

**Kərimov Z.H.**

# **GEODİNAMİKA**



**Bakı 2007**

**Kərimov Zahid Hacıbala oğlu**

# **GEODİNAMİKƏ**

Bakı 2007

Elmi redaktor: t.e.d., professor **T.Ə.Səmədov**

Rəyçi: g.-m.e.d., professor **O.C.Hüseynzadə**

**Z.H. Kərimov. Geodinamika. Bakı, «Elm» nəşriyyatı, 2007, 158 s.**

Kitabda Yerin daxili quruluşu, orada baş verən konvektiv maddə mübadiləsi, Litosfer qatındakı tektonik proseslərin geodinamik aspektləri, Yer kürəsinin mexanikası, dənəvər süxurların mexanikası, Yer qabığı və materiklərin hərəkəti, Yer haqqında faktiki materiallar, vulkanlar, zəlzələlər haqqında məlumatlar və neft işinin geodinamikası barədə materiallar verilmişdir.

Kitab geodinamika fənnini öyrənən tələbələr, elmi işçi və mühəndislər üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Müəllif kitabın nəşrində yaxından köməklik göstərdiyinə görə dosent O.Ə.Məmməd-zadəyə və dosent Ə.M.Əliyevə öz təşəkkürünü bildirir.

© Kərimov Z.H.

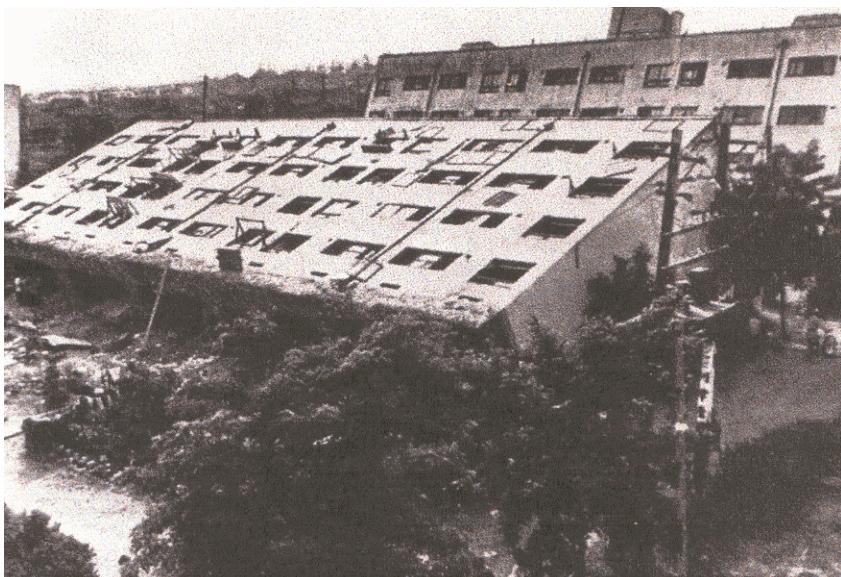
## MÜNDƏRİCAT

Giriş .....	5
1. YERİN DAXİLİ QURULUŞU .....	7
1.1. Yer quruluşunun modeli .....	7
1.2. Yer qatının energetik vəziyyəti.....	10
1.3. Yer kürəsinin yaranma prosesi.....	10
2. YER MANTİYASINDA KONVEKTİV MADDƏ MÜBADİLƏSİ.....	12
2.1. Konveksiya və onun növləri.....	12
2.2. Yer mantiyasında konveksiya.....	13
2.3. Yer Mantiyasında qolobal konveksiya və qızmar nöqtələrin əmələ gəlməsi .....	16
3. YER KÜRƏSİNİN LİTOSFER QATINDAKI TEKTONİK PROSESLƏRİN GEODİNAMİK ASPEKTLƏRİ .....	17
3.1. Astenosfer qatındaki axının hidrodinamikası.....	17
3.2. Litosfer qatında gərginlik və deformasiyaların təyini.....	20
3.3. Astenosfer qatında temperaturun dəyişməsi.....	22
3.4. Litosfer qatında qızmar nöqtələrdə temperaturun paylanması.....	29
3.5. Litosfer qatında qızmar nöqtələrdə gərginliyin dəyişməsi .....	32
3.6. Yer qatının enib qalxması. Dağ qatlarının əmələ qəlməsi.....	36
4. YER KÜRƏSİNİN MEXANİKASI.....	39
4.1. Kepler qanunları.....	39
4.2. Mərkəzi qüvvə təsiri altında planetlərin hərəkəti.....	39
4.3. Reoloji modellər.....	43
4.4. Elastik gərginlikli vəziyyət .....	47
4.5. Mor dairəsi.....	51
4.6. Amonton-Kulon qanunu.....	54
5. DƏNƏVƏR SÜXURLARIN MEXANİKASI.....	55
5.1. Dənəvər sükurların həddi vəziyyəti .....	55
5.2. Şişman qum təpəsinin gərginlikli vəziyyəti .....	60
5.3. Qum çalasının gərginlikli vəziyyəti .....	62

5.4.	Səpələnmiş mühitin oxa simmetrik gərginlikli vəziyyəti .....	64
5.5.	Elastik mühitdə dalğaların yayılması.....	66
5.6.	Özülü - elastik mühitdə dalğaların yayılması.....	76
6.	<b>YER QABIĞI VƏ MATERİKLƏRİN HƏRƏKƏTİ.....</b>	79
6.1.	Yer haqqında faktiki materiallar.....	79
6.2.	Qıtələrin sürüşməsi.....	100
6.3.	Vulkanlar.....	107
6.4.	Zəlzələlər.....	115
6.4.1.	Zəlzələlərin baş verməsi haqqında.....	121
6.4.2.	Zəlzələnin intensivliyi şkalası.....	124
6.4.3.	Zəlzələdən müdafiə üsulları.....	126
6.4.4.	Katastroflar və onların əfsanəvi aspektləri .....	127
7.	<b>NEFT-QAZ İŞİNİN GEODİNAMİKASI.....</b>	134
7.1.	Neftçixarmada quyu lüləsinin temperatur rejimi.....	134
7.2.	Quyu ətrafi zonada dağ süxurlarının termiki gərginlikli vəziyyəti .....	138
7.3.	Quyunun məhsuldarlığını açdıraqda qoruyucu kəmərin temperatur gərginlikli vəziyyəti .....	139
7.4.	Sürüşmə zonasında qazılan quyu lüləsinin konstruksiyasının seçilməsi..	142
7.5.	Zəlzələnin dəniz neft-qaz hidrotexniki qurğularına təsiri.....	146
7.6.	Neft və qaz yataqlarının mənşəyinin geodinamik aspektləri.....	154
	<b>Ədəbiyyat .....</b>	157

## Giriş

Geodinamika – Yer kürəsində baş verən proseslər barəsində elmdir. Yer kürəsini öyrənən müxtəlif alim və tədqiqatçılar tərəfindən müəyyən edilmişdir ki, onun vəziyyəti mütəmadi olaraq dəyişir. Yer qatının dağ zirvələri bir neçə kilometrlərlə göyə doğru yüksəlir. Ufūqi istiqamətdə isə Yer qatının sürüşməsi bir neçə kilometrə çatır. Yer mantiyasında isə çox böyük həcmli maddələr daim öz yerini dəyişmədədir. Yer səthi yaxınlığında hərəkət mürəkkəb kompreks hadisələrlə - dağ süxurlarının deformasiyası, zəlzələlər (Şəkil 1), vunkanlar (Şəkil 2), maqmaların metomorfozaları və s. müşahidə olunur.



**Şəkil 1. Zəlzələdən evlərin aşması**

Geodinamikada Yer qabığı və mantiyadakı hərəkətin Yer kürəsində vəs vərən bütün digər proseslərə təsirini nəzərə alan məsələlərə çox geniş baxılır.

Yer kürəsi çox mürəkkəb bir varlıqdır. Burada təbiətinə görə cürbəcür, miqyasına görə müxtəlif hadisələr baş verir. Ona görə də geodinamikada planetimizin dinamikasının məğzini müəyyən edən əsas və güclü hərəkətlərin mexanizmlərinə baxılır. Yer kürəsinin geodinamika baxımından kompleks tədqiqi bir çox başqa elmlərdən geniş istifadə edilməsi zərurətini yaradır. Buraya elastikiyyət nəzəriyyəsi, plastiklik, özlü-elastik-plastiklik, axıcılıq və s. elm sahələri daxildir.



**Səkil 2. İrazu vulkanı (Kosto Riko, 1964-cü il)**

Kursun əsas məqsədi - Yer qabığı və mantiyadakı hərəkətlərin külliyyatı, onların fiziki mahiyyəti və bəzi nəticələri barədə təsəvvür yaratmaqdır.

Geologiyada Yerin üst qatının bir nesə kilometri öyrənilib. Bu Yer kürəsinin radiusuna nisbətən cox kicik məsafə olub, qazilan quyu və şaxtalarda aparılan müşahidələr nəticəsində alınan biliklərə əsaslanır.

Yer kürəsi daxilində hansı proses və dəyişikliklər baş verir ? Yer kürəsində baş verən vulkan, zəlzələ, dağların əmələ gəlməsi, qitələrin sürüşməsi və sair hadisələrin baş vermə səbəbi nədir və bu proseslərin baş verməsinin enerji mənbəyi nədən ibarətdir? Aydındır ki, bütün bu suallara cavab vermək üçün Yer haqqında elmin müasir nailiyyətlərindən geniş istifadə etmək lazımdır.

## **1. YERİN DAXİLİ QURULUŞU**

### **1.1 Yer quruluşunun modeli**

Hazırda mövcud olan təsəvvür və məlumatlara əsasən Yer quruluşunun modeli şəkil 1.1.1-də göstərildiyi kimi qəbul olunmuşdur. Bu model Bullen modeli adlanır. Bullen modelinə əsasən Yer kürəsi üst qabıqdan (litosfer), Yuxarı mantiya (astenosfer), Aşağı mantiya, Xarici nüvə və Daxili nüvədən ibarətdir.

Litosfer (latınca- spara- kürə deməkdir) Yer qatının xarici bərk silikat tərkibli qalınlığı 15-70 kilometr torpaq, daş örtükdən ibarətdir.

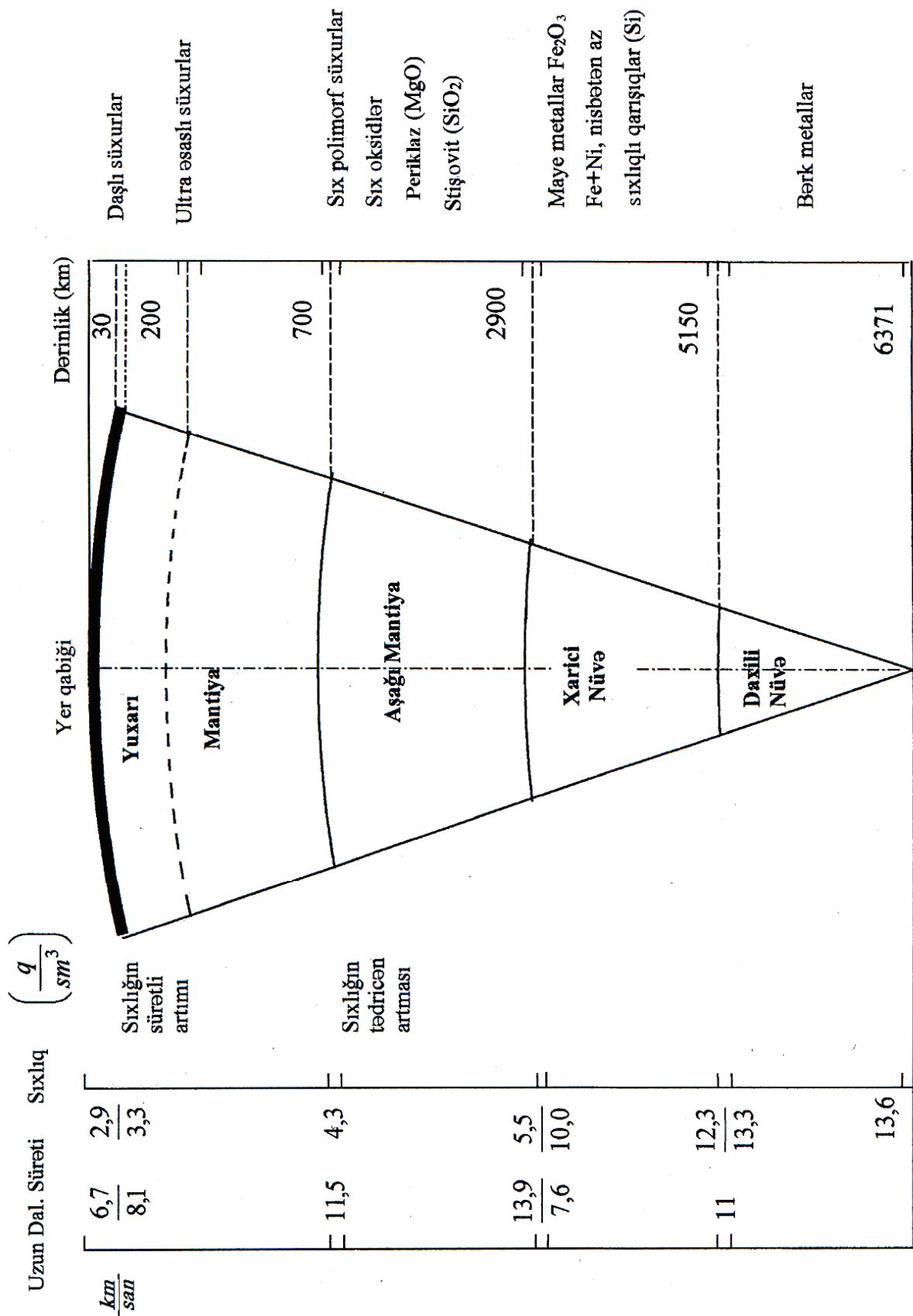
Astenosfer – zəif, aşağı qatdır, latınca – usthenera, zəif deməkdir. Mantiya - latınca mantion – qat sözündən olub Yer kürəsini əhatə edən xarici qatı törədir. Nüvə Yer kürəsinin mərkəzi, ağır hissəsini təşkil edir.

Dərinlik üzrə süxurların sıxlığının paylanması qeyri müntəzəmdir. Yerin kütləsi  $5,98 \cdot 10^{27}$  qram, həcmi isə  $1,083 \cdot 10^{27}$  sm<sup>3</sup> olduğundan, onun sıxlığı 5,52 q/sm<sup>3</sup> alınır. Yerin üst qatında süxurların orta sıxlığı 2,5...2,9 q/sm<sup>3</sup>-dur. Deməli dərinlik artdıqca sıxlıq da artmalıdır. Bu onu göstərir ki, Yer kürəsi dərinlik artdıqca sıxlığı artan qatlardan ibarətdir. Analoji olaraq təzyiq və temperatur da dərinlik artdıqca dəyişir. Bütün bunlar Yer kürəsində konvektiv və kütlə mübadiləsini şörtləndirir. Bu proseslər Astenosfer qatında daha intensiv baş verir.

Dərinlik artdıqca Yer qatının sıxlığının dəqiqləşdirilmiş paylanması güclü zəlzələlər nəticəsində Yerin sərbəst rəqslərini və seysmik dalğaların yayılma sürətini ölçməklə müəyyən etmək mümkün olur.

Seysmik dalğalar yayıldıqda onların dəyişməsi bir neçə sıçrayışla baş verir.

Boyuna dalğaların 6,7-dən 8,1 km/san-yə qədər artmasına uyğun gələn ilk sıçrayış Yer qabığının alt hissəsini - Moxoroviç sərhəddini qeydə alır. Qitələrin altında bu sərhəd 30-40 km, okeanların altında isə bu sərhəd onların dibindən 8...10 km dərində yerləşir. İkinci sıçrayış 400 km-dən 700...900 km arasında baş verir. Bu halda boyuna dalğaların sürəti 11,5 km/san-yə çatır. Bu aralıq qat yuxarı Mantianı aşağı mantiyadan ayırrı. Mantianın altı 2900 km dərinlikdə yerləşir. Burada eninə dalğaların sürəti 13,9 km/san-dən 7,8 km /san-yə kimi sıçrayışla dəyişir. Bu sərhəddən aşağıda eninə dalğalar yayılma bilmir.



Şəkil 1.1.1. Bullen modeli

Göstərilən hüdudda Mantiya ilə Yer Nüvəsi bir-birindən ayrıılır. Nüvənin radiusu 3500 km-ə yaxındır. Xarici nüvədə boyuna dalğaların sürəti kəskin azalır. Radiusu 1200 km olan daxili nüvədə seysmik dalğaların sürəti yenidən 11 km/san-yə qədəp kəskin artır. Mantiya ilə nüvə arasında qalınlığı 100 km-dən çox olan Berzon qatı adlanan bir qat var ki, bu qatda eninə dalğaların yayılma sürəti 7,3 km /san-dən sıfır kimi azalır.

Yuxarı Mantianının əlamətdar xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, onun üst qatında seysmik dalğaların zəifləməsi və ya yayılma sürətinin azalması baş verir. Sürətləri azaldan bu qat və ya dalğa kəsən bənd təxminən Yer səthindən 100...200 km aşağıda yerləşir, okeanların altında suyun dibinə yaxınlaşır, qitələrin altında isə dərinə batır. Əlamətdar haldır ki, bu qatda eninə seysmik dalğalar sönür, boyuna dalğalar isə demək olar ki, dəyişmir. Eninə dalğaların sürəti yer qabığı altında 4,6...4,7 km/san olduğu halda, sürət azaldan qatda onlar 0,2...0,3 km/san-yə qədər azalır. Yerin sürət azaldan qatdan üstdəki qatı litosfer, sürət azaldan qatı isə astenosfer adlanır.

Eninə dalğaların yayılma xarakteri mühitin bərkliyi və elastikliyini xarakterizə etdiyindən litosfer bərk və elastik xassəli üst qatdan ibarətdir. Astenosfer isə, eninə dalğaların bu qatda söndüyüünü nəzərə alsaq, bu qatın axma və sürüşmə xassəsinə malik olub, ərimiş kütlədən ibarət olması qənaətinə gəlirik. Süxurların sıxlığının dərinlik boyu dəyişməsi dəfələrlə müxtəlif tədqiqatçılar tərəfindən müəyyənləşdirilmişdir. O.Q. Soroxtin modelinə yaxın olan K. Bullen modeli geniş yayılmış modellərdəndir (şəkil 1.1.1) [5, 19].

Mantianının üst hissəsinin sıxlığı  $3,3 \text{ q/sm}^3$ -a bərabərdir, lakin yuxarı Mantiya ilə aşağı Mantianının sərhəddinə doğru getdikcə sıxlıq sürətlə artır və  $4,3 \text{ q/sm}^3$ -a çatır. Mantiya ilə nüvənin sərhəddində sıxlıq sıçrayışla  $5,5...5,7$ -dən  $5,9...10,0 \text{ q/sm}^3$ -a yüksəlir. Nüvənin daxilində isə sıxlıq  $12...13 \text{ q/sm}^3$ -a çatır. Ona görə də Nüvə Yer kürəsinin həcminin 16 %-ni təşkil etdiyi halda onun kütləsi, Yer kütləsinin 31 %-ni təşkil edir. Həm eninə və həm də uzununa seysmik dalğaların Nüvə sərhəddinə qədər yayılması Mantianının bərk vəziyyətdə, xarici Nüvədən dalğaların keçə bilməməsi isə onun maye vəziyyətində olduğunu göstərir.

## **1.2. Yer qatının energetik vəziyyəti**

Yer daxilindəki əsas enerji mənbəyi istilik enerjisidir. Bütün digər enerji növləri də son nəticədə istilik enerjisiniçəvrilir. Yer dərinliyinin energetik vəziyyətini onun səthində istilik axınıni öyrənməklə qiymətləndirmək olar. Bu istilik axını Yer daxilindəki istənilən istiliyin ayrılmazı və istilikkecirmə modeli üçün sərhəd şərti kimi qəbul edilə bilər.

Yer səthinin həm quru və həm də su örtüyünün vahid sahəsinə düşən konvektiv istilik axınının orta qiyməti eyni olub  $58,6\dots62,8 \text{ Vt/sm}^{-2}$  – ə bərabərdir. İl ərzində Yer səthindən ötürülən istilik miqdarı  $10^{28}$  erq-ə bərabərdir. Yer səthindən dərinliyə doğru temperaturun artması Yerin geotermik qradiyenti ilə xarakterizə edilir ki, bu da hər  $\text{km-}1$   $13\dots15^{\circ}\text{C}$ -yə bərabərdir. Buna uyğun olaraq 100 km dərinlikdə, başqa sözlə litosferin altında və ya astenosfer qatında temperatur  $1300\dots1500^{\circ}\text{C}$ -yə çatır ki, bu da bazalt süxurların ərimə temperaturuna bərabərdir. Bu ərimiş bazalt qatı astenosferi təşkil edir. Nəticədə astenosferdə seysmik dalğaların zəifləməsi baş verir. Dərinlik artdıqca geotermik qradiyent adiobatik qradiyentə yaxınlaşır, başqa sözlə, temperaturun dəyişməsi təzyiqin dəyişməsindən asılı olur. Mantiya materialı bərkimiş vəziyyətdə olduğundan onun temperaturu süxurların uyğun təzyiqdəki ərimə temperaturundan çox olmamalıdır. Keçid qatında, təxminən 400 km dərinlikdə təzyiqin  $125\dots130 \text{ kbar}$  qiymətində bu temperatur  $1600^{\circ}\text{C}$ -dən çox olmamalıdır. Mantiya ilə Nüvənin sərhəddində aparılan hesablamalar nəticəsində temperaturun  $2500..5000^{\circ}\text{C}$  olduğu qəbul edilir [3, 4, 5, 10]. Büyük dərinliklərdən istiliyin Yer səthinə ötürülməsi yalnız istilik keçirmə hesabına olsaydı,  $500\dots600 \text{ km}$  dərinlikdən istilik Yer səthinə 300 milyon ildən tez çatmazdı. Mantiya ilə Nüvə sərhəddindən isə istilik Yer səthinə Yerin yarandığı gündən indiyə kimi gəlib çata bilməzdi. Bu onu göstərir ki, Yerin daxili istiliyinin onun səthinə yayılması nəsə başqa üsulla baş verir. Ona görə də istiliyin konvektiv üsulla ötürülməsi mülahizəsi əsas qəbul edilir.

## **1.3. Yer kürəsinin yaranma prosesi**

Berzon modelində göstərilən müxtəlif qatların nə vaxt, hansı şəraitdə yarandığı, bu proseslərin indi də davam edib-etmədiyi sualları meydana çıxır.

Yer kürəsi Günəş sisteminə daxil olan planetlərdən biridir. Günəş sisteminin yaranma tarixi, Yer materialının yaranma tarixinə əsasən 4,6 milyard il qəbul edilir. Müasir kosmoqonik nəzəriyyəyə əsasən Günəş sisteminin planetləri qaz-toz buludlarından, onların sıxlaşması-diferensasiyası nəticəsində əmələ gəlmışdır. İlk buludların diferensasiyası nəticəsində daha yüngül qatlar və az sıxlıqlı hissələr Günəş sisteminin Saturn tipli xarici planetlərinin, daha sıx hissəsi isə Yer tipli daxili planetlərin əmələ gəlməsinə səbəb olmuşdur.

Beləliklə, Yer kürəsi temperaturu  $100\ldots200^{\circ}\text{C}$  olan, ilkin soyuq, qarışiq, qat-qat olmayan materialdan formalaşmağa başlamışdır. Yer kürəsindəki ən qədim mövcud materialın yaşı  $3,5\ldots3,8$  milyard ilə bərabərdir. Bunun Cünəş sisteminin yaranma tarixindən bir milyard il az olması, bu müddətdə ilkin materialın qızması və sıxlaşması təkamül perioduna uyğun gəldiyi təxmin edilir.

Qaz-toz buludlarının qızmasının ilkin mənbəyi yəqin ki, maddələrin radioaktiv parçalanması olmuşdur. Buraya ilk növbədə parçalanma periodu kiçik,  $10^5\ldots10^7$  il olan elementlər – alüminium-26, berillium-10 və s. elementlər daxildir. Bu elementlər indi də Yerdə vardır, lakin əvvəllər onlar daha çox olmuşdur. Bundan başqa, müəyyən edilmişdir ki, yarımparçalanma periodu  $1,3 \cdot 10^9$  il olan kalium-40 kimi maddələr indikindən 8 dəfə çox olmuşdur.

Bəzi hesablamalar göstərir ki, qısa müddət ömrü olan radioaktiv elementlərin - uranın, toriumun və kalium-40-in parçalanması nəticəsində yarım milyard il ərzində Yer materialının qismən əriməsi baş verə bilərdi. Yer materiyasının temperaturu, dəmirin ərimə temperaturu  $1600^{\circ}\text{C}$ -yə çatdıqdan sonra qravitasiya hesabına Mantiya və Nüvə qatlarının əmələ gəlməsi başlamışdır. Bu andan Yerin təkamülünün qravitasiya periodu başlayır. Bu mərhələdə əsas enerji mənbəyi rolunu Mantiya ilə Nüvə arasındakı əlaqə oynayır. Nüvənin yaranmasının geoloji müddəti ərzində ayrılan enerji  $1,6 \cdot 10^{38}$  ergə bərabərdir. Bu enerjinin yarısı Yerin qazmasına, qalanı isə süxurların əlavə olaraq qızmasına, faza dəyişməsinə, kimyəvi reaksiya və digər proseslərə sərf olunur. Bu enerji radioaktiv parçalanmadan alınan enerjidən əhəmiyyətli dərəcədə çox olub,  $0,41 \cdot 10^{38}$  ergə bərabərdir. Ona görə də, hazırda Yer dərinliyinin quruluşu, Litosfer plitələrinin hərəkəti Yer Mantiyasındaki konvektiv axınla izah olunur.

## **2. YER MANTİYASINDA KONVEKTİV MADDƏ MÜBADİLƏSİ**

### **2.1 Konveksiya və onun növləri**

Maye mühitinin müxtəlif yerlərində sıxlıq kontrastı olduqda bu mühitdə qravitasıya dayanıqsızlığı əmələ gəlir. Nəticədə maye kütləsinin hərəkəti baş verir ki, bu da konveksiya adlanır. Sıxlığın qeyri-bircinsliyinə mühitin istilik və kimyəvi müvazinətinin pozulması səbəb ola bilər. Konveksiyanın aşağıdakı növləri mövcuddur:

1. İstilik konveksiyası. Bu konveksiya temperaturlar fərqindən baş verir.
2. Qravitasıya konveksiyası. Bu konveksiya mayenin müxtəlif hissələrində sıxlıq kontrastının olması nəticəsində baş verir.
3. Kimyəvi-sıxlıq konveksiyası.

1916-cı ildə Reley tərəfindən iki paralel müstəvi arasında yerləşən və aşağıdan qızdırılan kinematik özlülüyü sabit, bircinsli, sıxılmayan Nyuton mayesinin özünü necə aparması tədqiq edilmişdir.

Müəyyən edilmişdir ki, mayedə konvektiv hərəkət:

$$R_a = \frac{\alpha \beta g h^4}{k \eta}$$

Reley ədədi 1500-dən böyük qiymət alındıqdan sonra başlayır. Burada  $\alpha$ -həcmi temperatur genişlənmə əmsalı,  $\beta$ -temperatur gradienti,  $k$ -istilik keçirmə əmsalı,  $\eta$ -özlülükdür. Reley ədədi əslində konveksiyani sürətləndirən və ləngidən faktorların nisbətindən ibarətdir.  $h = 10^8 \text{ sm} = 1000 \text{ km}$ ;  $g = 10^3 \text{ sm/san}^2$ ;  $\alpha = 10^5 \text{ grad}^{-1}$ ;  $k = 10^2 \text{ sm}^2/\text{san}$  olduqda konveksiya özlülüyü  $\eta = 10^{23}$  puaz və ifrat adiobatik temperatur qradientinin  $\beta = 0,1^\circ \text{ C}/\text{km}$  qiymətlərində baş verə bilər.

Reley-Benar modelinə uygun konveksiya düzgün struktura malikdir və burada daha isti axın yuxarı, daha soyuq axın isə aşağıya doğru hərəkət edir. Bu modelə uyğun konveksiya Yer qatlarında istiliyin ötürülməsinin əsas mexanizmlərindən biridir. İstilik ötürmənin effektliyi Nüsselt ədədi ilə müəyyən edilir. Bu ədəd

ötürülən ümumi istiliyin istilikkeçirmə vasitəsilə ötürülən istiliyə nisbəti kimi təyin edilir.

Bundan əlavə, konvektiv axını xarakterizə etmək üçün Reynolds ədədini də bilmək lazımdır. Reynolds ədədi

$$R_e = \frac{Vh}{\nu}$$

düsturu ilə təyin edilir. Burada  $V$  - axının sürəti,  $\nu$  - kinematik özlülük əmsalıdır. Reynolds ədədi maye axınının laminar və ya turbulent axın olmasını xarakterizə edir.  $h = 3 \cdot 10^8 \text{ sm}$ ;  $V = 10 \text{ sm/}il$ ;  $\nu = 10^{22} \dots 10^{25} \text{ stoks}$  olduqda Reynolds ədədi çox kiçik  $10^{-20} \dots 10^{-23}$  qiymətləri alır. Deməli Mantiyada turbulent hərəkətin olması mümkün deyil.

Mantiyada maddənin hərəkəti əslində Reley-Benar modelindəkindən daha mürəkkəbdir.

Son illərdə E.V. Artyuşkov və O.Q. Soroxtin tərəfindən Mantiyada konvektiv hərəkətin daha güclü mənbəyinin – mantiya maddəsinin kimyəvi – sıxlıqlı diferensasiyasının olduğu göstərilmişdir. Bunun nəticəsində Yer Nüvəsindən daha çox sıxlığı olan maddənin ayrılması baş verir. Yer Mantiyası maddəsinin konveksiya ehtimalını qəbul etməklə, konvektiv axının strukturunu daha mükəmməl təsəvvür etmək və onun litosferi təşkil edən sərt plitələrə təsirinə baxmaq mümkündür.

## 2.2 Yer mantiyasında konveksiya

Yer mantiyasının konvektiv hərəkətdə olması şübhə doğurmasa da litosfer plitələrinin hərəkət mexanizmi hələ də öz həllini tapmamışdır. O.Q.Soroxtinə görə Mantiya ilə Nüvə arasında gedən maddələr mübadiləsi nəticəsində Mantiya ilə Nüvə sərhəddində, Berzon qatında qeyri-bircins sıxlıq yaranır.

Mantiya materialı hesabına Nüvənin həcmi dəyişir. Bu halda belə bir kimyəvi reaksiyanın baş verməsi təsəvvür edilir:



Birvalentli dəmir oksidi Nüvəyə əlavə olunur, aşağı Mantiya isə gilli torpaq, silisium, kalsium və maqnezium oksid ilə zənginləşir. Aşağı Mantiyada üst qatlardakına nisbətən sıxlığı  $0,05 \text{ q/sm}^3$  az olan qat əmələ gəlir. Bu daha yüngül maddənin yuxarı qalxmasına səbəb olur.

Sıxlıq konveksiyasının effektivliyini qiymətləndirmək üçün O.Q.Soroxtin Reley düsturunda temperatur sıxlıq parametri  $\alpha\beta - n$  onlara ekvivalent olan  $\Delta\rho/\rho$ , istilikkeçirmə əmsalı  $K$ -ni isə diffuziya əmsalı  $D$  ilə əvəz etməyi təklif etmişdir. Onda Reley ədədi aşağıdakı şəkli alır:

$$R = \frac{\Delta\rho gh^3}{D\eta}, \quad (2.2.2)$$

burada  $\Delta\rho$  - Nüvə səthində materialın diferensasiyası nəticəsində sıxlığın azalması;

$\rho$  - Mantyanın sıxlığıdır.  $g = 10^3 \frac{\text{sm}}{\text{san}^2}$ ;  $h = 2,5 \cdot 10^8 \text{ sm}$ ;  $\eta = 10^{25} \text{ puaz}$ ;

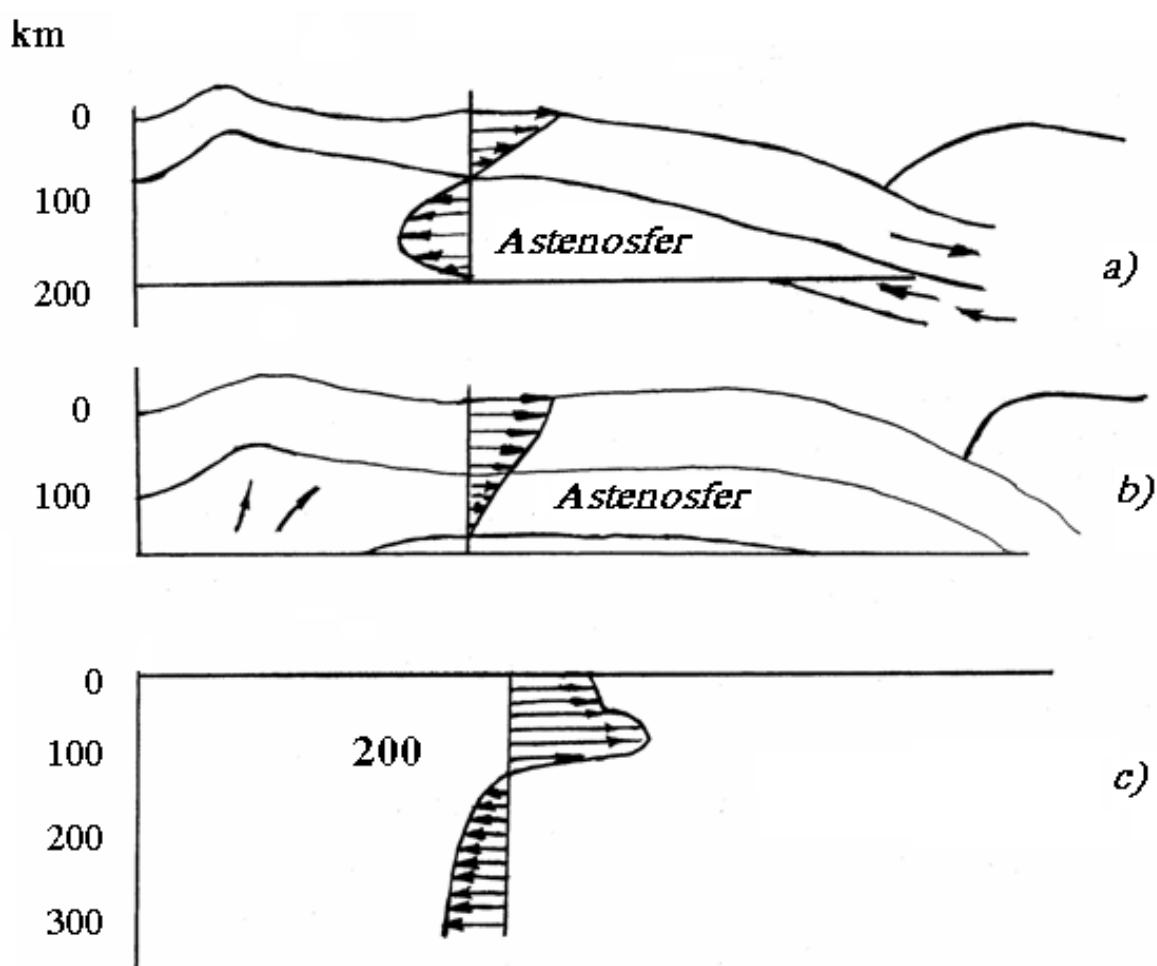
$D = 10^{-21} \dots 10^{-22} \frac{\text{sm}^2}{\text{san}}$ ;  $\Delta p = 0,05 \frac{\text{q}}{\text{sm}^3}$  qiymətlərində Reley ədədi  $10^{23}$ -ə bərabər olur. Bu da kritik qiymətdən 20 tərtib yüksəkdir. Deməli, maddənin kimyəvi qeyri-bircinsliliyi ilə bağlı ifrat adiobatik sıxlıq düşgüsünün ən kiçik qiymətində belə Yer Mantiyasında sıxlıq konveksiyası praktiki olaraq baş verəcəkdir.

Konvektiv axının sürətini bilmək də çox vacibdir. Bu sürət il ərzində bir neçə santimetr olub, litosfer plitələrinin sürüşmə sürətinə yaxındır. Astenosfer qatında sürətin üfüqi toplananı bir qəfəsli sistemdə ildə 70 santimetr, iki qəfəsli sistemdə isə ildə 40...50 santimetr təşkil edir. Şəquli istiqamətdə isə axının sürəti ildə 6...7,6 santimetr, aşağı Mantiyada isə ildə 3...3,6 santimetr təşkil edir. Litosfer plitəsinin hərəkət etməsinin əsas mexanizmi konvektiv axının özülü sürtünməsidir. Şək 2.2.1-də astenosferdə konvektiv axının müxtəlif variantları göstərilmişdir.

a) - Astenosferin üstündə axın sağa doğru, alt hissəsində isə əks istiqamətdə baş verir. Astenosferdən aşağıda axın yoxdur. b) və c) variantlarında əks axın Astenosferdən aşağı qatlarda baş verir. Astenosferdə isə axının istiqaməti litosfer plitələrinini hərəkət istiqaməti ilə eynidir. Amma b) variantında Astenosferdəki axının sürəti litosfer plitələrinin sürətindən az olduğundan bu axın plitələri sürüsdürə

bilmir. c) variantında isə Astenosferdəki axının sürəti plitələrin sürətindən çoxdur, ona görə də axın plitələri apara bilir. Ox işarələri hərəkətin istiqamətini göstərir.

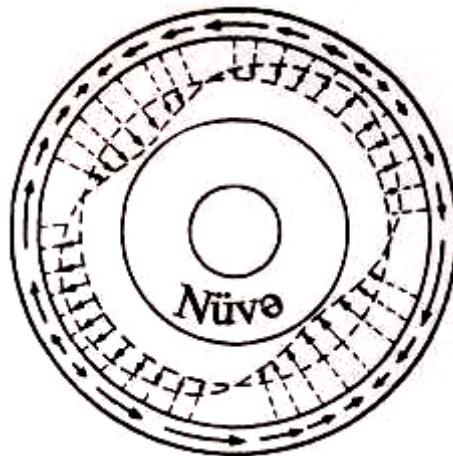
Geniş miqyashlı konveksiyanın baş verməsi, okeanların altında mövcud olan dağ silsilələrinin əmələ gəlməsi və plitələr daxilindəki maqmatizm kimi müxtəlif prosesləri daha dolğun izah etməyə imkan verir. Lakin yuxarı məntiyada lokal konveksiyaların da mövcud olmasını nəzərdən qaçırmak düzgün olmazdı. Litosfer plitələrinin məntiyaya batdığı yerlərdə lokal konveksiyalar baş versə də, onların təsiri ikinci dərəcəli olub, qlobal konvektiv axınla tamamilə uyğunlaşır.



**Şəkil 2.2.1. Astenosfer qatında konvektiv axım müxtəlif sxemləri**

## **2.3. Yer Mantiyasında qolobal konveksiya və qızmar nöqtələrin əmələ gəlməsi**

Qolobal konveksiya nəticəsində Mantiya materialı bir cüt əks qütblərdə yuxarıya doğru yerdəyişmə alarsa, digər əks qütblərdə Mantiya materialı Nüvəyə doğru sıxılır. (Şəkil 2.3.1). Astenosfer qatıqnda isə bir-birinin əksinə yönələn horizontal axınlar baş verir. Astenosfer qatında axının sürətinin minimum qiyməti qalxan və enən axınların mərkəzlərinin üstündə, maksimum qiyməti isə bu mərkəzlər arasında baş verir.



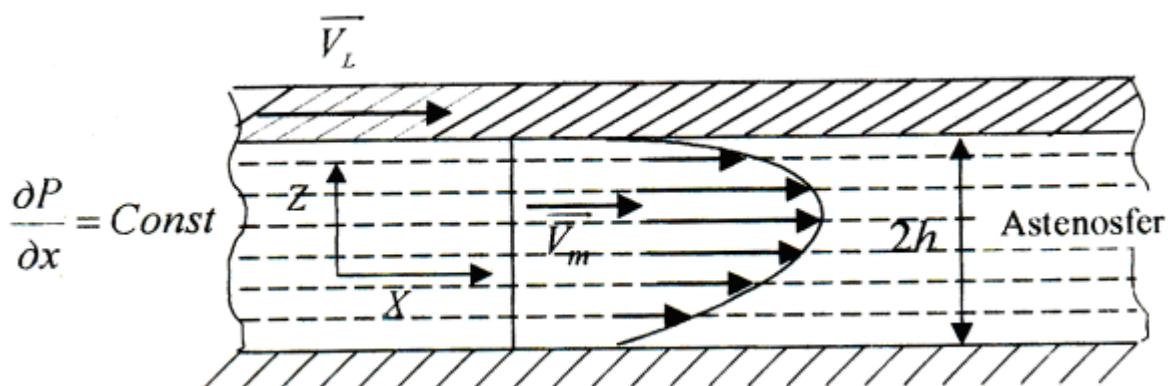
**Şəkil 2.3.1. Mantiyada konvektiv axının sxemi**

Mantiyanın qızmış obyektləri üzərində yerləşən vulkanik zəncirlər qızmar nöqtələr adlanır. Litosfer qatı qızmar nöqtələrinin üzərindən keçidikdə uzunluq boyu yanaraq vulkanik mərkəzlər əmələ gətirir. Qızmar nöqtələrinin əmələ gəlməsini izah etmək üçün Con Morqan Mantiya şırnaqları mexanizmini təklif etmişdir. Bu şırnaqlar nəticəsində aşağı Mantiyadan yuxarı qalxan Mantiya materialı istiliyi özü ilə birlikdə Yerin üst qatlarına aparır. Morqana görə Yer Mantiyasında 20...30 belə Mantiya şırnaqları mövcuddur. Bu şırnaqlar nəticəsində atmosferdə qızmar nöqtələrdə radial istiqamətdə horizontal axınlar baş verir və bu axınlar tektonik plitələrin sürüşməsinə səbəb olur. Qızmar nöqtələr və onlara uyğun Mantiya şırnaqları Yer relyefində Mantiya dəliklərindən çıxan maddələrin hesabına böyük şismələr əmələ gətirir. Qızmar nöqtələr Astenosfer qatında konvektiv axının yaratdığı sürtünmə hesabına meydana gələn əlavə istilik nəticəsində yaranır.

## **3. YER KÜRƏSİNİN LİTOSFER QATINDAKI TEKTONİK PROSESLƏRİN GEODİNAMİK ASPEKTLƏRİ**

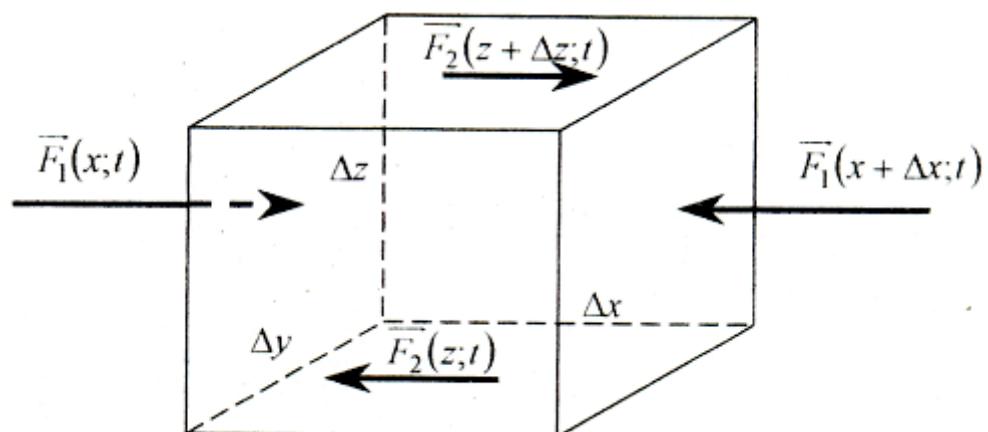
### **3.1. Astenosfer qatındaki axının hidrodinamikası**

Astenosfer qatındakı axına iki plitə arasında qərarlaşmış axın kimi baxılır. Alt plitə - Mantiya hərəkətsiz, üst plitə – litosfer sabit  $V_L = \text{const}$  sürəti ilə hərəkət edir. Astenosferdə üfüqi axın əsas qəbul edilir. Litosfer qatının bu axınla cəlb olunduğu qüvvəni tapaq. İki plitə arasında özülü mayenin müstəvi hərəkətinə baxaq (şəkil 3.1.1.).



Şəkil 3.1.1. Astenosferdə özülü mayenin stasionar axını

Təzyiq qradiyenti  $\frac{\partial P}{\partial x} = const$  qəbul edilir.  $OZ$  oxu şaquli,  $OX$  oxu isə üfűqi qəbul edilmişdir.  $OZ$  və  $OY$  oxları boyu axının sürəti sıfır ( $v_y = 0; v_z = 0$ ) qəbul edilir. Astenosferdəki maye elementinə baxaq (şəkil 3.1.2).



Səkil 3.1.2. Astenosfer maddəsinin elementi

burada  $F_2$  - özlü müqavimət qüvvəsi,  $V$  – sürət,  $\rho$  - mayenin sıxlığıdır. Elementin hərəkətinin diferensial tənliyini tərtib edək.

$$\Delta m \frac{dv}{dt} = F_1(x; z; t) - F_1(x + \Delta x; z; t) - F_2(x; z; t) + F_2(x; z + \Delta z; t) \quad (3.1.1)$$

burada  $\Delta m = \rho \Delta x \Delta y \Delta z$  – elementin kütləsidir.

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial V}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial V}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial V}{\partial z} \frac{dz}{dt} = \\ &= \frac{\partial V}{\partial z} + V_x \frac{\partial V}{\partial x} + V_y \frac{\partial V}{\partial y} + V_z \frac{\partial V}{\partial z} \approx \frac{\partial V}{\partial z} \end{aligned}$$

Təzyiq qüvvəsi  $F(x; t) = P \Delta y \Delta z$

$$\begin{aligned} F_1(x + \Delta x; t) &\approx F_1(x; t) + \frac{\partial F_1(x; t)}{\partial x} \Delta x \\ F_1(x; t) - F_1(x + \Delta x; t) &= -\frac{\partial F_1}{\partial x} \Delta x = -\frac{\partial p}{\partial x} \Delta x \Delta y \Delta z \end{aligned}$$

Özülü mayenin müqavimət qüvvəsi:

$$F_2(x; z + \Delta z; t) - F_2(x; z; t) \approx \frac{\partial F_2}{\partial z} \Delta z$$

Nyuton qanununa əsasən

$$F_2(z; t) = \eta \frac{\partial v}{\partial z} \Delta x \Delta y$$

burada  $\eta$  - mayenin dinamiki özlülük əmsalıdır.

Bu ifadələri (3.1.1) də yazsaq:

$$\rho \frac{\partial V}{\partial t} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \eta \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \quad (3.1.2)$$

Navye-Stoks tənliyini alırıq. Astenosfer qatındakı hərəkətdə

$$\begin{aligned} V &= 100 \frac{sm}{il} = 3 \cdot 10^{-6} \frac{sm}{san}; \tau = 10^3 \dots 10^4 il \approx 3 \cdot 10^{10} \dots 3 \cdot 10^{11} san. \\ \rho &= 3 \frac{q}{sm^3}; P = 300 bar = 3 \cdot 10^8 \frac{din}{sm^2}; \Delta P = \frac{P}{r} = 3 \frac{din}{sm^3} \end{aligned}$$

olan hal üçün

$$\rho \left| \frac{\partial V}{\partial t} \right| \approx \rho \frac{V}{\tau} = 10^{-16} \frac{din}{sm^3}; \quad \left| \frac{\partial P}{\partial x} \right| \approx 3 \frac{din}{sm^3}.$$

Ona görə də  $\rho \frac{\partial V}{\partial t}$ -ni  $\frac{\partial P}{\partial x}$ -ilə müqayisədə nəzərdən ata bilərik. Nəticədə

(3.1.2) tənliyi aşağıdakı şəkli alır:

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \eta \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \quad (3.1.3)$$

$$\frac{\partial P}{\partial x} = -A = const \quad (3.1.3)$$

qəbul etsək

$$\frac{d^2 v}{dz^2} = -\frac{A}{\eta}$$

alarıq. Onda

$$V = -\frac{Az^2}{2\eta} + C_1 Z + C_2 \quad (3.1.4)$$

$C_1$  və  $C_2$  aşağıdakı şərtlərdən təyin edilir;

$$z = \frac{h}{2} \text{ olduqda } V = V_L \text{ və } z = -\frac{h}{2} \text{ olduqda } V = 0.$$

Onda

$$C_1 = \frac{V_L}{h}; C_2 = \frac{Ah^2}{8\eta} + \frac{V_L}{2}$$

Deməli

$$V = \frac{A}{8\eta} (h^2 - 4z^2) + \frac{V_L}{2h} (h + 2z) \quad (3.1.5)$$

$V|_{z=0} = V_M$  qəbul etsək,  $\Delta P$ -ni təyin edə bilərik:

$$V_M = \frac{Ah^2}{8\eta} + \frac{V_L}{2} \quad (3.1.6)$$

$A = \frac{P_2 - P_1}{l}$  olduğundan,

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \frac{8\eta l(V_M - \frac{V_L}{2})}{h^2} \quad (3.1.7)$$

Deməli konvektiv prosesdə litosfer plitələri (3.1.7) ilə təyin edilən əlavə təzyiq qəbul edir. Bu zaman litosfer plitələrində əlavə gərginliklər yaranır.

### 3.2 Litosfer qatında gərginlik və deformasiyaların təyini

Litosfer qatına kənarları bağlı  $l$  radislı dairəvi plitə kimi baxıb, bu qatdakı deformasiya və gərginlikləri təyin edək.

Bu piltə mərkəzdən kənarlara doğru xətti qanunla paylanan  $\Delta P$  əlavə təzyiq altında olur. Müvazinət tənliyini yazaq:

$$D \frac{d}{dr} \left[ \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{dw}{dr} \right) \right] = \frac{1}{r} \int_0^r \Delta P_r r dr, \quad (3.2.1)$$

burada

$$D = \frac{E\delta^3}{12(1-\nu^2)};$$

$\delta$  - litosfer plitəsinin qalınlığı;  $E$  - elastiklik modulu;  $\nu$  - Puasson əmsalı;  $r$  - plitənin cari radiusudur.

$$\Delta P_r = \Delta p \left(1 - \frac{r}{l}\right).$$

onda

$$W = \frac{1}{D} \left[ \frac{\Delta P r^4}{64} - \frac{\Delta P r^5}{225l} + \frac{C_1 r^2}{4} + C_2 \ln r + C_3 \right]. \quad (3.2.2)$$

$C_1, C_2, C_3$  - integrallar sabitləri olub, aşağıdakı şərtlərdən təyin edilir;  $r = l$  olduqda

$$W = 0; r = l \text{ olduqda } \frac{dW}{dr} = 0 \text{ və } r = 0 \text{ olduqda } W \neq \infty.$$

Onda

$$C_1 = -\frac{29\Delta Pl^2}{360}; C_2 = 0; C_3 = \frac{43q\Delta\Pi l^4}{4800}.$$

$$W = \frac{\Delta P}{D} \left( \frac{r^4}{64} - \frac{r^5}{225l} - \frac{29l^2 r^2}{1440} + \frac{43l^4}{4800} \right). \quad (3.2.3)$$

$r = 0$  olduqda

$$W_{r=0} = \frac{\Delta Pl^4}{111,62D} \quad (3.2.4)$$

və ya

$$W_{r=0} = \frac{0.86\eta l^5 \left( V_M - \frac{V_L}{2} \right) (1-\nu^2)}{E\delta^3 h^2} \quad (3.2.5)$$

radial  $\sigma_r$  və çevrəvi  $\sigma_\theta$  gərginliklər  $r = 0$  olduqda bərabər olub aşağıdakı kimi təyin edilir [17].

$$\sigma_{r0} = \sigma_{\theta0} = \frac{6M_r}{\delta^2} \quad (3.2.6.)$$

$$M = -D \left( \frac{d^2 W}{dr^2} + \nu \frac{dW}{dr} \right) \quad (3.2.7.)$$

(3.2.2)-ni (3.2.7)-də nəzərə alsaq:

$$M = -\Delta P \left( \frac{3r^2}{16} - \frac{4r^3}{45l} - \frac{29l^2}{720} + \nu \frac{r^2}{16} - \nu \frac{r^3}{45l} - \nu \frac{29l^2}{720} \right) \quad (3.2.8.)$$

$r = 0$  olduqda

$$\sigma_{r_0} = \sigma_{\theta_0} = 0.24 \frac{\Delta Pl^2}{\delta^2} (1+\nu) \quad (3.2.9.)$$

(3.1.7)-ni (3.2.9)-da nəzərə alsaq

$$\sigma_{r_0} = \sigma_{\theta_0} = 1.92 \frac{\eta l^3 \left( V_M + \frac{V_L}{2} \right) (1+\nu)}{\delta^2 h^2} \quad (3.2.10.)$$

$V_L = 0$  olduqda (3.2.5) və (3.2.10) ifadələri aşağıdakı şəkil alır:

$$W_{r=0} = 0.86 \frac{\eta l^5 V_M (1-\nu^2)}{E\delta^3 h^2} \quad (3.2.11.)$$

$$\sigma_{r_0} = \sigma_{\theta_0} = 1.92 \frac{\eta l^3 V_M (1-\nu^2)}{\delta^2 h^2} \quad (3.2.12.)$$

Aşağıdakı hal üçün ədədi misala baxaq:

$$\eta = 10^{18} \frac{kq}{m \cdot \text{san}}, l = 100 \text{ km} = 10^5 \text{ m}; V_M = 70 \frac{\text{sm}}{il} = 2.22 \cdot 10^{-8} \frac{\text{m}}{\text{san}}; v = 0.3;$$

$$E = 0.5 \cdot 10^{11} \frac{N}{\text{m}^2}; h = 200 \text{ km} = 2 \cdot 10^5 \text{ m}; \delta = 20 \text{ km} = 2 \cdot 10^4 \text{ m}$$

Onda (3.2.11) və (3.2.12)-dən

$$W_{r_0} = 10 \text{ m}$$

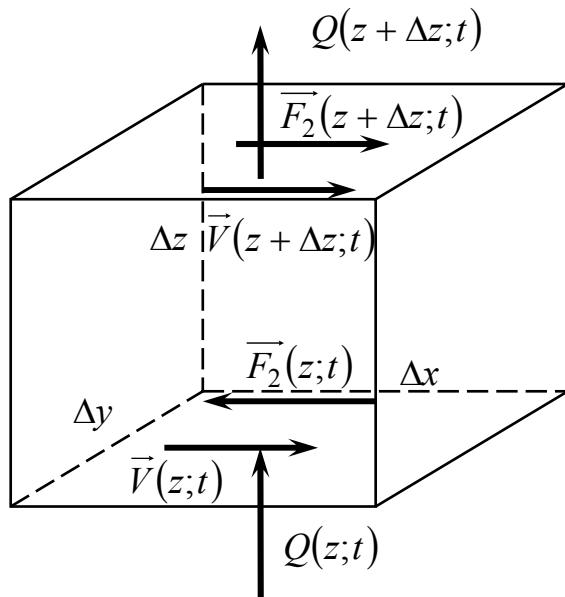
və

$$\sigma_{r_0} = \sigma_{\theta_0} = 3.38 \text{ MPa}.$$

Qranitin buraxıla bilən gərginliyinin 3 MPa olduğunu nəzərə alsaq litosfer qatının dağılması, vulkanik hadisələrin və zəlzələlərin baş verməsi ehtimalı yaranır. Mərkəzdə litosfer qatının 10 m qalxması vaş verir. Əgər bu su qatı altında olarsa, dəniz səviyyəsinin qalxması ehtimalı ola bilər. Bu da güclü zəlzələlərin baş verməzdən əvvəl Xəzərin səviyyəsinin qalxmasını izah edir.

