

**Ə.Q.Novruzov, Ə.L.Məmmədov,  
E.N.Səmədova, C.Ə.Məmmədov**

***SÜXURLARIN  
DEFORMASIYASININ  
GEOFİZİKİ ASPEKTLƏRİ***



**Ə.Q.Novruzov, Ə.L.Məmmədov,  
E.N.Səmədova, C.Ə.Məmmədov**

***SÜXURLARIN  
DEFORMASIYASININ  
GEOFİZİKİ ASPEKTLƏRİ***

**BAKI - 2016**

**Elmi redaktor:** AMEA-nın müxbir üzvü, prof. K.M.Kərimov

**Resenzentlər:**

Kitabda süxurların deformasiyası şəraitində fizikixassələrinin dəyişməsi xüsusiyyətləri haqda eksperimental məlumatlar təhlil edilmişdir. Mürəkkəb gərginlik şəraitində təbii və süni iri miqyaslı materialların orijinal tədqiqləri təsvir olunmuşdur. Zəlzələnin ocağının fizikası probleminə tətbiqi üçün maraq kəsb edən eksperimental məlumatlar gətirilmişdir. Kitab geofizik və geoloqlar üçün maraq kəsb edə bilər.

# MÜNDƏRİCAT

	səh.
<i>Giriş</i> .....	5
<i>I fəsil. Süxurlarda baş verən deformasiya prosesləri ....</i>	8
<i>1.1. Süxurların əsas deformasiya növləri.....</i>	8
<i>1.2. Süxurların deformasiyasına təsir edən amillər .....</i>	14
<i>1.2.1. Temperatur faktoru .....</i>	14
<i>1.2.2. Deformasiyanın sürəti .....</i>	16
<i>1.2.3. Maye fazası .....</i>	20
<i>1.3. Deformasiya proseslərinin süxurların fiziki-xassələrinə təsiri .....</i>	23
<i>1.3.1. <math>\sigma_1 &gt; \sigma_2 = \sigma_3</math> halı üçün elastik dalğaların sürəti.....</i>	24
<i>1.3.2. Seysmoakustika .....</i>	26
<i>1.3.3. Elektrik müqaviməti .....</i>	29
<i>1.4. Süxurların fiziki xassələrinin kompleks tədqiqi .....</i>	30
<i>II fəsil. Mühitin gərginlik vəziyyətinin qeyri-bircinsliyi (iri miqyaslı süxur nümunələrinin eksperimental tədqiqi) .....</i>	34
<i>2.1. İri qranit və bazalt bloklarının eksperimental tədqiqi.....</i>	34
<i>2.2. İri beton bloklarının eksperimental tədqiqi.....</i>	40
<i>2.3. İri su ilə doymuş mərmər və əhəngdaşının eksperimental tədqiqi .....</i>	42
<i>III fəsil. Çatəmələgəlmənin və qeyri-dayanıqlı deformasiyanın lokallaşması.....</i>	49
<i>3.1. Daxili konsentratör lumodellər.....</i>	49
<i>3.2. Yüksək plastikliyə malik süxurlar.....</i>	55
<i>IV fəsil. Elastik dalğaların sürət variasiyaları .....</i>	61

<i>4.1. Qranit və bazaltın iri blokları üzərində təcrübələr .....</i>	<i>61</i>
<i>4.2. Yüksək plastikliyə malik süxur nümunələrində təcrübələr.....</i>	<i>67</i>
<i>V fəsil. Elektrik müqavimətinin variasiyaları.....</i>	<i>80</i>
<i>5.1. Su ilə doymuş iri bloklar üzərində təcrübələr .....</i>	<i>81</i>
<i>5.2. Betondan hazırlanmış iri model üzərində təcrübələr.....</i>	<i>84</i>
<i>5.3. Betondan hazırlanmış kiçik model üzərində təcrübələr .....</i>	<i>88</i>
<i>5.4. Məxsusi potensiallar və elektromaqnit emissiya.....</i>	<i>94</i>
<i>Nəticə.....</i>	<i>102</i>
<i>Ədəbiyyat .....</i>	<i>104</i>

## GİRİŞ

Son zamanlar ABŞ, Yaponiya, Çin və digər ölkələrdə seysmoloji informativliyi daha da artırmaq, o cümlədən, zəlzələlərinin proqnozu məqsədilə müşahidə sistemləri sürətlə inkişaf etdirilmişdir. Onların əsas cəhətləri çox növlülük və geniş ərazini əhatə edən müşahidələrdir. Yer səthinin meyilliyyətinin və deformasiyasının variasiyalarının qeydiyyatı, yeraltı suların, geofiziki sahələrin, geokimyəvi parametrlərin monitorinqi geniş yer almışdır. Müşahidə parametrlərinin kompleksləşdirilməsi və müşahidə ərazilərinin genişləndirilməsi geofiziki sahələrin xəbərverici kimi interpretasiya edilən bəzi xüsusiyyətlərini müəyyən etməyə imkan vermişdir. Onlardan, ölçüləri zəlzələ zamanı əmələ gələn yarıqdan qat-qat böyük olan ərazilərdə anomaliyaların şəbəkəvari paylanmasını, anomaliyaların müxtəlif ərazilərdə və müxtəlif zəlzələlərdə rəngarəng formalarda özünü biruzə verməsini qeyd etmək olar. Bu hal bəzi tədqiqatçılarda zəlzələnin proqnozu məsələsinə pessimist baxışın yaranmasına səbəb olmuş, digərləri isə eksperimental baxımdan təsdiqini tapmış faktlara əsaslanaraq öz mövqelərini təsdiqləmişlər.

O da inkar edilməzdir ki, zəlzələ proqnozunun effektivliyi və proqresi zəlzələyə səbəb olan müxtəlif fiziki proseslər haqqında bilikləri artırmaqdan və onların aidiyyəti üzrə interpretasiyasından asılıdır.

Zəlzələlərin fiziki mahiyyətinin nəzəri inkişafı, zəlzələ ocağının mexanizminin öyrənilməsi, zəlzələ xəbərvericilərinin axtarışının fiziki əsaslandırılması və ocağın modelləşdirilməsi məsələlərinin həlli süxurların

yüksək təzyiqliq və temperatur şəraitində fiziki xassələri haqqında eksperimental məlumatların tədqiqini tələb edir.

Belə məsələlərin həlli məqsədi ilə seysmoaktiv zonanın geofiziki kəsilişini, ayrı-ayrı blokların, layların, Yer qabığının və üst mantiyanın tərkibi haqqında məlumatları əldə etmək, süxurların və mineralların real yatırım şəraitini əks etdirən yüksək termodinamik şəraitdə fiziki xassələrini öyrənmək lazımdır.

Süxurlarda baş verən elastik və qeyri-elastik deformatsiya, onların parçalanması və bu proseslərin süxurların fiziki xassələrinə (seysmik dalğaların sürətinə, elektrik müqavimətinə və s.) təsiri haqda toplanan informasiyaya əsaslanaraq zəlzələ xəbərvericiləri mexanizminin fiziki nəzəriyyəsi işlənmişdir.

ABŞ alimləri C.Şols, L.Sayks və d. tərəfindən zəlzələnin hazırlıq dövrünü izah edən dilatant-diffuz modeli təklif olunmuşdur. Bu model çərçivəsində güman olunur ki, zəlzələnin hazırlıq dövrünü əhatə edən ərazidə deformatsiyaya uğramış sudoyumlu süxurlarda intensiv sürətdə dilatansiya effekti baş verir (mühitin genişlənməsi). Bunun nəticəsində məsamələrdəki maye yaranan çatlara diffuziya edir. Bu iki effekt dilatansiya və diffuziya ocaqyeni zonalarda müşayət olunan elastik dalğaların sürətinin və elektrik keçiriciliyinin öncə kiçilməsini və sonra yüksəlməsini tam izah edir. Lakin məlumdur ki, dilatansiya prosesi yalnız geostatik və tektonik gərginliyin müəyyən nisbətində baş verir və Yer daxilində ocaq zonasında böyük süxur həcmində bu nisbətənin mövcudluğunun qeyri müəyyənliyi modelin əsas çatışmayan cəhəti sayılır.

Digər selli- dayanıqsız çatəmələgəlmə modeli Rusiya alimləri – V.Myaçkin, V.Kostrov, G.Sobolev və O.Şamina tərəfindən təklif olunmuşdur. Bu modelə əsasən tektonik zəlzələnin ocağı Yerın geomaterialının bütövlüyünün dinamik parçalanmasıdır. Zəlzələnin hazırlığı çatlardan sayının və ölçülərinin müəyyən kritik həddə çatdıqdan sonra selvari artması ilə başlayır və gələcək yarığın müstəvisində bir sıra başlanğıc çatlardan yaranması ilə nəticələnir. Əgər çatəmələgəlmə prosesi dayanıqsızdırsa və deformasiya artdıqca gərginlik düşürsə bu zaman zəlzələ başverir.

