრძელდა დაახლოებით 4,4 მილიარდ წლამდე. ამის შემდეგ, რადიოაქტიური სითბოს წარმოქმნის შესუსტების გამო შესაძლებელია დადამიწა გახდა საკმარისად გრილი იმისთვის, რომ მის ზედაპირზე წარმოქმნილიყო მყარი ქანები. ამის მტკიცებულებად შესაძლებელია მოვიყვანოთ დასავლეთ ავსტრალიის მაგალითი, სადაც გეოლოგებმა აღმოაჩინეს 4,4 მილიარდი წლის გამძლე მინერალის ცირკონის მარცვლები, შერეული ქვიშაქვის ფუძექანების კვარცთან. ცირკონები სავარაუდოდ თავდაპირველად შეიქმნა ვულკანურ ქანებში.

ჰადესის ეონის პერიოდში დაიწყო დედამიწის მანტიის დეგაზირება. ეს ნიშნავს იმას, რომ მანტიის მინერალებში თავდაპირველად არსებული აქროლადი ელემენტები ან ნაერთები გამოთავისუფლდა და ამოიფრქვა დედამიწის ზედაპირზე ლავასთან ერთად. დაგროვდა გაზები და შექმნეს წყლის (H2O), მეთანის (CH4), ამიაკის (NH3), წყალბადის (H2), აზოტის (N2), ნახშირორჟანგის (CO2), გოგირდის დიოქსიდის (SO2) და სხვა აირების უჟანგბადო ატმოსფერო. ზოგიერთი მკვლევარი ფიქრობს, რომ დედამიწასთან კომეტების შეჯახების შედეგად წარმოქმნილმა გაზებმა შესაძლოა ხელი შეუწყეს დამატებითი გაზების წარმოქმნას ადრეულ ატმოსფეროში. თუ ჰადესისეული დედამიწის ზედაპირი იყო საკმაოდ ცივი იმისთვის, რომ 4,4 მილიარდი წლის წინ უზარმაზარი მყარი ქერქის ქანი ჩამოყალიბებულიყო, მაშინ პირველი ოკეანე შესაძლოა გაჩნდა მალევე ამის შემდეგ, როდესაც ატმოსფეროშ მოხდა წყლის კონდენსირება და შემდეგ მისი წვიმად წამოსვლა.

***არქეული ეონი: კონტინენტების დაბადება და სიცოცხლის გაჩენა***

არქეულ ეონსა და ჰადესის ეონს შორის საზღვარი თარიღდება დაახლოებით 3,8 მილიარდი წლით. ამ დროს ემთხვევა პერიოდი, როდესაც წარმოიქმნა ქერქის ქანების უმეტესი ნაწილი, ზღვის ნალექებიდან წარმოქმნილი ქანების ჩათვლით. არქეული ეონის დადგომისას დედამიწის ქერქი იყო საკმაოდ გრილი და სტაბილური იმისთვის, რომ იზოტოპურ საათებს დაეწყოთ წიკწიკი.

როგორ წარმოიშვა კონტინენტური ქერქი? ერთი მოდელის მიხედვით, შედარებით ტივტივა ქერქის ქანები წარმოიქმნა, როგორც სუბდუქციის ზონაში, ასევე აქტიურ ვულკანებზე. ხშირმა შეჯახებებმა ერთმანეთთან შეაკავშირა ვულკანური რკალები და აქტიური ვულკანები და თანდათანობით შეიქმნა უფრო დიდი ზომის ბლოკები, რომელთაც ეწოდებათ პროტოკონტინენტები. ზოგიერთი ეს პროტოკონტინენტი გაფართოვდა, წარმოიქმნა ნაპრალები, რომლებიც ამოივსო ბაზალტით. დროთა განმავლობაში პროტოკონტინენტები გახდა უფრო ცივი და მტკიცე და 3,2-2,7 მილიარდი წლებს შორის ჩამოყალიბდა პირველი კრატონი, გამძლე კონტინენტური ქერქის ხანგამძლე ბლოკები. არქეული ეონის ბოლოს ჩამოყალიბებული იყო კონტინენტური ქერქის დაახლოებით 80%. ამ პერიოდში ვულკანების აქტივობა გრძელდებოდა და ატმოსფერო მარაგდებოდა გაზებით.

არქეულ ეპოქაში გაჩნდა არა მხოლოდ პირველი კონტინენტები, არამედ სავარაუდოდ პირველი სიცოცხლეც. სიცოცხლის ადრეული ეტაპების განსასაზღვრად გეოლოგები იყენებენ მტკიცებულებების სამ წყაროს:

* *ქიმიური (მოლეკულური) წიაღისეული ან ბიომარკერები:* ესენია ხანგამძლე ქიმიური ნივთიერებები, რომლებიც წარმოიქმნება მხოლოდ ცოცხალი ორგანიზმების მეტაბოლიზმის შედეგად;
* *იზოტოპური შემადგენლობები:* ნახშირბადით მდიდარ ნალექებში 12C -13C კოეფიციენტის ანალიზით გეოლოგებს შეუძლიათ განსაზღვრონ შეიცავდა თუ არა ერთ დროს დანალექი ორგანიზმების სხეულებს, რადგან ორგანიზმებში ძირითადად წარმოდგენილია 12C.
* *წიაღისეული ფორმები:* შესაბამისი დანალექების პირობებში ბაქტერიების ან არქებაქტერიების გაქვავებული უჯრედები შესაძლებელია შენარჩუნდეს ქანში.

გეოლოგების უმეტესობა თვლის, რომ დედამიწაზე სიცოცხლე არსებობდა მინიმუმ 3,5 მილიარდი წლის წინ და შესაძლოა 3,8 მილიარდი წლის წინაც. ბაქტერიების და არქებაქტერიების უძველესი გაქვავებული ფორმები აღმოჩენილია 3,2 მილიარდი წლის ქანებში. ზოგიერთი ამ ასაკის ქანი შეიცავს სტრომატოლიტებს, ციანობაქტერიების საფარის მიერ წარმოქმნილ ნალექების გროვებს.

1950–იან წლებში ჩატარებულმა ლაბორატორიულმა ექსპერიმენტებმა ბევრ მკვლევარს აფიქრებინა, რომ სიცოცხლე დაიწყო ზედაპირული წყლების თბილ აუზებში. ამ ჰიპოთეზის ერთადერთ პრობლემას წარმოადგენს ის, რომ ბოლოდროინდელი მტკიცებულებები გვავარაუდებინებს, რომ ადრეული ატმოსფერო ძირითადად შეიცავდა CO2– და N2–ს, შედარებით მცირე ოდენობის მეთანთან და ამიაკთან ერთად. აქედან გამომდინარე, ზოგიერთი მკვლევარი გამოთქვამს ვარაუდს, რომ ჰიდროთერმული წყაროები იყო პირველი ორგანიზმების მასპინძელი. არქეული ეონის პერიოდში ადრეული ცოცხალი ორგანიზმები შესაძლოა იყვნენ თერმოფილი (სითბოს მოყვარულები) ბაქტერიები ან არქებაქტერიები.

არქეული ეონის დასასრულს ჩამოყალიბდა პირველი კონტინენტები და ცოცხალი ორგანიზმები დასახლდნენ არა მხოლოდ ზღვების სიღრმეებში, არამედ წყალმარჩხ ადგილებშიც. დაიწყო ფილაქნების ტექტონიკა, მატერიკების მოძრაობა, ჩამოყალიბდა მთათა სარტყლები და ხდებოდა ეროზიები. ატმოსფეროში ნელ–ნელა გროვდებოდა ჟანგბადი, თუმცა სავარაუდოდ ეს აირი შეადგენდა ჰაერის მხოლოდ მცირე ნაწილს.

***პროტეროზოული ეონი: თანამედროვე სამყაროში გადასვლა***

პროტეროზოული ეონი გრძელდენა დაახლოებით 2 მილიარდი წლის განმავლობაში, დაახლოებით 2,5 მილიარდი წლიდან კემბრიულ პერიოდამდე და შესაბამისად იგი მოიცავს დედამიწის ისტორიის თითქმის ნახევარს. მისი ამჟამად დამაბნეველი სახელი ეონმა მიიღო არქეულ ქანში ნამარხი ორგანიზმების აღმოჩენამდე. პროტეროზოულ ეპოქაში დედამიწის ზედაპირის გარემო შეიცვალა შესაძლო მცირე, სწრაფად მოძრავი ფილების, პატარ კონტინენტების და ჟანგბადით ღარიბი ატმოსფეროს სამყაროდან უფრო დიდი ფილების, დიდი კონტინენტების და ჟანგბადით მდიდარი ატმოსფეროს სამყაროთი.

პროტეროზოულ ეონში ახალი კონტინენტური ქერქი მართალია უფრო შენელებული სიჩქარით, მაგრამ განაგრძობდა ჩამოყალიბებას და ეონის შუა პერიოდში ჩამოყალიბდა დედამიწის კონტინენტური ქერქის 90%. არქეული კონტინენტებს შორის, ასევე ვულკანურ კუნძულების რკალებთან და აქტიურ ვულკანებთან შეჯახებებმა გამოიწვია დიდი კონტინენტების ჩამოყალიბება, რომელთა შიდა ნაწილიც მდებარეობდა ოროგენული სარტყლებიდან მოშორებით. ეს კონტინენტები გაგრილდა და გამყარდა და გახდა კრატონები. დღეისთვის არსებული დიდი კრატონები ჩამოყალობდა პროტეროზოული ეონის ბოლოს.

თანმიმდევრულმა შეჯახებებმა საბოლოო ჯამში დედამიწაზე კონტინენტური ქერქის უმეტესი ნაწილი გააერთიანა ერთ სუპერკონტინენტად, რომელსაც ეწოდა როდინია. როდინიის ჩამოყალიბების პერიოდში უკანასკნელი უდიდესი შეჯახებისას წარმოიქმნა დიდი ოროგენი, სახელად გრენვილის ოროგენი.

რამოდენიმე კვლევა გვავარაუდებინებს, რომ ერთ დროს, 800-600 მილიონი წლის წინ, როდინია „ამობრუნდა“ და ანტარქტიკა, ინდოეთი და ავსტრალია მოწყდა დასავლეთ ჩრდილოეთ ამერიკას, შემობრუნდა და შეეჯახა მომავალ სამხრეთ ამერიკას და სავარაუდოდ წარმოიქმნა ხანმოკლე სუპერკონტინენტი, რომელსაც ზოგიერთი გეოლოგი უწოდებს პანოტიას.

პროტეროზოული ეონის ბოლო ნახევარმილიარდწლიანი პერიოდი ხასიათდებოდა მნიშვნელოვანი გარდაქმნებით, რაც უკავშირდებოდა პრიმიტიული ორგანიზმების უფრო რთულ ორგანიზმებად გარდაქმნას. ინფუზორიები გაჩნდნენ დაახლოებით 750 მილიონი წლის წინ. მომდევნო 150 მილიონი წლის განმავლობაში დიდი გარდატეხა მოხდა ორგანიზმების კომპლექსურობასთან დაკავშირებით, სავარაუდოდ 565 მილიონი წლით დათარიღებული ნალექები შეიცავდნენ მრავალუჯრედიან ორგანიზმებს, რომლებიც ერთად წარმოადგენდნენ ედიაკარულ ფაუნას, რომელსაც სახელი ეწოდა სამხრეთ ავსტრალიის რეგიონის მიხედვით. ედიაკარული სახეობები სანამ გადაშენდებოდნენ, შემორჩნენ კამბრიული პერიოდის დაწყებამდე. მიუხედავად მათი ამოუცნობი ბუნებისა, მათი ნამარხი ფორმები გვავარაუდებინებს, რომ ზოგიერთი ეს უხერხემლო ორგანიზმი წააგავდა მედუზებს, ხოლო ზოგი კი ჭიაყელებს.

პროტეროზოული ეონის ბოლოს დედამიწაზე ადგილი ჰქონდა კლიმატის რადიკალურ ცვლილებას. კერძოდ, დაგროვდა ყინულოვანი ნალექები. საოცარი ამ ნალექების წარმოქმნასთან დაკავშირებით იყო ის, რომ მათი ნახვა შესძლებელია იყო ამ პერიოდში ეკვატორზე მდებარე რეგიონებშიც კი. ეს გვაფიქრებინებს, რომ მთლიანი პლანეტა იყო იმდენად ცივი, რომ პროტეროზოული პერიოდის ბოლოს ჩამოყალიბდა მყინვარები. გეოლოგები დღემდე კამათობენ ამ გლობალური გამყინვარების პერიოდების ასაკზე, მაგრამ ერთი მოსაზრების მიხედვით მყინვარებმა დაფარეს დედამიწა და სავარაუდოდ ოკეანის მთლიანი ზედაპირი გაიყინა და შედეგად მივიღეთ „დედამიწა–თოვლის გუნდა“. ყინულის საფარმა მოწყვიტა ოკეანეები ატმოსფეროს, გამოიწვია ზღვაში ჟანგბადის დონის მკვეთრი შემცირება, რამაც შეიწირა ძალიან ბევრი ცოცხალი ორგანიზმი.

რა იყო „დედამიწა–თოვლის გუნდის“ პირობების მოსპობის მიზეზი? ერთ–ერთი მოსაზრებით, ყინულის საფარმა ასევე ხელი შეუშალა CO2–ის ზღვის წყალში გახსნას, მაგრამ მას ხელი არ შეუშლია ვულკანების აქტივობისთვის, რის შედეგადაც CO2 დაგროვდა ატმოსფეროში. დედამიწა სამუდამოდ დარჩებოდა თოვლის გუნდად, რომ არა ვულკანური CO2, რადგან CO2 არის სათბურის აირი და ეს ნიშნავს, რომ იგი აკავებს სითბოს ატმოსფეროში. აქედან გამომდინარე, დედამიწა გათბა და საბოლოო ჯამში მყინვარები დადნა. ყინულის გაქრობასთან ერთად სიცოცხლე სწრაფად გაგვრცელდა ახალ გარემოში და მოხდა ახალი სახეობების, მაგალითად ედიაკარული ფაუნის ევოლუცია.

***ფანეროზოული ეონი: სიცოცხლის გამრავალფეროვნება და დღევანდელი კონტინენტების ჩამოყალიბება***

ფანეროზოული (ბერძნ. აშკარა სიცოცხლე) ეონი ითვლის დედამიწის ისტორიაში ბოლო 542 მილიონ წელს. მისი სახელი ასახავს მყარგარსიანი ან ხერხემლიანი ორგანიზმების მრავალი სახეობის გაჩენას. გეოლოგები ფანეროზოულ ეონს ყოფენ სამ ერად: პალეოზური (ბერძნ. უძველესი სიცოცხლე), მეზოზოური (შუაპერიოდის სიცოცხლე) და კაინოზოურ (ახლანდელი სიცოცხლე) ერებად. ამ დროს ასევე შეიცვალა მყარი დედამიწაც. კონტინენტური ბლოკები გადალაგდა და წარმოიქმნა ახალი სუპერკონტინენტი, რომელიც შემდეგ კვლავ დაიშალა. რიგი ოროგენეზის შედეგად წარმოიშვა მთათა ქედები, რომელთაგან ზოგიერთი დღესაცაა შემორჩენილი.

***პალეოზოური ერა: როდინიადან პანგეამდე***

***ადრეული პალეოზოური ერა (კამბრიულ–ორდოვიციული პერიოდები, 542-444 მლნ. წ.)***

***პალეოგეოგრაფია.*** პალეოზური ერის დასაწყისში პანოტია დაიშალა და წარმოიშვა უფრო მცირე კონტინენტები ლაურენტიის (მოიცავდა ჩრდილოეთ ამერიკასა და გრენლანდიას), გონდვანას (სამხრეთ ამერიკა, აფრიკა, ანტარქტიკა, ინდოეთი და ავსტრალია), ბალტიკის (ევროპა) და ციმბირის ჩათვლით. ამ ახალი კონტინენტების კიდეების გასწვრივ წარმოიქმნა პასიურსაზღვრებიანი აუზები. ამასთან ზღვის დონემ აიწია და კონტინენტების დიდი ნაწილი ჩაიძირა ეპიკონტინენტური ზღვების სახელით ცნობილ წყალმარჩხ ზღვებში. ბევრ ადგილას ეპიკონტინენტურ ზღვებში წყლის სიღრმემ მიაღწია მხოლოდ რამოდენიმე მეტრს და შექმნა საზღვაო გარემო, სადაც მრავლად იყო ცოცხალი ორგანიზმები. თუმცა, ზღვის დონე არ დარჩენილა მაღალი მთელი პალეოზოური ერის განმავლობაში; ადგილი ჰქონდა რეგრესიებსა და ტრანსრეგრესიებს, რომელთაგან პირველი გამოირჩეოდა უთანხმო განლაგებებით, ხოლო მეორე კი ნალექების დაგროვებით.

**სიცოცხლის ევოლუცია**. კამბრიული პერიოდიდან დაწყებული დედამიწაზე სიცოცხლე ხასიათდება აშკარა ევოლუციით, რადგან ძალიან ბევრ ორგანიზმს ჩამოუყალიბდა გამძლე მინერალების გარსი. პალეონტოლოგიური მატიანე აღწერს, რომ კამბრიული პერიოდის დაწყებიდან მალევე გამრავალფეროვნდა ცოცხალი ორგანიზმები. ეს მოვლენა, რომელსაც პალეონტოლოგები უწოდებენ კამბრიულ აფეთქებას გაგრძელდა დაახლოებით 20 მილიონი წელი. დარწმუნებით არავის არ შეუძლია იმის თქმა თუ რამ გამოიწვია ეს აფეთქება, მაგრამ იმის გათვალისწინებით, რომ ეს მოხდა დაახლოებით იმ დროს, როდესაც დაიშალა სუპერკონტინენტი, შესაძლოა ამან გამოიწვია ახალი ეკოლოგიური ნიშების წარმოქმნა და პოპულაციების იზოლაცია.

***შუა პალეოზური ერა (სილურულ–დევონური პერიოდები, 444-359 მლნ.წ.)***

**პალეოგეოგრაფია**. სილურულ პერიოდში შესვლისას კლიმატი გლობალურად დათბა, ზღვის დონემ აიწია და კონტინენტები კიდევ ერთხელ ჩაიძირა. ზოგიერთ ადგილას, სადაც წყალი ეპიკონტინენტურ ზღვებში იყო სუფთა და შესაძლებელი იყო ოკეანეებიდან წყლის მიღება, გაიზარდა რიფების დიდი კომპლექსები, რომელთაც წარმოქმნეს ნამარხი ორგანიზმების შემცველი კირქვის ფენები კონტინენტებზე.

**სიცოცხლის ევოლუცია**. შუა პალეოზურ ერაში დედამიწაზე ცხოვრება დაექვემდებარა რადიკალურ ცვლილებებს. ზღვაში ტრილობიტების, ევრიპტერიდების, გასტროპოდების, კრინოიდეების და ორსაგდულიანი მოლუსკების ახალმა სახეობებმა ჩაანაცვლეს სახეობები, რომლებიც გაქრნენ მასობრივი გადაშენებისას ორდოვიციული პერიოდის ბოლოს. დედამიწაზე პირველად გაჩნდა ძარღვოვანი მცენარეები მერქნიანი ქსოვილებით. გამომდინარე იქიდან, რომ ძარღვებმა და მერქანმა განიცადა ევოლუცია, მცენარეები იზრდებოდა უფრო სწრაფად და გვიანი დევონური პერიოდის დასაწყისში დედამიწის ზედაპირი დაიფარა ლიკოპოდიუმებისა და გვიმრების ხეების ზომის მონათესავე მცენარეების ჭაობიანი ტყეებით. ამავე დროს ხმელეთსა და სუფთა წყლებში გაჩნდნენ ობობები, მორიელები, მწერები და კიბოსებრნი, ხოლო ოკეანეებში კი ყბიანი თევზები, როგორიცაა მაგალითად ზვიგენები და ძვლიანი თევზები. და ბოლოს, დევონური პერიოდის დასასრულს გამოჩნდნენ ამფიბიები.

***გვიანი პალეოზური ერა (ქვანახშირის –პერმული პერიოდები, 359-251 მლნ.წ.)***

**პალეოგეოგრაფია**. შუა პალეოზურ ერაში სათბურის პირობების პიკის შემდეგ კლიმატი მნიშვნელოვნად გაცივდა გვიან პალეოზურ ერაში. ზღვებმა ეტაპობრივად დაიხია უკან კონტინენტებიდან და ქვანახშირის პერიოდში რეგიონები, სადაც იყო ეპიკონტინენტური ზღვების კირქვის წარმომქმნელი რიფები გადაიქცა სანაპირო ტერიტორიებად და მდინარის დელტებად სადაც დაგროვდა ქვიშა, ფიქალი და ორგანული ნარჩენები.

**სიცოცხლის ევოლუცია**. პალეონტოლოგიური მატიანის მიხდვით გვიან პალეოზურ ერაში მცენარეები და ცხოველები განაგრძობდნენ განვითარებას უფრო და უფრო ნაცნობი ფორმებისკენ. რეპტილიების გაჩენით აღინიშნა რადიკალურად ახალი კომპონენტი ცხოველების რეპროდუქციასთან დაკავშირებით: კვერცხები დამცავი საფარით. გვიანი პალეოზური ერა დასრულდა ორი მნიშნელოვანი მასიური გადაშენებით, რომლის დროსაც ზღვის ცხოველების 90%–ზე მეტი გაქრა. ამ მოვლენების გამომწვევი მიზეზები კვლავ დავის საგნად რჩება, მაგრამ არსებობს საინტერესო მტკიცებულება, რომ პერმული პერიოდის მასობრივი გადაშენების მიზეზი იყო უზარმაზარი მეტეორიტის ჩამოვარდნა ან ვულკანის ამოფრქვევა.

***მეზოზოური ერა: პერიოდი, როდესაც დინოზავრები ბატონობდნენ (ტრიასულ–იურული პერიოდები, 251-145 მლნ. წ)***

**პალეოგეოგრაფია**. პალეზოური ერის ბოლოს ჩამოყალიბებულმა სუპერკონტინენტმა პანგეამ გაძლო დაახლოებით 100 მილიონი წელი ნაპრალების ჩამოყალიბებამდე და სუპერკონტინენტმა დაიწყო დაშლა გვიან ტრიასულ და ადრეულ იურულ პერიოდებში. იურული პერიოდის ბოლოს ნაპრალების გაჩენას მოჰყვა შუა–ატლანტიკური ქედის ფორმირება და ჩრდილო ატლანტიკის ოკეანემ დაიწყო გაფართოება.

**სიცოცხლის ევოლუცია**. ადრეული მეზოზოური ერის განმავლობაში გაჩნდა არსებული მცენარეებისა და ცხოველების ჯგუფების ახალი სახეობები, რომელთაც შეავსეს გვიანი პერმული პერიოდის მასობრივი გადაშენებისას გაჩენილი ეკოლოგიური ნიშები. გაჩნდნენ ტრიასული პერიოდის ბოლოს არსებული ძუძუმწოვრების ნათესავი სახეობები, პატარა ზომის, ვირთხის მსგავსი არსებების სახით.

***გვიანი მეზოზოური ერა (ცარცული პერიოდი, 145 -65 მლნ. წ)***

**პალეოგეოგრაფია**. ცარცულ პერიოდში დედამიწაზე კლიმატი განაგრძობდა უფრო თბილ, სათბურის პირობებში გადასვლას და მნიშნელოვანდა აიწია ზღვის დონემაც. ჩაიძირა კონტინენტების უმეტესობა.

ცარცულ პერიოდში გაგრძელდა პანგეას დაშლა სამხრეთ ატლანტიკის ოკეანის გახსნითა და ანტარქტიკისა და ავსტრალიისგან აფრიკის გამოყოფით. ინდოეთი მოწყდა გონდვანას და სწრაფად გადაინაცვლა ჩრდილოეთით აზიისკენ.

**სიცოცხლის ევოლუცია**. გვიანი მეზოზოური პერიოდის ზღვებში გაჩნდნენ თანამედროვე თევზები. მათ უწინდელი თევზებისგან განასხვავებდათ მოკლე ყბა, მომრგვალებული ქერცლები, სიმეტრიული კუდი და სპეციფიური ლაყუჩები. უზარმაზარი მცურავი რეპტილიები და გიგანტური კუები ნადირობდნენ თევზებზე. ხმელეთზე გაჩნდა ყვავილოვანი მცენარეები. ეს პერიოდი ხასიათდება დინოზავრების ბატონობის პიკით, რომლებიც ბინადრობდნენ თითქმის ყველა გარემოში დედამიწაზე.

**„K-T (ცარცულ–მესამეული) საზღვრული მოვლენა“.** გეოლოგებმა პირველად აღიარეს K-T საზღვრული მოვლენა მეთვრამეტე საუკუნის კვლევებიდან. 1980–იან წლებამდე გეოლოგების უმეტესობა თვლიდა, რომ ფაუნის განახლებას დასჭირდა მილიონობით წელიწადი, თუმცა თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით აშკარა გახდა, რომ ეს ცვლილება ხდებოდა თითქმის უწყვეტად და რომ იგი მოასწავებდა დედამიწაზე უმეტესი სახეობების მოულოდნელ, მასობრივ გადაშენებას. დინოზავრები, რომლებიც პლანეტაზე ბატონობდნენ 150 მლნ წელზე მეტ ხანს უბრალოდ გაქრნენ ოკეანეებში ზოგიერთი პლანქტონური სახეობების 90%–თან და მცენარეების დაახლოებით 75%–თან ერთად. რა სახის კატასტროფას შეეძლო ამგვარი მასობრივი გადაშენების გამოწვევა? 1970–იან და 1980–იან წლებში შეგროვილი მონაცემებიდან გეოლოგების უმეტესობამ დაასკვნა, რომ ცარცული პერიოდი (მინიმუმ მისი ნაწილი) დასრულდა 10კმ სიგანის მეტეორის ზემოქმედების შედეგად, რომელიც ჩამოვარდა ადგილას, სადაც დღეს იუკატანის ნახევარკუნძულია (მექსიკა), სადაც წარმოიშვა 100კმ სიგანის და დაახლოებით 16კმ სიღრმის ნაპრალი, ცნობილი ჩიქსულუბის კრატერის სახელით.

შეჯახებამ გამოიწვია ამხელა ნგრევა არა მხოლოდ იმიტომ, რომ გაჩნდა კრატერი, საიდანაც ცაში გაიფანტა აუარებელი ნამსხვრევები, არამედ იმიტომ, რომ სავარაუდოდ ასევე წარმოიშვა 2კმ სიმაღლის ცუნამი, რომელმაც ჩაძირა კონტინენტების სანაპიროები, გამოიწვია ცხელი ჰაერის აფეთქება, რამაც ცეცხლის ალში გაახვია ტყეები. აფეთქებისა და ხანძრის შედეგად შესაძლებელია ატმოსფეროში გაიფანტა იმდენი ნამსხვრევი, რომ სავარაუდოდ თვეების მანძილზე იდგა ღამე და ზამთრისმაგვარი სიცივე. ამასთან, ჰაერში გაბნეული ქიმიური ნივთიერებები შევიდნენ რეაქციაში წყალთან და გამოიწვიეს მჟავა წვიმა.

***კაინოზოური ერა: საბოლოო პერიოდი დღემდე***

**პალეოგეოგრაფია**. ბოლო 65 მილიონი წლის განმავლობაში დედამიწის რუკა განაგრძობდა ცვლილებას და ეტაპობრივად იქმნებოდა ის, რაც გვაქვს დღეს. პანგეას დაშლის საბოლო ეტაპებით ავსტრალია გამოეყო ანტარქტიკას, ხოლო გრენლანდია ჩრდილოეთ ამერიკას და წარმოიქმნა ჩრდილოეთის ზღვა ბრიტანეთსა და კონტინენტურ ევროპას შორის. ატლანტიკის ოკეანე აგრძელებდა გაფართოებას შუა ატლანტიკურ ქედზე ზღვის ფსკერის სპრედინგის გამო და აქედან გამომდინარე, ორივე ამერიკამ გადაიწია ევროპიდან და აზიიდან დასავლეთით. ამავდროულად, კონტინენტები, რომლებიც ერთ დროს ქმნიდნენ გონდვანას გადაინაცვლეს ჩრდილოეთით, რადგან ტეთისის ოკეანე გაქრა სუბდუქციის შედეგად. ყოფილი გონდვანის კონტინენტების ევროპისა და აზიის სამხრეთ საზღვრებთან შეჯახებამ გამოიწვია დღეისთვის ყველაზე დიდი ოროგენული სარტყლის – ალპურ–ჰიმალაური ჯაჭვის ფორმირება. ინდოეთი და რიგი შუაში მდებარე ვულკანური კუნძულების რკალები და მიკროკონტინენტები შეეჯახა აზიას და წარმოიშვა ჰიმალაები და ტიბეტის პლატო ჩრდილოეთით, ხოლო აფრიკა, ზოგიერთ ვულკანური კუნძულების რკალებთან და მიკროკონტინენტებთან ერთად შეეჯახა ევროპას და დასავლეთით წარმოიქმნა ალპები, ხოლო აღმოსავლეთით კი ზაგროსის მთათა სისტემა (ირანი).

ბოლო 2 მილიონი წლის (მეოთხეული პერიოდი) ცივი კლიმატის განმავლობაში კონტინენტური მყინვარები გაფართოვდა და დაიხია ჩრდილოეთ კონტინენტებისკენ მინიმუმ ოცჯერ, რამაც გამოიწვია პლეისტოცენის გამყინვარება. მყინვარის ყოველ ჯერზე გაზრდასთან ერთად ზღვის დონე ეცემოდა იმდენად, რომ შელფი გაშიშვლდა და ბერინგის სრუტის, ალიასკის დასავლეთით წარმოიშვა ხმელეთის ხიდი, რამაც უზრუნველყო სამიგრაციო მარშრუტები ცხოველებისა და ადამიანებითვის აზიიდან ჩრდილოეთ ამერიკაში; ნაწილობრივ ხმელეთის ხიდები ასევე წარმოიშვა სამხრეთ აზიიდან ავსტრალიამდე, რითაც გამარტივდა ადამიანების ავსტრალიაში მიგრაცია. დაახლოებით 11,000 წლის წინ კლიმატი დათბა და ჩვენ შევედით გამყინვარებათშორის ეპოქაში, რაც დღესაც მოქმედებს. დროის ამ ბოლო ინტერვალს ეწოდება ჰოლოცენი.