### 3.3 Astenosfer qatında temperaturun dəyişməsi

Şəkil 3.1.3-də göstərilən elementdə istilik prosesinə baxaq.



**Şəkil 3.1.3. Astenosfer qatı elementində istilikkeçirmə**

Burada  $Q(z; t)$  vahid zamanda ötürülən istilik miqdarı,  $V$  - sürət,  $F$  - daxili sürtünmə qüvvəsidir.

Istilik balansı tənliyini tərtib edək:

$$\begin{aligned} & [Q(z;t) - Q(z + \Delta z;t) + F_z(z + \Delta z;t)V(z + \Delta z;t) - F_z(z;t)v(z;t)]\Delta t = \\ & = \rho \Delta x \Delta y \Delta z c \frac{\partial T}{\partial t} \Delta t \end{aligned} \quad (3.3.1)$$

Buradan

$$\begin{aligned} & \left\{ -\frac{\partial Q}{\partial z} \Delta z + \left[ F_z(z;t) + \frac{\partial F_z(z;t)}{\partial z} \Delta z \right] \left[ v(z;t) + \frac{\partial v(z;t)}{\partial z} \Delta z \right] - F_z(z;t)v(z;t) \right\} \times \\ & \times \Delta t = \gamma c \frac{\partial T}{\partial t} \Delta x \Delta y \Delta z \Delta t \end{aligned}$$

Furye qanununa əsasən

$$Q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \Delta x \Delta y$$

Nyuton qanununa əsasən  $F_z(z;t) = \eta \frac{\partial V}{\partial z} \Delta x \Delta y$  olduğunu nəzərə alsaq

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \eta \left( \frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 + \eta \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} V = \gamma c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.3.2)$$

burada  $\gamma$  - istilikkeçirmə əmsalı (kkal/m.saat°C). Nəticədə sistem üçün (3.3.1) və (3.3.2) dən ibarət hərəkət tənliyi və hal tənliklərini alırıq:

$$\left. \begin{aligned} \eta \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} &= \frac{\partial P}{\partial x} + \rho \frac{\partial V}{\partial t} \\ \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \eta \left( \frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 + \eta V \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} &= \gamma c \frac{\partial T}{\partial t} \end{aligned} \right\} \quad (3.3.3)$$

(3.2.3)- dəki ikinci tənliyə (3.1.5)- dən

$$V = \frac{A}{8\eta} (h^2 - 4z^2) + \frac{V_L}{2h} (h + 2z)$$

yazsaq

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \eta \left( \frac{V_L}{h} - \frac{A}{h} z \right)^2 - A \left[ \frac{A}{8\eta} (h^2 - 4z^2) + \frac{V_L}{2h} (h + 2z) \right] = \gamma c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.3.4)$$

alırıq. (3.2.4) tənliyi Astenosfer qatındakı istilikkeçirmə prosesinin diferensial

tənliyidir. Bu qatdan üstdəki, yəni litosferdəki istilikkeçirmə prosesi isə

$$\lambda_L \frac{\partial^2 T_L}{\partial z^2} = \gamma_L c_L \frac{\partial T_L}{\partial t} \quad (3.3.5)$$

differensial tənliyi ilə ifadə olunur.  $L$ - işarəsi litosferə aiddir. (3.3.4) və (3.3.5) tənlikləri üçün aşağıdakı şərtləri qəbul edirik:

$$t = 0 \text{ olduqda } T(z;0) = \varphi_1(z_1), \quad (3.3.6)$$

$$t = 0 \text{ olduqda } T_L(z_2;0) = \varphi_2(z_2), \quad (3.3.7)$$

$$z_1 = h \text{ olduqda } \lambda_1 \frac{\partial T}{\partial z} - \alpha_1 [T - T_L(0;t)] = 0, \quad (3.3.8)$$

$$z_1 = -h \text{ olduqda } \lambda_2 \frac{\partial T}{\partial z} + \alpha_2 (T - T_M) = 0, \quad (3.3.9)$$

$$z_2 = h_2 \text{ olduqda } \lambda_3 \frac{\partial T_L}{\partial z_L} - \alpha_3 (T_L - T_0) = 0, \quad (3.3.10)$$

$$z_2 = 0; z_1 = h \text{ olduqda } T_1(z_1;t) \Big|_{z_1=h} = T_L(z_2;t) \Big|_{z_2=h_L} \quad (3.3.11)$$

Aşağıdakı ölçüsüz kəmiyyətləri qəbul edib (3.2.4)....(3.3.11) ifadələrini ölçüsüz şəkildə yazaq:

$$\begin{aligned} \overline{T_A} &= \frac{T}{T_0}; \overline{z_1} = \frac{z}{h}; \overline{t} = \frac{t}{t_0}; a = \frac{\lambda}{c\gamma}; t_0 = \frac{h^2}{a}; T_0 = \frac{\eta v_L^2}{\lambda}; \\ \Pi_1 &= \frac{A^2 h^4}{8\eta^2 v_L^2}; t_{02} = \frac{h_1^2}{a_2}; \overline{z_2} = \frac{z}{h_2}; a_2 = \frac{\lambda_2}{c_2 \gamma_2} \end{aligned}$$

onda

$$\frac{\partial^2 \overline{T_A}}{\partial \overline{z_1}^2} + (1 - 2\sqrt{2\Pi_1} \overline{z_1})^2 - [\Pi_1(1 - 4\overline{z_1}^2) + \sqrt{2\Pi_1}(1 - 2\overline{z_1})] = \frac{\partial \overline{T_A}}{\partial \overline{t}} \quad (3.3.12)$$

$$\frac{\partial^2 \overline{T_L}}{\partial \overline{z_L}^2} = \frac{\partial \overline{T_L}}{\partial \overline{t}_2} \quad (3.3.13)$$

$$\overline{t_1} = 0 \text{ olduqda } \overline{T_a}(\overline{z_2};0) = \frac{\lambda \varphi_1(\overline{z_2})}{\eta v_L^2} = \overline{\varphi_1}(\overline{z_1}), \quad (3.3.14)$$

$$\bar{t}_2 = 0 \text{ olduqda} \quad \bar{T}_L(\bar{z}_2; 0) = \frac{\lambda \varphi_2(\bar{z}_2)}{\eta v_L^2} = \bar{\varphi}_L(z_2), \quad (3.3.15)$$

$$\bar{z}_1 = 1 \text{ olduqda} \quad \frac{\partial \bar{T}_A}{\partial \bar{z}_1} - \frac{\alpha_1 h}{\lambda_1} \left[ \bar{T}_A - \frac{\lambda T_L(0; t_2)}{\eta v_L^2} \right] = 0, \quad (3.3.16)$$

$$\bar{z}_1 = -1 \text{ olduqda} \quad \frac{\partial \bar{T}_A}{\partial z_1} + \frac{\alpha_2 L}{\lambda_2} \left[ \bar{T}_A - \frac{\lambda T_M}{\eta v_L^2} \right] = 0, \quad (3.3.17)$$

$$\bar{z}_2 = \frac{h_2}{h_2} = 1 \text{ olduqda} \quad \frac{\partial \bar{T}_L}{\partial z_L} - \frac{\alpha_3 h_2}{\lambda_3} \left[ \bar{T}_L - \frac{\lambda T_0}{\eta v_L^2} \right] = 0, \quad (3.3.18)$$

$$z_2 = 0; \quad z_1 = 1 \text{ olduqda} \quad \bar{T}_A(\bar{z}_1; \bar{t}) \Big|_{z_1=1} = \bar{T}_L(0; \bar{t}_2) \Big|_{z_2=0} \quad (3.3.19)$$

$$\lambda \frac{T_L(0; t)}{\eta v_L^2} = \bar{T}_L(0; \bar{t}); \quad \frac{\alpha_1 h}{\lambda_1} = Nu_1$$

$$\frac{\lambda T_M}{\eta v_L^2} = \bar{T}_M, \quad \frac{\alpha_2 h}{\lambda_2} = Nu_2,$$

$$\frac{\lambda T_0}{\eta v_L^2} = \bar{T}_0, \quad \frac{\alpha_3 h}{\lambda_3} = Nu_3$$

qəbul etsək, nəticədə aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$\frac{\partial^2 \bar{T}_A}{\partial \bar{z}_1^2} + (1 - 2\sqrt{2\Pi_1} \bar{z}_1)^2 - [\Pi_1(1 - 4\bar{z}_1^2) + \sqrt{2\Pi_1}(1 - 2\bar{z}_1)] = \frac{\partial \bar{T}_A}{\partial \bar{t}} \quad (3.3.20)$$

$$\frac{\partial^2 \bar{T}_L}{\partial \bar{z}_2^2} = \frac{\partial \bar{T}_L}{\partial \bar{t}_2}, \quad (3.3.21)$$

$$\bar{t} = 0 \text{ olduqda} \quad \bar{T}_A(\bar{z}_1; 0) = \bar{\varphi}_1(z_1) \quad (3.3.22)$$

$$\bar{t}_2 = 0 \text{ olduqda} \quad \bar{T}_L(\bar{z}_2; 0) = \bar{\varphi}_2(\bar{z}_2), \quad (3.3.23)$$

$$\begin{cases} \bar{z}_1 = 1 \\ \bar{z}_2 = 0 \end{cases} \text{ olduqda} \quad \frac{\partial \bar{T}_A}{\partial \bar{z}_1} - Nu_1 [\bar{T}_A(\bar{z}_1; \bar{t}) - \bar{T}_L(\bar{z}_2; t_2)] = 0 \quad (3.3.24)$$

$$\bar{z}_1 = -1 \text{ olduqda} \quad \frac{\partial \bar{T}_A}{\partial \bar{z}_1} + Nu_2 [\bar{T}_A(\bar{z}_1; \bar{t}) - \bar{T}_M] = 0, \quad (3.3.25)$$

$$\bar{z}_2 = 1 \text{ olduqda} \quad \frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{z}_2} - N_{u_3} [\bar{T}_L - \bar{T}_0] = 0 \quad (3.3.26)$$

$$\bar{z}_2 = 0; \quad z_1 = 1 \text{ olduqda } \bar{T}_A(\bar{z}_1; \bar{t}) = \bar{T}_L(\bar{z}_2; \bar{t}_2) \quad (3.3.27)$$

Göründüyü kimi, Astenosferdəki konvektiv istilik keçirmə prosesi  $\Pi_1; N_{u_1}; N_{u_2}; N_{u_3}$  kriteriyaları ilə müəyyən edilir. Burada

$$\Pi_1 = \frac{A^2 h^4}{8\eta^2 V_L^2} = \frac{\Delta P^2 h^4 \cdot \rho^2}{8l^2 \eta^2 V_L^2 \cdot \rho^2} = \left( \frac{\Delta P}{\rho V_L^2} \right)^2 \cdot \left( \frac{V_L h}{\nu} \right)^2 \cdot \left( \frac{h}{l} \right)^2$$

$E_u = \frac{\Delta P}{\rho V_L^2}$  - Eyler kriteriyası adlanır;  $R_e = \frac{V_L h}{\nu}$  - Reynolds kriteriyası adlanır.

Burada  $\nu = \frac{\eta}{\rho}$  kinematik özlülük əmsalıdır.  $\rho$  - sıxlıqdır.  $\bar{h} = \frac{h}{l}$ . Nəticədə

$$\Pi_1 = \frac{1}{8} E_u^2 R_e^2 \bar{h}^2 \quad (3.3.28)$$

yaza bilərik. Deməli  $\Pi_1$  - kriteriyası mövcud Eyler, Reynolds və  $\bar{h}$  - kriteriyalarının kompleksindən ibarətdir.

Astenosferdəki prosesin fiziki modelini yaratmaq üçün

$$\Pi_{1N} = \Pi_{1M}; \quad N_{u_{1N}} = N_{u_{1M}}; \quad N_{u_{2N}} = N_{u_{2M}}; \quad N_{u_{3N}} = N_{u_{3M}}$$

şərtlərini ödəyib  $\bar{T}_N - \bar{T}_M$  qəbul etməklə modeldən alınan nəticələri naturaya keçirmək mümkündür.

Məsələnin qismən sadələşdirilmiş variantına baxaq.  $\bar{T}_L$  - sabit qəbul etsək

$$\frac{\partial^2 \bar{T}_A}{\partial \bar{z}_1^2} + (1 - 2\sqrt{2\Pi_1} \bar{z}_1)^2 - [\Pi_1(1 - 4\bar{z}_1^2) + \sqrt{2\Pi_1}(1 - 2\bar{z}_1)] = \frac{\partial \bar{T}_A}{\partial t} \quad (3.3.29)$$

$$\bar{T}_A(\bar{z}_1; 0) = \varphi_1(\bar{z}_1) \quad (3.3.30)$$

$$\bar{z}_1 = 1 \quad \text{olduqda} \quad \bar{T}_A = \bar{T}_L \quad (3.3.31)$$

$$z_1 = -1 \quad \text{olduqda} \quad \bar{T}_A = \bar{T}_M \quad (3.3.32)$$

Ortaqlaşdırma üsulundan istifadə etməklə (3.3.29) və (3.3.32) məsələsini həll edək:

$$\psi(\bar{t}_1) = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 \frac{\partial \bar{T}_A}{\partial \bar{t}_1} d\bar{z}_1 \quad (3.3.33)$$

qəbul etsək

$$\frac{d^2\bar{T}_A}{dz_1^2} = \psi(\bar{t}_1) + A_1(\bar{z}_1)$$

$$\begin{aligned} \text{Buradan } A_1(\bar{z}_1) &= -\left(1 - 2\sqrt{2\Pi_1}\bar{z}_1\right)^2 + \Pi_1\left(1 - 4\bar{z}_1^2\right) + \sqrt{2\Pi_1}(1 - 2\bar{z}_1) \\ \bar{T}_A &= \frac{\psi(\bar{t}_1)\bar{z}_1^2}{2} + B(\bar{t}_1) + C_1\bar{z}_1 + C_2 \\ B_1(\bar{z}_1) &= \int \int A_1(\bar{z}_1) d\bar{z}_1 d\bar{z}_1 \end{aligned} \quad (3.3.34)$$

$T_A$ -nın bu ifadəsini sərhəd şərtləri (3.3.31) və (3.3.32)-də nəzərə alsaq

$$\begin{aligned} \frac{\Psi(\bar{t}_1)}{2} + B(1) + C_1 + C_2 &= \bar{T}_L, \\ \frac{\Psi(\bar{t}_1)}{2} + B(-1) - C_1 + C_2 &= \bar{T}_M, \end{aligned}$$

Burada

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{1}{2} [\bar{T}_L - \bar{T}_M + B(-1) - B(1)], \\ C_2 &= \frac{1}{2} [\bar{T}_L + \bar{T}_M - B(1) - B(1) - \Psi_1(\bar{t}_1)]. \end{aligned}$$

Nəticədə

$$\begin{aligned} \bar{T}_A &= \frac{\Psi_1(\bar{t}_1)}{2} \bar{Z}_1^2 + B(\bar{Z}_1) + \frac{1}{2} [\bar{T}_L - \bar{T}_M + B(-1) - B(1)] \bar{Z}_1 + \\ &+ \frac{1}{2} [\bar{T}_L + \bar{T}_M - B(-1) - B(1) - B(1) - \Psi_1(\bar{t}_1)], \\ \bar{T}_A &= \frac{\Psi_1(\bar{t}_1)}{2} (\bar{Z}_2^2 - 1) + B(\bar{Z}_1) + \frac{1}{2} [\bar{T}_L - \bar{T}_M + B(-1) - B(1)] \bar{Z}_1 + \\ &+ \frac{1}{2} [\bar{T}_2 + \bar{T}_M - B(-1) - B(1)] \end{aligned} \quad (3.3.35)$$

(3.3.35)-i (3.3.33)-də yazsaq, alarıq:

$$\Psi_1(\bar{t}_1) = \frac{\Psi_1(\bar{t}_1)}{3} + A_2 \quad (3.3.36)$$

$$A_2 = \frac{1}{2} \int_{-1}^{+1} \left\{ B(\bar{Z}_1) + \frac{1}{2} [\bar{T}_L - \bar{T}_M + B(-1) - B(1)] \bar{Z}_1 + \frac{1}{2} [\bar{T}_2 + \bar{T}_M - B(-1) - B(1)] \right\} d\bar{Z}_1$$

(3.3.36)-ni həll etsək:

$$\Psi_1(\bar{t}_1) = E e^{-3\bar{t}_1} + A_2 \quad (3.3.37)$$

(3.1.37)-ni (3.2.35)-də nəzərə alsaq

$$\begin{aligned} \bar{T}_A &= \frac{1}{2} (E e^{-3\bar{t}_1} + A_2 (\bar{Z}_1^2 - 1) + B(\bar{Z}_1) + \frac{1}{2} [\bar{T}_L - \bar{T}_n + B(-1) - B(1)] \bar{Z}_1 + \\ &+ \frac{1}{2} [\bar{T}_2 + \bar{T}_M - B(-1) - B(1)] \end{aligned} \quad (3.3.38)$$

(3.1.38)-i (3.2.30)-da nəzərə alsaq

$$\begin{aligned} \varphi_1(\bar{Z}_1) &= \frac{1}{2} (E + A_2) = \frac{1}{2} (\bar{Z}_1^2 - 1) + B(\bar{Z}_1) + \frac{1}{2} [\bar{T}_L - \bar{T}_M + B(-1) - B(1)] \bar{Z}_1 + \\ &+ \frac{1}{2} [\bar{T}_L + \bar{T}_M - B(-1) - B(1)] \end{aligned}$$

Bu ifadədən

$$\varphi_1(\bar{Z}_1) = B(\bar{Z}_1) + \frac{1}{2} [\bar{T}_L - \bar{T}_M + B(-1) - B(1)] \bar{Z}_1 + \frac{1}{2} [\bar{T}_2 + \bar{T}_M - B(-1) - B(1)]$$

qəbul etsək,  $E = -A_2$  alarıq. Onda

$$\begin{aligned} \bar{T}_A &= \frac{A_2}{2} (1 - e^{-3\bar{t}_1}) (\bar{Z}_1^2 - 1) + B(\bar{Z}_1) + \frac{1}{2} [\bar{T}_L - \bar{T}_M + B(-1) - B(1)] \bar{Z}_1 + \\ &+ \frac{1}{2} [\bar{T}_L + \bar{T}_M - B(-1) - B(1)] \end{aligned} \quad (3.3.39)$$

(3.3.39) ifadəsi Astenosfer qatında konvektiv istilik prosesində temperaturun dəyişməsini müəyyən etməyə imkan verir.

Vahid litosfer qatına ötürülən istilik miqdarı Fürye düsturu vasitəsi ilə təyin edilir

$$Q = -\lambda \frac{\partial \bar{T}_A}{\partial \bar{Z}_1} \Bigg|_{z=h} = -\eta V_L^2 h \left\{ \begin{array}{l} A_1 (1 - e^{-3\bar{t}_1}) + B_1 (1) + \frac{1}{2} [\bar{T}_L - \bar{T}_n + B(-1) - B(1)] \bar{Z}_1 + \\ + \frac{1}{2} [\bar{T}_L + \bar{T}_M - B(-1) - B(1)] \end{array} \right\} \quad (3.3.40)$$

$\bar{t}_1 = 0$  olduqda,

$$Q(0) = -\eta V_L^2 h \left\{ B_1'(1) + \frac{1}{2} [\bar{T}_L - \bar{T}_n + B(-1) - B(1)] \right\} \quad (3.3.41)$$

$\bar{t} = \infty$  olduqda,

$$Q(\infty) = -\eta V_L^2 h \left\{ A_2 + B_1'(1) + \frac{1}{2} [\bar{T}_L - \bar{T}_n + B(-1) - B(1)] \right\} \quad (3.3.42)$$

Ötürülən istiliklərin fərqi:

$$\Delta Q = Q(\infty) - Q(0) = -\eta V_L^2 h A_2 = \eta V_L^2 h E \quad (3.3.42)$$

olacaqdır.

### 3.4 Litosfer qatında qızmar nöqtələrdə temperaturun paylanması

Yer kürəsinin Litosfer qatının altında 18-ə qədər qızmar nöqtələr vardır. Astenosfer qatındaki konvektiv axın litosfer qatının altını müəyyən hissələrdə yandırıb qızdırır. Tutaq ki, qızmar nöqtələrin birində  $t = 0$  anında vahid sahədə  $Q = \rho c M$  istiliyi ötürülür.

Litosfer qatında temperaturun paylanması məsələsini həll edək. Koordinat başlangıcını litosfer qatının altında qəbul edib,  $OZ$  oxunu şaquli olaraq yuxarı yönəldək. Məsələni sadələşdirmək üçün başlangıç şərti,  $t = 0$  olduqda  $T(z:0) = 0$ ; litosfer qatının üstündə  $Z = \infty$  olanda  $T(\infty, t) = 0$  qəbul edirik.  $Z = 0$  olduqda

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial z} = -Q = -\rho c M$$

İstilikkeçirmə tənliyini yazaq

$$a \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.4.1)$$

$$t = 0 \text{ olduqda} \quad T(z,0) = 0 \quad (3.4.2)$$

$$z = 0 \text{ - da} \quad \lambda \frac{\partial T}{\partial z} = -\rho c M \quad (3.4.3)$$

$$z = \infty \text{ - da} \quad T(\infty, t) = 0 \quad (3.4.4)$$

Məsələni Karson çevrilməsini tətbiq etməklə operasiya üsulu ilə həll edək [16]:

$$\bar{T} = p \int_0^t T(z; t) e^{-pt} dt \quad (3.4.5)$$

Onda

$$a \frac{d^2 \bar{T}}{dz^2} = p \bar{T}, \quad (3.4.6)$$

$$\bar{T}(\infty, p) = 0 \quad (3.4.7)$$

$$\lambda \frac{d\bar{T}}{dz} \Big|_{z=0} = -\rho c M \quad (3.4.8)$$

(3.4.6)-nin həllindən

$$\bar{T} = C_1 e^{\sqrt{\frac{p}{a}} \cdot z} + C_2 e^{-\sqrt{\frac{p}{a}} \cdot z}. \quad (3.4.9)$$

(3.4.7) şərtinin ödənilməsi üçün  $C_1 = 0$  olmalıdır.

$$(3.4.8) \text{ şərtinin ödənilməsindən } C_2 = \frac{\rho c M}{\lambda \sqrt{\frac{p}{a}}} \text{ alırıq}$$

$$\frac{\lambda}{\rho c} = a \text{ olduğunu nəzərə alsaq } C_2 = \frac{M}{\sqrt{ap}} \text{ olacaq.}$$

Nəticədə

$$\bar{T}(z; p) = \frac{M}{\sqrt{ap}} e^{-\sqrt{\frac{p}{a}} \cdot z} \quad (3.4.10)$$

Buradan

$$\bar{T}(z; p) = \frac{M}{\sqrt{a}} \frac{1}{p} \sqrt{p} e^{-\sqrt{\frac{p}{a}} \cdot z} \quad (3.4.11)$$

Məlumdur ki, [6]

$$\sqrt{p} e^{-\sqrt{\frac{p}{a}} \cdot z} \rightarrow \frac{1}{\sqrt{\pi t}} e^{-\frac{z^2}{4at}}$$

Onda

$$\bar{T}(z; t) = \frac{M}{\sqrt{a}} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{\pi\tau}} e^{-\frac{z^2}{4a\tau}} d\tau$$

$$U = \frac{z}{2\sqrt{at}} \quad \text{qəbul etsək}$$

$$\sqrt{t} = \frac{z}{2\sqrt{au}}, \quad d\sqrt{t} = -\frac{z}{2\sqrt{au}^2} du \quad \text{alarıq.}$$

Onda

$$\begin{aligned} T &= \frac{2Mz}{\sqrt{a\pi}} \int_0^t e^{-\frac{z^2}{4a\tau}} d\sqrt{\tau} = \frac{-Mz}{a\sqrt{\pi}} \int_{\infty}^u \frac{e^{-u^2}}{u^2} du = \frac{Mz}{a\sqrt{\pi}} \left[ -\frac{e^{-u^2}}{u} \Big|_{\infty}^{\infty} - 2 \int_u^{\infty} e^{-u^2} du \right] = \\ &= \frac{Mz}{a\sqrt{\pi}} \left( \frac{e^{-u^2}}{u} - \sqrt{\pi} \operatorname{erfc} u \right) \end{aligned}$$

Nəticədə

$$T = \frac{Mz}{a\sqrt{\pi}} \left( \frac{e^{-u^2}}{u} - \sqrt{\pi} \operatorname{erfc} u \right) \quad (3.4.12)$$

Burada [16]

$$\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_u^{\infty} e^{-u^2} du = \operatorname{erfc} u = 1 - \operatorname{erf} u \quad \text{- qəbul edilmişdir.}$$

$$\operatorname{erf} u = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-t^2} dt .$$

$u$  -nun ifadəsini yerinə yazsaq

$$T(z; t) = \frac{Mz}{a\sqrt{\pi}} \left[ \frac{2\sqrt{at}}{z} e^{-\frac{z^2}{4at}} - \sqrt{\pi} \operatorname{erfc} \left( \frac{z}{2\sqrt{at}} \right) \right] \quad (3.4.13)$$

alarıq.  $u = 0$  olduqda  $\operatorname{erf} u = 0$ ;  $u = \infty$  olduqda  $\operatorname{erf}(\infty) = 1$  oldugundan (3.4.13), ifadəsindən  $t = 0$  və  $z = \infty$  oldugda  $T = 0$  alırıq.

(3.4.13) ifadəsi litosferin altında sabit istilik mənbəyi yarandıqda Yer qabığında temperaturun artımını qöstərən ifadədir.

### 3.5 Litosfer qatında qızmar nöqtələrdə gərginliyin dəyişməsi

Litosfer qatında temperatur dəyişməsindən yaranan gərginliyi hesablamaq üçün Huq qanunundan istifadə edək:

$$\sigma = \varepsilon E \quad (3.5.1)$$

burada  $E$  - Yunq modulu;  $\varepsilon$  - nisbi deformasiyadır.

$$\varepsilon = \frac{\partial u}{\partial z} \quad (3.5.2)$$

$u$  - deformasiya olub, potensiallı  $\Phi$  funksiyası vasitəsi ilə:

$$u = \frac{\partial \Phi}{\partial z} \quad (3.5.3)$$

şəkilində ifadə edilir.

Potensiallı funksiya temperaturdan asılı olaraq aşağıdakı isfadədən təyin edilir [14, 16]:

$$\bar{\Phi} = \frac{1+\mu}{1-\mu} \alpha a \int_0^t T dt + \Phi_0 + \Phi_1 t \quad (3.5.4)$$

Burada  $\mu$  - Puasson əmsali;  $\alpha$  - istidən genişlənmə əmsali;  $\Phi_0$  və  $\Phi_1$  - integral sabitləridir.

(3.5.4)-ün təsviri:

$$\bar{\Phi} = \frac{1+\mu}{1-\mu} \alpha a \cdot \frac{\bar{T}}{P} + \Phi_0 + \frac{\Phi_1}{P} \quad (3.5.5)$$

olacaq. (3.4.11)-i (3.5.5)-də yazsaq

$$\bar{\Phi} = \frac{1+\mu}{1-\mu} \alpha a \frac{M}{\sqrt{a}} \cdot \frac{1}{P} \cdot \frac{1}{P} \cdot \sqrt{P} \cdot e^{-\sqrt{\frac{P}{a}} \cdot z} \Phi_0 + \frac{\Phi_1}{P} . \quad (3.5.6)$$

Bağlama (Borel) teoreminə əsasən [6]:

$$\frac{1}{P} \bar{u}_1(P) \bar{u}_2(P) \rightarrow \int_0^t u_2(t-\tau) \cdot u_1(\tau) d\tau . \quad (3.5.7)$$

$$\bar{u}_1(P) = \sqrt{P} \cdot e^{-\sqrt{\frac{P}{a}} \cdot z} \rightarrow \frac{1}{\sqrt{\pi t}} e^{-\frac{z^2}{4at}} ,$$

$$\bar{u}_2(P) = \frac{1}{P} \rightarrow t$$

qəbul etsək

$$\Phi = \frac{1+\mu}{1-\mu} \alpha \sqrt{a} \frac{M}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^t (t-\tau) \cdot \frac{e^{-\frac{z^2}{4a\tau}}}{\sqrt{\tau}} d\tau \quad (3.5.8)$$

alariq. Buradan

$$\Phi = \frac{2(1+\mu)}{1-\mu} \alpha M \sqrt{\frac{a}{\pi}} \cdot \int_0^t (t-\tau) \cdot \frac{e^{-\frac{z^2}{4a\tau}}}{\sqrt{\tau}} d\sqrt{\tau} \quad (3.5.9)$$

$$u = \frac{z}{2\sqrt{at}} \quad \text{qəbul etsək, } \sqrt{\tau} = \frac{z}{2\sqrt{a} \cdot u} \quad \text{və}$$

$$d\sqrt{\tau} = -\frac{zdu}{2\sqrt{a} \cdot u^2}; \quad \tau = \frac{z^2}{4au^2}$$

Onda

$$\begin{aligned} \Phi &= \frac{2(1+\mu)}{1-\mu} \alpha M \sqrt{\frac{a}{\pi}} \cdot \int_0^t \left( t - \frac{z^2}{4au^2} \right) \cdot e^{-U^2} \left( -\frac{z}{2\sqrt{a} \cdot u^2} du \right) = \\ &= \frac{1+\mu}{1-\mu} \alpha M \frac{zt}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^t \left( -\frac{e^{-u^2}}{u^2} du \right) + \frac{1+\mu}{1-\mu} \cdot \frac{Mz^3}{4a\sqrt{\pi}} \int_{\infty}^U \frac{e^{-u^2}}{u^4} du + \Phi_0 + \Phi_1 t = \\ &= \frac{1+\mu}{1-\mu} \alpha M \frac{zt}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^t -\frac{e^{-u^2}}{u^2} du - \frac{1+\mu}{1-\mu} \cdot \frac{Mz^3}{4a\sqrt{\pi}} \int_{\infty}^U \frac{e^{-u^2}}{u^4} du + \Phi_0 + \Phi_1(t) \end{aligned} \quad (3.5.10)$$

Aşağıdakı integralları açaq:

$$\int_u^{\infty} \frac{e^{-u^2}}{u^2} du = \frac{e^{-u^2}}{u} \Big|_u^{\infty} - 2 \int_u^{\infty} e^{-U^2} du = \frac{e^{-u^2}}{u} - \sqrt{\pi} erfc u \quad . \quad (3.5.11)$$

$$\int_u^{\infty} \frac{e^{-u^2}}{u^4} du - \frac{e^{-u^2}}{u} \Big|_u^{\infty} - 2 \int_U^{\infty} \frac{e^{-u^2}}{u^2} du = \frac{e^{-u^2}}{3u^2} + \frac{2}{3} \left[ \frac{e^{-u^2}}{u} - \sqrt{\pi} erfc u \right] \quad (3.5.12)$$

(3.5.11) və (3.5.12)-nı (3.5.10)-da nəzərə alsaq

$$\Phi = \frac{1+\mu}{1-\mu} \alpha M \frac{zt}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{e^{-u^2}}{u} - \sqrt{\pi} \operatorname{erfc} u \right) - \frac{1+\mu}{1-\mu} \frac{\alpha M z^3}{4a\sqrt{\pi}} \left[ \frac{e^{-u^2}}{3u^2} + \frac{2}{3} \left( \frac{e^{-u^2}}{u} - \sqrt{\pi} \operatorname{erfc} u \right) \right] + \Phi_0 + \Phi_1(t) \quad (3.5.13)$$

$u = \frac{z}{2\sqrt{at}}$  - olduğunu nəzərə alsaq

$$\Phi = \frac{1+\mu}{1-\mu} \alpha M \frac{zt}{\sqrt{\pi}} \left[ e^{-\frac{z^2}{4a\tau}} - \sqrt{\pi} \operatorname{erfc} \left( \frac{z}{2\sqrt{at}} \right) \right] - \frac{1+\mu}{1-\mu} \frac{Mz^3}{4a\sqrt{\pi}} \left\{ \frac{e^{-\frac{z^2}{4at}}}{3 \frac{z^2}{4at}} + \frac{2}{3} \left[ \frac{e^{-\frac{z^2}{4at}}}{\frac{z^2}{4at}} - \sqrt{\pi} \operatorname{erfc} \left( \frac{z}{2\sqrt{at}} \right) \right] \right\} + \Phi_0 + \Phi_1(t)$$

yaza bilərik.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial z} &= \frac{1+\mu}{1-\mu} \alpha M \frac{zt}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{-2u^2 e^{-u^2} - e^{-u^2}}{u^2} + 2ue^{-u^2} \right) \frac{1}{2\sqrt{at}} + \frac{1+\mu}{1-\mu} \alpha M \frac{t}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{e^{-U^2}}{u} - \sqrt{\pi} \operatorname{erfc} u \right) - \\ &\quad - \frac{1+\mu}{1-\mu} \frac{3\alpha M z^2}{4a\sqrt{\pi}} \left[ \frac{e^{-u^2}}{3u^2} + \frac{2}{3} \left( \frac{e^{-u^2}}{u} - \sqrt{\pi} \operatorname{erfc} u \right) \right] - \\ &\quad - \frac{1+\mu}{1-\mu} \frac{\alpha M z^3}{4a\sqrt{\pi}} \left[ \frac{-2u^3 e^{-u^2} - 2ue^{-u^2}}{3u^4} + \frac{2}{3} \left( \frac{-2u^2 e^{-u^2} - e^{-u^2}}{u^2} - 2u^{-u^2} \right) \right] \frac{1}{2\sqrt{at}} \end{aligned}$$

Burada

$$\frac{\partial}{\partial u} [\operatorname{erf}(u)] = \frac{2}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2}$$

və

$$\frac{\partial}{\partial u} [\operatorname{erfc}(u)] = -\frac{2}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2}$$

olduğu nəzərə alınmışdır.

$$E = \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = \frac{1+\mu}{1-\mu} \alpha M \frac{t}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} \frac{(1-2u^2)}{u^2} \frac{1}{2\sqrt{at}} +$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1+\mu}{1-\mu} \alpha M \frac{tz}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{2\sqrt{at}} \frac{\left[ -2u(1-2u^2)e^{-u^2} - 4ue^{-u^2} \right] u^2 - 2u(1-2u^2)e^{-u^2}}{u^4} \cdot \frac{1}{2\sqrt{at}} + \\
& + \frac{1+\mu}{1-\mu} \alpha M \frac{t}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{-2u^2 e^{-u^2} - e^{-u^2}}{u^2} + 2e^{-u^2} \right) \frac{1}{2\sqrt{at}} - \\
& - \frac{1+\mu}{1-\mu} \frac{3\alpha M z}{2a\sqrt{\pi}} \left[ \frac{e^{-u^2}}{3u^2} + \frac{2}{3} \left( \frac{e^{-u^2}}{u} - \sqrt{\pi} \operatorname{erfc} u \right) \right] - \\
& - \frac{1+\mu}{1-\mu} \frac{3\alpha M z^2}{8a\sqrt{\pi at}} \left[ \frac{-2u^3 e^{-u^2} - 2ue^{-u^2}}{3u^4} + \frac{2}{3} \left( \frac{-2u^2 e^{-u^2} - e^{-u^2}}{u^2} + 2u^{-u^2} \right) \right] - \\
& - \frac{1+\mu}{1-\mu} \frac{\alpha M z^3}{4a\sqrt{\pi at}} \cdot \left[ \frac{\left( -2ue^{-u^2} + 2u^3 e^{-u^2} - e^{-u^2} \right) u^3 + 3u^2 \left( u^2 e^{-u^2} + e^{-u^2} \right)}{3u^6} + \right. \\
& \left. + \frac{1}{3} \left( \frac{-4u^3 e^{-u^2} + 4u^5 e^{-u^2} + 2u^3 e^{-u^2} + 4u^3 e^{-u^2} + 2ue^{-u^2}}{u^4} + 4ue^{-u^2} \right) \right] \frac{1}{2\sqrt{at}} = \\
& = \frac{1+\mu}{1-\mu} \alpha M \left\{ \frac{\sqrt{t}}{2\sqrt{a\pi}} \frac{(1-2u^2)}{u^2} e^{-u^2} + \frac{ze^{-u^2}}{2a\sqrt{\pi}u^3} (2u^4 - u^2 - 1) + \frac{\sqrt{t}}{2\sqrt{a\pi}} \frac{e^{-u^2}}{u^2} - \right. \\
& \left. - \frac{3z}{2a\sqrt{\pi}} \left[ \frac{e^{u^2}}{3u^2} + \frac{2}{3} \left( \frac{e^{-u^2}}{u} - \sqrt{\pi} \operatorname{erfc} u \right) \right] - \frac{z^2(u^2 + u + 1)}{4a\sqrt{\pi}atu^3} e^{-u^3} - \frac{z^3(16u^5 + 2u^4 + 2u^3 + u^2 + u + 3)}{24a^2t\sqrt{\pi}u^4} e^{-u^2} \right\}
\end{aligned}$$

Əlavə temperatur gərginliyi:

$$\begin{aligned}
\sigma = \varepsilon E = & \frac{1+\mu}{1-\mu} \alpha M E \left\{ \frac{\sqrt{t}}{2\sqrt{a\pi}} \frac{1-2u^2}{u^2} e^{-u^2} + \frac{z^2(2u^4 - u^2 - 1)}{2a\sqrt{\pi}u^3} e^{-u^3} + \frac{\sqrt{t}}{2\sqrt{a\pi}} \frac{e^{-u^2}}{u^2} - \right. \\
& - \frac{3z}{2a\sqrt{\pi}} \left[ \frac{e^{u^2}}{3u^2} + \frac{2}{3} \left( \frac{e^{-u^2}}{u} - \sqrt{\pi} \operatorname{erfc} u \right) \right] - \frac{\sqrt{t}(u^2 + u + 1)}{\sqrt{\pi}au} e^{-u^3} - \\
& \left. - \frac{z}{6au^2\sqrt{\pi}} (16u^5 + 2u^4 + 2u^3 + u^2 + u + 3) \right\} \tag{3.5.14}
\end{aligned}$$

ifadəsi ilə tapılı bilər.

### 3.6. Yer qatının enib qalxması. Dağ qatlarının əmələ qəlməsi

Müxtəlif tarixi dövrlərdə Yer qatının enib qalxması bir çox səbəblərdən olmuşdur. Bu prosesin əsas mənbəyi Nüvə və Mantiyada baş verən proseslərdir. Burada vulkanlar, zəlzələlər konvektiv maddə mübadilələri, kimyəvi proseslər, radioaktiv parçalanma, temperatur faktorları, qrunt sürüşmələri və s. aiddir. Aşağıda oxboyu sıxılmadan sükür qatlarının əmələ gəlməsinin mexanikasına baxılır.

Tutaq ki, en kəsik sahəsi  $A$  olan tir ox boyu  $F$  qüvvəsi ilə sıxılır (şək. 3.6.1)

Tirin əyilmiş oxunun diferensial tənliyini yazaq:

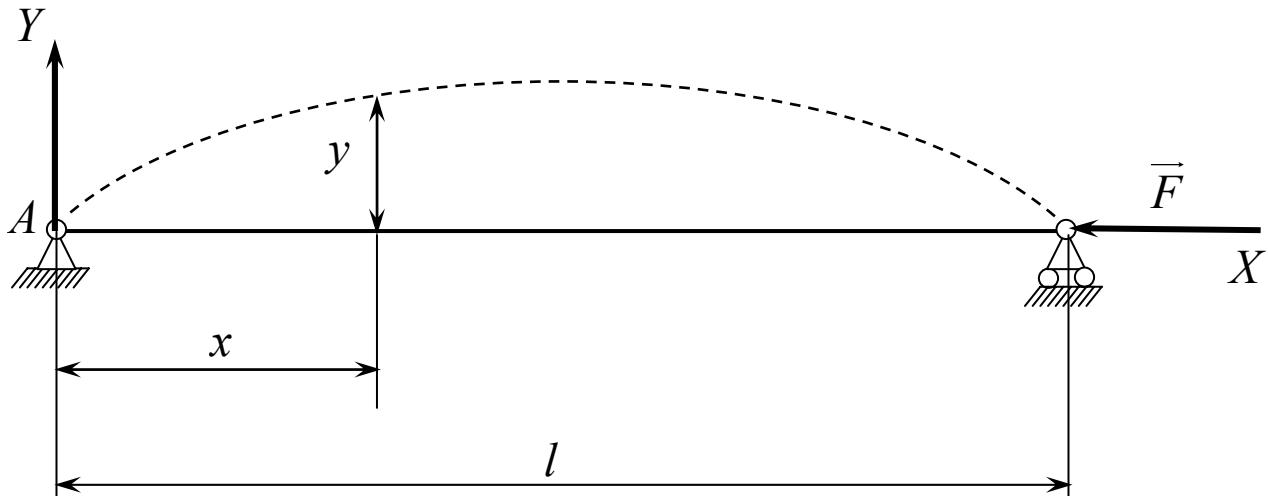
$$EIy'' = M \quad (3.6.1)$$

$F$  qüvvəsinin B kəsik mərkəzinə nəzərən momenti

$$M = -Fy \quad (3.6.2)$$

Onda

$$EIy'' = -Fy ,$$



Şəkil 3.6.1

Burada  $\frac{F}{EI} = \alpha^2$  qəbul etsək

$$y'' + \alpha^2 y = 0 \quad (3.6.3)$$

alariq. (3.6.3) diferensial tənliyinin həlli [6]

$$y = C_1 \cos \alpha x + C_2 \sin \alpha x \quad (3.6.4)$$

Sərhəd şərtləri aşağıdakı kimi olacaq:

$$x = 0 \text{ oldugda } y = 0 ;$$

$$x = l \text{ oldugda } y = 0 .$$

Bu halda  $C_1 = 0$  ;  $\sin \alpha l = 0$  alırıq.

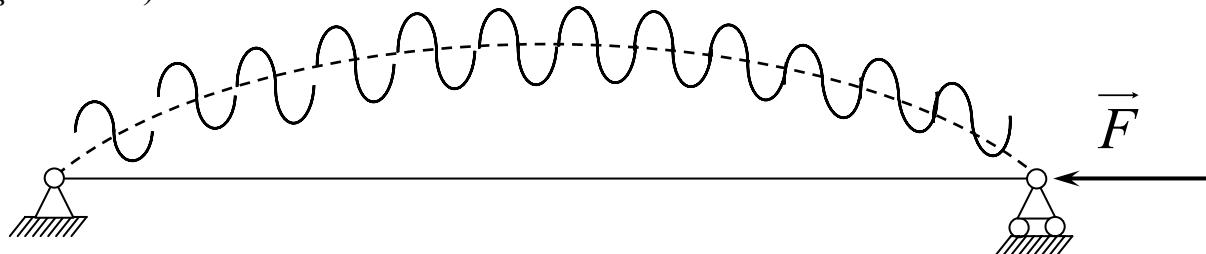
$\sin \alpha l = 0$  şərti  $\alpha l = 0; \pi, 3\pi, \dots, \pi n$ , ( $n$ -istənilən tam ədəddir) hallarında ödənilir.

Buradan  $\alpha l = \pi n$  və  $\alpha = \frac{\pi n}{l}$  alırıq.  $\alpha$ -nın qiymətini yerinə yazsaq kritik qüvvəni taparıq,  $n = l$  qiyməti üçün

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} . \quad (3.6.5)$$

(3.6.5) Eyler düsturu adlanır.

Kritik qüvvənin bu qiymətinə tırın əyilmiş oxunun bir yarımsinusoida forması uyğun qəlir. Kritik qüvvənin digər qiymətlərində sinusoida əyrilərinin sayı artır (şəkil 3.6.2).



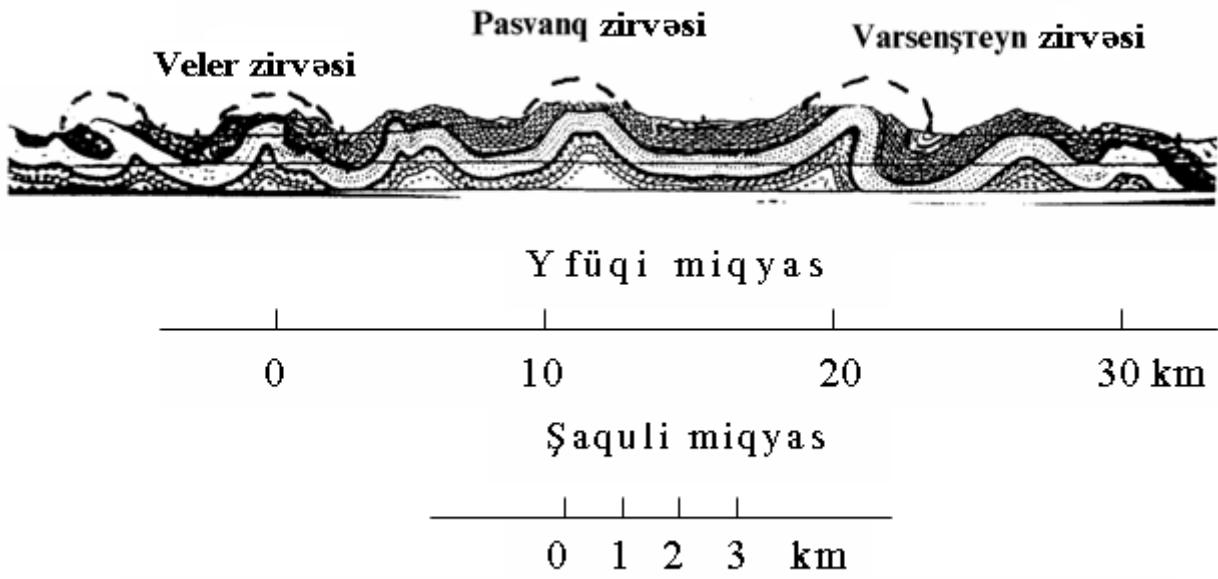
Şəkil 3.6.2

Özülü-plastik xassəyə malik olan dağ səxurlarında bu proses daha mürəkkəb şəkil alır (şək. 3.6.3). Sıxıcı qüvvə temperatur təsirindən yaranarsa

$$F = \alpha EA(T - T_0) \quad (3.6.6)$$

yaza bilərik. Burada  $\alpha$  - temperaturdan qenislənmə əmsalı;  $E$  - Yunq modulu,  $A$  - en kəsik sahəsi,  $T$  - baxılan andakı temperatur  $T_0$  - başlangıç temperaturdur. (3.6.6)-ni (3.6.5)-də nəzərə alsaq kritik temperaturun qiymətini alarıq:

$$T_{kr} = T_0 + \frac{\pi^2 EI}{\alpha E \alpha} , \quad (3.6.7)$$



**Şəkil 3.6.3. İsvəçrənin Yurd dağlarının profili [15]**

Ox boyu qüvvə ilə yanaşı tırın ortasından eninə  $P$  qüvvəsi də təsir edərsə onda tırın orta kəsiyinin deformasiyası aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$y = y_0 C \quad (3.6.8)$$

burada  $y_0$  - ancaq eninə qüvvə  $P$ -dən tırın orta kəsiyinin deformasiyasıdır.

$$y_0 = \frac{Pl^3}{48EI} \quad (3.6.9)$$

$$C\text{-düzləndirici əmsaldır} \quad C = \frac{1}{1 - \frac{F}{F_{kr}}} \quad (3.6.10)$$

Bu halda tirdə yaranan ən böyük gərginlik

$$\sigma_{\max} = -\frac{F}{A} - \frac{M_0 + M_t}{W_x} = -\frac{F}{A} - \frac{M_0}{W_x} - \frac{FY}{W_x(1 - \frac{F}{F_{kr}})} ; M_0 = \frac{PL}{4}; \quad (3.6.11)$$

Kritik qüvvə dağıdıcı qiymət alıqdə  $\sigma_{\max}$  - u ifadəsini  $\sigma_{ax.h}$  - axma həddi ilə əvəz edib (3.6.11)-i aşağıdakı şəkildə yazmaq lazımdır:

$$\sigma_{ax.h} = -\frac{F_n}{A} + \frac{M_0 n}{W_x} + \frac{F_n Y_0 n}{W_x \left(1 - \frac{F_n}{F_{kr}}\right)} \quad (3.6.12)$$

Buradan dağ sükurlarındaki qırışıkları əmələ gətirə bilən ox boyu  $F_n$  qüvvəsini tapmaq olar.

## 4. YER KÜRƏSİNİN MEXANİKASI

### 4.1 Kepler qanunları

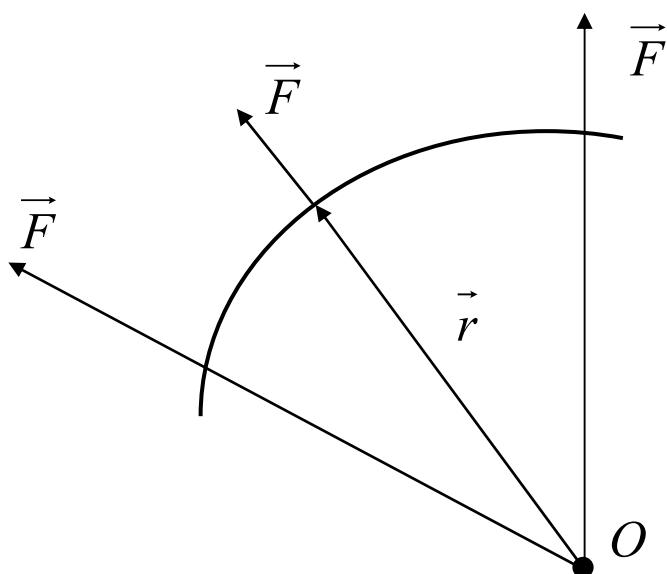
Planetlərin hərəkətinin uzun müddət müşahidəsi 1618-ci ildə Kepler qanunlarının ifadə olunması ilə nətijələndi. Bu qanunlar aşağıdakılardan ibarətdir:

1. Hər bir Planet fokslarının birində Günəşin yerləşdiyi ellips üzrə hərəkət edir.
2. Başlanğıçı orbitin foks nöqtələrinin birində yerləşən planetlərin radius vektorlarının cızdığı sahə zamana mütənasib olaraq artır.
3. Planetlərin orbitinin böyük yarımxoxunun kubunun, onların Günəş ətrafında dövr etmə müddətinin kubuna olan nisbəti sabit kəmiyyətdir.

1687-ci ildə Nyuton subut etmişdir ki, Kepler qanunları planetlərin kinematikası barədə tam təsəvvür yarada bilir.

### 4.2 Mərkəzi qüvvə təsiri altında planetlərin hərəkəti

Əgər maddi nöqtənin hərəkəti zamanı ona təsir edən qüvvə həmişə eyni bir tərpənməz mərkəzə yönələrsə, belə qüvvə mərkəzi qüvvə adlanır (şək.4.2.1).



Şəkil 4.2.1 Mərkəzi qüvvə

Bu hal üçün nöqtə hərəkətinin diferensial tənliyini

$$m \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{F}$$

aşağıdakı kimi yazaq.

$\vec{r} \times m \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{r} \times \vec{F}$ ,  $\vec{r}$  və  $\vec{F}$  vektorları kollinear olduğundan  $\vec{r} \times \vec{F} = \vec{m}_0(\vec{F}) = 0$  olacaq.

Onda

$$\vec{r} \times m \frac{d\vec{V}}{dt} = 0, \quad \vec{r} \times m \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{d(\vec{r} \times m\vec{V})}{dt}$$

kimi yaza bilərik. Nəticədə  $\frac{d(\vec{r} \times m\vec{V})}{dt} = 0$  və buradan  $\vec{r} \times m\vec{V} = \text{const}$  alırıq.

$m = \text{const}$  olduğundan

$$\vec{r} \cdot \times \vec{V} = \vec{C} \quad (4.2.1)$$

yaza bilərik. Burada  $\vec{C}$ -sabit vektordur.

(4.2.1) ifadəsindən qörünür ki, mərkəzi qüvvə təsiri altında maddi nöqtə müstəvi əyri üzrə hərəkət edir. Əks halda  $\vec{C}$  sabit vektor ola bilməz.

$$\vec{r} \times \vec{V} = \vec{r} \times \frac{d\vec{r}}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{d}{\Delta t} (\vec{r} \times \Delta \vec{r}) = 2 \frac{d\vec{\sigma}}{dt}$$

Burada  $2\vec{\sigma} = \vec{r} \times \Delta \vec{r}$  vektorial hasilinə bərabər olan vektordur. Qiymətcə  $\sigma = S_{\Delta OAB}$ .  $OAB$  sektorunun sahəsinə bərabərdir (şəkil 4.2.2). Ona görə də  $\frac{d\vec{\sigma}}{dt}$  sektorial sürət adlanır.

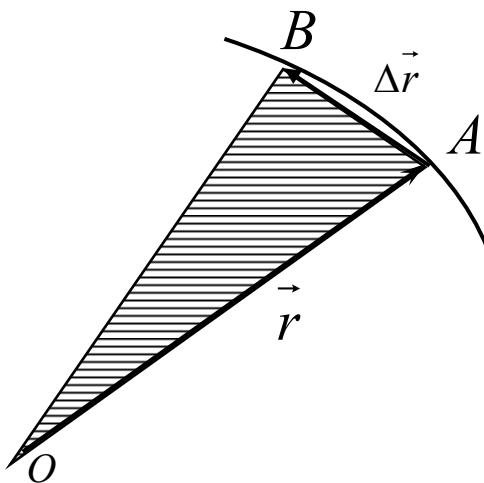
(4.2.1)-ə əsasən

$$2 \frac{d\vec{\sigma}}{dt} = \vec{C} \quad (4.2.2)$$

yaza bilərik. Buradan

$$2 \frac{d\sigma}{dt} = C \quad \text{və} \quad \sigma = \frac{C}{2} t + C_0 \quad (4.2.3)$$

alırıq.



**Şəkil 4.2.2 Sektorial sürət**

$C_0$  - integral sabitləridir. Xüsusi halda  $C_0 = 0$ . (4.2.3) Keplerin ikinçi qanununun riyazi ifadəsidir. Polyar koordinat sistemində

$$r^2 \frac{d\varphi}{dt} = C \quad (4.2.4)$$

Burada  $r$  və  $\varphi$  - nöqtənin poliar koordinatlarıdır. Poliar koordinatlar sistemində maddi nöqtənin hərəkətinin diferensial tənlikləri aşağıdakı kimi yazılırlar:

$$m \left[ \frac{d^2 r}{dt^2} - r \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \right] = F_r \quad (4.2.5)$$

$$m \left( r \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + 2 \frac{dr}{dt} \frac{d\varphi}{dt} \right) = F_\varphi \quad (4.2.6)$$

Mərkəzi qüvvə halında  $F_\varphi = 0$  və (4.2.6) tənliyinin həllindən (4.2.4) alınır.