Dezilənlərdən belə nəticəyə gəlmək olar ki, zəlzələnin hazırlıq dövründə mühitin mexaniki və başqa fiziki xassələri dəyişir, seysmik enerjinin ayrılmasının məkan-zamanda spesifik dəyişməsi müşahidə olunur ki, bu da nəticədə baş verəcək zəlzələnin yerinin, vaxtının və gücünün təxmin edilməsinin əsasını qoyur. Yuxarıda qeyd olunan hər iki model faktiki materiallara istinad olunmaqla fiziki əsaslandırılmışdır.

Güman etmək olar ki, dilatant-diffuz modelin aktiv yarıqlar boyu təkrar baş verən zəlzələ ocaqlarına (San-Andreas yarığı) tətbiqi məqsədə uyğundursa, selli-dayanıqsız çatəmələgəlmə modelinin bütövlüyü pozulmayan dağ massivlərinə tətbiqi münasib olardı.

Qeyd etmək lazımdır ki yüksək təzyiq və temperatur şəraitində süxurların deformasiya və möhkəmlikliəri haqda məlumat yalnız zəlzələlərin fizikası üçün deyil, Yer haqqında elmlərin bir sıra başqa istiqamətləri-geodinamika, tektonika, tektonofizika, seysmotektonika və s. üçün də böyük maraq kəsb edir.



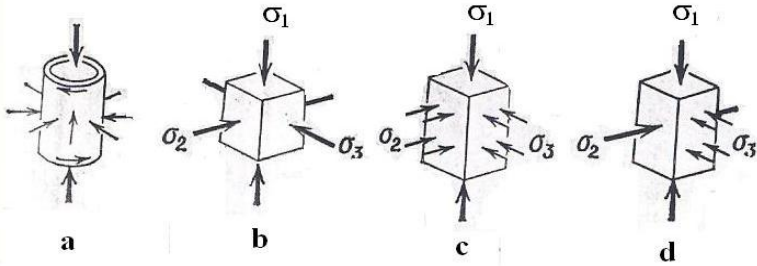
# **İFƏSİL.SÜXURLARDA BAŞ VERƏN DEFORMASIYA PROSESLƏRİ**

Laboratoriya şəraitində süxurlarda baş verən deformasiya proseslərinin öyrənilməsi real geoloji mühitdə zəlzələnin hazırlıq dövründə müşahidə olunan deformasiya proseslərinin xüsusiyyətləri haqqında təsəvvür yaratmağa imkan verir. Belə deformasiya prosesləriseysmik qurşaqlarda, seysmoaktiv zonalarda, subduksiya, adalar qövsü və s. zonalarda müşahidə olunur. Zəlzələ ocağının mexanizmini və ətraf mühitdə baş verən deformasiya prosesləri nəticəsində yaranan geofiziki sahələrin anomaliyalarını zəlzələnin proqnoz əlaməti kimi istifadə etmək üçün laboratoriya modelləşmə işləri mühüm rol oynayır.

## **1.1. Süxurların əsas deformasiya növləri**

Təbii yatım şəraitində süxurların deformasiyası mürəkkəb gərginlik şəraitində baş verir. Sonuncu isə litostatik (Yerin qravitasiya sahəsinin təsiri nəticəsində üstə yatan süxurların altda yatanlara təsiri nəzərdə tutulur) və tektonik təzyiqlərin qarşılıqlı təsirlərindən yaranır. Tektonik təzyiqlə sahəsi də öz növbəsində bircinsli olmur.

Mürəkkəb gərginlik vəziyyətinin laboratoriya şəraitində imitasiyası şəkil 1-də verilmiş sxemlər vasitəsi ilə həyata keçirilir. Qalın oxlar- sərt pistonun təsirindən yaranan sıxılmanı, nazik oxlar-hidrostatik üsulla yaranan sıxılmanı ifadə edir.



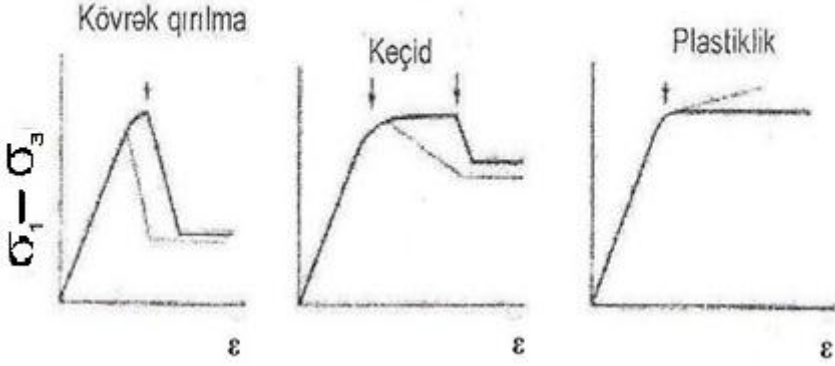
**Şəkil 1.** Nümunəni üç ox üzrə sıxan müxtəlif sistemlər

a - silindrik süxurda hidrostatik təzyiç şəraitində sıxılma [1]; b - üç sərt və müstəqil piston vasitəsi ilə üç ox istiqamətində sıxılma [2]; c - bir ox üzrə sərt piston vasitəsi ilə, yanlardan iki cüt piston vasitəsi ilə sıxılma [3]; d - iki cüt sərt piston və hidrostatik təzyiç vasitəsi ilə üç ox üzrə sıxılma [4].

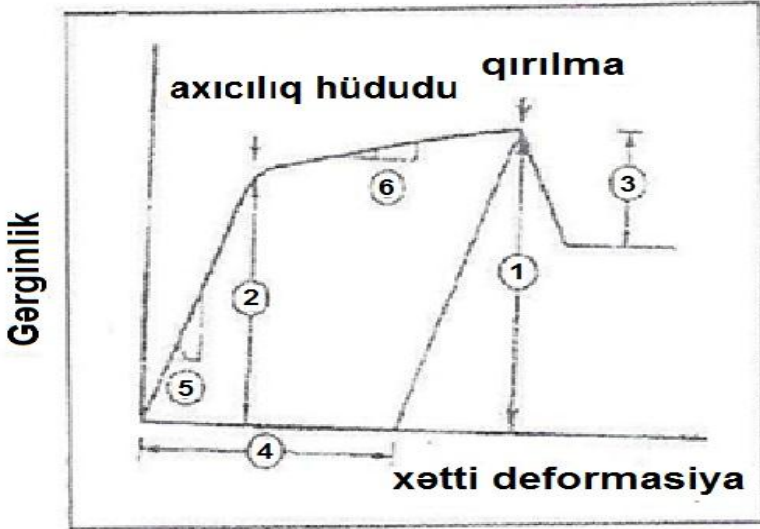
Maksimal, aralıq və minimal baş gərginlikləri müvafiq olaraq  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  və  $\sigma_3$ -lə işarə edək. Süxurların xarici gərginliyin təsirinə reaksiyasını gərginliklə deformasiya arasında asılılıq tam əks etdirir. Adətən ordinat oxunda gərginlik fərqi ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ), absis oxunda isə xətti deformasiya  $\epsilon$  göstərilir.

Şəkil 2-də süxurların tipik gərginlik-deformasiya ayriləri verilmişdir. Soldakı qrafik kövrək parçalanmanı əks etdirir. Burada parçalanma momenti gərginliyin kəskin düşməsi ilə müşayət olunur. Sağda yerləşən qrafik plastik deformasiya mühitinin reaksiyasını əks edir. Burada parçalanmadan öncə bərpa olunmaz yüksək deformasiya müşahidə olunur. Orta qrafikdə aralıq variant göstərilmişdir [5]. Qeyd etmək lazımdır ki, eyni süxur kiçik hidrostatik təzyiç şəraitində özünü kövrək kimi, yüksək temperatur və təzyiç şəraitində isə plastik kimi apara bilər.

## Süxurların davranışı



**Şəkil 2.** Süxurlar üçün tipik gərginlik-deformasiya ayriləri[5]



**Şəkil 3.** Süxurların deformasiya prosesinin bəzi mühüm parametrləri

1-qırılma gərginliyi; 2-axıcılıq hüdudu gərginliyi; 3-gərginliklərin düşməsi; 4-plastik deformasiya; 5-elastiklik sabiti; 6-deformasiyanın möhkəmlənmə əmsalı.

Şəkillərdə təqdim olunan parametrlər deformasiya prosesinin əsas kəmiyyətxarakteristikalarıdır:

1. Qırılma gərginliyi (qırılmaya davamlılıq)- qırılma anında gərginliklər fərfinə bərabərdir.

2. Axıcılıq hüdudu-plastik deformasiya yarandığı anda gərginliklər fərfinə bərabər olub, gərginlik deformasiya əyrisinin kəskin sınması ilə səciyyələnir. Lakin əksər süxurlar üçün müəyyən sınma nöqtəsi yoxdur və buna görə də axıcılıq hüdudu kimi kiçik (0,2 %) plastik deformasiyalar uyğun gərginliklər fərqi qəbul edilir.

3. Qırılma zamanı gərginliyin düşməsi.

4. Plastikliyi keyfiyyətcə maddənin parçalanmağa uğramamaq şərti ilə yüksək dərəcədə plastik deformasiyaya məruz qalmaq xüsusiyyəti xarakterizə edir. Xəndinə görə [6,7] nisbi plastikliyin ölçüsü kimi parçalanmadan öncə deformasiyanın maksimal qiyməti 3% qədər olduqda - kövrək, 3-5% arasında – keçid, 5%-dən yüksək olduqda - plastik kimi təsnif oluna bilərlər.