**სიცოცხლის ევოლუცია**. როგორც კი ცა საბოლოოდ გაიწმინდა K-T საზღვრული მოვლენის შედეგებისგან, მცენარეების სიცოცხლე განახლდა და მალე კვლავ გაჩნდა ფოთლოვანი და შიშველთესლიანი მცენარეების ტყეები. გაჩნდა მცენარეების, ბალახის ახალი სახეობები და მათ დაიკავეს დაბლობები ზომიერი და სუბტროპიკული კლიმატის რეგიონებში კაინოზოური ერის შუა პერიოდში. დინოზავრების ადგილი სწრაფად დაიკავეს ძუძუმწოვრების სხვადასხვა სახეობებმა. დღეისთვის არსებული ძუძუმწოვარათა ჯგუფების უმეტესი ნაწილი წარმოიშვა სწორედ კაინოზოური ერის დასაწყისში და ამ ეპოქას ამიტომაც მოიხსენიებენ, როგორც „ძუძუმწოვარათა ეპოქას“. ამ პერიოდის ბოლოს გამოჩნდნენ განსაკუთრებით დიდი ზომის ძუძუმწოვრები (მამონტები, გიგანტური თახვები, გიგანტური დათვები და გიგანტური ზარმაცები), თუმცა ისინი გადაშენდნენ ბოლო 10,000 წლის განმავლობაში სავარაუდოდ მათზე ადამიანების ნადირობის გამო.

კაინოზოურ პერიოდში გამოჩნდა პირველად ჩვენი წინაპრები. მაიმუნის მსგავსი პრიმატები გავრცელდნენ მიოცენის ეპოქაში (დაახლოებით 20 მლნ.წ) და პირველი ადამიანის მსგავსი პრიმატი გამოჩნდა დაახლოებით 4 მილიონი წლის წინ, რასაც მოჰყვა ადამიანთა მოდგმის პირველი წევრების „*Homo*“–ს გამოჩენა 2,4 მილიონი წლის წინ. ნამარხი მტკიცებულებები, ძირითადად აფრიკიდან მიუთითებს, რომ „*Homo erectus*“ რომელსაც შეეძლო ქვის ცულების გაკეთება გამოჩნდა დაახლოებით 1,6 მლნ. წლის წინ და „*Homo sapiens*“ –მდე მომავალი ხაზი გადაიკვეთა „*Homo neanderthalensis*“–ით დაახლოებით 500,000 წლის წინ. პალეონტოლოგიური მატიანის მიხედვით, თანამედროვე ადამიანები გაჩნდნენ დაახლოებით 150,000 წლის წინ და აქედან გამომდინარე, ადამიანის ევოლუცია მოხდა პლეისტოცენის ეპოქის კლიმატური პირობების რადიკალური ცვლილებებისას.

**თავი 12**

**ენერგორესურსები**

***შესავალი***

ზოგადად თუ ვიმსჯელებთ, ტერმინს „რესურსი“ და უფრო კონკრეტულად „ენერგო–რესურსი“ ვიყენებთ იმ ნებისმიერ რაღაცასთან დაკავშირებით, რაც შეიძლება გამოყენებული იქნას სითბოს და ელექტრო–ენერგიის გენერაციისთვის ან სატრანსპორტო საშუალებების ასამუშავებლად. ნივთიერებას, რომელიც ინახავს ენერგიას გამოსაყენებლად მზა ფორმით ასევე უწოდებენ საწვავს.

უწინ ადამიანები მოიხმარდნენ მცირე ოდენობით ენერგიას და შეეძლოთ თავი ერჩინათ მხოლოდ ნადირობითა და საკვების შეგროვებით, მაგრამ შემდეგ, როდესაც ადამიანებმა აღმოაჩინეს თუ როგორ გამოიყენონ ცეცხლი საკვების მოსამზადებლად და გასათბობად, მათი მოთხოვნა ენერგო–რესურსებზე გაიზარდა. თავიდან შეშა და გამომშრალი სასუქი იყო ადეკვატური საწვავი, თუმცა, მოსახლეობის ქალაქებში თავმოყრასთან ერთად საჭირო გახდა ენერგია სოფლის მეურნეობისა და ტრანსპორტისთვის და დაიწყეს ახალი რესურსების გამოყენება, როგორიცაა მაგალითად, ცხოველები, ქარი და წყალი. ენერგო–რესურსებზე მოთხოვნამ გადააჭარბა დედამიწის ზედაპირზე არსებული მარაგების ოდენობას არამხოლოდ იმიტომ, რომ გაიზარდა მოსახლეობის რაოდენობა არამედ იმიტომაც, რომ ახალი ტიპის მრეწველობები, როგორიცაა მაგალითად თუჯის გადადნობა გახდა ჩვეულებრივი მოვლენა. სამრეწველო რევოლუციის პერიოდიდან საზოგადოების მოთხოვნა ენერგიაზე ელვის სისწრაფით გაიზარდა. მაგალითად დღეისთვის აშშ–ში ერთი ადამიანი მოიხმარს პრეისტორიულ მონადირე–ადამიანთან შედარებით 110–ჯერ მეტ ენერგიას. დღეისთვის მოხმარებული ენერგიის უმეტესი ნაწილი მოდის ნავთობსა და ბუნებრივ აირზე. შედარებით ნაკლებად ასევე ვაგრძელებთ ნახშირის, ქარის და წყლის ენერგიის გამოყენებას და საუკუნის მეორე ნახევარში ენერგორესურსების ჩამონათვალს დაემატა ბირთვული, გეოთერმული და მზის ენერგიები. ოცდამეერთე საუკუნეში დაიწყო ენერგორესურსების მოპოვების ახალი გზების ძიება; მაგალითად, ნახშირის ქანებიდან და აირის ჰიდრატებიდან (ზღვის ფსკერზე არსებული უცნაური, ყინულის მსგავსი სუბსტანცია) ბუნებრივი აირის მოპოვება, ნახშირის გაზიფიკაცია (ნახშირის გადაქცევა სხვადასხვა ტიპის წვად აირებად), წყალბადოვანი საწვავი ელემენტების წარმოება და ალკოჰოლის მიღება მარცვლეული კულტურებიდან.

რატომ ეძღვნება გეოლოგიის წიგნში თავი ენერგორესურსებს? უბრალოდ იმიტომ, რომ ამგვარი რესურსების უმეტესობა წარმოიქმნება გეოლოგიურ მასალებში ან გეოლოგიური პროცესების შედეგად. ნავთობი, აირი, ნახშირი და საწვავი ატომური ელექტროსადგურებისთვის მიიღება ქანებიდან; გეოთერმული ენერგია წარმოადგენს დედამიწის შიდა ტემპერატურის პროდუქტს. იმისათვის, რომ გავიგოთ თუ რა არის ენერგორესურსების წყარო და შეზღუდვები და მოვიძოთ ახალი რესურსები ჩვენ უნდა ვიცოდეთ მათი გეოლოგია.

***ენერგიის წყაროები დედამიწის სისტემაში***

ზოგადად, დედამიწაზე არსებობს ენერგიის მხოლოდ ხუთი ძირითადი წყარო: (1) ენერგია, რომელიც გამომუშავდება ბირთვული სინთეზის საშუალებით მზეზე და დედამიწაზე მისი ტრანსპორტირება ხორციელდება ელექტრომაგნიტური რადიაციით; (2) მიზიდულობის ძალით წარმოქმნილი ენერგია; (3) რადიოაქტიური ატომების ბირთვების დაყოფის რეაქციის შედეგად წარმოქმნილი ენერგია; (4) დედამიწის შიგნით პლანეტის შექმნის პერიოდიდან შემონახული ენერგია; და (5) ნივთიერებათა ქიმიურ ბმებში შენახული ენერგია. განვიხილოთ ის სხვადასხვა გზები, რომლითაც ენერგიის ეს ფორმები გადაიქცევა რესურსებად, რომელთა გამოყენებაც შეგვიძლია.

* *პირდაპირ მზიდან მიღებული ენერგია:* მზის ენერგია, რომელიც წარმოიშობა მზეზე ბირთვების დაყოფის რეაქციის შედეგად იღვრება დედამიწაზე. იგი შესაძლებელია შესაძლებელია გარდაიქმნას პირდაპირ ელექტრობად მზის ენერგიის ოანელების საშუალებით ან იგი შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას წყლის გასაცხელებლად ან სახლის გასათბობად.
* *პირდაპირ გრავიტაციიდან მიღებული ენერგია:* მთვარის და უფრო ნაკლებად მზის გრავიტაციული მიზიდულობის ძალა იწვევს ოკეანის მიქცევა–მოქცევას, ზღვის ზედაპირის ყოველდღიურ ზემოთ და ქვემოთ მოძრაობას. მოქცევის დროს ცვლილებების პერიოდში არხებში მოძრავ წყალს შეუძლია ტურბინების ამუშავება.
* *ენერგია, რომელიც მოიცავს, როგორც მზის ენერგიას, ასევე მიზიდულობის ძალას:* მზის გამოსხივება ათბობს ჰაერს, რომელიც ტივტივებს და ადის ზემოთ. ამ დროს გრავიტაციის ძალით ცივი ჰაერი პირიქით ჩამოდის ქვემოთ და ამგვარად, ჰაერის მოძრაობით ანუ ქარის საშუალებით ხდება აფრების და ქარის წისქვილების მართვა. მზის ენერგია ასევე აორთქლებს წყალს, რომელიც აღწევს ატმოსფეროში. წყლის კონდენსაციისას წვიმს და წვიმის წყალი ჩამოდის დედამიწაზე, სადაც იგი გროვდება ნაკადებად და მიედინება დაღმართზე გრავიტაციის შედეგად. ამგვარი მოძრავი წყალი გამოიყენება ტურბინებისა და ჰიდროტურბინების ასამუშავებლად.
* *ფოტოსინთეზის შედეგად მიღებული ენერგია:* მცენარეები შთანთქავენ გარკვეულ მზის ენერგიას, რომელიც აღწევს დედამიწის ზედაპირზე. მცენარეების მწვანე ფერს განაპირობებს ქლოროფილის სახელით ცნობილი პიგმენტი. ქლოროფილის დახმარებით მცენარეები წარმოქმნიან შაქარს ქიმიური რეაქციის საშუალებით, რომელსაც ეწოდება ფოტოსინთეზი. ეს რეაქცია ქიმიურად შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგი სახით:

6CO2 + 12H2O + სინათლე → 6O2 + C6H12O6 + 6H2O

ნახშირორჟანგი წყალი ჟანგბადი შაქარი წყალი

მცანერეები ფოტოსინთეზით მიღებულ შაქარს იყენებენ უფრო რთული ქიმიური ნივთიერებების წარმოსაქმნელად ან ახდენენ მის მეტაბოლიზაციას საკუთარი თავის ენერგიით უზრუნველსაყოფად.

ცეცხლში მცენარეული მასალის დაწვისას გამოიყოფა ორგანული ნივთიერებების ქიმიურ ბმებში დაგროვილი პოტენციური ენერგია. წვისას მოლეკულები რეაქციაში შედიან ჟანგბადთან და იშლებიან, რათა წარმოქმნან ნახშიროჟანგი, წყალი და ნახშირი (ჭვარტლი):

წვა

მცენარე + O2  CO2  + H2O + C (ჭვარტლი)

+ სხვა აირები +სითბოს ენერგია

ცეცხლის ალი შედგება აღნიშნული რეაქციის შედეგად გამოთავისუფლებული და გახურებული მანათობელი აირებისგან.

ადამიანები ენერგიის მიღების მიზნით საუკუნეების მანძილზე წვავდნენ შეშას. ბოლო ხანებში აალებადი ალკოჰოლის, ეთანოლის მისაღებად გამოიყენებოდა შაქრის ჭარხლის, ფეტვის და წყალმცენარეების მცენარეული მასალა (ბიომასა).

* *ქიმიური რეაქციების შედეგად მიღებული ენერგია:* სინათლისა და ენერგიის მისაღებად შესაძლებელია მოხდეს რიგი არაორგანული ნივთიერებების დაწვა. ენერგია მიიღება ეგზოთერმული (სითბოს წარმომშობი) ქიმიური რეაქციებიდან. ამგვარი ენერგიის მიღების ერთ–ერთ განსაკუთრებულ მაგალითს წარმოადგენს დინამიტის აფეთქება. ბოლო წლებში მკვლევარები იკვლევდნენ ელექტროქიმიურ მოწყობილობებს, როგორიცაა მაგალითად, წყალბადის საწვავის ელემენტები, რომელთა საშუალებითაც უშუალოდ ქიმიური რეაქციების მეშვეობით მიიღება ელექტროენერგია.
* *წიაღისეული საწვავის ენერგია:* ნავთობი, გაზი და ნახშირი, რომელიც წარმოიშობა იმ ორგანიზმებიდან, რომლებიც ცხოვრობდნენ დიდი ხნის წინ და შესაბამისად აგროვებდნენ მზის ენერგიას, რამაც მოაღწია დედამიწამდე წლების წინ. ამ ნივთიერებებს ჩვენ ვუწოდებთ წიაღისეულ საწვავს იმის ხაზგასასმელად, რომ ისინი მიღებულ იქნა უძველესი ორგანიზმებიდან და ინახებოდა ქანებში გეოლოგიური დროის განმავლობაში.
* *ბირთვების დაყოფით მიღებული ენერგია:* რადიოაქტიური ელემენტების ატომებს შეუძლიათ უფრო მცირე ნაწილებად დაშლა და ამ პროცესს ეწოდება ბირთვების დაყოფა. დაყოფისას მასის უმცირესი მოცულობა გარდაიქმნება დიდი მოცულობის ენერგიად, რომელსაც ეწოდება ბირთვული ენერგია. ამ ტიპის ენერგიას იყენებენ ბირთვული ელექტროსადგურებისა და ბირთვული წყალქვეშა გემების ასამოქმედებლად.
* *დედამიწის გულში არსებული სითბოსგან მიღებული ენერგია:* დედამიწის გულში არსებული გარკვეული ენერგია თარიღდება სამყაროს წარმოშობის პერიოდით, ზოგი კი წარმოიქმნება მინერალებში რადიოაქტიური დაშლის შედეგად. ამგვარი შიდა ენერგიით ხდება მიწისქვეშა წყლების გაცხელება და ამგვარი ცხელი წყალი ორთქლად გადაქცევისას წარმოქმნის გეოთერმულ ენერგიას, რომლის საშუალებითც შესაძლებელია ტურბინების ამუშავება.

***ნავთობი და გაზი***

***რას წარმოადგენს ნავთობი და გაზი?***

ეკონომიკური თვალსაზრისით და ხელსაყრელობიდან გამომდინარე, დღეისთვის მრეწველობაში საკუთარი საჭიროებების დაკმაყოფილების მიზნით ძირითადად გამოიყენება ნავთი და ბუნებრივი აირი. აღნიშნული ნივთიერებები შეიცავს ენერგიის უდიდეს მოცულობას წონის ერთეულზე; მაგალითად, 1 გრამი ნავთი უზრუნველყოფს დაახლოებით 1,000–ჯერ მეტ ენერგიას, ვიდრე შესაბამისი მასის მქონე ბატარეა. ნავთი და ბუნებრივი გაზი შეიცავს ნახშირწყალბადებს, ნახშირისა და წყალბადის ატომებისგან შემდგარ ჯაჭვისებურ ან რგოლისებურ მოლეკულებს. მაგალითად, პროპანის ქიმიური ფორმულაა C3H9.

ზოგიერთი ნახშირწყალბადი არის აირისებური და უხილავი, ზოგიც წააგავს წყლისებრ სითხეებს, ზოგი სიროფს და ზოგიც კი მყარია. ნახშირწყალბადის პროდუქტების სიბლანტე და აქროლადობა დამოკიდებულია მისი შემადგენელი მოლეკულების ზომაზე. მოლეკულების მოკლე ჯაჭვებისგან შემდგარი ნახშირწყალბადის პროდუქტები მიდრეკილნი არიან ნაკლები სიბლანტისკენ და აქროლადობისკენ, ვიდრე გრძელი ჯაჭვისგან შემდგარი პროდუქტები, რადგან გრძელი ჯაჭვები ერთმანეთში იხლართება. აქედან გამომდინარე, მოკლეჯაჭვიანი მოლეკულები არის აირისებრი ფორმის ოთახის ტემპერატურაზე, საშუალო სიგრძის ჯაჭვის მქონე მოლეკულები – თხევადი ფორმის, ხოლო მოკლე ჯაჭვიანი მოლეკულები კი მყარი ფორმის.

რატომ შეგვიძლია გამოვიყენოთ ნახშირწყალბადები საწვავად? უბრალოდ იმიტომ, რომ ისინი შეშის მსგავსად იწვის, რაც ნიშნავს, რომ ისინი რეაქციაში შედიან ჟანგბადთან, რათა წარმოქმნან ნახშირორჟანგი, წყალი და სითბო. მაგალითის სახით შეგვიძლია რეაქციის სახით აღვწეროთ ნავთის წვა

2C8H18 +25O2 → 16CO2+18H2O + თბოენერგია

ამგვარი რეაქციების დროს ნახშირწყალბადის მოლეკულების ქიმიურ ბმებში დაგროვილი ენერგიაგარდაიქმნება სასარგებლო თბოენერგიად. აღნიშნული ენერგია შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას ძრავების ასამუშავებლად, წყლის ორთქლად გადაქცევის მიზნით, რითაც ხდება ელექტროსადგურებში გენერატორების ფუნქციონირება.

***ნახშირწყალბადის სისტემები***

ნავთობი და გაზი არ გვხვდება ყველგან ყველა ქანებში. მიწისქვეშ არსებული ნავთობისა და გაზის მარაგი არის ნახშირწყალბადის რეზერვი. თუ რეზერვი ძირითადად შედგება ნავთობისგან, მაშინ მას უწოდებენ ნავთობის რეზერვს.

რეზერვის ჩამოყალიბებისთვის აუცილებელია, მასალების, პირობებისა და დროის გარკვეული კავშირის. გეოლოგები ამგვარ კავშირს უწოდებენ ნახშირწყალბადის სისტემას.

***ნავთობმბადი ქანები და ნახშირწყალბადის გენერაცია***

ბევრ ადამიანს მცდარი წარმოდგენა აქვს, რომ ნახშირწყალბადები წარმოიქმნება ჩამარხული ხეებისა ან დინოზავრების ჩონჩხებისგან. სინამდვილეში ნახშირწყალბადების ძირითად წყაროებს ნავთობსა და გაზში წარმოადგენს ორგანული ნივთიერებები, როგორიცაა მაგალითად წყალმცენარეებისა და პლანქტონის ლიპიდები (ცხიმის მოლეკულები). როდესაც წყალმცენარეები და პლანქტონი კვდება ისინი ილექება ტბის ან ზღვის ფსკერზე. გამომდინარე იქიდან, რომ მათი უჯრედები ძალიან მცირე ზომისაა მათ შეუძლიათ დალექვა მხოლოდ წყნარ–წყლიან გარემოში, სადაც ასევე ილექება თიხა და მკვდარი უჯრედები ჩვეულებრივ ერევა თიხას და წარმოქმნის ორგანულად მდიდარ, ტალახიან ლამს. აღნიშნული ლამისთვის იგი უნდა დაილექოს ჟანგბადით მწირ წყალში. სხვაგვარად, ლამში არსებული ორგანული ნივთიერებები რეაქციაში შევა ჟანგბადთან ან მათ შთანთქავენ ბაქტერიები და შესაბამისად დაიშლებიან ძალიან სწრაფად და გაქრებიან. ზოგიერთ წყნარწყლიან (ოკეანეები, ლაგუნები ან ტბები) მკვდარი წყალმცენარეები და პლანქტონი უფრო ხშირად იმარხება დაშლამდე. შედეგად წარმოქმნილი ლამი გარდაიქმნება შავ ორგანულ ფიქლად (ჩვეულებრივი ფიქალი მისგან განსხვავებით შედგება მხოლოდ თიხისგან და ღია რუხი ფერისაა), რომელიც შეიცავს ნედლეულს, საიდანაც საბოლოო ჯამში ფორმირდება ნახშირწყალბადები. და აქედან გამომდინარე ორგანოგენურ ფიქალს მოვიხსენიებთ, როგორც ნავთობმბად ქანს**.**

თუ ორგანოგენური ფიქალი საკმაოდ ღრმადაა ჩამარხული (2-4 კმ) იგი ხურდება, რადგან დედამიწაში სიღრმის მატებასთან ერთად იზრდება ტემპერატურაც. გახურებულ ნავთობმბად ქანებში მიმდინარე ქიმიური რეაქციები ნელ–ნელა გარდაქმნის ფიქალში არსებულ ორგანულ მასალას ცვილის მოლეკულების მასად, რომელსაც ეწოდება კეროგენი.კეროგენის შემცველ ფიქალს ეწოდება ბიტუმიანი ფიქალი. 90 გრადუსზე მაღალ ტემპერატურაზე ბიტუმიანი ფიქალის გახურებისას, კეროგენის მოლეკულები იშლება უფრო მცირე ზომის ნავთობისა და ბუნებრივი გაზის მოლეკულებად და ამ პროცესს ეწოდება ნახშირწყალბადის წარმოქმნა. დაახლოებით 160 გრადუსზე მაღალ ტემპერატურაზე დარჩენილი ნავთი იშლება და წარმოქმნის ბუნებრივ გაზს, ხოლო 225-2500C–ზე მაღალ ტემპერატურაზე ორგანული ნივთიერება კარგავს მთელ მის წყალბადს და გარდაიქმნება გრაფიტად. შესაბამისად, ნავთი თვითონ წარმოქმნება ტემპერატურის მხოლოდ შედარებით ვიწრო დიაპაზონში, რომელსაც ეწოდება ნავთობის წარმოქმნის მთავარი ზონა. იმ რეგიონებში, სადაც გეოთერმული გრადიენტი არის 250C/კმ, ნავთობის წარმოქმნის მთავარი ზონა მდებარეობს დაახლოებით 3,5 – 6,5 კმ სიღრმეზე, ხოლო გაზის წარმოქმნის მთავარი ზონა კი გრძელდება ქვემოთ 9კმ–მდე, ანუ გაზის წარმოქმნის მთავარი ზონა არის უფრო დიდი. თუ გეოთერმული გრადიენტი დაბალია (150C/კმ), ნავთობი შესაძლებელია იყოს დაახლოებით 11კმ სიღრმეზე, ხოლო გაზი კი 15კმ სიღრმეზე. აქედან გამომდინარე, ნახშირწყალბადის რეზერვები შესაძლებელია არსებობდეს მხოლოდ მიწის ქერქის ზედა ფენების 15-25%–ში.

***კოლექტორი ქანები და ნახშირწყალბადის მიგრაცია***

ნავთობმბად ქანებში გაბურღილი ჭებიდან არ მიიღება დიდი ოდენობის ნავთობი, რადგან კეროგენს არ შეუძლია ქანიდან ჭაში მარტივად გადინება. ბიტუმიან ფიქალში არსებული ორგანული ნივთიერება იჭედება მარცვლებში და ვეღარ მოძრაობს მარტივად. ამიტომ, ნავთობის მიღების მიზნით ბურღვა უნდა გახორციელდეს არა ნავთობმბად ქანებში, არამედ ქანებში, რომლებიც შეიცავს (ან სავარაუდოდ შეიცავს) მარტივად მოსაპოვებელ ნავთობს და გაზს, რაც ნიშნავს ნახშირწყალბადებს, რომელთა მიწიდან ამოღებაც შესაძლებელია.

ქანი ითვლება კოლექტორად, როდესაც ქანის მასაში არის სივრცე, სადაც შესაძლებელია ნავთობისა ან გაზის დაგროვება და ასევე არის არხები, სადაც შეუძლიათ გაზს ან ნავთობს მოძრაობა. სივრცე შესაძლოა იყოს ღიობების ან ფორების ფორმით კლასტურ მარცვლებს შორის (რაც არსებობს იმის გამო, რომ მარცვლები არ შეეწება ერთმანეთს მჭიდროდ და ცემენტმა ცემენტაციისას არ ამოავსო ყველა სივრცე) ან ნაპრალებისა და ბზარების სახით, რომლებიც ფორმირდება ქანის ჩამოყალიბების შემდეგ. ზოგიერთ შემთხვევაში, ქანში გამავალი მიწისქვეშა წყლები რეცხავს მინერალებს და ქმნის ახალ სივრცეებს. ფორიანობა ნიშნავს ქანში ღია სივრცეების მოცულობას. ან გაზს შეუძლია ამოავსოს ფორები ისე, როგორც წყალი ავსებს ხვრელებს ღრუბელში. ყველა ქანს გააჩნია განსხვავებული ფორიანობა. მაგალითად, ფიქლების ფორიანობა ძირითადად შეადგენს 10%, ხოლო ქვიშაქვის – 35%–ს. ეს ნიშნავს, რომ ქვიშაქვის ბლოკის დაახლოებით მესამედი შეიძლება შეიცავდეს ღია სივრცეს.

გამტარუნარიანობა ნიშნავს ხარისხს (დონეს), რითაც ფორები დაკავშირებულია ერთმანეთთან. იმ შემთხვევაშიც კი, თუ ქანის ფორიანობა მაღალია, იგი აუცილებლად არ არის გამტარუნარიანი. გამტარუნარიან ქანში ფორები და ნაპრალები ერთმანეთთანაა დაკავშირებული და შესაბამისად სითხეს შეუძლია ნელ–ნელა იმოძრაოს დაკლაკნილ არხში.

ფორიანობისა და გამტარუნარიანობის გათვალისწინებით ჩვენ შეგვიძლია ვნახოთ, რომ სუსტად შეცემენტებული ქვიშაქვა ქმნის კარგ კოლექტორ ქანს, მისი როგორ ფორიანობის, ასევე გამტარუნარიანობის გამო. ძალიან დანაპრალებული ქანი შესაძლებელია იყოს ფორიანი და გამტარუნარიანი მაშინაც კი, თუ ცალკეულ მარცვლებს შორის არ არის ფორები. რაც უფრო მაღალია ფორიანობა, მით უფრო მაღალია ალბათობა, რომ კოლექტორ ქანში იყოს ნავთობი და რაც უფრო მაღალია ქანის გამტარუნარიანობა, მით უფრო მარტივია ქანიდან ნავთობის ამოღება.

იმისათვის, რომ შეავსონ კოლექტორი ქანის ფორები, ნავთობი და გაზი პირველ რიგში უნდა გადავიდეს ნავთობმბადი ქანებიდან კოლექტორ ქანში, რასაც სჭირდება ათასიდან მილიონამდე წელი. რატომ ხდება ნახშირწყალბადების მიგრაცია? ნავთობი და გაზი ნაკლებად მკვრივია, ვიდრე წყალი და ამიტომ ისინი ცდილობენ იმოძრაონ დედამიწის ზედაპირისკენ, მიწისქვეშა წყლების ზემოთ. ბუნებრივი გაზი, რომელიც უფრო ნაკლებად მკვრივია, ტივტივებს ნავთობის ზემოთ. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ტივტივადობის გამო ნავთობი და გაზი მოძრაობს ზემოთ. ზოგადად, ნახშირწყალბადების სისტემას მიგრაციისთვის უნდა გააჩნდეს კარგი გზა, როგორიცაა მაგალითად, გამტარუნარიანი ნაპრალების კომპლექტი.

***დამჭერები და საცობები***

მხოლოდ კოლექტორი ქანის არსებობა ვერ შექმნის რეზერვს, რადგან თუ ნახშირწყალბადებს შეუძლიათ ქანში დინება, ისინი ასევე გამოედინებიან ქანის გარეთაც. თუ გაზი ან ნავთობი გამოთავისუფლდება კოლექტორი ქანიდან და საბოლოო ჯამში აღწევს დედამიწის ზედაპირს, საიდანაც იგი ჟონავს ნავთობის გამოსავალიდან, მიწისქვეშ უკვე აღარ დარჩება არაფერი ამოსაღებად. შესაბამისად, იმისათვის, რომ არსებობდეს ნავთობის რეზერვი, ნავთობი და გაზი უნდა ჩაიკეტოს მიწისქვეშ კოლექტორ ქანში გეოლოგიური კონფიგურაციის საშუალებით, რომელსაც ეწოდება დამჭერი.

არსებობს ნავთობის და გაზის დამჭერის ორი კომპონენტი. პირველი – ფლუიდგაუმტარი, შედარებით გაუმტარი ქანი, როგორიცაა მაგალითად ფიქალი, მარილი ან დაუნაპრალებელი ქვიშაქვა, განლაგებული უნდა იყოს კოლექტორი ქანის ზემოთ და ხელს უშლიდეს ნახშირწყალბადებს ზემოთ გადაადგილებაში. მეორე, ფლუიდგაუმტარი და კოლექტორი ქანის სხეულები განლაგებული უნდა იყოს ისეთი გეომეტრიით, რომ ნახშირწყალბადები შეგროვდეს შემოზღუდულ ზონაში. ნახშირწყალბადების მიწისქვეშ დაჭერაზე საუბრისას იგულისხმება დროებითი პროცესი გეოლოგიური დროის კონტექსტში. ნავთობი და გაზი შესაძლებელია დაჭერილი იყოს მილიონობით წლის განმავლობაში, მაგრამ საბოლოო ჯამში მათ შესაძლოა მოახერხონ ფლუიდგაუმტარში გავლა, რადგან არცერთი ქანი არ არის აბსოლუტურად გაუმტარი. ასევე, ზოგიერთ შემთხვევაში, მიკრობები მიწისქვეშა ფენებში ჭამენ ნახშირწყალბადებს. აქედან გამომდინარე, უწინ არსებული ნავთობის უამრავი საბადო გაქრა და დღეისთვის ჩვენს მიერ აღმოჩენილი საბადოები შესაძლოა ასევე გაქრეს მილიონი წლის შემდეგ.

***ნახშირწყალბადების ალტერნატიული რეზერვები***

***ბუნებრივი გაზი***

ბუნებრივი გაზი შედგება აქროლადი, მოკლეჯაჭვიანი ნახშირწყალბადებისგან, მეთანის, ეთანის, პროპანის და ბუტანის ჩათვლით. ზოგიერთი გაზი წარმოიშობა ნავთობთან კომბინაციაში. ამ შემთხვევებში რეზერვუარში გაზი ტივტივებს ნავთობის თავზე, მაგრამ ქანებში, რომლებიც ხურდება ნავთობწარმოქმნის მთავარი ზონების ზემოთ, გაზი შესაძლებელია წარმოიქმნას ნავთობის გარეშე.