(4.2.5)-də (4.2.4)-ü və  $u = \frac{1}{r}$  əvəzləməsi qəbul etsək Bine tənliyini alarıq;

$$mc^2 u^2 \left( \frac{d^2 u}{d\varphi^2} + u \right) = -F_r \quad (4.2.7)$$

Əgər mərkəzi qüvvə  $F_r$  yalnız nöqtənin koordinat mərkəzindən olan məsafəsindən asılı olarsa, yəni

$$F_r = F_r(u)$$

onda Bine tənliyini asanlıqla həll etmək olar.

$$\Psi(u) = -u - \frac{F_r(u)}{mc^2 u^2}$$

qəbul etməklə Bine tənliyini aşağıdakı kimi yaza bilərik

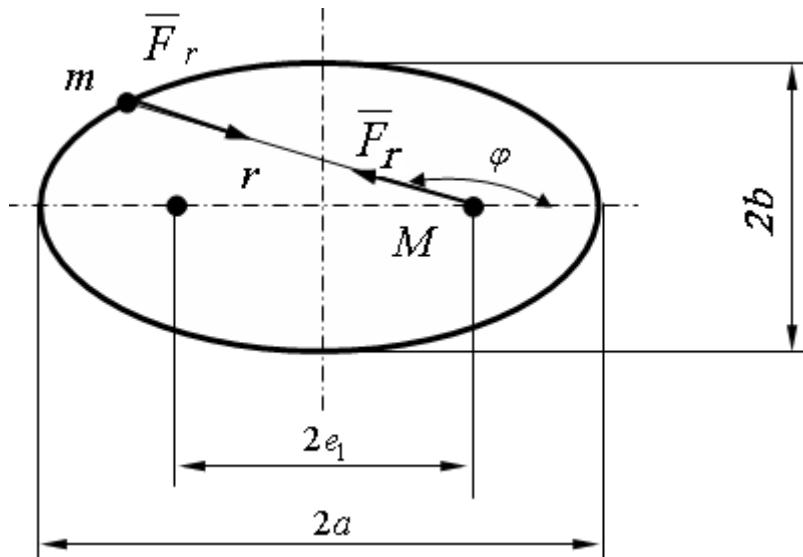
$$\frac{d^2u}{d\varphi^2} = \Psi(u) \quad (4.2.8)$$

İndi də planetlərin trayektoriyasının məlum olduğu hal üçün onlara təsir edən qüvvəni təyin edək. Kepler qanunlarına əsasən planetlərin müstəvi əyrisi üzrə, sahə qanununa tabe olmaqla hərəkət etməsi, onların mərkəzi qüvvə təsiri altında olması və bu qüvvənin Günəşdən keçməsi gənaətinə qətirir. Planetlərin trayektoriyasının ellips olduğunu qəbul edib, polyar koordinat sistemində ellipsoid tənliyini yazaq

$$r = \frac{P}{1 - e \cos \varphi} \quad (4.2.9)$$

Burada  $r$  - planetin qütbi radiusudur, mərkəz Günəşdə qəbul edilir;  $e = \frac{e_1}{a}$  -

ellipsoidun eksentrisitetidir;  $p = \frac{b^2}{a}$  - ellipsoidun parametri;  $a$  və  $b$  ellipsoidun yarımoxları,  $e_1$  - foks məsafəsinin yarısıdır (şəkil 4.2.3).



### **Şəkil 4.2.3 Günəş və planetin qarşılıqlı təsiri.**

(4.2.9)-u Bine tənliyində (4.2.7) yerinə yazsaq

$$F_r = -\frac{me^2 u^2}{P} \quad (4.2.10)$$

Burada  $u = \frac{1}{r} = \frac{1 - e \cos \varphi}{P}$ ,  $\frac{e^2}{P} = fM$  qəbul etsək  $F_r$  üçün qiymətcə belə bir ifadə alarıq

$$F_r = f \frac{Mm}{r^2} \quad (4.2.11)$$

(4.2.11) ümumdünya cazibə qanununun ifadəsidir.  $M$  - Günəşin,  $m$  - planetin kütləsi;  $f$  - qravitasiya əmsalı adlanır. Ümumdünya cazibə qanununa əsasən iki cismin qarşılıqlı təsir qüvvəsi onların kütlələrinin hasili ilə düz, aralarındakı məsafənin kvadratı ilə tərs mütənasibdir.

Bu qanun 1687-ci ildə ingilis alimi Nyuton tərəfindən planetlərin hərəkətinin empirik öyrənilməsi nəticəsində çıxarılmışdır və təbiət elminin ən mükəmməl qanunlarındandır.

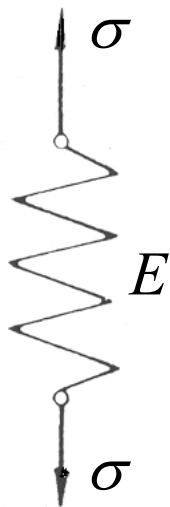
### 4.3. Reoloji modellər [14]

Süxurların gərginlikli - deformasiyalı vəziyyətini tədqiq etmək üçün ilk növbədə onların fenomenoloji modellərini qurmaq lazımdır. Bu modellər gərginlik, deformasiya və onların dəyişmə sürətləri arasında qurulmuş fiziki asılılıqdan ibarət olub əsasən materialların tədqiqatlarının nəticəsində alınan mə'lumatlara əsasən müəyyənləşdirilir. Onların riyazi ifadələri müəyyən ardıcılıqla əlaqələndirilən sadə elementlərdən tərtib olunur. Sadə elementlərə misal olaraq materialın elastik xasəsini modelləşdirən elastik elementi (yay), özülü xassələri modelləşdirən mayeli elementi (dempfer, hidravlik amortizator) göstərmək olar. Elastik element şəkil 4.3.1-də, mayeli element isə şəkil 4.3.2-də verilmişdir. Rabitə deformasiyası birölçülü olduqda elastik elementin gərginliyi və nisbi deformasiyası arasındaki asılılıq Huk qanunu ilə ifadə edilir:

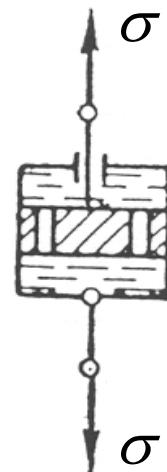
$$\sigma = E\varepsilon \quad (4.3.1)$$

burada  $E$  - elastiklik moduludur.

Mayeli elementdə piston ilə silindr arasında araboşluğunun olması nəzərdə tutulmalıdır. Piston hərəkət etdikdə araboşluğundan axan maye hərəkətinin hidrodinamik müqaviməti özlü müqaviməti xarakterizə edir.



**Şəkil 4.3.1 Elastik element**



**Şəkil 4.3.1 Özülü xassəli element**

Bu halda deformasiya (pistonun yerdəyişməsi) və gərginlik (piston tərəfindən ötürülən qüvvə) arasındaki asılılıq özülü cisimlər üçün Nyuton qanunu ilə ifadə olunur:

$$\sigma = \eta \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (4.3.2)$$

burada  $\eta$  – özlülük əmsalıdır.

Elastik və özülü elementləri ardıcıl birləşdirsək (Şəkil 4.3.3), onda hər hansı  $P$  qüvvəsinin təsiri ilə bu qüvvənin tətbiq nöqtəsinin yerdəyişməsi  $u$ , yayın uzanması  $u_1$  ilə pistonun silindrə nisbətən yerdəyişməsi  $u_2$  cəmindən ibarət olacaqdır:

$$u = u_1 + u_2.$$

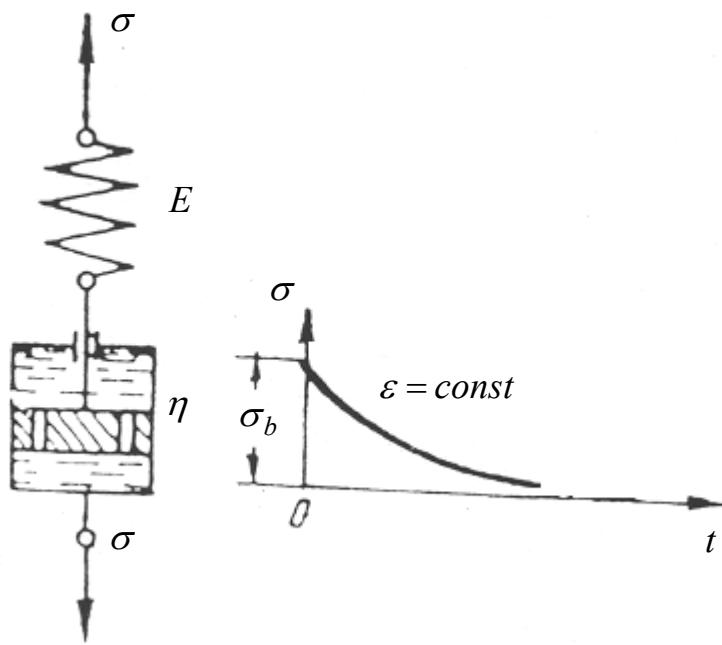
Bu asılılıqdan zamana görə törəmə alsaq:

$$\frac{du}{dt} = \frac{du_1}{dt} + \frac{du_2}{dt}$$

Alınan ifadənin hər iki tərəfini  $t$ -yə bölsək:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d\varepsilon_1}{dt} + \frac{d\varepsilon_2}{dt}$$

Burada  $\frac{u}{t} = \varepsilon$ ;  $\frac{du_1}{dt} = \dot{\varepsilon}_1$ ;  $\frac{du_2}{dt} = \dot{\varepsilon}_2$  qəbul olunmuşdur.



**Şəkil 4.3.3 Maksvel cismi**

(4.3.1) və (4.3.2)-yə əsasən axırıncı bərabərlikdən Maksvell cisminin deformasiya tənliyini alırıq.

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta} \quad (4.3.3)$$

$\sigma = \sigma_0 = \text{const}$  olduqda Maksvell cismi sabit sürətlə deformasiya olunacaqdır:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\sigma_0}{\eta}$$

Buradan  $\varepsilon|_{t=0} = \frac{\sigma_0}{E}$  şərtini nəzərə alsaq:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E} + \frac{\sigma_0}{\eta} t$$

alırıq.  $\varepsilon = \text{const}$  olduqda (4.3.3) tənliyindən

$$\frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta} = 0$$

olacaqdır. Axırıncı tənlikdə  $\sigma|_{t=0} = \sigma_0$  fərz etsək:

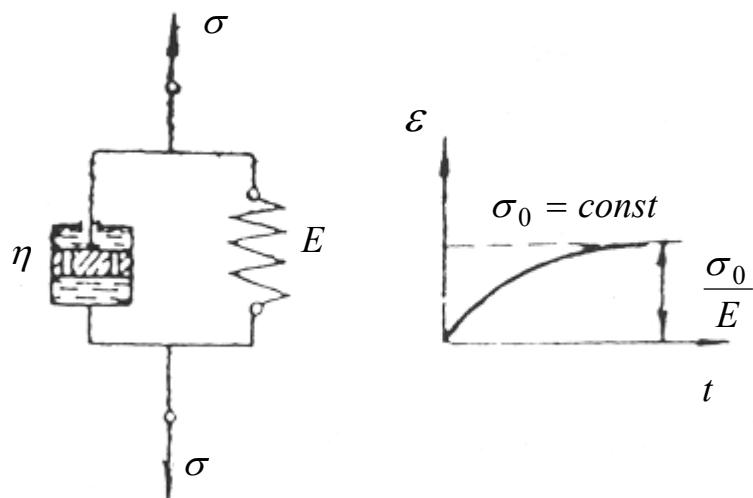
$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{t}{t_1}},$$

burada  $t_1 = \frac{\eta}{E}$  - gərginliyin relaksasiyası (boşalma) müddəti, başqa sözlə, sabit deformasiyada gərginliyin  $e$  dəfə azalması vaxtıdır.

Maksvell cismi üçün gərginliyin relaksasiya əyrisi şəkil 4.3.3-də göstərilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi gərginlik üstlü funksiya qanunu üzrə dəyişir və nəticədə sıfır yaxınlaşır.

Elastik və özülü elementləri paralel birləşdirək,  $P$  qüvvəsi şəkil 4.3.4-də təsvir olunan cismə təsir edən qüvvələrin cəminə bərabər olar:

$$P = P_1 + P_2$$



**Şəkil 4.3.4 Foyqt cismi**

Bu halda yayın uzunluğunun dəyişməsi və pistonun yerdəyişməsi eyni olacaqdır. Ona görə də

$$P_1 = cu, \quad P_2 = \frac{1}{k} \frac{du}{dt}$$

yaza bilərik. Onda

$$P = cu + \frac{1}{k} \frac{du}{dt}$$

olacaqdır.

Axırıncı ifadənin hər iki tərəfini  $A$ -ya bölüb

$$E = \frac{cl}{A}, \quad \sigma = \frac{P}{A},$$

$\eta = \frac{l}{kA}$  işarə etsək, Foyqt cisminin deformasiya tənliyini alırıq:

$$\sigma = E\varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt} . \quad (4.3.4)$$

$\varepsilon|_{t=0} = 0$  şərti ilə  $\sigma = \sigma_0 = const$  olduqda. (4.3.4)-ün həllindən

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E} \left(1 - e^{-\frac{t}{t_1}}\right) \quad (4.3.5)$$

alırıq.

Burada  $t_1 = \frac{\eta}{E}$  - elastikliyin sonrakı təsir muddətidir.

Bu hal üçün  $\varepsilon(t)$  əyrisi şəkil 4.3.4-də göstərilmişdir.

Digər sadə elementləri də nəzərdən keçirməklə və onların müxtəlif kombinasiyalarını yaratmaqla daha mürəkkəb mexaniki modellər düzəltmək mümkündür.

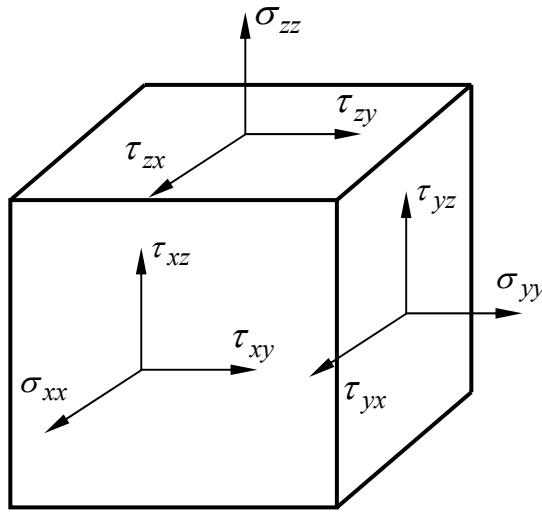
Ümumiyyətlə, fenomenoloji nəzəriyyənin quruluşu, öyrənilən hadisənin müəyyən qədər ideallaşdırılmasına əsaslanır. Bu əsasda tərtib olunan modellər mexaniki prosesin yalnız bəzi xassələrini əks etdirir. Onlar ən tipik cəhətləri əks etdirməklə tədqiqatı formalasdırmağa və müxtəlif riyazi üsullardan istifadə etməyə imkan verir.

#### 4.4 Elastik gərginlikli vəziyyət

Verilmiş nöqtə ətrafında gərginlikli vəziyyət  $\sigma_{xx}; \sigma_{yy}; \sigma_{zz}; \tau_{xy} = \tau_{yx}; \tau_{yz} = \tau_{zy}; \tau_{xz} = \tau_{zx}$  doqquz gərginliklə ifadə olunan tenzoru müəyyən edir Şəkil 4.4.1):

$$T_\sigma = \begin{vmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{vmatrix} \quad (4.4.1)$$

Koordinat oxlarını elə seçmək olar ki, elementar kubun yan üzlərində təsir edən toxunan gərginliklər sıfıra bərabər olsun. Bu oxlar baş oxlar adlanır. Baş oxlara uyğun normal gərginliklər  $\sigma_1; \sigma_2; \sigma_3$ ; ilə işarə olunur.



**Şəkil 4.4.1 Kubik elementdə üçoxlu gərginlikli vəziyyət**

Baş gərginliklərə görə gərginlik tenzoru aşağıdakı kimi yazılır

$$T_\sigma = \begin{vmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{vmatrix}$$

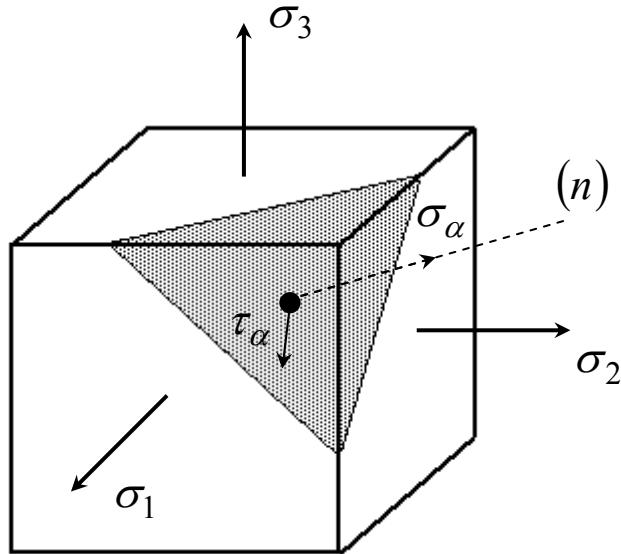
(4.4.2)-yə uyğun nisbi deformasiyaları  $\varepsilon_x; \varepsilon_y; \varepsilon_z; \gamma_{xy}; \gamma_{yz}; \gamma_{xz}$ - lə işarə etsək, onda ümumiləşmiş Huq qanununu aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E} [\sigma_{xx} - \mu(\sigma_y + \sigma_z)] \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E} [\sigma_{yy} - \mu(\sigma_x + \sigma_z)] \\ \varepsilon_{zz} &= \frac{1}{E} [\sigma_{zz} - \mu(\sigma_x + \sigma_y)] \\ \gamma_{xy} &= \frac{1}{G} \tau_{xy}; \gamma_{yz} = \frac{1}{G} \tau_{yz}; \gamma_{zx} = \frac{1}{G} \tau_{zx} \end{aligned} \right\} \quad (4.4.4)$$

Baş gərginliklər  $\sigma_1; \sigma_2; \sigma_3$ ; verilərsə, normalı baş oxlarla  $\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3$  bucaqları əmələ gətirən kəsikdə (şəkil 4.4.2) yaranan normal  $\sigma_\alpha$  və toxunan  $\tau_\alpha$  gərginlikləri aşağıdakı ifadələrdən təyin etmək olar:

$$\sigma_\alpha = \sigma_1 \cos^2 \alpha_1 + \sigma_2 \cos^2 \alpha_2 + \sigma_3 \cos^2 \alpha_3 \quad (4.4.5)$$

$$\tau_\alpha = \sqrt{\sigma_1 \cos^2 \alpha_1 + \sigma_2 \cos^2 \alpha_2 + \sigma_3 \cos^2 \alpha_3 - \sigma_\alpha^2} \quad (4.4.6)$$



**Şəkil 4.4.2 Kubik elementin baş gərginlikləri**

Normal gərginliyin ən böyük və ən kiçik qiymətləri

$$\max \sigma_\alpha = \sigma_1; \min \sigma_\alpha = \sigma_3. \quad (4.4.7)$$

Toxunan gərginliyin ən böyük qiyməti

$$\max \tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (4.4.8)$$

$\sigma_1$  və  $\sigma_3$  gərginlikləri oxlar ilə  $45^\circ$  bucaq əmələ gətirən və  $\sigma_2$ -yə paralel olan sahədə təsir edir. Müstəvi gərginlikli vəziyyətdə (şək. 4.4.3)  $\sigma_3 = 0$  və  $\alpha_2 = 90^\circ - \alpha$ ,

$$\sigma_\alpha = \sigma_1 \cos^2 \alpha_1 + \sigma_2 \cos^2 \alpha_2 \quad (4.4.9)$$

$$\tau_\alpha = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\alpha_1 \quad (4.4.10)$$

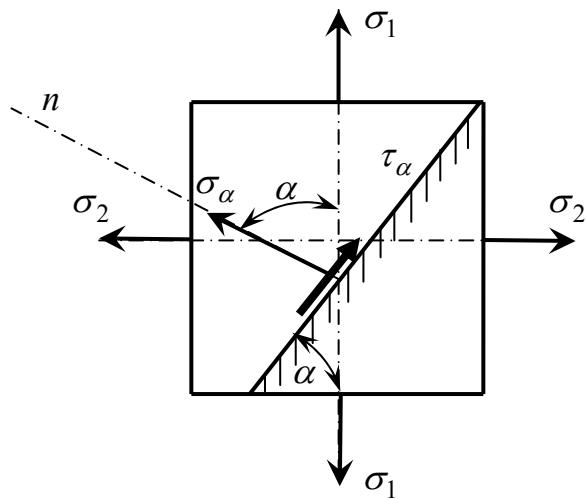
$$\begin{aligned} \max \sigma_\alpha &= \sigma_1 & \text{və} & \alpha_1 = 0; \\ \min \sigma_\alpha &= \sigma_2 & \text{və} & \alpha_1 = 90^\circ; \end{aligned} \quad (4.4.11)$$

$$\max \tau_\alpha = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad \text{və} \quad \alpha_1 = 45^\circ; \quad (4.4.12)$$

$\sigma_\alpha$  və  $\sigma_\beta$  məlum olarsa, baş gərginliklər

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_\alpha + \sigma_\beta}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_\alpha - \sigma_\beta)^2 + 4\tau_\alpha^2} \quad (4.4.13)$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\tau_\alpha}{\sigma_\alpha - \sigma_\beta} . \quad (4.4.14)$$

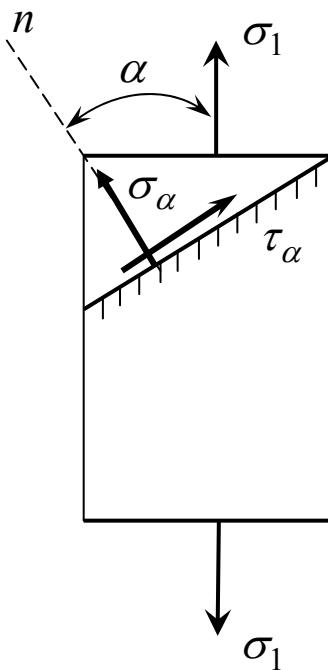


**Şəkil 4.4.3 Müstəvi, iki oxlu gərginlikli vəziyyət**

Toxunan gərginliyin qiyməti aşağıdakı ifadədən təyin edilir

$$\tau_{\max, \min} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_\alpha - \sigma_\beta)^2 + 4\tau_\alpha^2} \quad (4.4.15)$$

və baş müstəvi ilə  $45^\circ$  bucaq əmələ gətirən müstəvidə təsir edir. Bir oxlu gərginlikli vəziyyətdə  $\sigma_2 = 0$ ;  $\sigma_3 = 0$ ;  $\alpha_1 = \alpha$  olduğundan (şəkil 4.4.4)



**Şəkil 4.4.4. Biroxlu gərginlikli vəziyyət**

$$\sigma_\alpha = \sigma_1 \cos^2 \alpha \quad (4.4.16)$$

$$\tau_\alpha = \frac{1}{2} \sigma_1 \sin 2\alpha \quad (4.4.17)$$

$\alpha = 0$  olduqda  $\max \sigma_\alpha = \sigma_1$

$$\alpha = 45^\circ \text{ olduqda } \max \tau_\alpha = \frac{\sigma_1}{2} \quad (4.4.18)$$

#### 4.5 Mor dairəsi.

Bir oxlu gərginlikli vəziyyət üçün Mor dairəsini quraq. Bunun üçün absis oxu üzərində  $x = \frac{\sigma_{min}}{2}$  nöqtəsini ( $M$ ) mərkəz qəbul etməklə  $r = \frac{\sigma_x}{2}$  radiuslu bir çəvrə çəkək (şəkil 4.5.1).

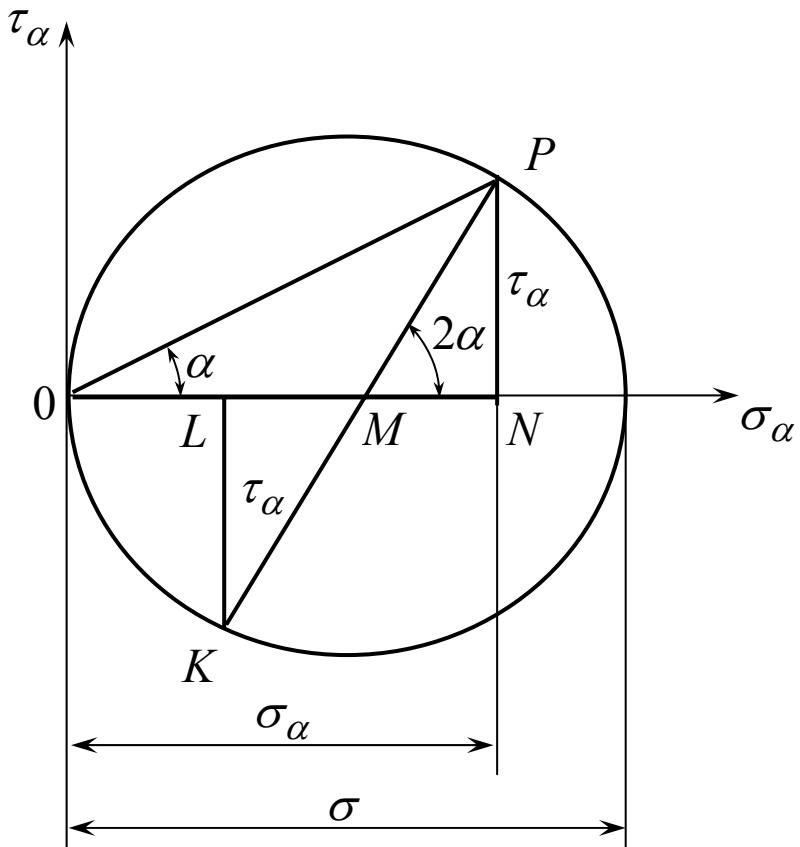
( $M$ ) nöqtəsindən üfüqlə  $2\alpha$  bucağı əmələ gətirən bir düz xətt çəkib, onu çəvrə ilə kəsişdirək. Göstərək ki, çəvrə üzərindəki  $P$  nöqtəsinin ordinatı normalı  $\sigma$  istiqaməti ilə  $\alpha$  bucağı əmələ gətirən kəsikdəki (şəkil 4.4.4) toxunan  $\tau_\alpha$ ; absisi isə həmin kəsikdəki normal gərginliyə  $\sigma_\alpha$  bərabərdir.  $MNP$  düzbucaqlı üçbucağından  $PN = MP \sin 2\alpha = \frac{\sigma}{2} \sin 2\alpha$ . Bu ifadə (4.4.17) ilə üst-üstə düşür. Deməli  $NP = \tau_\alpha$ .

İndi də  $ON$ -i təyin edək:

$$\begin{aligned} ON &= OM + MN = \frac{\sigma}{2} + \frac{\sigma}{2} \cos 2\alpha = \frac{\sigma}{2} + \frac{\sigma}{2} (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) = \\ &= \frac{\sigma}{2} (1 + \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) = \sigma \cos^2 \alpha \end{aligned}$$

Bu nəticə (4.4.16) ilə üst-üstə düşür. Deməli  $ON = \sigma_\alpha$ . Bu onu göstərir ki, Mor dairəsindəki hər hansı nöqtənin ordinatı kəsikdəki toxunan, absisi normal gərginliyə bərabərdir. Mor dairəsini iki oxlu (şəkil 4.5.2) gərginlikli vəziyyət üçün quraq (şəkil 4.5.2,b).  $O$  nöqtəsindən (şəkil 4.5.2)  $OB = \sigma_2$  və  $OA = \sigma_1$ , parçalarını ayırib  $AB$ -nin  $C$ nöqtəsini tapıb  $CA = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$  radiuslu çəvrə çəkək. Normalı  $\sigma_1$ -lə

$\alpha$  bucağı əmələ gətirən kəsikdəki  $\sigma_\alpha$  və  $\tau_\alpha$  gərginliklərini təyin etmək üçün  $C$  nöqtəsindəki  $AC$ -lə  $2\alpha$  bucağı əmələ gətirən  $CD_\alpha$  xəttini çəksək  $D_\alpha$  nöqtəsinin koordinatları  $K_\alpha D_\alpha = \tau_\alpha$  və  $OK_\alpha = \sigma_\alpha$  olacaqdır.



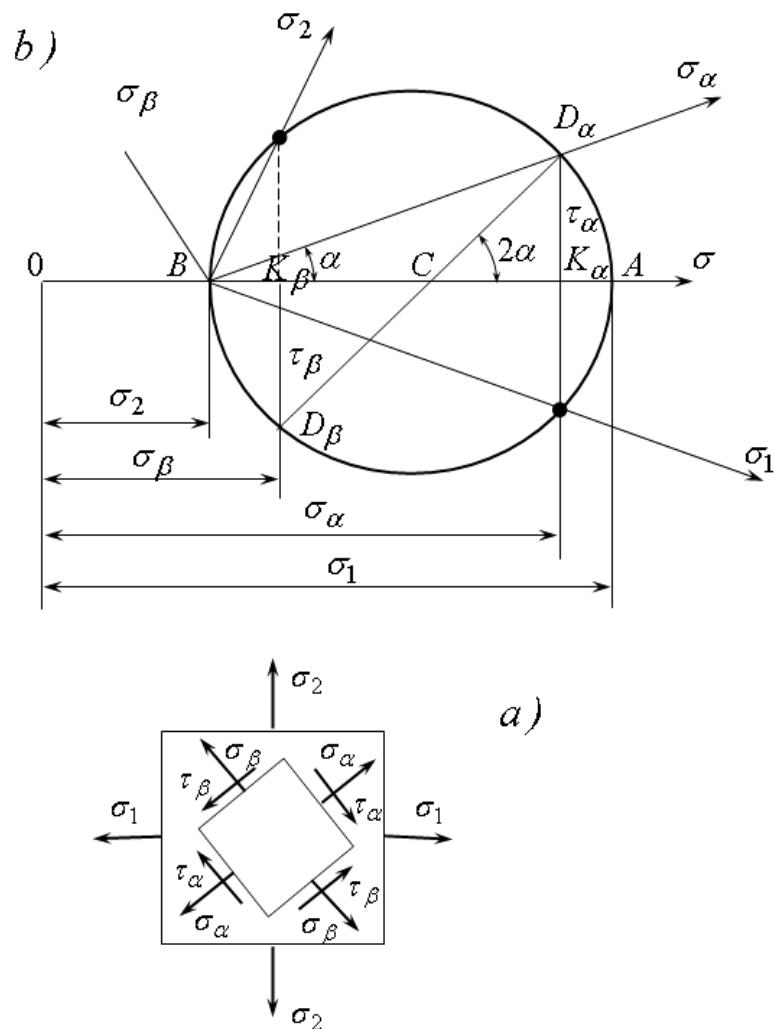
**Şəkil 4.5.1 Biroxlu gərginlikli vəziyyət üçün Mor dairəsi**

$CK_\alpha D_\alpha$  düzbucaqlı üçbucağından

$$K_\alpha D_\alpha = CD_\alpha \sin 2\alpha = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\alpha = \tau_\alpha$$

$$\begin{aligned} OK_\alpha &= OC + CK_\alpha = OB + BC + CD_\alpha \cos 2\alpha = \sigma_2 + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\alpha = \\ &= \sigma_1 + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}(1 + \cos 2\alpha) \sigma_2 + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} 2 \cos^2 \alpha = \sigma_2 + \sigma_1 \cos^2 \alpha - \sigma_2 \cos^2 \alpha = \\ &= \sigma_1 \cos^2 \alpha + \sigma_2 (1 - \cos^2 \alpha) = \sigma_1 \cos^2 \alpha + \sigma_2 \sin^2 \alpha = \sigma_\alpha \end{aligned}$$

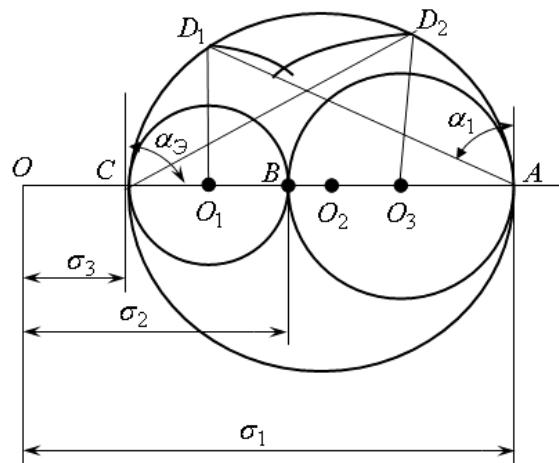
Deməli  $\tau_\alpha = K_\alpha D_\alpha$  və  $\sigma_\alpha = OK_\alpha$ .  $\sigma_1$  və  $\sigma_2$  verildikdə  $\sigma_1$  horizontal  $ox$  boyu yönələrsə  $\sigma_\alpha$  və  $\sigma_\beta$ -nin istiqamətləri şəkil 4.5.2,b-də göstərilmişdir.  $\sigma_\alpha$  və  $\tau_\alpha$  verildikdə və  $\sigma_\alpha$  horizontal  $ox$  boyu yönələrsə,  $\sigma_1$  və  $\sigma_2$ -nin istiqamətləri şəkil 4.5.2-də göstərildiyi kimi olur. İndi də üçoxlu gərginlikli vəziyyət üçün Mor dairəsini quraq.



**Şəkil 4.5.2. Müstəvi iki oxlu gərginlikli vəziyyət üçün Mor dairəsi**

**a) – elementdəki gərginliklər; b) – Mor dairəsi**

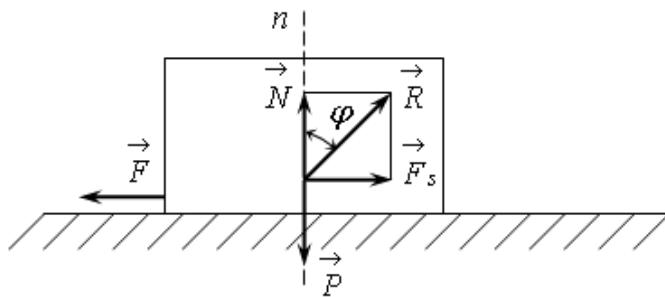
Normal baş gərgikliklər  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  və  $\sigma_3$ -lə uyğun olaraq  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  və  $\alpha_3$  bucaqları əmələ gətirən kəsikdəki gərginlikləri tapmaq üçün  $O$  nöqtəsindən  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  və  $\sigma_3$  gərginliklərini geyd edib  $A, B, C$  nöqtələrini tapdıqdan sonra mərkəzləri  $O_1, O_2$  və  $O_3$  nöqtələrində olmaqla üç çəvrə çəkirik.  $A$  və  $C$  nöqtələrindən çərvəyə toxunanlar çəkib onlarla  $\alpha_1$  və  $\alpha_3$  bucaqları əmələ gətirən xətlər çəkib, onları böyük çərvə ilə kəsişdirib  $D_1$  və  $D_2$  nöqtələrini tapırıq.  $O_1D_1$  və  $O_3D_2$  radiuslu çərvələr çəkib, onları kəsişdirsək alınan  $M$  nöqtəsinin koordinatları kəsikdəki  $\sigma$  və  $\tau$  gərginliklərinə bərabər olacaqdır (şəkil 4.5.3).



**Şəkil 4.5.3 Üçoxlu gərginlikli vəziyyət üçün Mor dairəsi**

#### 4.6 Amonton-Kulon qanunu

Tutaq ki, çəkisi  $\vec{P}$  olan prizmatik cisim üfiqi müstəvi üzərinə qoyulmuşdur (şəkil 4.6.1).



**Şəkil 4.6.1 Cisimlə səth arasında sürtünmə**

Bu cismə  $\vec{F}$  qüvvəsi tətbiq etməklə onu sürüşdurməyə çalışaq, qüvvənin kiçik qiymətlərində cisim yerindən tərpənməyəcəkdir. Qüvvənin müəyyən qiymətləndə cisim yerindən tərpənəcəkdir. Cismi yerindən ilkin olaraq tərpədə bilən üfüqi qüvvə cisimlə səth arasındakı sürtünmə qüvvəsinə  $\vec{F}_s$  bərabər olacaqdır. Səthin normal reaksiya qüvvəsi  $\vec{N}$  isə  $\vec{P}$ -ya bərabər olacaqdır.  $\vec{N}$  və  $\vec{F}$  qüvvəsini toplasaq  $\vec{R}$  qüvvəsini alarıq.  $\vec{R}$  və  $\vec{N}$  arasındaki bucağı  $\varphi$  ilə işaretə etsək

$$F_s = N \operatorname{tg} \varphi \quad (4.6.1)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = f \text{ ilə işaretə etsək } F_s = fN \quad (4.6.2)$$

alarıq. Burada  $f$  - sürtünmə əmsali;  $\varphi$  - isə sürtünmə bucağı adlanır.

Deməli sürtünmə qüvvəsi sürtünmə əmsalı ilə normal qüvvənin hasilinə bərabərdir. Bu, Amonton-Kulon qanunu adlanır və (4.6.2) onun riyazi ifadəsidir.

## 5. DƏNƏVƏR SÜXURLARIN MEXANİKASI

### 5.1. Dənəvər süxurların həddi vəziyyəti

Günəş təsirindən qurumuş qum süxurları, səpələnmiş quru süxurlar dənəvər süxurlara aid edilə bilər. Bu süxurlar deformasiyaya uğradıqda hissəciklər arasında yaranan sürtünmə qüvvəsi hissəciklərin bir-birinə nisbətən sürüşməsinə müqavimət göstərir. Qəbul edilir ki, hissəciklər arasında sürtünmə müqavimətini ifadə edən toxunan gərginlik  $\tau_n$  sürtünmə başlandığı anda sürüşən kəsikdə təsir edən normal gərginliklə  $\sigma_n$  mütənasibdir və bu mütənasiblik əmsalı sürtünmə əmsalı  $f$ -ə bərabərdir.

$$\tau_n \leq f\sigma_n \quad (5.1.1)$$

olan bütün hallarda baxılan səthdə sürüşmə baş verməyəcəkdir. Amonton-Kulon qanununa görə  $f = \tan \varphi$ . Dənəvər qumun müvazinətdə olması üçün bu süxurda:

$$-\sigma_n \tan \varphi < \tau_n < +\sigma_n \tan \varphi \quad (5.1.2)$$

şərti ödənilməlidir.

(5.1.2) bərabərsizlik şərti, bərabərliyə çevrildikdə sürüşmə başlayır. Bu halda  $\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$  radiuslu Mor dairəsi sürtünmə bucağı  $\varphi$  altında çəkilmiş düz xəttə  $OP$ -yə toxunmalıdır (şəkil 5.1.1).  $P$  nöqtəsinə uyğun qələn normal və toxunan gərginliklər  $\sigma_n = OC$  və  $\tau_n = CP$  olacaqdır.

$OPM$  düzbucaqlı üçbucağından:

$$\sin \varphi = \frac{MP}{OM} = \frac{\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}}{\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2} . \quad (5.1.3)$$

Buradan  $(\sigma_1 + \sigma_3) \sin \varphi = \sigma_1 - \sigma_3$ ,  $\sigma_1(1 - \sin \varphi) = \sigma_3(1 + \sin \varphi)$  və

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = \frac{\sin^2 \frac{\varphi}{2} + 2 \sin \frac{\varphi}{2} \cos \frac{\varphi}{2} + \cos^2 \frac{\varphi}{2}}{\sin^2 \frac{\varphi}{2} - 2 \sin \frac{\varphi}{2} \cos \frac{\varphi}{2} + \cos^2 \frac{\varphi}{2}} =$$

$$= \frac{\left(\sin\frac{\varphi}{2} + \cos\frac{\varphi}{2}\right)^2}{\left(\sin\frac{\varphi}{2} - \cos\frac{\varphi}{2}\right)^2} = \frac{\cos^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}{\sin^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)} = \operatorname{ctg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$$

Deməli,

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \operatorname{ctg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right). \quad (5.1.4)$$

Üçüncü – maksimum toxunan gərginlik nəzəriyyəsinə əsasən elementin dağılıması

$$\sigma_1 - \sigma_3 \geq [\sigma] \quad (5.1.5)$$

şərti ödənilidikdə baş verir. Burada  $[\sigma]$  - buraxılabilən gərginlikdir.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_3 \operatorname{ctg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \\ \sigma_1 &\geq [\sigma] - \sigma_3 \end{aligned} \right\}$$

Bu iki ifadənin birgə həllindən  $\sigma_1$  və  $\sigma_3 \geq [\sigma] \sin^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$  alırıq.

Digər tərəfdən

$$\sigma_3 = \frac{\sigma_1}{\operatorname{ctg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)}$$

$$\text{və} \quad \sigma_1 \geq [\sigma] - \frac{\sigma_1}{\operatorname{ctg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)},$$

$$\sigma_1 \geq \frac{[\sigma] \operatorname{ctg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)}{1 + \operatorname{ctg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)} = [\sigma] \cos^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$$

$$\sigma_3 \geq [\sigma] \cos^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$$

Deməli dənəvər mühitdə sürüşmə:

$$\sigma_1 \geq [\sigma] \cos^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (5.1.6)$$

və

$$\sigma_3 \geq [\sigma] \cos^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (5.1.7)$$

şərtləri ödənilmədikdə baş verir. Şəkil 5.1.1,b-dən göründüyü kimi:

$$2\alpha = 90^\circ + \varphi$$

və

$$\alpha = 45^\circ + \frac{\varphi}{2}$$

Deməli sürüşmə səthinə çəkilən normal  $\sigma_1$  ilə  $45^\circ + \frac{\varphi}{2}$  bucağı əmələ gətirir

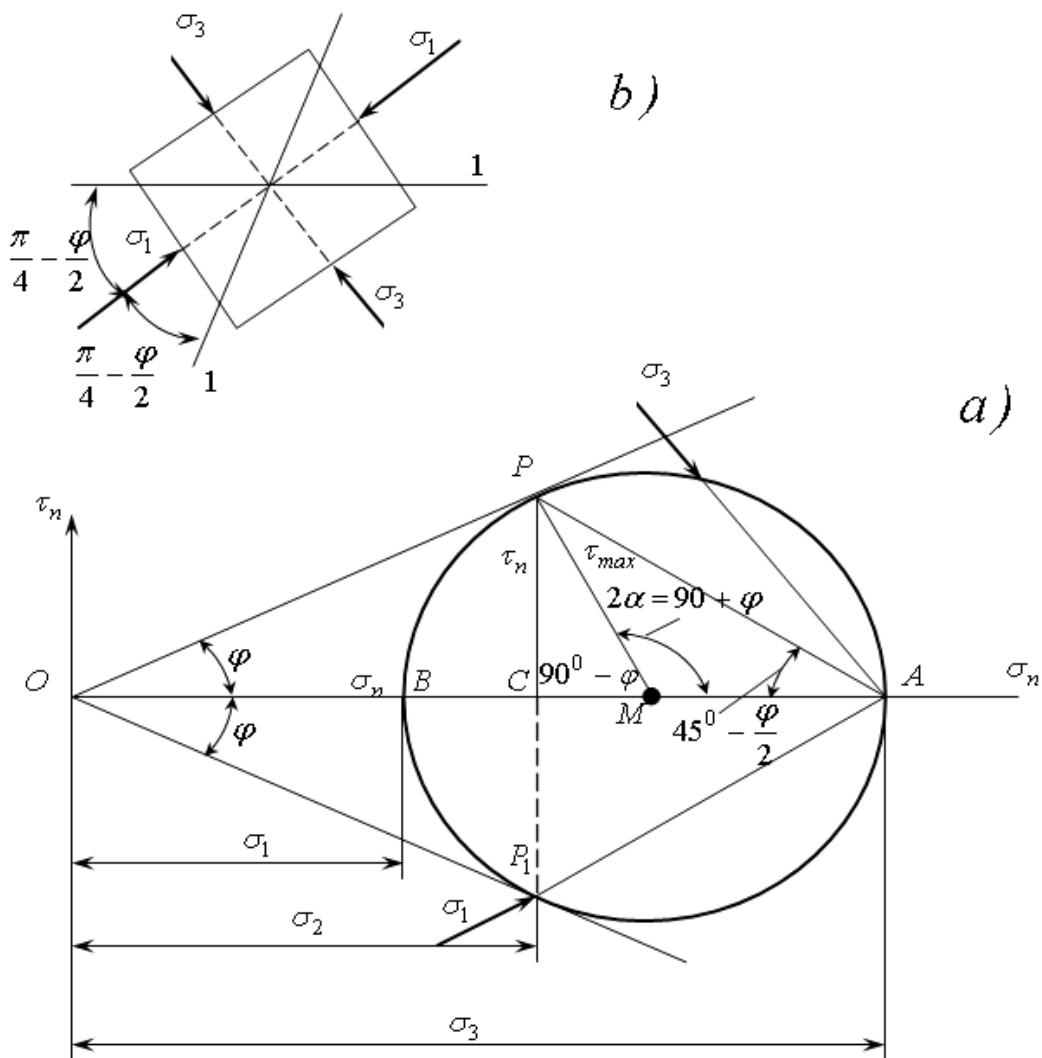
və  $\sigma_n$  bu normal boyu yönəlir. Sürüşmə səthinin özü isə bu normala perpendikulyar olduğundan bu səthin  $\sigma_1$  ilə əmələ gətirdiyi  $\beta$  bucağı aşağıdakı şərtdən tapıla bilər:

$$\alpha + \beta = 90^\circ$$

$$\beta = 90^\circ - \alpha = 90^\circ - \frac{\varphi}{2} = 45^\circ - \frac{\varphi}{2} = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}$$

olacaq.

Baş gərginlik  $\sigma_1$  ilə  $\left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$  bucağı altında yönələn və  $\tau_n$  - gərginliyinin təsir etdiyi səth sürüşmə səthi adlanır. Şəkil 5.1.1,b-də bu səthlərin izi *I* xətləri ilə göstərilmişdir.  $\sigma_1$  isə  $AP_1$  üzrə yönəlir. Sürüşmə səthlərində təsir edən  $\tau_n = CP$  və  $\sigma_n = OP$  olduğundan sürüşmə səthində təsir edən tam gərginlik vektoru giymətcə  $OP$ -yə bərabərdir.  $45^\circ - \frac{\varphi}{2}$  bucağı isə  $OAP$ -yə bərabərdir. Sürüşmə səthlərindən biri *P* nöqtəsinə digəri isə ona simmetrik olan  $P_1$  nöqtəsinə uyğun gəldiyindən şəkil 5.1.1-də onlara uyğun *I* xətti çəkilmişdir.



**Şəkil 5.1.1. Dənəvər süturlar üçün Mor dairəsi**

**a) – süturların həddi vəziyəti üçün Mor dairəsi;**

**b) sürüşmə müstəviləri**

Misal. Tutaq ki, üfiqi qum layı buldozer vasitəsi ilə horizontal istiqamətdə sürüklənir. Sürüklənmə hündürlüyü  $h$ -dir. Qumun xüsusi çəkisi  $\gamma$ -dir. Sürükləmə başlanan an üçün qum layındakı baş gərginlikləri təyin edək:  $x$  - oxu üfüqi,  $y$ -oxunu isə şaquli istiqamətdə aşağı yönəldək.  $\sigma_y = \sigma_2 = \gamma x$  qəbul etsək  $\sigma_1 = \sigma_x$  baş gərginliyini üfiqi istiqamətə yönəldək.

(5.1.4)-ə əsasən yaza bilərik:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \operatorname{ctg}^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$$

Buradan  $\sigma_1 = \sigma_2 ctg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) = \gamma ctg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$  alarıq.  $\sigma_1$ -in böyük qiyməti.

$\sigma_1(h) = \gamma h ctg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$  olacaq. Buldozerin qarşısında vahid uzunluğğa düşən təzyiq qüvvəsi:

$$F_1 = \frac{\sigma_1(h)h}{2} = \frac{\gamma h^2}{2} ctg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (5.1.8)$$

olacaq. İndi də təsəvvür edək ki, üfiqi qum layı ona söykənən şaquli divara öz ağırlığından müəyyən qüvvə ilə üfiqi istiqamətdə təsir edir. Bu halda  $\sigma_y = \sigma_1 = \gamma$  qəbul edib

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = ctg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$$

və

$$\frac{\gamma}{\sigma_2} = ctg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$$

ifadəsindən

$$\sigma_x = \sigma_2 = \gamma tg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (5.1.9)$$

yaza bilərik.  $H$  hündürlüklü divarın vahid eninə olan təzyiq qüvvəsi

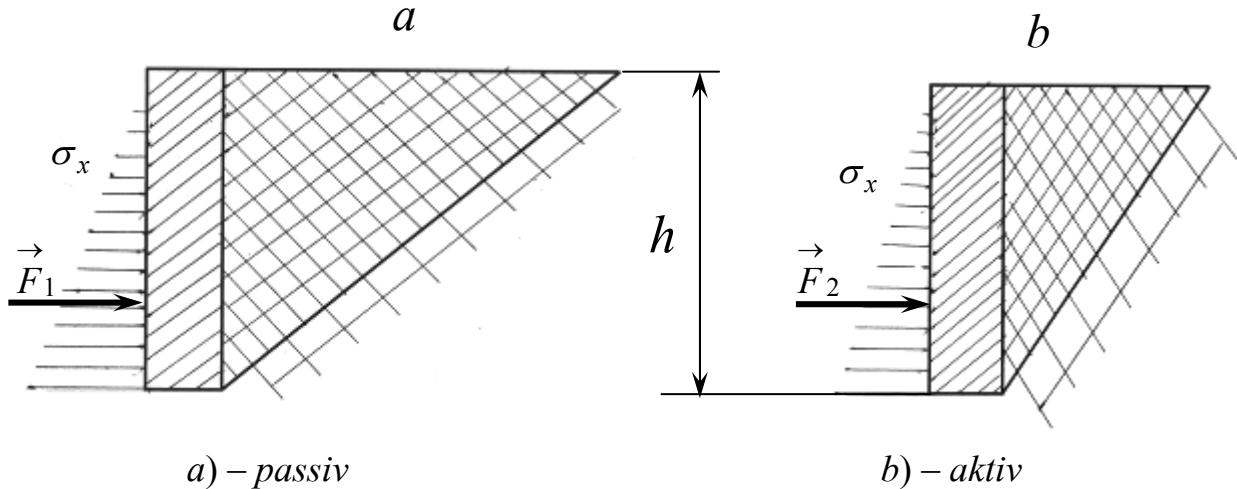
$$F_2 = \frac{\sigma_1(h)h}{2} = \frac{\gamma h^2}{2} tg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (5.1.10)$$

olacaq.

$F_1 > F_2$  olduğundan  $F_1$  - qrunutun daxili sürtünməsi hesabına yaranan daxili müqavimət qüvvəsinin yuxarı həddi,  $F_2$  isə aşağı həddi adlanır. Eyni zamanda  $F_1$  passiv təzyiq qüvvəsi adlanır. Şəkil 5.1.2,a da dənəvər ağır kütlənin hamar şaquli divara təzyiqi və sürüşmə səthlərinin izləri göstərilmişdir. Passiv təzyiq şəraitində sürüşmə izlərinin əmələ gətirdiyi paz daha enli (şəkil 5.1.2,a) aktiv təzyiq şəraitində isə daha qıсадır (şəkil 5.1.2,b).  $F_1$ -in  $F_2$ -yə nisbəti

$$\frac{F_1}{F_2} = ctg^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (5.1.11)$$

bərabərdir.



**Şəkil 5.1.2. Ağır dənəvər qrunutun hamar şaquli divara təzyiqi**

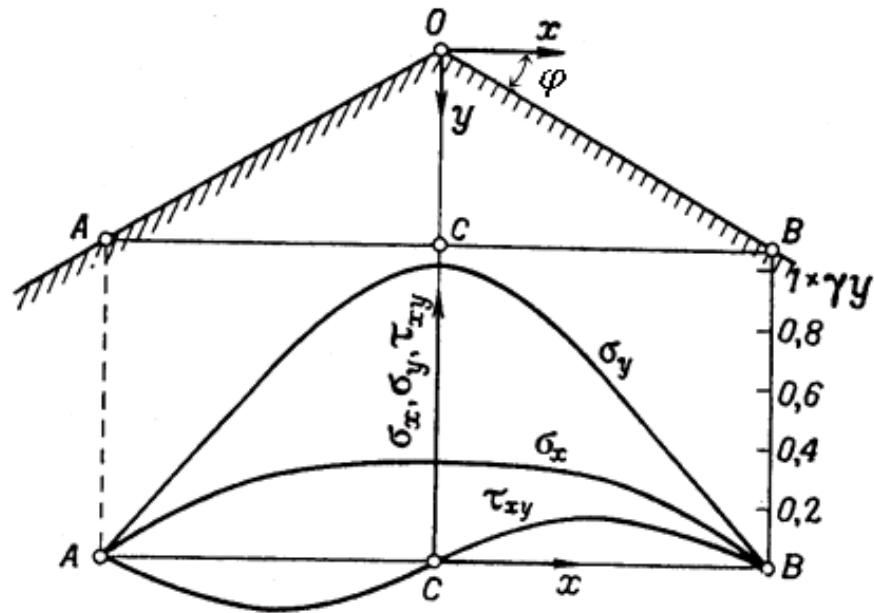
## 5.2. Şişman qum təpəsinin gərginlikli vəziyyəti [5]

Koordinatları  $r, \psi$  olan polyar koordinat sistemində şişman qum təpəsindəki (şəkil 5.2.1) gərginlik komponetləri aşağıdakı ifadələrdən təyin edilir [5]:

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \sigma[1 + \sin \varphi \sin \psi] \\ \sigma_t &= \sigma[1 - \sin \varphi \sin \psi] \\ \tau_{rt} &= \sigma \sin \varphi \cos \psi \\ \sigma &= \frac{\gamma r (\sin \psi - \sin \varphi)}{\cos^2 \varphi}\end{aligned}\quad (5.5.1)$$

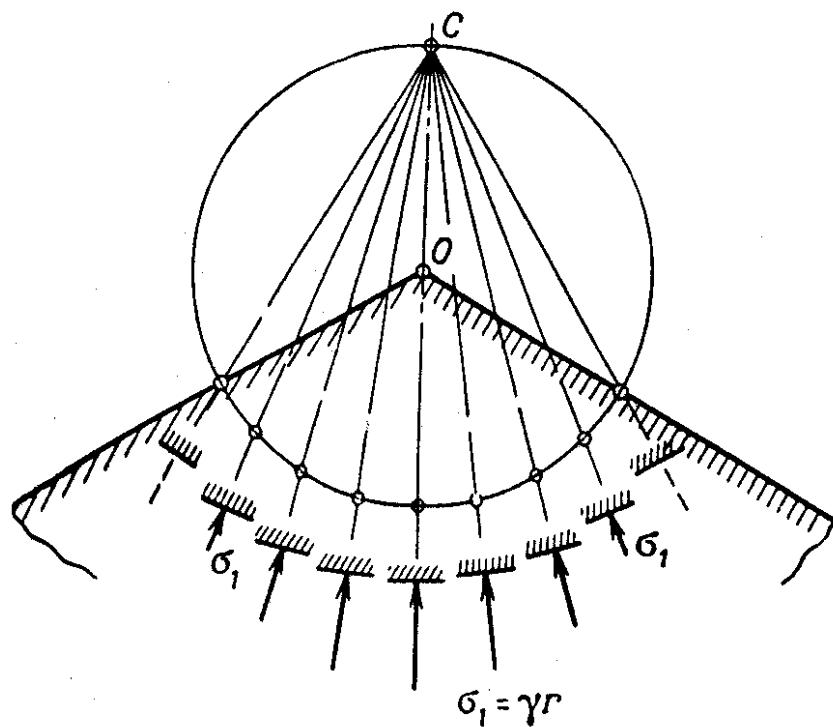
Dekart  $x, y$  koordinat sistemində isə gərginliklər aşağıdakı ifadələrdən təyin edilir:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \sigma \left( 1 - \frac{y}{r} \sin \psi \right) \\ \sigma_y &= \sigma \left( 1 + \frac{y}{r} \sin \psi \right) \\ \tau_{xy} &= \sigma \frac{y}{r} \sin \varphi \\ \sigma &= \frac{\gamma}{\cos^2 \varphi} (y - r \sin \varphi)\end{aligned}\quad (5.2.1)$$



**Şəkil 5.2.1 Gərginliklərin AB xətti üzrə keçirilmiş üfiqi müstəvidə paylanması**

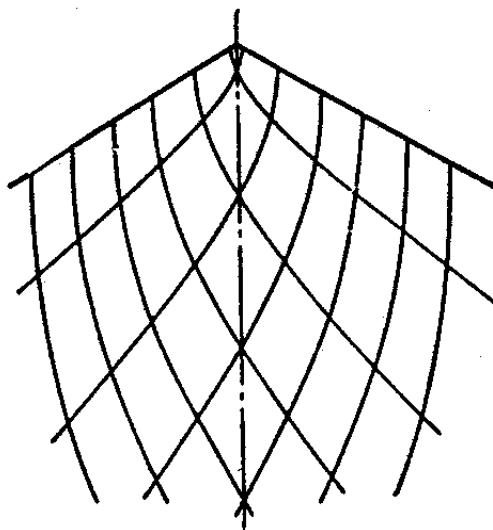
Gərginliklərin  $AB$  xətti üzrə keçirilmiş üfiqi müstəvidə paylanması şəkil 5.2.1-də göstərilmədir. Təpədəki baş gərginliklərin  $\sigma_1 = \sigma(1 + \sin \varphi)$  istiqamətləri şəkil 5.2.2-də göstərilmişdir.