5. Süxurun elastiklik modulları-gərginlik deformasiya əyrisinin başlanğıc mailliyinə görə müəyyən olunur.

6. Möhkəmlənmə əmsalı-axıcılıq hüdudundan sonra gərginlik-deformasiya əyrisinin mailliyinə görə müəyyən olunur.

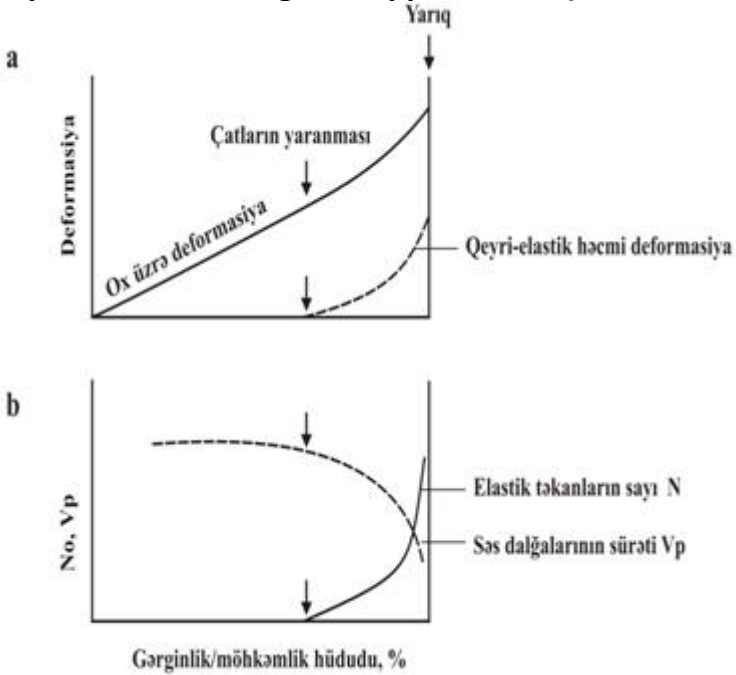
7. Qırılma bucağı- qırılma müstəvisi ilə ən böyük baş gərginliyin  $\sigma_1$  oxu arasındakı bucaqdır.

8. Möhkəmlənmə.

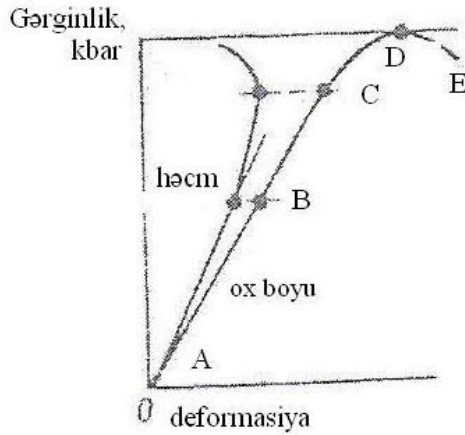
9. Mikrotəkanlar- mikroqırılmaların əmələgəlməsini müşayət edən elastiki titrəyişlər silsiləsidir.

Deformasiya proseslərini yuxarıda sadalanan parametrlərin müxtəlif termodinamik şəraitdə alınan

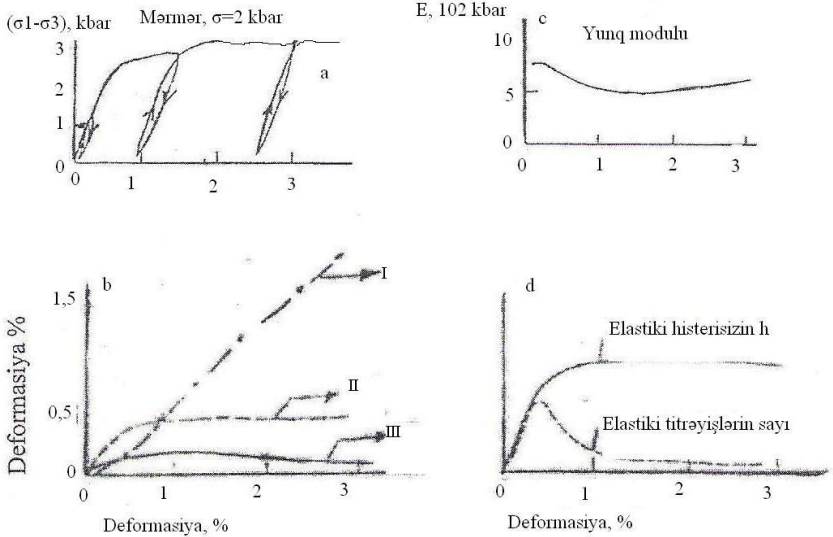
qiymətlərinə əsaslanaraq tədqiq edirlər. Şəkil 4-də qeyri-xətti deformasiya əyrisi və qeyri-bircins süxurlarda kövrək parçalanma zamanı müşayət olunan bəzi mexaniki parametrlərin dəyişməsi göstərilmişdir. Onlardan makroqırılmanı müşahidə edən elastiki təkanların [8,9, 10], dilatansiyanın [11, 12], elastiki dalğaların sürətinin azalmasının [13, 14] və elektrik müqavimətinin dəyişməsinin [15] mövcudluğu parçalanmadan öncə mikroçatların yaranmasının spesifik proses olduğunu göstərir. Mikrotəkanların əsasən, süxurun struktur qeyri-bircinsliyindən asılı olduğu müəyyən edilmişdir.



**Şəkil 4.** Qeyri-bircins kövrək süxurda deformasiya prosesi  
a - ideallaşdırılmış gərginlik deformasiya əyrisi; b - mikroyarıqların seysmik və səs dalğalarının sürətinin gərginlikdən asılılığı.



**Şəkil 5.** Kövrək süxurlar üçün bir oxlu sıxılma zamanı gərginlik və deformasiya arasındakı əlaqə



**Şəkil 6.** 2 kbar hidrostatik təzyiq şəraitində mərmər sıxılarkən, bəzi mexaniki parametrlərin dəyişməsi a -gərginlik-deformasiya əyriləri; b- elastiki, qeyri-elastiki və həcmi deformasiyaların nisbəti; c- Yunq modulu; d- elastiki titrəyişlərin sayı; I- qeyri-elastiki deformasiya; II- elastiki deformasiya; III- həcmi deformasiya.

Kövrək süxurların sıxılma zamanı deformasiya prosesi bir neçə mərhələyə ayrılır [16, 17]: çatların qapanması, xətti elastiki deformasiyalar, çatların bərabər böyüməsi, çatların qeyri-bərabər böyüməsi və parçalanması. Şəkil 6-da 2 kbar hidrostatik təzyiç şəraitində sıxılan mərmərin deformasiyası zamanı bəzi mexaniki parametrlərin dəyişməsi göstərilmişdir. Onun deformasiya əyrisindən (şək.6a) maddənin plastik vəziyyətinə uyğun gəlidiyi görünür. Süxurun elektrik müqavimətini və deformasiyasını ölçməklə yüklənmə və boşalma zamanı xarakterik deformasiya əyrisini almaq mümkün olmuşdur.

Digər qrafiklər ayrı-ayrı parametrlərin ox üzrə deformasiyadan asılılıqlarını əks etdirir: Yunq modulunu (şək.6c); elastiki və qeyri-elastiki xətti və həcmi deformasiyanı (şək.6b); mikrotəkanların sayını elastiki histerezis zamanı yayılan enerjinin  $h$  tam elastiki deformasiyanın enerjisinə nisbətini (şək.6d). Müşahidə olunan dəyişiklər göstərir ki, axma hüdudlarının yaxınlığında makroqırılmaların rolu tutarlıdır.

## **1.2. Süxurların deformasiyasına təsir edən amillər**

### **1.2.1. Temperatur faktoru**

Yüksək təzyiç və eyni zamanda yüksək temperaturun süxurların deformasiyasına təsirinə aid eksperimental məlumatlar azdır. Bu, eksperimental prosesin texniki baxımdan mürəkkəbliyi ilə izah olunur. Ümumi halda isə onu qeyd etmək olar ki, temperaturun süxurların deformasiyasına təsiri yüksəkdir. Belə ki, əgər süxurun qızdırılması hər hansı bir fiziki-kimyəvi prosesə (polimorf keçidə və ya dehidratlaşma prosesinə) təkan vermirsə

süxurların möhkəmliyi zəifləyir və qeyri-elastik deformatsiya oblastı genişlənir.

Temperaturun təsiri nəticəsində süxurlarda baş verən fiziki-kimyəvi proseslərin onların möhkəmliyinə təsiri dərin fokuslu seysmikliyin mənşəyinin öyrənilməsi üçün xüsusi maraq kəsb edir [18]. Bir sıra eksperimentlər nəticəsində [19] məlum olub ki, 600°C-dən yüksək temperaturlarda serpentinitlərdən konstitusiyaya suyu xaric olduğu zaman kimyəvi əlaqələrin pozulması səbəbindən onların möhkəmliyinin kəskin azalması müşahidə olunur [18, 19, 20].