გაზი იწვის ნავთობზე უფრო სუფთად (გაზის წვისას ძირითადად გამოიყოფა ნახშირორჟანგი და წყალი, ხოლო ნავთის წვისას კი ასევე კომპლექსური ორგანული დამაბინძურებელი ნივთიერებებიც) და შესაბამისად მას მიენიჭა უპირატესობა სახლის პირობებში საკვების მომზადებასა და სახლის გათბობასთან დაკავშირებით. თუმცა, გაზის ტრანსპორტირებისთვის საჭიროა ძვირი, მაღალი წნევის მილსადენები ან სპეციალური ხომალდები და მიუხედავად იმისა, რომ გაზი უფრო ხელმისაწვდომია ნავთობთან შედარებით, ადამიანები მოიხმარენ უფრო მეტრ ნავთობს, ვიდრე გაზს. თუმცა, ბოლო წლებში მრეწველობის ბევრი სფერო და ელექტროგენერაციის სადგურები გადავიდნენ ბუნებრივ გაზზე და შესაბამისად გაიზარდა მასზე მოთხოვნაც.

***ბიტუმიანი ქვიშა (ნავთობშემცველი ქვიშა)***

მსოფლიოს ზოგიერთ კუთხეში, განსაკუთრებით კი ალბერტაში (დასავლეთ კანადა) და ვენესუელაში არსებობს ძალიან ბლანტი, ფისისმაგვარი „მძიმე ნავთობი“. აღნიშნულ „მძიმე ნავთობს“, რომელიც ასევე ცნობილია ბიტუმის სახელით გააჩნია წებოვანი სიროფის კონსისტენცია და შეუძლებელია მისი პირდაპირ მიწიდან ამოქაჩვა ტუმბოს საშუალებით. იგი ავსებს ქვიშის ან სუსტად ჩაცემენტებული ქვიშაქვის ფორებს შორის სივრცეებს და შეადგენს დანალექის ან ქანის მოცულობის დაახლოებით 12%–ს. ქვიშა ან ქვიშაქვა, რომელიც შეიცავს ბიტუმს აღნიშნული მაღალი კონცენტრაციით, ეწოდებათ ბიტუმიანი ქვიშა ან ნავთობშემცველი ქვიშა. ნახშირწყალბადების სისტემა, საიდანაც წარმოიქმნება ბიტუმიანი ქვიშები იწყება დიდ სალექარ აუზში ნავთობმბადი ქანების შექმნითა და დამარხვით. ნავთობწარმოქმნის მთავარი ზონის ტემპერატურის ზემოქმედებისას, ნავთობმბადი ქანები გამოიმუშავებს ნავთობსა და გაზს, რომლებიც გადაადგილდება ქვიშაქვის ფენებში და შემდეგ ამოდის ზემოთ აუზის კიდის დახრილ ფენებში, სადაც ისინი ჩაიჭირება სტრატიგრაფიულ დამჭერებში. თავიდან აღნიშნულ ნახშირწყალბადებს გააჩნიათ შედარებით დაბალი სიბლანტე; ადრე მათი ამოღება შეიძლებოდა შედარებით მარტივად, მაგრამ დროთა განმავლობაში მიკრობებმა შეუტიეს ნავთობის მიწისქვეშა რეზერვს, შთანთქეს ნახშირწყალბადის უფრო მსუბუქი და მცირე ზომის მოლეკულები და დატოვეს მხოლოდ დიდი ზომის მოლეკულები, რის შედეგადც ნარჩენი ნავთობი გახდა ასეთი ბლანტი. გეოლოგები გარდაქმნის ამგვარ პროცესს უწოდებენ ბიოდეგრადაციას. დეგრადაციის შედეგად ბიტუმიანი ქვიშის წარმოქმნა წარმოადგენს დედამიწის სისტემის ფიზიკური და ბიოლოგიური კომპონენტების ურთიერთქმედების კიდევ ერთ მაგალითს.

ბიტუმიანი ქვიშიდან სასარგებლო ნავთობის წარმოება ძალიან რთული და ძვირი, მაგრამ არა შეუძლებელი პროცესია. ერთი ბარელი ნავთობის მისაღებად საჭიროა დაახლოებით 2 ტონა ბიტუმიანი ქვიშა. ნავთობ–კომპანიები აწარმოებენ სამთო სამუშაოებს ზედაპირულ საბადოებზე ღია კარიერებზე და შემდეგ, ნავთობის მიღების მიზნით ღუმელში აცხელებენ ბიტუმიან ქვიშას. მწარმოებლები შემდეგ შლიან მძიმე ნავთობის მოლეკულებს, რათა მიიღონ უფრო მცირე ზომის მოლეკულები. დრენირებული ქვიშა შემდეგ კვლავ იყრება უკან საბადოს ორმოში. ბიტუმიანი ქვიშის უფრო ღრმა საბადოებიდან ნავთობის მოსაპოვებლად ნავთობ–კომპანიები ბურღავენ ჭებს და ქვიშაში ტუმბავენ ორთქლს ან გამხსნელებს, რათა საკმარისად გაათხევადონ ნავთობი, რომ შესაძლებელი გახდეს მისი ამოტუმბვა.

***ბიტუმიანი ფიქალი***

ორგანული ფიქალის უდიდესი რეზერვები არ დაქვემდებარებია ნავთობწარმოქმნის მთავარი ზონის ტემპერატურის ზემოქმედებას ან თუ დაქვემდებარებია, ისინი არ დარჩენილა აღნიშნული ზემოქმედების ქვეშ იმდენი ხანი, რომ მომხდარიყო მისი ნავთობად გარდაქმნა. ასეთი ქანი ჯერ კიდევ დიდი პროპორციით შეიცავს კეროგენს. ფიქალს, რომელიც შეიცავს მინიმუმ 15-30% კეროგენს ეწოდება ბიტუმიანი ფიქალი. ბიტუმიანი ფიქალი არ არის იგივე, რაც ნახშირი, რადგან მასში ორგანული ნივთიერება არსებობს ცვილისებური ნახშირწყალბადის მოლეკულების ფორმით და არა ელემენტური ნახშირბადის სახით.

ბიტუმიანი ფიქალის ნატეხები შეიძლება დაიწვას პირდაპირ და შესაბამისად ისინი უძველესი დროიდან გამოიყენებოდა საწვავის სახით. 1850–იან წლებში მკვლევარებმა შეიმუშავეს ტექნოლოგია ბიტუმიანი ფიქალიდან თხევადი ნავთობის მისაღებად. პროცესი მოიცავს ბიტუმიანი ფიქალის 5000C ტემპერატურაზე გახურებას; ამ ტემპერატურაზე ფიქალი იშლება და კეროგენი გარდაიქმნება თხევად ნახშირწყალბადად და გაზად. ბიტუმიანი ფიქალის დიდი საბადოებია ესტონეთში, შოტლანდიაში, ჩინეთსა და რუსეთში და ამერიკის შეერთებულ შტატებში, ვაიუმინგის გრინ რივერის აუზში. როგორც ბიტუმიანი ქვიშის შემთხვევაში, ბიტუმიანი ფიქალიდან ნავთობის მიღებაც შესაძლებელია, მაგრამ ეს ძალიან ძვირადღირებული პროცესია.

***გაზის ჰიდრატი***

გაზის ჰიდრატი წარმოადგენს ქიმიურ ნაერთს, რომელიც შედგება გალიისებურად განლაგებული წყლის მოლეკულებით შემოსაზღვრული მეთანის (CH4) მოლეკულებისგან. გაზის ჰიდრატი გროვდება მოთეთრო ფერის მყარი ომასის სახით, რომელიც წააგავს ჩვეულებრივ ყინულს. გაზის ჰიდრატი ფორმირდება, როდესაც ანაერობული ბაქტერიები ჭამენ ორგანულ ნივთიერებებს, მაგალითად მკვდარ პლანქტონს, რომელიც თავმოყრილია ზღვის ფსკერზე დანალექებში. როდესაც ბაქტერიები შთანთქავენ ორგანულ ნივთიერებას, ისინი გვერდითი პროდუქტის სახით გამოიმუშავებენ მეთანს და მეთანის ბუშტუკებს ზღვის ცივ წყალში, რომლებიც ავსებენ დანალექების ფორების სივრცეებს. 300მ–ზე მეტ სიღრმეზე მეთანი წნევის ქვეშ იხსნება ფორებშიდა წყალში და წარმოქმნის გაზის ჰიდრატის მოლეკულებს; რეაქცია შეიძლება მოხდეს უფრო ნაკლებ სიღრმეზე, უფრო ცივ, პოლარულ განედებში. გეოლოგები თვლიან, რომ მეთანი დიდი ოდენობით არსებობს გაზის ჰიდრატის ფენებში. სინამდვილეში, მსოფლიოს მასშტაბით შეიძლება უფრო მეტი ორგანული ნახშირბადი იყოს დაგროვილი გაზის ჰიდრატში, ვიდრე ყველა სხვა დანარჩენ რეზერვუარებში ერთად. თუმცა, ზღვის ფსკერიდან გაზის ჰიდრატის უსაფრთხოდ ამოღების მეთოდები არ გამოუგონებიათ.

***ატომური ენერგია***

***როგორ მუშაობს ატომური ელექტროსადგური***

ატომური ელექტროსადგურების ფუნქციონირებისთვის ენერგია მიიღება ატომური ბმების დაყოფით და დაშლით, რომლის ბირთვებში ერთად არის პროტონები და ნეიტრონები. დაშლისას ატომი იყოფა უფრო მცირე ზომის ნაწილებად და ამ პროცესისას მასის მცირე ოდენობა გარდაიქმნება თბო და ელექტრომაგნიტურ ენერგიად.

ელექტრო–ენერგიის გამომუშავების მიზნით ატომური ელექტროსადგურები პირველად აიგო 1950-იან წლებში. სადგურის გული – ბირთვული რეაქტორი ძირითადად მოთავსებულია, რკინაბეტონის გუმბათისებურ კორპუსში. რეაქტორში არის ბირთვული საწვავი, რომელიც შედგება კონცენტრირებული ურანის ოქსიდის ან სხვა რადიოაქტიური ნივთიერების გრანულებისგან, რომლებიც მოთავსებულია საწვავის ღეროების სახელით ცნობილ ლითონის მილაკებში. დაშლის პროცესი ხდება მაშინ, როდესაც ნეიტრონი ეჯახება რადიოაქტიურ ატომს და იწვევს მის დაშლას. ერთი ატომის დაშლისას გამოთავისუფლებული ნეიტრონები ეჯახება სხვა ატომებს, ამით იწვევენ დაშლის სერიას უწყვეტ პროცესში, რომელსაც ეწოდება ჯაჭვური რეაქცია, რაც მთლიანობაში გამოიმუშავებს უდიდეს სითბოს. მილებში წყალი მოძრაობს სითბოს–წარმომქმნელ საწვავის ღეროების ახლოს და სითბო გარდაქმნის წყალს მაღალი წნევის ორთქლად. შემდეგ მილების საშუალებით ეს ორთქლი მიდის ტურბინაში, სადაც იგი ატრიალებს ვენტილატორის ფრთებს, ბრუნვით აქტიურდება დინამო, რომელიც ახდენს ელექტროენერგიის გენერაციას. საბოლოო ჯამში ორთქლი მიდის გამაგრილებელ კოშკებში, სადაც იგი კვლავ კონდენსირდება წყლად, რომლის ხელახლა გამოყენებაც შეიძლება სადგურში ან წყალი ბრუნდება გარემოში.

***ურანის გეოლოგია***

235U – ურანის იზოტოპი, რომელიც შედგება 143 ნეიტრონისგან წარმოადგენს ყველაზე გავრცელებულ საწვავს ჩვეულებრივი ბირთვული ელექტრო–სადგურებისთვის. თუმცა 235U შეიცავს ბუნებრივად არსებული ურანის მხოლოდ დაახლოებით 0,7%.; უფრო მეტ ურანს შეიცავს 238U, იზოტოპი 145 ნეიტრონით. შესაბამისად, იმისათვის, რომ საწვავი გამოსადეგი გახდეს ელექტრო–სადგურისთვის, 235U–ის კონცენტრაცია ბუნებრივი ურანის მასაში უნდა გაიზრდოს 2 ან 3 კოეფიციენტით, ძვირადღირებული პროცესით, რომელსაც ეწოდება გამდიდრება.

დედამიწის რადიოაქტიური ელემენტები ურანის ჩათვლით, სავარაუდოდ წარმოიშვა ზეახალი ვარსკვლავის აფეთქებისას მზის სისტემის არსებობამდე. აღნიშნული აფეთქების შედეგად წარმოქმნილი ატომები გახდა გალაქტიკის ნაწილი, საიდანაც წამოიშვა დედამიწა.

ბირთვულ ელექტრო–სადგურებში უსაფრთხოების შესანარჩუნებლად აუცილებელია სამუშოებს. ოპერატორებმა მუდმივად უნდა მოახდინონ ბირთვული საწვავის გაგრილება წყლის ცირკულაციის საშუალებით და ბირთვული დაყოფა უნდა დარეგულირდეს ბოროვანი ფოლადის ღეროების ჩასობით, რომლებიც იწოვენ ნეიტრონებს და რადიოაქტიურ ატომებს. ამ ღეროების გარეშე ბირთვულ საწვავში აქეთ–იქეთ მოძრავი ნეიტრონების რაოდენობა თანდათანობით იზრდება, რაც იწვევს დაყოფის სიჩქარისა და თანმხლები სითბოს წარმოქმნის ზრდას. საბოლოო ჯამში საწვავი გაცხელდება იმდენად, რომ შესაძლოა იგი დადნეს და ამგვარმა დადნობამ გამოიწვიოს ორთქლის აფეთქება, რაც გაარღვევს დამცავ გარსს და რადიოაქტიური დამაბინძურებლები გაიფრქვევა ჰაერში. ზოგიერთ შემთხვევაში წყალი ცხელდება იმ დონეზე, რომ იგი იყოფა ჟანგბადის და წყალბადის აირებად, რომლებიც შესაძლებელია ხელახლა დაუკავშირდნენ ერთმანეთს ფეთქებადსაშიშად.

დღეისთვის, მსოფლიოს მასშტაბით მოქმედებს დაახლოებით 600 ატომური ელექტრო–სადგური. დღემდე მოხდა სამი სერიოზული ინცინდენტი. პირველი 1979 წელს პენსილვანიაში ელექტროსადგურზე, ტრი–მაილის კუნძულზე (*Three Mile Island*), მეორე, 1986 წელს უკრაინაში, ჩერნობილში და 2011 წელს იაპონიაში ფუკუშიმას ატომურ ელექტრო–სადგურზე.

ატომური მრეწველობისთვის აუცილებელია, რომ მათ მოახერხონ ბირთვული ნარჩენების მართვა. ბირთვული ნარჩენები წარმოადგენს ატომურ ელექტრო–სადგურში წარმოებულ რადიოაქტიურ ნივთიერებებს. იგი მოიცავს გადამუშავებულ ბირთვულ საწვავს, რომელიც შეიცავს რადიოაქტიურ ელემენტებს, ასევე წყალს და აღჭურვილობას, რომლებიც იმყოფებოდა რადიოაქტიურ ნივთიერებებთან კონტაქტში. რადიოაქტიური ელემენტები გამოასხივებს გამა და რენტგენის სხივებს, რომელთაც შეიძლება ზიანი მიაყენონ ცოცხალ ორგანიზმებს და გამოიწვიონ კიბო. ზოგიერთი რადიოაქტიური ნივთიერება სწრაფად იშლება (ათწლეულებიდან საუკუნეების მანძილზე), მაგრამ ზოგიერთი კი რჩება საფრთხის შემცველად ათასობით წლის განმავლობაში.

არ შეიძლება ბირთვული ნარჩენების უბრალოდ საწყობში შენახვა ან ქალაქის ნაგავსაყრელზე ჩამარხვა. ზოგიერთი ტიპის ნარჩენი საკმაოდ ცხელია და საჭიროებს წყლით გაგრილებას. გაგრილებულ ნარჩენებსაც კი გააჩნიათ იმის პოტენციალი, რომ მათგან მოხდეს რადიოაქტიური ელემენტების გაჟონვა ქალაქის წყალმომარაგების სისტემაში ან ახლომდებარე ტბებსა თუ მდინარეებში. იდეალურ ვარიანტში ნარჩენები უნდა დაილუქოს კონტეინერებში, რომლებიც გაუძლებს ათასობით წლის განმავლობაში ზემოქმედებას და შინახოს იმ ადგილებში, სადაც არ მოხდება მათი გარემოსთან კონტაქტი. მარტივი არ არის სათანადო ადგილის შერჩევა. ჯერ–ჯერობით, სპეციალისტები ვერ თანხმდებიან იმაზე, თუ რომელია ბირთვული ნარჩენების გაუვნებელყოფის საუკეთესო გზა.

***ენერგიის სხვა წყაროები***

***ბიოსაწვავი***

ბოლო წლებში, ფერმერებმა დაიწყეს სწრაფად მზარდი მარცვლოვანი კულტურების მოშენება სპეციალურად საწვავის წარმოებისთვის ბიომასის უზრუნველყოფის მიზნით. შედეგად მიღებულ სითხეებს ეწოდებათ ბიოსაწვავი.

ყველაზე ფართოდ გამოყენებულ ბიოსაწვავს წარმოადგენს ეთანოლი. ეთანოლს შეუძლია ჩაანაცვლოს ბენზინი მანქანის ძრავებში. სიმინდისგან ეთანოლის მიღების პროცესი შედგება შემდეგი ეტაპებისგან: პირველი– მწარმოებლები წმინდად ფქვავენ სიმინდს, ურევენ მას წყალს და აცხობენ რომ მიიღონ სახამებლის მასა. შემდეგ მასას უმატებენ ენზიმს, რომელიც მასას გარდაქმნის შაქრად. შაქარი საფუართან შერევისას განიცდის ფერმენტაციას. ფერმენტაციისას წარმოიქმნება ეთანოლი და CO2. და ბოლოს ხდება ფერმენტირებული მასის დისტილაცია ეთანოლის მისაღებად.

***გეოთერმული ენერგია***

როგორც ეს სახელიდან სჩანს, გეოთერმული ენერგია მიიღება დედამიწის გულში არსებული სთბოსგან. გეოთერმული ენერგია არსებობს იმის გამო, რომ დედამიწის ქერქი სიღრმის ზრდასთან ერთად ხდება თანდათანობით ცხელი..

როდესაც გეოთერმული გრადიენტი დახრილია (რაც ნიშნავს, რომ ტემპერატურა სიღრმესთან ერთად მატულობს), მაღალ ტემპერატურას ვხვდებით შედარებით დაბალ სიღრმეზე. მიწისქვეშა წყლები იწოვს სითბოს ცხელი ქანიდან და თვითონ ცხელდება.

ენერგოკომპანიები იყენებენ გეოთერმულ ენერგიას სხვადასხვა მეთოდით სითბოსა და ელექტროენერგიის გენერაციისთვის. მაგალითად, ზოგიერთ ადგილას ისინი უბრალოდ ქაჩავენ ცხელ მიწისქვეშა წყალს მიწიდან და უშვებენ მილებში სახლებისა და სხვადასხვა ნაგებობების გასათბობად. სხვაგან მიწისქვეშა წყლები იმდენად ცხელია, რომ როდესაც იგი აღწევს მიწის ზედაპირს და ეცემა მისი წნევა, იგი გადაიქცევა ორთქლად. ორთქლის საშუალებით შესაძლებელია ტურბინების ამუშავება და ელექტროენერგიის გენერაცია. ვულკანურ ზონებში, როგორიცაა მაგალითად, ისლანდია ან ახალი ზელანდია, გეოთერმული ენერგიით ხდება ენერგომოთხოვნების დიდი ნაწილის დაკმაყოფილება, თუმცა გლობალური მასშტაბით ეს არ ხდება, რადგან მხოლოდ რამოდენიმე ქალაქია განლაგებული გეოთერმული რესურსების ახლოს.

***ჰიდროელექტრო და ქარის ენერგია***

ათასწლეულების მანძილზე ადამიანები ენერგიის გენერაციისთვის იყენებდნენ წყალს და ჰაერს. სინამდვილეში, ძალიან ბევრი ქალაქი დაარსდა მდინარეების სიახლოვეს, სადაც წყლის ნაკადს შეეძლო წყლის ბორბლების დატრიალება, რომელიც ენერგიას აწვდიდა წისქვილებსა და ფაბრიკებს. სოფლად ფერმერები იყენებდნენ ქარის ძრავებს მოსარწავად წყლის გადასაქაჩად. წინა საუკუნეში ინჟინრებმა დაიწყეს მსგავსი ძირითადი ტექნოლოგიის გამოყენება ელექტრო–ენერგიის გენერაციისთვის გენერატორების ასამუშავებლად.

თანამედროვე ჰიდროელექტრო სადგურში წყლის პოტენციური ენერგია გარდაიქმნება კინეტიკურ ენერგიად, რადგან წყალი მაღალი ნიშნულიდან მიედინება დაბალი ნიშნულისკენ. წყალი ატრიალებს მილში მოთავსებული ტურბინის ფრთებს და ტურბინა ამუშავებს ელექტრო–გენერატორს. ჰიდროელექტროსადგურების უმეტესობა წყალს იღებს რეზერვუარიდან, რომელიც იკვებება კაშხლიდან.

***მზის ენერგია***

მზე კვებავს დედამიწას ენერგიით იმ ოდენობით რაც დიდად აღემატება წიაღისეული საწვავში არსებულ ენერგიას. შესაძლებელი რომ იყოს ამ ენერგიის პირდაპირ გამოყენება, ადამიანებს ექნებოდათ საიმედო და სრულიად სუფთა საშუალება თანამედროვე ტექნოლოგიების ასამოქმედებლად. დღეისთვის არსებობს მზის ენერგიის პირდაპირი გამოყენების ორი ვარიანტი.

პირველი არის მზის კოლექტორი, მოწყობილობა, რომელიც აგროვებს ენერგიას სითბოს წარმოების მიზნით. მზის კოლექტორების ერთი ტიპი შეიცავს სარკეებს ან ლინზებს, რომლებიც ახდენს დიდ ფართობზე გავრცელებული სინათლის ფოკუსირებას მცირე ფართობზე. მეორე ტიპი მოიცავს მინის ფირფიტის ქვეშ მოთავსებულ შავი ფერის ზედაპირს. შავი ზედაპირი შთანთქავს მინის ფირფიტაში გამავალ სინათლეს და ხურდება. როდესაც წყალი გადის მინასა და შავი ფერის ზედაპირს შორის, წყალი ცხელდება.

ფოტოგალვანური ელემენტები (მზის ელემენტები) წარმოადგენს მეორე ვარიანტს, რომლებიც გარდაქმნიან მზის ენერგიას პირდაპირ ელექტროენერგიად. ფოტოგალვანური ელემენტების უმეტესობა შედგება ერთმანეთზე მიპრესილი სილიკონის ორი ფირფიტისგან. ერთი ფირფიტა შეიცავს დარიშხანის, ხოლო მეორე კი ბორის ატომებს. როდესაც სინათლე ეჯახება ელემენტებს, დარშხანის ატომები გამოათავისუფლებს ელექტრონებს, რომლებიც გადიან ბორის ატომებში. მავთულის ყულფი აკავშირებს ერთი ფირფიტის უკანა მხარეს მეორე ფირფიტის უკან მხარესთან და ამ მოვლენის შედეგად წარმოიქმნება დენი.

***საწვავის ელემენტები***

საწვავის ელემენტებში ქიმიური რეაქციები პირდაპირ წარმოქმნის ელექტროენერგიას. წყალბადის აირი გადის მილში ანოდის გასწვრივ, რომელიც მოთავსებულია ელექტროლიტების შემცველ წყლიან ხსნარში. ამავდროულად, ჟანგბადის აირი გაედინება დამოუკიდებელ პლატინის კათოდში, რომელიც ასევე მოთავსებულია ხსნარში. სადენი აერთებს ანოდსა და კათოდს, რათა წარმოიქმნას ელექტრული წრედი. ამ კონფიგურაციაში წყალბადი რეაქციაში შედის ჟაგბადთან და წარმოქმნის წყალს და ელექტრო დენს. საწვავის ელემენტები არის ძალიან ეფექტური და სუფთა. შეზღუდვა მდგომარეობს იმაში, რომ ისინი საჭიროებენ კონფიგურაციას, რომელიც დაიცავს ელემენტებს ზემოქმედებით გამოწვეული დაზიანებისგან და რომელიც საშუალებას მისცემს მათ უსაფრთხოდ შეინახონ წყალბადი, ფეთქებადი აირი.

**თავი 13**

**ნაკადები და წყალმოვარდნები**

***მდინარი წყალი: ნაკადებისა და წყალმოვარდნების გეოლოგია***

***შესავალი***

მიმდინარე წყალი ზოგადად მიედინება ნაკადებად ხმელეთზე გაჭრილ კალაპოტებში. უნდა აღინიშნოს, რომ გეოლოგებმა კალაპოტში მოქცეულ მიმდინარე წყლის ნებისმიერ ობიექტს შესაძლოა უწოდონ ნაკადი მისი ზომის მიუხედავად, თუმცა ზოგდად მიღებულია, რომ დიდ ნაკადებს უწოდებენ მდინარეებს. ნაკადები აცილებენ ან არინებენ ზედმეტ წყალს (ზედაპირულ ნაკადებს) ლანდშაფტიდან და საბოლოო ჯამში ეს წყალი ხვდება ზღვაში. პროცესის მიმდინარეობისას, ნაკადები ახდენენ ლანდშაფტის ეროზიას, გადააქვთ ნალექები და საკვები ნივთიერებები და უკან ტოვებენ ნალექის ნარჩენებს. ნაკადები ასევე უზრუნველყოფენ საცხოვრებელს ცოცხალი ორგანიზმებისთვის, ხოლო ადამიანებისთვის კი უზრუნველყოფენ არენას კომერციისთვის, წყალს სოფლის მეურნეობისთვის და წყაროს ენერგიისთვის. როდესაც ნაკადში მიმდინარე წყლის მოცულობა აჭარბებს კალაპოტის მოცულობას, წარმოიქმნება წყალდიდობა და წყალი ფარავს ტერიტორიებს, რომლებიც ჩვეულებრივ ითვლება მშრალ ნიწებად.

დედამიწა ერთადერთი პლანეტაა მზის სისტემაში, სადაც ამჟამად არსებობს მიმდინარე წყლის ნაკადები (თუმცა არსებობს ვარაუდი, რომ მარსზეც იყო წყალი წარსულში).

***ნიადაგის დრენაჟი***

***ნაკადებისა და სადრენაჟო ქსელის ფორმირება***

საიდან იღებს წყალს ნაკადები? ჰიდროლოგიური ციკლის დროს ატმოსფერული წყალი განიცდის კონდენსაციას და უკან ბრუნდება დედამიწაზე წვიმის ან თოვლის სახით, რომლებიც გროვდება სხვადასხვა რეზერვუარში. წვიმის და თოვლის გარკვეული ნაწილი რჩება ხმელეთზე ზედაპირული წყლების სახით (გუბეებში, ჭაობებში, ტბებში, თოვლიან ველებზე და მყინვარებში), მათი გარკვეული ნაწილი მიედინება ქვემოთ თხელი ფენის სახით, რომელსაც ეწოდება ზედაპირული ნაკადები, ხოლო გარკვეული ნაწილი კი ჩაედინება მიწაში, სადაც იგი გროვდება ნიადაგში (ნიადაგის ტენი) ან ეშვება მიწისქვეშა წყლების დონის ქვემოთ და გადაიქცევა მიწისქვეშა წყლებად. ნაკადებს შეუძლიათ მიიღონ წყალი ნებისმიერი ამ რეზერვუარიდან. კერძოდ, სიმძიმის ძალის ზემოქმედებით ზედაპირული წყალი ჩადის ქვემოთ ნაკადის კალაპოტში და ახალი წვიმის წყლის დაწოლით გამოწვეული წნევა უკან აბრუნებს ნიადაგის ტენს მიწაში და მიწისქვეშა წყლები აღწევს კალაპოტის კედლებში.

მიმდინარე წყალი გროვდება ნაკადის კალაპოტებში, რადგან კალაპოტი მიმდებარე ტერიტორიაზე ქვემოთაა განთავსებული და გრავიტაციის ძალით მასალა ყოველთვის მოძრაობა მაღალი წერტილიდან დაბალი წერტილისკენ. მაგრამ როგორ წარმოიქმნა პირველად ნაკადის კალაპოტი? ნაკადის კალაპოტის წარმოშობის პროცესი იწყება მაშინ, როდესაც ზედაპირული ნაკადები იწყებს ქვემოთ მიმართულებით მოძრაობას. ნებისმიერი მიმდინარე სითხის მსგავსად, ზედაპირული ნაკადები ახდენს მისი სუბსტრატის ეროზიას (ფენა, რომლის ზემოდანაც იგი მიედინება). ამგვარი ეროზიის ეფექტურობა დამოკიდებულია ნაკადის სიჩქარეზე: რაც უფრო სწრაფია ნაკადი, მით უფრო ეფექტურია ეროზია. ბუნებაში დედამიწის ზედაპირი არ არის იდეალურად ბრტყელი, არც ყველა სუბსტრატია ეროზიისადმი ერთნაირად გამძლე და მცენარეულობის რაოდენობაც, რომელიც ფარავს და იცავს მიწას, ასევე განსხვავებულია ადგილების მიხედვით. როდესაც ნაკადი სწრაფია, ან სუბსტრატი ცოტათი სუსტი, ეროზიის შედეგად წარმოიქმნება კალაპოტი. რადგან ეს კალაპოტი გარშემო არსებულ ტერიტორიაზე დაბლა მდებარეობს, ზედაპირული ნაკადები მიმდებარე ზონებიდან იწყებს მისკენ დენას. დროთა განმავლობაში, დამატებითი ნაკადები აღრმავებს კალაპოტს მის გარშემო არსებულ ტერიტორიასთან მიმართებით (პროცესი, რომელსაც ეწოდება ფსკერის ეროზია) და ფორმირდება ნაკადი.