**Şəkil 5.2.2. Qum təpəsində baş gərginliklərin  $r=\text{const}$  radiuslu çevrə boyu paylanması**

Radiusu  $r = \text{const}$  olan çevrənin C nöqtəsində təsir edən baş gərginliklər mərkəzi  $O$  nöqtəsində olmaqla çəkilmiş çevrənin zirvə nöqtəsi  $C$ -ə doğru yönəlir. Şişman ağır dənəvər qum təpəsində sürüşmə əyriləri şəkil 5.2.3-də göstərilmişdir. Sürüşmə əyriləri foks nöqtəsi təpənin zirvəsində yerləşən konfokal (1) və izoqonal (2) parabolalarından ibarətdir.  $B$  parabolalarının tənlikləri:

$$\begin{aligned} r[1 + \cos(\varphi + \psi)] &= p = \text{const} \\ r[1 - \cos(\varphi - \psi)] &= q = \text{const} \end{aligned} \quad (5.2.3)$$

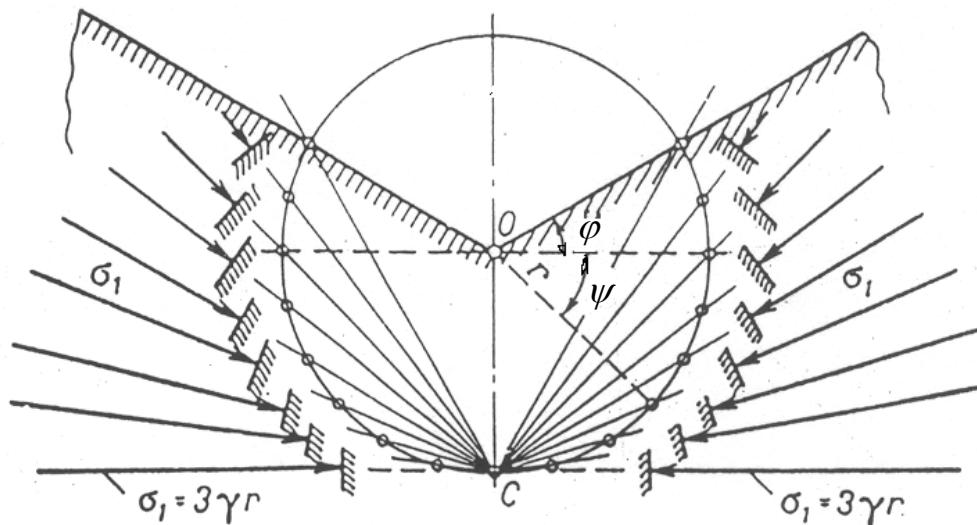


**Şəkil 5.2.3 Sisman ağır qum təpəsində sürüşmə əyriləri**

### 5.3 Qum çalasının gərginlikli vəziyyəti [5]

Koordinat başlanğıcını qum çalasının dibində,  $O$  nöqtəsində qəbul edib  $Ox$  oxunu horizontal,  $Oy$  oxunu şaquli olaraq aşağı yönəltsək və polyar koordinatları  $r, \psi$ , qəbul etsək (şəkil 5.3.1) xüsusi çəkisi  $\gamma$  olan qum çalasında qrunutun gərginlikli vəziyyəti aşağıdakı ifadələrdən təyin edilə bilər:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma(1 - \sin \varphi \sin \psi) \\ \sigma_y &= \sigma(1 + \sin \varphi \sin \psi) \\ \tau_n &= -\sigma \sin \varphi \sin \psi \\ \sigma &= \frac{\gamma r (\sin \psi + \sin \varphi)}{\cos^2 \varphi} \end{aligned} \quad (5.3.1)$$



**Şəkil 5.3.1. Qum çalasında  $r = \text{const}$  çevrəsində baş gərginliklərin paylanması**

Düzbucaklı koordinatlar sistemində isə

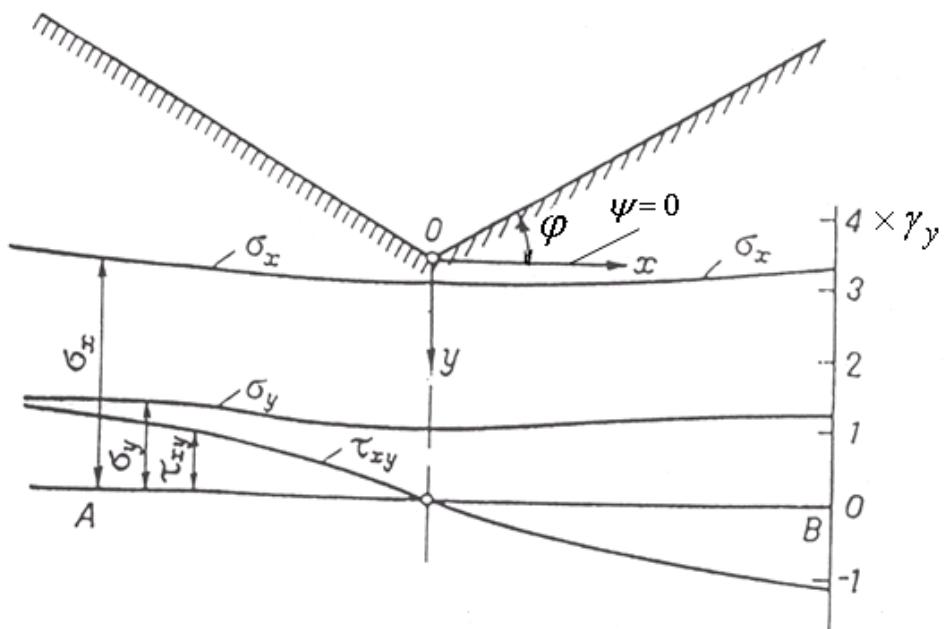
$$\begin{aligned}\sigma_x &= \sigma \left( 1 + \frac{y}{r} \sin \varphi \right) \\ \sigma_y &= \sigma \left( 1 - \frac{y}{r} \sin \varphi \right) \\ \tau_{xy} &= -\sigma \frac{x}{r} \sin \varphi \\ \sigma &= \frac{\gamma}{\cos^2 \varphi} (y + r \sin \varphi)\end{aligned}\tag{5.3.2}$$

$r$  radiuslu çevrə üzərindəki nöqtələrdə baş gərginliklər  $\sigma_1 = \sigma_t|_{\psi=\frac{\pi}{2}} = \sigma(1 + \sin \varphi)$  mərkəzi  $O$  nöqtəsində olan  $r$  radiuslu çevrənin aşağı  $C$  nöqtəsinə yönələcək (şəkil 5.3.1) və  $C$  nöqtəsində üfiqi yönəlməklə ən böyük qiyməti  $\sigma_1 = 3\gamma r$  alacaq ( $\rho = 30^\circ$  halı üçün).

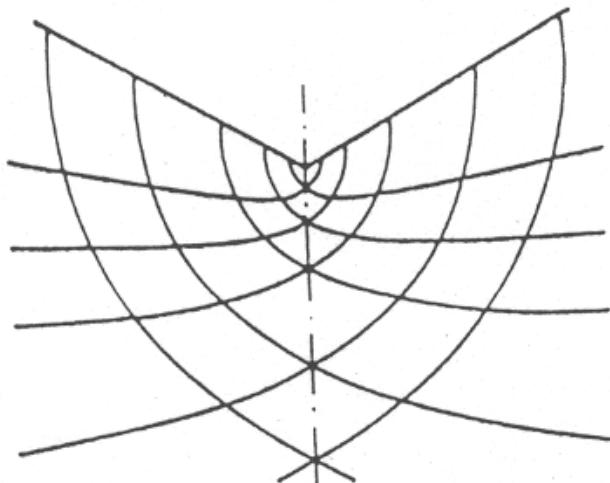
Çalanın altındakı üfiqi müstəvidə ( $u = \text{const}$ ) gərginliklərin paylanması şəkil 5.3.2-də göstərilmişdir. Sürüşmə əyrilərinin tənlikləri:

$$\begin{aligned}r[1 - \cos(\varphi + \psi)] &= p \\ r[1 + \cos(\varphi - \psi)] &= q\end{aligned}\tag{5.3.3}$$

ilə ifadə olunan və foksları çalanın qabırğalarında yerləşən iki izoqonal ailəli konfokal parabolalardan ibarətdir (şəkil 5.3.3).



**Şəkil 5.3.2 Qum çalasında üfiqi müstəvidə gərginliklərin paylanması**



**Şəkil 5.3.3 Qum çalasında sürüşmə əyriləri**

#### 5.4 Səpələnmiş mühitin oxasimetrik gərginlikli vəziyyəti

Tutaq ki, daxili radiusu  $r=a$  və xarici radiusu  $r=b$  olan səpələnmiş materiallardan ibarət olan boru daxildən  $P_a$ , xaricdən isə  $P_b$  təzyiqləri ilə yüklənmişdir. Birinci halda  $r=a$  və  $r=b$  qiymətlərində hansı gərginliyin ( $\sigma_r$  və ya  $\sigma_t$ -nin) baş gərginliyə bərabər olmasından asılı olaraq iki həddi vəziyyət ola bilər.

Birinci halda,  $P_a > P_b$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_r = \sigma_1 = \sigma(1 + \sin \varphi) \\ \sigma_t = \sigma_2 = \sigma(1 - \sin \varphi) \end{array} \right\} \quad (5.4.1)$$

ikinci halda,  $P_a < P_b$

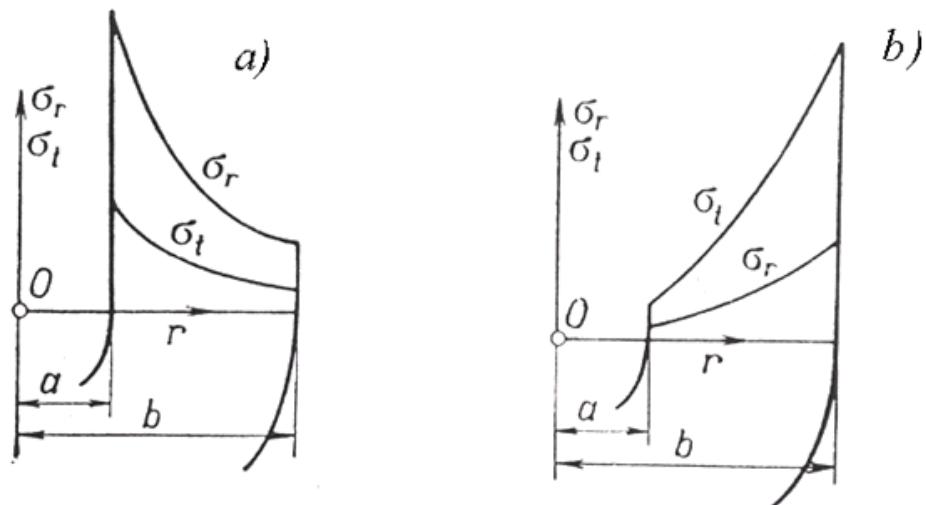
$$\left. \begin{array}{l} \sigma_r = \sigma_2 = \sigma(1 - \sin \varphi) \\ \sigma_t = \sigma_1 = \sigma(1 + \sin \varphi) \end{array} \right\} \quad (5.4.2)$$

olacaqdır [5]. Burada  $\varphi$  - sürtünmə bucağıdır.

$\varphi = 30^\circ$  halı üçün

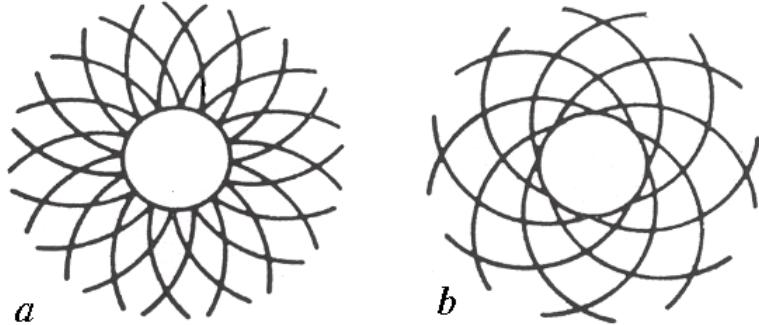
$$\left. \begin{array}{ll} \text{birinci halda:} & \sigma_r = 3\sigma_t = P_a \left( \frac{a}{r} \right)^{\frac{2}{3}} \\ \text{ikinci halda:} & \sigma_t = 3\sigma_r = 3P_a \left( \frac{r}{a} \right)^2 \end{array} \right\} \quad (5.4.3)$$

Şəkil 5.4.1-də səpələnmiş materialda gərginliyin oxasimmetrik paylanması göstərilmişdir. Göründüyü kimi, birinci halda yəni təzyiqin böyük qiyməti daxili radius  $r = a$  üzrə təsir etdikdə ən böyük gərginlik  $r = a$  üzrə paylanan  $\sigma_r$ -ə uyğun gəlir (şəkil 5.4.1,a), təzyiqin böyük qiyməti  $r = b$  radiusu üzrə təsir edərsə, onda ən böyük gərginlik  $\sigma_t$ -yə bərabər olub  $r = b$  çevrəsi boyu tə'sir edəcəkdir (şəkil 5.4.1,b).



Şəkil 5.4.1 Səpələnmiş mühitdə gənginliyin oxasimmetrik paylanması

Şəkil 5.4.2-də səpələnmiş materialda sürüşmə əyriləri birinci və ikinci hal üçün göstərilmişdir. Bu halda sürüşmə əyriləri loqarifmik spiraldan ibarət olur.



**Şəkil 5.4.2 Silindr dən sürüşmə əyriləri**

Baxılan məsələdə boru ideal plastik materialdan ibarət olarsa, onda uyğun gərginliklər:

birinci halda

$$\sigma_r = 2k \ln \frac{b}{r} \quad (5.4.4)$$

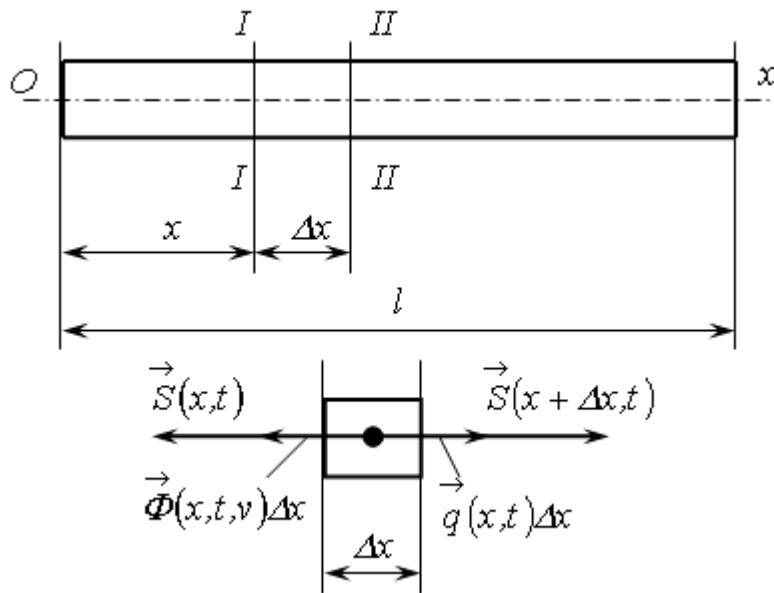
ikinci halda

$$\sigma_t = 2k \left( \ln \frac{b}{r} - 1 \right) \quad (5.4.5)$$

İfadələrindən təyin edilə bilər [5]. Burada  $k = \tau_{max} = const$  maksimum toxunan gərginlidir.

## 5.5 Elastik mühitdə dalğaların yayılması

I. Uzunluğu boyu paylanmış parametrlı çubuğun boyuna rəqslərinin diferensial tənliyinin çıxarılışı. Uzunluğu  $l$ , en kəsik sahəsi  $A(x)$ , elastiklik modulu  $E$ , sıxlığı  $\rho(x)$  olan çubuğa nəzər salaq (şəkil 5.5.1). Tutaq ki, çubuğa  $x$  oxu boyu intensivliyi  $q(x,t)$  olan qüvvə təsir edir.  $Ox$  oxunu çubuğun oxu boyu yönəldək.  $A(x)$ ,  $\rho(x)$  və  $q(x)$ -in kəsilməyən və ya parçada kəsilməyən funksiyalar olduğu qəbul edilir.



**Şəkil 5.5.1**

Çubuqdan  $I - I$  və  $II - II$  kəsikləri vasitəsilə kifayət qədər kiçik olan parça ayıraq və ona tə'sir edən qüvvələri göstərək:

- a)  $Ox$  oxu boyu tə'sir edən və  $q(x, t)$   $\Delta x$ -ə bərabər olan xarici qüvvə;
- b)  $I - I$  kəsiyinin sol tərəfindəki hissələrin tə'sirlərindən yaranan  $S(x, t) = A(x)\sigma(x, t)$ -yə bərabər olan və  $Ox$  oxunun əksinə yönələn gərilmə qüvvələrinin əvəzləyicisi. Burada  $\sigma(x, t)$ ,  $A(x)$  kəsiyindəki gərginlikdir. Huk qanuna əsasən

$$\sigma = E\varepsilon = E \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{u(x + \Delta x, t) - u(x, t)}{\Delta x} = E \frac{\partial u}{\partial x} .$$

Burada  $u$  - elastik yerdəyişmədir.

- c)  $II - II$  kəsiyinin sağ tərəfindəki hissələrin tə'sirlərindən yaranan  $S(x + \Delta x, t) = A(x)\sigma(x + \Delta x, t)$  gərilmə qüvvəsidir; bu qüvvə  $Ox$  oxu boyunca yönəlir. Burada  $\sigma(x + \Delta x, t)$   $II - II$  kəsiyindəki gərginlikdir;
- ç) Mühitin müqavimət qüvvəsi. Çubuq boyu bu qüvvənin intensivliyini  $\Phi(x, t, v)$  ilə işarə etsək, onda  $\Delta x$  parçasına  $\Phi(x, t, v)\Delta x$  qüvvəsi düşəcəkdir. Müqavimət qüvvəsi sür'ətin əksinə yönəldiyindən, onun işarəsi qüvvənin sür'ətdən

asılılıq xarakterinə əsasən tə'yin edilir. Məsələn, Kulon qanununa tabe olan sürtünməli mühitlərdə müqavimət qüvvəsinin ifadəsi aşağıdakı kimi yazılır:

$$-\Phi \operatorname{sign}\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)$$

burada

$$\operatorname{sign}\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right) = \begin{cases} 1, & \frac{\partial u}{\partial t} > 0 \\ -1, & \frac{\partial u}{\partial t} < 0 \end{cases} \quad \text{olduqda,}$$

Müqavimət qüvvəsi sür'ətin birinci dərəcəsi ilə mütənasib olduqda  $\Phi$ -in  
karşısındakı mənfi işarəsi saxlanılır və  $\operatorname{sign}\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)$  nəzərə alınır.

Çubuğun kiçik elementinin ətalət qüvvəsi aşağıdakı kimi tapılır

$$-\rho(x)A(x)\Delta x \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} .$$

Onda Dalamber prisipinə əsasən

$$-\rho(x)A(x)\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \Delta x + S(x + \Delta x, t) - S(x, t) - \Phi\left(x, t, \frac{\partial u}{\partial t}\right) \Delta x + q(x, t) \Delta x = 0 \quad (5.5.1)$$

$S(x + \Delta x, t)$ -ni Teylor sırasına ayırib (5.5.1)-də yerinə yazsaq, alınan ifadəni  $\Delta x$ -ə böülüb  $\Delta x \rightarrow 0$  olmaqla, limitə keçsək, alırıq:

$$-\rho(x)A(x)\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ EA(x) \frac{\partial u}{\partial x} \right] - \Phi\left(x, t, \frac{\partial u}{\partial t}\right) + q(x, t) = 0 \quad (5.5.2)$$

(5.5.2)-ni tərtib edərkən,  $S(x + \Delta x, t)$ -nin sıraya ayrılması ifadəsini yazıb, oradan  $\Delta x$ -in dərəcəsi ikinci tərtibdən böyük olan hədləri atmaq da olardı. Limitə keçməyin bu göstərilən qaydası sonralar əsas götürüləcəkdir. Məhz ona görə də gələgəkdə, digər diferensial tənlikləri tərtib etdikdə oraya daxil olan ifadələrin sıraya ayrılmışında birinci iki hədd saxlanılacaqdır.

Yuxarıda göstərilən (5.5.2) tənliyini tərtib etməklə müqavimətli mühitdə qeyri-bircinsli çubuğun məcburi rəqslərinin diferensial tənliyini alıq. Kütlənin, sərtliyin, müqavimət qüvvəsinin və xarici tə'sir edən qüvvənin müxtəlif xarakterdə

dəyişməsinə uyğun olaraq (5.5.2)-dən çubuğun boyuna rəqs tənliyinin xüsusi hallarını almaq olar.

Əgər  $\rho(x) = const$ ,  $A(x) = const$  və həmdə müqavimət qüvvəsinin sür'ətin birinci dərəcəsi ilə mütənasib olduğunu qəbul etsək, bircinsli çubuğun boyuna məcburi rəqslərinin diferensial tənliyini alarıq:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + 2h \frac{\partial u}{\partial t} - a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = g(x, t) \quad (5.5.3)$$

burada  $a$  - boyuna rəqslərin çubuq boyu yayılma sürətidir;  $a^2 = \frac{E}{\rho}$ ;

$$g(x, t) = \frac{q(x, t)}{\rho A}, \quad h \text{ - müqavimət əmsalıdır.}$$

$g(x, t) = 0$  - qəbul etsək, bircinsli çubuğun sərbəst rəqslərinin diferensial tənliyi aşağıdakı şəkildə olur:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + 2h \frac{\partial u}{\partial t} - a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0 \quad (5.5.4)$$

$h = 0$  olduqda (5.5.4)-dən ideal mühitdə bircinsli çubuğun sərbəst, boyuna rəqs tənliyini alarıq:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0 \quad (5.5.5)$$

Belə bir misala baxaq. Tutaq ki, uzunluğu  $l$ ; materialının sıxlığı  $\rho$ , Yunq modulu  $E$  olan bircinsli üfiqi düz çubuq  $Ox$  boyunca sabit  $v$  sürəti ilə hərəkət edərək bir başından monolit bir cismin divarına sıxılır. Çubuqda gərginliyin dəyişməsinə baxaq. Çubuq divara toxunduqdan sonra ondakı tə'sir səs sürətinə  $a$ -ya bərabər sürətlə çubuq boyu yayılacaqdır. Çubuqun sürəti  $v$  olduğundan onun nisbi deformasiyası  $\varepsilon = \frac{v}{a}$  olacaqdır. Çubuqdakı gərginlik isə

$$\sigma = \varepsilon E = \frac{v}{a} E = \rho \frac{v}{a} \cdot \frac{E}{\rho} = \rho v a$$

olacaqdır.

$$t = \frac{2l}{a}$$

müddətdən sonra bu təsir geri qayıdır düz tə'sirlə üzləşərək

toplanacaq və çubuğun zərbə vuran ucunda  $\sigma' = 2\sigma = 2\rho va$ -ya bərabər olan gərginlik yaranacaq. Bu effekt zəlzələ baş verdikdə də yaranır. Elə buna görədir ki, zəlzələ baş verdikdən bir müddət sonra qayıdan dalğanın tə'siri daha dəhşətli olur. Vaxt keçdikdə mühitin müqaviməti təsirindən bu proses sönür.

*II. Simin eninə rəqslərinin diferensial tənliyinin çıxarılışı.* Tutaq ki, simin başlanğıc gərilməsi  $T_0$ -dır və onun oxu  $Ox$  oxu ilə üst-üstə düşür (şəkil 5.5.2a). Simin  $\Delta x$  elementinə baxaq. Təsəvvür edək ki, bu element müvazinətdən çıxdıqda həmişə  $Oxy$  müstəvisində qalır. Qəbul olunur ki, ipin nöqtələrinin  $Ox$  oxundan uzaqlaşması kiçikdir; simin gərilməsi bütün nöqtələrdə sabitdir və ona toxunan istiqamətdə yönəlir. Simin nöqtələrinin başlanğıc vəziyyətindən uzaqlaşmasını  $u(x, t)$ . Onun vahid uzunluğa düşən sıxlığını  $\rho$  ilə işarə edək. Simin nöqtələrinin yalnız  $Oy$  oxu istiqamətində yerdəyişmə aldığı qəbul edək. Qüvvələrin  $Ox$  oxu üzərində proeksiyaları cəminin sıfra bərabər olması şərti kifayət qədər kiçik bucaqlar üçün təxminini olaraq aşağıdakı kimi yazılı bilər:

Simin kiçik elementi kütləsinin  $\rho \Delta x$ , təciliinin  $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$  olduğunu nəzərə alsaq və

bu element üçün  $Oy$  oxu üzrə proeksiyalanmaqla Dalamber prinsipini tətbiq etsək, yaza bilirik:

$$-\rho \Delta x \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - T_1 + T_2 = 0 \quad (5.5.6)$$

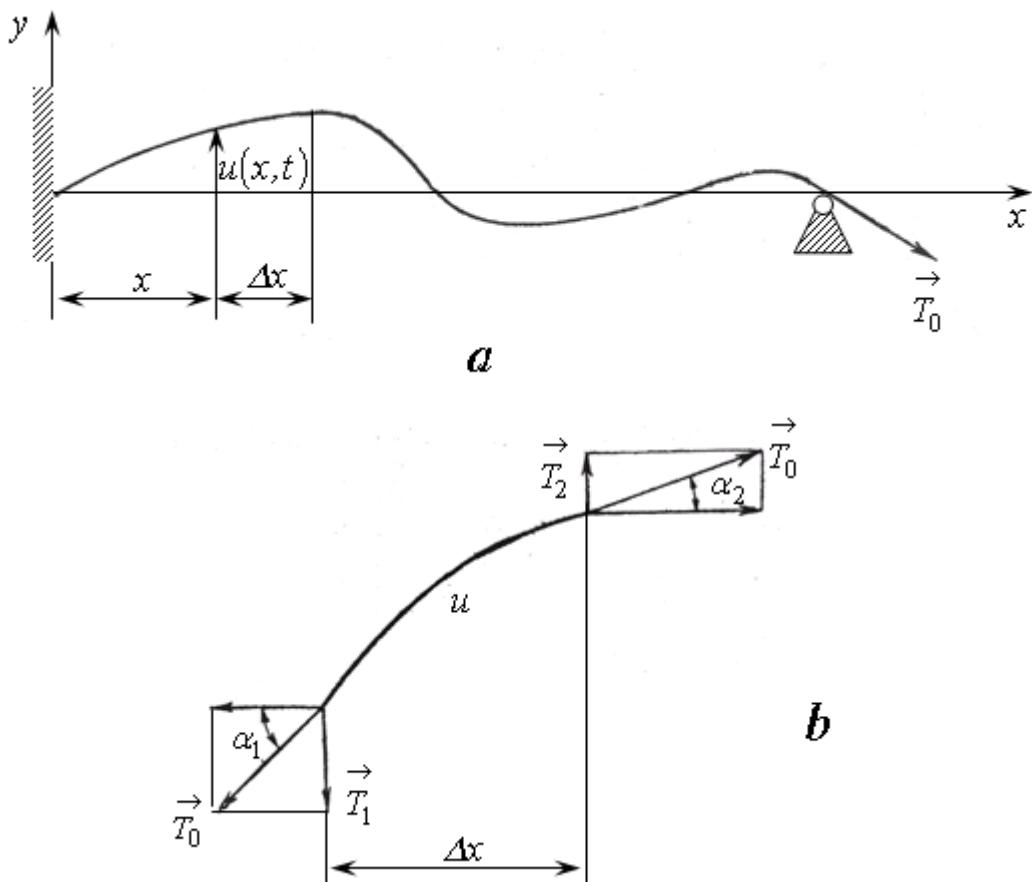
Qövsün uzunluğu

$$ds = \sqrt{1 + \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 dx},$$

$$\left( \frac{\partial u}{\partial t} \right) = tg\alpha$$

ifadəsindən tə'yin edilir. Kiçik bucaqlar üçün  $\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)$ -i 1-ə görə nəzərə almasaq, sim dərtilməyən kimi qəbul edilə bilər.

$$T_0 \cos \alpha_1 - T_0 \cos \alpha_2 = 0$$



**Şəkil 5.5.2**

Şəkil (5.5.2b)-dən

$$T_1 = T_0 \sin \alpha_1$$

$$T_2 = T_0 \sin \alpha_2$$

Onda  $T_2 - T_1 = T_0 (\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1)$ .

Simin kiçik yerdəyişmələri üçün

$$\sin \alpha_1 \approx \operatorname{tg} \alpha_1 = u_x(x, t)$$

$$\sin \alpha_2 \approx \operatorname{tg} \alpha_2 = u_x(x + \Delta x, t)$$

qəbul etmək olar.

$$\text{Burada } u_x(x, t) = \frac{\partial u(x, t)}{\partial x}$$

$$\begin{aligned}
T_2 - T_1 &= T_0 [u_x(x + \Delta x, t) - u_x(x, t)] = T_0 \left[ u_x(x, t) + \frac{\partial u_x(x, t)}{\partial x} \Delta x - u_x(x, t) \right] = \\
&= T_0 \frac{\partial u_x(x, t)}{\partial x} \Delta x = T_0 \frac{\partial^2 u_x(x, t)}{\partial x^2} \Delta x .
\end{aligned}$$

Bu qiymətləri (5.5.6)-da yerinə yazsaq, alarıq:

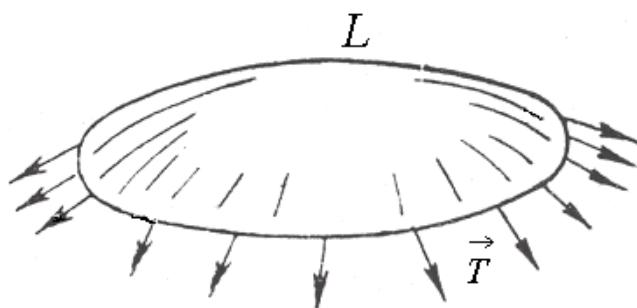
$$\begin{aligned}
-\rho \Delta x \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + T_0 \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \Delta x &= 0 \\
\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &= a_1^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} .
\end{aligned} \tag{5.5.7}$$

Burada  $a_1$  - eninə rəqslərin yayılma sürətidir;  $a_1^2 = \frac{T_0}{\rho}$  - qəbul edilmişdir.

(5.5.7) tənliyi simin eninə rəqslərinin diferensial tənliyidir.

*III. Membran rəqsinin diferensial tənliyinin çıxarılışı.* Əyilmə və sürüşməyə müqavimət göstərməyən nazik müstəvi lövhəyə membran (latınca membran – nazik lövhə) deyilir. Membranlar eninə qüvvə təsirindən əyilə bilir. Buna görə də onlar təzyiq ölçən cihazların həssas elementi kimi işlənir. Bundan başqa membranlar akustik cihazlarda, elastik muftalarda və s. geniş tətbiq edilir.

Vahid uzunluğa düşən  $T$  qüvvəsi ilə kənarlarından tarım dərtilan membrana baxaq (şəkil 5.5.7).

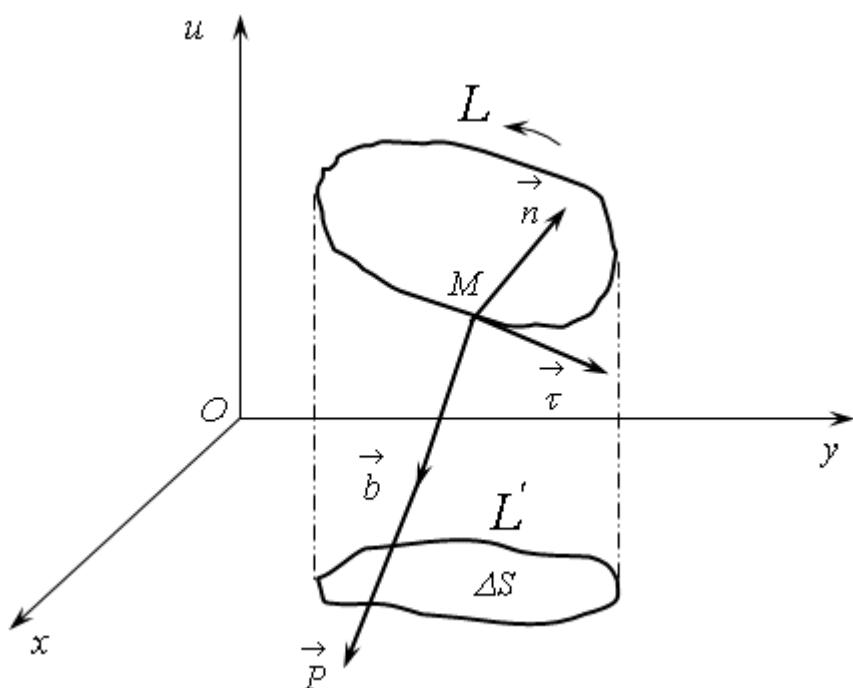


**Şəkil 5.5.7**

Membrananın vahid sahəsinin sıxlığını  $\rho$  ilə işarə edək.  $xOy$  müstəvisini membranın deformasiya olunmamış vəziyyətinə uyğun qəbul edək. Membranın səthinə intensivliyi  $q(x, y)$  olan xarici qüvvə tə'sir edir. Membranın

deformasiyasının kiçik olduğunu və onun  $xOy$  müstəvisinə perpendikulyar istiqamətdə baş verdiyini qəbul edək. Bununla əlaqədar olaraq onu da qəbul edək ki, membranın gərilməsi deformasiyadan sonra da sabit qalır; membranın səthinin genişlənməsi nəzərə alınmır. Membran nöqtələrinin  $xOy$  müstəvisindən uzaqlaşmasını  $u = u(x, y, t)$  ilə işarə edək.

Membran rəqsinin diferensial tənliyini çıxarmaq üçün ondan konturu  $L$  olan kiçik element ayrılır (şəkil 5.5.8).



### Sekil 5.5.8

Konturun ətrafına dolanıqda saat əqrəbi hərəkətinin əksi istiqaməti müsbət istiqamət kimi qəbul edilir. Bu konturun  $dl$  uzunluğuna qiyamətcə  $Tdl$ -ə bərabər olan  $\vec{P}$  gərilmə qüvvəsi tə'sir edir. Ayrılmış elementə tə'sir edən xarici qüvvələrin əvəzləyici  $q(x, y)\Delta s$ , ətalət qüvvəsi  $-\rho\Delta s \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$ -a bərabər olacaqdır. Burada  $\Delta s$  konturu  $L$  olan membranın ayrılmış kiçik elementi sahəsinin  $xOy$  məstəvisi üzərində proeksiyasıdır.  $L$  konturu üzrə tə'sir edən gərilmə qüvvəsi əvəzləyicisinin  $Ou$  oxu üzərindəki proeksiyasını  $\lim \sum P_u$  ilə işarə etsək, Dalamber prinsipinə əsasən yaza bilərik:

$$-\rho \Delta s \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \lim P_u + q \Delta s = 0 \quad (5.5.8)$$

Qiymətcə  $dl$ -ə bərabər,  $L$  konturuna  $M(x, y, u)$  nöqtəsində toxunan istiqamətdə yönələn vektoru  $\vec{\tau} = \vec{i}dx + \vec{j}dy + \vec{k}du$  şəkildə göstərək. Bu nöqtədə membran səthinə çəkilmiş normalın vahid vektorunu  $\vec{n}$  ilə işarə edək.  $\vec{P}$  qüvvəsi  $\vec{\tau}$  və  $\vec{n}$  vektorlarının əmələ gətirdiyi müstəviyə perependikulyar istiqamətdə başqa sözlə, o,  $\vec{\tau} \times \vec{n}$  vektorial hasilinə bərabər olan  $\vec{b}$  vektoru üzrə yönəlir.

$t$ -nin verilmiş qiymətində  $\vec{n}$  normalının  $Ox$ ,  $Oy$  və  $Ou$  oxları ilə əmələ gətirdiyi istiqamətverici bacaqların kosinusları uyğun olaraq, aşağıdakı ifadələrdən tapıla bilər:

$$\cos\left(\vec{n} \wedge \vec{i}\right) = \frac{(\text{grad } u)_x}{|\text{grad } u|} = \frac{-\frac{\partial u}{\partial x}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2}},$$

$$\cos\left(\vec{n} \wedge \vec{j}\right) = \frac{(\text{grad } u)_y}{|\text{grad } u|} = \frac{-\frac{\partial u}{\partial y}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2}},$$

$$\cos\left(\vec{n} \wedge \vec{k}\right) = \frac{(\text{grad } u)_u}{|\text{grad } u|} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2}}$$

Bu halda  $u = u(x, y, t)$  səthinin qabarıq olduğu qəbul edilir. Membranın kiçik yerdəyişmələrində vahidə nisbətən  $\left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2\right]$  ifadəsinin qiymətini nəzərə almasaq, onda:

$$\cos\left(\vec{n} \wedge \vec{i}\right) = -\frac{\partial u}{\partial x};$$

$$\cos\left(\overset{\rightarrow}{n} \wedge \overset{\rightarrow}{j}\right) = -\frac{\partial u}{\partial y};$$

$$\cos\left(\overset{\rightarrow}{n} \wedge \overset{\rightarrow}{k}\right) = 1$$

yaza bilərik.

$\overset{\rightarrow}{n}$  vektorunun  $Ox$ ,  $Oy$  və  $Ou$  oxları üzərindəki proeksiyaları ilə ifadəsi

$$\overset{\rightarrow}{n} = -\frac{\partial u}{\partial x} \overset{\rightarrow}{i} - \frac{\partial u}{\partial y} \overset{\rightarrow}{j} + \overset{\rightarrow}{k}$$

olacaqdır. Onda  $\overset{\rightarrow}{b}$  vektoru vektorial hasil ifadəsindən belə tapılı bilər:

$$\begin{aligned} \overset{\rightarrow}{b} &= \overset{\rightarrow}{\tau} \times \overset{\rightarrow}{n} = \begin{vmatrix} \overset{\rightarrow}{i} & \overset{\rightarrow}{j} & \overset{\rightarrow}{k} \\ dx & dy & du \\ -\frac{\partial u}{\partial x} & -\frac{\partial u}{\partial y} & 1 \end{vmatrix} = \overset{\rightarrow}{i} \left( dy + \frac{\partial u}{\partial y} du \right) + \overset{\rightarrow}{j} \left( -\frac{\partial u}{\partial x} du - dx \right) + \\ &+ \overset{\rightarrow}{k} \left( -\frac{\partial u}{\partial y} dx + \frac{\partial u}{\partial x} dy \right) \end{aligned}$$

$\overset{\rightarrow}{b}$ -nin modulu  $b = \tau \cdot 1 \cdot \sin 90^\circ = dl$ .  $\overset{\rightarrow}{P}$  qüvvəsi  $\overset{\rightarrow}{b}$  vektoru üzrə yönəldiyindən:

$$\overset{\rightarrow}{P} = T \overset{\rightarrow}{b} = i \overset{\rightarrow}{T} \left( dy + \frac{\partial u}{\partial y} dy \right) + j \overset{\rightarrow}{T} \left( -\frac{\partial u}{\partial x} du - dx \right) + k \overset{\rightarrow}{T} \left( -\frac{\partial u}{\partial y} dx + \frac{\partial u}{\partial x} dy \right) \quad (5.5.9)$$

Buradan  $\overset{\rightarrow}{P}$  qüvvəsinin  $Ou$  oxu üzərindəki proeksiyası üçün alarıq:

$$P_u = T \left( -\frac{\partial u}{\partial y} dx + \frac{\partial u}{\partial x} dy \right)$$

Kontur üzrə tə'sir edən bütün gərilmə qüvvələrinin  $Ou$  oxu üzərindəki proeksiyası

$$\lim_{P} \sum P_u = \int_P T \left( -\frac{\partial u}{\partial y} dx + \frac{\partial u}{\partial x} dy \right)$$

olacaqdır. İnteqralaltı ifadə ancaq  $x$  və  $y$ -dən asılıdır. Ona görə də  $L$  konturu üzrə əyrixətli integrallı  $L'$  konturu üzrə əyrixətli integralla əvəz etmək olar.

Qrin düsturuna əsasən

$$\int_L' Pdx + Qdy = \iint_{\Delta S} \left( \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y} \right) dx dy$$

$$P = -\frac{\partial u}{\partial y}; \quad Q = \frac{\partial u}{\partial x} \quad \text{qəbul etsək:}$$

$$\lim_P \sum P_u = \int T \left( -\frac{\partial u}{\partial y} dx + \frac{\partial u}{\partial x} dy \right) = T \iint_{\Delta S} \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] dx dy$$

Orta qiymət teoreminə əsasən, yaza bilərik:

$$\lim \sum P_u = T \left( -\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \Delta S$$

$\lim \sum P_u$ -nin bu qiymətini (5.5.8)-də yerinə yazsaq:

$$-\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + T \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + q(x, y, t) = 0$$

Buradan

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + g(x, y, t) \quad (5.5.10)$$

$$a^2 = \frac{T}{\rho}; \quad g(x, y, t) = \frac{q(x, y, t)}{\rho}$$

(5.5.10) tənliyi membranın məcburi rəqsərənin diferensial tənliyidir.  $g(x, y, t) = 0$  olduqda, membranın sərbəst rəqsərənin diferensial tənliyini alarıq:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (5.5.11)$$

## 5.6 Özülü elastik mühitdə dalğaların yayılması

Özülü-elastik mühitin fiziki modeli kimi Maksvell modelini qəbul etmək olar.

Bu model

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta} \quad (5.6.1)$$

şəkildə yazılır.

Burada  $\varepsilon$  - nisbi deformasiya;  $t$  - zaman;  $E$  - mühitin Yunq modulu;  $\sigma$  - gərginlik;  $\eta$  - mühitin özlülüyüdür. Birölçülü mühitin hərəkət tənliyi Nyuton qanununa əsasən

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma}{\partial x} \quad (5.6.2)$$

şəkildə yazılır. Burada  $\rho$  - materialın sıxlığı;  $u$  - deformasiya;  $x$  - carı koordinatdır.

$\varepsilon = \frac{\partial u}{\partial x}$  olduğunu nəzərə alsaq (5.6.1) və (5.6.2)-nin birgə həllindən

$$\rho \frac{\partial^3 u}{\partial t^3} - E \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} - \frac{\rho}{\tau} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0, \quad (5.6.3)$$

burada  $\tau = \frac{\eta}{E}$  - reloksasiya müddətidir.

(5.6.3) tənliyinin həllini

$$\bar{u} = A e^{ipt} e^{ikx} \quad (5.6.4)$$

funksiyasının xəyali hissəsinin əmsalı kimi axtaraq. Burada  $p$  - məlum rəqs tezliyi;  $i = \sqrt{-1}$  - xəyali ədəddir.

(5.6.4)-u (5.6.3)-də yerinə yazsaq:

$$-\rho P^2 + E k^2 + i \frac{\rho}{\tau} P = 0 \quad (5.6.5)$$

alırıq. Buradan

$$k^2 = \frac{\rho}{E} P^2 - i \frac{\rho}{E \tau} P$$

$k = (a - ib)$  qəbul edib

$$(a - ib)^2 = \frac{\rho}{E} P^2 - i \frac{\rho}{E \tau} P$$

bərabərliyindən

$$\left. \begin{aligned} a^2 - b^2 &= \frac{\rho}{E} P^2 \\ 2ab &= \frac{\rho}{E \tau} P \end{aligned} \right\} \quad (5.6.7)$$

alırıq. Buradan

$$a^2 = \frac{\rho}{2E} P^2 \left( 1 + \sqrt{1 + P^{-2} \tau^{-2}} \right) \quad (5.6.8)$$

$$b^2 = \frac{\rho}{2E} P^2 \left( -1 + \sqrt{1 + P^{-2} \tau^{-2}} \right) \quad (5.6.9)$$

alırıq. Onda

$$u = A e^{ipt} \cdot e^{-ikx} = A e^{ipt} \cdot e^{-i(a-ib)x} = A e^{-bx} [\cos(pt - ax) + i \cdot \sin(pt - ax)]$$

yaza bilərik. Bu ifadənin xəyali hissəsini əmsalı

$$u = A e^{-bx} \sin(pt - ax) \quad (5.6.10)$$

olacaqdır. Göründüyü kimi, məsafədən asılı olaraq  $u$ -nun ifadəsi exponensial olaraq azalacaqdır.

$P$ -nin qiyməti  $\frac{1}{\tau}$ -dan çox böyük olarsa, yəni gərginlik dalğasının periodu

relaksasiya müddətindən kiçik olarsa, onda  $a^2 \approx \frac{\rho P^2}{E}$  olacaq, başqa sözlə, gərginlik

dalğasının sürəti Yunq modulu  $E$  olan elastik mühitdəki dalğa sürəti  $\left(\frac{E}{\rho}\right)^{1/2}$ -ə

bərabər olacaq. Dalğanın sönmə faktoru  $b$  isə

$$b^2 = \frac{\rho}{2E} p^2 \left( -1 + \sqrt{1 + p^{-2} \tau^{-2}} \right) \approx \frac{\rho p^2}{2E} \left( -1 + \frac{\rho^{-2} \tau^{-2}}{2} \right) \approx \frac{\rho \tau^{-2}}{4E}$$

$$b = \left( \frac{\rho \tau^{-2}}{4E} \right)^{1/2} - \text{ə bərabər olub tezlikdən asılı olmayıcaq.}$$

Alınmış ifadələrin sadəliyi real prosesləri, ilk baxışda müəyyən xəta ilə olsa da asanlıqla qiymətləndirməyə imkan verir.  $u$ -nun məlum qiymətlərində tərs məsələnin həllindən  $E$  və  $\eta$ -nın ümumiləşmiş qiymətlərini tapmaq olur.

## **6. YER QABIĞI VƏ MATERİKLƏRİN HƏRƏKƏTİ.**

### **6.1 Yer haqqında faktiki materiallar [1, 3, 4, 5, 10, 19, 22].**

Yer kürəsi Günəş sisteminə daxil olan planetlərdən biridir. Günəş sistemi özü də qalaktikanın «Süd yolu» adlanan hissəsində yerləşir. Yer kürəsi kainatdakı sonsuz sayda cisimlərdən biridir. Yer kürəsi ilə Günəş arasındakı minimal məsafə 149600000 km, maksimal uzaq məsafə isə 152100000 km-dir.

Yer kürəsinin Günəş ətrafında hərəkət etdiyi orbitin uzunluğu 940000000 km-dir. İl ərzində Yerin Günəş ətrafında bir dövr etdiyini nəzərə alsaq, onun orta sürətinin saatda 107200 km olduğunu alarıq. Yer qütblərdə sıxılmış kürə şəklindədir. Onun orta radiusu 6371,211 km, ekvatorunun radiusu qütb mərkəzlərini birləşdirən məsafəyə nisbətən 21,3 km çoxdur.

Yer kürəsinin kütləsi  $5976 \cdot 10^{18}$  tondur. Onun səthinin 29,2%-ini quru, 70,8%-ni isə dünya okeani təşkil edir. Quru hissəsinin orta hündürlüyü 840 m, dünya okeanının orta dərinliyi 3808m-dir.

Yerin quru hissəsi qitələrdən – Asiya, Amerika, Afrika, Avropa, Antarktida, Avstraliya və Okeaniyadan ibarətdir. Bu qitələr dağ, dərə, düzənlik, səhralar, çay və göllərdən, bitgi və canlı aləmdən, şəhər, kənd və digər məskənlərdən ibarətdir. Yer kürəsinin ən hündür nöqtəsi Hindistan ərazisində Himalay dağlarındakı Comolunqma (Everest) zirvəsidir ki, onuna da dəniz səviyyəsindən hündürlüyü 8848 m-dir. Yer kürəsinin quru hissəsinin ən aşağı nöqtəsi də Asiyadakı Ölü dənizdir. O dəniz səviyyəsindən 400 m aşağıdadır. Yer kürəsinin üçdə iki hissəsindən çoxu su ilə örtülmüşdür. Bu örtük okean və dənizlərdən ibartdır. Ən böyük – sahəsi 166229000 kv. km olan Sakit okeandır. Onun orta dərinliyi 4028 m.-dir. Su qatının ən dərin nöqtəsi də Sakit okeandadır. Hazırda Yer üzündə fəaliyyətdə olan müxtəlif vunkanlar vardır. Fəaliyyətdə olan vulkanlardan ən yüksəyi (6060 m) Cənubi Amerikadakı Halyatiri vulkanıdır.

Afrikadakı Saxara səhrası (8800000 kv.km) dünyanın ən böyük səhrası, Nil çayı (uzunluğu 6695 km) ən uzun çayıdır. Dünyada olan göllərdən ən böyüyü Xəzərdir ki, onun da sahəsi 370980 kv. km-dir. Dünyadakı ən böyük ada, sahəsi 2175219 kv. km olan, Grenlandiya adasıdır, ən yüksək şəlalə isə Venesueladakı su

sütununun düşmə hündürlüyü 979 m olan Anhel şəlaləsidir. Yerin səthində temperaturun dəyişmə həddi –  $88,3^{\circ}\text{C}$ -dən  $+58,0^{\circ}\text{C}$  arasındadır.

Əgər XIV əsrдə Yer kürəsinin əhalisi 500 mln nəfər idisə, XX əsrin sonunda bu rəqəm 6 milrd. – nəfər olmuşdur. 70-ci illərdən başlayaraq sənayedə istehsalın həcmi hər 10-12 ildə 2 dəfə artır. Bu da atmosferin sürətlə çirkənməsinə səbəb olur. Əgər 1900-cü ildə texnogen mənşəli kükürd oksidinin atmosferə tullantısı 30,65 min ton idisə, 2000-ci ildə bu rəqəm 10 dəfədən çox artaraq 333,6 min ton olmuşdur.

Yer səthində temperatur periodik olaraq gün, mövsüm və geoloji dövr ərzində dəyişir. Gün ərzində temperaturun dəyişməsi Yerin üst qatının  $0,9\dots1,2$  m qalınlığında baş verir. Temperaturun il ərzində mövsümü dəyişməsi Yer qabığının  $18\dots40$  m-lik üst qatını əhatə edir. Temperaturun mövsümi dəyişdiyi Yer qabığının alt səthi «neytral qat» adlanır. Yerin üstü ilə «neytral qat» arasındaki Günəş radiasiyasının təsirini özündə hiss edən hissə helium termozonası adlanır. «Neytral qatdan» aşağıda temperatur sabit olub, Günəş radiasiyası təsirindən asılı deyildir.

Yerə düşən Günəş enerjisi Yerin daxilindən gələn enerjiyə nisbətən 10 min dəfələrlə çox olub, orta hesabla Yer səthinin hər kvadrat metrinə  $340 \text{ vt}$  və yaxud il ərzində  $5,5 \cdot 10^{24} \text{ C}$  təşkil edir. Bu enerjinin yalnız  $2\%$ -i Yer üzərində bitgi və canlı aləmin ehtiyacına, Yer səthindəki sükurların parçalanmasına, üzvü maddələrdə toplanıb, faydalı yanacaq materiallarına çevrilməsinə sərf olunur. Qalan  $98\%$ -nin  $40\%$ -i Yer səthindən bilavasitə əks olunur, digər hissəsi isə atmosferi, hidrosferi və biosferi qızdıraraq, uzun dalğalarla şüalanıb kosmosa qayıdır.

Yerin ümumi enerji balansında radiogen enerjinin mühüm rolü olmuşdur. Lakin Yerin mövcud olduğu ilk 200 mln il ərzində qısa ömürlü radiaktiv izotoplar tamamilə dağılmış, yarım dağıılma periodu uzun olan elementlərin miqdarı əhəmiyyətli dərəcədə azalmışdır. Radiogen enerji əsasən Yer materialının qızaraq əriməsi və qravitasiya diferensiyasiyanın getməsinə səbəb olaraq, Yer nüvəsi, mantia, Astenosfer və litosferin yaranmasına sərf olunmuşdur. Yerin geoloji mövcud olduğu dövrdə, onda yaranan enerji, müxtəlif proseslərin getməsinə sərf olunaraq ümumi enerji balansını saxlamışdır. Yer aşağı istilikkeçirsmə qabiliyyətinə malik

olduğundan, Yer nüvəsində yaranan enerji konvektiv yolla, hələ Yerin səthinə gəlib çata bilməmişdir. Yer enerjisinin bir qismi vulkanlar, termal sular şəklində Yer səthinə çıxır, bir qismi isə tektonik proseslərin – zəlzələrin, dağların əmələ gəlməsinə və s. sərf olunur ki, bu da  $1,8 \cdot 10^{17}$  C/il təşkil edir.