Qeyd etmək lazımdır ki, yüksək təzyiqlik və temperatur şəraitində həyata keçirilən eksperimentlər metodik baxımdan xüsusi ardıcılıq tələb edir. Belə ki, təzyiqlik, sonra temperaturu artırırdıqda alınan nəticələr əks ardıcılıqla həyata keçirilən eksperimentlərin nəticələrindən fərqlənə bilərlər. Bu, sonuncu variantda temperaturun təsiri nəticəsində süxur nümunəsində əlavə çatların əmələ gəlməsi ilə izah olunur.

Qeyd etmək lazımdır ki, süxurların yüksək təzyiqlik və temperaturun təsiri şəraitində tədqiqi başqa texniki problemlə qarşılaşır ki, bu da süxur nümunəsində yüksək temperatur qradientinin mövcudluğudur. Bu effekt qızdırıcının uzunluğunu süxurun uzunluğundan kifayət qədər böyük götürməklə qismən nəzərə alınır.

İlk dəfə yüksək temperatur və təzyiqlik şəraitində eksperimental tədqiqatlar mərmər və kalsit kristalları üzərində həyata keçirilmişdir [21, 22].

Nisbətən iri ölçülü süxur nümunələrində (diametri - 1,6 sm, uzunluğu - 3,2 sm) yüksək təzyiqlik və temperatur



şəraitində tədqiqatların nəticələri [23, 24, 25] cədvəl 1-də verilmişdir. Cədvəldən görüldüyü kimi 500°C və daha yüksək temperaturlarda süxurların möhkəmliyinin daha kəskin azalması müşahidə olunur, lakin hidrostatik təzyiqlə artıqca bu tendensiya zəifləyir. Bunlar cədvəl 1-də anarozit və enstatittimsalında daha qabarıq görünür. Qeyd olunan termodinamik şəraitdə serpentinitlər tədqiq olunmuşdur [19]. Serpentinitin dehidratlaşmasından sonra onun möhkəmliyinin kəskin kiçilməsi və eyni zamanda kövrəkliyinin yüksəlməsi müşahidə olunmuşdur.

### **1.2.2. Deformasiyanın sürəti**

Süxurların möhkəmliyi təzyiqlə və temperaturdan savayı bir sıra dəyişənlərin funksiyasıdır. Onlardan zaman faktorunu qeyd etmək olar. Bu faktor eksperiment zamanı tədqiq olunan süxurun yüklənmə (gərginlik baxımından) sürətinin dəyişməsi vasitəsi ilə özünü büruzə verir. Süxurların möhkəmliyinin yüklənmə sürətinin azalmasından asılılıq qanunauyğunluğunun tədqiqi çox önəmlidir. Bu qanunauyğunluq məlum olduqda eksperiment zamanı, müxtəlif yüksək deformasiya şəraitində alınan nəticələri süxurların real geoloji yatım şəraitinə (çox kiçik deformasiya sürəti şəraitinə) tətbiq etmək mümkün olar.

Qeyd olunan problem A.N. Stavroginin işlərində [23, 24] öz əksini tapmışdır. Şəkil 7 ağ marmar üçün deformasiya sürətinin azalmasından asılı möhkəmliyinin dəyişməsi qrafiki verilmişdir.

**Cədvəl 1**

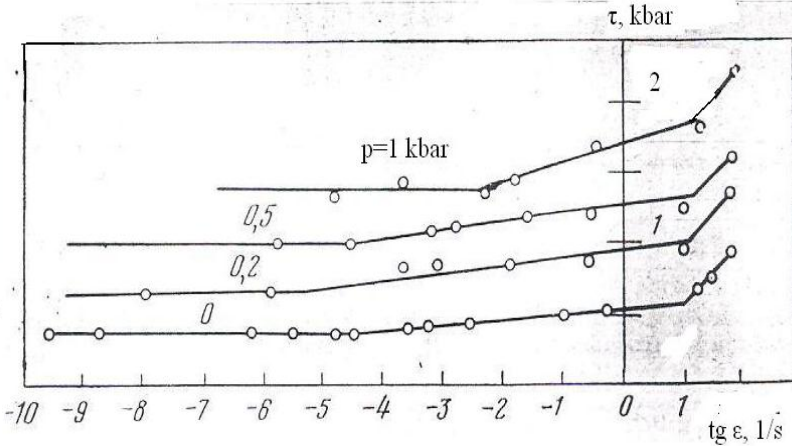
Yüksək təzyiç və temperatur şəraitində bir oxlu  
sıxılma nəticəsində süxurun parçalanması zamanı  
 $\sigma_1$ - $\sigma_3$  qiymətləri (kbar)

p, kbar	T, °C							
	25	200	300	400	500	600	800	1000
<b>Anortozit [43]</b>								
4,4	-	-	-	14,9	-	12,6	5,57	1,48
7,8	-	-	-	19,4	-	15,0	5,1	1,7
11,2	-	-	-	23,4	-	15,2	5,8	4,2
14,8	-	-	-	23,5	-	17,0	8,1	3,7
5,0	14,25	-	14,1	-	9,2	-	-	-
10,0	14,5	-	11,7	-	7,5	-	-	-
8,0	14,2	-	-	-	14,0	-	-	-
4,0	-	-	-	1,5	-	-	-	-
8,0	-	-	-	2,1	-	-	-	-
12,0	-	-	-	2,4	-	-	-	-
8,0	9,5	-	-	-	5,7	-	-	-
2,0	6,75	-	7,1	-	5,6	-	-	-
3,0	8,9	-	8,0	-	6,3	-	-	-
5,0	13,2	-	12,5	-	9,7	-	-	-
10	17,5	-	15,9	-	12,2	-	-	-
5,0	20,0	16,05	-	11,6	-	6,4	-	-
5,0	16,0	12,5	-	9,4	-	6,1	-	-
1,0	6,0	-	-	-	-	-	-	-
3,5	10,0	8,2	7,5	7,1	1,1	-	-	-
1,0	6,35	4,9	-	5,3	2,7	-	-	-
5,0	13,3	-	9,5	8,9	7,3	-	-	-
3,5	7,9	6,4	2,8	-	-	-	-	-

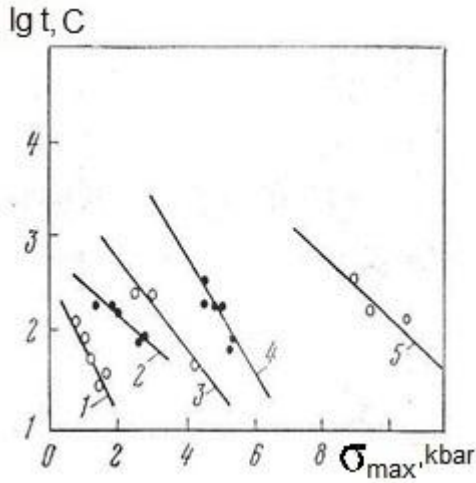
Bu grafikdə hər əyri müəyyən hidrostatik təzyiçə

uyğun gəlir. Göründüyü kimi hər əyri üç düz xətti sahədən ibarətdir və deformasiya sürəti  $10^{-5}$ - $10^{-3}$  1/s qiymətindən kiçik olduqda möhkəmlik deformasiya sürətindən asılı deyil.

Sabit hidrostatik və dəyişən əlavə bir oxlu təzyiç şəraitində tədqiq edilmiş [25] diorit nümunəsinin möhkəmliyi yüklənmə sürətinin 10 dəfə azalması nəticəsində 35 % kiçilmişdir. Analoji nəticə plagioqranit-porfir nümunəsi üçündə müşahidə olunmuşdur (şəkil 7-9).

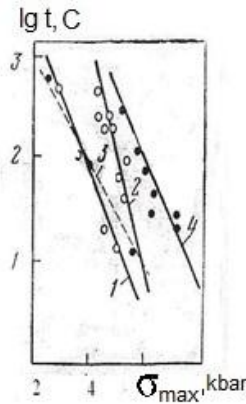


**Şəkil 7.** Ağ mərmər üçün deformasiyanın ( $\epsilon$ ) müxtəlif sürəti və hidrostatik təzyiçin ( $p$ ) müxtəlif qiyməti halında sürüşməyə görə möhkəmliyin maksimal  $\tau = (\sigma_1 - \sigma_2)/2$  qiymətləri [23].



**Şəkil 8.** Qranit nümunələri üçün müxtəlif hərtərəfli təzyiç şəraitində parçalanmadan öncə keçən vaxtın ( $t$ ) maksimal differensial yükün ( $\sigma_{\max}$ ) qiymətindən asılılığı

1-0,001kbar; 2 - 0,5; 3-1; 4- 1,5; 5- 3,5.



**Şəkil 9.** Müxtəlif növ süxurlar üçün parçalanmadan öncə keçən vaxtın maksimal differensial yükün qiymətindən asılılığı ( $p=1,5$  kbar)

1-qranodiorit; 2-qranit; 3- qabbro; 4-plaquoqranit.

Qranit nümunələri üçün 350 MPa təzyiq diapazonunda möhkəmliyin yüklənmə sürətindən asılılıqları alınmışdır. Nəticələr şəkil 8-də verilmişdir.