მისი ნაკადის ზრდასთან ერთად, ნაკადის კალაპოტი გრძელდება და ამ პროცესს ეწოდება რეგრესიული ეროზია. რეგრესიული ეროზია წარმოიქმნება იმიტომ, რომ ნაკადი უფრო ინტენსიურია კალაპოტში შესასვლელთან გარშემო არსებულ, ზედაპირული წყლებით დაფარულ ტერიტორიასთან შედარებით. მთავარი კალაპოტის დაგრძელებასთან ერთად, გვერდით წარმოიქმნება ახალი გვერდითა კალაპოტები. ამ გვერდითა კალაპოტებს ეწოდებათ შენაკადები, რომლებიც დაკავშირებულია მთავარ კალაპოტთან. ურთიერთდაკავშირებული ნაკადების რიგი შეადგენს სადრენაჟო ქსელს.

შენაკადებისა და ძირითადი ნაკადის კონფიგურაცია განსაზღვრავს სადრენაჟო ქსელის რუკის შაბლონს. ეს შაბლონი დამოკიდებულია ლანდშაფტის ფორმასა და სუბსტრატის შემადგენლობაზე. გეოლოგები განასხვავებენ ქსელების რამოდენიმე ტიპს მათი რუკის შაბლონების საფუძველზე:

* *დატოტვილი:* როდესაც მდინარეები მიედინება არასწორხაზოვანი საწყისი ქანობის მქონე საკმაოდ უსწორმასწორო სუბსტრატზე, ისინი წარმოქმნიან დატოტვილ ქსელს, რომელიც წააგავს ფოთლოვანი ხის ტოტებს.
* *რადიალური (სხივებისმაგვარი):* კონუსის ფორმის მთის ზედაპირზე წარმოქმნილი სადრენაჟო ქსელები მიედინება მთის მწვერვალიდან აქეთ–იქით, ბორბლის მანების მსავსად და ამგვარ ქსელს ეწოდება რადიალური ქსელი;
* *სწორკუთხა:* ადგილებში, სადაც ნაპრალების სწორკუთხა ქსელი (ვერტიკალური ნაპრალები) ხლეჩს მიწას, უწინარსებული ნაპრალების გასწვრივ წარმოიქმნება კალაპოტები და ნაკადები, უერთდება ერთმანეთს სწორი კუთხით, და შესაბამისად წარმოქმნიან სწორკუთხა ქსელს;
* *ცხაურები, გისოსები:* ადგილებში, სადაც სადრენაჟო ქსელები წარმოიქმნება პარალელურად განლაგებული ველებისა და ქედების ლანდშაფტის გასწვრივ, მთავარი შენაკადები მიედინება ქვემოთ ველზე და უერთდება ძირითად ნაკადს, რომელიც კვეთს ქედებს. შედეგად წარმოქმნილი რუკის შაბლონი წააგავს ბაღის ხვიარა მცენარეებისთვის განკუთვნილ ცხაურას და აქედან გამომდინარე მათ ეწოდებათ ცხაურა ქსელები.
* *პარალელური:* ერთგვაროვან ქანობზე წარმოიქმნება რამოდენიმე ნაკადი პარალელური მიმართულებებით.

***სადრენაჟო აუზები და წყალგამყოფები***

სადრენაჟო ქსელში წყალი გროვდება ფართე ტერიტორიიდან, რომელსაც ასევე უწოდებენ სადრენაჟო აუზს, წყალსაგროვს ან წყალგამყოფს და აწვდის წყალს ძირითად ნაკადს. შემაღლებულ ადგილს ან ქედს, რომელიც ყოფს ერთ წყალგამყოფს მეორისგან ეწოდება სადრენაჟო წყალგამყოფი. კონტინენტური წყალგამყოფი აცალკევებს დრენაჟებს, რომლებიც ჩაედინება ერთ ოკეანეში დრენაჟიდან, რომელიც ჩაედინება მეორე ოკეანეში.

***მიმდინარე წყლის მოქმედება***

***როგორ ახდენენ ეროზიას ნაკადები***

ენერგია, რომელი ამოძრავებს მიმდინარე წყალს წარმოიქმნება გრავიტაციიდან. რადგან წყალი მიედინება ქანობზე მაღალი წერტილიდან დაბალი წერტილისკენ, წყალში შენახული გრავიტაციული პოტენციური ენერგია გარდაიქმნება კინეტიკურ ენერგიად. ამ ენერგიის დაახლოებით 30% მიდის ნაკადის კალაპოტების კედლებისა და კალაპოტების ეროზიისთვის. მიმდინარე წყალი იწვევს ეროზიას ოთხი გზით:

* *ჩარეცხვა:* მიმდინარე წყალი აცილებს ნალექების ფხვიერ ფრაგმენტებს და ამ პროცესს ეწოდება ჩარეცხვა;
* *დაშლა და ზემოთ ამოტანა:* მდინარი წყლის წნევას შეუძლია დაშალოს მყარი ქანების ფრაგმენტები კალაპოტის კედლებიდან ან კალაპოტიდან. ამასთან კლასტის ზემოთ მიმდინარე ნაკადს შეუძლია ზემოთ ამოიტანოს კლასტი ან ზემოთ ასწიოს სუბსტრატი.
* *აბრაზია:* სუფთა წყალს გააჩნია მცირე ეროზიული ეფექტი, მაგრამ ქვიშიანი ან ხრეშიანი წყალი მოქმედებს ზუმფარის ქაღალდის მსგავსად და ხეხავს კალაპოტის ფსკერსა და კედლებს და ამ პროცესს ეწოდება აბრაზია. ადგილებში, სადაც ტურბულენტობა წარმოქმნის მორევებს და ქვიშით ან ხრეშით გამოწვეული აბრაზიით ნაკადის კალაპოტის ფსკერზე წარმოიქმნება ჯამის მსგავსი ჩაღრმავებები, რომელთაც ეწოდებათ ქვაბულები; ქვებულები შესაძლებელია დაუკავშირდეს ერთმანეთს და წარმოქმნან კალაპოტი;
* *გახსნა:* მდინარი წყალი ხსნის ხსნად მინერალებს და გადააქვს მინერალები ხსნარიდან.

ეროზიის ეფექტურობა დამოკიდებულია წყლის სიჩქარესა და მოცულობაზე და მასში ნალექების შემცველობაზე. სწრაფადმოძრავი, ტურბულენტური, ქვიშიანი წყალი დიდი მოცულობით იწვევს უფრო სერიოზულ ეროზიას, ვიდრე წყნარი და სუფთა წყალი. შესაბამისად ეროზიების უმეტესობა ხდება წყალდიდობებისას.

***როგორ გადააქვთ ნაკადებს ნალექები***

ყველა ნაკადს გადააქვს ნალექი, თუმცა არა ერთნაირი ოდენობით. ნაკადის მიერ გადატანილი ნალექის საერთო ოდენობას გეოლოგები უწოდებენ ნატანს.

ნატანი მოიცავს სამ კომპონენტს:

* *გახსნილი ნივთიერებების შემცველობა:* მიმდინარე წყალი ხსნის ნალექში ან მისი სუბსტრატის ქანში არსებულ ხსნად მინერალებს და კალაპოტის კედლებიდან ნაკადში ჩამავალ მიწისქვეშა წყალებს თან მიაქვთ გახსნილი მინერალები. ეს იონები წარმოადგენს ნაკადის გახსნილი ნივთიერებების შემცველობას.
* *ნატანი შეწონილ მდგომარეობაში /სუსპენზია:* ნაკადის სუსპენზია შეიცავს უმცირეს მყარ მარცვლებს (სილის ან თიხის ზომის), რომლებიც ტრიალებს წყალში და არ ილექება კალაპოტის ფსკერზე.
* *ფსკერული ნატანები:* ნაკადის ფსკერული ნატანები შედგება უფრო დიდი ზომის ნაწილაკებისგან, რომლებიც ხტიან ან გორავენ ნაკადის კალაპოტის ფსკერზე. როგორც წესი, ფსკერული ნატანების მოძრაობა იწვევს სალტაციას.

***დანალექი პროცესები: როდესაც ნაკადები კარგავს მათ დატვირთვას***

ძლიერ ნაკადს შეუძლია გადაიტანოს მსხვილ- და წვრილმარცვლიანი ნალექები – წვრილმარცვლოვანი კლასტები მიჰყვება წყალს სუსპენზიის სახით, ხოლო მსხვილმარცვლოვანი კლასტები ხტის, გორავს და ტრიალებს. ნაკადის სიჩქარის შემცირებისას ნაკადის შესაძლებლობები სუსტდება და ნალექი ილექება. კონკრეტულ ადგილას დალექილი კლასტების ზომა დამოკიდებულია ამ ადგილას ნაკადის სიჩქარის შემცირებაზე. მაგალითად, თუ ნაკადის სიჩქარე მცირედ იკლებს, ილექება მხოლოდ დიდი კლასტები, თუ ნაკადის სიჩქარე მნიშნელოვნად მცირდება ილექება საშუალო ზომის კლასტები და თუ ნაკადი თითქმის გაჩერებულია, მაშინ ილექება მცირე კლასტები. აქედან გამომდინარე, მსხვილმარცვლოვანი ნალექები ილექება უფრო ზედა ბიეფში, სადაც ნაკადის დახრის კუთხე უფრო მკვეთრია და წყალიც მოძრაობს უფრო სწრაფად, ხოლო უფრო წვრილმარცვლოვანი ნალექები ილექება ქვედა ბიეფში, სადაც წყალი მოძრაობს უფრო ნელა. ნაკადის მიერ გადატანილ ნალექებს გეოლოგები უწოდებენ მდინარის ნალექებს (ლათინური სიტყვიდან *fluvius* – მდინარე) ან ალუვიონს. მდინარის ნალექები შესაძებელია დაგროვდეს ნაკადის ფსკერის გასწვრივ წაგრძელებულ ბორცევად, რომელთაც ეწოდებათ ბარი (კალაპოტის ქვიშრობი). წყალდიდობების დროს ნაკადმა შესაძლებელია დატბოროს მისი კალაპოტის ნაპირები და გავრცელდეს მის ჭალაში, სწორ, დიდ ტერიტორიაზე, რომელიც ესაზღვრება ნაკადს. ხახუნი ამცირებს წყლის სიჩქარეს ჭალაში და აქ ილექება სილა და ტალახი.

***ნაკადები და მათი ნალექები ლანდშაფტში***

***ველები და კანიონები***

ნაკადის ეროზიის შედეგად წარმოიქმნება ველი თუ კანიონი, დამოკიდებულია სიჩქარეზე, რომლითაც ჩნდება ფსკერული ეროზია იმ სიჩქარესთან მიმართებით, რომლითაც გრავიტაციული გადაადგილება იწვევს ნაკადის კალაპოტის რომელიმე მხარეს კედლების ჩამოშლას. ადგილებში, სადაც ნაკადი ახდენს ეროზიას მისი სუბსტრატის ქვემოთ უფრო სწრაფად, ვიდრე ნაკადის კალაპოტის კედელები ჩამოიშლება, წარმოიქმნება ციცაბოკალთებიანი კანიონი. ამგვარი კანიონები, როგორც წესი, წარმოიქმნება მყარ ქანში. ადგილებში, სადაც კედლები იშლება უფრო სწრაფად ვიდრე წარმოიშობა ფსკერის ეროზია, მეწყერები თანადთანობით იწვევს კედლების დაქანებას და იგი აღწევს ბუნებრივი დახრის კუთხეს. ამ დროს, ნაკადის კალაპოტი გადის ველის ფსკერზე, რომლის განივი კვეთი წააგავს V ასოს და ამიტომ მას ეწოდება V–სებური ველები.

***წყალვარდნილები და ჩანჩქერები***

განსაკუთრებით ტურბულენტურ წყალს, აზვირთებული ზედაპირით ეწოდება წყალვარდნილები. წყალვარდნილები წარმოიშობა, როდესაც წყალი მოედინება მისი კალაპოტის ფსკერზე არსებულ საფეხურებსა ან დიდ კლასტებზე. წყალვარდნილები ასევე წარმოიქმნება მაშინ, როდესაც კალაპოტი მკვეთრად ვიწროვდება ან მისი გრადიენტი იცვლება და წყლის სიჩქარე მოულოდნელად მატულობს. ტურბულენტობამ წყალვარდნილებში შესაძლებელია წარმოქმნას პატარა მორევები, ტალღები, რომლებიც წყალს აქცევს აერირებულ ნაკადად, ბუშტუკებისა და წყლის ნარევად.

ჩანჩქერი წარმოიქმნება იქ სადაც ნაკადის დახრილობა იმდენად მაღალია, რომ წყალი თავისუფალი ვარდნით ეცემა ქვემოთ ნაკადის ფსკერზე. დაცემული წყლის ენერგიას შეუძლია წარმოქმნას ჩაღრმავება, რომელსაც ეწოდება დევის ქვაბები ანუ ქვაბული ჩანჩქერის ძირში. მიუხედავად იმისა, რომ ჩანჩქერები შესაძლოა ჩანდეს, როგორც ლანდშაფტის პერმანენტული წარმომადგენლები, ყველა ჩანჩქერი საბოლო ჯამში ქრება, რადგან რეგრესიული ეროზია ნელ–ნელა შლის სტაბილურ და გამძლე ჩანჩქერის საფეხურებს.

***მეანდრული ნაკადები და მათი ჭალები***

როგორ წარმოიქმნება მეანდრული ნაკადები? მაშინაც კი, თუ დინება იწყება სწორი ფორმის კალაპოტიდან, წყლის სიღრმის ბუნებრივი ცვლილების გამო წარმოიქმნება სწრაფად მოძრავი დინება. წყალი ახდენს კალაპოტის ეროზიას გაცილებით ეფექტურად მაშინ, თუ იგი მოძრაობს სწრაფად და იგი იწყებს აჩქარებას მოხვევისას, მრუდის გარეთა რკალში. შესაბამისად, თითოეული ასეთი მრუდი ფართოვდება და წარმოქმნის მეანდრს. მეანდრის გარეთა კიდეზე ეროზია აგრძელებს კალაპოტის კედლის შლას და წარმოქმნის ციცაბო ფერდობს. შიდა კიდეზე წყლის სიჩქარე მცირდება და შესააბამისად ნალექი გროვდება კალაპოტის კედელზე, რომელსაც ეწოდება კალაპოტისპირა მარჩხობი. ეროზიის გაგრძელებისას, მეანდრი შესაძლებელია მოიღუნოს 1800–ზე მეტი კუთხითაც კი ისე, რომ ციცაბო ფერდო მეანდრის შესასვლელში აღწევს ციცაბო ფერდოს მის ბოლოში და ტოვებს მეანდრის ყელს, ვიწრო გასასვლელს, რომელიც ყოფს მეანდრის ნაწილებს. როდესაც ეროზია შლის მეანდრის ყელს, წარმოიქმნება სწორი ფორმის სივრცე, რომელსაც ეწოდება კალაპოტის გასწორება.

***დელტები: დალექვა შესართავის ბარში***

დელტები წარმოიქმნება მაშინ, როდესაც ნაკადის მიმდინარე წყალი უერთდება დამდგარ წყალს, დინება ნელდება და ხდება ნალექების დალექვა. მდინარის შესართავში ფორმირებულ ნალექების ნებისმიერ გროვას უწოდებენ დელტას. ზოგიერთი დელტა არის თაღის ფორმის, ზოგიც შეიცავს ბევრ წაგრძელებულ ღრმულებს და იჭრება ზღვაში.

დელტის ფორმა დამოკიდებულია ბევრ ფაქტორზე. დელტებს იმ ადგილებში, სადაც მდინარის დინების სიჩქარე აჭარბებს ოკეანის დინების სიჩქარეს, გააჩნიათ ჩიტის ფეხის ფორმა. და პირიქით, დელტებს, სადაც ოკეანის დინება ძლიერია გააჩნიათ Δ (დელტა) ფორმა. და ადგილებში, სადაც ტალღები და დინებები საკმაოდ ძლიერია იმისთვის, რომ შეუძლიათ დაუყოვნებლივ მოაცილონ ნალექი მისი დალექვისთანავე, მდინარეებს არ გააჩნიათ დელტა.

დროთა განმავლობაში დელტის ნალექი იტკეპნება და დელტის ქვეშ ლითოსფერო ეშვება ქვევით. შედეგად, დელტის ზედაპირი ნელ–ნელა იძირება. ბუნებრივ დელტებში შენაკადები უზრუნველყოფენ ნალექებს, რომლებიც ავსებენ შედეგად წარმოქმნილ სივრცეს ისე, რომ დელტის ზედაპირი რჩება ზღვის დონეზე ან მის ზემოთაც კი.

**თავი 14**

**ოკეანეები და სანაპიროები**

***ლანდშაფტები ზღვის ქვეშ***

ოკეანეები წარმოიქმნება იმიტომ, რომ ოკეანის ლითოსფერო და კონტინენტური ლითოსფერი მნიშვნელოვნად განსხვავდება ერთმანეთისგან შემადგენლობისა და სისქის თვალსაზრისით. ოკეანის უფრო მკვრივი და უფრო თხელი ლითოსფეროს ზედაპირი მდებარეობს შედარებით ტივტივა, სქელი კონტინენტური ლითოსფეროს ზედაპირზე უფრო ღრმად, რის გამოც წარმოიქმნება ოკეანის აუზები, სადაც გროვდება წყალი. მსოფლიოს დღევანდელ რუკაზე ოკეანე გარს აკრავს დედამიწას. თუმცა, უბრალოდ მითითების მიზნით კარტოგრაფები ყოფენ ოკეანეს რამოდენიმე ძირითად ნაწილად, გარკვეულწილად შემთხვევითი საზღვრებით და მნიშვნელოვნად განსხვავებული მოცულობებით.

წარმოიდგინეთ როგორი იქნება ოკეანის ფსკერი თუ მთელი წყალი აორთქლდება? საზღვაო გეოლოგებს შეუძლიათ ახლა უკვე წარმოადგინონ ოკეანის ბათიმეტრიის კონკრეტული გამოსახულება ადრინდელი ჰიდროლოკაციური გაზომვების და ახლა უკვე თანამგზავროდან მიღებული გაზომვების საფუძველზე. ეს კვლევები გვიჩვენებს, რომ ოკეანე შეიცავს დიდი ოდენობით ბათიმეტრიულ პროვინციებს, რომლებიც ერთმანეთისგან განსხვადება მათი წყლის სიღრმის მიხედვით.

***კონტინენტური შელფები, ფერდობები და კონტინენტური ძირი***

ფართე კონტინენტური შელფები პასიური კონტინენტური საზღვრების გასწვრივ ქმნიან საზღვრებს, რომლებიც არ არის ფილაქნის საზღვრები და შესაბამისად მათზე ხდება რამოდენიმე მიწისძვრა. პასიური საზღვრები წარმოიშობა მას შემდეგ, რაც გახლეჩვისას კონტინენტი იყოფა ორ ნაწილად. როდესაც გახლეჩვა სრულდება და იწყება ზღვის ფსკერის სპრედინგი, გაწელილი ლითოსფერო ოკეანესა და კონტინენტს შორის ზღვარზე ეტაპობრივად ცივდება და იძირება. კონტინენტიდან ჩარეცხილი ქვიშა და ტალახი, ზღვის ცხოველების ნიჟარებთან ერთად მარხავს ჩაძირულ ქერქს და ნელ–ნელა წარმოქმნის დაახლოებით 20კმ სისქის ნალექის ფილაქანს და ამ ნალექი ფილაქნის ბრტყელი ზედაპირი წარმოადგენს კონტინენტურ შელფს.

***ოკეანური ფილაქნის საზღვრების ბათიმეტრია***

ოკეანის ფსკერის ბათიმეტრიის შესწავლით შეგიძლიათ გაეცნოთ ფილაქნის საზღვრების სამივე ტიპს. ზღვის ფსკერის სპრედინგი დივერგენტულ საზღვარზე წარმოქმნის შუაოკეანურ ქედს, 2კმ სიმაღლის წყალქვეშა მთის სარტყელს. რადგან ზღვის ფსკერის სპრედინგის გაგრძელებასთან ერთად ქერქი იჭიმება და სკდება, ქედის ღერძის მოსაზღვრედ შესაძლოა გაჩნდეს ესკარპი, ჩვეულებრივი რღვევის შედეგი. ოკეანის ტრანსფორმული ნაპრალები, ჰორიზონტალური გადაადგილებები ჩვეულებრივ აკავშირებს შუაოკეანური ქედის სეგმენტებს. ტრანსფორმული ნაპრალები შემოსაზღვრულია ციცაბო ესკარპების ვიწრო სარტყლით და ჩამოშლილი ქანებით. რღვევის ეს ზონები შესაძლებელია დაფიქსირდეს ოკეანურ ფილაქანში ქედის ღერძებიდან მოშორებით. კონვერგენტულ საზღვრებზე სუბდუქცია წარმოქმნის ღრმა, წაგრძელებულ ღრმულს, რომელიც ესაზღვრება ვულკანურ რკალს. ზოგიერთი ღრმული აღწევს 8კმ სიღრმეს და ოკეანეში ყველაზე ღრმა წერტილი – 11,035მ არის მარიანის ღრმული. ზოგიერთი ღრმული ესაზღვრება კონტინენტებს; ზოგიც ესაზღვრება კუნძულების რკალს, რომლებიც წარმოადგენს აქტიური ვულკანური კუნძულების დაკლაკნილ ჯაჭვებს.

***აბისალური ვაკეები და მიწისქვეშა მთები***

ოკეანის ქერქი ბერდება და იწყებს უკან დახევას შუაოკეანური ქედის ღერძიდან; ამ დროს ხდება ორი ცვლილება: პირველი, ლითოსფერო ცივდება და მისი ზედაპირი იძირება. მეორე, ნალექების საფარი ეტაპობრივად გროვდება და ფარავს ოკეანის ქერქის ბაზალტს. აღნიშნული საფარი ძირითადად შედგაბა მიკროსკოპული პლანქტონის ნიჟარებისა და თიხის წვრილი მარცვლებისგან, რომლებიც თოვლის მსგავსად ნელ–ნელა ცვივა ოკეანის წყლიდან და ილექება ფსკერზე. გამომდინარე იქიდან, რომ ოკეანის ქერქი ეტაპობრივად სცილდება ქედის ღერძს და ბერდება, ნალექის სისქეც იზრდება ქედის ღერძიდან დაშორებით. მსოფლიოში უამრავ ადგილას, „ცხელი ზონის“ ამოფრქვევები ოკენის ლითოსფეროზე წარმოქმნის ვულკანებს. დღეისთვის აქტიური ოკეანის „ცხელი ზონის“ ვულკანები, ასევე უკვე გამქრალი ვულკანების ნარჩენები ამოზრდილია ზღვის დონიდან ზემოთ, ოკეანის კუნძულების სახით; მათ, რომლებიც მდებარეობს ზღვის დონიდან დაბლა, ეწოდებათ წყალქვეშა მთები.

***ოკეანის წყალი და დინებები***

***შემადგენლობა და ტემპერატურა***

ოკეანის წყალი შეიცავს საშუალოდ 3,5% გახსნილ მარილს (შედარების მიზნით, ჩვეულებრივ წყალში მარილის შემცველობა არის მხოლოდ 0,02%); გახსნილი იონები ლაგდებიან წყლის მოლეკულებს შორის წყლის მოცულობის შეცვლის გარეშე და აქედან გამომდინარე, წყალში მარილის დამატება ზრდის წყლის სიმკვრივეს. ოკეანეში იმდენი მარილია, რომ მოულოდნელად მთელი წყალი რომ აორთქლდეს, ოკეანის ფსკერზე ალბათ დარჩება მარილის 60მ სისქის ფენა. აღნიშნული ფენის შემცველობაში იქნებოდა: დაახლოებით 75% ჰალიტი, უფრო ნაკლები ოდენობით თაბაშირი, ანჰიდრიდი და სხვა მარილები. ოკეანოგრაფები მარილის შემცველობას უწოდებენ მარილიანობას. მიუხედავად იმისა, რომ ოკეანის მარილიანობა საშუალოდ შეადგენს 3,5%–ს, მარილიანობის მაჩვენებელი განსხვავებულია სხვადასხვა ადგილას და მერყეობს დაახლოებით 1,0%–დან 4,1%–მდე. მარილიანობა ასევე დამოკიდებულია წყლის ტემპერატურაზეც; უფრო თბილ წყალში უფრო მეტი მარილია, ვიდერ ცივში.

წყლის ზედაპირის საშუალო ტემპერატურა შეადგენს დაახლოებით 170C, თუმცა იგი ცვალებადია და პოლუსების სიახლოვეს იგი გაყინვის ტემპერატურას უტოლდება, ხოლო ტროპიკულ ზღვებში კი ადის თითქმის 350C–მდე.

ოკეანის ტემპერატურაც ასევე მნიშვნელოვნად იცვლება სიღრმის მიხედვით. მზით გამთბარი წყლები ნაკლებად მკვრივია და აქედან გამომდინარე რჩება ზედაპირზე. ზღვარი, რომლის ქვემოთაც ტემპერატურა მკვეთრად ეცემა და აღწევს თითქმის გაყინვის ტემპერატურას ზღვის ფსკერზე, არსებობს ტროპიკებში, დაახლოებით 300მ სიღრმეზე. პოლარულ ზღვებში არ არსებობს ასეთი ზღვარი, რადგან ზედაპირული წყლები უკვე ისედაც ცივია.

***დინებები: მდინარეები ზღვებში***

როგორც ვიცით ოკეანის წყალი არ არის გაჩერებული ერთ ადგილას, არამედ იგი მიედინება ან ბრუნავს ნაკადებად რამოდენიმე კილომეტრი საათში სიჩქარით, რომელთაც ეწიდებათ დინებები. ოკეანოლოგიური კვლევები გვიჩვენებს, რომ ზღვაში ცირკულაცია ხდება ორ დონეზე: ზედაპირული დინებები ზემოქმედებს წყლის ზედა ასეულ მეტრზე, ხოლო სიღრმულ დინებებს მოძრაობაში მოჰყავს ზღვის ფსკერის წყალი.

ზედაპირული დინებები გვხვდება მსოფლიოს ყველა ოკეანეში. ისინი წარმოიქმნება ზღვის ზედაპირისა და ქარის ურთერთქმედების შედეგად. დედამიწის ბრუნვის გამო, რომელიც წარმოშობს კორიოლისის ძალების ეფექტს, ზედაპირული დინებები ჩრდიოლოეთ ნახევარსფეროში იცვლის მიმართულებას მარჯვნივ, ხოლო ზედაპირული დინებები სამხრეთ ნახევარსფეროში კი მარცხნივ, ქარის საშუალო მიმართულებასთან დაკავშირებით.

ღრმა დინებები არსებობს სხვადასხვა ადგილებში იმიტომ, რომ წყალი უნდა ჩაიძიროს ან ზემოთ ამოვიდეს ვერტიკალურად. ოკეანოგრაფებმა განსაზღვრეს ქვემოთ მიმავალი დინებების ზონები, ადგილები სადაც ზედაპირთან არსებული წყალი იძირება და და ასევე ზემოთ მიმავალი დინებების ზონები, ანუ ადგილები, სადაც ზედაპირის ქვემოთ არსებული წყალი იწევს მაღლა. რა იწვევს დინებების ზემოთ თუ ქვემოთ მოძრაობას? სანაპირო რეგიონებში ამ მოვლენას ადგილი აქვს იმიტომ, რომ ქარი ქროლვისას გადაადგილებს ზედაპირულ წყლებს გასწვრივ მიმართულებით. თუ ზედაპირული წყალი მოძრაობს სანაპიროს მიმართულებით, მაშინ სანაპიროს გასწვრივ წარმოიქმნება წყლის გადაჭარბებული მოცულობა და ზედმეტი წყალი უნდა ჩაიძიროს, ანუ ადგილი აქვს ქვემოთ მიმავალ დინებას. და პირიქით, თუ ზედაპირული წყალი მოძრაობს სანაპიროდან, მაშინ სანაპიროს სიახლოვეს წარმოიქმნება წყლის დეფიციტი და წყალი იწევს ზემოთ რომ შეავსოს ეს დანაკლისი, ანუ ადგილ აქვს ზემოთ მიმავალ დინებას. ზედაპირული წყლის ზემოთ მიმართულ დინებას ადგილი აქვს ასევე ეკვატორის ახლოსაც, რადგან ქარები სტაბილურად ქრის აღმოსავლეთიდან დასავლეთის მიმართულებით. ქარს მოძრაობაში მოჰყავს ზედაპირული წყლები. კორიოლისის ძალების ზემოქმედებით ზედაპირული წყლები მიმართულებას იცვლის ჩრდილოეთისკენ ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში, ხოლო სამხრეთ ნახევარსფეროში კი სამხრეთისკენ. ზემოთ მიმართული დინებები ავსებს ამ დეფიციტს. ამის შედეგად საკვები ნივთიერებები ამოდის ზედაპირზე და ხელს უწყობს ცოცხალი ორგანიზმების მრავაფეროვნებას ეკვატორულ წყლებში.

დინებების ზემოთ და ქვემოთ მოძრაობას ასევე შესაძლებელია ხელი შეუწყოს წყლის სიმკვრივის კონტრასტმა, რაც გამოწვეულია წყლის ტემპერატურითა და მარილიანობით. სიმკვრივის კონტრასტით გამოწვეულ წყლის ზემოთ და ქვემოთ მოძრაობას ეწოდება თერმოჰალური ცირკულაცია.

***მიქცევა და მოქცევა***

გემის კაპიტანმა, რომელსაც სურს პორტიდან გემის გამოყვანა, დიდი ყურადღება უნდა მიაქციოს დღეში ორჯერ ზღვის დონის აწევას და დაწევას, ანუ მიქცევას და მოქცევას. მოქცევისას ნავსაყუდელში წყლის დონე ისეთი მაღალია, რომ გემს მარტივად შეუძლია დაბრკოლებების ზემოდან ტივტივი, ხოლო მიქცევის დროს გემი შესაძლოა შეჯდეს მეჩეჩზე. მიქცევა და მოქცევა წარმოიქმნება მიქცევა–მოქცევის წარმომქმნელი ძალების ზემოქმედებით, რაც მარტივი ტერმინებით რომ ვთქვათ, გამოწვეულია ნაწილობრივ მზისა და მთვარის გრავიტაციული მიზიდულობით და ნაწილობრივ კი ცენტრიდანული ძალით, რომელიც წარმოიქმნება დედამიწა–მთვარის სისტემის წრიული მოძრაობის შედეგად მისი მასის ცენტრის გარშემო.