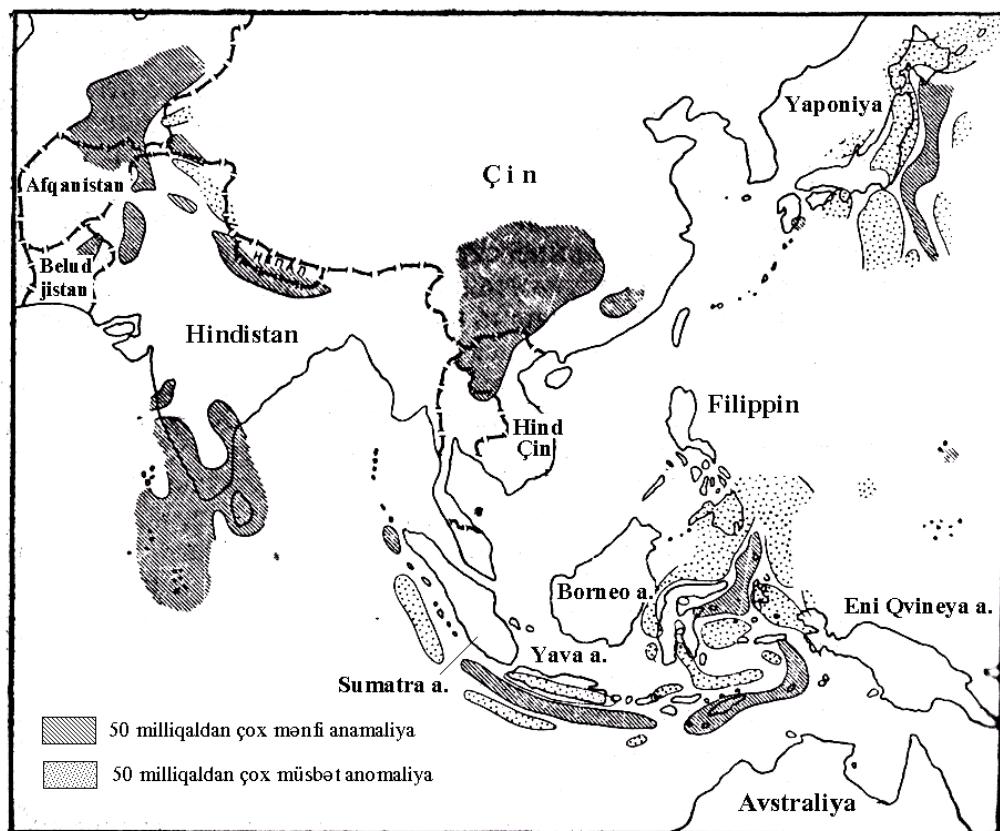
Ümumiyyətlə, Yer kürəsi mövcud olan dövrdə kainata  $0,45 \cdot 10^{31}$  C enerji ötürmüştür. Hal-hazırda Yer kürəsinin illik enerji itgisi  $1,2 \cdot 10^{21}$  C təşkil edir ki, bu da Yerin daxili enerjisindən çox-çox azdır. Odur ki, Yerin soyuyaraq «ölməsi»-nin yaxın gələcəkdə baş verməsi ehtimal olunmur.

Yer kürəsi müxtəlif fiziki xassələrə malik olan qatlardan ibarət qeyri-bircins planetdən ibarətdir. Bu kainatın bütün cisimlərinə aiddir. Yerin mərkəzinə doğru nüfuz etdikdə onun geosfer, atmosfer, hidrosfer, biosfer, yer qabığı, mantiya və nüvədən ibarət qeyri-bircins planet olduğunu görərik. Yer qabığından üstdəki qatlar (atmosfer, hidrosfer və biosfer) bir-birindən kəskin seçilə bilməyən, bəzən də qeyri-müəyyən sərhədlərlə ayrılsalar da, onları biləvasitə müşahidə etmək mümkündür. Yer qabığının bərk qatının isə yalnız kiçik bir qalınlığını (15 km-ə qədər dərinliyi) quyu qazıb, biləvasitə öyrənmək mümkün olmuşdur. Yerin radiusunun 6370 km olduğunu nəzərə alsaq, 15 km-in bunun yanında çox kiçik olduğunu görərik. Hazırda Yerin bərk qatının xassələri əsasən geofizik metodlarla dolayışı yolla öyrənilmişdir.

Yerin sərbəst düşmə təcili  $g$  onu xarakterizə edən parametrlərdən biri sayıla bilər. Yer səthində sərbəst düşmə təciliinin orta qiyməti  $982 \text{ sm/san}^2$ -dir. Dərinlik artıqca  $g$ -nin qiyməti nüvə səthində  $1081 \text{ sm/san}^2$ -a qədər artır.  $g$ -nin qiyməti qütblərdə daha çox -  $983 \text{ sm/san}^2$ , ekvatorda isə ən az  $978 \text{ sm/san}^2$ -a bərabərdir. Bunun səbəbini Yerin fırlanması və Yer kürəsinin qütblərdə batıq -  $21,3 \text{ km}$  olması ilə izah etmək olar. Bundan başqa  $g$ -nin qiyməti Yer qabığının materialının ölçü aparılan nöqtədəki sıxlığından da asılıdır. Yer kürəsi sutkada bir dəfə olmaqla öz oxu ətrafında fırlanaraq bir tam dövr edir. Ekvatorda radiusu  $r = 6371,2 \text{ km}$  qəbul etsək, onda ekvator dakı nöqtənin normal təcili:

$$W_n = \omega^2 R = \left( \frac{2\pi}{24,3600} \right)^2 \cdot 6371,2 \cdot 10^3 = 0,0336 \text{ m/san}^2$$

Deməli mərkəzdənqacma qüvvəsi hesabına ekvator daxilində cismin sərbəst düşmə təcili qütbəkindən  $3,36 \text{ sm/san}^2$  az olacaqdır. Qütblərdəki  $21,3 \text{ km}$  çöküklüyü də nəzərə alsaq, Ekvatorda  $g$ -nin qiymətinin nəyə görə qütbəkindən  $5 \text{ sm/san}^2$  az olduğu aydın olur. Bu səbəbdən Yer materiyası qütblərə yaxın olan hissələrdən mərkəzə doğru, ekvatora nisbətən daha böyük qüvvə ilə sıxlaraq ekvatora yaxın hissədəki qabığı daxildən sıxır. Bu da bu zonada daha çox vulkan və zəlzələlərin baş verməsinə və yüksək dağ silsilələrinin yaranmasına səbəb olub. Qeyd edildiyi kimi,  $g$ -nin qiymətinə yer qabığının sıxlığında mövcud olan anomaliyalar da təsir edir (şəkil 6.1.1.).



**Şəkil 6.1.1. Ağırlıq qüvvəsinin Cənub-Şərgi Asiyada anomallığı müəyyəyen olunan sahələr**

Ağırlıq qüvvəsinin Yer səthində paylanması məsələsini ilk dəfə XVIII əsr fransuz riyaziyyatçısı A.Klero (1713-1765-ci illər) həll etmişdir. O sərbəst düşmə təciliinin təyin edilməsi üçün

$$g = g_e + (g_q - g_e) \sin^2 \varphi$$

düsturunu vermişdir. Burada  $g$  - baxılan coğrafi en dairəsindəki ( $\varphi$ ) sərbəstdüşmə təcili;  $g_e$  - ekvatoradakı sərbəstdüşmə təcili;  $g_q$  - qütbədəki sərbəstdüşmə təcilidir.

Sonradan bu düstur dəniz səviyyəsində olan nöqtələr üçün beynəlxalq miqyasda aşağıdakı kimi qəbul edilmişdir:

$$g = 978,049 \left( 1 + 0,0052894 \sin^2 \varphi - 0,0000059 \sin^2 2\varphi \right)$$

Geosferin Yerin üst bərk qatından yuxarıdakı qatlarının əsas fiziki xassələrini nəzərdən keçirək.

**6.1.1. Atmosfer** – qalınlığı bir neçə min kilometr olan bütov qaz örtüyündən ibarətdir. Hündürlük artdıqca atmosferin sıxlığı da kəskin şəkildə azalır. Atmosferin kütləsinin 50%-ə qədəri, onun Yerin bərk səthindən 5 km məsafədə, 90%-i isə 16 kilometrlik qalınlıqda yerləşir. 30 km-dən hündürdə isə havanın miqdarı bir faizdən də azdır. Atmosfer qaz, az miqdarda bərk toz və su buxarından ibarətdir. Atmosferin tərkibi – 78,08% azot ( $N_2$ ), 20,95% oksigen ( $O_2$ ), 0,93% argon ( $Ar$ ), 0,03% karbon qazı ( $CO_2$ ) və az miqdarda digər qazlardan ibarətdir. Buraya neon ( $Ne$ ), helium ( $He$ ), kripton ( $Kr$ ), hidrogen ( $H_2$ ) və digərləri daxildir. 100...120 kilometr hündürlüyü qədər atmosferin bu tərkibi dəyişməz qalır. 200...500 km arada atmosferin tərkibi əsasən azotdan, 500...700 km arada atomar oksigen, sonrası helium, hidrogen, atmosferin xarici sərhəddi isə atomar hidrogendən ibarətdir. Atmosferin ümumi kütləsi  $5,3 \cdot 10^{15}$  ton olub, Yerin ümumi kütləsinin milyonda birini təşkil edir.

Atmosferdəki suyun həcmi  $13000 \text{ km}^3$ -dur. Oksigen və su Yer kürəsində həyatın mövcud olmasında, Yerin üst qatında üzvü çöküntü qatlarının əmələ gəlməsində mühüm rol oynayır. Atmosferin  $20...30$  kilometrliyində ozon ( $O_3$ ) qatı

yerləşir. Bu qat canlı bitgi aləmini Günəşin sərt şualanmasından və ultrabənövşəyi şuların zərərli təsirindən qoruyur.

Su buxarları doymuş vəziyyətə çatdıqda kondensasiya olunaraq buludları əmələ gətirir. Su damcıları və ya buz dənələri müəyyən cəkiyə catdıqda yağış, dolu

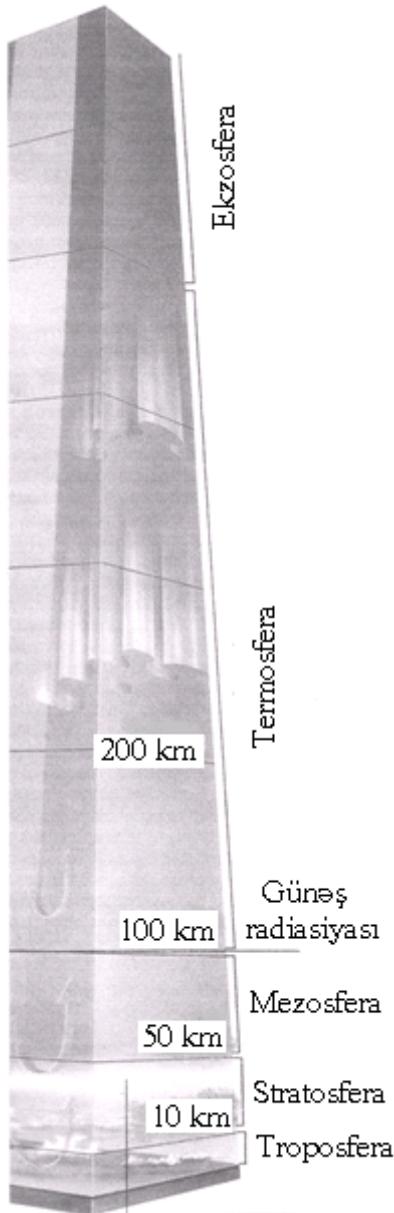
və qar şəklində yağıntiya səbəb olur. Yerin üst qatı qızdıqda su buxarları əmələ gələrək kondesasiya olur.

Tənəffüs və çürümə prosesində, vulkan və qreyzer püskürmələri nəticəsində karbon qazı ( $\text{CO}_2$ ) yaranır ki, bu da bitgi aləminin qidalanmasına və xlorofil əmələ gəlməsinə səbəb olur.

Temperaturun dəyişmə xarakterindən asılı olaraq atmosfer hündürlük boyu aşağıdakı qatlara bölünür (Şəkil 6.1.1.1):

- 1.Troposfera – Yer səthindən 8...9 km-dən 16...17 km-ə qədər.
- 2.Stratosfera - 8...17 km-dən 50...55 km-ə qədər.
- 3.Mezosfera - 50...55 km-dən 80 km-ə qədər.
- 4.Termosfera - 80 km-dən 600...800 km-ə qədər.
- 5.Ekzosfera – 800 km-dən yuxarı.

Troposferin orta temperaturu  $15^{\circ}\text{C}$ -dir. Bu qat əksər qaz komponentlərindən, su buxarlarından və toz hissəciklərindən ibarətdir. Hündürlük artdıqca troposferin temperaturu azalır. Troposferin üst sərhədlərində qütblərdə temperatur –  $50-60^{\circ}\text{C}$ , ekvatorda isə -  $80-85^{\circ}\text{C}$ -yə qədər azalır. Troposferada buludlar əmələ gəlir, yağıntı olur, tsiklon, antitsiklon, tufan və qasırğalar baş verir. Karbon qazı və su buxarları bu qatda Günəş radasiyasını – əsasən infraqırmızı şüaları udmaqla yanaşı, Yerin şüalandığı istiliyin başlıca hissəsini özündə saxlayır.



**Şəkil 6.1.1.1. Atmosfer qatlari**

bu qatda Günəş radasiyasını – əsasən infraqırmızı şüaları udmaqla yanaşı, Yerin şüalandığı istiliyin başlıca hissəsini özündə saxlayır.

Yer kürəsinin müxtəlif en dairələrində temperaturun müxtəlifliyi, relyefin dəyişkənliyi, quru və su hissələrinin temperaturlarının müxtəlif olması, troposferdə ekvatora yaxın yerlərdə təzyiqin azalıb, qutb zonalarında təzyiqin çoxalmasına və bu da hava kütləsinin Yer səthi üzrə müxtəlif istiqamətlərdə hərəkət etməsinə səbəb olur. Hava kütləsi yüksək təzyiqli şimal en dairələrindən ekvatora doğru əsərək, passatları əmələ gətirir. Ekvatorun isti havası isə yüksəyə qalxaraq subtropik zonalara doğru hərəkət edir ki, bu da antipassatlar adlanır. Yerin firlanması səbəbindən passatlar şimal yarımkürəsində cənubi-qərbə, cənub yarımkürəsində isə şimali-qərbə doğru əsir.

Bundan başqa, atmosferdə periodik əsən küləklər tsiklon, antitsiklon və mussonların da əmələ gəlməsinə səbəb olur.

Tsiklonlarda saat əgrəbi istiqamətinin əksinə fırlanan hava kütləsi, alçaq təzyiqlərdə mərkəzə doğru yönəlir, antitsiklonlarda isə firlanma saat hərəkəti istiqamətində olur.

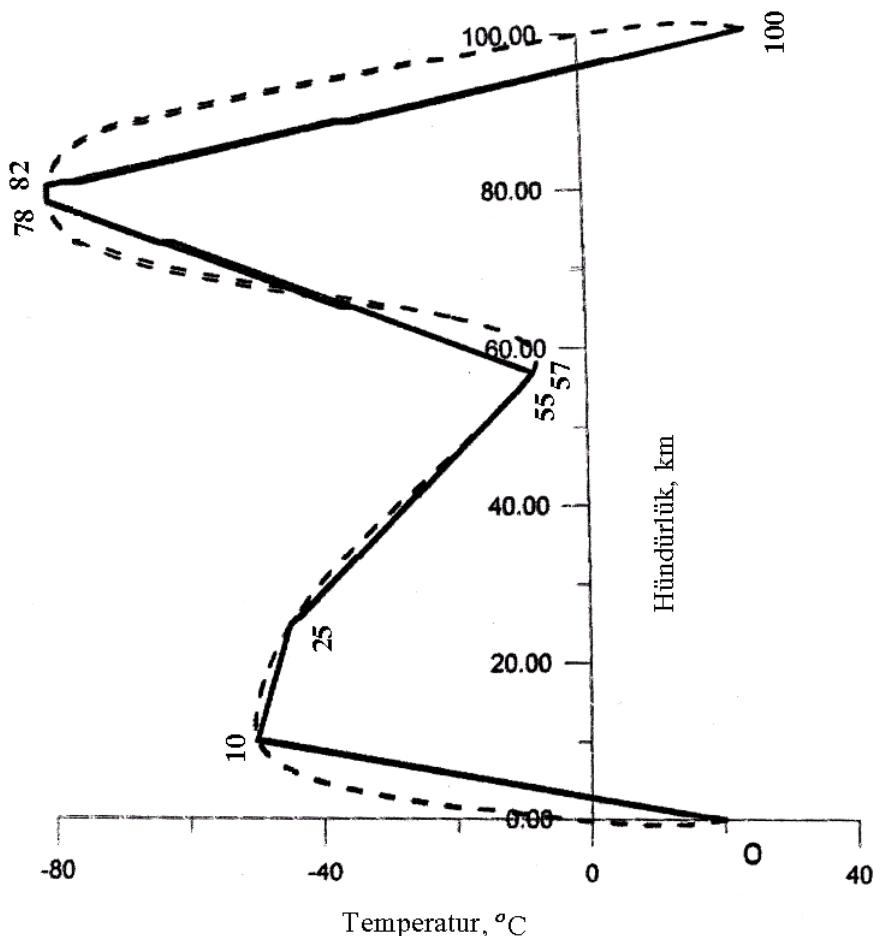
Mussonlar isə okean suları və materiklərin havanı müxtəlif cür qızdırıldıqından, hava axınlarının toqquşması nəticəsində əmələ gəlir. Yayda musson küləkləri okeandan, qışda isə qurudan əsir.

Troposfer və stratosferin sərhəddindəki 2...3 km qalınlıqlı qatda isə izotermik şərait müşahidə olunur.

Stratosferdə havanın temperaturu tədricən artır və yuxarı sərhədlərdə  $10^{\circ}\text{C}$ -yə çatır. Buna səbəb ozon qatının ultrabənovşəyi radasiyani udaraq atmosferin üst qatlarına istilik ötürməsidir.

Ozonun əmələ gəlməsi isə yəqin ki, oksigenə ultrabənövşəyi radasiya və ya kosmik şüaların təsirindən baş verir. Şəkil 6.1.1.2-də atmosferin temperaturunun hündürlük boyu dəyişməsi göstərilmişdir.

Stratosferdə havanın intensiv dövranı baş verir. Nəticədə hava axını yuxarı və aşağı hərəkət edir. Stratosferdən mezosferə kecid qatında (stratopauzada) hündürlük artdıqca temperatur azalır. Mezosferdə hündürlük artdıqca temperatur azalır. Burada 80...85 km hündürlükdə gümüşü buludlar əmələ gəlir. Gümüşü bülüdlər qatı mezasfer və termosfer arasında səd çəkir və bu sərhəd qatı mezopauza adlanır.



**Şəkil 6.1.1.2 Atmosferdə temperaturun hündürlük boyu dəyişməsi**

Termosferdə temperatur sürətlə yüksəlir. Əgər 90 km-də temperatur - 90°C idisə, 400 m hündürlükdə bu 1000...2000°C-yə qədər yüksəlir. Daha hündür qatlarda temperatur belə yüksək olaraq sabit qalır. Günəşin bənövşəyi şüalanması və kosmik şüaların təsirindən bu qatda hava çox az güclü ionlaşaraq elektrik keçiriciliyinə malik olur. Bu qat bəzən ionosfera da adlanır. Qeyd etmək lazımdır ki, ekzosferin daha yüksək qatlarında da hava ionlaşmış vəziyyətdə olur, lakin onların sıxlığı çox az olduğundan ayrı-ayrı qaz molekulları çox böyük sürətlə uçaraq, Yerin cazibə qüvvəsini dəf edir.

Atmosfer olmadan Yerdəki həyat mümkün olmazdı. Atmosferdəki azotdan gübrələrin istehsalında, oksigendən metallurgiyada yanacaq kimi, tibbdə digər məqsədlərlə istifadə olunur. Müxtəlif növ yanacaqdən geniş istifadə olunması nəticəsində son 20...30 il ərzində atmosferdəki CO<sub>2</sub> qazı 10...15% artmışdır.

Nəticədə illik temperatur orta hesabla  $0,5^{\circ}\text{C}$  artmış və bu da buz qatının azalmasına və bununla əlaqədar Yerdə digər təbiət hadisələrinin meydana çıxmasına səbəb olmuşdur.

Atmosferə buraxılan zəhərli qazlar  $\text{CO}_2$ ;  $\text{CH}_4$ ; su buخارı  $\text{H}_2\text{O}$  və digər maddələr havanı çirkləndirir. Atom və hidrogen bombalarının sınaqları nəticəsində havaya külli miqdarda toz buraxılır. Bu da ozon qatının qoruyucu funksiyasını pisləşdirir. Yerin yaşıl örtüyünün azalması atmosferdəki oksigenin balansını pozur. Bir çox çirklənmiş şəhərlərdə – Los-Angeles, Mexiko, San-Paulu, Çelyabinsk də normal tənəffüs etmək mümkün deyildir.

**6.1.2 Hidrosfer.** Yer səthinin 71%-dən çoxu su ilə örtülmüşdür (361 mln.  $\text{km}^2$ ), bunun da həcminin 94%-ni Dünya okeanı təşkil edir. Hidrosferdəki 1458 mln.  $\text{km}^3$  suyun həcminin 1370 mln.  $\text{km}^3$ -u Dünya okeanının payına düşür.

Hidrosferin həcmi Yer kürəsi həcmimin 0,025%-ni təşkil edir. Hidrosferin 97%-dən çoxunu dəniz və okeanların şor suları təşkil edir. Hidrosferin digər hissəsi çaylardan, havanın rütubətindən, yer altı şirin su mənbələrindən ibarətdir.

Yer kürəsində 4 okean mövcuddur. Sakit okean - orta dərinliyi 4880 m, ən dərin nöqtəsi – 11033 m, Mariya çökəkliyindədir.

Atlantik okeanı - orta dərinliyi 3900 m, ən dərin nöqtəsi 8648 m, Puerto Riko çökəkliyindədir.

Hind okeanı - orta dərinliyi 3800 m, ən dərin nöqtəsi 7725 m, Yava çökəkliyindədir.

Şimal buzlu okeanı - orta dərinliyi 1500 m, ən dərin nöqtəsi 5450 m., Avrasiya hövzəsindədir.

Dünya okeanının səviyyəsi şərti olaraq sıfır qəbul olunur. 30 min il bundan əvvəl Dünya okeanının səviyyəsi indikindən 90 m. aşağı olmuşdur. Buzlaşma dövründən sonra okeanların səviyyəsi artmış, bir çox quru sahələrini su basmışdır. Hazırda su altında qalan bu sahil zonaları Dünya okeanın sahəsinin 9,64 min  $\text{kv.km}$  təşkil edir. Dünya okeanının səviyyəsi müxtəlif dövrlərdə gah qalxmış, gah da enmişdir.

Misal üçün, 500 milyon il bundan əvvəl Dünya okeanının səviyyəsi indiki səviyyədən 500 m-ə qədər yüksək olmuş və indiki quru sahəsinin 69%-dən çoxu su altında olmuşdur. Okeanların təqribən 300 m.-ə qədər dərinliyi olan sahil zonaları shelf adlanır. Vaxtilə bitgi və heyvanlarla zəngin olan shelf su altında qalaraq, bu zonada zəngin təbii və mineral sərvətlərin olması ilə fərqlənir. Əgər quruda bitgi kütləsi heyvanat kütləsindən 2000 dəfə çoxdursa, Dünya okeanında heyvanat kütləsi bitgi kütləsindən 18 dəfə çoxdur. İldən-ilə dəniz və okeanlardan çıxarılan neftin miqdarı artmaqdadır. Əgər 1996-ci ildə Dünyadakı neft hesilatının 30%-i dəniz neftinin payına düşürdüsə, yaxın illərdə bu rəqəm 45...65%-ə çatacaqdır.

Şelf zonasından sonrakı dərinlikdə mailliyyi  $15^{\circ}$  çox olmaqla kontinental yamaclar başlayır. Bu zonanın dərinliyi – 300...2500 m olub okean sahəsinin 13%-ni təşkil edir.

Bu yamaclar erroziyaya uğradığından shelflə kontinental yamaclar arasındaki keçid çox da nəzərə çarpmır. Kontinental yamacların çay axınları okeanlara töküldüyü sahələrində dərin uçurumlu yarığanlar mövcuddur ki, bu da su altı kanalları təşkil edir. Belə yarığanlar bəzən 4000 m. dərinliyə qədər uzanır. Yamacları su yuduqca bu sahələrdə su bulanır və bulanıq sellər yamaclara çoxlu turbudit adlanan çöküntülər gətirir.

Okeanların sahəsinin 76,5%-ni Abissal adlanan okean yataqları təşkil edir. Bu sahənin relyefinin əsas xarakterik forması geniş sualtı çaladan və okeanın ortası boyu 60000 km uzanan orta – okean dağ silsiləsindən ibarətdir.

Okeanın və dənizlərin dibinin səthinin relyefi qeyri-bircins olub, materiklərdəki kimi dağlardan, təpələrdən, düzənlik və yaylalardan ibarətdir. Okean dibindən yüksələn ayrı-ayrı dağlar əsasən vulkanik mənşəli daqlardır. Bu dağların başı sudan yuxarı çıxdıqda erroziyaya uğrayaraq yastılaşır. Bu zirvələr təkrarən su altında qaldıqda yastı başlı dağlar əmələ gəlir ki, bunlar da hayat adlanır. Abşeronda belə yer üstü daqlara Gobustanda təsadüf edilir.

Su altı dağ silsiləsi boyunca okeanın dibində dərinliklərə gedən yarıqlar mövcuddur. Bu yarıqlardan mantiya materialı üzə çıxaraq okean dibində yeni qatlar əmələ gətirir. Odur ki, okeanın orta dağ silsiləsində çoxlu sayda sualtı vulkanlar və

hidrotermal görüntülər fəaliyyət göstərir. Okean altı dağ silsiləsindəki vulkanın hidrotermal fəaliyyəti Atlantik okeanının orta dağ silsiləsinin İslandiyada sahilə çıxan hissəsində özünü bürüzə verir.

Dünya okeanı sahəsinin 0,9%-ni dərin oyuqlar təşkil edir. Bu oyuqlar əsasən Sakit okeanda, okeanaltı plitələrin bir-birinə nisbətən sürüşdükələri zonada təsədүf edilir. Bu sürüşmə okean plitəsinin kontinental plitə altına keçməsi və bu zonada sualtı Yer qabığının çökməsi ilə müşaiət olunur ki, nəticədə çox dərin yarıqlar əmələ gəlir. Ən dərin çökəklik Sakit okeandakı Mariya çökəkliyidir ki, onun da dərinliyi 11022 m.-dir.

Okean suları şordur. Suda həll olan maddələrin əksəriyyətini sodium xlor (xörək duzu) təşkil edir. Okean sularında həll olan duzların ümumi miqdarı  $5 \cdot 10^{16}$  tona qədərdir. Hər il çaylar okeanlara  $2,5 \cdot 10^9$  tona qədər duz gətirir. Okean sularının hər kiloqramında təqribən 35 qram duz vardır.

Okean sularının tərkibində demək olar ki, bütün elementlər vardır. Bunlardan ən çoxu xlor, sodium, kükürd və digər elementlərdir. Okeanların böyük bir hissəsi buzlaşmışdır. Dəniz suları sürətlə buzlaşdıqda duzlar büzün tərkibində qalır. Belə buzların tərkibi dəniz süyünün tərkibinə yaxın olur. Köhnə buzların tərkibində duzun miqdarı daha az olur. Dəniz buzunun bərkliyi təmiz sudan yaranan buzun bərkliyindən təqribən üç dəfə az olur. Lakin az duzlu sulardan əmələ gələn köhnə buzların bəkrliyi təmiz sudan əmələ gələn buzların bərkliyinə yaxın olur.

Duzlardan başqa sularda azot, okisgen, karbon qazı və s. qazlar həll olmuşdur. Suda azot havaya nisbətən iki dəfə az, oksigen isə 1,4 dəfə çoxdur. Bu onunla izah olunur ki, oksigen suda azota nisbətən daha yaxşı həll olur. Suyun temperaturu artdıqda onlarda qazın həll olması pisləşir. Dövran zəif olduqda qazların suda həll olması pisləşir. Ona görə də bağlı su hövzələrində oksigenin miqdarı daha az olur. Belə sularda kükürd oksidinin miqdarı daha çox olur. Bu səbəbdən Qara dənizin səthindən 170 m dərin yerlərində suyun tərkibində kükürd oksidi vardır.

Okean suları soyuqdur. Yalnız suyun səthinə yaxın hissələrdə (200 metr dərinliyə qədər) onun səthi qismən qızır. Dərinliyə getdikcə soyuqluq artır. Okean

sularının yalnız 8%-nin temperaturu  $10^{\circ}\text{C}$ -dən çoxdur. Suyun yaridan çoxunun temperaturu  $2,3^{\circ}\text{C}$ -dən aşağıdır.

Tropiklərdə su səthinin temperaturu daha yüksəkdir. Dərinlik ardıqca temperatur qeyri-müntəzəm dəyişir. Çox böyük dərinliklərdə və yarıqlarda temperaturun artması baş verir. Bu da Yerin təkindən gələn istilik və termal suların mövcudluğu ilə izah olunur.

Okean sularının dövranı əsasən iki amildən – suyun sıxlığından və küləklərdən baş verir. Passat küləklərin əsdiyi ərazilərdə isti axınlar meydana gəlir. Belə su axınlarından ən istisi və güclüsü Qolfstrim cərəyanıdır.

Qolfstrim cərəyanı dəqiqdə təxminən 4 mlrd. ton isti suyu Meksika körfəzindən Skandinaviya sahillərinə gədər çatdırır. Onun eni 80 km, dərinliyi 800 m-dir. Qolfstrim cərəyanının orta sürəti sutkada təxminən 220 km-dir. Bu cərəyanın uzunluğu 3 min kilometrdir. Bu cərəyan İngiltərə və Skandinaviyanın şimalında temperaturu dəyişdirərək bu ölkələrdə həyat fəaliyyətinə əsaslı təsir edir.

Soyuq cərəyana misal olaraq, Kanada sahillərini əhatə edən Labrador axınını göstərmək olar. Bu axın Kanada sahillərini soyuq ölü səhraya çevirmişdir.

Su altındaki Yer titrəməsindən okean səthində yaranan dağlıcı dalgalar «sunami» adlanır. Sunamilərin sürəti saatda 800 km-ə, dalğa hündürlüyü isə 60 m-ə çatır. Belə sunamilər çatdıqları okean sahillərində dəhşətli dağıntılar əmələ gətirir.

Okean sularının özünə məxsus hərəkətinə qabarma və çəkilmələr də səbəb olur. Açıq okeanlarda onların hündürlüyü 10...12 m-ə, dayaz yerlərdə isə 15-m-ə qədər çatır. Daxili dənizlərdə isə qabarma və çəkilmə təsadüf olunmur. Okean sularında qabarma və çəkilməyə əsas səbəb Aydır. Ay qabarması, Günəş qabarmasından 2,2 dəfə çoxdur. Qabarma və çəkilmənin əsas səbəbi Ayla Yer arasındaki cazibə qüvvəsidir. Bu qüvvə təsirindən Aya tərəf yönələn Yer səthindəki okean suları, Aya tərəf qabarır, yan tərəflərdə isə çökmə baş verir.

Yer kürəsi firlandıqca gün ərzində eyni nöqtədə iki dəfə qabarma və iki dəfə çəkilmə müşahidə olunur. Qabarma və çəkilmə enerjisindən Fransa, İspaniya, ABŞ, Yaponiya, İngiltərə, Kanada və digər ölkələrdə alternativ enerji növü kimi istifadə edilir. Yaxın gələcəkdə Yer kürəsində istifadə ediləcək elektrik enerjisinin 10%-dən

çoxunun qabarma və çəkilmə elektrik stansiyalarının hesabına təmin ediləcəyi gözlənilir.

Yer kürəsindəki şirin suların həcmi təxminən 50 min kub kilometrdir. Bu da Yerdəki su həcmimin 4%-ni təşkil edir.

Okean və dənizlərdəki buxarlanmadan xeyli şirin su yaranır. Bunun 85%-i okeanların, 15%-i isə quru səthinin buxarlanması nəticəsində əmələ gəlir. O qədər də su yağış vasitəsiylə okeanlara qayıdır.

Havada buxar şəklində 13000 mlrd. kub metr su vardır. Buzlaqlardakı şirin suyun həcmi 27000 mlrd. kub m-dir. Hal hazırda planetimizdə il ərzində 2900 mlrd. kub metr su istehlak olunur. 2015-ci ildə şirin suya olan tələbat 8000 mlrd kub metr olacaqdır.

Hazırda ən əsas şirin su mənbələri çaylardır. Çaylarda il ərzində axan suların həcmi kub km-lə qitələr üzrə aşağıdakı kimidir: Avropa - 2730; Asiya – 10790; Afrika – 4183; Şimali Amerika – 6630; Cənubi Amerika – 11760; Avstraliya və Okeaniya – 310.

Təsərrüfat işlərinə il ərzində 4,5 min kub kilometr su işlənir. Təsərrüfat və məişətdə işlədirilən şirin sular sonradan tullantılara qarışaraq 600 kub kilometrdən çox həcmdə yenidən təmiz su hövzələrinə axıdılır. Bu səbəbdən Dunay, Volqa, Reyn, Sena, Missisipi və Dnepr kimi bol sulu çayların suyu çirkab sularına çevrilmişdir. Xəzərə tökülən çirkab sularının 85%-i Volqa çayının payına düşən. Belə ki, bu çay üzərində yerləşən 100-dən yuxarı sənaye şəhərlərinin məişət və təsərrüfat suları təmizlənmədən Volqa çayına tökülmüşdür. Odur ki Xəzərin şimalında suyun tərkibində zəhərli, ağır metalların miqdari son zamanlar xeyli artmışdır. Hazırda çirkab sularının təmizlənməsi üçün 20...25 mln. kub kilometr şirin su sərf etmək lazımdır. Planetimizdə istifadə olana bilən təmiz su ehtiyatını 33 min kub kilometr olduğunu nəzərə alsaq, vəziyyətin nə dərəcədə ciddi olduğunu təsəvvür etmək çətin deyildir.

Atmosferin qlobal çirkənməsinin əsas səbəblərindən biri, onun karbon qazı ilə çirkənməsidir. Bu qazla atmosferin təbii yolla çirkəndirilməsindən əlavə çoxlu yanacaq məhsullarının yandırılması hesabına atmosferin CO<sub>2</sub> qazı ilə həddindən artıq çirkənməsi baş verir. Son 20...30 il ərzində atmosferdəki CO<sub>2</sub> qazının miqdari

10...15% artmışdır. Bunun nəticəsində havanın temperaturu yüksəlir. Bu da buzlaqlarda suyun əriməsinə və bununla bağlı ekoloji fəlakətlərə səbəb ola bilər.

Yer səthindəki göy örtüyün tədricən azalması atmosferdə oksigenin miqdarının azalmasına səbəb olur. Büyüt sənaye mərkəzlərində havaya buraxılan zəhərli qazların (küükürd oksidi, azot, dəm qazı) təsirindən böyük sahələr sıx tüstü, duman qazı ilə örtülür ki, bu da normal yaşayış üçün zərərlidir. Belə çirkli şəhərlərə misal olaraq Los Angelesi, Mexikonu, San-Paulu, Çelyabinskini və s. göstərmək olar.

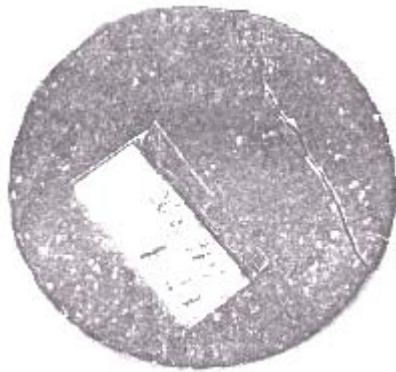
Yer ətrafında ozon qatının muhafizəsinə xüsusi fikir vermək lazımdır. Ətraf mühiti ən çox çirkləndirən yanacaq sənayesidir. İl ərzində yanma məhsullarından atmosferə 25 mlrd tondan çox CO<sub>2</sub> və 200 min tona yaxın SO<sub>2</sub> – atılır. Keçən əsrin 70-ci illərində Yer ətrafında ozon qatının desilməsi müəyyən edilmişdir. Bütün canlıları Günəşin ultrabənövşəyi şüalarından qoruyan ozon qatının deşiyi Antarktida üzərində müşahidə olunmuşdur.

Son illərdə hər 10...12 ildən bir sənaye istehsalının həcmi 2 dəfə artmışdır. Bu da təbiətdə texnogen təzyiqin artmasına səbəb olmuşdur. Nəticədə qərbi Avropa və ABŞ-da 30 min hektardan çox meşə sahəsi yox olmuşdur. Hazırda energetika, avtomobil nəqliyyatı, qara metallurgiya, tikinti materialları istehsalı, əlvan metallurgiya, neft-kimya və kimya sənaye sahələri atmosferi və hidrosferi çirkləndirən sənaye sahələridir.

**6.1.3 Yer qabığı.** Yerin bərkimiş üst qatı Yer qabığı adlanır. Onun qalınlığı okean altında 6...20 km, quruda isə 20...65 km-dır.

Yerin nüvə hissəsi əsasən dəmir və nikeldən ibarət olduğu halda, Yer qabığı niəsbətən yüngül elementlərdən təşkil edilmişdir. Onun 47%-ni oksigen, 27%-ni silisium, 10%-ni dəmir, 6%-ni isə digər elementlər təşkil edir. Yer kürəsinin 30%-ni dəmir təşkil etdiyi halda, Yer qabığında dəmirin 10% olması onu göstərir ki, Yer kürəsi formalaşdıqca dəmir ağır element kimi əsasən onun nüvə hissəsinə yiğilmiş daha yüngül elementlər isə Yer qabığını təşkil etmişlər. Yer qabığı ilə mantiya arasındakı şərti xətt Moxoroviç sərhəddi adlanır.

Yer qatının dərinliklərini öyrənmək üçün XX əsrin axırlarında Kola yarımadasında və Azərbaycanın Saatlı rayonunda dərinlikləri 10 km-ə çatan quyu qazılmış və dərinliklərdən sűxur nümunələri götürülmüşdür. Şəkil 6.1.3.1-də Saatlıdakı SQN №-li quyudan 5125 m dərinlikdən çıxarılan sűxur nümunəsi göstərilmişdir.



**Şəkil 6.1.3.1. Saatlıdakı SQN-li quyudan 5125 m dərinlikdən çıxarılan sűxur nümunəsi.**

Bu sűxur tünd goy-qara rəngdə bərk bazaltdan ibarətdir. Daşın tərkibi ağı-boz rəngə çalan qarışıqlarıdır. Nümunənin diametri 5,2 sm, qalınlığı 0,5 sm, çəkisi isə 225 qramdır. Bu hesabla onun xüsusi çəkisi  $\gamma = 2,12 \frac{q}{sm^3}$  təşkil edir.

Yer qabığının əsasını qranit və bazalt layları təşkil edir. Bu laylar maqmanın Yerin üst qatına keçməsi və soyuyaraq maye halından bəpk hala keçməsi nəticəsində əmələ gəlmişdir. Bu layların üst qatının aşınması nəticəsində əmələ gələn qum hissəcikləri yağış və külək vasitəsilə Yer qatının çökək hissələrini örtərək qum səhralarını əmələ gətirmişdir.

Xırda qum hissəcikləri su ilə qarışır sıxlışaraq gil əmələ gətirir. Yer kürəsində canlı aləmin yarandığı tarixi dövr ərzində bitgi və heyvan qalıqları Yer səthinə, dəniz və okeanların dibinə çökmüş, üzvü birləşmələrlə qarışaraq, Yer qatında bir çox faydalı qazıntıları – daş kömürü, nefti, təbii qazı, silistləri, əhəngi və bir çox başqa maddələri əmələ gətirmişlər.

Baş verən vunkanlar, Yer qabığının qalxıb-enməsi, dağların əmələ gəlmə prosesində müəyyən hissələrdə təzyiq və temperaturun dəyişməsi nəticəsində Yer qabığı laylarında olan süturların bir hissəsi bərkiyir, digəri isə kövrək hala düşür.

Bu proses maqmatik proses adlanır. Maqmatik süturların tərkibindəki özünə məxsus fiziki və kimyəvi tərkibləri ilə fərqlənən təbii birləşmələr minerallar adlanır. Yer qabığında 3000-ə qədər mineral aşkar edilmişdir.

Süturlar əsasən mineralların qarışığından ibarətdir. Yalnız bir mineraldan ibarət olub özünə məxsus kristallik quruluşa məxsus olan süturlar qiymətli daş qasılar adlanır ki, bunlara misal olaraq topaz, kvars, füruzə, zümrüd, almaz və başqalarını göstərmək olar. Şəkil 6.1.3.2-də maqmatik tipli süturların kəsiyi və landşafı göstərilmişdir.

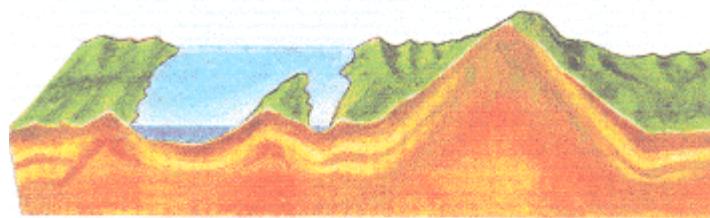
Yer qabığında müxtəlif və nadir elementlər filiz və külçə şəklində təsadüf oluna bilir. Şəkil 6.1.3.3-də Cənubi Afrikada tapılmış qızıl külçəsi göstərilmişdir. Şəkil 6.1.3.4-də əhəng şpatına bitişik gümüş sapların olduğu aşkar görünür. Şəkil 6.1.3.5-də psevdomalaxitlə mis karbonatın (goy rəngdə) dağ süturu, şəkil 6.1.3.6-da isə en kəsiyi müxtəlif rəngli zolaqlardan ibarət olan Əqiq daşı göstərilmişdir.

Yer qabığı bir-birindən müxtəlif üsullarla təcrid olunmuş litosfer plitələrindən ibarətdir. Bu plitələrin yerləşmə sxemi şəkil 6.1.3.7-də göstərilmişdir. Bu plitələrin altındakı yuxarı mantiya konvektiv hərəkətdə olduğundan o özü ilə litosfer plitələrini də hərəkətə gətirir.

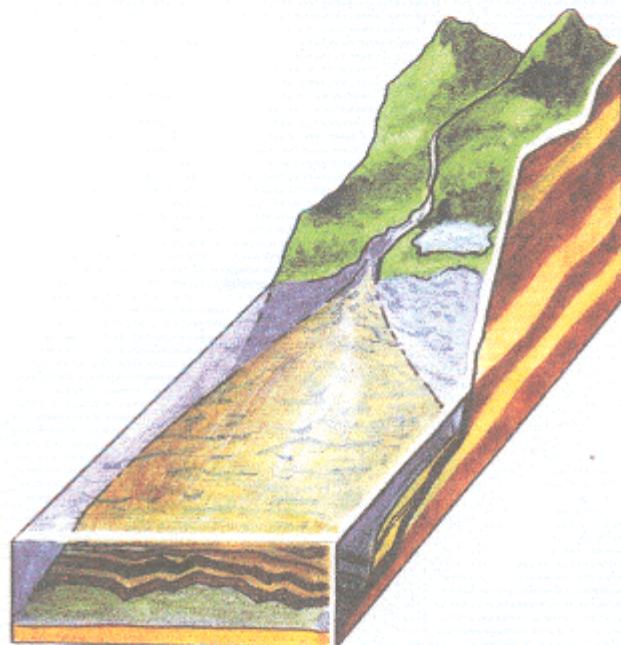
Plitələr il ərzində 5...10 sm sürətlə yerlərini dəyişir. İki plitə bir-birindən müxtəlif istiqamətlərə ayrıldıqda ərimiş mantiya kütləsi – maqma – çatlara dolur.

Nəhəng plitələr gitələri çay buz bağladıqda böyük gil parçasını daşıyıb apardığı kimi öz üzərinə alıb aparır. Plitələrin hərəkəti və toqquşması nəticəsində dağlar əmələ gəlmişdir. Qaya süturları yuxarı itələnərək sonradan hava ilə aşınmışdır.

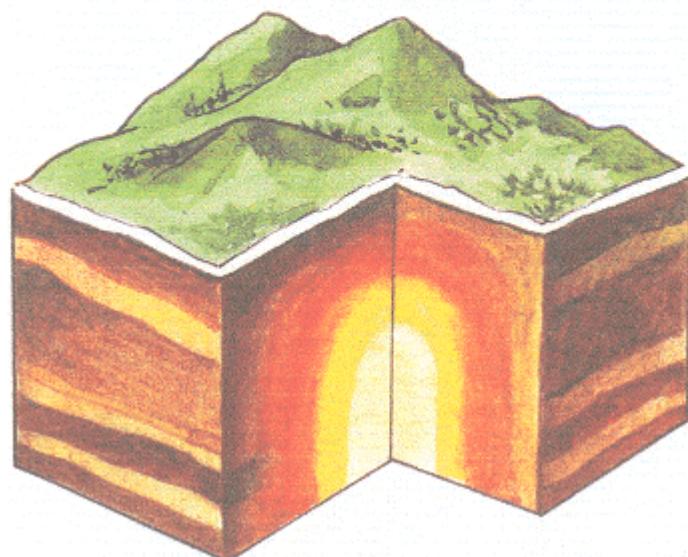
Maqmatik tipli süxurlar



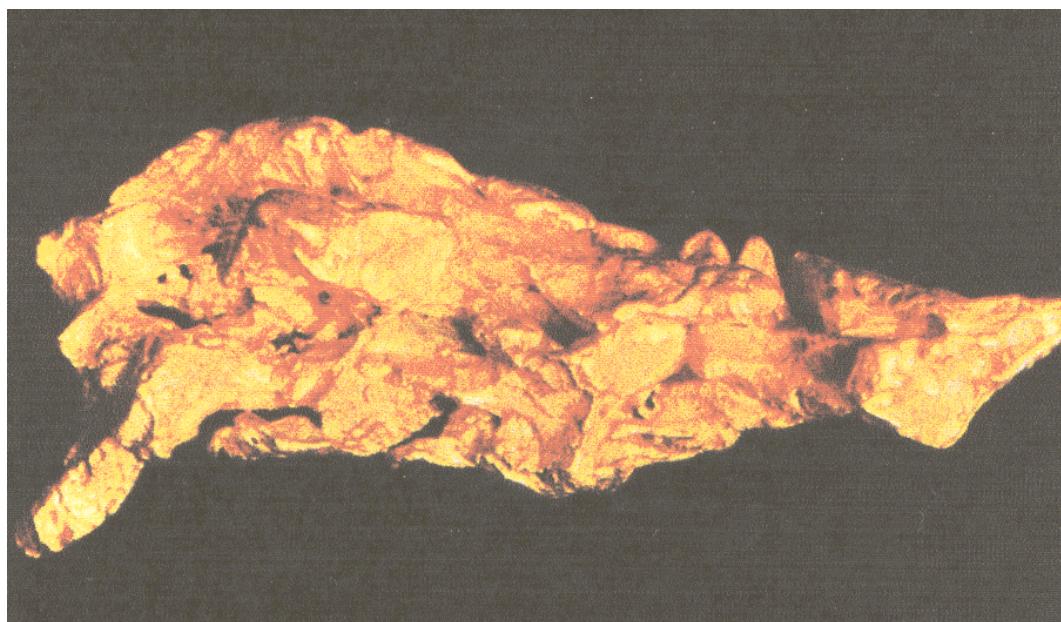
Qeyri-üzvi çökme süxurları



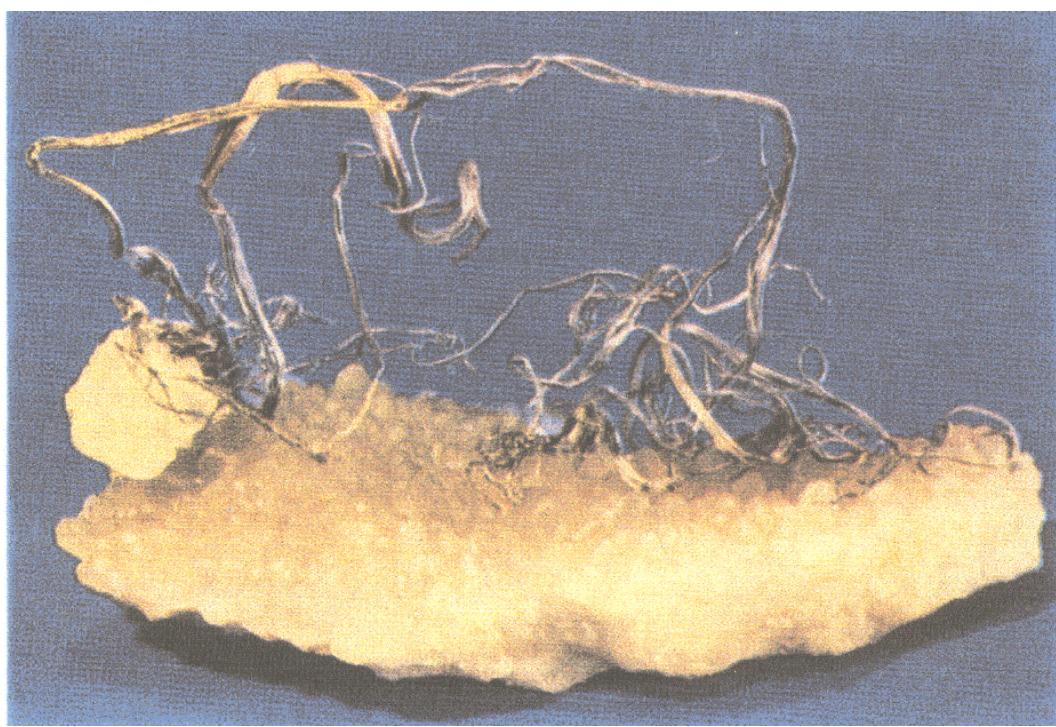
Metamorfik süxurlar



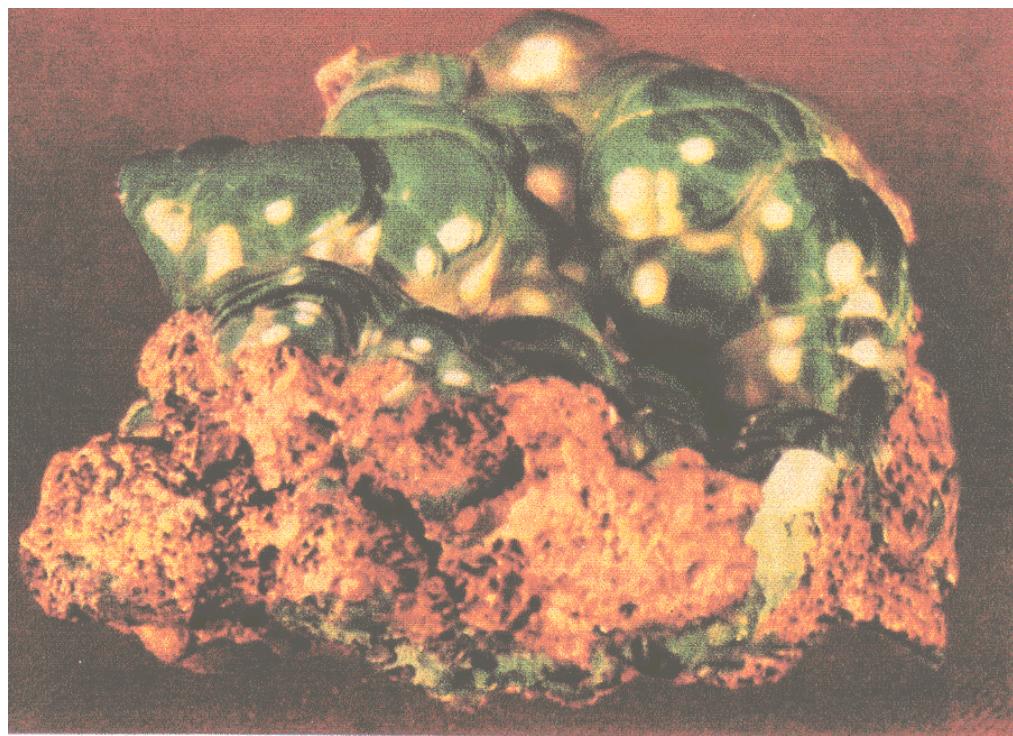
Şəkil 6.1.3.2. Maqmatik tipli süxurların kəsiyi və landşaftı



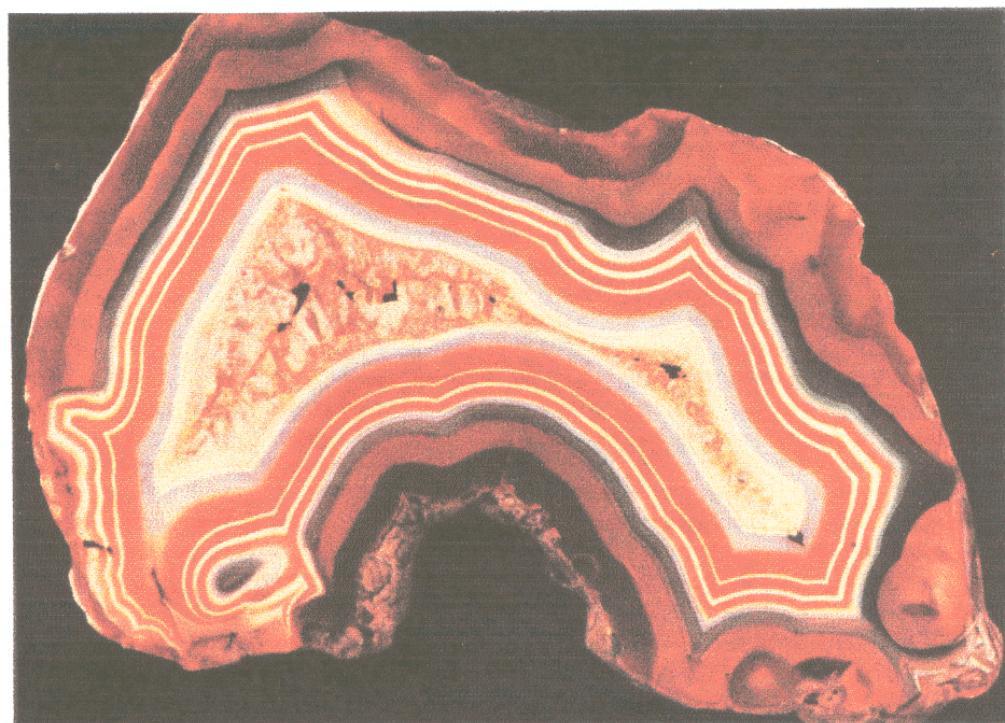
**Şəkil 6.1.3.3. Cənubi Afrikada tapılmış qızıl külçəsi**



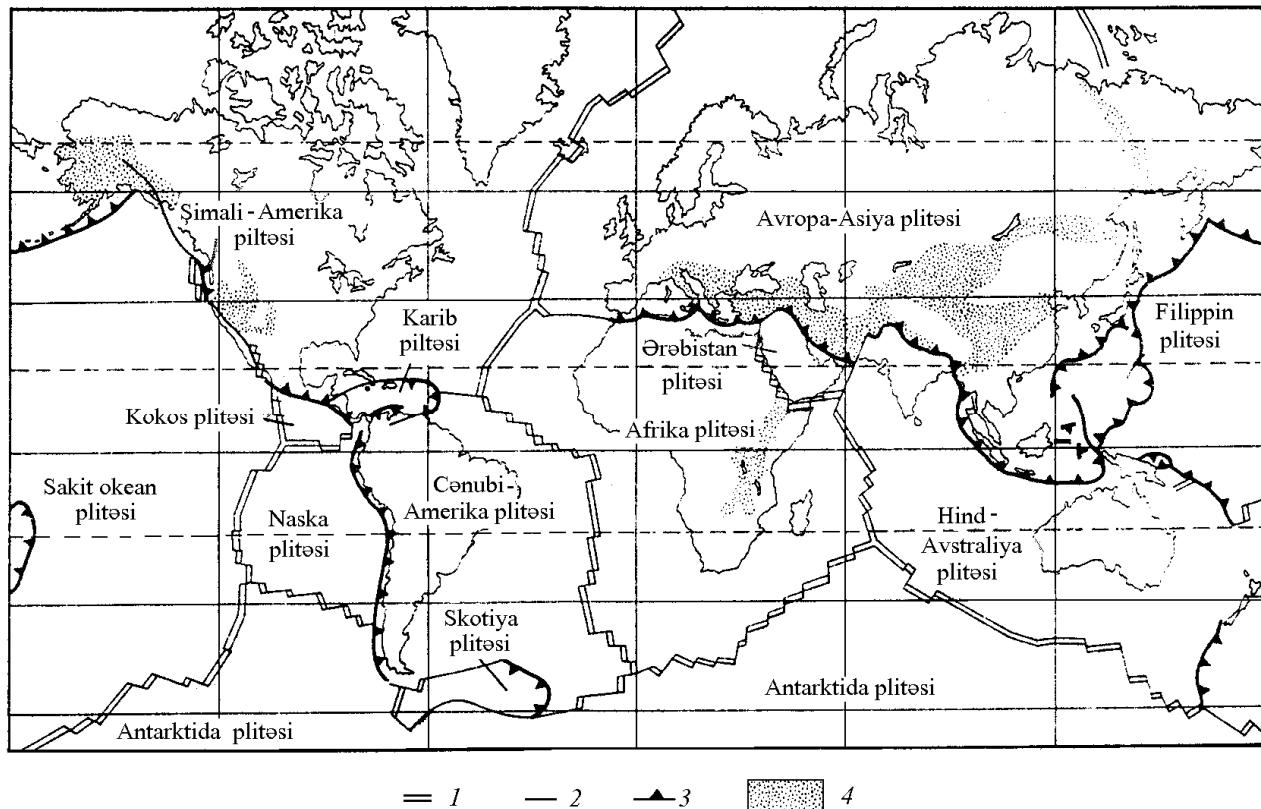
**Şəkil 6.1.3.4. Əhəng şpatına bitişik gümüş saplar (Almaniya)**



Şəkil 6.1.3.5. Psevdomalaxit və mis karbonatın (göy rəngdə) daş süxuru



Şəkil 6.1.3.6. En kəsiyi müxtəlif rəngli zolaqlardan ibarət olan Əqiq daşı



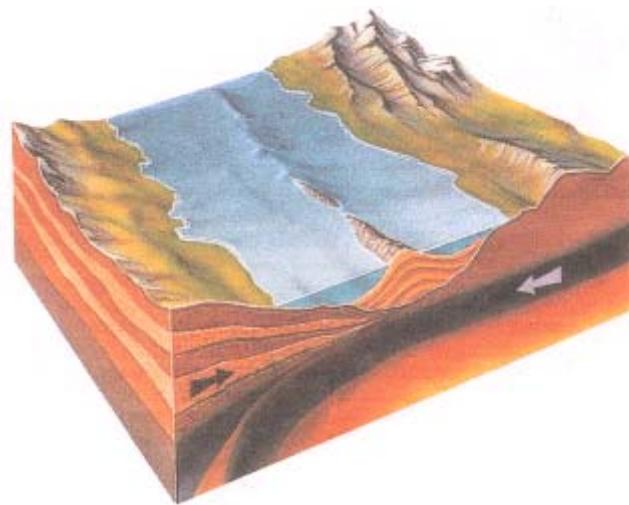
**Şəkil 6.1.3.7 Litosfer plitələrinin sxemi.**

1 – Litosfer plitələrinin sərhəddi. 2 – Yarğınların transformasiyası və plitələrin sürüşmə sərhəddi. 3 – Litosferin çökmə sahəsində plitələrin sərhəddi.  
4 – Materik daxili seysmik zonalar; kontinental rıflərə uyğun gələn hissələr.