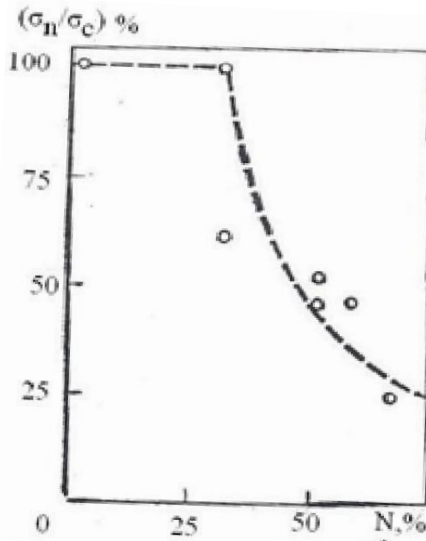
### **1.2.3. Maye fazası**

Maye fazasının süxurda mövcudluğunu onun mürəkkəb gərginlik şəraitində möhkəmliyinə təsirini öyrənmək üçün məsamə təzyiqinin mexaniki təsirindən savayı bu hadisənin fiziki-kimyəvi aspektləri də nəzərə alınmalıdır. Təbii yatım şəraitində süxurlar qismən və ya tam fluidlə doydurulmuş şəraitdə ola bilərlər. Birinci halda onların möhkəmliyini adsorbsiya effekti müəyyən edir.

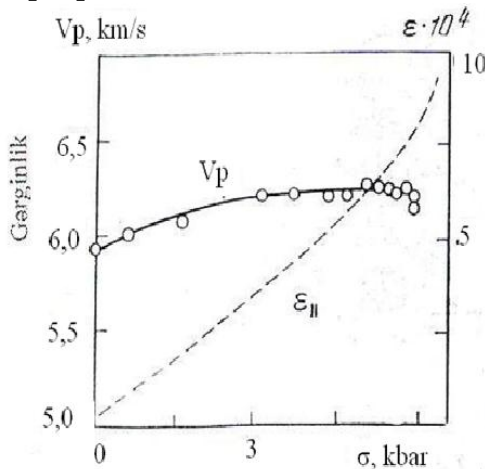
Süxur nümunəsi (əsasən çökmə süxur) tam doydurulmuş olduqda onun möhkəmliyi effektiv təzyiqlə müəyyən edilir. Effektiv təzyiq dedikdə məsamə və litostatik təzyiq arasında fərq nəzərdə tutulur. Bu zaman eksperimentlər iki metodika ilə həyata keçirilir: süxurun tərkibində (məsamələrdə) mayenin məlum miqdarında məsamə təzyiqinin sərbəst dəyişməsi şəraitində; nəzarət olunan məsamə təzyiqi şəraitində.

Çoxsaylı eksperimentlər nəticəsində müəyyən olunub ki, [25] məsamə həcmi 30% qədər maye fazası ilə dolmuş olduqda süxurun möhkəmlik xarakteristikasına praktiki olaraq təsir etmir, 30%-dən yüksək olduqda onun təsiri özünü birüzə verir.

Məsaməli bazalt nümunələri üçün möhkəmliyin nisbi azalmasının tam məsamə həcmnin doldurulma dərəcəsiindən asılılığı şəkil 10-da verilmişdir.

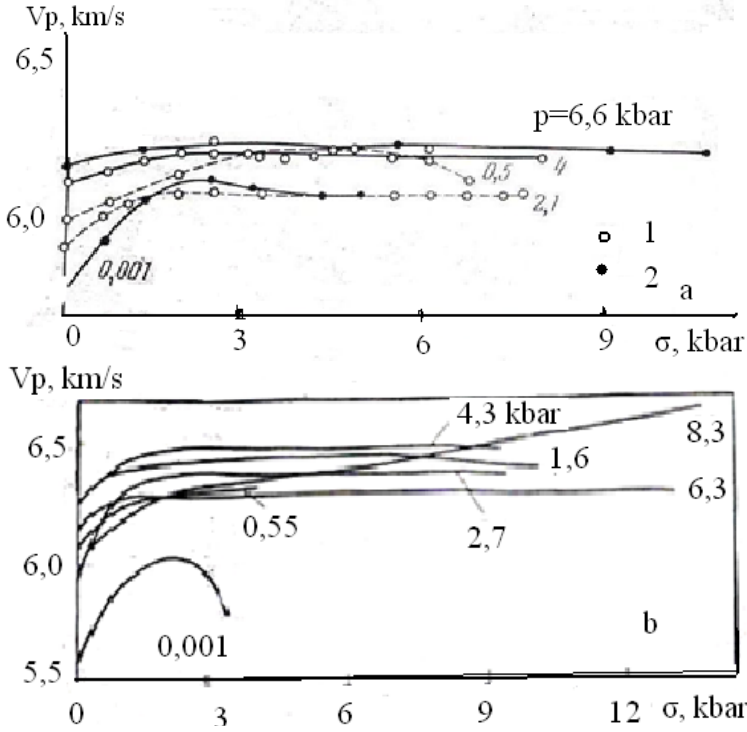


**Şəkil 10.** Məsəmli bazalt üçün ümumi məsəmə həcmnin su ilə doyma dərəcəsiindən (%) asılı sıxılmaya qarşı möhkəmliyinin nisbi dəyişməsi ( $\sigma_n/\sigma_c$ )  $p=5$  kbar [42]



**Şəkil 11.** Kiçik dənəli bazalt nümunəsi üçün uzununa dalğaların  $V_p$  sürətinin və uzununa deformasiyanın  $\epsilon_{II}$  differensial gərginlikdən

asilılığı ( $p=0,5$  kbar)[25]



**Şəkil 12.** Bazalt (a) və qranit (b) üçün  $V_p = f(\sigma)$  qrafikləri

1 və 2 - müxtəlif təzyiqlə uyğundurlar[25].

Məsamə həcmində suyun müxtəlif miqdarı (deformasiyanın müxtəlif sürətində) şəraitində möhkəmliyin dəyişməsi cədvəl 2-də verilmişdir. Burada bir sıra eksperimentlər nəzarət olunan məsamə təzyiqləri şəraitində yerinə yetirilmişdir. Göründüyü kimi məsamə təzyiqinin yüksəlməsi süxurun möhkəmliyinin

azalmasına və onun kövrəkliyinin yüksəlməsinə səbəb olur.

## Cədvəl 2

Müxtəlif təzyiq və yüklənmə sürəti şəraitində nəmli  
süxurların möhkəmliyi

Süxur	$P_{\text{ümü.}}$ , %	$\rho$ , kbar	Nümunələrin möhkəmliyi, kbar	Suyun tərkibi, %	$\sigma$ , kbar/s
Diorit 2551	0,71	0,001 1,35	1,67/0,83 4,57/5,53	0,52 0,14	0,05 0,1
Plaqiorqnit- porfir	1,46	0,001 1,3	2,58/2,87 6,27/6,52	0,63 0,9	0,1
Bazalt, məsaməli	7,5	0,001	1,7/1,36	3,77	0,1
Qranit	1,7	5,0 1,5	5,52/5,81 4,49/8,6	0,14 0,14	0,05 0,07

### 1.3. Deformasiya proseslərinin süxurların fiziki xassələrinə təsiri

Zəlzələnin çoxsaylı geofiziki xəbərvericilərinin mövcudluğu süxurların mürəkkəb gərginlik şəraitinin fiziki xassələrinə təsirinin tədqiqini aktual edir.

Seysmik dalğaların sürətinin və ya həcmi dalğaların sürətlərinin nisbətlərinin dəyişməsi, elektromaqnit kompleksi və s. geofiziki xəbərvericilərin əsas komponentləridir. Seysmoaktiv zonalarda zəlzələlərin proqnozlaşdırılmasında aparılan çoxsaylı müşahidələrin effektivliyini artırmaq məqsədi ilə, yəni zəlzələnin yerini, vaxtını və gücünü dəqiq təyin etmək üçün müvafiq eksperimental məsələlər həll olunmalıdır. Onun mahiyyəti deformasiya proseslərinin süxurların fiziki xassələrinə



təsirinin tədqiqindən qaynaqlanır.

### **1.3.1. $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ halı üçün elastik dalğaların sürəti [25]**

Yuxarıda qeyd olunduğu kimi seysmik dalğaların sürətinin ( $V_p$ ,  $V_s$ ) zəlzələ proqnozunda xəbərverici kimi effektivliyini yüksəltmək məqsədi ilə müxtəlif növ süxurların mürəkkəb gərginlik şəraitində həssaslığını və nəticədə elastik dalğaların sürətinin dəyişmə qanunauyğunluğunun və onların deformasiya prosesləri ilə əlaqəsinin eksperimental tədqiqi böyük maraq kəsb edir.

İlk belə eksperimental tədqiqatlar keçən əsrin 60-cı illərinə təsadüf edir və Yapon alimləri tərəfindən həyata keçirilmişdir [26, 27]. Müəyyən olunub ki, bir oxlu təzyiğin təsiri nəticəsində (500 MPa) qranitdə sonuncu artdıqca  $V_p$ -nin dəyişməsi azalır.