მიქევა–მოქცევის წარმოქმნა სანაპიროს გასწვრივ დამოკიდებულია არა მხოლოდ მოქცევის ზონაზე, არემდ სანაპიროს დახრილობაზეც. ვერტიკალური ქანობის გასწვრივ მიქცევა–მოქცევის ზონა წარმოდგენილია შეფერილი, ზღვის იხვებით და წყალმცენარეებით დაფარული კლდის სახით. იმ ადგილას, სადაც სანაპიროზე პატარა ქანობია, სანაპიროს ზოლი მნიშვნელოვნად იწევს ხმელეთისკენ მოქცევისას, ხოლო მიქცევისას კი ზღვისკენ.

***ტალღების მოქმედება***

ქარის მიერ მოძრაობაში მოყვანილი ტალღები ოკეანის ზედაპირს გადააქცევს აბობოქრებულ მასად. ეს ხდება ქარში არსებული ჰაერის მოლეკულებისა და ზღვის ზედაპირზე წყლის მოლეკულების ურთიერთგაცვლის გამო. როდესაც უცქერთ ტალღების მოძრაობას ღია ოკეანეში შესაძლოა შეგექმნათ შთაბეჭდილება, რომ წყლის მთლიანი მასა, რომელიც ქმნის ტალღას, მოძრაობს ტალღასთან ერთად. მაგრამ თუ გემბანიდან გადააგდებთ საცობს და დააკვირდებით შეამჩნევთ, რომ იგი მოძრაობს ზემოთ–ქვემოთ; იგი არ მოძრაობს ტალღის გასწვრივ. ტალღაში, სანაპიროდან მოშორებით, წყლის ნაწილაკები მოძრაობს წრიულად, როგორც ეს ჩანს განივ კვეთში. წრის რადიუსი უდიდესია ოკეანის ზედაპირზე, სადაც იგი უტოლდება ტალღის ამპლიტუდას. სიღრმის მატებასთან ერთად, წრის რადიუსი მცირდება და სიღრმეზე, სადაც იგი ტალღის სიმაღლის დაახლოებით ნახევრის ტოლია, ტალღა საერთოდ არ მოძრაობს. ტალღის ამ ბაზის ქვემოთ წყალქვეშა გემები დაცურავენ წყნარ წყალში მაშინაც კი, როდესაც ზემოთ ზედაპირზე ტალღები აქეთ–იქით ახეთქებს გემებს.

ღია ოკეანეში ტალღების ქცევა დამოკიდებულია ქარის სიმძლავრეზე. როდესაც ქარი იწყებს ქროლვას, იგი ჯერ სუსტად არხევს წყლის ზედაპირს. ქროლვის გაგრძელებასთან ერთად წარმოიქმნება უფრო დიდი ტალღები, რომელთა ამპლიტუდა შეადგენს 2-10მ, ხოლო სიმაღლე კი 40-500მ–ს. ამგვარ ტალღებს შეუძლიათ გასცდნენ მათი წარმოქმნის ზონას და გადაადგილდნენ დიდ მანძილზე. ტალღების გადაფარვას და ტალღებსა და დინებებს შორის ურთიერქმედებას შეუძლია წარმოქმნას 35მ–ზე მეტი სიმაღლის ე.წ. მკვლელი ტალღები.

***ადგილი, სადაც ხმელეთი ხვდება*** ***ზღვას: სანაპიროს ლანდშაფტი***

სანაპიროები, რომლებიც წარმოადგენს ხმელეთისა და ზღვის გამყოფ სარტყელს, მნიშვნელოვნად განსხვავდება ტოპოგრაფიისა და მასთან დაკავშირებული ლანდშაფტის თვალსაზრისით. ზოგიერთი სანაპირო კლდოვანია, ზოგი ქ ვიშიანი, ხოლო ზოგი კი დაფარულია ხეებით. სანაპიროს ლანდშაფტის ფორმა დამოკიდებულია უამრავ ფაქტორზე, რაც მოიცავს ნაპირის შემადგენლობასა და სიმაღლის ნიშნულს, კლიმატს და ნალექებს.

***სანაპიროები და მიქცევა–მოქცევის ზონები***

ზოგიერთი სანაპირო დაფარულია ქვიშით, ზოგი მსხვილი ხრეშით ან ქვებით. ხრეშიანი სანაპიროები არსებობს მხოლოდ იმ ადგილებში, სადაც ნაკადებს ახლომდებარე კლდეებიდან მოაქვთ დიდი ქვის ნატეხები. შემდეგ შტორმული ტალღები ერთმანეთზე ახეთქებს ამ ფრაგმენტებს ისეთი ძალით, რომ ისინი დროთა განმავლობაში იშლებიან მცირე ზომის ნაწილებად. მიქცევა – მოქცევის ტალღები რეცხავს უფრო წვრილ ნაწილაკებს და მიაქვს ღრმად, წყნარ წყალში სადაც ისინი ილექება.

სანაპიროები წარმოადგენს კომპლექსურ, ევოლუციონირებად სისტემებს, რომლებიც შედგება უამრავი კომპონენტისგან. ზღვიდან დაწყებული ხმელეთისკენ მიმართულებით, სანაპირო შედგება სანაპირო ზოლისგან, რომლის გასწვრივაც ხდება მიქცევა და მოქცევა. სანაპიროს ზედაპირი, სანაპირო ზოლის უფრო დამრეცი, ჩაღრმავებული ნაწილი წარმოიქმნება იქ, სადაც ტალღები აქტიურად რეცხავს ქვიშას. პლაჟის ზურგის ზონა გრძელდება მოქცევისგან გაკეთებული პატარ საფეხურიდან, ანუ ესკარპიდან დიუნების ან კლდეების წინა მხარემდე, რომლებიც მდებარეობს უფრო ნაპირთან ახლოს. პლაჟის ზურგის ზონა მოიცავს ერთ ან რამოდენიმე სანაპიროს საფეხურს, ჰორიზონტალურ, ნაპირისკენ დახრილ ტერასებს, სადაც ნალექები გროვდება მხოლოდ შტორმების დროს.

გეოლოგები სანაპიროებს ზოგადად მოიხსენიებენ, როგორც „ქვიშის მდინარეებს“ იმის ხაზგასასმელად, რომ დროთა განმავლობაში სანაპიროს ქვიშა მოძრაობს სანაპიროს გასწვრივ; იგი არ არის პერმანენტული სუბსტრატი. ტალღებს ყოველდღიურად გადააქვს სანაპიროდან აქტიური ქვიშის ფენა ზღვის ფსკერზე. არააქტიური ქვიშა, რომელიც ჩამარხულია ამ ფენის ქვეშ, მოძრაობს მხოლოდ ძლიერი შტორმებისას ან საერთოდ არ მოძრაობს.

ტალღები აგროვებს ქვიშის გროვებს ვიწრო ღარში ნაპირიდან მოშორებით, რომელსაც ეწოდება სანაპირო ბარი. ქვიშით მდიდარ რეგიონებში, სანაპირო ბარები თანდათანობით იზრდება მაღალი წყლების საშუალო დონის ზემოთ და გადაიქცევა ბარიერულ კუნძულებად. ბარიერულ კუნძულსა და დიდ კუნძულს (კონტინენტს) შორის ადგილს ეწოდება ლაგუნა.

მიქცევა–მოქცევის ზონები, რომლებიც შიშვლდება ან თითქმის შიშვლდება მიქცევისას, ხოლო მოქცევისას კი მთლიანად იფარება წყლით წარმოიქმნება ძლიერი ტალღების ზემოქმედებისგან დაცულ ზონებში.

***კლდოვანი სანაპიროები***

არ გააჩნიათ რა დაცვა სანაპიროდან, კლდეები სანაპიროზე საკუთარ თავზე იღებენ დამანგრეველი ტალღების მთელ ზემოქმედებას. დამანგრეველი ტალღების ზემოქმედებით წარმოქმნილ წნევას შეუძლია დაძრას ლოდები და მიახეთქოს ერთმანეთზე, სანამ ისინი არ დაიმსხვრევა. ამასთან, მისი ტურბულენტობიდან გამომდინარე კლდის ზედაპირზე შეხეთქებული წყალი, რომელშიც მრავლადაა შეწონილი ქვიშის მარცვლები იწვევს კლდის ცვეთას. ამას ეწოდება ტალღის ეროზია, რომელიც ნელ–ნელა ჭრის კლდის ზედაპირს და წარმოქმნის ტალღათცემის ნიშებს. ჭრა გრძელდება სანამ კლდის გადმოკიდული ნაწილი არ გახდება არასტაბილური და არ ჩამოიშლება. ამ პროცესით ტალღის ეროზია ჭრის კლდოვან სანაპიროს ისე, რომ კლდე ნელ–ნელა იწევს ხმელეთისკენ. კლდის ამგვარი დახევის შემდეგ საბოლოოდ რჩება ტალღათცემის ნაპირი ან პლატფორმა, რომელიც ჩანს მიქცევისას.

***ესტუარები***

ზოგიერთი სანაპირო ზოლის გასწვრივ ზღვის დონის შედარებითი ზრდა იწვევს იმას, რომ ზღვა ტბორავს მდინარის ხეობებს და მათ აერთიანებს სანაპიროსთან, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ესტუარები ადგილებში, სადაც ერთმანეთს ერევა ზღის და მდინარის წყლები. ოკეანის და მდინარის წყლები ესტუართან მიმართებით მოქმედებს ორი მეთოდით. ტალღის ზემოქმედებისგან ან მდინარის ტურბულენტობისგან დაცულ წყნარ ესტუარებში, წყალი ხდება სტრატიფიცირებული, ანუ ოკეანის უფრო მკვრივი, მარილიანი წყალი იჭრება მდინარის ნაკლებად მკვრივ, სუფთა წყლის ქვეშ. ტურბულენტურ ესტუარებში ოკეანის და მდინარის წყლები ერთიანდება და წარმოქმნის საკვები ნივთიერებებით მდიდარ, მარილიან წყალს, რომლის მარილიანობის მაჩვენებელი მერყეობს ოკეანეებისა და მდინარეების მარილიანობის მაჩვენებლებს შორის.

***სანაპირო მრავალფეროვნების მიზეზები***

***ფილების ტექტონიკის პირობები***

სანაპიროს ტექტონიკური სიტუაცია მნიშნელოვან როლს თამაშობს იმის განსაზღვრაში იქნება სანაპირო კლდოვანი თუ ვაკობი. აქტიური საზღვრების გასწვრივ კომპრესია კუმშავს ქერქს, ზემოთ სწევს მას და წარმოქმნის ისეთ მთებს, როგორიცაა მაგალითად ანდები, სამხრეთ ამერიკის დასავლეთ სანაპიროზე. პასიური საზღვრების გასწვრივ, ლითოსფეროს გაცივებამ და ჩაძირვამ შესაძლებელია წარმოქმნას დიდი ფართობის მქონე სანაპირო ველი, რომელიც ერწყმის კონტინენტურ შელფს. თუმცა ყველა პასიურ საზღვარს არ გააჩნია სანაპირო ველები. ზოგიერთ ადგილას, რღვევის საზღვარი რჩება მაღალ სიმაღლეზე, რღვევის შეწყვეტიდან მილიონობით წლის შემდეგაც.

***ზღვის ფარდობითი დონის ცვლილება***

ზღვის დონე ხმელეთის ზედაპირთან მიმართებით იცვლება გეოლოგიური დროის ჭრილში. მაგალითად, უკანასკნელი გამყინვარების პერიოდში, იმის გამო, რომ ძალიან დიდი ოდენობით წყალი იქნა ჩაჭერილი მყინვარებში, ზღვის დონე იყო იმაზე დაბალი რაც დღეისთვისაა. ამის შედეგად, კონტინენტური შელფების უზარმაზარი ტერიტორიები იყო ხმელეთი.

სანაპიროებს, სადაც ხმელეთი ამოდის ზევით ზღვის დონესთან მიმართებით, გეოლოგები უწოდებენ წყლიდან ამოსულ სანაპიროებს. წყლიდან ამოსულ სანაპიროებზე ციცაბო ქანობები ჩვეულებრივ ემიჯნება სანაპიროს. ზოგიერთი წყლიდან ამოსული სანაპიროს გასწვრივ ფორმირდება საფეხურების მსგავსი ტერასები. ეს ტერასები ასახავს ზღვის ფარდობითი დონის ეტაპობრივ ცვლილებებს. სანაპიროებს, სადაც ხმელეთი ჩაიძირა ზღვის დონესთან მიმართებით ეწოდებათ ჩაძირული სანაპიროები.

**თავი 15**

**მიწისქვეშა წყლები**

***შესავალი***

ქალაქის ქვეშ მდებარე ძირითადი ქანი შედგება კირქვისგან, საკმაოდ ხსნადი ქანისგან. მიწისქვეშა წყლებმა (წყლები, რომელიც არსებობს დედამიწის ზედაპირის ქვეშ) თანდათან გახსნა კირქვა, წარმოქმნა ღია სივრცეები, მღვიმეები მიწისქვეშ. მაშინ როდესაც ჩვენ ადვილად შეგვიძლია დავინახოთ დედამიწის ზედაპირული წყლები (ტბებში, მდინარეებში, წყაროებში, ჭაობებში და ოკეანეებში) და ატმოსფერული წყლები (ღრუბლებში და წვიმის სახით), მიწისქვეშა წყლები დამალულია ზედაპირის ქვეშ ნალექებსა და ქანებში მოქცეულ ღარებსა და ბზარებში. მიუხედავად ამისა, მიწისქვეშა წყლები წარმოადგენს მსოფლიოს მტკნარი წყლების მარაგის ორ მესამედს და უფრო მეტად და მეტად გამოიყენება როგორც მთავარი წყარო სახლების, აგროკულტურის და ინდუსტრიის წყლით მომარაგებისათვის.

***სად მდებარეობს მიწისქვეშა წყლები?***

***ჰიდროლოგიური ციკლის მიწისქვეშა რეზერვუარი***

წყალი გადაადგილდება სხვადასხვა რეზერვუარებს (ოკეანეები, ატმოსფერო, მდინარეები და ტბები, მიწისქვეშა წყლები, ცოცხალი ორგანიზმები, მიწა და მყინვარწვერები) შორის ჰიდროლოგიური ციკლის დროს. წყლის ნაწილი, რომელიც ხვდება ხმელეთზე, პირდაპირ ორთქლდება ატმოსფეროში, ნაწილი რჩება მყინვარებზე, ნაწილი კი გარდაიქმნება წყლის მასად, რომელიც უერთდება ზღვაში ჩამდინარე წყაროების და ტბების ქსელს. დარჩენილი ნაწილი კი ინფილტრაციის პროცესით ჟონავს ხმელეთში; თავისებურად, ქერქის ზემო ნაწილი ასრულებს უზარმაზარი საშრობის (ღრუბლის) ფუნქციას წყლის შესაწოვად.

წყლის ნაწილი, რომელიც იჟონება, უჯდება მხოლოდ მიწას და ასველებს მის შემადგენელ შრეებსა და ორგანულ ნაწილებს. ეს წყალი, რომელსაც ეწოდება **მიწის ტენიანობა**, მოგვიანებით ისევ ორთქლდება ატმოსფეროში ან შეიწოვება მცენარეთა ფესვებით და შემდგომ ორთქლდება ატმოსფეროში. მაგრამ წყლის ნაწილი ჩაიჟონება უფრო ღრმად და ავსებს ნალექებს და ქანების შრეებს შორის არსებულ თავისუფალ სივრცეებს. ეს წყალი, ქანების ჩამოყალიბების დროს ჩარჩენილ წყალთან ერთად, ქმნის მიწისქვეშა წყლებს. მიწისქვეშა წყლები ნელა მიედინება ზედაპირის ქვეშ თვეების ან ათასწლეულების განმავლობაში ვიდრე არ დაუბრუნდება ზედაპირს ჰიდროლოგიურ ციკლთან შესაერთებლად.

***ფორიანობა: მიწისქვეშა წყლების არსებობის ადგილი***

ფართოდ გავრცელებული აზრის მიუხედავად, მიწისქვეშა წყლების მხოლოდ მცირე ნაწილი თავისუფლად მოძრაობს მიწისქვეშა გამოქვაბულების სისტემების ტბებსა და წყაროებს შორის. მიწისქვეშა წყლების უმეტესი ნაწილი მდებარეობს ერთი შეხედვით მყარი ქანების ან ნალექების ფორებში. საზოგადოდ, **ფორი** არის ღია სივრცე ნალექების და ქანების სტრუქტურაში. ხოლო **ფორიანობა** განსაზღვრავს საერთო მოცულობას თავისუფალი სივრცის მასაში და როგორც წესი გამოხატულია პროცენტული მაჩვენებლით. მაგალითად თუ ჩვენ ვიტყვით რომ კირქვის გარკვეულ რაოდენობას გააჩნია ფორიანობის 30%, ეს იმას ნიშნავს რომ ერთი შეხედვით მკვრივი ქანის მასა სინამდვილეში შეიცავს 30% ღია სივრცეს.

გეოლოგები განასხვავებენ პირველად და მეორად ფორიანობას. პირველადი ფორიანობა არის სივრცე, რომელიც რჩება ნალექის დაგროვების ან ქანების ჩამოყალიბების შემდეგ მყარ შრეებსა ან კრისტალებს შორის. მაგალითად, ქვიშაში ან ხრეშში პირველადი ფორიანობა არსებობს იმიტომ, რომ მომრგვალებული ნარჩენები (ნაწილაკები) ერთმანეთს მჭიდროდ არ ებმის. მეორადი ფორიანობა ეხება ქანებში ახლად შექმნილ ღია სივრცეს, რომელიც შეიქმნა ქანების ჩამოყალიბებიდან გარკვეული დროის შემდეგ. მაგალითად როდესაც ქანები სკდება, გამსკდარი ადგილის მოპირდაპირე კედლები არ ეკვრის ერთმანეთს მჭიდროდ. მათ შორის რჩება ვიწრო სივრცეები. მეორადი ფორიანობა ასევე იქმნება, როდესაც მიწისქვეშა წყლები მიედინება ქანებს შორის და შლის ან აცლის მინერალებს, და აქედან გამომდინარე ქმნის ღია სივრცეებს, ეგრეთწოდებულ ნაზავის ღრმულებს.

***გამტარუნარიანობა: ნაკადის შეუფერხებელი დენა***

თუ ფორი მთლიანად გარემოცულია მყარი ქანით, მასში მდებარე წყალი ვერ გაედინება სხვა მიმართულებით. მიწისქვეშა წყლის დინებისათვის ფორები უნდა იყოს ურთიერთდაკავშირებული გამტარების (ღიობების) მეშვეობით. **გამტარუნარიანობა,** ფოროვან ნივთიერებებში სითხის თავისუფლად მიმოქცევის საზომი ერთეული, დამოკიდებულია ფორების ურთიერთკავშირზე. წყალი თავისუფლად გადის წყალგამტარ მასალებს შორის, მაშინ როდესაც წყალი ძნელად ან საერთოდ ვერ გადის წყალგაუმტარ მასალებში. ფორიანობა და გამტარიანობა არ არის ერთი და იგივე. მასალებს, რომელთა ფორები არ არის იზოლირებული ერთმანეთისაგან, შეიძლება გააჩნდეთ მაღალი ფორიანობა, მაგრამ დაბალი გამტარუნარიანობა. მასალის გამტარუნარიანობა დამოკიდებულია რამდენიმე ფაქტორზე:

* *არსებული ღარების რაოდენობა*: ღარების რაოდენობის ზრდასთან ერთად იზრდება გამტარუნარიანობა.
* *ღარების ზომა*: უფრო მეტი სითხე შეიძლება გადაადგილდეს ფართო ღარებში ვიდრე ვიწროში.
* *ღარების სწორხაზოვნება*: წყალი უფრო სწრაფად მოძრაობს სწორ ღარებში ვიდრე მრუდეში.

***წყლოვანი და უწყლო ფენები***

გამტარუნარიანობის კონცეფციის გათვალიწინებით, ჰიდროგეოლოგები განასხვავებენ **წყლოვან** (ნალექი ან ქანი, რომელიც ატარებს წყალს თავისუფლად) და **უწყლო** (ნალექი და ქანი რომელიც ძნელად ატარებს წყალს და შესაბამისად აფერხებს წყლის მოძრობას) ფენებს. წყლოვან ფენებს, რომლებიც კვეთენ დედამიწის ზედაპირს, ეწოდებათ შეუზღუდავი წყლოვანი ფენები, რადგანც წყალმა შეიძლება პირდაპირ გაჟონოს ზედაპირიდან წყლოვან ფენებში და წყლის დონე ამ შრიდან შეიძლება ამაღლდეს ზედაპირამდე. წყლოვან ფენებს, რომლებიც გამოყოფილია ზედაპირისაგან უწყლო ფენებით, ეწოდებათ შეზღუდული წყლოვანი ფენები, რადგანაც მათში არსებული წყალი იზოლირებულია ზედაპირისაგან.

***მიწისქვეშა წყლების დონე***

არის თუ არა ყველგან ფოროვანი ნალექები და ქანები, რომლებიც მთლიანადაა წყლით გაჟღენთილი მიწის ზედაპირამდე? პასუხი არის არა. გეოლოგები განასხვავებენ საზღვრებს, რომელთაც ეწოდებათ **მიწისქვეშა წყლების დონე**. ამ მონაცემების ზემოთ ფორის სივრცეები უმეტესად შეიცავს ჰაერს, ხოლო ქვემოთ კი - მხოლოდ წყალს. ტექნიკური ჟარგონით, მიწისქვეშა ადგილი წყლის დონის ზემოთ, არის უჯერი ზონა; უჯერი ზონა შეიძლება იყოს ნოტიო, მაგრამ მისი ფორები არ არის წყლით სავსე. ჩვეულებრივ, ზედაპირის მდგრადობა, წყლის მოლეკულების ელექტროსტატიკური მიზიდვა მინერალის ზედაპირებთან, იწვევს წყლის ზემოთ აწევას მიწისქვეშა წყლების დონიდან (ისევე, როგორც წყალი ამოდის ზემოთ საწრუპავში), ფორების შევსებას კაპილარულ ნაწილში, თხელ ფენაში, რომელიც მდებარეობს გაჟღენთილ და გაუჟღენთავ ზონებს შორის.

მიწისქვეშა წყლების დონის სიღრმე მნიშვნელოვნად იცვლება ადგილმდებარეობის მიხედვით. მაგალითად მუდმივი ნაკადის, ტბის ან ჭაობის ზედაპირი განსაზღვრავს წყლის დონეს ამ ადგილას, რადგან წყალი ჟღენთავს მიწას ან ქანებს. სხვა ადგილებში მიწისქვეშა წყლების დონე დამალულია მიწის ზედაპირის ქვემოთ: ტენიან რეგიონებში, როგორც წესი იგი მდებარეობს რამდენიმე მეტრში მიწის ზედაპირიდან, ხოლო მშრალ რეგიონებში კი იგი შეიძლება იყოს ათეული მეტრიდან 200 მეტრამდე სიღრმეზე.

ნალექი ზემოქმედებას ახდენს წყლის დონის სიღრმეზე - დონე იკლებს მშრალი სეზონების დროს. თუ წყლის დონე დაეცემა მდინარის ან ტბის ფსკერის ქვემოთ, მდინარე ან ტბა შრება, რადგანაც წყალი რომელსაც ის შეიცავს, გაიჟონება მიწაში. მშრალ რეგიონებში არ არის მუდმივი ნაკადები, რადგან წყლის დონე იმყოფება წყაროს კალაპოტის ქვეშ. წყაროები ასეთ რეგიონებში ჩნდება მხოლოდ შტორმების დროს, როდესაც ზედაპირული წყლები უფრო სწრაფად ავსებს არხებს, ვიდრე წყალი შეიწოვება მიწაში.

***მიწისქვეშა წყლების დონის ტოპოგრაფია***

მთიან რეგიონებში, მიწისქვეშა წყლების დონე არ არის ბრტყელი ზედაპირი. პირიქით, მისი ზედაპირი იმეორებს ზემოთ არსებულ ტოპოგრაფიის ფორმას, რაც ნიშნავს იმას, რომ მიწისქვეშა წყლების დონე მდებარეობს უფრო ამაღლებულზე მთების ქვეშ, ვიდრე ხეობებში. თუმცა, მიწისქვეშა წყლების დონის რელიეფი (ვერტიკალური მანძილი უმაღლეს და უდაბლეს სიმაღლის ნიშნულებს შორის) არ არის ისეთი ამაღლებული, როგორც მის ზემოთ განლაგებული მიწის ზედაპირი და შესაბამისად, მიწისქვეშა წყლების დონის ზედაპირი ლანდშაფტისაზე უფრო გლუვია.

ერთი შეხედვით, შეიძლება გასაკვირი იყოს, რომ მიწისქვეშა წყლების დონის მატება იცვლება მიწის ზედაპირის ტოპოგრაფიის მიხედვით. მიწისქვეშა წყლების დონის მატება ვარირებს იმიტომ რომ, მიწისქვეშა წყლები ისე ნელა მოძრაობს ნალექებსა და ქანებში, რომ სწრაფად ვერ იღებს ჰორიზონტალურ ზედაპირს. როდესაც მთებში წვიმაა და წყალი ჟონავს მიწისქვეშა წყლების დონემდე, მცირედ იმატებს დონეც. როდესაც არ წვიმს, მიწისქვეშა წყლების დონე იკლებს მცირედ, მაგრამ ისე ნელა რომ, ვიდრე კვლავ გაწვიმდება და დონე აიწევს, მას არ ექნება საკმარისი დრო, რომ წყლის დონემ ძალიან დაიწიოს.

ზოგიერთ ადგილას, წყალგაუმტარი მასალების იზოლირებული ფენა ან შრე მდებარეობს უჟღენთავ ზონებში მიწის ზედაპირსა და რეგიონულ მიწისქვეშა წყლების დონეს შორის. სადაც ეს ხდება, ქვემოთ მჟონავი წყალი ჩერდება და წარმოქმნის იზოლირებულ ბორცვს ან ფენას რეგიონული მიწისქვეშა წყლების დონის ზემოთ. ასეთი მიწისქვეშა წყალი სინამდვილეში განთავსებულია წყლოვანი ფენის ზემოთ. მიწისქვეშა წყლის ზედა ზედაპირს, რომელიც მდებარეობს რეგიონული მიწისქვეშა წყლების დონის ზემოთ, ეწოდება ზედა წყლის დონე.

***მიწისქვეშა წყლების მარაგების გამოყენება***

მიწისქვეშა წყლები შეიძლება ამოვიდეს მიწის ზედაპირზე ჭებში ან წყაროებში. ჭები წარმოადგენს ხვრელებს, რომლებსაც ადამიანები თხრიან ან ბურღავენ წყლის მოსაპოვებლად. წყაროები არის ბუნებრივი გამოსასვლელები, საიდანაც მიწისქვეშა წყლები გამოედინება. წყაროები და ჭები წარმოადგენენ სასურველ წყლის მიღების წყაროებს, რომელთაც სჭირდებათ გაფრთხილება, რათა დიდი ხნის მანძილზე შევძლოთ მათი გამოყენება.

***ჭები***

***ჩვეულებრივ ჭაში,*** ჭის ძირი აღწევს წყლოვან ფენაში მიწისქვეშა წყლების დონის ქვემოთ. წყლოვან ფენებში არსებული წყალი ფოროვანი სივრციდან ეწვეთება ჭაში და ავსებს მას; ჭის წყლის ზედაპირი არის წყლის დონე. გაუმტარ ფენაში ან მიწისქვეშა წყლების დონის ზემოთ მდებარე მასალების გაბურღვით ვერ მივიღებთ წყალს. ზოგიერთი ჩვეულებრივი ჭა არის სეზონური და ამიტომაც მხოლოდ წვიმების სეზონის დროს ფუნქციონირებს, როდესაც მიწისქვეშა წყლების დონე იზრდება ჭის ძირამდე.

იმისათვის რომ მოიპოვო წყალი ჩვეულებრივი ჭიდან, ამოგვაქვს ჩამჩით ან ამოტუმბვის საშუალებით. მანამ სანამ, მიწისქვეშა წლით ჭის შევსების სიჩქარე იქნება წყლის ამოღების სიჩქარეზე მეტი, წყლის დონის მდგომარეობა ჭის სიახლოვეს დარჩება თითქმის უცვლელი, მაგრამ თუ ჭიდან წყალს ამოვტუმბავთ ძალიან ჩქარა, მაშინ წყლის დონე ჭის სიახლოვეს დაეცემა, ანუ, მიწისქვეშა წყლების დონე გადაიქცევა ქვემოთ მიმართულ, კონუსის ფორმის ზედაპირად, რომელსაც ეწოდება დეპრესიის ძაბრი. ჩავარდნამ შეიძლება გამოიწვიოს ახლომდებარე გაბურღულ ჭებში წყლის დონის დაცემა.

***არტეზიული ჭები*** (საფრანგეთის პროვინციის სახელწოდებიდან - *Artois*), აღწევს შეზღუდულ წყლოვან ფენამდე. მასში წყალი არის საკმარისი წნევის ქვეშ იმისთვის, რომ მისმა დონემ აიწიოს თვითონ წყლოვანი ფენის ზედაპირის ზემოთ. თუ დონე მდებარეობს მიწის ზედაპირის ქვემოთ, მაშინ ეს არის გაუმდინარი არტეზიული ჭა, მაგრამ თუ დონე არის მიწის ზედაპირის ზემოთ, მაშინ ეს არის გამდინარე არტეზიული ჭა და წყალი აქტიურად, შადრევანის მსგავსად ამოდის მიწის ზედაპირიდან. არტეზიული ჭები განლაგებულია სპეციალურ ადგილებში, იქ სადაც შეზღუდული წყლოვანი ფენა მდებარეობს დაქანებული წყალგაუმტარი ფენის ქვეშ.