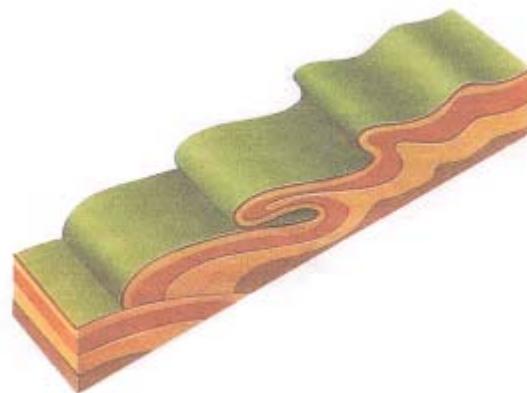
Şəkil 6.1.3.8-də bir kontinental plitənin digər kontinental plitənin altına girərək onu sıxışdırmaqla dağ əmələ gətirmə prosesi göstərilmişdir.

Çökünti səxurları sıxılmaya məruz qaldıqda, böyük təzyiqlərdə, səxur bu təsirə davam gətirməzsə o sürüşərək qatlanır (şəkil 6.1.3.9).

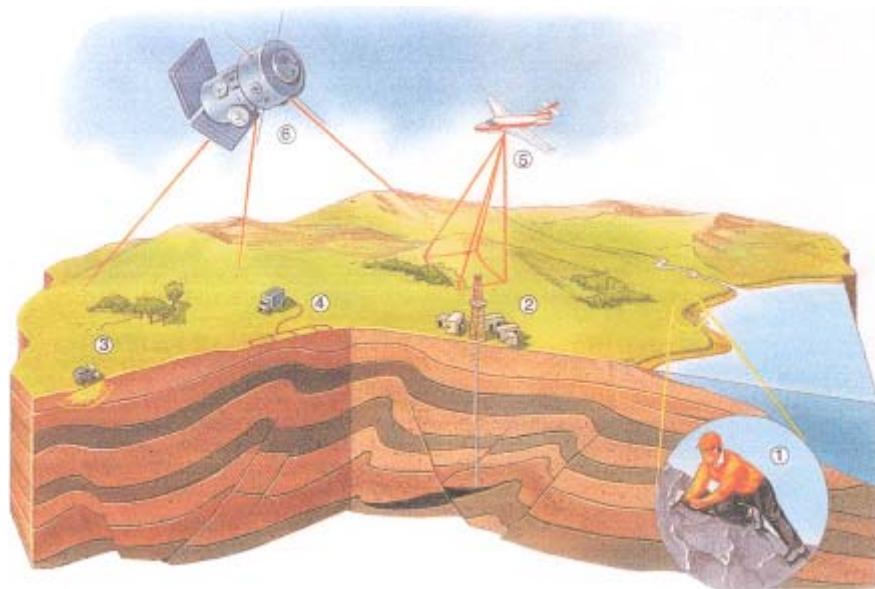
XX əsrə qədər Yer qabığı səxur nümunələrinin kimyəvi tərkibi öyrənilməklə tədqiq olunurdu (şəkil 6.1.3.10 (1)). Hal hazırda bu tədqiqatlar kəşfiyyat qazması (2), süni zəlzələ yaradıb (3) zərbə dalğalarını (4) tədqiq etməklə, təyyarə (5) və süni peyklərdən (6) çəkiliş aparmaqla yerinə yetirilir.



Şəkil 6.1.3.8 Bir kontinental plitə digərinin altına girərək dağ əmələ gətirir



Şəkil 6.1.3.9 Sükurların sürüşərək qatlaşması



Şəkil 6.1.3.10 Yer qabığının öyrənilməsi

Dağ süturlarının yaşı onlarda qalan ölmüş heyvanlarının cəsədlərinin qalıqları ilə müəyyən edilir. Bu qalıqların özü və ya onların izi dağ süturlarında minerallaşaraq bu günə gəlib çıxmışlar (şəkil 6.1.3.11). Okeanların altındakı Yer qabığı əsasən bərk bazalt süturlardan, materiklərdəki Yer qabığı isə əsasən daha az sıxlıqlı qranitdən ibarətdir. Vaxt keçdikcə dağ süturları eroziyaya uğrayır. Bunun səbəbi külək, yağış, rütübət, Günəş şuaları və s. xarici təsirlərdir. Büyük sürətlə əsən küləklər qum dənəciklərini qayalara çırparaq onlardan kiçik hissəciklər qopardıqca qayalar pardaxlanaraq fantastik forma alır. Qayalardan qopan hissəciklər isə qum dənəciklərinə çevrilir. Bunlar da böyük qum səhralarının əmələ gəlməsinə səbəb olur. Dəniz sahilindəki qayalıqlar isə dalğaların təsirindən ovxalanır. Onların səthində oyuqlar əmələ gəlir və bir müddətdən sonra parçalanaraq dağılıb daş və quma çevrilir.

Yağış suyu havadaki karbon qazını özündə həll edib turşuluq verir. Bu turşu bəzi süturlara, xüsusən də əhəng daşına təsir edərək ona hopur və belə qatdan keçərək mağaralar əmələ gətirir (şəkil 6.1.3.12). Bu mağaralar lay sularının axını boyunca uzanır. Belə mağaralardakı bərk sütur sütunları və su damcılarının əmələ gətirdiyi əlvan təbii fiqurlar bu yerlərə çoxlu turistləri cəlb edir (şəkil 6.1.3.13).

İsti dənizlərin dayaz hissəsində yaşayan kiçik canlılar özlərinə balıqqulağı düzəldərək onları ölmüş balıqqulağılarına yapışdıraraq mərcan qayalıqları əmələ gətirirlər.

## 6.2 Qitələrin sürüşməsi

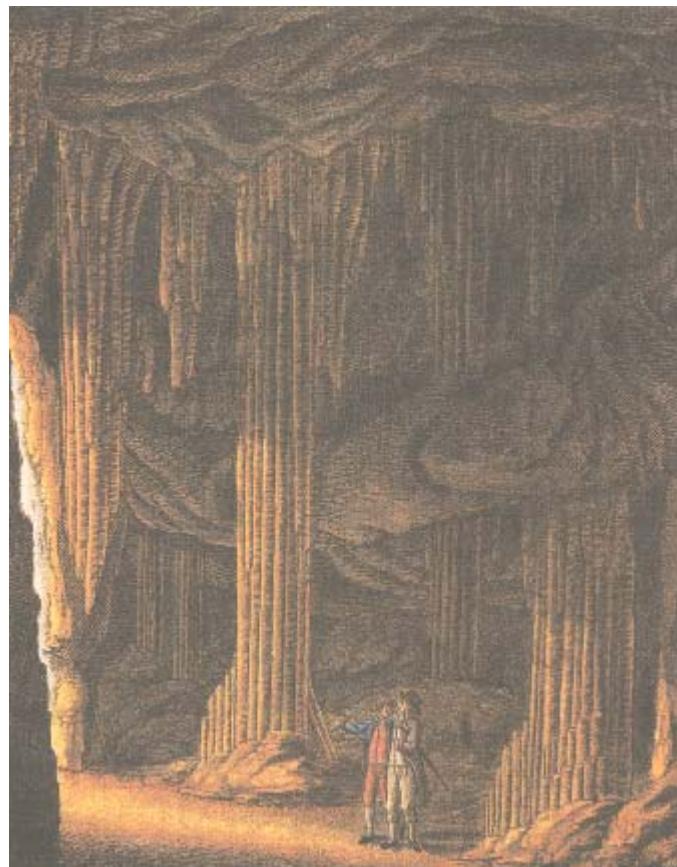
Yer kürəsinin xəritəsinə diqqətlə baxdıqda qitələrin sahil zonalarının girinti və çıxımlarının bir-birinə uyğun gəldiyini görərik. Bu, xüsusilə Cənubi Amerika qitəsindəki Braziliyanın şərq sahillərindəki çıxıntıının Afrika qitəsindəki Qvineya körfəzinin sahilindəki girinti ilə üst-üstə düşdüyüünün əyani sübutudur. Bu uyğunluq bir çox tədqiqatçıları bu qitələrin vaxtilə bir vahid şəklində olduğu fikrinə gətirmişdir. Bu sahədə Avstriyanın Qremse universitetinin professoru Alfred Veqnerin (1880...1930-cu illər) nəzəriyyəsi çox geniş yayılmışdır. Bu nəzəriyyənin əsas müddəaları aşağıdakılardır.



Şəkil 6.1.3.11 Qədim orqanizmlərin izləri olan dağ süxurları



**Şəkil 6.1.3.12. Magaralar**



**Şəkil 6.1.3.13. Təbii mağaranın iç görünüşü**

1. Cənubi Amerikanın çıxıntısı ilə Afrikanın girintisinin 4000...5000 km-lik qövs üzrə qlobusda üst-üstə düşməsi.
2. Avrasiyanın bütün dörd böyük yarımadaları – Afrika, Ərəbistan, Hindistan və Tailand-Malay yarımadalarının hamısı cənub istiqamətdə yönəlib.

3. Adriatik və Qırmızı dənizin, Ərəb körfəzinin və Magellan boğazının oxları şimali-qərbdən cənubi-şərqə paralel olmaqla yönəlir.

4. Mərkəzi Amerikanın cənuba doğru uzanan dili və bunun kimi cənubi-şərqə uzanan Malay yarımadasının əyintisi və kontinentin qərbə doğru yerdəyişməsində onun quyuğunda sürünen adalar qövsünün mövcud olması.

5. Cənubi Amerikanın və Qrenlandiyanın üçbucaq şəkilli formasının sıvri ucunun cənuba doğru yönəlməsi.

6. Cənubi Amerikanın cənub qurtaracağı, Yanar adalar da daxil olmaqla şərqə tərəf əyilmişdir.

7. Yer kürəsinin iki ən iri dağ silsiləsindən birinin – Kordilyer dağ silsiləsinin şimaldan cənuba, digərinin isə Priney, Alp, Karpat, Qafqaz, Himalay dağlarının qərbdən şərqə doğru uzanması.

Veqnerin tərtib etdiyi xəritədə Yer kürəsinin quru hissəsi 225 mln il bundan əvvəl onun səthinin yarısından azını təşkil etmiş bütov bir hissədən ibarət olmuşdur (şəkil 6.2.1).

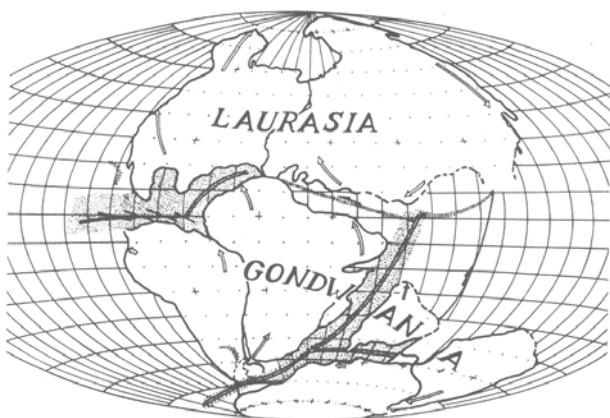


**Şəkil 6.2.1. Yer kürəsi 225 milyon il öncə**

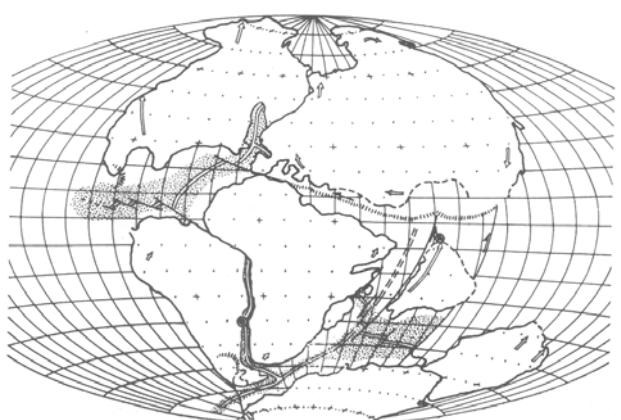
Sonrakı dövrlərdə Yer kürəsinin quru hissəsi ardıcıl olaraq şəkil 6.2.2 – 6.2.6-da göstərilən vəziyyətləri almışdır. Qitələrin bu cür yerdəyişməsi müxtəlif mülahizələrlə izah edilir.

Birinci mülahizə ondan ibarətdir ki, çox güclü, hansısa xarici təsirdən Yer

kürəsinin hələ tamam bərkiməmiş səthindən böyük bir parça ayrılaraq ondan uzaqlaşmış və Yerin peyki olan Aya çevrilmişdir. Ayrılmış parçanın həcmi Sakit okeanın indiki həcmində bərabərdir. Sakit okeanın yerində yaranan çala su ilə dolmuşdur. Bu ayrılma öz ardınca qurunun digər hissələrini – Cənubi və Şimali Amerikani, Avstraliya, Hindistan yarımadası və digər hissələri təlatümə gətirərək əsas quru kütləsindən ayırmışdır. Ayrılmanın sonra bu qitələr çökəkliyə doğru sürüşərək sonrakı vəziyyətləri almışlar. Amerika qitələrinin sürüşdükəri istiqamətdə qarşılaraına yığılan sualtı torpaq ortüyündən Kordilyer dağlarının bütün qərb sahili əmələ gəlmışdır.



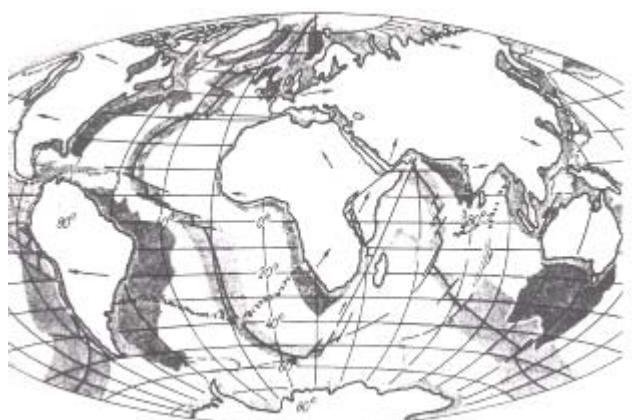
**Şəkil 6.2.2** Yer kürəsi 180 milyon il öncə



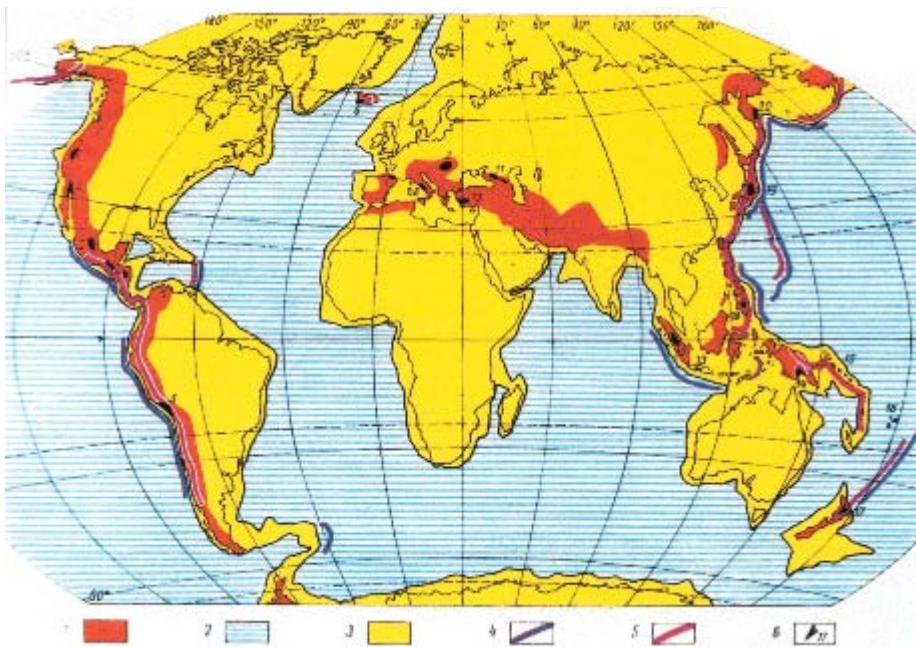
**Şəkil 6.2.3** Yer kürəsi 135 milyon il öncə



**Şəkil 6.2.4** Yer kürəsi 65 milyon il öncə



**Şəkil 6.2.5** Yer kürəsi 30 milyon il öncə



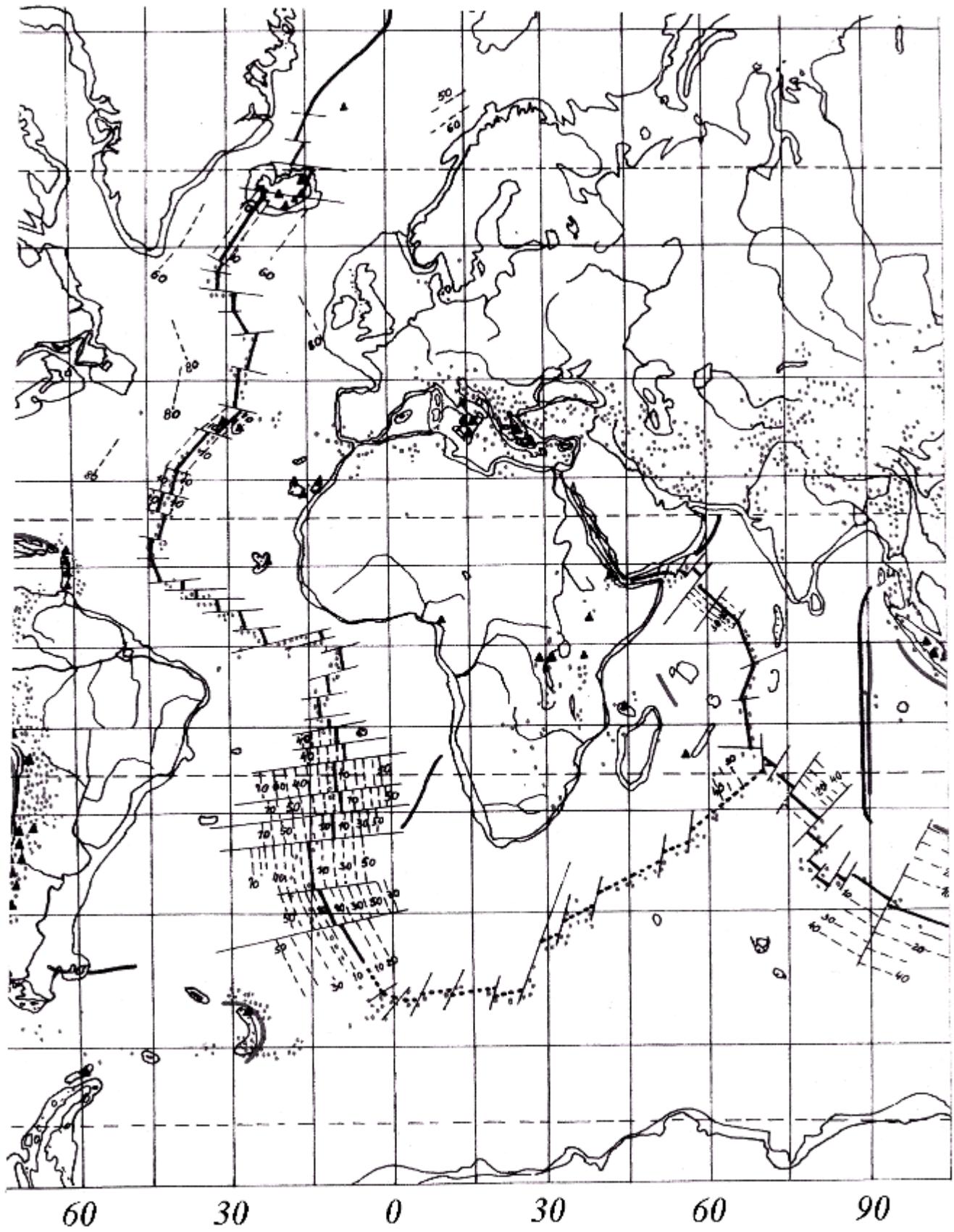
**Şəkil 6.2.6. Yer kürəsi bu gün**

Ay səxurlarının tərkibi və yaşının Yer səxurlarının tərkibi və yaşa uyğun olması bu fərziyyənin həqiqətə uyğun olduğunu göstərir. Sonrakı proseslərin gedişinə Ayın cazibə qüvvəsinin təsirinin də az olmadığı məlahizə olunur. Amerika qitələrinin arxada qoyduğu Atlantik okeanının dibi siyrilib nazikləşdiyindən daxili təzyiqə davam gətirməyərək ortadan bütün uzunluq boyu yarılmış və min kilometrlərlə uzunluq boyu bu yarıqdan mantiya kütləsi püskürərək su altı dağ silsilələri əmələ gətirmişdir (şəkil 6.2.7).

İkinci məlahizə ondan ibarətdir ki, Astenosfer qatındakı maye kütləsi konvektiv istilik mübadiləsi nəticəsində hərəkət edərək öz üzərindəki litosfer plitələrini sürüşdürürlər və bunun nəticəsi olaraq qitələr mütəmadi olaraq sürüsür. Bu proses buz bağlamış çayın buzlar üzərinə qoyulmuş cismin buz əriməyə bağlılıqda onunla birlikdə üzərək çay boyu yerdəyişməsinə bənzəyir.

Üçüncü məlahizəyə görə Yer kürəsi soyuduqca onun həcmi dəyişir və bunun nəticəsində qitələr öz yerini dəyişdirir.

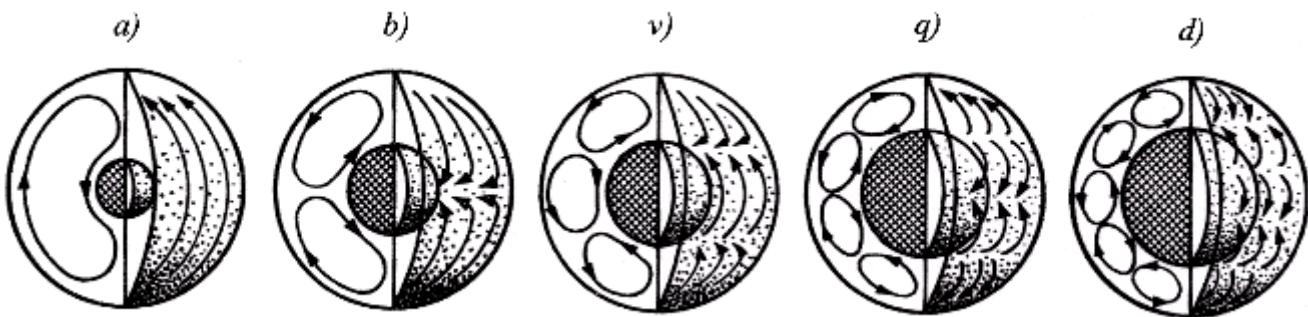
Zənnimizcə qitələrin sürüşməsində bu məlahizələrin hər üçünün və Yerin daxilində baş verən vulkanik və tektonik proseslərin rolü olmuşdur.



**Şəkil 6.2.7 Atlantik okeani boyu min kilometrlərlə sualtı vulkanik  
dağ silsilələri uzanır**

### 6.3 Vulkanlar

Yer kürəsi qeyri bircins materiallardan sıxlaşaraq formalaşdıqda, ilk başlanğıcda onun mərkəzinə toplanan ağır metallardan əmələ gələn nüvə hissəsi o qədər də böyük olmamışdır. Bu halda nüvə ətrafindakı maddədə baş verən maddə mübadiləsindən yaranan konvektiv axın bir tsikldən ibarət olmuşdur (şəkil 6.3.1.a). Maddə mübadiləsi getdikcə nüvə böyümüş və onun ətrafindakı konvektiv maddə tsikllərinin sayı artmağa başlamışdır (şəkil 6.3.1.b; v; q; d). Nüvə və Yer qabığı Günəş və Ay tərəfindən müxtəlif qüvvələrlə cəzb edildiyindən və onların sıxlığı bütün istiqamətlərdə bircins olmadığından, nüvənin mərkəzi Yer qabığının həndəsi mərkəzi ilə üst-üstə düşmür. Nüvənin mərkəzi ilə Yer qabığının mərkəzi arasındakı məsafə 430 km-dır. Yer kürəsi Günəş atrafında firlandıqca Nüvə də Yer qabığına nisbətən öz vəziyyətini dəyişir.



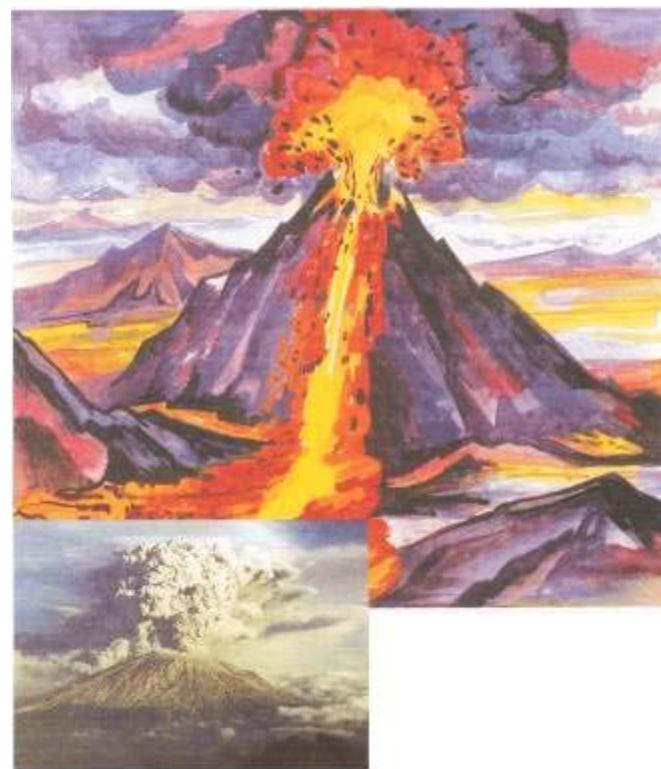
**Şəkil 6.3.1. Yer nüvəsi böyüdükcə onun ətrafindakı konvektiv tsikllərin sayı artmışdır**

Nəticədə mantiya kütləsi Yer qabığına sıxlır. Yer qabığındaki plitələrin bir-biri ilə görüşdüyü zəif yerlərdən litosfer qatları altında yiğilmiş qaz və mantiya kütləsi özünə yol taparaq püskürməyə başlayır (şəkil 6.3.2.). Püskürmə baş vermədikdə daxili təzyiqin dəyişməsi Yer qabığının qalxıb enməsinə səbəb olur. Yer qabığı bərkiməyə başladığı ilk dövrlərdə belə qabarma və püskürmələr onun bütün səthinin sahəsini əhatə etmişdir. Əksər hallarda vulkanlar açdıqları kanallardan püskürərək lava və küldən çıxış deşiyi ətrafında dairəvi konus şəkilli hündürlük əmələ gətirirlər (şəkil 6.3.3.).

Yerin tərkindən qalxan maqma özü ilə birlikdə dağ sükurlarını da püskürdükdə onun kimyəvi tərkibi dəyişir və bu püskürməni daha güclü edir.

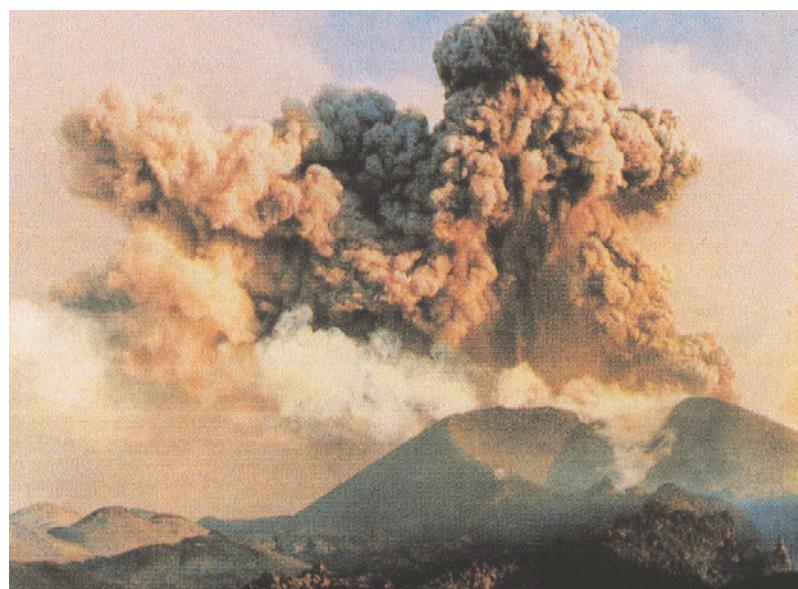


**Şəkil 6.3.2. Mantiya kütləsi özünə yer taparaq püskürür**

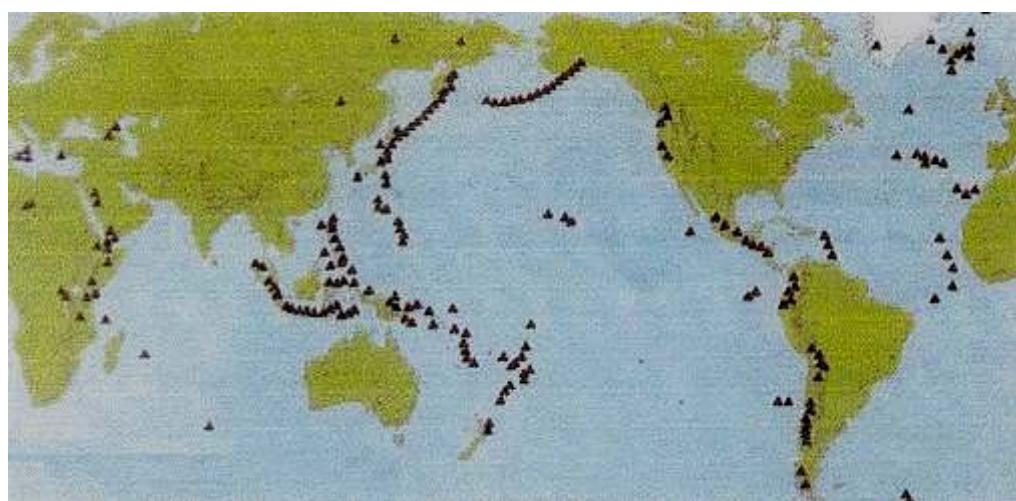


**Şəkrl 6.3.3. Vulkan püskürməsi və konus şəkilli hündürlüğün əmələ gəlməsi**

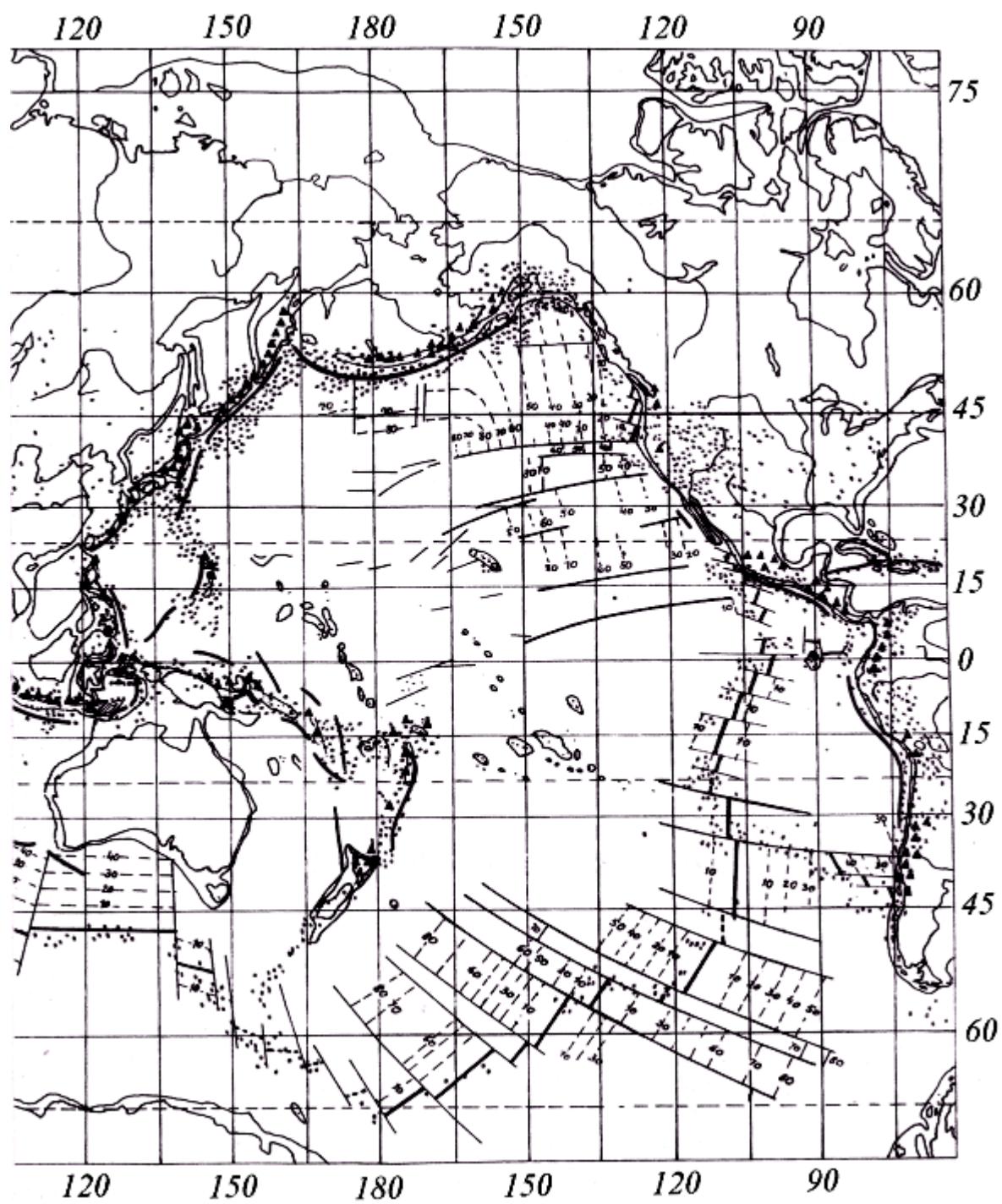
Püskürmə zamanı vulkanın ağızından qaz, kül, çökisi bir neçə ton a çatan qəlpələr, bəzi hallarda on min metrlərlə hündürlüyü qədər atılır (şəkil 6.3.4.). Bu püskürmə zamanı vulkanik materialların tərkibində zəngin qiymətli metallar da olur. Yer üzərindəki vulkanların əksəriyyəti milyon illər bundan əvvəl baş vermiş və eroziyaya uğrayaraq kiçik təpələrə çevrilmişlər. Yer üzərində hal-hazırda 600-ə yaxın fəaliyyətdə olan (şəkil 6.3.5.) və sönmüş vulkanlar mövcuddur. Bu vulkanların əksəriyyəti Sakit okean ərazisindədir (şəkil 6.3.6.). Azərbaycanda Abşeron ərazisində sönmüş vulkanlar mövcuddur (şəkil 6.3.7 a, b).



**Şəkl 6.3.4. Vulkan püskürməsindən yaranan qaz-kül buludları**



**Şəkil 6.3.5 Fəaliyyətdə olan vulkanlar**



**Səkil 6.3.6. Sakit okeanda fəaliyyətdə olan vulkanlar və zəlzələlərin episentrлəri**

Ehtimal etmək olar ki, Yer üzərində atmosfer qatının və su örtüyünün əmələ gəlməsində tektonik proseslərin vaxtı ilə əhəmiyyətli rolü olmuşdur. Bəzi mülahizələrə görə neftin və daş kömürün əmələ gəlməsi də vulkanik proseslərlə bağlıdır. B.Q. Polyakin apardığı hesablamalara görə vulkanlar nəticəsində il ərzində



a)



b)

**Şəkil 6.3.7. Abşeron ərazisindəki sönmüş vulkanlar:**

**a) – Bahar palçıq vulkanı; b) Daşgil palçıq vulkanı**

Yer səthində  $(0,38\dots13,2)\cdot10^{18}$  C istilik daxil olur.

Vulkan baş verdikdə ərimiş qızmar mantiya kütləsi sakit axan çay kimi kraterdən yamaca doğru axaraq qarşıya çıxan nə varsa yandırır. Tarix boyu baş verən bir çox vunkanlar fəlakətli katastroflara səbəb olmuş, nəticədə çoxlu insan tələfati baş vermiş və bütöv şəhərlər lava və vulkan külü altında qalıb məhv olmuşdur.

1900-cü ilin martında ingilis arxeoloqi A. Avansın Egey dənizindəki Krit adasında qazıntı işləri apararkən yerin altından əzəmətli, böyük bir sarayın xarabalıqlarını tapmışdır. Bu sarayın əsrarəngiz darvazaları, çoxlu otaqları və keçidləri Tessa haqqında qədim yunan əsatirində xatırladılan Labirinti yada salır. Bu qazıntılar nəticəsində aşkara çıxıb ki, Aralıq dənizində yeni eradan əvvəl III-II-ci minilliklərdə krito-miken mədəniyyəti mövcud olmuş və onların qüdrətli dəniz dövlətçiliyi olmuşdur.

Sonrakı qazıntınlarda Krit aodasından 120 km aralıqda olan Santerin arxipelaqına daxil olan Tir adasında vulkanik tozun altından qədim şəhərin qalıqları, yaşayış binaları və çox mərtəbəli binalar tapılmışdır. Binaların daş balkonları, cumaxatınları olmuş, divarlarında müxtəlif şəkillər çəkilmişdir.

Qazıntılar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, antik şəhər ada boyu yerləşmiş kraterin ətəyində isə 30 minə qədər adam yaşamışdır. Santarino vulkanı püskürdükdə şəhərin şimal hissəsi məhv olmuş, cənub hissəsinin bir qismi kül altında qalmış, bir hissəsi isə dənizə batmışdır.

Tirdə aparılan qazıntılar göstərir ki, müdhiş püskürmə zəlzələ ilə müşaiət olunmuşdur ki, bunun da nəticəsində bəzi binalar dağılmışdır. Vulkan püskürməsindən yaranan partlayış dalğası yüz kilometrlərlə məsafədə yayılaraq dağıntılarla səbəb olmuşdur. Vulkan püskürməsindən yaranan qara duman göy üzünü tutaraq ətrafi zülmətə bürümüşdür.

Vulkan mütəmadi olaraq fasılələrlə püskürərək 30 m qalınlığında bir neçə lay toz qatı əmələ gətirmiş və bir çox qədim yaşayış məskənlərini öz altına almışdır.

Vulkan püskürməsinin təsiri təkcə sadalanlarla bitməmiş, o həm də yeni eradan XIV əsr əvvəl güclü sunami də əmələ gətirmiş və nəticədə Santoninadan 25 kilometr məsafədə yerləşən Anafi adasının dəniz səthindən 250 m yüksəklikdə

yerləşən yayları qalınlığı 5 metrəyə çatan tefr qatı ilə örtülmüşdür. Tefr qatı əsasən suda əmələ gələn pemzadan ibarətdir. Santorin katastrofu nəticəsində əmələ gələn sunami dəhşətli dağıntılarla səbəb olmuşdur.

Uharit kitabxanasında təpişan Finikiya poemasında Suriya ərazindəki liman və qədim Uharit şəhərinin yarısının 1400 il eramızdan əvvəl dəniz dalğalarının təsirindən dağıldığı təsvir edilir.

Santorin katastrofu təkcə dağıntıya deyil, həm də çoxlu insan tələfatına səbəb olmuşdur. Dənizdəki Kiklad adalarında, Kritdə və Egey dənizinin digər adalarındakı insanlar əsasən sunamidən həlak olmuşlar. Yunanıstanın dağlıq hissəsində əsasən maldarlıqla məşğul olan əhali isə qismən az tələfata uğramış və Krit dövləti dağıldıqdan sonra Egey mədəniyyətinin davamçısı olmuşlar.

Yeni eradan əvvəl Vezuvi dağında Etna vulkanının püskürməsi nəticəsində indiki Neapol şəhərinin yerindəki insan məskənləri lava və vulkan külü altında qalmışdır. Bu vulkan indiyə qədər fəaliyyətdədir.

Yeni eradan 73 il əvvəl Vezuvi dağına qalxaraq vulkanı öyrənməyə çalışan qoca Pliniya öz elmi marağının qurbanı olmuş, vulkanı tədqiq edərkən həlak olan ilk tədqiqatçı olmuşdur. Vulkanların tədqiqi ilə hələ ondan əvvəl də məşqul olmuşlar. Yeni eradan üç əsr əvvəl məşhur filosof Empodokl Etna vulkanının ətəyindəki qəsrə köçərək orada tənha yaşamışdır. Sonradan bu qəsr «Torre del filosofo» (filosof qülləsi) adlandırılmışdır. Bir çox illər keçdikdən sonra bura İtaliyanın vulkan rəsədxanalarından birinə çevrilmişdir.

Vulkanların püskürməsilə Yerin tərkində olan yanar maddə və energi özünə yol tapıb Yer səthinə çıxır və bununla da Yer qabığının daha təhlükəli vəziyyətə düşməsinin qarşısı alınır. Ona görə də bir çox xalqlar vulkanlara sitayış edir və onlara öz xilaskarları kimi baxırlar. Misal üçün yaponlar Fudziama vulkanını ona görə müqəddəs sayırlar ki, o püskürməklə Yerin tərkindəki enerjini çıxarıır və dağdırıcı zəlzələlərin qabağını alır.

Azərbaycanın Abşeron yarımadasında baş verən palçıq vulkanları da burada dağdırıcı zəlzələlərin qarşısını alır. «2000-ci ilin 24 noyabr gecəsi Bakıda baş verən güslü 6,8 ballıq zəlzələdən bir neçə gün əvvəl Ceyranbatan gölü sahilində baş verən

palçıq vulkanında püskürülən palçıq 30 metrə qədər yüksəkliyə qalxmışdı. Deməli əgər yaxınlıqda vulkan püskürürsə, dağıdıcı zəlzələdən ehtiyat etməmək olar.

Hal-hazırda fəaliyyətdə olan vulkanlardan ən aktiv Kuzan vulkanıdır. Bu vulkan 12 avqust 2006-ci ildə püskürməyə başlamışdır. Avrasiyanın ən yüksək vulkanı Kamçatka yarımadasında yerləşən Klyuçevski vulkanıdır. Bu vulkanın zirvəsinin dəniz səviyyəsindən hündürlüyü 4750 metrdir. Bu vulkan 30 mart 2007-ci ildə püskürərək eni 500 metr, uzunluğu 30 kilometr lava axını əmələ gətirmişdir (Şəkil 6.3.8, 6.3.9).



**Şəkil 6.3.8 Kamçatkadakı Klyuçevski vulkanının lava axını.**

Vulkandan ətrafa atılan maqmanın temperaturu  $1100^{\circ}\text{C}$  olmuşdur. Bu axın yaxınlıqda yerləşən Klyuci kəndinin şərqindən keçir və bu yerli əhali üçün təhlükəli ola bilər.



**Şəkil 6.3.9. 4750 metr hündürlüklü Klyuçevski vulkanı**

Vulkan püskürməzdən bir neçə gün əvvəl Yaponiyada 6,9 bal gücündə, 2007-ci ilin aprel ayının əvvəlində Sakit okeanın cənubundakı Salaman adalarında 8 bal gücündə sunami ilə müşaiət olunan dağidıcı zəlzələ baş vermişdir.

07 may 2007-ci il tarixində Kamçatkadakı Klyuçevski vulkanı yenidən püskürmiş və maqma buludu 700 metr yüksəkliyə tullanmışdır. Yeraltı təkanlar baş vermiş, yarımadada təhlükəli zona elan edilmişdir. Bu dövrdə Azərbaycan ərazisində Yardımlı, Lənkəran, Şəki, Quba və Xaçmazda 2-3 bal gücündə zəlzələlər baş vermişdir. Bu onu göstərir ki, Yer mantiyasında konvektiv axının aktivləşməsi zəlzələ və vulkanların meydana gəlməsinə səbəb olan əsas amillərdəndir.

#### **6.4. Zəlzələlər**

Yer kürəsinin litosfer qatının seysmik aktivliyinin nəticəsi zəlzələlər kimi özünü göstərir. Zəlzələ təbii səbəblərdən Yer qatının titrəməsidir. Zəlzələlər yeraltı təkanlar, uğultu, süxurların dalğavari rəqsləri, çatların əmələ gəlməsi (şəkil 6.4.1) binaların, yolların dağıılması (şəkil 6.4.2) və ən dəhşətlisi insan tələfati ilə müşaiət olunur [1].



**Şəkil 6.4.1. Zəlzələ nəticəsində Yer qatının çatlaması və yarğanın əmələ gəlməsi**



**Şəkil 6.4.2. Zəlzələ nəticəsində şəhər binalarının uçması**

İl ərzində bir milyondan çox yeraltı təkanlar qeydə alınır ki, bu da saatda 120, dəqiqədə 2 təkan deməkdir. Yaxşı ki, bunların əksəriyyəti katostrofik və dağıdıcı zəlzələlər deyil. İl ərzində orta hesabla bir katostrofik, yüzə qədər dağıdıcı zəlzələ baş verir. Dağıdıcı gücə malik katostrofik zəlzələlərə misal olaraq Lissabon (1755-ci il), Kaliforniya (1906-ci il), Tayvan (1923-cu il), Messin (1908-ci il), Qansuy (1920-ci il), Tokio (1923-cü il), İran (1935-ci il), Çili (1939 və 1960-ci illər), Aqadir (1960-

ci il), Meksika (1975-ci il), Aşqabad (1948-ci il), Daşkənd (1966-ci il), Qazlı (1976-ci il), Spitak (1986-ci il), Nefteqorsk (1995-ci il), Koreya (1995-ci il), Kolumbiya (1999-cu il), Türkiyə (1999-cu il), Tayvan (1999-cu il), Bakı (2000-ci il), İndoneziya (2005-ci il) zəlzələlərini göstərmək olar.

Tarixən Azərbaycan ərazisində dağidıcı zəlzələlər baş vermişdir. Bunlara 1139-cu ildə Gəncədə, 1667, 1902-ci illərdə Şamaxıda, 1727-ci ildə Təbrizdə, 2000-ci ildə Bakıda baş verən zəlzələləri misal göstərmək olar. Gəncə zəlzələsi zamanı Kəpəz dağının bir hissəsi uçaraq çayın axarını kəsmiş və nəticədə Göy göl əmələ gəlmişdir.

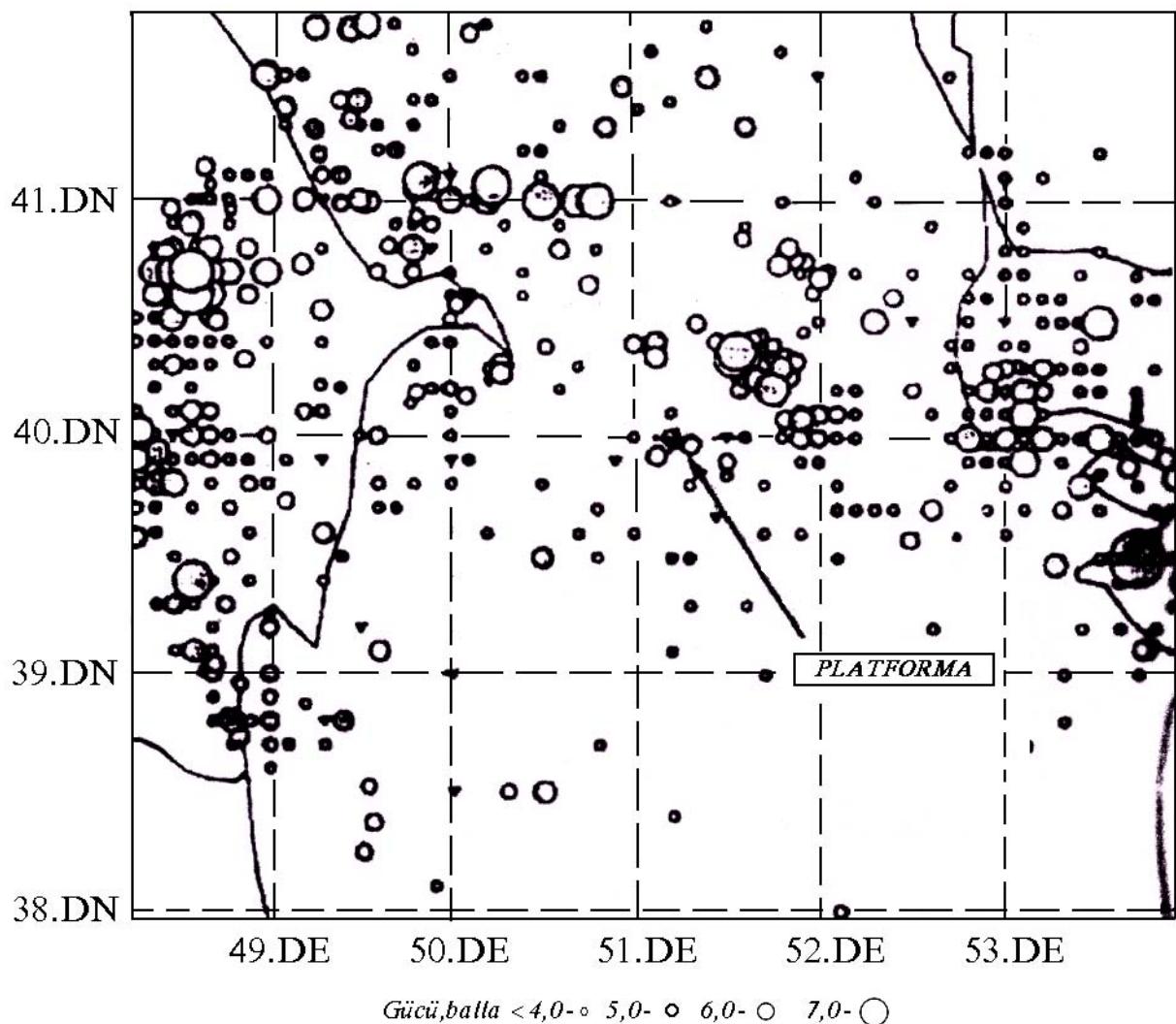
2000-ci il noyabr ayının 24-də saat 22.15-də Bakıda gücü 7 bal olan zəlzələ baş verdi. Zəlzələnin canlı şahidi kimi onun təsvirini vermək oxular üçün yəqin ki, maraqlı olardı.

Zəlzələ baş verdikdə otaqda ayaq üstə idim. Tədricən ayağımın altından yerin tərpəndiyini hiss etdim. Çil-çiraqa baxdıqda onun yelləndiyini gördüm. Zəlzələdir - deyə evdəkiləri evdən koridora çıxan qapının çərcivəsinə sığınmağa çağırdım. Beş nəfər böyük və körpə usaq qapıya sığınmışdıq. Bina tırədikcə parket döşəmə və tavan ümumiyyətlə hər yerdən elə dəhşətli xışılıtı səsləri çıxırdı ki, adamı vahimə bürüyürdü. Elə təsəvvür yaranırdı ki, sanki bina bu dəqiqə dağınıb uçacaq. Uşaqların çıçırtısı da bu dəhşətə qarışmışdı. Elə təsəvvür yaranırdı ki, sanki artıq dünyanın axarıdır və biz məhv oluruq. Uşaqlara qorxmayıñ deyirdim. Bir azdan titrəmə səngidi. Tez evdən çıxmaga hazırlaşındıq ki, titrəmə təkrar olunmağa başladı. Mən dedim ki, titrəmə qayıdır. Yenidən cil-çiraq daha güclü ləngər vurmağa başladı.