Hazırda differensial təzyiğin elastik dalğaların sürətinə təsirinə aid kifayət qədər eksperimental materiallar toplanmışdır [28, 29]. Bazaltlar, diabazlar, qranitlər, siyenitlər və s. tədqiq olunmuşdur. Uzununa dalğaların differensial təzyiqdən asılılıq qrafikləri şəkil 11-də verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi hərtərəfli təzyiğin  $p=500\text{Mpa}$  qiymətində differensial gərginlik ( $\sigma$ ) artdıqda  $V_p$  öncə yüksəlir, sonra sabit qalır və qeyri-xətli deformasiya oblastında bir qədər kiçilir. Qeyd etmək lazımdır ki,  $V_p$ -nin parçalanmadan öncə dəyişməsi müxtəlif səbəblərdən baş verə bilər. Bunlar - süxurun bircinsliliyi, dənələrin orta ölçüləri və parçalanmadan öncə süxurun məruz qaldığı deformasiya növüdür.

Şəkil 12-də müxtəlif təzyiq şəraitində deformasiyaya

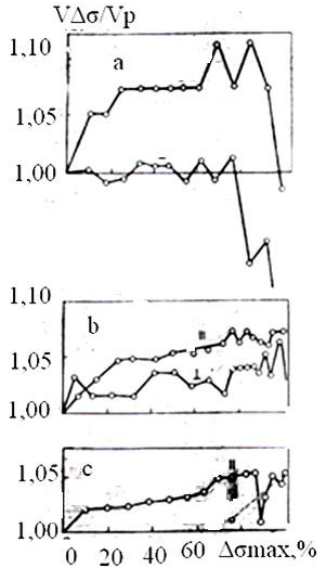
uğramış müxtəlif növ süxur nümunələri üçün alınmış konkret məlumatlar verilmişdir.

Şəkil 12(a)-da müxtəlif təzyiq şəraitində bir oxlu sıxılmaya məruz qalmış bir sıra bazalt nümunələri üçün  $V_p = f(I)$  asılılıqları verilmişdir. Göründüyü kimi parçalanmadan öncə sürətin daha intensiv dəyişməsi kiçik hidrostatik təzyiqə təsadüf edir. Hərtərəfli təzyiqin 200 MPa-dan yüksək olduğu halda differensial təzyiqin artması nəticəsində sürətin dəyişməsi cüzidir [30].

Şəkil 12(b)-də orta dənəli qranit nümunəsi üçün  $V_p = f(I)$  qrafikləri verilmişdir. Göründüyü kimi  $V_p$ -nin parçalanmadan öncə azalması yalnız atmosfer təzyiqi halında müşahidə olunur. Hərtərəfli təzyiq artdıqda parçalanmadan öncə sürət praktiki olaraq dəyişmir.

Yuxarıda qeyd edildiyi kimi süxurların deformasiyası zamanı müxtəlif növ parçalanmaya hazırlıq dövründə  $V_p$ -nin dəyişməsinin əzərə almaq lazımdır.

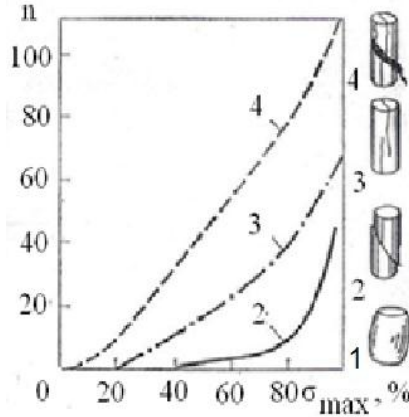
Şəkil 13(a)-da iri dənəli süxurun kövrək parçalanması zamanı maksimal gərginlik oxuna paralel və perpendikulyar istiqamətlərdə  $V_p$ -nin dəyişməsinin tipik nümunəsi verilmişdir. Burada sürətin nisbi dəyişməsinin  $V_I/V_p$  parçalayıcı gərginliyin faizindən asılılığı kimi verilmişdir. Sürətin nisbi dəyişməsi dedikdə verilmiş differensial təzyiqdə ölçülmüş sürətin  $V_{\Delta\sigma p}$ -təzyiqinə uyğun sürətə ( $V_p$ ) nisbəti nəzərdə tutulur.  $p$ -nin nisbətən kiçik qiymətində  $V_p$ -nin dəyişməsinin nisbi qiyməti və parçalanmadan öncə müşahidə olunan sıçrayışlı dəyişmənin qiyməti daha yüksəkdir.



**Şəkil 13.** Siyenitin deformasiyası zamanı  $V_p$ -nin nisbi dəyişməsinin parçalayıcı təzyiqdən (%) asılılığı. II- gərginliyin ( $\sigma$ ) tətbiq olunduğu istiqamətə paralel  $V_p$ -nin dəyişməsi;  $\perp$  - perpendikulyar; hərtərəfli təzyiq a - 0,65 kbar; b - 4,4; c- 8,2.

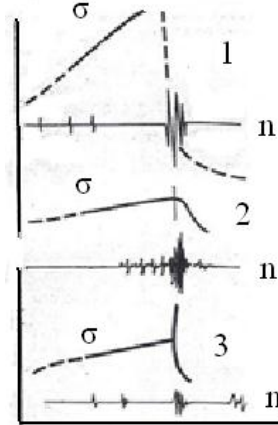
### 1.3.2. Seysmoakustika

Yuxarıda təhlil olunan eksperimental materiallardan müəyyən olunub ki, süxur nümunəsində parçalanmadan öncə kəskin sürətdə çatların toplanması müşahidə olunur ki, onlar da öz növbəsində akustik və elektrik impulslarının qeydi ilə nəticələnir. Qeyd olunduğu kimi süxurlar testlənmə zamanı müxtəlif növ parçalanmaya uğrayırlar. Müəyyən olunub ki, seysmoakustik impulsların toplanma xarakterinə görə eksperimentlərdə gələcək parçalanmanın növünü proqnoz etmək mümkündür.



**Şəkil 14.** Hər-hansı növ parçalanmanın hazırlığı dövrü akustik impulsların sayının artmasının xarakter əyriyələri

1- plastik axma, seysmik səs müşahidə olunmur; 2-qopuq, impulsların sayının tədricən çoxalması və onların parçalanmadan öncə kəskin artması; 3- ayrılma; 4- qopuq parçalanma zonası ilə, impulslar çoxdur və onların artması xəttidir.



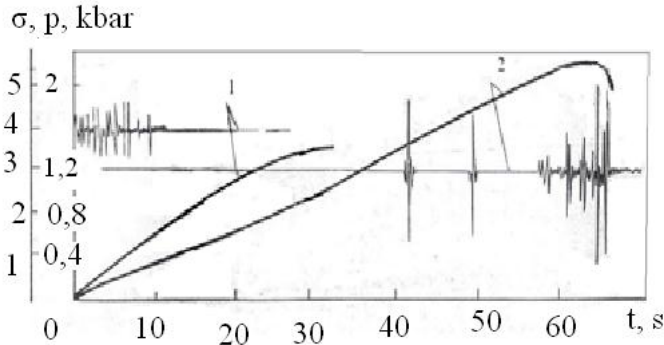
**Şəkil 15.**Müxtəlif növ parçalanma üçün seysmoakustik impulsların xarakteri və parçalanma anına qədər differensial gərginliyin dəyişməsi

1 - qopuq; 2 - qopuq parçalanma zonası ilə; 3- ayrılma çatı.

Şəkil 14-də sxematik formada nümunələrin parçalanma növləri verilmişdir. Orada göstərilən əyri parçalayıcı gərginliyin 0-25%, 25-50% və s. intervalları üçün impulsların sayı əsasında qurulmuşdur. Göründüyü kimi dördüncü növ parçalanmanın hazırlıq dövrünə akustik impulsların sayının kəskin artması uyğundur.

Qeyd etmək lazımdır ki, akustik impulsların sayının zamandan asılı paylanması süxurların parçalanma prosesini daha aydın əks etdirir.

Şəkil 15-də üç növ parçalanmaya uyğun gələn impulsların nümunələri göstərilmişdir. Qopuq növ parçalanmadan öncə (şəkil 15.1, plagioqranit) impulsların aktivliyinin yavaşması müşahidə olunur. Magistral yarığın yaranması gərginliyin azalması və elastik impulsların mövcudluğu ilə müşayət olunur. Parçalanma zonasının yaranması ilə müşahidə olunan dağılma halında (şəkil 15,2) impulsların zamandan asılı paylanması bir qədər fərqlidir. Burada tədricən amplitudları artan impulsların sayının çoxalması müşahidə olunur.



**Şəkil 16.** Məsaməli bazaltda akustik impulsların xarakteri

1 - təzyiğin (p) artması zamanı; 2 -  $\sigma$  artması zamanı ( $p=2\text{kbar}$ ).

Ayrılma növ parçalanma zamanı seysmoakustik impulslar differensial yükün tətbiq olunduğu zaman ərzində daimi müşahidə olunur (şəkil 15, 3).

Bir sıra işlərdə [31-34] daimi yüksələn gərginliyin təsiri nəticəsində yaranan elastik impulsların sayının süxur nümunəsinin bircinsliyindən asılı olduğu göstərilmişdir.