ჩვენ შეგვიძლია გავაანალიზოთ თუ რატომ არსებობს არტეზიული ჭები, თუ შევხედავთ ქალაქის წყლის მომარაგების კონფიგურაციას. წყლის მომარაგების კომპანიები ტუმბავენ წყალს მაღალ საცავში, რომელსაც გააჩნია დიდი ჰიდრავლიკური დაწნევა, მიმდებარე ტერიტორიიდან გამომდინარე. თუ წყალს წყალმომარაგების მაგისტრალით მივაერთებთ ვერტიკალური მილების ქსელთან, მაღალ ავზში წყლის დონის აწევით გამოწვეული წნევა, გამოიწვევს ქსელში წყლის დონის ამაღლებას სანამ იგი არ მიღწევს წარმოსახვით ზედაპირს, რომელსაც პოტენციომეტრული ზედაპირი ეწოდება და განლაგებულია მიწის ზემოთ. აღნიშნული წნევის საშუალებით წყალი მოძრაობს წყალსადენებში ტუმბოების გარეშე. არტეზიულ სისტემაში წყალი შედის დამრეც, ჩაკეტილ წყლოვან ფენაში, რომელიც კვეთს სიმაღლის მაღალი ნიშნულის მქონე შევსების ზონის ბორცვების გრუნტს. შეკავებული წყალი ქვევით მიედინება მიმდებარე ვაკეზე, რომელიც მდებარეობს უფრო დაბლა. პოტენციომეტრიული ზედაპირი, სადამდეც უნდა ავიდეს წყლის დონე თუ ის არ არის შეზღუდული, მდებარეობს წყლოვანი ფენის ზემოთ. სინამდვილეში ის შეიძლება მდებარეობდეს ვაკეების ზედაპირზე. შეზღუდული წყლოვანი ფენის წნევამ შეიძლება აიყვანოს წყალი ჭაში. სადაც პოტენციომეტრიული ზედაპირი მდებარეობს გრუნტის ქვემოთ, ჭა არის გაუმდინარი არტეზიული ჭა, ხოლო სადაც ზედაპირი გრუნტის ზემოთ მდებარეობს, ჭა არის გამდინარე არტეზიული ჭა.

***წყაროები***

უამრავი ქალაქია გაშენებული წყაროების ირგვლივ იქ, სადაც მიწისქვეშა წყლები ბუნებრივად მოედინება ან ამოჩქეფს დედამიწის ზედაპირზე. წყაროებიდან ვიღებთ ახალ, სუფთა სასმელ წყალს და წყალს ირიგაციისათვის, გაბურღვის და ამოთხრის ხარჯების გარეშე. წყაროები წარმოიქმნება სხვადასხვა პირობებში:

* სადაც მიწის ზედაპირი კვეთს მიწისქვეშა წყლების დონეს გამოსასვლელის ზონაში: ასეთი წყაროები როგორც წესი წარმოიქმნება ხეობების ფსკერზე, სადაც მათ შეიძლება წყალი მიამატონ ტბებს ან წყაროებს
* იქ სადაც მდინარი მიწისქვეშა წყლები აწყდება ციცაბო, წყალგაუმტარ ბარიერს, და წნევა აგდებს მიწისქვეშა წყლებს ზემოთ ზედაპირზე ბარიერის გასწვრივ.
* იქ სადაც ზედა წყალი კვეთს გორაკის ზედაპირს.
* იქ სადაც ქვემოთ მიმდინარე გამოჟონილი წყალი წააწყდება შედარებით წყალგაუმტარ შრეს და მიემართება შრის ზედაპირის გასწვრივ დაღმართისაკენ.
* იქ სადაც ურთიერთდაკავშირებული ნაპრალების ქსელი მიმართავს მიწისქვეშა წყლებს გორაკის ზედაპირისკენ
* არტეზიული წყაროები წარმოიქმნება თუ მიწის ზედაპირი კვეთს ბუნებრივ ნაპრალს და ეხება ჩაკეტილ წყლოვან ფენას სადაც არის საკმარისი წნევა რომ ამოიტანოს წყალი ზედაპირზე.

წყაროებმა შეიძლება მოამარაგოს ისეთი რეგიონები, რომლებიც სხვაგვარად გამოუსადეგარი იქნებოდა. მაგალითად ოაზისები უდაბნოში შეიძლება გაჩნდეს წყაროს ირგვლივ. **ოაზისი** არის ნოტიო ადგილი, სადაც მცენარეებს შეუძლიათ ზრდა, სხვაგვარად ძალიან მშრალ ადგილას.

***ცხელი წყაროები და გეიზერები***

**ცხელი წყაროები.** ისეთი წყაროების ნახვა, საიდანაც ამოიფრქვევა 300C - 1040C ტემპერატურის მქონე წყალი, შეიძლება 2 გეოლოგიურ გარემოში. პირველი – ისინი ჩნდებიან იქ, სადაც ძალიან ღრმად არსებული მიწისქვეშა წყლები ცხელდება ცხელი დედაქანში სიღრმეზე და ამოედინება მიწის ზედაპირზე. ამოსვლისას წყალთან ერთად ამოდის სითბოც. ასეთი ცხელი წყლები წარმოიქმნება ისეთ ადგილებში, სადაც ნაპრალების ან ბზარების არსებობის გამო უზრუნველყოფილია მაღალი გამტარუნარიანობის მქონე არხები სიღრმული წყლებისათვის ან იქ, სადაც გამოსასვლელ ზონაში ამოხეთქილი წყალი იმეორებს იგივე ტრაექტორიას, რის მეშვეობითაც მან პირველად გაიარა ქერქის სიღრმეში. მეორე, ცხელი წყლები ჩნდება **გეოთერმულ რეგიონებში**, ადგილებში სადაც მაგმა და/ან ძალიან ცხელი ქანები დედამიწის ზედაპირთან ახლოსაა განლაგებული. ცხელ წყლებში მიწისქვეშა წყლები არის ადუღებული წყლისა და გახსნილი მინერალების ნარევი. ცხელი მიწისქვეშა წყლები შეიცავს უფრო მეტ გახსნილ მინერალებს, რადგანაც წყალი უკეთესი გამხსნელია როცა ცხელია.

ცხელი წყლის ამოფრქვევის შედეგად გეოთერმულ რეგიონებში იქმნება რიგი გამორჩეული გეოლოგიური პირობები. ადგილებში, სადაც ვულკანური ფერფლით და თიხით მდიდარ მიწებში ცხელი წყალი ამოდის, მიიღება ბლანტი თხევადი თიხის ნარევი, რომელიც ავსებს ღრმულებს მდუღარე ტალახით. თხევადი თიხიდან გამოსული ორთქლის ბურთულები იფრქვევა ირგვლივ ბლანტი წვეთების სახით. იქ სადაც გეოთერმული წყლები იღვრება ბუნებრივი წყაროებიდან და ცივდება, წყალში გამდნარი მინერალები ილექება, წარმოქმნიან ტრავერტინების და სხვა მინერალების ბორცვებს და ტერასებს. გეოთერმული წყლები შეიძლება შეგროვდეს მსუბუქად შეფერილ აუზებში. მათ ამ კაშკაშა მწვანე, ლურჯ, და ნარინჯისფერ ფერებს აძლევს თერმოფილიური ბაქტერია და არქაეა, რომლებიც იკვებებიან მიწისქვეშა წყლებში გახსნილი მინერალებით.

გეოთერმული წყლების ყველაზე საოცარ შედეგს წარმოადგენს **გეიზერი** (ისლანდიური სიტყვიდან *gush*), ორთქლისა და ცხელი წყლის შადრევანი, რომელიც დრო და დრო ამოხეთქავს მიწის ხვრელიდან. იმისათვის, რომ გავიაზროთ, რატომ ამოხეთქავს გეიზერი, პირველად უნდა წარმოვიდგინოთ მისი მიწისქვეშა წყალსატარი სისტემა. გეიზერების ქვეშ განლაგებულია არასიმეტრიული ნაპრალების ქსელი ძალიან ცხელ ქანში. მიწისქვეშა წყალი იძირება და ავსებს ბზარებს. მიმდებარე ცხელი ქანი ძალიან აცხელებს წყალს: ეს წევს ტემპერატურას ზედაპირზე დუღილის ტემპერატურაზე მაღლა. საბოლოოდ ეს ძალიან ცხელი წყალი ამოდის სადინარების საშუალებით მიწის ზედაპირზე. ამ წყლის ნაწილის ორთქლად გადაქცევის შედეგად მიღებული გაფართოვება იწვევს მიწის ზედაპირთან ახლო მდებარე სადინარებიდან წყლის ამოხეთქვას. როდესაც ხდება ამოხეთქვა, სადინარში წნევა უეცრად ეცემა ზემოდან დაწოლილი წყლის მასის გამო. უეცარი წნევის ვარდნა სიღრმეში იწვევს ძალიან ცხელი წყლის ორთქლად გადაქცევას და ეს ორთქლი სწრაფად ამოდის და სადინარიდან აგდებს მთელ წყალსა და ორთქლს გეიზერული ამოფრქვევის სახით. როდესაც სადინარი იცლება და ამოფრქვევა სრულდება, სადინარი ხელახლა ივსება წყლით, რომელიც ცხელდება და ხელახლა იწყებს ამოფრქვევის ციკლს.

***მიწისქვეშა წყლების გამოყენების პრობლემები***

უძველესი დროიდან მიწისქვეშა წყლებს ხალხი იყენებს სასმელ წყლად, ირიგაციისა და სამრეწველო მიზნებისთვის. მიუხედავად იმისა, რომ მიწისქვეშა წყლები შეადგენს პლანეტის სასმელი წყლის 95%, არსებული მიწისქვეშა წყლებით ვერ მარაგდება მნიშვნელოვანი ადგილები, რაც იწვევს უკმარისობას. დღეისთვის, პრობლემა გაამწვავა არსებული მიწისქვეშა წყლების დაბინძურებამ. ასთი დაბინძურება გამოიწვია ტოქსიკური ნარჩენების და სხვა დამაბინძურებელი ნივთიერებების მიწისქვეშა წყლების დონეში შერევამ, რასაც შეიძლება ვერ ვამჩნევდეთ ჩვენ, მაგრამ ეს გამანადგურებელი იყოს მომავალი თაობებისათვის წყლით მომარაგებასთან დაკავშირებით.

***ადამიანის მიერ გამოწვეული მიწისქვეშა წყლების დაბინძურება***

იმ ბუნებრივ ქიმიურ ელემენტებთან ერთად, რასაც მიწისქვეშა წყლები იღებენ იმ ქანებიდან, რომელთა შორისაც მიედინებიან, ადამიანის საქმიანობამ დაამატა კიდევ დიდი რაოდენობის საზიანო ნივთიერებები (პესტიციდები, ბენზინი და ნავთობი, რადიოაქტიური ნარჩენები, ეგზოტიკური ორგანული ქიმიკატები, ბაქტერია და ვირუსები). ასეთი **მიწისქვეშა წყლების დაბინძურება** შეიძლება გამოწვეული იყოს დაზიანებული სეპტკიური სისტემებით და ნაგავსაყრელებით, ქიმიკატების შესანახი დაზიანებული ავზებით და ა.შ. ზოგადად, დაბინძურება ვრცელდება მისი წყაროდან, და წარმოქმნის მიწისქვეშა წყლებთან შერეული, ან მასში გახსნილი დამაბინძურებელი ნთიერებების დიფუზურ ღრუბელს. გეოლოგები ამ ღრუბელს უწოდებენ დაბინძურების შლეიფს. დაბინძურების კონცენტრაცია მცირდება შლეიფის კიდეებისკენ.

დაბინძურების თავიდან აცილების საუკეთესო გზა პირველ რიგში არის ნივთიერებების მიწისქვეშა წყლებთან შერევის თავიდან აცილება. ეს შეიძლება მოხერხდეს წყალგაუმტარ ძირითად ქანზე პოტენციური დაბინძურების წყაროს პოვნით, რათა ის იზოლირებული იქნეს წყოვანი ფენისგან. თუ მსგავსი ადგილი არ არის ხელმისაწვდომი, შენახვის ადგილი უნდა იქნეს თიხის სქელი ფენით ამოლესილი, რადგან თიხა არამარტო თამაშობს წყლის შემაკავებელის როლს, არამედ ითვისებს დამაბინძურებელ ნივთიერებებს. ამ მიზეზით, გარემოს დაცვის სპეციალისტები ხშირად ათავსებენ ნაგავსაყრელებს დატკეპნილი თიხის ზედაპირის თავზე ან ათავსებენ ნარჩენებს გამძლე, დახურულ საცავებში. სამთავრობო ორგანიზაციებმა შეისწავლეს სხვადასხვა გზები ამ საცავების უსაფრთხოდ შენახვისათვის. ერთი გზა მოიცავს მათ დაგროვებას მარილიან თაღში გაჭრილ გვირაბებში, რადგან მარილი არის გაუმტარი. სხვა გზით ნარჩენების რეზერვუარები შეიძლება შეინახოს გვირაბებში წყლის დონის ზემოთ.

საბედნიეროდ ზოგიერთ შემთხვევაში ნატურალურმა პროცესებმა შეიძლება გაწმინდოს დაბინძურებული მიწისქვეშა წყლები. ქიმიკატები შეიძლება ათვისებული იქნეს თიხით, ჟანგბადმა შეიძლება დაჟანგოს ქიმიკატები წყალში, ხოლო ბაქტერიამ წყალში შეიძლება გადაამუშაოს ქიმიკატები და აქედან გამომდინარე გადააქციოს ისინი უვნებელ შენაერთებად. იქ, სადაც დამაბინძურებელი ნივთიერებები აღწევენ წყლოვან ფენაში, გარემოს დაცვის სპეციალისტები ბურღავენ საცდელ ჭებს, რათა დაადგინონ თუ რა მიმართულებით და რამდენად სწრაფად მოძრაობს დაბინძურების შლეიფი. როგორც კი დაადგენენ დინების მიმართულებას, მათ შეუძლიათ დახურონ ჭები, რათა თავიდან აიცილონ დაბინძურებული წყლის გამოყენება. სპეციალისტები ასევე ცდილობენ გაწმინდონ მიწისქვეშა წყლები ამოსატუმბი ჭაბურღილების გაბურღვით, რათა მიწიდან ამოიღონ დაბინძურებული წყალი. თუ დაბინძურებული წყლის მოცულობა არ იზრდება სწრაფად, სპეციალისტები ბურღავენ დაწნევის ჭაბურღილებს, რათა ჩატუმბონ სუფთა წყალი ან წყარო დაბინძურების შლეიფის ქვეშ მიწაში. შეშვებული სითხე მიმართავს დაბინძურებულ წყალს ამოსატუმბი ჭაბურღილებისკენ. ცოტა ხნის წინ გარემოს დაცვის სპეციალისტებმა დაიწყეს ქიმიური და ბიოლოგიური გაწმენდის მეთოდების კვლევა. მაგალითად, ჟანგბადისა და საკვები ნივთიერებების შეშვებამ დაბინძურებულ წყლოვან ფენაში შეიძლება ხელი შეუწყოს ბაქტერიების გამრავლებას, რომლებიც შლიან დამაბინძურებელი ნივთიერებების მოლეკულებს. ასევე, რკინის ნაქლიბები ჩამარხეს მდინარი მიწისქვეშა წყლების ტრასაში, რათა ისინი რეაქციაში შესულიყო და ამოეღო დამაბინძურებელი ნივთიერებები. საჭიროებას არ წარმოადგენს იმის ახსნა, რომ გაწმენდის მეთოდები არ არის იაფი და მხოლოდ ნაწილობრივაა ეფექტური.

***მზარდი წყლის დონის არასასურველი ეფექტები***

ჩვენ განვიხილეთ კლებადი წყლის დონის უარყოფითი შედეგები, მაგრამ რა ხდება როდესაც წყლის დონე იმატებს? არის თუ არ ეს კარგი? ზოგჯერ, მაგრამ არა ყოველთვის. თუ წყლის დონე აიწევს სახლის სარდაფის იატაკის ზემოთ, წყალი გაჟონავს საძირკველში და დატბორავს სარდაფს. კატასტროფული შედეგი მოყვება, როდესაც მზარდი წყლის დონე ასუსტებს მთის ფერდობს. წყლის მატება ფოროვან სივრცეში ატივტივებს ზემოდან დამწოლ ქანს ან ნაყარს. აქედან გამომდინარე ასუსტებს ფერდობის სიმყარეს და ქმნის მისი ჩამოშლის ალბათობას. ასე რომ წყლის დონის ამაღლებამ შეიძლება გამოიწვიოს მეწყერები და მიწის ჩამოშლა.

***გამოქვაბულები და კარსტები: სპელეოლოგების სამოთხე***

***მღვიმეების დაშლა და განვითარება***

დიდი გამოქვაბულების ქსელი ძირითადად შედგება კირქვის დედა ქანებისაგან, მიწისქვეშა წყლებით კირქვის დაშლის შედეგად. დაბალი მჟავიანობის მქონე მიწისქვეშა წყალი რეაქციაში შედის კალციტთან და წარმოქმნის HCO3 -- და Ca-- იონებს, რომლებიც ადვილად იხსნება. აღსანიშნავია, რომ მიწისქვეშა წყლები იძენს მჟავიანობას, რადგან წყალი, რომელიც საბოლოოდ იქცევა მიწისქვეშა წყლად, ითვისებს ნახშირორჟანგს (CO2) ნაწილობრივ ატმოსფეროდან, როდესაც ის მოდის წვიმის სახით, და უფრო მეტად ორგანული ნივთიერებებით მდიდარი ნიადაგიდან, როცა იგი ჩაიჟონება ქვემოთ მიწისქვეშა წყლების დონისკენ. როდესაც იგი შთანთქავს CO2–ს, წყალი გადაიქცევა ნახშირმჟავად.

გეოლოგები დაობდნენ, თუ რა სიღრმეზე წარმოიქმნება კირქვის მღვიმეები მიწისქვეშ. აშკარაა, რომ მჟავე წვიმის წყალი შლის კირქვას მიწის ზედაპირთან ახლოს, რაზედაც მიუთითებს ფართოდ გავრცელებული წერტილოვანი კოროზია კირქვის დედა ქანების ზედაპირებზე და ნაკერების გასწვრივ. ზოგიერთი მღვიმე შეიძლება წარმოიქმნას მიწისქვეშა წყლების დონის ქვემოთაც. თუმცა, როგორც ჩანს, უმეტეს შემთხვევაში დაშლა ხდება იმ კირქვებში, რომელიც მდებარეობს მიწისქვეშა წყლების დონის ქვემოთ, რადგანაც ამ მონაკვეთში წყლის მჟავიანობა რჩება საკმაოდ მაღალი, მიწისქვეშა წყლებისა და ახლად მოსული წვიმის წყლის ნარევი არ არის კარგად გაჯერებული (რაც ნიშნავს რომ მას შეუძლია დაშალოს მეტი იონები) და მიწისქვეშა წყლის დინება უფრო სწრაფია. ასოციაცია მღვიმეების წარმოშობასა და წყლის დონეს შორის გვეხმარება ავხსნათ თუ რატომ მდებარეობს მღვიმეების სისტემა ერთ და იგივე ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე.

***კარსტის რელიეფის ჩამოყალიბება***

რელიეფს, რომელშიც ზედაპირის მახასიათებლები ასახავენ მის ქვემოთ არსებული დედაქანის დაშლას, უწოდებენ **კარსტის რელიეფს**. კარსტის რელიეფი იქმნება საფეხურებრივად:

* *კირქვაში მიწისქვეშა წყლების დონის წარმოქმნა:* კარსტის რელიეფის ისტორია სქელი კირქვის ინტერვალის წარმოქმნის შემდეგ იწყება. თუ შესაბამისი ზღვის დონე დაეცემა, მიწისქვეშა წყლების დონე შეიძლება ჩამოყალიბდეს კირქვაში მიწის ზედაპირის ქვემოთ. თუმცა, თუ კირქვა ღრმად არის ჩამარხული, ის უნდა აიწიოს, სანამ იგი შეძლებს შეიცავდეს მიწისქვეშა წყლების დონეს;
* *მღვიმეების ქსელის წარმოქმნა:* მას შემდეგ რაც ჩამოყალიბდევა მიწისქვეშა წყლების დონე, დაშლა იწყება და ვითარდება მღვიმეების ქსელი.
* *წყლის დონის დაცემა:* თუ წყლის დონე მოგვიანებით დაიწევს ნალექების მოცულობის შემცირების ან ახლომდებარე მდინარეების გადაკეტვის გამო და გამოიწვევს რეგიონის გამოშრობას, ახლადჩამოყალიბებული მღვიმეებიც დაშრება. ქვემოთ ჩაჟონილი მიწისქვეშა წყალი ამოდის მღვიმეების სახურავიდან; ილექება სტალაქტიტები და სტალაგმიტები.
* *სახურავის ჩამოშლა:* თუ ქვები ცვივა მღვიმის ჭერიდან დიდი ხნის განმავლობაში, ის დროთა განმავლობაში ჩამოიშლება. ასეთი ჩამოშალა ქმნის ხვრელებს და ღრმულებს, რომლის შედეგადაც რჩება კირქვის გორაკები, ქედები და ბუნებრივ ხიდებს.

**თავი 16**

**უდაბნოები**

***შესავალი***

ფორმალური განმარტებით უდაბნო წარმოადგენს რეგიონს, რომლიც იმდენად მშრალია, რომ იგი არ შეიცავს არანაირ მუდმივ ნაკადებს, გარდა მდინარეებისა, რომლებიც უზრუნველყოფენ წყალს ზომიერი კლიმატის მქონე რეგიონებიდან და ხელს უწყობენ მისი ზედაპირის არაუმეტეს 15%–ზე მცენარეული საფარის ზრდას. ზოგადად უდაბნოს პირობები ყალიბდება ადგილებში, სადაც ნალექების მოცულობა წელიწადში საშუალოდ შეადგენს 25სმ–ზე ნაკლებს, თუმცა მხოლოდ ნალექები არ განსაზღვრავს რეგიონის სიმშრალეს. სიმშრალე ასევე დამოკიდებულია აორთქლების სიჩქარეზე და იმაზე, წლის განმავლობაში წვიმა მოდის იშვიათად თუ უფრო ხშირად. თუ წვიმა რეგიონში ასველებს მიწას ცალკეული კოკისპირული წვიმების განმავლობაში მხოლოდ რამოდენიმე წელიწადში ერთხელ, რეგიონი ხდება უდაბნო რადგან, გვალვის პერიოდები გრძელდება იმდენ ხანს, რომ შეუძლებელია მცენარეებისა და მუდმივი ნაკადების შენარჩუნება. მსგავსადვე, თუ მაღალი ტემპერატურის და მშრალი ჰაერის გამო მიწიდან ტენის აორთქლების მაჩვენებელი აჭარბებს წვიმით მიწის დასველების მაჩვენებელს, მაშინ რეგიონი ხდება უდაბნო იმ შემთხვევაშიც კი, თუ იქ ნალექების მოცულობა შეადგენს 25სმ–ზე მეტს.

მიაქციეთ ყურადღება, რომ უდაბნოს განმარტება დამოკიდებულია რეგიონის სიმშრალეზე და არა მის ტემპერატურაზე. გეოლოგები განასხვავებენ ცივ უდაბნოებს, სადაც ტემპერატურა წლის განმავლობაში ზოგადად რჩება 200C-ზე დაბლა და ცხელ უდაბნოებს, სადაც ზაფხულში, დღისით ტემპერატურა აჭარბებს 350C-ს. ცივი უდაბნოები მდებარეობს მაღალ ადგილებში, სადაც მზის სხივები აღწევს დედამიწაზე ირიბად და შესაბამისად ვერ აწვდის მეტ ენერგიას დიდ სიმაღლეებზე, სადაც ჰაერი ძალიან გაუხშოვებულია იმისთვის, რომ დააკაოს მეტი სითბო, ან ცივი ოკეანეების სიახლოვეს სადაც ცივი წყალი შთანთქავს ჰაერიდან სითბოს. ცხელი უდაბნოები ყალიბდება დაბლობებში, სადაც მზის სხივები აღწევს მაღალი კუთხით, სადაც მკვრივ ჰაერს შეუძლია სითბოს შენარჩუნება და ასევე ადგილებში, რომლებიც დაშორებულია ცივი ოკეანეების დინებებიდან. დედამიწაზე ყველა მაღალი ტემპერატურა დაბალი სიმაღლის უდაბნოებში დაფიქსირებულია ლიბიაში – 580C (1360F) და კალიფორნიაში, სიკვდილის ველზე (*Death Valley*) 570C (1330F).

სიცხე ხელს უწყობს გვალვას აორთქლების სიჩქარის გაზრდით. სინამდვილეში, აორთქლების სიჩქარე ცხელ უდაბნოებში შესაძლებელია იყოს ისეთი მაღალი, რომ წვიმების დროსაც მიწა რჩება მშრალი, რადგან წვიმის წვეთები ორთქლდება მიწაზე დაცემამდე. თუმცა, ცხელ უდაბნოებს შორის ყველაზე ცხელ უდაბნოშიც კი ღამით ცივა: მშრალი ჰაერის, ღრუბლების საფარის და მცენარეების არარსებობის გამო უდაბნოები ღამით მათივე სითბოს ასხივებს უკან ატმოსფეროში. შედეგად, ჰაერის ტემპერატურა უდაბნოში დედამიწის ზედაპირზე შესაძლებელია ერთ დღეში შეიცვალოს 800C–მდე. დედამიწის ზედაპირი ცხელ უდაბნოებში შთანთქავს იმდენ სითბოს, რომ ძალიან ცხელი ჰაერის ფენა წარმოიქმნება მიწის ზემო. ეს ფენა გარდატეხს მზის სხივებს და წარმოქმნის მირაჟს.

უდაბნოს მიწის ზედაპირი შეიცავს რომელიმე შემდეგს: გაშიშვლებული ქვეშმდებარე ქანები, დაგროვილი ქანის ნამტვრევები, შედარებით გამოუფიტავი ნალექები, დანალექი მარილი ან გამოფიტული ქვიშა. მთლიანობაში, უდაბნოს ლანდშაფტი უფრო უხეშია ზომიერი ან ტროპიკული რეგიონების ლანდშფტთან შედარებით.

***უდაბნოს ტიპები***

დედამიწაზე თითოეული უდაბნო ხასიათდება მისი ლანდშაფტისა და მაცენარეული საფარის უნიკალური თვისებებით, რომელიც გამოარჩევს მას სხვებისგან. გეოლოგები უდაბნოებს ყოფენ ხუთ განსხვავებულ კლასად იმ გარემოს მიხედვით, სადაც ყალიბდება უდაბნო:

* *სუბტროპიკული უდაბნო:* სუბტროპიკული უდაბნოები (მაგ. საჰარა, არაბეთის უდაბნო, კალაჰარი და ავსტრალიის უდაბნო) ჩამოყალიბდა ატმოსფეროში ჰაერის გარკვეული ტიპის ცირკულაციის გამო. ეკვატორზე ჰაერი ხდება თბილი და ტენიანი, მზე ინტენსიურია და წყალი სწრაფად ორთქლდება ოკეანიდან. ცხელი, ტენიანი ჰაერი ადის ზემოთ, ვრცელდება, შემდეგ გრილდება და კარგავს გარკვეულ ტენს. ხდება წყლის კონდენსაცია და მოდის წვიმის სახით, რომელიც კვებავს ეკვატორულ წვიმიან ტყეებს. ახლა უკვე მშრალი ჰაერი მაღლა ტროპოსფეროში ვრცელდება გვერდულად ჩრდილოეთიდან სამხრეთით. როდესაც ჰაერი აღწევს 200-300 განედს – სუბტროპიკებად წოდებულ რეგიონს, იგი ხდება ცივი და საკმაოდ მკვრივი, რომ დაეშვას ქვემოთ. იმის გამო, რომ ჰაერი მშრალია, არ წარმოიქმნება ღრუბლები და მზის ინტენსიური გამოსხივება აღწევს დედამიწის ზედაპირამდე.
* *წვიმის ჩრდილის ოლქში ფორმირებული* *უდაბნოები.* როდესაც ჰაერი ქრის ზღვის თავზე სანაპიროზე მთებისკენ, იგი იწევს ზემოთ, ფართოვდება და ცივდება. მასში არსებული წყალი კონდენსირდება და მოდის წვიმად მთების ზღვისპირა ქედებზე და კვებავს სანაპირო წვიმის ტყეებს. როდესაც ჰაერი საბოლოოდ აღწევს მთების შიდა მხარეს იგი კარგავს მთელ ტენს და აღარ შეუძლია წვიმის წარმოქმნა. შედეგად, ფორმირდება წვიმის ჩრდილი და მიწა წვიმის ჩრდილის ქვეშ გადაიქცევა უდაბნოდ. წვიმის ჩრდილის უდაბნოები გვხვდება ვაშინგტონში, კასკადის მთების აღმოსავლეთით.
* *ოკეანის ცივი დინებების გასწვრივ ფორმირებული სანაპირო უდაბნოები:* ოკეანის ცივი წყალი შთანთქავს სითბოს მის ზემოთ არსებული ჰაერიდან და აგრილებს მას და შესაბამისად ამცირებს ჰაერის მიერ ტენის დაჭერის შესაძლებლობას. მაგალითად ჰუმბოლტის ცივი დინება, რომელიც მიედინება ანტარქტიკის ჩრდილოეთიდან სამხრეთ ამერიკის დასავლეთ სანაპიროსკენ. აგრილებს ჰაერს, რომელიც მოძრაობს აღმოსავლეთით სანაპიროს თავზე. ამიტომ, ჰაერი იმდენად მშრალია, როდესაც იგი აღწევს სანაპიროს, რომ წვიმა იშვიათად მოდის ჩილესა და პერუს სანაპირო რეგიონებში. შედეგად, ამ რეგიონში გავრცელებულია უდაბნოს ლანდშაფტი, რომელიც მოიცავს მსოფლიოში ერთ–ერთ ყველაზე მშრალ უდაბნოს ატაკამას.
* *კონტინენტებს შიგნით ფორმირებული უდაბნოები:* როდესაც ჰაერის მასები მოძრაობს კონტინენტის გასწვრივ, ისინი კარგავენ ტენს წვიმის სახით, სანაპირო მთის ქედების არარსებობის შემთხვევაშიც კი. შესაბამისად, როდესაც ჰაერის მასა აღწევს განსაკუთრებით ისეთი დიდი კონტინენტის შიგნით, როგორიცაა აზია, იგი ხდება საკმაოდ მშრალი და მის ქვემოთ მიწა კი არიდული. დღეისთვის ასეთი ტიპის უდაბნოს მაგალითს წარმოადგენს გობის უდაბნო ცენტრალურ აზიაში, რომელიც მდებარეობს უახლოესი ოკეანიდან 2,000კმ–ში.
* *პოლარული რეგიონების უდაბნოები:* დედამიწის პოლარულ რეგიონებში იმდენად მცირე ნალექი მოდის, რომ ისინი ფაქტობრივად არიდულია. პოლარული რეგიონები მშრალია ნაწილობრივ იგივე მიზეზით, რატომაცაა სუბტროპიკები მშრალი და ნაწილობრივ კი იმ მიზეზით, რაც მოქმედებს ცივი დინებების გასწვრივ სანაპირო ზონების შემთხვევაში.