Bu səfər qonşu otağın qapısının keçidinə sığındıq. Yenə də güclü xışılıtı, üğültü eşidilməyə başladı. Bir azdan zəlzələ səngidi. Artıq evlərdəki adamlar küçəyə qaçırdı. Əynimizdəki ev paltarı ilə təcili evdən çıxdıq. Maşına minib köhnə bankın binasının küçəsində yerləşdik. Bütün şəhər əhli küçələrə çıxmışdı. Maşını olanlar şəhərdən çıxb ətraf kəndlərə və bağlara axışırdı. Yolları tixac bağlamışdı. Respublika radiosu verilişlərini təxirə salıb zəlzələ və onun fəsadları barədə məlumatları verirdi. Artıq bir nəfərin başına daş düşdüyündən öldüyü və bir çoxlarının xəsarət alıb xəstəxanalara düşdüyü barədə məlumat verilirdi.

Şəhərdə çoxlu binalarda qəza vəziyyəti, çatlar yaransa da dağıntı baş verməmişdi. Yaşadığımız binanın divarlarında çatlar əmələ gəlmışdı. Şəhərdə zəlzələnin yaratdığı fəsadlarla bağlı xüsusi komissiya yaradılmışdı. Sonradan qəzalı binaların bir qismi sökildü, bir qismi isə bərpa olundu.

Şəkil 6.4.3-də Xəzər dənizinin mərkəzi hissəsində tarixən baş verən 1134 zəlzələ göstərilmişdir.



**Şəkil 6.4.3. Xəzər dənizinin mərkəzi hissəsində baş verən zəlzələlər**

Bu misraları yazarkan televiziya ilə bu gün, yəni 25 mart 2007-ci ildə Yaponiyada 7,1 bal gücündə zəlzələ baş verdiyi baradə məlumat verdilər. Zəlzələdən işıq fənəri qırılıraq bir qadının başına düşmüş və bu ölümə nəticələnmişdir. Yüzlərlə adama xəsarət yetişmiş, evlər uçmuş, asfalt yollarda çatlar əmələ gəlmış, qatarların hərəkəti, qaz, işıq, su verilməsi dayandırılmışdır.

Sunami baş verəcəyi barədə həyəcan siqnalı verilsə də, sonradan bu ləğv edilmişdir.

Zəlzələlər Yer kürəsi əhalisinin yarısından çoxunun yaşadığı quru sahəsini əhatə etmişdir. Zəlzələ təbiətin ən çox təlafata və dağıntıya səbəb olan katastroflarındandır. Onların dağıdıcı təsiri min kvadrat kilometrlərlə sahələri əhatə etməklə, yüz minlərlə insan həyatının məhvinə səbəb olur.

Tarixdən məlumdur ki, 1556-ci ildə Sansidə baş verən zəlzələ nəticəsində 830 min insan tələfati baş vermişdir. 28 iyul 1976-ci ildə baş verən zəlzələ nəticəsində Tanşan şəhəri dağılmış (Çinin paytaxtı Pekindən 150 km şərqdə) və 655 min insan ölmüşdür.

26 dekabr 2004-ci il tarixində Cənub-Şərqi Asiyada güclü 9...10 bala çatan zəlzələ baş verdi, zəlzələnin episentri Sakit okeanda olsa da onun təsiri çox böyük ərazini əhatə etmişdir. Zəlzələ nəticəsində 229000 nəfər həlak olmuşdur (şəkil 6.4.4.).



**Şəkil 6.4.4. 2004-cü il 26 dekabrda İndoneziyada baş verən zəlzələnin qurbanları**

İndoneziyada zəlzələ təsirindən Yerin oxu öz vəziyyətini dəyişmiş və onun bucaq sürəti başqalaşmışdır. 30 metrə qədər hündürlüyü qalxan dalğalar – sunami zəlzələnin episentrindən 6 min kilometr aralıda yerləşən Afrikanın şərq sahillərinə də çatıb. Burada dalğalar balıqçı qayıqlarını dağıdaraq bir neçə sahil rayonuna zərər verib.

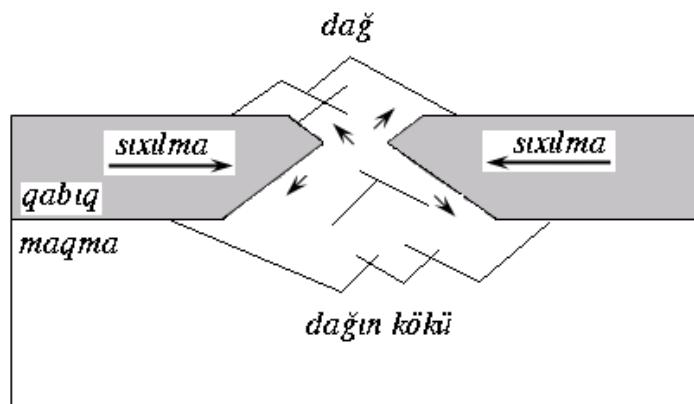
Bu zəlzələ nəticəsində İndoneziya Şri-Lanka, Hindistan, Tailand, Samali, Muanma, Malayziya, Maldiv, Tanzaniya, Banqladeş, ümumilikdə regiona 15 milyard dollara yaxın ziyan dəymış, bir çox turist rayonları yerlə yeksan olmuşdur.

Şri-Lankda müdhiş dalğalar sahildən ölkənin içərilərinə doğru 3 kilometr ərazini yuyub apardığı halda, burada qoruqlardakı heyvanlardan – yüzlərlə fil, leopardların heç biri belə ölməmişdir. Görünür heyvanlarda təbii fəlakəti öncədən hiss etmək qabiliyyəti daha yüksək olmuşdur. Onlar zəlzələdən əvvəl təhlükəni hiss edərək uzaqlaşıblar. Qeyd edildiyi kimi zəlzələ Yer kürəsinin öz oxu ətrafında fırlanmasına da təsir göstərib. Nəticədə Yer kürəsinin fırlanması sürəti artıb və bir sutkanın vaxtı saniyənin mində biri qədər azalıb. Lakin bu Yer kürəsi üçün o qədər də ciddi təhlükə deyildir.

2007-ci il aprelin 2-də Sakit okeanın cənubundakı Salomon adaları yaxınlığında 8 ballıq zəlzələ baş verib. Zəlzələ sunami ilə müşayiət olunub. İlk məlumatlara görə 28 nəfər ölü var. Onlardan 6-sı uşaqdır. Elektrik məftulları qırılıb, su və qaz təminatı dayandırılıb. Sunami nəticəsində 13 min ev dağılıb. Adamlar evlərinə getməyə qorxurlar. Yer titrəməsi davam edir. İnformasiyada 20 nəfər həlak olub.

Tacikistanın dağ rayonu olan Haididə 9 iyul 1949-cu ildə baş verən güclü zəlzələdə dağlar aşaraq şəhəri yerlə yeksan etmiş və 5000 əhalidən bir nəfər belə salamat qalmamışdır. Lakin o vaxt Sovet dövləti bu baradə heç bir məlumat verməmiş və bu faciəni gizli saxlayaraq, heç bir xilasetmə əməliyyatı aparılmamışdır. Zəlzələdən iki dağ arasında yerləşən Haidi şəhəri uçan daş sunamisinin altında qalmışdır. Qayalar 200 km/saat sürəti ilə uçaraq şəhəri məhv etmiş, sonradan bu yerlərdə hec bir həyat əlaməti tapılmamışdır.

Litosfer plitələrinin bir birinə sıxlığı sərhədlərdə qrunutun elastik-plastik-özülü deformasiyası baş verir. Bu deformasiya həddi vəziyyətə çatdıqda süxurlar sıxlışır şüşərək dağlar və onların əsasını əmələ gətirir (şəkil 6.4.5).



**Şəkil 6.4.5. Sıxılan dağın sürüşməsi**

#### 6.4.1 Zəlzələlərin baş verməsi haqqında

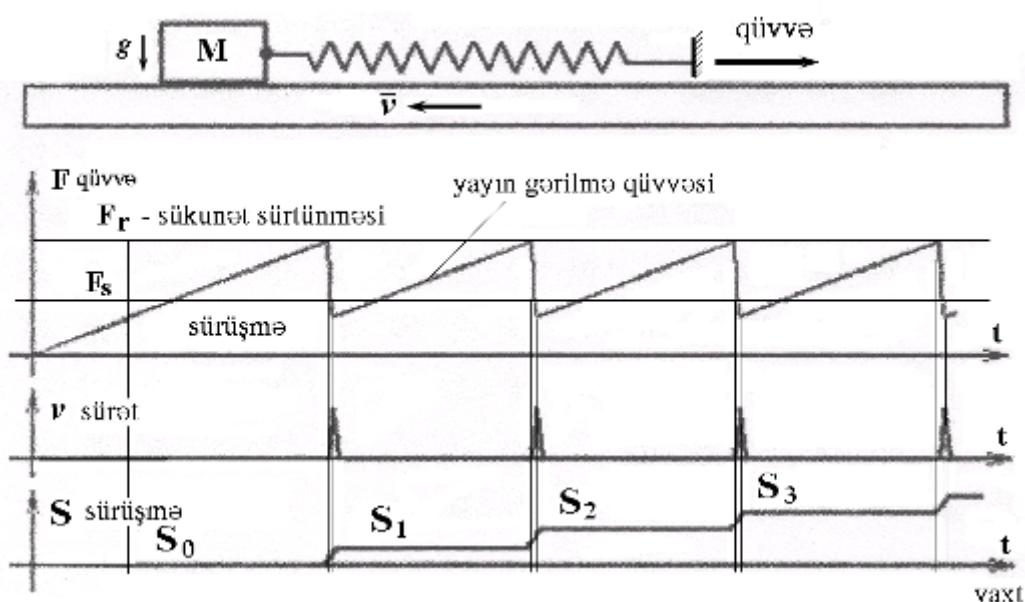
Yer kürəsindəki tektonik proseslərdə enerji ayrılması baş verir ki, bu da Yer qabığında silkələnmə şəklində təzahür edir, buna da zəlzələ deyilir. Zəlzələnin dəqiq vaxtını müəyyənləşdirmək mümkün deyil. Dağlardakı qar uçqununa ani bir səs dalğası, güllə atılması, digər cüzi təsirlər səbəb oluduğu kimi, zəlzələnin də baş verməsinə atmosferdə baş verən proseslər, Günəşin aktivliyinin dəyişməsi, dağ sürüşmələri, vulkanlar, partlayışlar, bir sözlə ikinci dərəcəli faktorlar həllədici rol oynayır. Bu faktorlar təsadüfi xarakter daşılarından, Yer qatındaki gərginlik boşalmasının zühur etməsi vaxtını dəqiq söyləmək mümkün deyildir.

Dağın başından diyirlənib düşən bir daş bəzən müşhis daş uçqununa səbəb olduğu kimi, təsadüfi bir təsir də zəlzələnin baş verməsinə səbəb ola bilər. Lakin, aktiv bölgələri və enerji toplanmasını müəyyənləşdirmək mümkündür. Qeyd edildiyi kimi, bu gərginliklər xırda təkanlarda da, ani olaraq güclü bir zəlzələ şəklində üzə çıxa bilər.

Zəlzələnin sadələşdirilmiş mexaniki modeli şəkil 6.4.1.1-də yerləşdirilmişdir.

Kütləsi  $M$  olan yük kələ-kötür səthi olan lövhə üzərində yerləşdirilmiş və sərtliyi  $k$  olan yayla əlaqələndirilmişdir. Yayın ucu bərkidilmişdir. Lövhə dartıldıqda yay uzanır. Yayın dartı qüvvəsi tədricən artır. Bu qüvvə yüksəl disk arasındaki

sükunət sürtünmə qüvvəsindən azca çox olduqda yük hərəkətə gəlir. Yük hərəkətə gələn kimi sürtünmə qüvvəsi  $\vec{F}_v$  sıçrayışla azalır. Yükün sürəti sıçrayışla artır. Bu an zəlzələnin baş verməsini modelləşdirir. Yay ani olaraq boşalır, yük dayanır. Yüklə lövhə arasında sükunət sürtünmə qüvvəsi  $\vec{F}_{sür}$  yaranır.  $\vec{F}_{sür} > \vec{F}_v$  olduqda proses təkrar olunur.

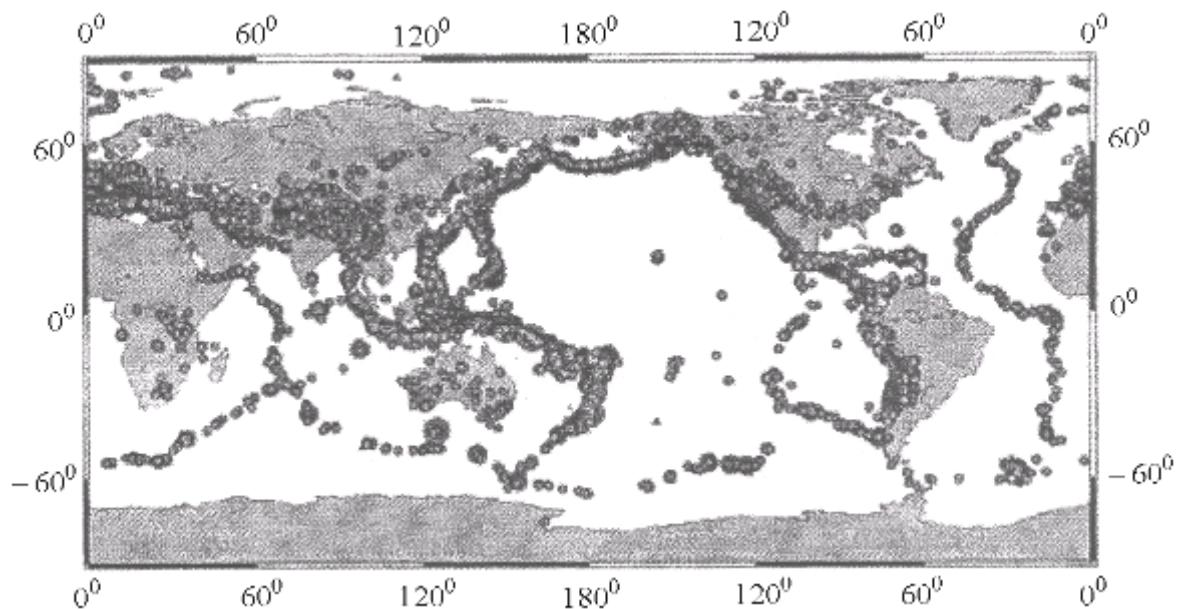


**Şəkil 6.4.1.1. Zəlzələnin mexaniki modeli**

Məlum olduğu kimi, Yerin şimal maqnit qütbü cənub yarımkürəsində, cənub maqnit qütbü isə şimal yarımkürəsində yerləşir. Şimal maqnit qütbü  $66^0$  cənub en dairəsi və  $140^0$  şərqi uzunluq dairəsində (Antarktidada), cənub maqnit qütbü isə  $76^0$  şimal en dairəsi,  $101^0$  qərb uzunluq dairəsində yerləşir. Bu nöqtələri birləşdirən xətlər Yerin maqnit oxları adlanır. Yerin zəlzələ xəritəsinə (Şəkil 6.4.1.2.) diqqət etsək baş verən güclü zəlzələlərin əksəriyyətinin  $76^0$  şimal en dairəsi ilə  $66^0$  cənub en dairələri arasında məhdudlandığını görərik. Bu en dairələrindən yuxarı və aşağıda güclü zəlzələlər baş vermir. Güclü zəlzələlərin əksəriyyətinin ocağı  $600\dots700$  kilometr dərinlikdə yerləşir. Məhz bu dərinlikdən başlayaraq mantıyanın  $2000$  kilometr qalınlığındakı qatı yerləşir. Görünür bu qat da öz daxilində əsas zərbəni dəf edir. Bu zərbələrin Yer qabığına proeksiyası qeyri-müəyyən olduğundan

zəlzələnin gücünü və yerini qabaqcadan demək olmur.

Tarix boyu baş verən 104 güclü zəlzələnin aylar üzrə paylanması cədvəli 6.4.1.1.-də göstərilmişdir.



**Şəkil 6.4.1.2. Ymumdünya zəlzələ xəritəsi**

Cədvəl 6.4.1.1

Tarix boyu baş verən zəlzələlərin aylar üzrə paylanması

Aylar	Yanvar	Fevral	Mart	Aprel	May	İyun	İyul	Avqust	Sentyabr	Oktyabr	Noyabr	Dekabr
Zəlzələlərin sayı, cəmi 104	12	9	9	6	8	10	7	9	8	9	3	14
Zəlzələrin faizi %	11,54	8,65	8,65	5,77	7,7	9,62	6,73	8,65	7,7	8,65	2,88	13,46

Cədvəldən göründüyü kimi, güclü zəlzələrin ən çoxu – 33,65%-i qış, 25%-i yay aylarına düşür. Bu da təbiidir. Qış aylarında zəlzələlərin çox olması Yer nüvəsinin Günəşə bu dövrdə daha yaxın olması ilə izah edilir.

Zəlzələnin energetik təsnifatını aparmaq üçün təcrübədə maqnitudadan ( $M$  və ya  $m$ ) istifadə edilir. Maqnituda dedikdə Yer səthinin maksimum yerdəyişməsinin maqnitudası şərti olaraq sıfra bərabər qəbul olunan zəlzələnin bu tipli dalğa nisbətinin loqorifması kimi nəzərdə tutulur. Zəlzələnin maqnituda ilə təsnifati ilk dəfə 1935-ci ildə Amerika seysmoloqu Ç.Rixter tərəfindən Kaliforniya ərazisi üçün tətbiq edilmişdir. Maqnitudanı hesablamadaq üçün emprik düsturdan istifadə edilir:

$$M = \lg A + \sigma_A(\Delta)$$

burada  $A$  - seysmik dalğanın amplitudası;  $\sigma_A(\Delta)$  - episentral məsafədən,  $\Delta$ -dan asılı kalibrənmiş funksiyadır.

$M$ -in ən böyük qiyməti 9,0-a yaxınlaşır. İl ərzində Yer kürəsində orta hesabla bir  $M > 8,0$ , on  $M = 6,0 \dots 6,9$ ; min  $M = 5,0 \dots 5,9$ ; on min  $M = 4,0 \dots 4,9$  olan zəlzələ baş verir. Misal üçün 1948-ci ildə Aşqabad zəlzələsində  $M = 7,3$  olmuşdur. Zəlzələnin maqnitudasından onun enerjisi  $E$ -yə keçmək üçün:

$$\lg E = 11,8 + 1,5M$$

düsturundan istifadə edilir.

1952-ci ildən başlayaraq keçmiş SSRİ-də zəlzələnin gücü 12 ballıq şkalası ilə ölçülür.

#### 6.4.2 Zəlzələnin intensivliyi şkalası

Bu şkalada zəlzələnin xaraktersitikası 12 bal sistemində ballar üzrə verilmişdir. Şkala seysmoloq S.V.Medvedyev tərəfindən tərtib olunmuşdur (cədvəl 6.4.2.2).

Zəlzələni qeydə alıb öyrənmək üçün çox ölkələrdə daimi stansiyalar şəbəkəsi yaradılmışdır. Bu stansiyalar seysmoloji monitorinq və proqnozlaşdırma işi aparır. Bu stansiyalardakı yüksək dəqiqlikli cihazlar – Yer səthinin ən kiçik rəqslərini qeydə alan seysmoqraflar kompleks programlaşdırma üsüllərini işləməyə və müxtəlif «xəbərdarlıqlara» əsaslanaraq zəlzələnin baş verəcəyini mülahizə etməyə imkan verir.

## Zəlzələnin intensivliyi şkalası

Bal	<b>Qısa xarakteristikası (S.V.Medvedyev)</b>
I	Torpağın titrəməsi cihazlar vasitəsilə hiss olunur.
II	Torpağın titrəməsi bəzi sakit adamlar tərəfindən hiss olunur.
III	Rəqslər bir çox adamlar tərəfindən hiss olunur.
IV	Rəqslər əksər adamlar tərəfindən hiss olunur. Pəncərə şüşələri cingildəyir.
V	Asılmış cisimlər ləngər vurur, yatanlar oyanır.
VI	Binalarda yüngül xəsarətlər baş verir.
VII	Suvaqlar çat verir, hissəciklər qopur, divarlarda nazik çatlar əmələ gəlir.
VIII	Divarlarda böyük çatlar əmələ gəlir, karniz və tüstü boruları aşır.
IX	Bəzi binalar dağılır, divarlar, arakəsmələr, damlal dağılır.
X	Çoxlu binalarda dağııntılar baş verir. Qruntlarda 1 metr enində yarıqlar əmələ gəlir.
XI	Yer səthində çoxlu sayıda çatlar əmələ gəlir, dağlarda uçqunlar baş verir.
XII	Tam dağııntı baş verir. Qrunun səthində dalğalar əmələ gəlir. Relyef əsaslı şəkildə dəyişir.

Seysmoqraf – kompasdan sonra dünyada yaradılan ən qədim cihazdır. İlk dəfə olaraq seysmoqraf yeni eranın II əsrində Çində hazırlanmışdır. Bu cihazda rəqs edə bilən element möhkəm əsasa bərkidilir ki, qrunla birlikdə hərəkət edə bilsin. Onun anplitudası məhdudlanır və sönür. Seysmoqraflarda rəqqasların müxtəlif növlərindən istifadə edilir.

Seysmoqrafın göstərişi mexaniki, optik, elektromaqnit və qarışiq üsulla qeydiyyata alınır və yazılır. Bu quruluşların vəzifəsi rəqsləri kağıza, maqnit lentinə və kompüterin maqnit diskinə yazmaqdır. Bu quruluşlara daxil olan siqallar on, yüz, min dəfələrlə gücləndirilə bilir. Bu cihazlarda radio kanalı vasitəsilə vaxtin qeydiyyatı çox böyük dəqiqliklə aparılır. Son dövrlərdə lazer texnikası və kompüter sistemlərindən istifadə etməklə seysmoqrafların konstruksiyası xeyli təkmilləşdirilmişdir.

#### **6.4.3. Zəlzələdən müdafiə üsulları**

Əhalinin sıx yaşadığı yerlərdə güclü zəlzələ baş verdikdə bir çox binalar xəsarət alır və ucub dağılır. Bunun əsas səbəbi – tikintinin keyfiyyətinin aşağı olmasıdır. Zəlzələnin dağıdıcı təsiri qrunutun dayanıqsızlığını, tikintidə ciy kərpicdən, zəif daş hörgudən istifadə edilməsi, dam örtüyünün soba borularının üçmasına, özul və divarların çatlamasına səbəb olur.

Binalardakı konsol çıxıntılar yapışdırılan müxtəlif bəzək əşyaları, bərkidilməyən örtüklər, lift şaxtaları, qonşu binaların bir-birinə söykənən divarları – bunlar hamısı zəlzələ zamanı təhlükə yarada bilər.

Zədələnmələri minimuma salmaq üçün inşaatçılar binanın dayanıqlığını təmin etməkdən ötrü bütün geoloji faktorları nəzərə almalıdır. Büyük tikintilərin fundamenti üçün qayalıq sūxurların seçilməsi ən əlverişli variantdır. Zəif qruntlarda, şıldırıım yamaclarda, tökmə torpaqda tikinti aparmaqdan çəkinmək lazımdır.

Körpüləri və hündür binaları tikdikdə onların üfiqi qüvvəyə davamlığına və daxili müvaziətinə xüsusi diqqət yetirmək lazımdır. Dəniz sahili şıldırıım qayalıqlarda, çay sahili uçurumlarda, dərin çuxurların yanında, qrunut sularının səviyyəsi yüksək olan yerlərdə və yumşaq çöküntü sūxurlarında tikinti aparmaqdan imtina etmək lazımdır.

Ən təhlükəsiz konstruksiya bütov bir vahid kimi titrəyə bilən və elementləri bir-birinə zərbə vurmayan elastik konstruksiyalardır.

Seysmoloji təhlükəli rayonlarda tikinti apardıqda seysmik təhlükəsizliyin təmin edilməsi əsas tələbatlardandır. Bu halda əgər layihə mərhələsində problem həll olunarsa tikintinin dəyəri təxminən 10% artır.

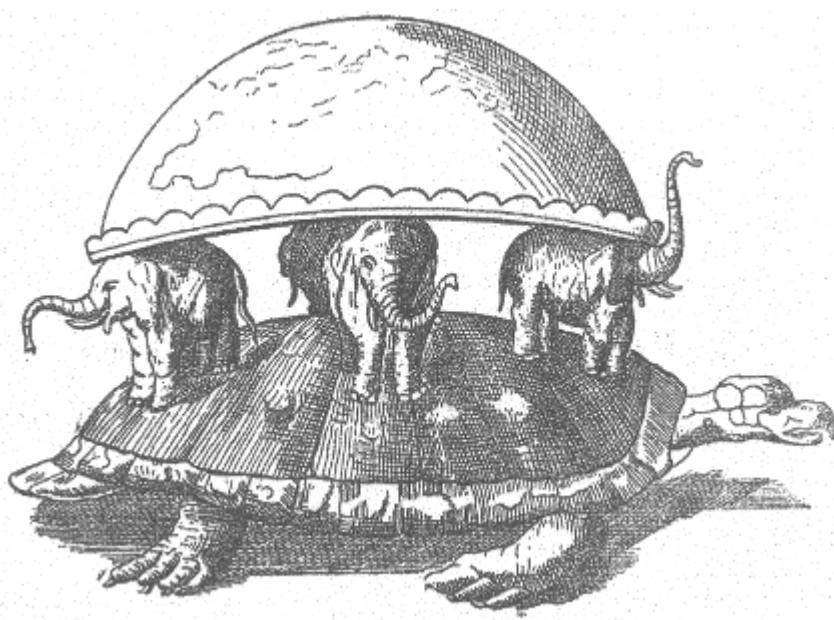
Xüsusi seysmik təhlükəli rayonlarda katastrofların nəticəsini aradan qaldırmaq üçün müəyyən inzibati ölçülər götürmək lazımdır. Bunun üçün ərazinin seysmik rayonlaşdırılması aparılmalı və ayrı-ayrı binalar üçün tikinti norma və qaydalarının standartları və siğortalaşdırılması işlənməlidir. Mövcud binalar üçün isə yeraltı təkanların dağıdıcı təsirindən qorunmaq üçün tədbirlər planı hazırlanmalıdır. Əgər

bina tikilən rayonun seysmik aktivliyi 8 baldırsa tikilən bina 9 bala nəzərdə tutulmalıdır. Hündür binalar bir-birinə yaxın məsafədə tikilməməlidir. Hər hündür binanın ətrafında onun hündürlüğünə bərabər radiuslu sahədə digər bina olmamalıdır. Bütün bu və digər tələblər xüsusi Dövlət orqanları tərəfindən nəzarət edilməlidir.

#### **6.4.4. Katastroflar və onların əfsanəvi aspektləri**

Təbiətdə baş verən bir çox dəhşətli hadisələrin səbəbləri aydınlaşdırıla bilmədikdə insanlar bir birinə ötürülən müxtəlif mülahizələr və əfsanələr yaratmışlar. Bu əfsanələrin bir çoxu təbiətdə mövcud olan zooloji və bioloji varlıqla əlaqələndirilmiş, bir çoxusu da fövqəl güclü bir varlığın mövcudluğu ilə əlagələndirilmişdir. Bəzi insanların söylədiyi fikirlərin sonradan baş verən hadisələrlə üst-üstə düşməsi onların fövqəladə üzəqgörənliyə malik olduqlarının sübutu kimi qəbul edilmişdir.

Qədim Hind əsatirlərində dünya fillərin ciyində oturan tərsinə çevrilmiş kasa kimi təsvir edilir. Bu fillər özləri də möhkəm qabıqlı tısbağanın üstündə durur, tısbağa da okeanda üzür (Şəkil 6.4.4.1).



**Şəkil 6.4.4.1. Qədim Hind əsatirinə görə Yer quruluşunun təsviri**

Göründüyü kimi burada Yerin müxtəlif xassəyə malik qatlarından ibarət olması və onun dayanıqsız vəziyyətdə olub titrəyə bilməsi mülahizələri öz əksini tapır. Müqəddəs kitablardan «Bibliya» və «Quran»da dünyanın yaranması və sonu barədə yazılar vardır.

Bir çox «uzaq görən» insanlar misal üçün fransız Nastradamus, ingilis alimi Isaak Nyuton, yəhudü Mesinq baş verəcək katastroflar barədə öz fikirlərini söyləmişlər.

İndoneziyanın Sumatra adası yaxınlığında 26 dekabr 2004-cü ildə baş verən dəhşətli zəlzələ və sunamidən sonra 5 yanvar 2005-ci ildə «Ekspres» qəzetində Həsən Ağacanın dərc etdirdiyi «Dünyanın axırı çatıb» məqaləsində oxuyuruq:

Dünyanın sonu barədə minlər, bəlkə də on minlərlə təxminlərlə yanaşı, dahi alim Isaak Nyutonun da «məşhər proqnozu» var. Nyutonun əsrlər əvvəl yazdığını görə, dünyanın sonu 2060-ci ildə çatacaq.

İngilis fizikin 4 min səhifədən artıq əlyazmalarını araşdırın alimin dediklərinə görə, Nyuton yazıb: «Dünyanın sonunun çatmasından əvvəl Yer kürəsində dəhşətli, dağıcı müharibələr gedəcək, sonra da ölümçül epidemiyalar başlayacaq. Epidemiyalar tügən edərkən insanların dadına messiya çatacaq. O, dünyani min il ərzində idarə edəcək».

Ən maraqlısı isə odur ki, həmin öngörmədə Nyuton kimi dəqiq elmlər dühası üçün əsla yolverilməz olan mistik, sirli ifadələr az deyil.

Məsələn: «İnsanların çox sonra yaşayacağı minilliyyin ilk illərində birində dünyanın o başında okeanın dibində yatan əjdaha oyanacaq. O qorxunc varlığın oyanışı dəhşətli olacaq. Yer titrəyəcək, dənizin dibində güclü zəlzələ olacaq. Zəlzələ nəhəng dalğalar doğuracaq, o dalğalar da 8 ölkəni alt-üst edəcək. On minlərlə insan sularda batacaq, on minlərlə insan xarabazarlıqlarda can çərəcək. Okean sahilləri şışmış meyitlərlə dolacaq. Okeanın qəzəbi qorxunc olacaq».

Hazırda Yerusəlim kitabxanasında saxlanan Nyuton təxminindəki fenomenal, bəlkə də inanılmaz ifadə: «Beşiyi suyun dibindəki heyvanın oyanması Yerin məhvərini dəyişəcək, okean qatılə çevriləcək. Bu, yeni minilliyyin ilk illərində baş verəcək».

Çağdaş Yunanistanın şimalında, makedonlar yaşayan küçük şəhərin cənub səmtində mərmər lövhə var. Qədim Ellada az qala addimbaşı təsadüf olunan tarix qalıqlarından biri.

Fəqət, mavi-yaşıl rəngdəki həmin mərmər parçasını yunan torpağındakı qeyri qədim, yaşı 2 min ildən artıq qalıqlardan fərqləndirən məqam var.

O da eni 15, uzunu 40 santimetr olan mərmər lövhənin üzərinə yazılın kəlmələrdir. «...Tutatisdən qorxun. O, vəhşi tayfanın allahıdır. Göydən gələcək, Yerin yanından keçəcək. Onun səfərindən 120 gün sonra sular titrəyəcək, dalğalar insanları udacaq. Ölənlərin sayı o qədər çox olacaq ki, insanları dəhşət alacaq».

Qayət paradoksal, ilk baxışdan absurd təxmindir. Əvvəla, ona görə ki, qədim yunan mifologiyasında Tutatis adlı tanrı yoxdur. Əslinə baxsaq, yunanlara bu kəlmə ümumiyyətlə yaddır və ellinlər arasında çətin ki, bu kəlmənin mənasını anlayan tapılıydi. Nədən ki, Tutatis qədim Avropanın cənub-qərb və qərbində yaşayan qall tayfalarının savaş tanrısı olub və yunanlar da onu tanıya bilməzdilər. Mərmər lövhə ilə bağlı sırr bununla tamamlanır. İş ondadır ki, 2004-cü ilin 29 sentyabrında Yer kürəsinin çox yaxından keçən, astronomların «qatıl» adlandırdıqları asteroidin də Adı Tutatis olub...

Ölçüləri  $4,7 \times 2,4 \times 1,9$  kilometr olan Tutatis bəşəriyyət tarixində Yerə yaxınlaşan ən böyük kosmik obyektdir.

Hərgah həmin asteroid planetimizlə toqquşsaydı, dəhşətli partlayış baş verəcək, planet molekullara parçalanacaq və məhv olacaqdı. Müqayisə üçün deyək ki, 1984-cü ildə Antarktidada, Bellinqshauzen dənizində nəhəng çuxur aşkarlanmışdı. Sonralar Eltanin adlandırılın və diametri 20 kilometr olan həmin çuxur min illər əvvəl Yerə asteroidin düşməsi nəticəsində yaranmışdı. Alımlərin hesablamalarına görə, haqqında bəhs etdiyimiz asteroidin Yerə düşməsi nəticəsində 20-40 metr hündürlükdə sunami dalğası yaranıb. Bu dalğa 600 km/saat sürətlə hərəkət edərək, okean sahillərində 1 kilometr hündürlüyü qalxıb. Əgər diamteri «cəmi» 700 metr olan asteroid belə kataklizmlər yaradırsa, ondan 50 dəfə böyük səma cisminin Yerə düşəcəyi təqdirdə, nələrin baş verəcəyini düşünmək belə, vahiməlidir.

Əlqissə, qayıdaq Yunanıstandakı mərmər lövhəyə. Daşın üzərində yazılıb ki, Tutatisin yerin yanından keçməsindən sonra okean təlatümə gələcək – düz 120 gün sonra, Hind okeanında dağıdıcı zəlzələ və sunamilər də 29 sentyabrdan, Tutatis asteroidinin Yerin yanından keçməsindən 118 gün sonra vaş verdi.

Britaniyanın ən nüfuzlu qəzetlərindən biri sayılan «The Independent»ın son sayalarından birində «Welcome to the future» adlı geniş məqalə dərc olunub. Yazıda Hind okeanında baş verən və artıq 160 min insanın ölümünə səbəb olan dağıdıcı zəlzələ, sunamilərdən, bu təbii fəlakətin səbəb və nəticələrindən bəhs olunur. Qəzet yazır: «Bəla dövrünə qədəm basmışıq. Dövlətlərin nəycin bahasına olursa-olsun, əldə etməyə çalışdıqları kütləvi qırğın silahlarına ehtiyac qalmayıb. Çünkü Yer kürəsindəki bütün insanlar kütləvi qırğın iqliminin girovlarıdır. Gələcəyə xoş gəlmış! Hind okeanındaki zəlzələlər, sunamilər, dəhşətli fəlakət bizə xəbərdarlıqdır!».

Bibliya və İncildə, həmçinin Əhdi-Ətiqdə də bəşəriyyəti gözləyən təbii fəlakətlərlə bağlı öngörmələr var. Müəyyən mənada həmin «proqnoz»ları Hind okeanında baş vermiş fəlakətlə də uzlaşdırmaq olar.

Belə ki, İohann Zlatousta nazil olmuş vəhydə deyilir. «O Heyvan oyanacaq, dünyani lərzəyə salacaq. Dənizlərin dibi titrəyəcək, hündür dalğalar ölkələrə hücum edəcək. 7 ölkəyə zərbə vurulacaq, 33 kilsə ağlayacaq, sayı-hesabı bilinməz insanlar oləcək. Dalğalar adamları kamina çəkəcək. Heyvanın hakimliyi 42 gün sürəcək».

Hind okeandakı zəlzələ və sunamilərdən də 7 ölkə (İndoneziya, Şri-Lanka, Malaziya, Myanma, Somali, Tailand, Hindistan) daha çox zərər gördü, on minlərlə vətəndaşını itirdi. Həmin dövlətlərdəki kurort və turizm mərkəzlərində isə sunami nəticəsində 33 ölkədən gəlmış turistlər həlak oldular.

İslam aləminin tanınmış uləmalarından biri, 1120-ci ildə Bağdadda doğulmuş Əli ibn Yəhyanın «Dünyanın sonu və ya insan övladının günahları» adlı kitabında yazılıb: «Gün gələcək, dünyanın ən güclü dövrlətində «Müqəddəs şəhər» adlı yerdə müxtəlif dinlərin adamları yığışacaq. Onlar yeni, saxta bir din yaratmaq istəyəcəklər, «müqəddəs» dedikləri 33 suyu bir qabda qarışdıracaqlar və o gündən 9 il 6 ay sonra

uzaqlardakı dəniz təlatümə gələcək, insanları ağuşuna alıb bogacaq, qayaları evlərə çırpacaq, daşları göyə qaldıracaq».

26 iyun 1995-ci il, ABŞ-in San-Fransisko, yəni adının mənası «Müqəddəs Fransisk» olan şəhəri. Şəhərin mərkəzi yepiskopal kilsəsindəki ibadət zamanı «Birləşmiş Dirlər Təşkilatı» adlı layihə bəyan olunur. Layihə müəlliflərinin fikrincə, bu təşkilat bir çox münaqışələrin dini zəmində olmasını nəzərə almaq istəməyən Birləşmiş Millətlər Təşkilatının əlavəsi olmalıdır. Həmin gün o kilsəyə toplaşanlar arasında müxtəlif dinlərin nümayəndələri, siyasetçilər, hətta BMT-nin baş katibi də vardi. Dünyanın müxtəlif ölkələrindən gətirilmiş uşaqlar 33 «müqəddəs bulaq»-dan alınan suyu «Böyük Vəhdət Qabı»na töküb, qarışdırıldılar.

Dalay-Lama, Pakistanın Ali İslam Məhkəməsi, ABŞ prezidenti Corc Buş, Marqaret Tetçer, Vaslav Qavel, Bill Geyts həmin layihəyə xeyir-dua vermişdilər.

2004-ci il, dekabr. San-Fransiskodakı toplantıdan 9 il 6 ay sonra İndoneziya sahillərində dəhşətli zəlzələ baş verir, bəşər tarixinin ən qorxunc fəlakətlərindən biri yaşanır...

Bu məqalədə bir çox tarixi mənbələrdən uzaqqörənlərin dediklərinə aid tarixi mənbələrə də istinad edilmişdir.

Misal üçün: «Adanın yanında yer yarılmacaq, oyanan nəhəng dalğalar doğacaq, ölkələr divara bənzəyən dalğalarla üzləşəcək, nə qədər insan öldüyünü kimsə bilməyəcək»<sup>1</sup>. «Tanrıının qəzəbi, o sunamilər cənubdakı barbarların yaşadığı ölkənin yanında baş verəcək, zəlzələ olacaq, böyük dalğalar dünyanın o üzünədək çatacaq, çoxlu adam öləcək olacaq»<sup>2</sup>.

Katastrofların baş verməsinin əsas səbəbləri kimi aşağıdakılardır qeyd etmək lazımdır:

1. Vulkanlar və zəlzələr. Bu tip katastrofların mənbəyi Yerin daxilindədir. Lakin onların baş verməsi bir çox xarici amillərdən – Ayın, Günəşin, digər fəza cisimlərinin təsiri, atmosferdə və hidrosferdə baş verən proseslər, insanın dağıdıçı fəaliyyətindən bilavasitə asılıdır. Bu sonuncu amillər tüfəngin tətiyi güllənin atılmasında oynadığı rola bənzər funksiyani yerinə yetirir.

<sup>1</sup> Mənsum bin turabi, «Ətraf aləmin bilinməyən yönəli barədə bir neçə fikir», 19-cu mətn, XIII əsr

<sup>2</sup> «Amazi Keydzayın dedikləri», Masuho losi, 35-ci şer, XII əsr

2. Meteorit və asteroidlərin Yerə yaxınlaşması və onu bombarduman etməsi.

Bələ gedərsə mütəxəssislərin fikrincə yaxın on il ərzində Asiya, Afrika və Amerika qitələrinin sahillərini su basacaq. Çinin Şanxay, Braziliyanın Rio-de-Janeyro kimi şəhərləri su altında qalacaq. Dünyanı dağıtmaq üçün atom müharibəsinə ehtiyac qalmayacaq.

Yer ətrafindakı ozon qatının saxlanmasına xüsusi diqqət yetirmək lazımdır. Ozon qatının dağılmamasına  $OH$ ,  $NO_2$ ,  $CH_4$  və digər qazların çox böyük təsiri vardır. Ozon qatının dağılmamasına ən dəhşətli təhlükə atom və hidrogen bombalarının yeraltı və yerüstü sınaqları zamanı yaranır. Bu sınaqlara beynəlxalq moratoriya qoyulsa da, bələ bir təhlükənin baş verməsi hələ də istisna olunmur.

Nəzərə almaq lazımdır ki, bir orta güclü hidrogen bombasının yerüstü sınağı aparıldığda atmosferə 100 milyon ton toz atılır. Bu halda atmosferin tutqunlaşması güclü vulkan püskürməsi təsiri yaradır. Əgər Yer kürəsindəki atom silahı ehtiyatının 25%-i partladılarsa atmosferə buraxılan toz və tüstünün təsirindən bütün planeti katastrofik təsirli «nüvə qış» bürüyər. Belə, lakin daha kiçik miqyaslı hadisə 1915-ci ildə İndoneziyada baş verən Tambor vulkanı püskürdükdə baş vermişdi. Vulkan püskürdükdən sonraki ildə ABŞ-ı görünməmiş qalınlıqda qar örtüyü bürüdü. Avropada isə o yay qıtə tarixində ən soyuq yay kimi tarixə daxil oldu.

Bütün bunların qarşısını almaq üçün bəşəriyyət haqq yolunu tutmalı və dünyani birgə qorumamalıdır.

Ehtimal olunur ki, asteroidlər Günəş sistemində haçansa mövcud olan, lakin sonradan parçalanıb dağilan Faeton planetinin qalıqlarıdır. Bu qalıqların bir hissəsi toz, meteorit şəklində Yerə töküür. Hər il yerə 10 min tondan çox meteorit-kosmik maddə töküür. Bu töküntülərin kimyəvi tərkibi Yer materialının kimyəvi tərkibinə çox yaxındır.

Hazırda Yer üzərində 2500-ə qədər meteorit tapılmışdır. Meteoritlərin qəlpələri isə on minlərlədir. Son dövrlərdə Antarktidada çoxlu sayıda meteoritlər tapılmışdır. Bu onların çoxlu sayıda düşməsi və burada əlverişli saxlanma şəraitinin olması ilə izah olunur. Yalnız 1973...1983 illər arasında yapon tədqiqatçıları Antarktidada 4750 meteorit fragmentləri tapmışlar (Yamato dağı yaxınlığında və

Kraliça Mod torpağında). Meteoritlərin ölçüləri də müxtəlifdir. Afrikada təpişan Qoba adlı meteoritin çəkisi 60 tondur. ABŞ-in Nevada ştatındaki Əjdaha kanonundakı meteorit kraterinin diametri 1,2 kilometr dərinliyi, 120 metrdir. Partlayan meteoritin kütləsi 15 min ton olmuşdur. Göy cisimlərinin Yerə düşməsi həqiqətən də dəhşətli katastroflara səbəb ola bilər.

3. Ekologianın çirkənməsi ilə bağlı Yerin orta temperaturunun artması və buzlaqların əriməsi, okeanların səviyyəsinin artması ilə bağlı Yer kürəsini ciddi təhlükələr gözləyir.

Politoloqların apardığı tədqiqatlar nəticəsində Yer kürəsinin bütün qitələrində nəhəng heyvan və quş skeletlərinin daşlaşmış qalıqları tapılmışdır. Bunların Yer üzərindən 65 milyon il bundan qabaq silinib məhv olduqları müəyyənləşdirilmişdir. Həvada, quruda və dənizdə yaşayan bu nəhəng canlıların qəflətən məhv olmasının səbəbi dəhşətli katastrofların baş verməsi ilə izah edilir.

Fərziyyəyə görə 65 milyon il bundan əvvəl kosmik fəzadan gələn nəhəng meteorit Yer səthinə düşərək partlamış və bu kataklizm nəticəsində Yer kürəsində yaşayan dinozavrular qırılmışlar. Meteorit partladıqda toz buldu Yer kürəsini uzun müddət əhatə etmişdir. Günəş şüaları bu buluddan keçə bilmədiyindən Yer kürəsini soyuq və zülmət bürümüşdür. Bu vəziyyətdə canlı aləmin yaşaması qeyri-mümkün olmuşdur. Meteoritin zərbəsindən vulkanlar aktivləşmiş və Yer səthini qızmış lava axını bürümüş, vulkan püskürməsindən atmosferə zəhərli qazlar püskürərək canlı aləmin yaşayışını qeyri-mümkün etmişdir.

Bu şəraitdə qaya parçaları havaya uçaraq Yerə tökülmüş və əlavə dağıntıllara və canlı aləmin məhvinə səbəb olmuşdur. Meteoritin düşməsi dəhşətli zəlzələlərin baş verməsinə və Yer səthində dərin yarğanların əmələ gəlməsinə səbəb olmuşdur.

Digər bir mülahizəyə görə isə fərz edilir ki, kosmik fəzadə yanar ulduzların toqquşması nəticəsində güclü radiasiya axını Yer atmosferini yararaq buzlaqların əriməsinə və dünyani su basmasına səbəb olmuşdur. Nuhun gəmisi ilə bağlı olan əfsanə də bu fərziyyə ilə bağlıdır. Bu katastroflar nəticəsində canlı aləmin əksəriyyəti məhv olmuş, bir qismi isə şəraitə uyğunlaşaraq salamat qalmışdır.

## 7. NEFT-QAZ İŞİNİN GEODİNAMİKASI

### 7.1 Neftçixarmada quyu lüləsinin temperatur rejimi

Neft yataqlarının istismarı prosesində quyu lüləsində temperaturun paylanması məsələsinə mövcud ədəbiyyatda baxılmışdır [14]. Neftin və süxurların istilik parametrlərini dəqiq təyin etmək mümkün olmadığından məsələnin nəzəri həlli qənaətləndirici nəticələr vermir [14]. Ona görə də təcrübədə quyu ağızı  $T_0$  və quyudibi  $T_2$  temperaturlarını ölçməklə quyunun lüləsi boyu temperaturun paylanması  $T_1(z)$ -i aşağıdakı düsturla hesablayırlar:

$$T_1 = \frac{T_2}{ch\omega_0 z} \quad (7.1.1)$$

$\omega_0$  əmsalı  $z = H$  olduqda  $T_1 = T_0$  şərtindən təyin edilir:

$$\omega_0 = \frac{1}{H} arcch \frac{T_2}{T_0} \quad (7.1.2)$$

burada  $H$  - quyunun dərinliyidir.

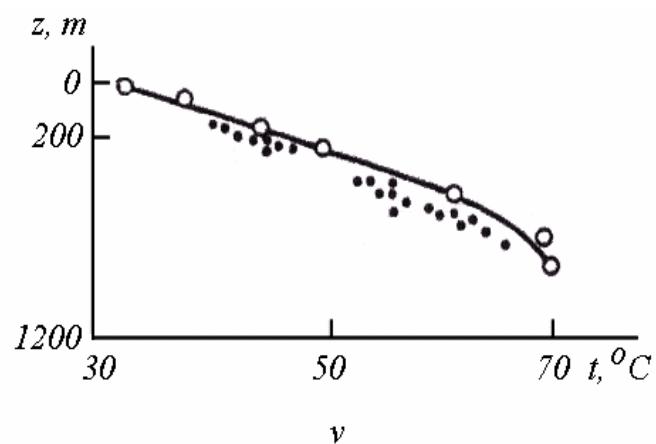
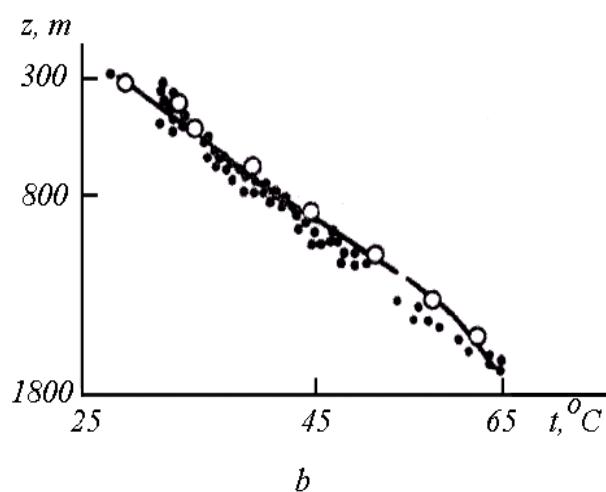
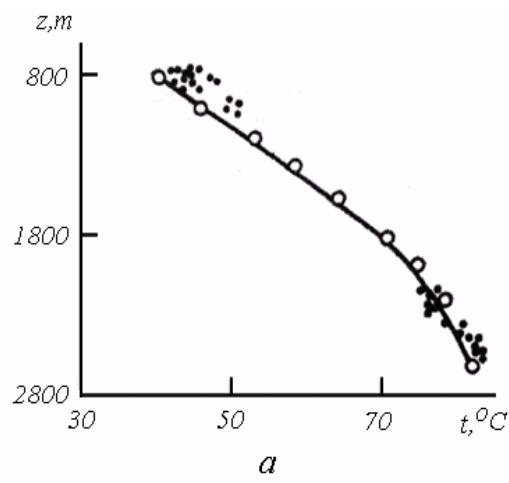
(7.1.2) düsturu ilə temperaturun hesablanmış qiymətini quyu lüləsinin faktiki ölçülmüş temperaturunun qiymətləri ilə müqayisə edək. VNİİ neftin Manqışlak ekspedisiyasının quyu lüləsində apardığı tədqiqatlarının nəticələri və (7.1.2) düsturu ilə temperaturun hesablanmış qiymətləri cədvəl 7.1.1-də verilmişdir. Cədvəldən göründüyü kimi temperaturun faktiki və hesabi qiymətləri arasındaki fərq cəmi 5...6% təşkil edir.

Şəkil 7.1.1 a, b, v-də temperaturun 7.1.2 düsturu ilə hesablanan və dayanan quyularda ölçülən [14] qiymətləri göstərilmişdir. Şəkillərdə temperaturun hesabi qiymətləri bütov xətlərlə, ölçülmüş qiymətləri isə nöqtələrlə göstərilmişdir. Göründüyü kimi temperaturun hesabi və ölçülən qiymətləri çox yaxındır.

Quyu lüləsindəki temperaturu və  $\omega_0$  əmsalının tapılmasını asanlaşdırmaq üçün şəkil 7.1.2-də göstərilən nomogram qurulmuşdur.

Cədvəl 7.1.1

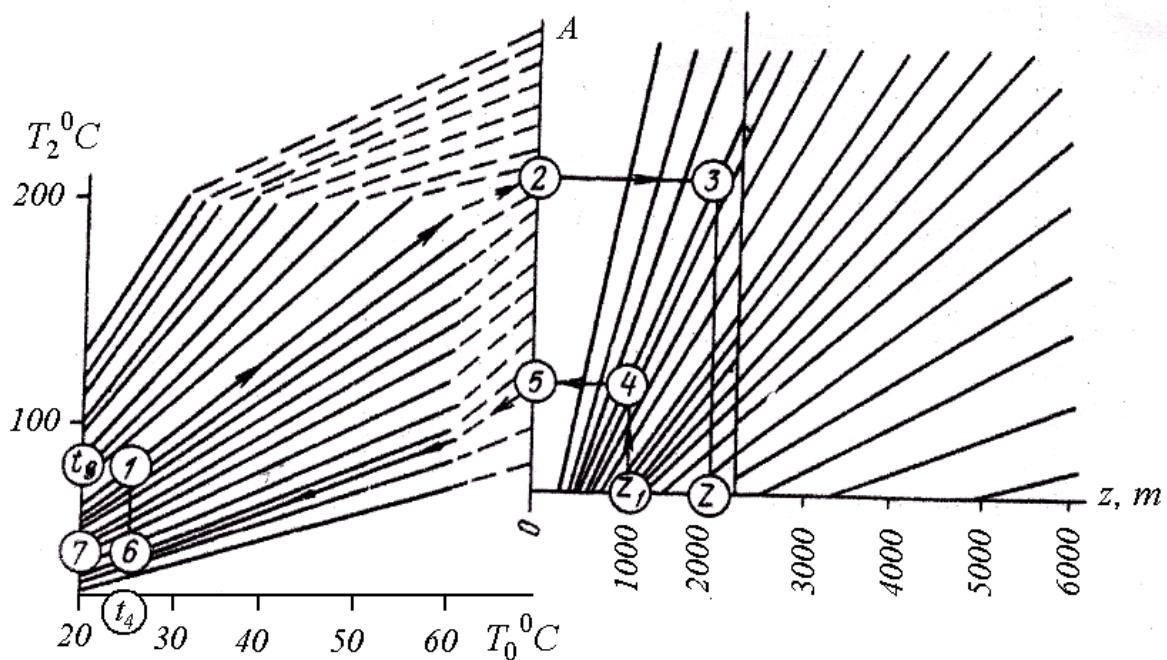
Quyunun nömrəsi	Quyunun debiti, m <sup>3</sup> /sutka	Dərinlik, m	Temperatur, T <sub>1</sub> , °C	
			ölçülüb	(7.1.1) düsturu üzrə hesablanıb
35	72000	0	23,9	23,9
		300	29,2	29,2
		600	35,6	34,7
		900	40,6	39,9
		1200	42,5	43,9
		1500	44,9	45,6
		1580	46,0	46,0
101	331000	0	31,0	31,0
		301	33,8	35,0
		600	36,8	38,0
		900	39,8	41,0
		1200	42,5	42,0
		1525	45	45,0



Şəkil 7.1.1. Temperaturun hesablanmış və ölçülən qiymətlərinin  
dərinlikdən asılılığı

Cədvəl 7.1.2

Quyunun nömrəsi	Sərf		Dərinlik, <i>z, m</i>	Temperatur, <i>T<sub>1</sub>, °C</i>	
	Qaz, m <sup>3</sup> /sutka	Kondensat, t/sutka		Ölçülən	(7.1.2) düsturu ilə hesablanan
78	603000	140	5	52,0	52,0
			2000	71,5	72,3
			3000	76,0	78,7
			3500	79,0	79,9
			3700	80,0	80,0
168	194000	39	20	35,4	35,4
			500	45,7	42,2
			1000	53,4	59,4
			1500	60,3	58,9
			2000	66,9	67,5
			2500	73,4	75,6
			3000	78,7	81,7
			3500	83,0	85,2
			3780	85,7	25,0
			400	25,0	25,0
9	-	-	900	35,0	35,0
			1400	46,5	45,0
			1900	56,0	54,0
			2400	64,0	65,0
			2900	70,0	72,5
			3100	73,0	75,0
			500	50,0	50,0
11	-	-	2000	68,0	72,0
			3000	77,0	82,0
			3500	82,0	86,0
			4000	80,0	82,0
			4400	83,0	83,0
			500	45,0	45,0
37	-	-	2000	64,0	67,0
			3000	72,0	76,0
			4000	80,0	82,0
			4400	83,0	83,0
			500	50,0	50,0
46	-	-	1000	57,0	60,0
			1500	61,0	64,0
			2000	64,0	69,0
			3000	72,0	76,0
			3500	76,0	79,0
			4000	80,0	81,0
			4400	82,0	82,0



**Şəkil 7.1.2. Quyu lüləsi boyu mayenin temperaturunu və  $\omega_0$  əmsalını təyin etmək üçün nomoqram**

$\omega_0$  təyin etmək üçün 1 nöqtəsini tapırıq. Bu nöqtənin koordinatları uyğun olaraq mayenin quyudibi və quyuüstü temperaturlarına uyğun gəlir. Bu nöqtədən sıniq xətt üzrə gedib OA oxundakı 2 nöqtəsini tapırıq. Sonra 3 nöqtəsini təyin edirik. Onun ordinatı 2 nöqtəsində, absisi isə  $H$  hündürlüyüünə bərabərdir. 3 nöqtəsinin vəziyyəti  $\omega_0$  əmsalını verir.  $\omega_0$ -1 təyin etməklə quyu lüləsində istənilən hündürlükdəki temperaturu təyin etmək olar. Bunun üçün  $z$ -in verilmiş qiymətindən absis oxuna 5 nöqtəsinə uyğun sıniq xətt üzrə gedib 6 nöqtəsini tapırıq. 6 nöqtəsindən obsis oxuna paralel düz xətt çəksək axtardığımız 7 nöqtəsini taparıq.