Bəzi eksperimentlər [35] impulsların amplitudu və çatın ölçüləri arasında əlaqəni öyrənməyə yönəlmişdir. Eyni zamanda bir oxlu sıxılma şəraitində akustik impulsların toplanması və süxur nümunələrində çatların birləşməsi və qarşılıqlı təsirinin konsentrasiya kriterisi tədqiq edilmişdir.

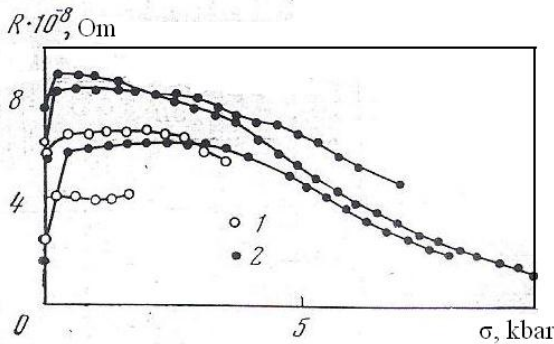
### **1.3.3. Elektrik müqaviməti**

Seysmoaktiv zonalarda zəlzələnin hazırlıq dövrü bir sıra hallarda geoloji mühitdə baş verən deformasiya proseslərinin təsiri nəticəsində elektrik müqavimətinin anomal dəyişməsi ilə müşahidə olunmuşdur. Buna görə deformasiya proseslərinin süxur nümunələrinin elektrik müqavimətinə təsirinin eksperimental tədqiqi böyük maraq kəsb edir.

Təzyiqin 5 kbar dəyişməsi və 0,5 kbar məsamə təzyiqi halı üçün kristallik süxurların elektrik müqavimətinin differensial təzyiqdən asılılığı öyrənilmişdir [36-41]. Tədqiq olunan süxur nümunələri üçün elektrik müqavimətinin dəyişməsi identik xarakterli olur. Təxminən  $0,5 \sigma_{\max}$  halında müqavimətin yüksəlməsi müşahidə olunur,  $\sigma_{\max}$ -80% yüksəldikdə müqavimət azalır (~10 dəfə). Eksperimental məlumatların analizi göstərir ki, süxurun parçalanması çatlı məsaməliyin kritik həddində baş verir və

təzyiqdən asılı deyil.

Şəkil 17-də diorit nümunəsinin deformasiyası nəticəsində elektrik müqavimətinin dəyişməsi göstərilmişdir. Atmosfer şəraitində elektrik müqavimətinin dəyişməsi azdır (zəif yüksəlmə). Differensial təzyiqin ( $p=3,15$  kbar) tətbiqi zamanı öncə müqavimətin kəskin yüksəlməsi (20-30%), sonra isə, şəkildən görüldüyü kimi,  $\sigma$ -nın dəyişməsi müqavimətə təsir etmir və  $\sigma$ -nın 50%-də müqavimətin azalması müşahidə olunur.



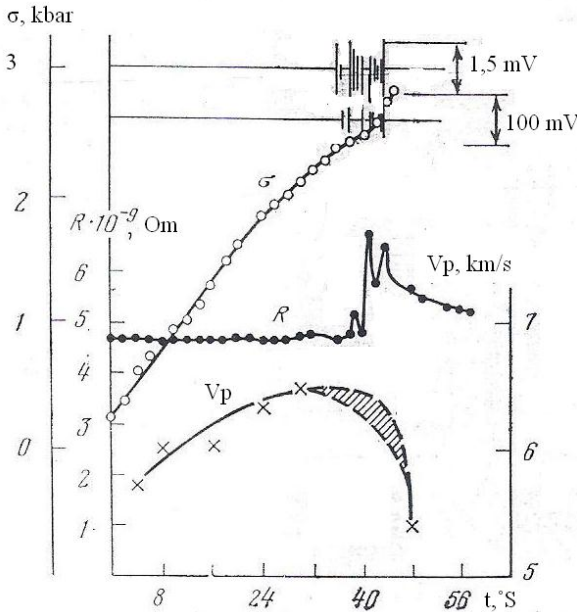
**Şəkil 17.** Diorit nümunəsinin deformasiya prosesində elektrik müqavimətinin dəyişməsi  
 $p$ , kbar: 1-1,001; 2- 3,15.

#### 1.4. Süxurların fiziki xassələrinin kompleks tədqiqi

Zəlzələnin proqnozunun hər-hansı bir fiziki parametrin dəyişməsi əsasında həyata keçirilməsini effektiv saymaq olmaz, ona görə ki, bu anomal dəyişmə müxtəlif səbəbdən baş verə bilər. Lakin bir neçə (kompleks) fiziki parametrlərin müşahidəsi proqnozun effektivliyini kəskin artırma bilər. Bu məqsədlə analoji olaraq laboratoriya şəraitində, mürəkkəb gərginlik şəraitində süxur nümunələrinin kompleks fiziki xassələrini

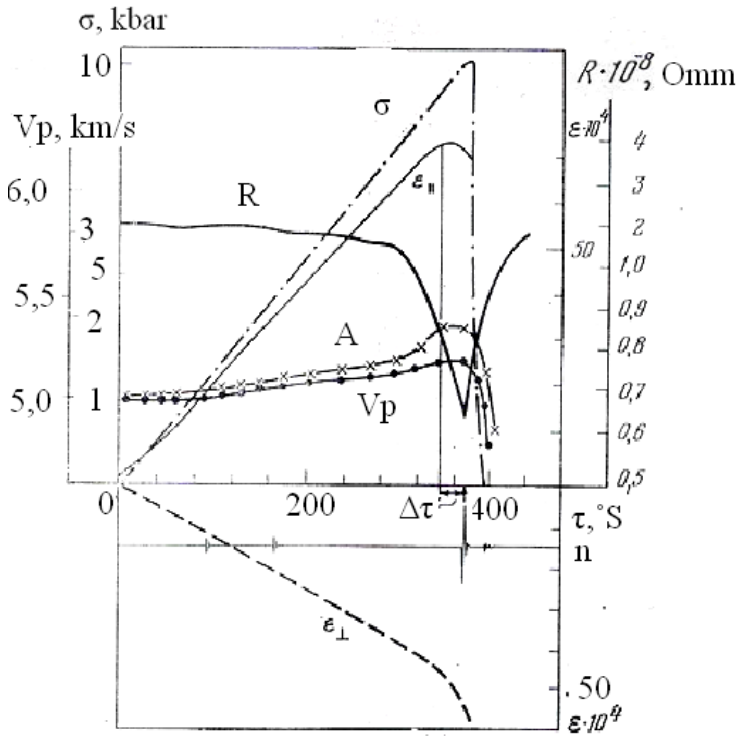
tədqiq etmək aktualdır.

Belə kompleks tədqiqatlar Volaroviç M.P. və b. tərəfindən aparılmışdır. Siyenitin timsalında differensial gərginliyin kompleks fiziki parametrlərə xarakterik təsirinə baxaq (şəkil 18). Eksperimentlər  $p=5$  kbar şəraitində aparılmışdır. Şəkil 18-də  $V_p$  əyrisinin sıçrayışvarı dəyişməsi (ştrixlənmiş hissə) eyni zamanda akustik və elektrik impulslarının yaranması ilə və elektrik müqavimətinin qeyrimüntəzəm dəyişməsi ilə müşahidə olunur. Bu anomal dəyişmələr süxur nümunəsinin parçalanmasından öncə hər-hansı zaman intervalında özünü büruzə verir. Belə xarakterik kompleks dəyişmələr parçalanma zonalı qopma növ parçalanmaya xasdır.



**Şəkil 18.** Siyenit nümunəsində  $p=5$ kbar təzyiqdə  $V_p$ ,  $R$ ,  $\sigma$ , akustik və elektrik impulslarının eyni zamanda dəyişməsi





**Şəkil 19.** Siyenit-diorit nümunəsində ( $p=1,5$  kbar) deformasiya prosesi zamanı kompleks parametrlərin ölçülməsi

Qeyd etmək lazımdır ki, nümunənin parçalanma anı yaxınlaşdıqca deformasiyanın sürətində dəyişir.

Fiziki parametrlərin anomal dəyişməsi müəyyən zaman intervalında baş verdiyinə baxmayaraq onun bu intervalının hüdudlarını müəyyən etmək hələ ki, mümkün deyil.

Kompleks fiziki parametrlərin həssaslıqlarını tədqiq etdikdə müəyyən olunmuşdur ki, bunlar süxurların elektrik müqaviməti və deformasiyasıdır. Bu parametrlərin

dəyişməsi parçalanmadan öncə müşahidə olunan çatlarda selvari yaranma mərhələsində daha intensivdir.

Təbii şəraitdə real geoloji mühit öz kimyəvi, mineraloji və mexaniki tərkibi ilə böyük rəngarəngliyi ilə regiondan regiona fərqlənir. Bunun üçün eksperimentatorların qarşısında duran əsas məsələ real geoloji mühitin xassələrini eksperimental modelləşdirmədə daha dolğun əks etdirməkdir.