***გამოფიტვა და ეროზიული პროცესები უდაბნოებში***

ხეების ფოთლები რომ არ იჭერდნენ წვიმის წვეთებს და ასუსტებდნენ ქარს, ფესვები რომ არ აკავებდნენ რეგოლიტს ადგილზე, წვიმას და ქარს შეუძლიათ გამოიწვიონ უდაბნოების მიწის ზედაპირის ეროზია. შედეგად მივიღებთ გაშიშვლებულ ქანობებს და ქვის ნატეხებით ან მოდრეიფე ქვიშით დაფარულ დაბლობებს.

უდაბნოებში, ზომიერი კლიმატის პირობებში ფიზიკური გამოფიტვა თავს იჩენს ძირითადად მაშინ, როდესაც ნაპრალები ნაწილებად ყოფს ქანს. ნაპრალებიანი ბლოკები საბოლოო ჯამში გამოათავისუფლებს ქვეშმდებარე ქანებს და არღვევს ქანობებს, რომლებიც იშლება მცირე ზომის ნაწილებად დაცემისას. ზომიერი კლიმატის პირობებში ფორმირდება ნიადაგის სქელი ფენა და იგი ფარავს ქვეშმდებარე ქანებს, ხოლო რაც შეეხება უდაბნოებს, ქვეშმდებარე ქანები ძირითადად რჩება შიშველი და წარმოქმნის უხეშ, კლდოვან ესკარპებს.

ქიმიური გამოფიტვა უფრო ნელა მიმდინარეობს უდაბნოებში, ვიდრე ზომიერი ან ტროპიკული კლიმატის ზონებში, რადგან უდაბნოებში ნაკლებია წყალი რეაქციაში შესასვლელად.

***ქანების დალექვის პირობები უდაბნოში***

დროთა განმავლობაში, ქანის დანაპრალებული ბლოკები შლის ქანის ფენებს და ჩამოიშლება გორაკების ფერდობებზე. გრავიტაციის ზემოქმედების შედეგად წარმოქმნილი ნაშალი ჩამოდის ქვემოთ და გროვდება დელუვიონის სახით.

***ალუვიური მარაოები***

ძლიერ წყალმოვარდნებს შეუძლიათ გადაიტანონ ნალექები დინების მიმართულებით დამრეცკედლებიან კანიონში. როდესაც აბობოქრებული წყალი გადმოიღვრება სწორ ზედაპირზე, კანიონის ყელთან, იგი ვრცელდება უფრო დიდ ფართობზე და წყნარდება. შედეგად, წყალში არსებული ნალექები ილექება. ზოგიერთ შემთხვევაში, ნატანების ნაკადები ასევე წარმოიქმნება კანიონიდან და ვრცელდება. ნალექების ლინზები წარმოქმნის არხს, რომელიც შემდეგ მარაოს ფორმით იყოფა პატარა არხებად.

***უდაბნოს ლანდშაფტი***

ხშრად უდაბნოს აღწერენ, როგორც დიუნებად თავმოყრილი ქვიშის უკიდეგანო ზღვას, რომლებიც ფარავენ პალმებით მოფენილ ოაზისებს. რეალურად, ქვიშის უკიდეგანო ზღვები წარმოადგენს უდაბნოს ლანდშაფტის ერთ სახეობას. ზოგიერთი უდაბნო მოიცავს უზარმაზარი ფართობის კლდოვან ვაკეს, ზოგიერთი მათგანი მოფენილია კაქტუსებითა და უდაბნოს სხვა მცენარეებით, ხოლო სხვა კი რთული კონსტრუქციის კლდოვანი ფორმაციებით, რომლებიც წააგავს შუა საუკუნეების ციხე–სიმაგრეებს.

***ფლატეები და მაგიდა მთები***

მთიანი უდაბნოს რეგიონებში, ნიადაგის დეფიციტის გამო კლდოვანი ქედები და ფლატეები შიშვლდება. ფლატეების ეროზია თავს იჩენს მაშინ, როდესაც ქანები იყოფა და ამ დროს ფლატეს ჩამონაშალი იხევს უკან, მაგრამ ინარჩუნებს თითქმის იგივე ფორმას. პროცესს ზოგადად უწოდებენ ფლატეების უკან დახევას. ფლატეების სიმაღლე დამოკიდებულია ქანის სიქეზე: ადგილებში, სადაც განსაკუთრებით სქელი, გამძლე ფენა შიშვლდება, ყალიბდება მაღალი ფლატეები. თხლად დაფენილი ფიქალების ფენაში ნაკერები არის მცირე ზომის, მათ შორის მანძილიც მცირეა და ხდება თიხოვანი ფიქლების ფენის ეროზია და ყალიბდება მრავალი თხელი საფეხურისაგან შემდგარი ქანობი. გორაკის ყველა მხრიდან ფლატეს ეტაპობრივი გაშიშვლებისას, საბოლოოდ გორაკიდან რჩება მხოლოდ ალუვიუმით შევსებული აუზებით შემოფარგლული კლდის კუნძული, რომელსაც უწოდებენ ინზელბერგს ან „მოწმეს“. ქანის ტიპიდან ან ქანში მიმდინარე სტრატიფიკაციის ორიენტაციიდან და ეროზიის სიჩქარიდან გამომდინარე, ინზელბერგები შესაძლებელია იყოს მახვილწვერიანი, პლატოს ან მომრგვალებული ფორმის.

***კლდოვანი ვაკეები და ფრონტონები***

უდაბნოს გორაკებიდან და ქედებიდან ჩამოშლილი მსხვილი დანალექი ქანები იყრება დაბლობებში და ქმნის მსუბუქად დაქანებულ ალუვიურ მარაოებს. ამგვარი ხრეშიანი გროვების ზედაპირები მოფენილია კენჭებით, რიყის ქვებით და ლოდებით და იკვეთება დამშრალი კალაპოტებით. ასეთი ქვიანი ვაკეები გვხვდება უდაბნოს ქვაფენილებში.

მეცხრამეტე საუკუნეში, როდესაც მოგზაურებმა დაიწყეს ამერიკის სამხრეთ–დასავლეთ შტატების უდაბნოებში მიმოსვლა, მათ შეამჩნიეს, რომ ბევრა ადგილას მათი ურიკების თვლები ხვდებოდა სწორ ან მსუბუქად დახრილი ფუძექანების ზედაპირებზე. ეს ქანები საფეხურების მსგავსად ვრცელდებოდა მთის ქედის ციცაბო ფერდოებიდან ერთი მხრიდან ალუვიონით სავსე ველებამდე მეორე მხარეს. გეოლოგები ასეთ ზედაპირებს ახლა უწოდებენ ფრონტონებს.

***ქვიშის ზღვები: დიუნების ბუნება***

**ქვიშის დიუნები** წარმოადგენს ქვიშის გროვას, რომელიც ყალიბდება ქარისგან, როდესაც ქვიშა გროვდება წინაღობის, მაგალითად, ქვის ან ბუჩქნარის ქარპირა მხარეს. შემდეგ, ნელ–ნელა, ქვიშა გროვდება ქარის მიმართულების მხარეს. ჩამოყალიბების შემდეგ დიუნა თვითონ ახდენს ზემოქმედებას ქარის მიმართულებაზე და ქვიშა გროვდება დიუნის ქარზურგა მხარეს და საბოლოო ჩამში ქვიშა ჩამოცურდება დიუნის ქარზურგა მხარის ზედაპირზე.

ადგილებში, სადაც ქვიშა დიდი ოდენობით გროვდება, ქვიშის ზღვები ფარავს ლანდშაფტს. ქარის მიმართულებისა და ქვიშის მოცულობის მიხედვით დიუნები იღებს სხვადასხვა ფორმას. იქ სადაც შედარებით ცოტა ქვიშაა და ქარიც მუდმივად უბერავს ერთი მიმართულებით, ყალიბდება ულამაზესი, ნახევარმთვარისებური ფორმის დიუნები, რომელთაც უწოდებენ ბარხანებს. თუ ქარი ხშირად იცვლის მიმართულებას, სხვადასხვა მხარეს მიმართული „ნახევარმთვარეები“ გადაეფარება ერთმანეთს და წარმოქმნის მუდმივად ცვალებად ვარსკვლავისებურ დიუნებს. სადაც საკმარისი ქვიშა გროვდება და მთლიანად ფარავს მიწის ზედაპირს და როდესაც ზომიერად ქრის ქარი, ქვიშა გროვდება ტალღისებურად და ამას ეწოდება განივი დიუნები. განივი დიუნების თხემები ქარის მიმართულების პერპენდიკულარულადაა განლლაგებული. და ბოლოს, თუ ქვიშა დიდი ოდენობითაა და ამასთან ძლიერი ქარი ქრის სტაბილურად, ქვიშა გროვდება გრძივ დიუნებად, რომელთა ღერძი ქარის მიმართულების პარალელურად მდებარეობს.

***უდაბნოს პრობლემები***

სულ უფრო და უფრო მეტი ადამიანი გადადის საცხოვრებლად უდაბნოს რეგიონებში. რეალურად, ამერიკის სამხრეთ–დასავლეთის შტატებში უდაბნოებში მოსახლეობის რაოდენობა იზრდება უფრო სწრაფად, ვიდრე ქვეყნის ნებისმიერ სხვა ნაწილში და გამომდინარე იქიდან, რომ უდაბნოს ქალაქები იზრდება, მალე თავს იჩენს ეკოლოგიური პრობლემები. მზარდმა ქალაქებმა საკუთარი საჭიროებების დასაკმაყოფილებლად წყალი უნდა მიიღონ ან მიწიდან ან არხებით გამოიყვანონ მდინარეებიდან ან რეზერვუარებიდან. ამიტომ უდაბნოებში მიწისქვეშა წყლების დონე ეცემა, მდინარეები შრება და მიწის ზედაპირი ნაპრალდება. ადამიანებს ასევე სხვა ქვეყნებიდან შემოაქვთ ეგზოტიკური მცენარეები და ცხოველები, რაც ხელყოფს ადგილობრივ ლანდშაფტს და არღვევს ეკოლოგიურ ბალანსს.

თანამედროვე ეპოქაში დაჩქარდა გაუდაბნოება: არა–უდაბნო ადგილების გარდაქმნა უდაბნოებად. გაუდაბნოების შედეგებმა გაანადგურა საჰელი – სემიარიდული მიწის სარტყელი, რომელიც გარს აკრავს საჰარის სამხრეთ საზღვრებს. წარსულში საჰელში იყო საკმარისი ოდენობის მცენარეულობა, მცირე რაოდენობის მომთაბარე მოსახლეობის და ცხოველების უზრუნველსაყოფად, მაგრამ მეოცე საუკუნის მეორე ნახევარში საჰელში თავი მოიყარეს დიდი რაოდენობით მოგრანტებმა ცენტრალური აფრიკიდან. იმიგრანტებმა ხელი მიჰყვეს ფერმერობას, მოაშენეს დიდი რაოდენობით მსხვილფეხა საქონელი და თხები. მიწის დამუშავებამ და საძოვრების გადამეტებულად გამოყენებამ გააქრო ნიადაგის დამცავი ბალახი და გამოიწვია ნიადაგის გამოშრობა. ამასთან იმის გამო, რომ საქონელმა დატკეპნა ნიადაგი იგი ვეღარ შთანთქავდა წყალს. 1960–იან და შემდეგ ხელმეორედ 1980–იან წლებში რეგიონს თავს დაატყდა გვალვა, რომელმაც გამოიწვია კატასტროფა. ქარის ეროზიამ გაანადგურა ნიადაგის დარჩენილი ზედა ფენა. მცენარეების არარსებობის გამო ჰაერი გახდა უფრო მშრალი და საჰელის სემიარიდული საძოვრები გადაიქცა უდაბნოდ, რასაც შედეგად მოჰყვა მასობრივი შიმშილობა.

გაუდაბნოების შეჩერება შესაძლებელია, მაგრამ ეს საკმაოდ რთულია. მცენარეების გაშენებით და ირიგაციით შესაძლებელია უდაბნო გადაიქცეს სახნავ მიწებად, ხილის ბაღებად, ტყეებად ან მინდვრებად, მაგრამ მცენარეების მოსარწყავად წყალი უნდა მოვიდეს საიდანმე და ადამიანები წყალს იღებენ მდინარის არინებით ან მიწისქვეშა წყლების ამოქაჩვით – ქმედებებით, რაც თავის მხრივ ქმნის პრობლემებს. მდინარეების არინებით, მდინარეები ქვედა ბიეფში რეგიონებს ექმნებათ წყალმომარაგების პრობლემები, ხოლო მიწისქვეშა წყლების გადამეტებულად ამოქაჩვა ამცირებს მიწისქვეშა წყლების დონეს იმდენად, რომ წყლოვან ფენებში ფოროვანი სივრცე იშლება და მიწის ზედაპირი ჯდება. ამიტომ, ადამიანებმა უნდა გადახედონ მიწის გამოყენების პოლიტიკას სემიარიდულ მიწებთან დაკავშირებით, რათა თავიდან აიცილონ კატასტროფები.

კლიმატის გლობალურ ცვლილებებს შეუძლიათ გამოიწვიონ კლიმატური სარტყლების მნიშვნელოვანი გადაადგილება იმდენად, რომ სასოფლო–სამეურნეო რეგიონები გადაიქცეს უდაბნოებად. დაახლოებით 5,000 წლის წინ მიწები ეგვიპტეში ნილოსის ხეობასა და მესოპოტამიაში ტიგროს–ევფრატის ხეობას შორის ცნობილი იყო „ნაყოფიერი ნახევარმთვარის“ სახელით; აქ ადამიანებმა პირველად მიატოვეს თავიანთი მომთაბარე ცხოვრება და დაიწყეს სასოფლო–სამეურნეო საქმიანობა. უწინ ნაყოფიერი მიწა ახლა უკვე უდაბნოა, რომელიც საჭიროებს ინტენსიურ ირიგაციას რაიმე სასოფლო–სამეურნეო საქმიანობის განსახორციელებლად. ლანდშაფტის ცვლილება აისახება კლიმატის ცვლილებაზეც: დასავლეთის ცივილიზაცია წარმოიქმნა ბოლო გამყინვარების პერიოდამდე, გლობალური კლიმატის ყველაზე ცხელი და ტენიანი პერიოდის განმავლობაში. იმდენი მოცულობის წყალი იყო შუა აღმოსავლეთისა და ჩრდილოეთ აფრიკის ტერიტორიებზე, რომ ამჟამად საჰარას ტერიტორიაზე მოედინებოდა მდინარეები. სამწუხაროდ, თუ დღეისთვის არსებული კლიმატის ცვლილებები გაგრძელდება, ამჟამინდელი სასოფლო–სამეურნეო მიწების სარტყელი ერთ დღესაც გადაიქცევა ახალ საჰარად.

გაუდაბნოებას თან ახლავს კიდევ ერთი დამატებითი საშიში გვერდითი მოვლენა: ეს გახლავთ მტვრის ნაწილაკების მიერ ქიმიკატებისა და პათოგენების გლობალური მასშტაბით გავრცელება. რადგან გაუდაბნოებასთან ერთად ფართოვდება უდაბნოების ტერიტორიებიც, ქარის მიერ გადატანილი მტვერი ხდება სულ უფრო და უფრო დიდი პრობლემა. ბოლო წლებში, თანამგზავრებიდან მიღებულმა სურთებმა დაგვანახა, რომ უდაბნოებიდან ქარის მიერ გადატანილ მტვერს შეუძლია გადიაროს ოკეანეები და თავს დაატყდეს ოკეანის მეორე მხარეს არსებულ რეგიონებს. გეოლოგები შეშფოთებულნი არიან იმით, რომ მტვერს, რომელიც შეიცავს სოკოებს, ტოქსიკურ ქიმიურ ნივთიერებებს და მიკრობებს შეუძლია დააავადოს მარჯნები ან სხვაგვარად შეუქმნა პრობლემები მათ სასიცოცხლო პროცესებს და აქედან გამომდინარე, ქარის მიერ გადატანილ მტვერს შეუძლია ხელი შეუწყოს მარჯნის რიფების დაშლა–განადგურებას.

**თავი 17**

**მყინვარები**

***შესავალი***

გეოლოგიის ისტორიული წყაროებიდან ერთ-ერთ ყველაზე უჩვეულო მოვლენას ნათელი მოეფინა ადრეულ მეცხრამეტე საუკუნეში ჩრდილოეთ ევროპაში. როდესაც რეგიონის ფერმერები ამზადებდნენ მიწას საგაზაფხულო სამუშაოებისთვის, ზოგჯერ მათი გუთნები ტყდებოდა დიდ ლოდებზე, რომლებიც აქა–იქ იყო ჩამარხული მიწაში. ამ ლოდების დიდი ნაწილი არ შედგებოდა ადგილობრივი ფუძე ქანებისგან, არამედ წარმოშობილი იყო ასობით კილომეტრით დაშორებული გაშიშვლებული ქანებიდან. იმის გამო, რომ ლოდები, როგორც ჩანს გაჩნდა ამ ადგილებში შორიდან, მათ უწიდეს ერატული ლოდები (ლათინური სიტყვიდან, *errare*- მოხეტიალე).

მოხეტიალე ლოდების საიდუმლო დიდი ინტერესის საგანი გახდა ადრეული მეცხრამეტე საუკუნის გეოლოგებისათვის, რომელთაც გააცნობიერეს, რომ დაუხარისხებელი ნალექები (რომლებიც შეიცავდა განსხვავებული სიდიდის ნატეხებს) არ შეიძლება ყოფილიყო მდინარის ალუვიონი, რადგან მიმდინარე წყალი ნალექს ახარისხებს ზომის მიხედვით. 1837 წელს შვეიცარიელმა გეოლოგმა, ლუი აგასისიმ შემოიტანა რადიკალურად განსხვავებული ინტერპრეტაცია. იგი ხშირად ლაშქრავდა მყინვარებს (ნელა მდინარი ყინულის მასები, რომლებიც გადაურჩნენ ზაფხულში დადნობას) ალპებში, მის სახლთან ახლოს. მან აღმოაჩინა, რომ მყინვრის ყინულს შეეძლო გადაეტანა უზარმაზარი ლოდები, ასევე ქვიშა და ტალახი, რადგან ყინული მყარია და შეუძლია გაუძლოს ქვის მასას. აგასისიმ გააცნობიერა, რომ რადგან მოძრავი მყარი ყინული არ ახარისხებს დანალექს, მყინვარების დნობის შემდეგ რჩება დაუხარისხებელი ნალექები. საკუთარ დაკვირვებებზე დაყრდნობით მან ივარაუდა, რომ მისტიური ერატული ლოდები იყო ნალექები, დარჩენილი ყინულის ფარებიდან, დიდი მყინვარებიდან, რომელთაც ოდესღაც დაფარეს კონტინენტის უმეტესი ნაწილი, მაგრამ მას შემდეგ გაქრნენ. აგასისის აზრით, ევროპას ერთ დროს თავს დაატყდა გამყინვარება იმ დროს, როდესაც კლიმატი მნიშვნელოვნალად ცივი იყო და წარმოიქმნა მყინვარები. აგასისის რადიკალური მოსაზრება მწვავე კრიტიკის წინაშე აღმოჩნდა მომდევნო ორი ათწლეულის განმავლობაში. თუმცა გვიანი 1850-იანი წლებისათვის სკეპტიკოსების უმეტესმა ნაწილმა წარმოდგენა შეიცვალა და გეოლოგიურმა საზოგადოებამ დაასკვნა, რომ მოსაზრება, რომ ევროპამ ოდესღაც გაუძლო არქტიკის მსგავს კლიმატს, არის სწორი. მოგვიანებით აგასისიმ შეერთებულ შტატებში გადაინაცვლა და დოკუმენტურად დაადასტურა ჩრდილოეთ ამერიკის ლანდშაფტის უამრავი მყინვართან დაკავშირებული მახასიათებელი, რომელიც ადასტურებს, რომ გამყინვარების პერიოდმა გავლენა იქონია პლანეტის ვრცელ ტერიტორიაზე. რეალურად, მიუხედავად იმისა, რომ დღეისთვის მყინვარები ფარავს დედამიწის მხოლოდ 10%–ს, უკანასკნელი გამყინვარების პერიოდში კონტინენტების 30% იყო დაფარული ყინულის საფარით. ნიუ იორკი, მონრეალი და ევროპის ბევრი დიდი ქალაქი მდებარეობს ტერიტორიაზე, რომელიც ერთ დროს ასეული მეტრიდან რამდენიმე კილომეტრამდე ყინულის საფარს ქვეშ იყო მოქცეული.

ლუი აგასისის მეშვეობით მყინვარების და გამყინვარების პერიოდის საკითხი გახდა გეოლოგიური სფეროს კვლევის საგანი და აიძულა ადამიანები ეღიარებინათ, რომ დედამიწის ისტორიაში ხდება მნიშვნელოვანი კლმატური ცვლილებები.

***მყინვრების ბუნება***

***რა არის ყინული?***

ყინული შედგება მყარი წყლისაგან, რომელიც ფორმირდება მაშინ, როდესაც თხევადი წყალი ცივდება მისი გაყინვის წერტილის ქვემოთ მაჩვენებელზე. შესაძლებელია, რომ ცალკეული ყინულის კრისტალი, მისი ბუნებრივად წარმოშობის საფუძველზე ჩავთვალოთ მინერალად, არაორგანულ მყარ ნივთიერებად, რომელსაც გააჩნია განსაზღვრული ქიმიური შემადგენლობა (H2O) და ჩვეულებრივი კრისტალური სტრუქტურა. ყინულის კრისტალებს აქვთ ექვსკუთხა ფორმა და სწორედ ამიტომ ფორმირდება ფიფქი ექვსქიმიან ვარსკვლავად. ჩვენ შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ ახალი თოვლის ფენა, როგორც ნალექის ფენა და თოვლის ფენა, რომელიც დატკეპნილია ისე, რომ გრანულები ეკვრის ერთმანეთს, როგორც დანალექი ქანების ფენა. ჩვენ ასევე შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ აუზის ზედაპირზე არსებული ყინული, როგორც ვულკანოგენური ქანი, რადგან იგი ყალიბდება მაშინ, როდესაც გამდნარი ყინული (თხევადი წყალი) მყარდება. მყინვარის ყინული, ფაქტობრივად არის მეტამორფული ქანი. იგი ფორმირდება მაშინ, როდესაც უკვე არსებული ყინული ხელახლა განიცდის კლისტალიზაციას მყარ მდგომარეობაში, რაც ნიშნავს, რომ მყარ წყალში ხდება მოლეკულების ხელახალი დაჯგუფება ახალი კრისტალების შექმნის მიზნით. როგორც წესი, მყინვარის ყინულს აქვს მოლურჯო ფერი და შეიცავს ჰაერის ბუშტუკებს.

***როგორ ყალიბდება მყინვარი?***

მყინვარის ჩამოსაყლიბებლად უნდა არსებობდეს სამი პირობა. პირველი, ადგილობრივი კლიმატი უნდა იყოს საკმარისად ცივი, იმისათვის რომ ზამთრის თოვლი მთლიანად არ დადნეს ზაფხულის განმავლობაში. მეორე, იმისათვის, რომ დაგროვდეს, უნდა მოვიდეს ან უნდა მოსულიყო საკმარისი ოდენობით თოვლი; და მესამე, ზედაპირის ის ქანობი, სადაც თოვლი გროვდება უნდა იყოს საკმარისად ნაკლებად დამრეცი, რათა თოვლი არ ჩამოცურდეს ზვავებად და საკმარისად დაცული იმისათვის, რომ ქარმა არ წაიღოს. მყინვარები ყალიბდება პოლარულ რეგიონებში, რადგან მიუხედავად იმისა, რომ აქ დღეისთვის თოვლი მოდის შედარებით მცირე ოდენობით, ტემპერატურა რჩება იმდენად დაბალი, რომ ყინულისა და თოვლის უმეტესი ნაწილი ნარჩუნდება მთელი წლის განმავლობაში. მყინვარები ყალიბდება მთებში, ტროპიკულ განედებშიც კი, რადგან ტემპერატურა იკლებს სიმღლესთან ერთად ისე, რომ მაღალ სიმაღლეებზე საშუალო ტემპერატურა რჩება საკმარისად დაბალი მთელი წლის განმავლობაში თოვლისა და ყინულის შესანარჩუნებლად. რადგან რეგიონის ტემპერატურა დამოკიდებულია განედებზე, კონკრეტული სიმაღლე, სადაც ხდება მყინვარების ჩამოყალიბება ასევე დამოკიდებულია განედზე. დღეისთვის დედამიწაზე არსებული კლიმატის პირობებში მყინვარები ფორმირდება მხოლოდ ზღვის დონიდან 5კმ–ზე ზემოთ 00 და 300 განედებს შორის და ზღვის დონიდან ქვემოთ 600-– 900 განედებს შორის.

თოვლის მყინვარის ყინულად ტრანსფორმაცია მიმდინარეობს ნელა, რადგან ახალი თოვლი თანდათანობით ფარავს ძველ თოვლს. ახლად დადებული თოვლი შედგება დახვეწილი, ექვსკუთხა ფორმის კრისტალებისაგან, რომელთაც გააჩნიათ წაწვეტებული ქიმები. კრისტალები არ არის ერთმანეთთან მჭიდროდ მიკრული და ამიტომ ამგვარი თოვლი შეიცავს დაახლოებით 90% ჰაერს. დროთა განმავლობაში, ფიფქების ქიმები ბლაგვდება, რადგან განიცდიან სუბლიმაციას (აორთქლება უშუალოდ ორთქლის სახით) ან დნება და თოვლი გროვდება უფრო მჭიდროდ. როგორც კი თოვლი იმარხება, მასზე დაწოლილი თოვლის მასა ზრდის წნევას, რაც იწვევს ფიფქებს შორის დარჩენილი შეხების წერტილების დნობას. თანდათანობით თოვლი გარდაიქმნება შემკვრივებულ, მსხვილმარცვლოვან მასად, რომელსაც ეწოდება ფირნი და რომელიც შეიცავს მხოლოდ 25% ჰაერს. შეხების წერტილში ფირნის მარცვლების დნობა წარმოქმნის წყალს, რომელიც კრისტალდება მარცვლებს შორის არსებულ სივრცეში იქამდე, სანამ ფირნი საბოლოოდ არ გარდაიქმნება ურთიერთდაკავშირებული ყინულის კრისტალებისაგან შემდგარ, მყინვარის ყინულის მყარ მასად. როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ, მსგავსი მყინვარის ყინულს, რომელიც შესაძლოა ჯერ კიდევ შეიცავდეს 20%-მდე ჰაერს ბუშტების სახით, აქვს მოლურჯო ფერი. ახალი თოვლის მყინვარად გარდაქმნას შესაძლოა დასჭირდეს სულ მცირე ათეულობით წელიწადი იმ რეგიონებში, სადაც უხვად თოვს ან ათასობით წელი იმ რეგონებში, სადაც მცირე ნალექია.

***მყინვარების კატეგორიები***

მყინვარები, ოფიციალური განმარტებით წარმოდგენს ხელახლად კრისტალიზებული ყინულის საფარს ან ნაკადებს, რომლებიც ძლებენ მთელი წლის განმავლობაში და მოძრაობენ გრავიტაციის ზემოქმედების შედეგად. დღეისთვის მყინვარები გვხვდება ალიასკის სანაპიროსა და მთებში, ჩრდილო-დასავლეთ ამერიკაში, ევროპის ალპებში, კავკასიონზე, ახალი ზელანდიის სამხრეთ ალპებში, აზიაში, ჰიმალაის მთებში და სამხრეთ ამერიკის ანდებში და მოიცავს გრენლანდიისა და ანტარქტიდის უმეტეს ნაწილს. გეოლოგები ანსხვავებენ ორ ძირითად კატეგორიას: მთის მყინვარებსა და კონტინენტურ მყინვარებს.

მთის მყინვარები (ასევე ეწოდება ალპური მყინვარები), როგორც სახელი გვიჩვენებს, გვხვდება მაღალმთიან რეგიონებში. მთათა ტოპოგრაფიული მახასიათებლები განსაზღვრავს მათ ფორმას; საერთო ჯამში მთის მყინვარები მოძრაობს შედარებით მაღალი სიმაღლეებიდან შედარებით დაბალი სიმაღლეებისკენ. მთის მყინვარები მოიცავს მყინვარულ ცირკებს, რომლებიც ავსებს ჯამის ფორმის ღრმულებს, ან ცირკებს, მთის ფერდოებზე; ხეობის მყინვარები, ყინულის მდინარეები, რომლებიც ჩამოედინება ხეობაში, მთის ყინულოვან საფარზე, ყინულის ბორცვები, რომლებიც ფარავს მწვერვალებსა და ქედებს მთის ქედის თხემზე; და მთისძირების მყნვარები, ყინულის შვერილები ან ფრთები, რომლებიც ყალიბდება იქ, სადაც ხეობის მყინვარი წარმოიშობა ხეობიდან და ვრცელდება მიმდებარე დაბლობში. მთის მყინვარების სიგრძე მერყეობს რამდენიმე ასეულობით მეტრიდან რამდენიმე ასეულ კილომეტრამდე, ხოლო სიგანე კი ასობით მეტრიდან რამდენიმე კილომეტრამდე. კონტინენტური მყინვარები წარმოადგენს უდიდეს ყინულის ფარებს, რომლებიც ვრცელდება კონტინენტური ქერქის ათასობით კვადრატულ კილომეტრზე. კონტინენტური მყინვარები ამჟამად გვხვდება მხოლოდ ანტარქტიდასა და გრენლანდიაში. კონტინენტური მყინვარები წარმოიქმნება გარეთა მხრიდან, მათი ყველაზე მსხვილი წერტილიდან, სადაც ყინულის სისქე აღწევს 4კმ-ს და ვიწროვდება კიდეების მიმართულებით, სადაც ისინი შესაძლოა იყოს მხოლოდ რამდენიმე ასეული მეტრი სისქის.