$T_0 = 25^0 C$ ,  $T_2 = 80^0 C$ ,  $H = 1900 m$  qiymətlərində  $z = 1000 m$  hündürlükdəki mayenin temperaturunu təyin edək: şəkil 7.1.2-dən  $\omega_0 = 0,95 \times 10^{-3}$  və mayenin temperaturu üçün  $T_1 = 37,5^0 C$  alırıq.

## 7.2. Quyu ətrafi zonada dağ süxurlarının termiki gərginlikli vəziyyəti

Quyu istismara buraxıldıqda quyu ətrafında qruntun temperaturu  $\Delta T$  qədər artır. Nəticədə quyu ətrafindakı qruntlarda temperatur gərginlikləri yaranır. Süxurun istidən genişlənmə əmsalı  $\alpha$  olarsa, izotrop qruntlarda  $\Delta T$  qədər qızdıqda, süxurda yaranan temperatur gərginliyi:

$$\sigma = \alpha E \Delta T \quad (7.2.1)$$

olacaqdır. Burada  $E$  - qrunt materialının Yunq moduludur.

$$\alpha = 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}; \quad E = 8,5 \cdot 10^{10} \text{ Pa} \quad \text{və} \quad \Delta t = 50^0\text{C}$$

olduqda

$$\sigma = \alpha E \Delta T = 10^{-5} \cdot 8,5 \cdot 10^{10} \cdot 50 = 42,5 \text{ MPa}$$

Bu gərginlik bəzi süxurlar üçün həddi qiymətə yaxındır və onların çatlayaraq dağılmışına səbəb ola bilər.

Əgər süxurun mexaniki xassələri müxtəlif hissəciklərdən ibarətdirsə belə süxur  $\Delta T$  qədər qızdıqda onlarda yaranan gərginlik mövcud ədəbiyyatda [14] verildiyi kimi təyin edilir:

$$\sigma = (\alpha_1 - \alpha_2) \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2} \Delta T \quad (7.2.2)$$

burada  $\alpha_1$  və  $\alpha_2$  - hissəciklərin xətti genişlənmə əmsalı;  $E_1$ ,  $E_2$  - onların Yunq modulları;  $\Delta T$  - temperaturlar fərqidir.

Kvars üçün  $\alpha_1 = (0,75 \dots 1,37) 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $E = 8,5 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$ , əhəngli sement üçün  $\Delta T = 50^0\text{C}$  olduqda  $\sigma = 3,4 \dots 9,02 \text{ MPa}$  arada döyişir.

Qrunt hissəcikləri iki paralel birləşdirilmiş elastik element kimi modelləşdirilərsə onlarda yaranan temperatur gərginliyi:

$$\sigma_1 = \frac{\left( \alpha_1 \frac{l_1}{l_2} - \alpha_2 \right) \Delta T E_1 E_2 F_2}{\frac{l_1}{l_2} E_2 F_2 + E_1 F_1}$$

$$\sigma_2 = \frac{\left( \alpha_1 \frac{l_1}{l_2} - \alpha_2 \right) \Delta T E_1 E_2 F_1}{\frac{l_1}{l_2} E_2 F_2 + E_1 F_1} \quad (7.2.3)$$

ifadələrindən təyin edilə bilər [14].

Qrunut ardıcıl birləşdirilmiş iki elastik element kimi modelləşdirilərsə onlarda yaranan temperatur gərginliyi aşağıdakı ifadələrdən təyin edilir [14]:

$$\sigma_1 = \frac{\left( \alpha_1 \frac{l_1}{l_2} - \alpha_2 \right) \Delta T E_1 E_2 F_2}{E_1 F_1 + \frac{l_1}{l_2} E_2 F_2},$$

$$\sigma_2 = \frac{\left( \alpha_1 \frac{l_1}{l_2} - \alpha_2 \right) \Delta T E_1 E_2 F_1}{E_1 F_1 + \frac{l_1}{l_2} E_2 F_2}. \quad (7.2.4)$$

Burada 1 və 2 indeksləri paralel və ya ardıcıl birləşən birinci və ikinci həissəciyə aiddir;  $F$  - hissəciklərin en kəsik sahəsi, digər işarələr isə yuxarıda göstərilən kimidir.

Xüsusi halda (7.2.3)-də  $l_1 = l_2$ ,  $F_1 = F_2$  qəbul etsək (7.2.2)-ni, (7.2.4)-də isə  $l_1 = l_2$ ,  $F_1 = F_2$  və  $E_1 = E_2$ ,  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$  qəbul etsək (7.2.1)-i alarıq.

### **7.3 Quyunun məhsuldar layını açdıraqda qoruyucu kəmərin temperatur gərginlikli vəziyyəti**

Quyu istismara buraxıldıqda lay temperaturu ilə qızmış neft kəməri boyu yuxarı qalxdıqca müəyyən müddətdən sonra quyu boyu qərarlaşmış yeni temperatur rejimi yaranır. Bu halda quyu lüləsi boyu temperaturun paylanması, koordinat

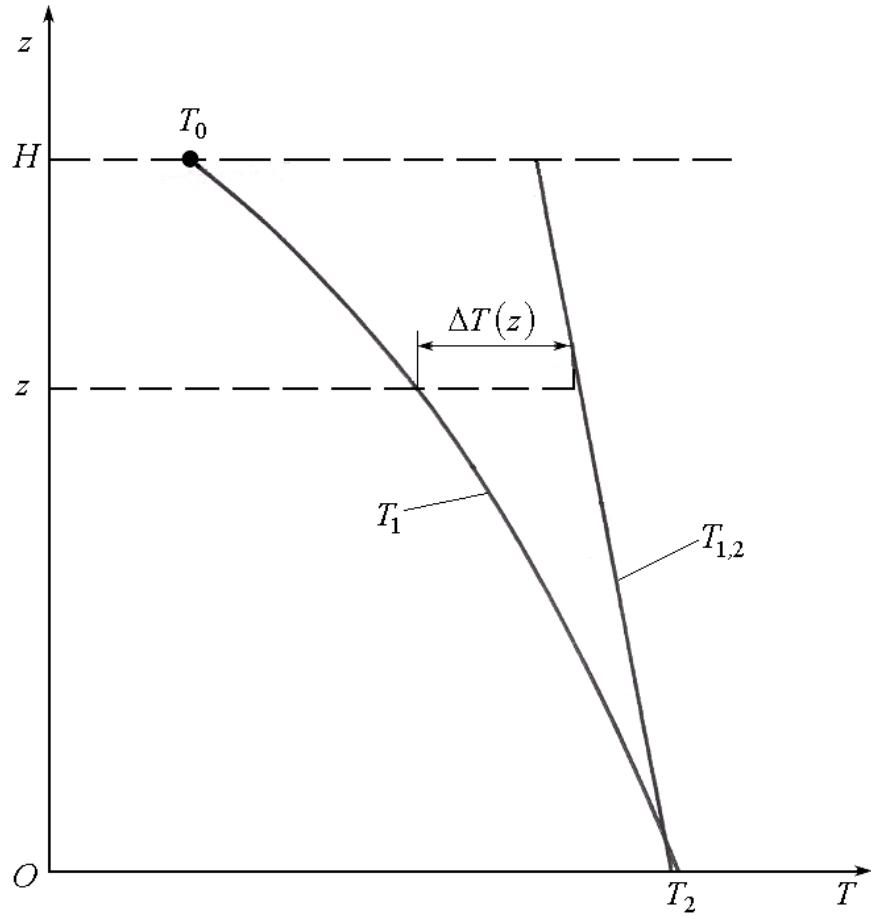
başlangıcı quyu dibində qəbul edilərsə, aşağıdakı kimi (şəkil 7.3.1.  $T_{1,2}$ ) ifadə edilə bilər [14]:

$$T_{1,2} = B(H - z) + C \quad (7.3.1)$$

burada  $H$  - quyunun dərinliyi;  $z$  - cari koordinat;  $B = 0,00375 \text{ } {}^{\circ}\text{C/m}$ ;  $C = T_2 - 0,00375 H$ ;  $T_2$  - quyu dibinin temperaturudur.

Quyu lüləsinin istismardan əvvəlki temperaturunun (7.1.1) ilə ifadə olunduğunu nəzərə alsaq qoruyucu kəmərin əlavə qızması nəticəsində əmələ gələn temperatur artımı:

$$\Delta T = T_{1,2} - T_1 = B(H - z) + C - \frac{T_2}{ch\omega_0 z} \quad (7.3.2)$$



**Şəkil 7.3.1. Quyu lüləsi boyu temperaturun paylanması**

Bu temperaturlar fərqindən qoruyucu kəmərdə yaranan gərginlik:

$$\sigma_z = \frac{1}{H} \alpha E \int_0^H \Delta T dz = \frac{\alpha E}{H} \int_0^H \left[ B(H-z) + C - \frac{T_2}{ch \omega_0 z} \right] dz$$

olacaq. Buradan

$$\sigma_z = \alpha E \left[ \frac{BH}{2} + C - \frac{4 \operatorname{arctg} e^{\omega_0 H} - \pi}{2 \operatorname{arcch} \frac{T_2}{T_0}} \right] \quad (7.3.3)$$

Bu gərginlikdən yaranan oxboyu qüvvə  $\vec{F}_z$ -in sement stakanı tərəfindən qəbul edilməsi üçün:

$$2\pi b[\tau] h \geq F_z \quad (7.3.4)$$

ödənilməlidir. Burada  $b$  - qoruyucu kəmərin xarici radiusu;  $[\tau]$  - kəmərlə sement stakanı arasındaki toxunan gərginliyin buraxılabilən qiyməti,  $h$  - sement stakanının hündürlüyüdür.

Buradan

$$h = \frac{\vec{F}_z}{2\pi b[\tau]} \quad (7.3.5)$$

yaza bilərik.

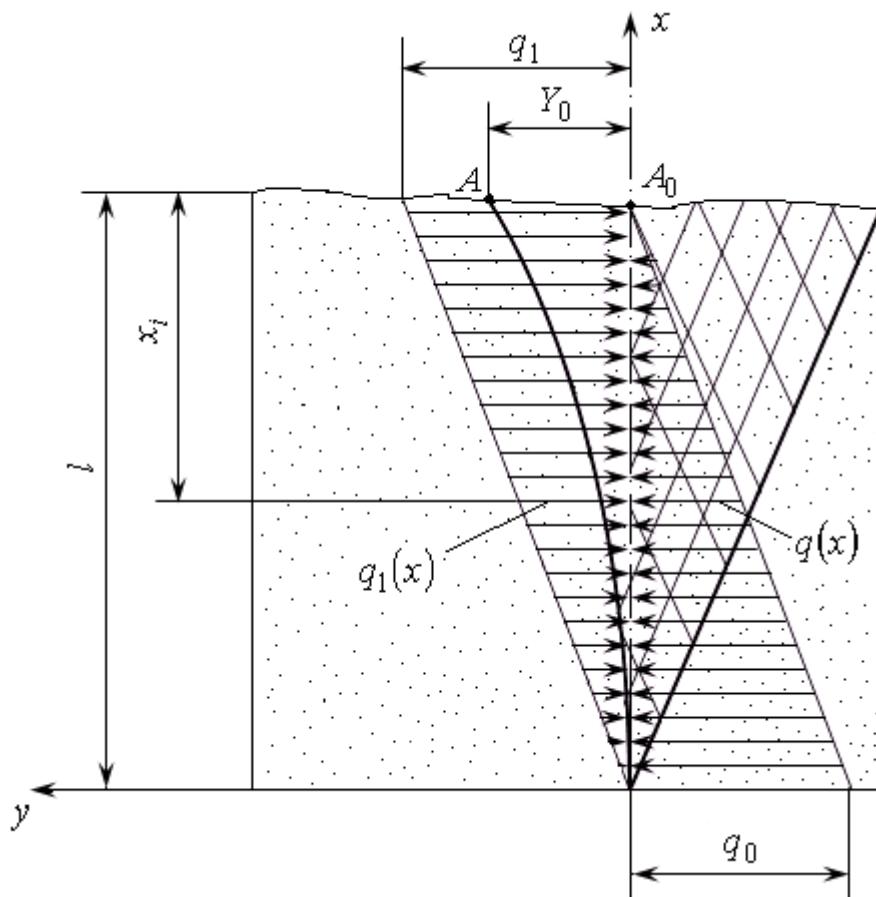
$$F_z = \pi(b^2 - a^2) \sigma_z = \pi(b^2 - a^2) \alpha E \left[ \frac{BH}{2} + C - \frac{4 \operatorname{arctg} e^{\omega_0 H}}{2 \operatorname{arcch} \frac{T_2}{T_0}} \right]$$

$$h \geq \frac{(b^2 - a^2) \alpha E \left[ \frac{BH}{2} + C - \frac{4 \operatorname{arctg} e^{\omega_0 H}}{2 \operatorname{arcch} \frac{T_2}{T_0}} \right]}{2b[\tau]} \quad (7.3.6)$$

Quyudakı sement stakanının hündürlüyü (7.3.6)-ilə hesablanan hündürlükdən az olmamalıdır.

## 7.4. Sürüşmə zonasında qazılan quyu lüləsinin konstruksiyasının seçilməsi

Abşeron yarımadasında qazılan köhnə quyuların bir çoxunun qruntların sürüşməsi təsirindən lüləsinin əyilməsi və bu səbəbdən də sıradan çıxması müşahidə olunur [8]. Ona görə də sürüşmə ehtimalı olan massivlərdə quyu qazılakən onun lüləsinin konstruksiyası bu faktor nəzərə alınmaqla seçilməlidir. Sürüşmə zonasında qazılan quyu müəyyən müddətdən sonra əyilərək şəkil 7.4.1. də göstərilən şəkil alacaqdır.



**Şəkil 7.4.1. Sürüşmə zonasında quyu lüləsinin konsol əyintisi**

Quyunun ağızı  $A_0$  nöqtəsindən  $A$  nöqtəsinə sürüşəcəkdir. Bu yerdəyişməyə mühitin müqaviməti  $q_1(x) = ky$  quyu lüləsinin yerdəyişməsinə mütənasib olacaqdır. Nəticədə quyu lüləsinin əyilmiş oxunun diferensial tənliyi aşağıdakı şəkli alacaqdır:

$$EJy'' + \alpha_0 by = q(x) \quad (7.4.1)$$

burada  $E$  - boru materialının Yunq modulu;  $J$  - quyu lüləsinin en kəsiyinin ətalət momenti;  $\alpha$  - qruntun yatım əmsalı;  $b$  - tirin eni;  $q(x)$  - tirin vahid uzunluğuna təsir edən qüvvədir;  $y$  - tirin deformasiyasıdır.

Bu halda quyu lüləsinin deformasiyası aşağıdakı ifadədən təyin edilə bilər [17, 20]:

$$y = y_0 A_x + \frac{1}{k} \theta_0 B_x + \frac{4k^2}{\alpha} M_0 C_x + \frac{4k}{\alpha} Q_0 D_x + f(x)$$

burada  $y_0$ ,  $\theta_0$ ,  $M_0$  və  $Q_0$  - hesablama başlangıcında uyğun olaraq yerdəyişmə, dönmə bucağı, əyici moment və kəsici qüvvədir:

$$A_x = ch kx \cdot \cos kx \quad (7.4.3)$$

$$B_x = \frac{1}{2} (ch kx \cdot \sin kx + sh kx \cdot \cos kx) \quad (7.4.4)$$

$$C_x = \frac{1}{2} sh kx \cdot \sin kx \quad (7.4.5)$$

$$D_4 = \frac{1}{4} (ch kx \cdot \sin kx - sh kx \cdot \cos kx) \quad (7.4.6)$$

$$k = \sqrt[4]{\frac{\alpha_0 b}{4EJ}} \quad \alpha = \alpha_0 b$$

$f(x)$  - yükün təsir funksiyasıdır,  $f(x)$ -in ifadəsi və onun törəmələri bəzi yüklər üçün cədvəl 7.4.1-də verilmişdir.

(7.4.2) tənliyinə daxil olan  $A_x$ ,  $B_x$ ,  $C_x$ ,  $D_x$  və onların törəmələri cədvəl (7.6.2)-də verilmişdir.

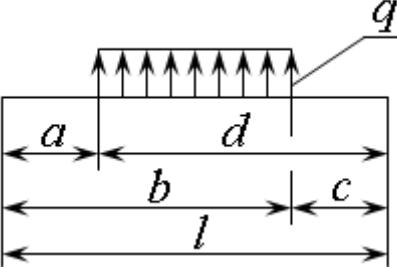
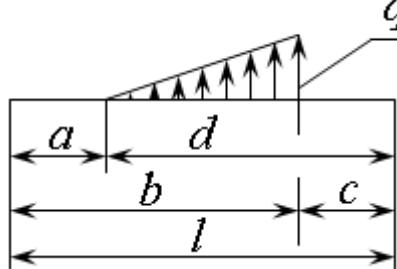
Şəkil 7.4.1-də göstərilən hal üçün:

$$y = \frac{1}{k} \cdot \frac{B_1 f'(l) - k A_e f(l)}{A_l^2 + 4B_e D_e} \cdot A_x - \frac{1}{k} \cdot \frac{4k D_e f(l) + A_e f(l)}{A_e^2 + 4B_e D_e} + \frac{q_0}{\alpha} \left( x - \frac{1}{k} B_x \right) \quad (7.4.7)$$

Deməli belə quyu qazılarkən onun profil əyrisi şaquli vəziyyətdən -  $y$  qədər sürüşmə istiqamətinin əksinə meyl etməlidir ki, tam sürüşmə təsiri özünü göstərdikdə o şaquli vəziyyət alsın.

Cədvəl 7.4.1

$f(x)$  funksiyası və onun törəmələri

	Yükün növü	
	1	2
		
$f(x)$	İlkinci sahə $-\frac{q}{\alpha}[A_{x-a} - 1]$ Üçüncü sahə $-\frac{q}{\alpha}[A_{x-a} - A_{x-b}]$	İlkinci sahə $\frac{q'}{\alpha}\left[(x-a) - \frac{1}{k}B_{x-a}\right]$ Üçüncü sahə $\frac{q'}{\alpha m}\left[(x-a) - \frac{1}{k}B_{x-a} - (x-b) + \frac{1}{k}B_{x-b}\right] + \frac{q}{\alpha}(A_{x-b} - 1)$
$f'(x)$	İlkinci sahə $\frac{4k}{\alpha}qD_{x-a}$ Üçüncü sahə $\frac{4k}{\alpha}q(D_{x-a} - D_{x-b})$	İlkinci sahə $\frac{q'}{\alpha}[1 - A_{x-a}]$ Üçüncü sahə $\frac{q}{\alpha m}(A_{x-b} - A_{x-b}) - \frac{4kq}{\alpha}D_{x-b}$
$f''(x)$	İlkinci sahə $\frac{4k^2}{\alpha}qC_{x-a}$ Üçüncü sahə $\frac{4k^2}{\alpha}q(C_{x-a} - C_{x-b})$	İlkinci sahə $\frac{4q'k^2}{\alpha}D_{x-a}$ Üçüncü sahə $\frac{4kq}{\alpha m}(D_{x-a} - D_{x-b}) + \frac{4k^2q}{\alpha}C_{x-b}$
$f'''(x)$	İlkinci sahə $\frac{4k^3}{\alpha}qB_{x-a}$ Üçüncü sahə $\frac{4k^3}{\alpha}q(B_{x-a} - B_{x-b})$	İlkinci sahə $\frac{4q'k^2}{\alpha}C_{x-a}$ Üçüncü sahə $\frac{4k^2q}{\alpha m}(C_{x-a} - C_{x-b}) + \frac{4k^3q}{\alpha}B_{x-b}$

Əgər sürüşmə laylar arasında baş verərsə (şəkil 7.6.2)  $y$ -in ifadəsini cədvəl 7.4.3.(2) və 7.4.1.(1)-ə əsasən yazmaq lazımdır. Onda:

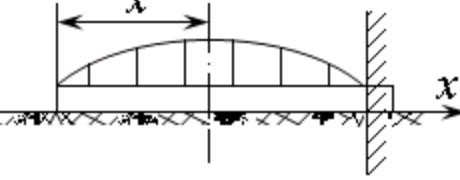
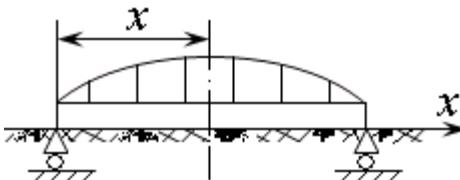
$$y = \frac{1}{k^2} \cdot \frac{D_e f''(l) - k^2 B_e f(l)}{4D_e^2 + B_e^2} \cdot B_x - \frac{q(A_{x-a} - 1)}{\alpha} \quad (7.4.8)$$

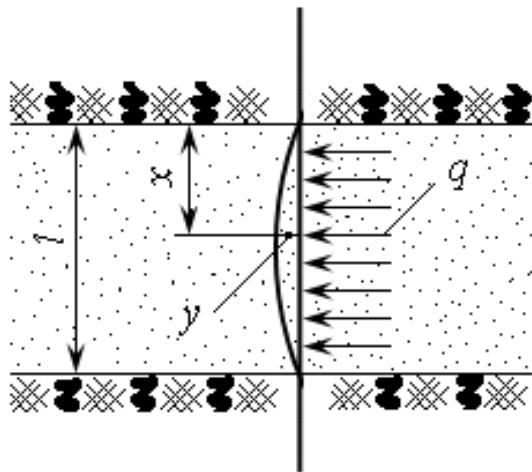
Cədvəl 7.4.2

Funksiya	Törəməsi			
	birinci	ikinci	üçüncü	dördüncü
$A_x$	$-4kD_x$	$-4k^2C_x$	$-4k^3B_x$	$-4k^4A_x$
$B_x$	$kA_x$	$-4k^2D_x$	$-4k^3C_x$	$-4k^4B_x$
$C_x$	$kB_x$	$k^2A_x$	$-4k^3D_x$	$-4k^4C_x$
$D_x$	$kC_x$	$k^2B_x$	$k^3A_x$	$-4k^4D_x$

Cədvəl 7.4.3

#### Başlanğıc parametrlərin cədvəli

Nö	Tirin uclarının bağlanması növləri	Başlanğıc parametrlər
1		$y_0 = \frac{1}{k} \frac{B_l f'(l) - k A_l f'(l)}{A_l^2 + 4B_l D_l}$ $\theta_0 = -\frac{4D_l f(l) + A_l f'(l)}{A_l^2 + 4B_l D_l}$ $M_0 = 0; \quad Q_0 = 0$
2		$y_0 = 0$ $\theta_0 = \frac{1}{k} \frac{D_l f''(l) + k^2 B_l f(l)}{4D_l^2 + B_l^2}$ $Q_0 = \frac{\alpha}{4k^3} \frac{4k^2 D_l f(l) + B_l f''(l)}{4D_l^2 + B_l^2}$



**Şəkil 7.4.2. Sürüşmə zonasında quyu lüləsinin laylar arasında əyilməsi**

## 7.5 Zəlzələnin dəniz neft hidrotexniki qurğulara təsiri

Zəlzələyə qarşı hesablama tarixən müxtəlif səviyyələrdə aparılmışdır. Bununla bağlı zəlzələyə davamlığın müxtəlif nəzəriyyələri yaradılmışdır.

1. Zəlzələyə qarşı davamlığın statik nəzəriyyəsi. Bu nəzəriyyə F. Omari və Sano tərəfindən verilmişdir. Bu nəzəriyyə əsasən qurğular qrunutun parametrlərinə uyğun rəqsli hərəkətdə olur. Buna əsasən seysmik təsir:

$$S = ma = K_s Q$$

düsturu ilə təyin edilir. Burada  $m$  , qrunutun kütləsi;  $Q$  - ona təsir edən seysmik qüvvədir;  $a$  - səthin maksimal təcili;  $K_s = \frac{a}{g}$  - seysmik əmsal;  $g$  - sərbəst düşmə təciliidir.

2. Zəlzələyə qarşı davamlığın dinamik nəzəriyyəsi. N. Mononobe tərəfindən təklif olunan bu nəzəriyyəyə əsasən qurğunun deformasiyası nəzərə alınmaqla zəlzələ zamanı ona təsir edən qüvvə aşağıdakı düsturla təyin edilir [11]:

$$S = K_s \beta Q \quad (7.5.2)$$

Burada  $\beta$  - dinamik əmsal olub

$$\beta = \frac{2}{1 - \left( \frac{T^2}{T_0^2} \right)}$$

kimi təyin edilir. Burada  $T_0$  - özülün rəqs periodu;  $T$  - qurğunun sərbəst rəqslərinin əsas fonunun periodudur.

3. 1934-cü ildə M.A.Bio tərəfindən təklif olunmuş spektral hesablama metodu seysmik dayanıqlıq sahəsində elmin inkişafında əhəmiyyətli mərhələ kimi xarakterizə edilir.

Bu üsulda müxtəlif rəqqasların təciliini ölçməklə standart spektr qurulmuşdur. Seysmik təsiri hər səviyyədə

$$S = C \sum Q \quad (7.5.3)$$

düsturu ilə müəyyən edilir. Burada  $C$  qurğunun sərbəst rəqs tezliyindən asılı olan əmsal,  $\sum Q$  bütün qurğunun çəkisidir;  $k$  - səviyyəli,  $h_i$  - hündürlüyündə yerləşən  $Q_i$  çəkili konstruksiyaya təsir edən seysmik qüvvə:

$$S_i = \frac{Sh_i Q_i}{\sum_{i=1}^n h_i Q_i} \quad (7.5.4)$$

düsturu ilə təyin edilir.

N.L.Korsinskinin işlərində spektral metodun hesabı xeyli inkişaf etdirilmişdir. Seysmoqramın analizi nəticəsində qruntun hərəkət qanunu sənən sinusoidaların cəmi kimi təqdim olunur

$$y_0 = \sum_{j=1}^n a_{0j} e^{-\varepsilon_{0j} t} \sin(\omega_j t + \varphi_j) \quad (7.5.5)$$

Burada  $y_0$  - qruntun yerdəyişməsi;  $a_{0j}$  - başlanğıc amplituda;  $\varepsilon_{0j}$  - qruntun rəqslərinin sönmə əmsali;  $\omega_j$  - qrunt rəqslərinin bucaq təzliyi;  $\varphi_j$  - sıra toplananının ortaya çıxdığı ana uyğun faza bücağı;  $t$  - vaxtdır.

Seysmik qüvvəni təyin etdiqdə N.L.Korsinski (7.5.5) düsturunda yalnız bir toplananı nəzərə almış, sistemə isə  $n$  sayda rəqs edən maddi nöqtə kimi baxmışdır.

Nəticədə qurğunun  $k$ -ci nöqtəsində,  $i$  forma rəqslərində yaranan dinamik qüvvəni hesablamaq üçün aşağıdakı düstur alınmışdır:

$$S_{ik} = \frac{a_0 \omega^2}{g} \beta_i \frac{x_{ik} \sum_{m=1}^n Q_m x_{im}}{\sum_{m=1}^n Q_m x_{im}^2}$$

Burada  $Q_n$  - qurğunun  $m$  nöqtəsində toplanan çəkisi;  $x_{ik}$  - qurğunun  $k$  nöqtəsinin  $i$  formalı rəqslərindəki yerdəyişmə;  $\beta_i$  - dinamik sistemin qurğunun əsasının hərəkətinə reaksiyasını xarakterizə edən əmsaldır [11].

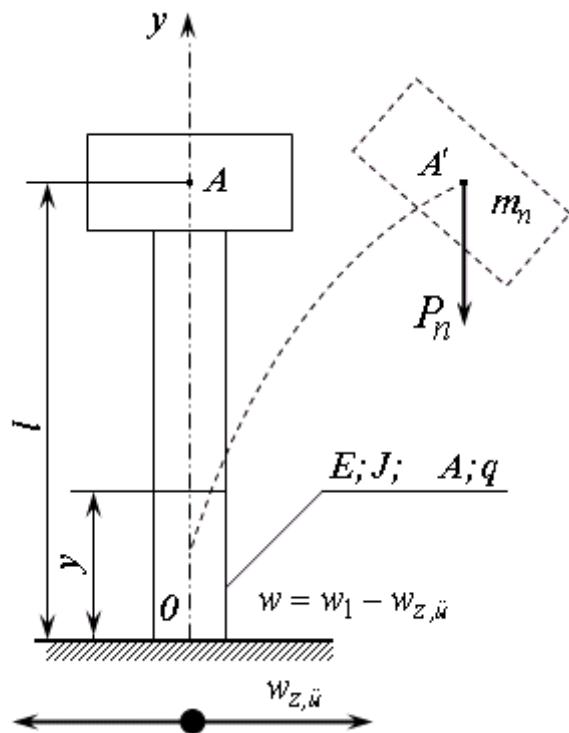
Spektral hesablama metodunun əsasını spektral əyrinin qurulması təşkil edir ki, onun ordinatı da seysimik yükü hesablamaya imkan verir. Bu əyrilər baş vermiş güclü zəlzələlərə qurğunun reaksiyasının spektrləri əsasında qurulur.

Qurğunun vəziyyəti və möhkəmliyi belə təsirdən sonra onun istifadəyə yaramadığı və ya insanların həyatına təhlükə yarada biləcəyi qənaətinə gətirərsə, qurğunun həddi vəziyyətə çatdığı qərara alınır.

Hal hazırda konstruksiyanın seysmik təsirə hesabı birinci qrup həddi vəziyyətə görə aparılır. Qaydaya əsasən [11] dəniz stasionar platformalarının seysmik təsirə hesabı sahənin seysmik aktivliyi 6 baldan çox olan hallarda aparılır. Seysmik aktivlik 9 baldan çox olduşa qurğuların tikintisi respublika Dövlət Tikinti komitəsi ilə razılışdırılmaqla aparılır.

Hesablama birinci qrup qruntların həddi vəziyyəti üçün aparılır. Hesablamada zəlzələdən yaranan ətalət qüvvəsi və suyun qurğuya qoşulan kütləsi nəzərə alınır. Dəniz stasionar platformalarına zəlzələnin təsiri iki perpendikulyar istiqamətdə əlahiddə olaraq nəzərə alınır.  $SN$  və  $PP.7-82$  sənədinə əsasən seysmik yük konsol sxem üzrə, rəqsin birinci harmonikasına görə təyin edilir. Konsolun aşağı bərkidilmiş ucu üstdəki zəif qrunut qatının aşağı sərhəddində qəbul edilir. Qurğu elastik əlaqəli sonlu sərbəstlik dərəcəsi olan sistem kimi modelləşdirilir. Göründüyü kimi, dəniz stasionar qurğularına zəlzələnin təsiri hesablaşdırıldıqda qurğunun kütləsinin diskret paylandığı qəbul edilir ki, bu da nəticədə bir və ya çox kütləli sistemin kinematik rəqslərinin öyrənilməsinə götirilir.

Məsələnin daha dəqiq həllinə baxaq [2, 11]. Qurğuya sərtliyi  $EJ$ , bir metrinin çəkisi  $q$ , en kəsik sahəsi  $A$  olan aşağı ucu bərkidilmiş konsol tir kimi baxırıq (şəkil 7.5.1).



### Şəkil 7.5.1. Qurğunun zəlzələdən eninə rəqslərinin mexaniki modeli

$m_p$  - platformanın kütləsi,  $P_n$  onun çəkisidir. Bərkidilmiş kəsik zəlzələdən üfüqi kinematik yerdəyişmə  $w_{z,ü}$  alır. Tirin istənilən digər kəsiyinin yerdəyişməsi  $w_i(y,t)$  tirin istənilən  $y$  ordinatlı kəsiyinin üfüqi nisbi yerdəyişməsidir. Eninə rəqslerin diferensial tənliyi və uyğun sərhəd şərtləri aşağıdakı kimi yazılır:

$$EJ \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = -\frac{q}{g} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - \frac{q}{g} \cdot \frac{\partial^2 w_{z,\ddot{u}}}{\partial t^2} - \frac{\partial}{\partial y} \left\{ [P_n + q(y)] \frac{\partial w}{\partial y} \right\} - \alpha \frac{\partial w}{\partial t}, \quad (7.5.7)$$

$$m_n \frac{\partial^2 w_{z,\ddot{u}}}{\partial y^2} + m_n \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \Big|_{y=l} = -EJ \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} \Big|_{y=l} - P_m \frac{\partial w}{\partial y} \Big|_{y=l} - \alpha_1 \frac{\partial w}{\partial y} \Big|_{y=l} \quad (7.5.8)$$

$$J_n \frac{\partial^3 w}{\partial y \partial t^2} \Big|_{y=l} = -EJ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \Big|_{y=l}, \quad (7.5.9)$$

$$w(y, t)|_{y=0} = 0 \quad (7.5.10)$$

$$\left. \frac{\partial w(y,t)}{\partial y} \right|_{y=0} = 0 \quad (7.5.11)$$

$w_{z,\ddot{u}} = \overline{w_{z,\ddot{u}}} \cdot e^{i\omega t}$  qəbul etməklə bu məsələni kompleks amplitud üsulundan istifadə etməklə başlanğıc şərtsiz məsələ kimi həll edə bilərik [2].

(7.5.7)...(7.5.11) məsəlisini həll etməmişdən ölçüsüz kəmiyyətlərə keçək:

$$\bar{t} = \omega_0 t; \quad \bar{y} = \frac{y}{l}; \quad \bar{w} = \frac{w}{w_{or}}$$

Onda (7.5.7)...(7.5.11) məsələsi aşağıdakı şəkil alır:

$$\frac{\partial^4 \bar{w}}{\partial \bar{y}^4} = -S^4 \frac{\partial^2 \bar{w}_{z,\ddot{u}}}{\partial \bar{t}^2} - 2k_1 \frac{\partial}{\partial \bar{y}} \left[ (1 + \xi \bar{y}) \frac{\partial \bar{w}}{\partial \bar{y}} \right] - 2\beta \frac{\partial \bar{w}}{\partial \bar{t}}, \quad 0 < \bar{y} < 1; \quad \bar{t} > 0, \quad (7.5.12)$$

$$\left. \frac{\partial^3 \bar{w}}{\partial \bar{y}^3} \right|_{\bar{y}=1} = S_1^4 \left. \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial \bar{y}^2} \right|_{\bar{y}=1} + S_1^4 \left. \frac{\partial^2 \bar{w}_{z,\ddot{u}}}{\partial \bar{t}^2} \right|_{\bar{y}=1} - 2k_1 \left. \frac{\partial \bar{w}}{\partial \bar{y}} \right|_{\bar{y}=1} - 2\beta_1 \left. \frac{\partial \bar{w}}{\partial \bar{t}} \right|_{\bar{y}=1}, \quad (7.5.13)$$

$$\left. \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial \bar{y}^2} \right|_{\bar{y}=1} = -S_2^4 \left. \frac{\partial^3 \bar{w}}{\partial \bar{y} \partial \bar{t}^2} \right|_{\bar{y}=1}, \quad (7.5.14)$$

$$\left. \bar{w} \right|_{\bar{y}=0} = 0 \quad (7.5.15)$$

$$\left. \frac{\partial \bar{w}}{\partial \bar{y}} \right|_{\bar{y}=1} = 0 \quad (7.5.16)$$

Burada aşağıdakı ölçüsüz kəmiyyətlər qəbul edilmişdir:

$$\begin{aligned} S^4 &= \frac{q\omega_0^2 l^4}{gEJ}; & 2k_1 &= \frac{P_n l^2}{EJ}; & 2\beta &= \frac{\alpha\omega_0 l^4}{EJ}; \\ S_1^4 &= \frac{m_n \omega_0^2 l^3}{EJ}; & 2\beta_1 &= \frac{\alpha_1 \omega_0 l^3}{EJ}; & \xi &= \frac{ql}{P_m}; \\ S_2^4 &= \frac{J_n \omega_0^2 l}{EJ}. \end{aligned}$$

Bu ölçüsüz kəmiyyətlər zəlzələ təsirindən qurğunun eninə rəqsərini tədqiq etmək üçün onun fiziki modelinin parametrlərini təyin etməyə imkan verir. Modelin parametrləri aşağıdakı ifadələrdən təyin edilə bilər:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{q_m \omega_{om} l_m^4}{g_m E_m J_m} = \frac{q_h \omega_{oh} l_h^4}{g_h E_h J_h}, \\ \frac{P_{nl.m} l_m^2}{E_m J_m} = \frac{P_{nl.h} l_h^2}{E_h J_h}, \\ \frac{\alpha_m \omega_{om} l_m^2}{E_m J_m} = \frac{\alpha_h \omega_{oh} l_h^2}{E_h J_h}, \\ \frac{m_{nl.m} \omega_{om}^2 l_m^3}{E_m J_m} = \frac{m_{nl.h} \omega_{oh}^2 l_h^3}{E_h J_h}, \\ \frac{\alpha_{1m} \omega_{om} l_m^3}{E_m J_m} = \frac{\alpha_{1h} \omega_{oh} l_h^3}{E_h J_h}, \\ \frac{q_m l_m}{P_{nl.m}} = \frac{q_h l_h}{P_{nl.h}}, \\ \frac{J_{nl.m} \omega_{om}^2 l_m}{E_m J_m} = \frac{J_{nl.h} \omega_{oh}^2 l_h}{E_h J_h}. \end{array} \right\} \quad (7.5.17)$$

İndeksdəki  $m$  işarəsi modelə  $h$  işarəsi isə naturaya aiddir. Modeldə aparılan tədqiqat nəticəsində  $\bar{w}_m$ -i təyin edib onu  $\bar{w}_h$ -ə bərabərləşdirildikdən sonra digər bütün parametrləri – naturada yaranan təcildə və qüvvələri təyin etmək olar.

Məsələnin həllini sadələşdirmək məqsədilə qurğunun səpələnmiş yükünün üçdə birini platformanın çəkisinə əlavə etsək, gətirilmiş yük

$$P_g = P_p + \frac{1}{3}ql$$

yaza bilərik. Burada  $P_p$  - platformanın çəkisi;  $q$  - qurğunun vahid uzunluğunun çəkisi;  $l$  - onun hündürlüyüdür.

Zəlzələnin maksimum təsirini müəyyən etmək üçün mühitin müqavimətini nəzərə almırıq. Yəni  $\beta = \beta_1 = 0$  qəbul edirik.  $2k = \left| \frac{P_g}{EJ} \right|^2$  qəbul etsək, məsələnin sadələşdirilmiş riyazi modelini aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$\frac{\partial^4 \bar{w}}{\partial \bar{y}^4} = -S^4 \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial \bar{t}^2} - S^4 \frac{\partial^2 \bar{w}_{zü}}{\partial \bar{t}^2} - 2k \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial \bar{y}^2}, \quad 0 < \bar{y} < 1; \quad \bar{t} = 0, \quad (7.5.18)$$

$$\left. \frac{\partial^3 \bar{w}}{\partial \bar{y}^3} \right|_{\bar{y}=1} = -S_1^4 \left. \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial \bar{t}^2} \right|_{\bar{y}=1} - S_1^4 \left. \frac{\partial^2 \bar{w}_{zü}}{\partial \bar{t}^2} \right|_{\bar{y}=1} - 2k \left. \frac{\partial \bar{w}}{\partial \bar{y}} \right|_{\bar{y}=1}, \quad (7.5.19)$$

$$\left. \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial \bar{y}^2} \right|_{\bar{y}=1} = -S_2^4 \left. \frac{\partial^3 \bar{w}}{\partial \bar{y} \partial \bar{t}^2} \right|_{\bar{y}=1}, \quad (7.5.20)$$

$$\left. \bar{w} \right|_{\bar{y}=0} = 0 \quad (7.5.21)$$

$$\left. \frac{\partial \bar{w}}{\partial \bar{y}} \right|_{\bar{y}=0} = 0 \quad (7.5.22)$$

$\bar{w}_{z\ddot{u}} = \bar{a}e^{i\bar{t}}$  olduğunu nəzərə alsaq, məsələnin həllini başlanğıc şərti olmayan məsələ kimi həll edə bilərik.  $\bar{w} = \tilde{w}e^{i\bar{t}}$  qəbul etməklə alarıq:

$$\frac{d^4 \tilde{w}}{d \bar{y}^4} + 2k \frac{d^2 \tilde{w}}{d \bar{y}^2} - S^4 \tilde{w} = S^4, \quad (7.5.23)$$

$$\left. \frac{d^3 \tilde{w}}{d \bar{y}^3} \right|_{\bar{y}=1} = -2k \left. \frac{d \tilde{w}}{d \bar{y}} \right|_{\bar{y}=1} + S_1^4 \tilde{w} + S_1^4 \quad (7.5.24)$$

$$\left. \frac{d^3 \tilde{w}}{d \bar{y}^2} \right|_{\bar{y}=1} = -S_2^4 \left. \frac{d \tilde{w}}{d \bar{y}} \right|_{\bar{y}=1}, \quad (7.5.25)$$

$$\left. \tilde{w} \right|_{\bar{y}=0} = 0 \quad (7.5.26)$$

$$\left. \frac{d \tilde{w}}{d \bar{y}} \right|_{\bar{y}=0} = 0 \quad (7.5.27)$$

(7.5.23) tənliyinin həlli:

$$\tilde{w} = A \bar{a} \bar{y} + B \bar{b} \bar{y} + C \cos b \bar{y} - D \sin b \bar{y} - 1 \quad (7.5.28)$$

olacaq. Burada  $a$  və  $b$  xarakteristik

$$r^4 + 2kr^2 - S^4 = 0 \quad (7.5.29)$$

tənliyin kökləridir:

$$r_{1,2} = \pm a = \pm \sqrt{-k^2 + \sqrt{k^2 + S^4}}, \quad (7.5.30)$$

$$r_{3,4} = \pm b = \pm \sqrt{k^2 + \sqrt{k^2 + S^4}} \quad (7.5.31)$$

İnteqral sabitləri  $A$ ,  $B$ ,  $C$  və  $D$  (7.5.24) və (7.5.27) sərhəd şərtlərinin ödənilməsindən təyin edilir:

$$A = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \quad B = \frac{\Delta_2}{\Delta}; \quad C = \frac{\Delta_3}{\Delta}; \quad D = \frac{\Delta_4}{\Delta}; \quad (7.5.32)$$

burada

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & 0 & a_{33} & 0 \\ 0 & a_{42} & 0 & a_{44} \end{vmatrix}; \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} 0 & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ 0 & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ 1 & 0 & a_{33} & 0 \\ 0 & a_{42} & 0 & a_{44} \end{vmatrix};$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_{11} & 0 & a_{13} & 0 \\ a_{21} & 0 & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & 1 & a_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} \end{vmatrix}; \quad \Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & 0 & a_{24} \\ a_{31} & 0 & 1 & 0 \\ 0 & a_{42} & 0 & a_{44} \end{vmatrix}; \quad \Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & 0 & a_{33} & 1 \\ 0 & a_{42} & 0 & 0 \end{vmatrix}.$$

$$a_{11} = a^3 sha + 2ka sha + S_1^4 cha ,$$

$$a_{12} = a^3 cha + 2ka cha + S_1^4 sha ,$$

$$a_{13} = b^3 \sin b - 2ka \sin b + S_1^4 \cos b ,$$

$$a_{14} = b^3 \cos b + 2ka \cos b + S_1^4 \sin b ,$$

$$a_{21} = a^2 cha - S_2^4 a sha ,$$

$$a_{22} = a^2 sha + S_2^4 a cha ,$$

$$a_{23} = S_2^4 b \sin b - b^2 \cos b ,$$

$$a_{24} = -(b^2 \sin b + S_2^2 b \cos b) ,$$

$$a_{31} = 1, \quad a_{33} = 1, \quad a_{42} = a, \quad a_{44} = b .$$

$\vec{w}$ -ni təyin edib tapırıq:

$$\bar{\bar{w}} = \bar{w} e^{i\bar{t}} = (Acha \bar{y} + Bsha \bar{y} + C \cos b \bar{y} + D \sin b \bar{y} - 1) \cdot e^{i\bar{t}} \quad (7.5.33)$$

(

4.2.5.33) ifadəsinin həqiqi hissəsi:

$$w(\bar{y}, \bar{t}) = w_{oz} (Acha \bar{y} + Bsha \bar{y} + C \cos b \bar{y} + D \sin b \bar{y} - 1) \cos \omega_0 t \quad (7.5.34)$$

$\bar{y} = 1$  qəbul etməklə platformanın yerdəyişməsinin ifadəsini alarıq:

$$w_n(1,t) = w_{oz}(A\bar{cha}\bar{y} + B\bar{sha}\bar{y} + C\cos b\bar{y} + D\sin b\bar{y} - 1)\cos \omega_0 t \quad (7.5.35)$$

platformanın mütləq yerdəyişməsi  $w_{1n} = w_n + w_{3.2}$

$$w_{1n}(1,t) = w_{oz}(A\bar{cha}\bar{y} + B\bar{sha}\bar{y} + C\cos b\bar{y} + D\sin b\bar{y} - 1)\cos \omega_0 t \quad (7.5.36)$$

platformanın təcili:

$$\frac{d^2 w_n}{dt^2} = -w_{oz} \omega_o^2 (A\bar{cha} + B\bar{sha} + C\cos b + D\sin b) \cos \omega_o t$$

zəlzələdən platformaya təsir edən qüvvənin ən böyük qiyməti:

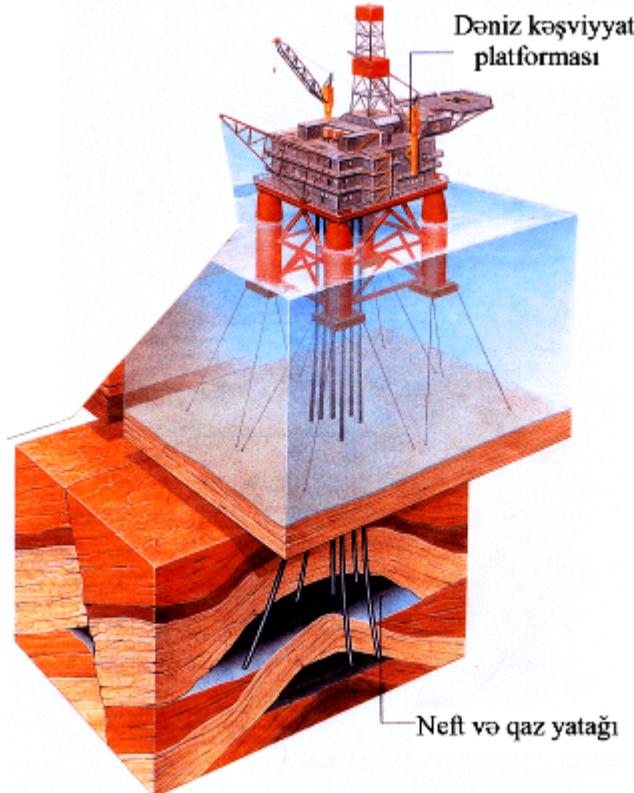
$$\left| \vec{F}_{nl} \right|_z = w_{oz} \omega_o^2 m_{nl} (A\bar{cha} + B\bar{sha} + C\cos b + D\sin b). \quad (7.5.37)$$

## 7.6 Neft və qaz yataqlarının mənşəyinin geodinamik aspektləri

Neft və qaz yataqlarının mənşəyinin elmi əsaslandırılmış konsepsiyası tam mükəmməlliyi ilə işlənməmişdir. Hazırda bu sahədə iki fərziyyə mövcuddur – neft və qazın əmələ gəlməsinin üzvi və qeyri-üzvi mənşəyi. Neft geologiyasında qəbul olunmuşdur ki, neft və qaz Yer üzərində milyon illərdən qabaq mövcud olmuş üzvi maddələrin çürümə məhsuludur. Neft və qaz yataqlarının əmələ gəlməsi isə uzun müddət tədricən neftin laylara sızıb suyu sıxışdırıb onun yerini tutması ilə izah olunur.

Bəzi tədqiqatçıların fərziyyəsinə görə neft və qaz yataqları Yerin tərkibindən karbohidrogenlərin püskürərək müxtəlif yer altı rezervuarları doldurması nəticəsində əmələ gəlmişdir [18, 21]. Bu nəzəriyyə aşağıdakı faktlara əsaslanır:

1. Yer qabığının çox laylı neft yataqlarında Yer səthinə normal istiqamətdə şişib qalxması. Bu proses karbohidrogenlərin yuxarıya doğru fontanlı vulkanik püskürməsindən baş verir ki, nəticədə kollektorlardan su sıxışdırılır və onun yerinə laylara karbohidrogenlər paylanır (şəkil 7.6.1).



**Şəkil 7.6.1 Neft yatağında Yer qabığının şişib qalxması**

2. Yataqlarda anomal alçaq və yüksək təzyiqin olması karbohidrogenlərin püskürərək üst laylara və ya Yer səthinə çıxması ilə əlaqədardır.

Anomal alçaq təzyiq karbohidrogenlərin müəyyən hissəsinin yeni əmələ gəlmiş kanallara miqrasiyası nəticəsində yaranır. Anomal təzyiq isə litoloji qapalı rezervuarların dolması nəticəsində yaranır. Bu rezervuarlar ya təbii və yaxud da yarıgnlardan əmələ gəlir. Yarğanlar püskürən karbohidrogenlərin təzyiqi təsirindən üst qatların qatmaqarışq qabarması prosesində yaranır.

3. İstənilən neft-qaz yatağının müəyyən istiqamətdə yönəlməsi – karbohidrogenlərin və lay sularının müqavimət az olan istiqamətdə sıxışdırılmasının nəticəsidir. Müqavimət az olan mühit kimi dəniz və okeanları göstərmək olar.

Aral dənizinin quruması, Balxaş gölünün dayazlaşması bəlkə də yaxınlıqda yerləşən neft və qaz yataqlarının istimarı ilə əlaqədardır. Belə ki, yoxa çıxan suyun

miqdarı yataqlardan çıxarılan neftin həcminə uyğun gəlir.

4. Vyetnamdakı «Ağ pələng» və «Əjdaha» yataqları karbohidrogenlərin püskürərək özülü təşkil edən məsaməli laylardakı boşluqları doldurması nəticəsində əmələ gəlmışdır.

5. Dəniz və okeanların shelf zonalarında neft və qaz yataqlarının olması da karbohidrogenlərin Yerin tərkindən püskürməsi ilə izah olunur.

6. Daş kömür də karbohidrogenlərin yüngül fraksiyaları ayrıldıqdan sonra yerdə qalan bitumun daşlaşma məhsuludur. Daş kömür və bitium öz tərkibinə görə neftə daha çox uyğundur.

7. Neft və qaz yataqlarında temperaturun regional fondan çox olması onunla izah olunur ki, Yerin dərin qatlarından qalxaraq layları ani olaraq dolduran isti neft soyumağa macər tapmır və bu səbəbdən də neft laylarının temperaturu daha yüksək olur.

8. Yer qabığının bazalt qatının qara rəngdə olması onunla izah olunur ki yuxarı qalxan mantiya materialı qara rəngli karbohidrogenlərlə (neftlə) qarışır. Qaramtil rəngli maddə Astenosferin üst qatına yığılmışdır. Bu qatda seysmik dalgaların sürətinin kiçik olması da məhz bununla izah olunur.

Neftin mənşəyi barəsindəki bu fərziyyə - yəni neftin qeyri-üzvi mənşəli olması zəlzələ və vulkanların baş verməsi səbəblərini də aydınlaşdırmağa imkan verir. Belə ki, neftin qara tüstü ilə yanması və vulkanların püskürərək qara tüstü buraxması əslində eyni mənşəli proseslərdir.

## Әдәbiyyat

1. Babaxanov Neron, İsmayılov Çingiz. Yer kürəsi, Planetimiz olduğu kimi. «Ayna Mətbü Evi», 1999, 96 s.
2. A.X. Mirzəcanzadə, Z.H. Kərimov, M.Q. Kopeykis. Rəqslər nəzəriyyəsi. Bakı, Maarif, 1981, 366 səh.
3. И.И. Абрамович Геодинамика и металлогения складчатых областей. Л., Недра, 1987, 246 с.
4. Л.А. Адамс, К. Ван Остранд, Г. Вашингтон, Р. Дели, Б. Гуттенберг, В. Ламберт, Дж. Майклуант и К. Рихтер. Внутренне строение Земли. Сборник, пер. с англ. М. Изд. Ин. Лит., 1949, 417 с.
5. Е.В. Артюшков. Геодинамика. М., Недра, 1977.
6. И. Бронштейн, К. Семеняев. Справочник по математике. М., Гостехиздат, 1956, 608 с.
7. Геотермические исследования нефтяных и газовых скважин. Мехтиев Ш.М., Мирзаджанзаде А.Х., Алиев С.А. М., Недра, 1971, 216 с.
8. О.Д.Гусейнзаде, М.М.Сейидов. Геодинамические основы поисков и разработки нефтяных залежей. Баку, Элм, 2001.
9. Б. Гутенберг и К. Рихтер. Сейсмичность Земли. Госиноиздат, 1948 г.
10. Л.П. Зонентайне, Л.А. Савостин. Введение в геодинамику. М., Недра, 1979 г.
11. М.З. Керимов. Управление проектами морских нефтяных месторождений. М., Машиностроение. 1998, 283 с.
12. Магнитостратиграфия и геодинамика. Под отв. ред. д.ф.м.н. А.Н. Храмова. М., «Радио и связь», 1981 г., 120 с.
13. А.Х. Мирзаджанзаде, Вопросы гидродинамики вязко-пластичных и вязких жидкостей в нефтедобыче. «Азернефтнешр», Баку, 1959 г.
14. А.Х. Мирзаджанзаде, П.М. Огибалов, З.Г. Керимов. Термовязкоупругость и пластичность в нефтепромысловой механике. М., Недра, 1973 г., 276 с.
15. А. Надаи. Пластичность и разрушение твердых тел. Т.2., М., Мир, 1969 г., 863 с.

16. Г. Паркус Неустановившиеся температурные напряжения. М., Физматгиз. 1963 г., 262 с.
17. Прочность-устойчивость-колебания. Справочник в трех томах. Под ред. д.т.н. И.А. Биргера и чл.-корр. А.Н. Латвийской ССР Я.Г. Пановко. М., Машиностроение, 1968 г.
18. Д. Сахитов. О происхождении месторождений нефти и газа. М., «Нефтепромыслового дела» 2001, №4.
19. О.Т. Сорохтин. Глобальная эволюция Земли. М., Наука, 1979 г., 182 с.
20. Справочное пособие по сопротивлению материалов. Под общ. редакцией М.Н. Рудакина. Гос.изд. БССР, редакция научно-технической литературы. Минск, 1961.
21. И.М. Шахновский, О.Ю. Копылова. Формирование месторождений нефти и газа, связанных с зонами перерывов и осадконакоплений. Геология нефти и газа. 1999 г., №5-6.
22. Werner Arnold, Eroberung der Tiefe, ver Deutcher Verlag iur Grundstofindustrie, Leipzig, 1973.