გეოლოგები ასევე მნიშვნელოვნად მიიჩნევენ განასხვაონ მყინვარების ტიპები იმ თერმული პირობების მიხედვით, სადაც მდებარეობს მყინვარი. ზომიერი კლიმატის მყინვარები გვხვდება რეგიონებში, სადაც ატმოსფერული ტემპერატურა იზრდება საკმარისად იმისათვის, რათა მყინვარის ყინული წლის პერიოდში იყოს მისი დნობის ტემპერატურაზე ან მასთან ახლოს.

პოლარული მყინვარები გვხვდება რეგიონეში, სადაც ატმოსფერული ტემპერატურა რჩება იმდენად დაბალი, რომ ყინული ნარჩუნდება დნობის ტემპერატურის ქვევით მთელი წლის განმავლობაში.

***მყინვარის ყინულის მოძრაობა***

ზოგიერთი მყინვარი მოძრაობს მაშინ, როდესაც გამლღვალი წყალი გროვდება მათ ძირში ისე, რომ მყინვარის მასა ცურავს წყლის ზედაპირზე ან წყლის ჰიდრონარევზე და ნალექზე. ამგვარი მოძრაობისას (რომელიც ცნობილია როგორც ბაზისური სრიალი) წყალს ან თხევად ჰიდრონარევს უჭირავს მყინვარი ქვეშმდებარე ქანის ზემოთ და ამცირებს ხახუნს მყინვარსა და მის ზედაპირს შორის. მყინვარები ასევე მოძრაობენ პლასტიკური დეფორმაციის საშუალებით, რომლის დროსაც ყინულის მასა თანდათანობით იცვლის ფორმას შიგნიდან, დაშლის და სრულად დნობის გარეშე. ყინულის დეფორმაციის მიკროსკოპით შესწავლისას გეოლოგებმა დაადგინეს, რომ პლასტიკური დეფორმაცია მოიცავს ორ პროცესს: წყლის მოლეკულების გადაჯგუფებას კრისტალის უჯრედებში და ერთმანეთის ახლოს ყინულის კრისტალების სრიალს.

მყინვარებში ყინულის პლასტიკური დეფორმაცია წააგავს მთის სარტყლებში მეტამორფული ქანების პლასტიკურ დეფორმაციას. თუმცა, დედამიწის ქერქში მეტამორფული ქანები პლასტიკურად დეფორმაციას განიცდიან მხოლოდ 10-დან 15 კმ–ზე მეტ სიღრმეზე, მაშინ როდესაც ყინული განიცდის პლასტიკურ დეფორმაციას დაახლოებით 60მ-ზე ნაკლებ სიღრმეზე. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ყინულში მსხვრევად-პლასტიკური გარდაქმნა მიმდინარეობს დაახლოებით 60 მ-ის სიღრმეზე. ამ სიღრმის ზევით დიდი ნაპრალები შესაძლოა ჩამოყალიბდეს ყინულად, თუმცა ამ სიღრმის ქვევით ნაპრალები არ ყალიბდება, რადგან ყინული ზედმეტად პლასტიკურია. დიდ ნაპრალებს, რომლებიც ყალიბდება მყინვარებში მტვრევადი დეფორმაციით ეწოდება ღრმა ნაპრალი. დიდ მყინვარებში ღრმა ნაპრალები შესაძლოა იყოს ასეულობით მეტრი სიგრძის და ათეულობით მეტრი სიღრმის.

რატომ ხდება მყინვარების მოძრაობა? იმიტომ, რომ საბოლოო ჯამში ყინული იმდენად სუსტია, რომ მხოლოდ სიმძიმის ძალას შეუძლია მისი მოძრაობაში მოყვანა. კერძოდ მყინვარები მოძრაობს იმ მიმართულებით, საითაც მათი მწვერვალის ზედაპრია დახრილი. ყინულის სქელი ფენა გროვდება და გრავიტაციის ძალა იწვევს გროვის ზედა ნაწილის მიერ ყინულის საყრდენისათვის ბიძგის მიცემას. საბოლოო ჯამში ბაზალურ ყინულს აღარ შეუძლია გაუძლოს მასზე დაწოლილი ყინულის წონას და იწყებს პლასტიკურ დეფორმაციას. როდესაც ეს ხდება, ბაზალური ყინული იწყებს გვერდიდან შებრეცას და თან მიაქვს ზემოდან დადებული ყინული. რაც უფრო დიდია დაგროვილი ყინულის მოცულობა, მით უფრო ფართე შეიძლება გახდეს ყინულის ფარი.

ზოგადად მყინვარების მოძრაობის სიჩქარე წელიწადში შეადგენს 10 – 300 მ-ს. მყინვარის ყველა ნაწილი არ მოძრაობს ერთსა და იმავე სიჩქარით. მაგალითად, ხახუნი ქანებსა და ყინულს შორის ანელებს მყინვარს ისე, რომ ხეობის მყინვარის ცენტრი მოძრაობს უფრო სწრაფად, ვიდრე მისი კიდეები, ხოლო მყინვარის მწვერვალი უფრო სწრაფად, ვიდრე მისი საყრდენი. იმ შემთხვევაში, თუ წყალი გროვდება ხეობის მყინვარის დაბლა იმ წერტილში, სადაც იგი მყინვარს სწევს მისი ძირიდან, მყინვარზე მოქმედებს ბიძგი და იგი მოძრაობს გაცილებით სწრაფად განსაზღვრულ დროში (ეს დრო იშვიათად აღემატება რამდენიმე თვეს) იქამდე, სანამ მოხდება წყლის გადინება. ბიძგების დროს მყინვარების სიჩქარე დღეში შეადგენს 20-–110 მ–ს.

***მყინვარის წინ მოძრაობა და უკან დახევა***

თოვლი ემატება მყინვარს აკუმულაციის ზონაში, ხოლო აბლაცია კი აბლაციის ზონაში; ორ ზონას შორის ზღვარს ეწოდება წონასწორობის ხაზი (ან თოვლის საზღვარი, ან მყინვარის კვების საზღვარი).

მყინვარის წინა კიდეს ეწოდება ძირი. იმ შემთხვევაში, თუ აბლაციის სიჩქარე უტოლდება აკუმულაციის სიჩქარეს, მაშინ ძირის მდებარეობა რჩება უცვლელი. თუ სიჩქარე, რითაც ყინული გროვდება აკუმულაციის ზონაში აღემატება სიჩქარეს, რა სიჩქარითაც ხდება აბლაცია წონასწორობის ხაზის ქვემოთ, მაშინ ძირი მოძრაობს წინ იმ მხარეს, რომელიც მანამდე ყინულით დაფარული არ იყო. ასეთ ცვლილებას ეწოდება მყინვარის წინ მოძრაობა. მთის მყინვარების შემთხვევაში ძირის მდებარეობა წინ მოძრაობისას გადაინაცვლებს კალთაზე ქვემოთ, ხოლო კონტინენტური მყინვარის შემთხვევაში, იგი მოძრაობს გარეთ, მყინვარის წარმოშობის ადგილიდან უფრო დაბალი განედების მიმართულებით. თუ აბლაციის სიჩქარე აღემატება აკუმულაციის სიჩქარეს, მაშინ ძირის მდებარეობა გადაინაცვლებს უკან მყინვარის წარმოქმნის მიმართულებით. ასეთ ცვლილებას ეწოდება უკან დახევა. მთის მყინვარების უკან დახევის დროს, ძირის მდებარეობა გადაინაცვლებს ქანობის ზემოთ. მნიშვნელოვანია გავაცნობიეროთ, რომ მყინვარის უკან დახევისას, მხოლოდ ძირი მოძრაობს უკან თავდაპირველი მდებარეობის მიმართულებით, ყინული კი აგრძელებს დაშვებას ძირის მიმართულებით. მყინვარის ყინულს არ შეუძლია უკან დახევა მყინვარის თავდაპირველი მდებარეობის მიმართულებით.

აკუმულაციის ზონის ქვეშ არსებული ყინულის კრისტალი თანდათანობით გადაადგილდება ქვემოთ მყინვარის ძირისკენ, რადგან მის ზემოთ გროვდება ახალი ყინული. ხოლო, აბლაციის ზონის ქვეშ არსებული ყინულის კრისტალი თანდათანობით გადაადგილდება ზედა მხარეს მყინვარის ზედაპირისკენ, ვინაიდან მასზე არსებული ყინული ინგრევა წყლის ზემოქმედებით. ამგვარად, მყინვარის მოძრაობასთან ერთად ყინულის კრისტალებიც მიჰყვებიან მრუდხაზოვან ტრაექტორიას. ამის გამო, მყინვარის ძირზე ყინულის მიერ ამოღებული ქანები ნელა გადაადგილდება ზედაპირის მიმართულებით.

***გამყინვარებასთან დაკავშირებული ნალექი***

***მყინვარული კონვეიერი: ნალექის გადაადგილება ყინულის მიერ***

მყინვარებს შეუძლიათ ნებისმერი ზომის ნალექის გადატანა და ლენტური კონვეიერის მსგავსად გადაიტანონ იგი დინების მიმართულებით. ნალექები ეშვება მყინვარის ზედაპირზე მოსაზღვრე ქანობებიდან ან წყდება და იწევა ზემოთ ძირიდან და უერთდება მოძრავ ყინულს. მყინვარის ყინულის მოძრაობის მრუდე ტრაექტორიის გამო, ძირიდან მოწყვეტილმა ქანებებმა საბოლოოდ შესაძლოა მიაღწიონ ზედაპირს.

მყინვარის ზედაპირზე მოხვედრილი ნალექი გადაადგილდება ყინულთან ერთად და გადაიქცევა ტეხილის ხაზად. მყინვარის გვერდითა კიდეების გასწვრივ წარმოქმნილ ხაზებს ეწოდება კიდის მორენები. როდესაც მყინვარი საბოლოოდ დნება, კიდის მორენები განლაგდებიან ყინულით მოჭედილი ხეობის გასწვრივ. იქ, სადაც ორი ხეობის მყინვარი ერთმანეთს უერთდება, ნარჩენები, რომლებიც ქმნიან ორ კიდის მორენას ერთიანდება, რათა წარმოქმნან ღერძული მორენები – ხაზი, რომელიც ეშვება ქვემოთ მყინვარის შიგნით. მთავარი მყინვარები, რომლებშიც უამრავი მეორეხარისხოვანი მყინვარი შეიძლება ჩაედინებოდეს, შესაძლოა მოიცავდეს რამდენიმე პარალელურ ღერძულ მორენას. ნალექი, რომელიც აღწევს ძირს, წარმოქმნის გროვას, რომელსაც ეწოდება ბოლო მორენა.

***მყინვარული დანალექი ქანების ტიპები***

მყინვარულ გარემოში შესაძლოა დაილექოს რამდენიმე სხვადასხვა სახის ნალექი. ყველა ეს სახეობა ერთად წარმოადგენს „მყინვარულ ნალექებს“. ტერმინი თარიღდება აგასისის მყინვარული ნალექების კვლევების წინა პერიოდით, როდესაც გეოლოგები ფიქრობდნენ, რომ ნალექი გროვდებოდა დიდი წყალდიდობის დროს. კერძოდ, მყინვარული ნალექები მოიცავს შემდეგს:

* *კაჭართიხნარი* : დანალექს, რომელიც ყინულის საშუალებით გადაადგილდება და ილექება მყინვარზე, მის ქვეშ ან ძირში ეწოდება მყინვარული კაჭართიხნარი. მყინვარული კაჭართიხნარი არის დაუხარისხებელი, რადგან მყინვარის მყარ ყინულს შეუძლია ყველა ზომის ნატეხების გადატანა.
* *ერატული ლოდები*: მყინვარული ერატული ლოდები არის მყინვარიდან ჩამოყრილი რიყის ქვები და ლოდები. ზოგიერთი მათგანი წარმოიქმნება თიხის გროვისაგან, სხვები განლაგებულია მყინვარულ გაპრიალებულ ზედაპირზე.
* *ზღვის მყინვარული ნალექები:* იქ, სადაც ნალექით სავსე მყინვარები ცურავს ზღვაში, აისბერგი წყდება მყინვარის ძირს და გადაადგილებს ნატეხებს ზღვაში. აისბერგის დადნობის შემდეგ რჩება ნატეხები. ნალექი, რომელიც შედგება ყინულის მიერ გადატანილი ნატეხებისაგან, ზღვიურ ნალექებთან ერთად შეადგენს ზღვიურ მყინვარულ ნალექებს.
* *ფლუვიოგლაციალური ნალექები*: მყინვარის მიერ მის ძირში დანალექი კაჭართიხნარი შესაძლოა აიტაცოს და გადაადგილოს გამლღვალი წყლის ნაკადებმა, რომელიც ახარისხებს ნალექს. ნატეხების დალექვა ხდება ნაკადების დატოტვილი ქსელის მიერ ხრეშის ვრცელ ფართობზე და ალუვიური ქვიშის კუნძულზე, რომელსაც ეწოდება ფლუვიოგლაციალურიველი. ეს ნალექები ცნობილია ფლუვიოგლაციალური ნალექის სახელით.
* *ლიოსი:* როდესაც მყინვარის ძირის გასწვრივ ყინულით დაუფარავი მიწის ზევით არსებული თბილი ჰაერი ზევით ვრცელდება, მყინვარის ზემოთ ჰაერის ცივი, უფრო ხშირი მასა გადაადგილდება მისი ადგილის დასაკავებლად. ამიტომ მყინვარის ზღვარზე ძლიერი ქარი ქრის. ეს ქარი იტაცებს წვრილმარცვლოვან თიხასა და ლამს და გადაადგილებს მათ მყინვარის ძირიდან. ქარის ჩადგომის ადგილას ნალექი ილექება და ფორმირდება თხელი ფენა. ეს ნალექი, რომელსაც ეწოდება ლიოსი, შეწებებულია თიხის ფანტელებზე არსებული ელექტრული მუხტის გამო. აქედან გამომდინარე, ლიოსის ნალექების ეროზიის შედეგად წარმოიქმნება ციცაბო ესკარპები.
* *ტბის ფსკერის მყინვარულ ნალექები*: ნაკადები გადაადგილებენ ქვის ფქვილს მყინვარის ზედაპირიდან. ეს ნალექი საბოლოოდ გროვდება გამლღვალი წყლის ტბებში და აყალიბებს ტბის ფსკერის მყინვარულ ნალექს, რომელიც ძირითადად შეიცავს სეზონური ნალექების ფენებს. სეზონური ნალექების ფენა არის ნალექის თხელი ფენების წყვილი, რომელიც გროვდება ერთი წლის განმავლობაში. ერთი ფენა შედგება შლამისაგან, რომელიც დალექილია გაზაფხულის წყალდიდობის დროს, ხოლო მეორე კი ზამთარში დალექილი თიხისგან, როდესაც ტბის ზედაპირი იყინება და წყალი მაინც დგას.

***პლეისტოცენური გამყინვარების პერიოდები***

***პლეისტოცენური მყინვარები***

დღეისთვის, ნიუ იორკში, ხმელეთის ზედაპირის უმეტესი ნაწილი დაფარულია ბეტონითა და ლითონით, თუმცა ცენტრალურ პარკში ჯერ კიდევ შესაძლებელია ქანების გამოსავლის დანახვა ნახევრად ბუნებრივ მდგომარეობაში. თუ თქვენ გაისეირნებთ პარკში და შეისწავლით გაშიშვლებულ ქანებს აღმოაჩენთ, რომ ზედაპირი არის გლუვი და გაპრიალებული და გარკვეულ ადგილებში ტალღოვანი და ნაკაწრებიანი. ეს არის მტკიცებულება, რომ ერთ დროს ყინულის ფენები ამ ნიადაგში შლიდა და აზიანებდა ფუძე ქანს. გეოლოგების ვარაუდით, ყინულის ფენები, რომლებიც ნიუ იორკის ტერიტორიას ფარავდა, შესაძლოა ყოფილიყო საკმარისი იმისათვის, რომ დაეფარა ემპაირ სტეიტ ბილდინგი 75-ე სართულამდე.

ის ფაქტი, რომ ეს მყინვარული მახასიათებლები ამშვენებენ დედამიწის ზედაპირს დღეს, იმას ნიშნავს, რომ უკანასკნელი გამყინვარების პერიოდი მოხდა დედამიწის ისტორიაში საკმაოდ ცოტა ხნის წინათ. გამყინვარების ეს პერიოდი, რომლის შედეგია ჩრდილოეთ ამერიკისა და ევრაზიის მყინვარული რელიეფის ფორმები, მოხდა მეტწილად პლეისტოცენის ეპოქის დროს, რომელიც დაიწყო 1.8 მილიონი წლის წინ, ამიტომ ძირითადად ცნობილია როგორც პლეისტოცენური გამყინვარების პერიოდი (ბოლოდროინდელი კვლევები გვიჩვენებს, რომ გამყინვარება დაიწყო ჯერ კიდევ 3 მილიონი წლის წინ). გეოლოგები იყენებენ ტერმინს – ჰოლოცენი, რათა ასახონ უკანასკნელი 11000 წელი, პერიოდი ბოლო გამყინვარების შემდეგ. გეოლოგებმა, მყინვარული ნალექებისა და ნაჭდევების რუკების საფუძველზე განსაზღვრეს თუ საიდან წარმოიშვა და სად გადაადგილდებოდა პლეისტოცენური მყინვარული საფარი. ჩრდილოეთ ამერიკაში, ლავრენტის ყინულის ფარმა დაიწყო ზრდა აკუმულაციის ორ ზონაში კანადაში და საბოლოოდ დაფარა მთელი კანადის აღმოსავლეთ კლდოვანი მთები და გაფართოვდა სამხრეთის მიმართულებით საზღვრის გასწვრივ, სამხრეთ ილინოისისაკენ. მაქსიმალური სისქე, რომელსაც მან მიაღწია იყო 2-დან 3 კმ-მდე. ყინულის ეს საფარი საბოლოოდ ასევე შეუერთდა გრენლანდიის ყინულის საფარს ჩრდილო-აღმოსავლეთის მიმართულებით და კორდილიერების ყინულის საფარს დასავლეთის მიმართულებით. კორდილიერების ყინულის საფარი ფარავდა დასავლეთ კანადის მთებს, ასევე ალასკის სამხრეთის მესამედს.

ევრაზიაში დიდი ყინულის საფარი ჩამოყალიბდა ჩრდილოეთ ევროპასა და მოსაზღვრე აზიაში და თანდათანობით დაფარა მთელი სკანდინავია და ჩრდილოეთ რუსეთი. ყინულის აღნიშნული საფარი მიემართებოდა სამხრეთის მიმართულებით საფრანგეთის გასწვრივ, სანამ არ მიაღწია ალპებს და შეუერთდა ალპების მთის მყინვარებს; მან ასევე დაფარა მთელი ირლანდია და თითქმის მთელი გაერთიანებული სამეფო. შედარებით პატარა მყინვარული საფარი წარმოიქმნა აღმოსავლეთ ციმბირში და გავრცელდა ცენტრალური აზიის მთების მიმართულებით. სამხრეთ ნახევარსფეროში ანტარქტიდა დარჩა ყინულით დაფარული და მთის მყინვარული საფარი გავრცელდა ანდებში, თუმცა სამხრეთ ამერიკაში, აფრიკასა და ავსტრალიაში კონტინენტური მყინვარები არ გვხდება.

გარდა კონტინენტური მყინვარული საფარისა, ზღვის ყინული ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში გავრცელდა იმისათვის, რათა დაეფარა მთელი ჩრდილო–ყინულოვანი ოკეანე და ჩრდილოეთ ატლანტის ოკეანის ნაწილები. ზღვის ყინული გარს შემოერტყა ისლანდიას და მიაღწია შოტლანდიამდე და ასევე შემოსაზღვრა დასავლეთ კანადა და სამხრეთ-აღმოსავლეთ ალასკა.

***სიცოცხლე და კლიმატი პლეისტოცენურ სამყაროში***

პლეისტოცენური გამყინვარების ეპოქაში, ყველა კლიმატურმა სარტყელმა გადაინაცვლა სამხრეთით. გეოლოგებს შეუძლიათ ამის დადასტურება წიაღისეული მტვრის შესწავლით, რომელიც გადაურჩა ათასობით წელს და შემორჩენილია დაჭაობებულ ნიადაგებში.

წიაღისეულის კვლევით ასევე გავიგეთ, რომ ამჟამად არსებული დიდი ძუძუმწოვარა ცხოველების რიგი სახეობები ცხოვრობდნენ პლეისტოცენურ ეპოქაში. სპილოების მონათესავე სახეობები – გიგანტური მამონტები და მასტოდონტები, ბეწვიან მარტორქებთან, ხარცხვრებთან (მუსკუსის ხარი), ჩრდილოეთის ირმებთან, გიგანტურ ზარმაცასთან, ბიზონებთან, ლომებთან, ხმალკბილა კატებთან, გიგანტურ ფამოქვაბულის დათვებთან და ჰიენებთან ერთად ბინადრობდნენ ჩრდილოეთ ამერიკის ტყეებსა და ტუნდრაში.

***ადრეული გამყინვარების პერიოდები დედამიწის ისტორიაში***

ჯერჯერობით ჩვენ ყურადღებას ვამახვილებთ პლეისტოცენურ გამყინვარების პერიოდზე დედამიწის არსებული ლანდშფტის განვითარებაში მისი მნიშვნელობის გამო. იყო ეს დედამიწის ისტორიაში ერთადერთი გამყინვარების პერიოდი? ან დგება თუ არა გამყინვარების პერიოდი ხშირად? მსგავს კითხვებზე პასუხის გასაცემად გეოლოგები სწავლობენ სტრატიგრაფიულ ჩანაწერებს და იკვლევენ ქანებში გაქვავებულ უძველეს მყინვარულ ნალექებს. ტილიტების სახელით ცნობილი ეს დანალექები შედგება დიდი ნატეხებისაგან, რომლებიც გავრცელებულია ქვიშაქვასა და არგილიტებში. ხშირ შემთხვევაში, თიხა ილექება მყინვარულ გაპრიალებული ზედაპირზე.

სტრატიგრაფიული პრინციპების გამოყენებით, გეოლოგებმა დაადგინეს, რომ ტილიტები დაილექა დაახლოებით 280 მილიონი წლის წინ პერმულ სისტემაში (პერიოდში). ეს არის ნალექები, რომლებსაც სწავლობდა ალფრედ ვეგენერი (*Alfred Wegener*), როდესაც იგი ამტკიცებდა კონტინენტების დრეიფის თაობაზე. ტილიტები ასევე დაილექა დაახლოებით 600-700 მილიონი წლის წინ (პროტეროზოური ეონის ხანის დასასრულს), დაახლოებით 2.2 მილიარდი წლის წინ (პროტეროზოური ეონის დასაწყისში) და ალბათ დაახლოებით 2,7 მილიარდი წლის წინ. ფენები, რომლებიც დედამიწის ისტორიის სხვა პერიოდებში ილექებოდა, არ შეიცავს ტილიტებს. ამდენად, როგორც სჩანს, მყინვარების წინ მოძრაობა და უკან დახევა სტაბილურად არ ხდებოდა დედამიწის ისტორიის განმავლობაში, არამედ შეზღუდულია კონკრეტული დროის ინტერვალით ან გამყინვარების პერიოდით, რომელთა რაოდენობა 4 ან 5-ია: პლეისტოცენის პერიოდი, პერმული, გვიანი პროტეროზოური, ადრეული პროტეროზოური და ალბათ არქაული.

კერძოდ კი, ზოგიერთი გვიანი პროტეროზოური პერიოდის ტილიტები დალექილი იყო ეკვატორულ განედებზე, რაც მიუთითებს იმაზე, რომ სამ შემთხვევაში, სულ მცირე მოკლე პერიოდის განმავლობაში, მსოფლიოს მასშტაბით კონტინენტები დიდწილად იყო ყინულით დაფარული და ზღვაც შესაძლოა მსოფლიოს მასშტაბით დაფარული ყოფილიყო ყინულით.

***გამყინვარების პერიოდის მიზეზები***

გამყინვარების პერიოდი დედამიწის ისტორიის მხოლოდ განსაზღვრულ ინტერვალში დგება, ასობით მილიონი წელიწადში. მაგრამ გამყინვარების პერიოდში მყინვარები იზრდება და უკან იხევს ათი ათასობიდან ასობით ათასი წლის სიხშირით. აქედან გამომდინარე, უნდა განხორციელდეს მყინვარების როგორც მოკლევადიანი, ასევე გრძელვადიანი შესწავლა.

***გრძელვადიანი მიზეზები***

ფილების ტექტონიკა სავარაუდოდ უზრუნველყოფს გამყინვარების პერიოდის გრაფიკის გარკვეულ გრძელვადიან კონტროლს. მაგალითად, კონტინენტების დრეიფმა, რომელიც თავს იჩენს ფილების მოძრაობის შედეგად, შესაძლოა განსაზღვროს მდებარეობს თუ არა კონტინენტები შესაბამის განედებზე და კონფიგურაციებზე იმისთვის, რომ ყინულით დაიფაროს. კონტინენტებისა და ვულკანური რკალების განლაგებამ შესაძლოა ასევე გავლენა იქონიოს ოკეანის დინების გლობალურ მოდელზე, რომელიც სითბოს გადაადგილებს. ეს მოდელი, თავის მხრივ, გავლენას ახდენს კლიმატზე. საბოლოო ჯამში, ოკეანის ფსკერის სპრედინგი გავლენას ახდენს მსოფლიო ზღვის დონეზე და ამგვარად განსაზღვრავს, არის თუ არა კონტნენტები ზღვის დონიდან მაღლა და დაექვემდებარებიან თუ არა ისინი ყინულის ფორმირებას.

ატმოსფეროში ნახშიროჟანგის კონცენტრაციით ასევე შესაძლებელია განისაზღვროს დადგება თუ არა გამყინვარების პერიოდი. ნახშირორჟანგი არის სათბურის ეფექტის მქონე გაზი, იგი იჭერს დედამიწიდან ამოსულ ინფრაწითელ გამოსხივებას და თუ CO2-ის კონცენტრაცია იზრდება, ატმოსფეროში თბება. ყინულის საფარი ვერ ფორმირდება პერიოდში, როდესაც ატმოსფეროში CO2-ის კონტენტრაცია არის შედარებით მაღალი იმ შემთხვევაშიც კი, თუ სხვა ფაქტორები ხელს უწყობენ გამყინვარებას. რამ შეიძლება გამოიწვიოს CO2-ის კონტენტრაციაში გრძელვადიანი ცვლილებები? ალბათობები მოიცავს: ცვლილებებს ცოცხალი ორგანიზმების პოპულაციაში, რადგან მრავალი ორგანიზმი გამოყოფს CO2-ს; ცვლილებებს ხმელეთზე ქიმიური გამოფიტვის მოცულობაში, რადგან გამოფიტვა შთანთქავს CO2-ს; და ცვლილებებს ვულკანური აქტივობების რაოდენობაში, ვულკანიდან გამოთავისუფლებული გაზის გამო. ამდენად, ზოგიერთი გამყინვარების პერიოდი შეიძლება გამოწვეული ყოფილიყო მთის ჩამოყალიბების მოვლენებით, რამაც გააშიშვლა უამრავი ქანი გამოსაფტად და ევოლუციის ძირითადი ეტაპებით, როდესაც შეიქმნა ახალი სახეობები, რომელთაც შთანთქეს CO2 ატმოსფეროდან; მაგალითად ქვანახშირის ჭაობებმა პალეოზოური ერის ბოლოს შესაძლოა შთანთქეს CO2, რადგან მცენარეები შთანთქავენ CO2, რითაც გამოიწვიეს პანგეას გამყინვარება.

***მოკლევადიანი მიზეზები***

ახლა ჩვენ ვხედავთ, თუ რომელ ეტაპზე შეიძლება დადგეს გამყინვარების პერიოდი, მაგრამ რატომ მოძრაობენ წინ და იხევენ უკან მყინვარები გამყინვარების პერიოდში ? 1920 წელს, მილუტინ მილანკოვჩმა (*Milutin Milankovitch*), სერბმა ასტრონომმა და გეოფიზიკოსმა გააკეთა ამის განმარტება. იგი სწავლობდა, თუ როგორ იცვლის დედამიწის ორბიტა ფორმას და როგორ იცვლის მისი ღერძი ორიენტაციას დროის განმავლობაში. მან ასევე გამოიანგარიშა ამ ცვლილებების სიხშირე. კერძოდ, მან შეაფასა მზის გარშემო დედამიწის მოძრაობის სამი ასპექტი:

* *ორბიტული ექსცენტრულობა*: მილანკოვიჩმა აჩვენა, რომ დედამიწის ორბიტა ეტაპობრივად იცვლება უფრო მეტად წრიული ფორმიდან უფრო ელიფსური ფორმისკენ. ექსცენტრულობის ამგვარ ციკლს სჭირდება დაახლოებით 100,000 წელი. როდესაც ორბიტა ელიფსურია, დედამიწა ნაკლები დროის მანძილზე მზის სიახლოვეს.
* *დედამიწის ღერძის დახრილობა:* წელიწადის დროები არსებობს იმის გამო, რომ დედამიწის ღერძი არ არის მისი ორბიტის სიბრტყის პერპენდიკულარული. მილანკოვიჩმა გამოითვალა, რომ დროთა განმავლობაში დახრის კუთხე მერყეობს 22.5° – 24.5° შორის. ამ ციკლს სჭირდება 41.000 წელი. ღერძი განაპირობებს ზამთრის ხანგრძლივობას და სიმკაცრეს.
* *დედამიწის ღერძის პრეცესია:* თუ ოდესმე დაგიტრიალებიათ თითისტარი შეამჩნევდით, რომ მისი ღერძი თანდათან ტოვებს კონუსურ კვალს. ამ მოძრაობას ან რხევას ეწოდება პრეცესია.