# **İFƏSİL. MÜHİTİN GƏRGİNLİK VƏZİYYƏTİNİN QEYRİ-BİRCİNSLİYİ (iri miqyaslı süxur nümunələrinin eksperimental tədqiqi)**

Mühitin gərginlik vəziyyətini tədqiq etmək məqsədilə iri süxur və süni bloklar üzərində həyata keçirilmiş irimiqyaslı modelləşdirmə məlumatları araşdırılmışdır.

Eksperimentlər Rusiya Elmlər Akademiyasının Yüksək Təzyiqlərin Fizikası institutunun 50 000 tonluq presində aparılmışdır (şək.20)[44].

İri bloklar üzərində deformasiya və parçalanma proseslərinin müşahidəsinin aşağıdakı üstünlüklərini qeyd etmək olar;

-iri bloklar üzərində çox saylı ötürücü yerləşdirərək materialın differensial xassəsini qeyd etmək imkanı qazanılır ki, bu da həmin parametrlər, blokun səthi və həcmi boyu paylanması müşahidə etməyə imkan verir;

-blokun xarici sərhədlərinin təsirindən azad olaraq parçalanma prosesini müşahidə etmək mümkündür;

-miqyas faktorunun parçalanma prosesinə və xəbərvericilərə təsirini tədqiq etməyə və alınan nəticələri real geoloji şəraitə tətbiq etməyə imkanın yaradılması.

## **2.1. İri qranit və bazalt bloklarının eksperimental tədqiqi**

Tili 700 mm kub formasında olan qranit blokda deformasiya sahəsinin evolyusiyasına baxılmışdır. Blokun petroqrafik təsviri onun aşağıdakı xüsusiyyətlərini qeyd

etməyə imkan verir:

1) rəng - açıq qonur; tekstura - massivdir; strukturu-bərabər orta dənəvər;

2) mineral tərkibi - kvars, çöl şpatı, biotit, aksesor minerallar (muskovit, pirit, korund).

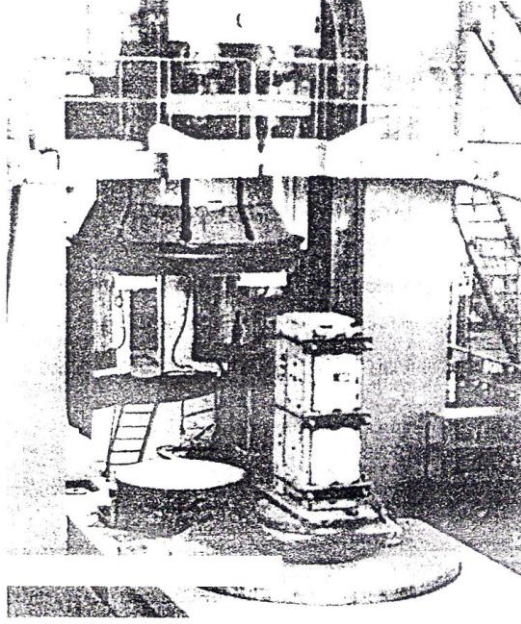
Əsasən biotit tərkibli və qalınlığı 1.0-1.5 sm olan damarlar blokun qeyri-bircinsliyini müəyyən etmişdir.

Blok şaquli oxu boyu tsiklik bir oxlu təzyiqlə məruz qalmışdır. Blokun üst və alt müstəvilərində tinlərinin parçalanmasının qarşısını almaq üçün metallik bandajlar yerləşdirilmişdir. Səkkiz sutka ərzində blok aşağıdakı gərginliklərlə 8 tsikl yüklənməyə məruz qalmışdır:  $\delta=15;22;23;32.5;45;75;86;139$  MPa. Son beş tsiklin nəticələri daha böyük maraq kəsb edir. Bu zaman blokda çatəmələgəlmə prosesi başlamışdır. Şəkil 21-də bu tsikllər ərzində yüklənmənin dəyişmə qrafiki göstərilmişdir. Yüklənmə zamanı blokun tərəflərinin vizual monitorinqi aparılmışdır.

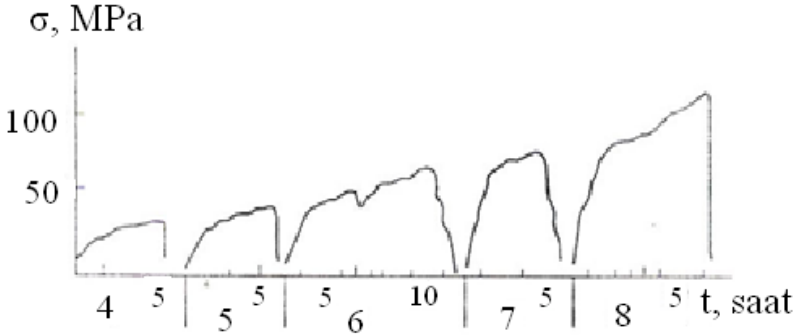
Gözə görünən çatlar yalnız səkkizinci tsikldə müşahidə olunmuşdur. Blokun iki yan tərəflərində bazası 50 mm olan tenzoqeydedici şəbəkəsi yerləşdirilmişdir. Hər müşahidə nöqtəsində üç termoqeydedici- şaquli gərginlik oxuna paralel, perpendikulyar və  $45^0$  bucaq altında yerləşdirilmişdir. Hər yüklənmə tsiklində yuxarıda qeyd olunan istiqamətlərdə yerləşdirilən qeydedicilərdən 10 ölçü götürülmüşdür. Bu deformasiya sahəsinin evolyusiyasını izləməyə imkan yaratmışdır.

Yüklənmədə paralel ( $\varepsilon_n$ ) komponentlərin cəmlənməsi göstərdi ki, deformasiya qrafiki yüklənmə qrafikinə uyğundur. Başqa sözlə, qranit bloku yüklənmənin bütün

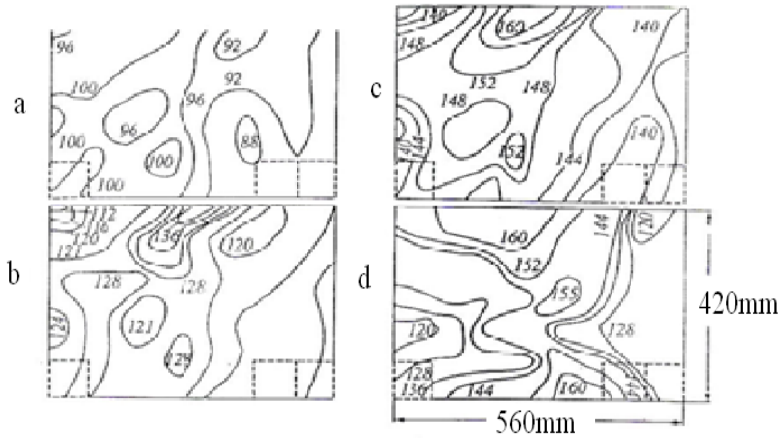
tsikllərində əsasən, elastiki deformasiya mərhələsində olur. Lakin onun ayrı-ayrı elementlərinin deformasiyası qiymətinə görə fərqlənirlər.



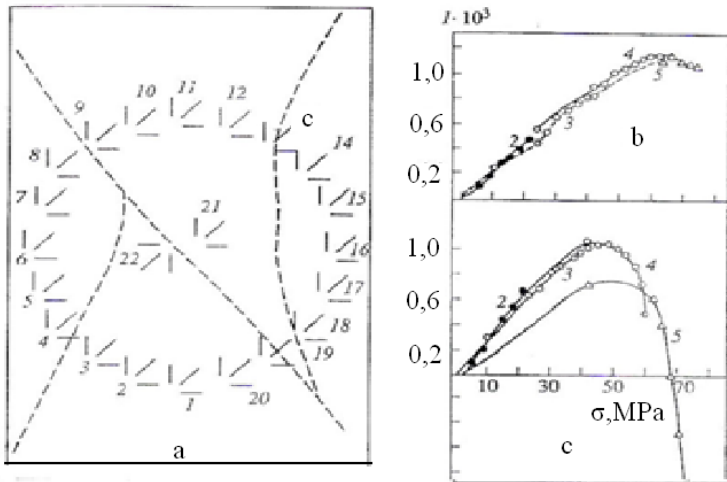
**Şəkil 20.** 50 000 tonluq presin və süxur blokunun ümumi görünüşü



**Şəkil21.** Qranit blokunun son 5 tsikl yüklənməsinin qrafiki



**Şəkil 22.** Yüklənmə zamanı granit blokunun II-ci tərəfinin müstəvi deformasiyasının  $\bar{I} = \varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}$  birinci invariantının tenzorunun sahəsi: 34 Mpa (c) yüklənmənin birinci mərhələsində və 13 Mpa (d) yüklənmənin ikinci mərhələsində.



**Şəkil 23.** Bazalt blokunun tərəfinin lokal deformasiyasını izləmək üçün tenzoqeydedicilər sistemi

Müstəvi deformasiya tenzorunun birinci invariantı  $I = \varepsilon_n + \varepsilon_1$  skalyar kəmiyyət olaraq blokun deformasiyaya məruz qalmış elementlərini müqayisə etməyə imkan verir.

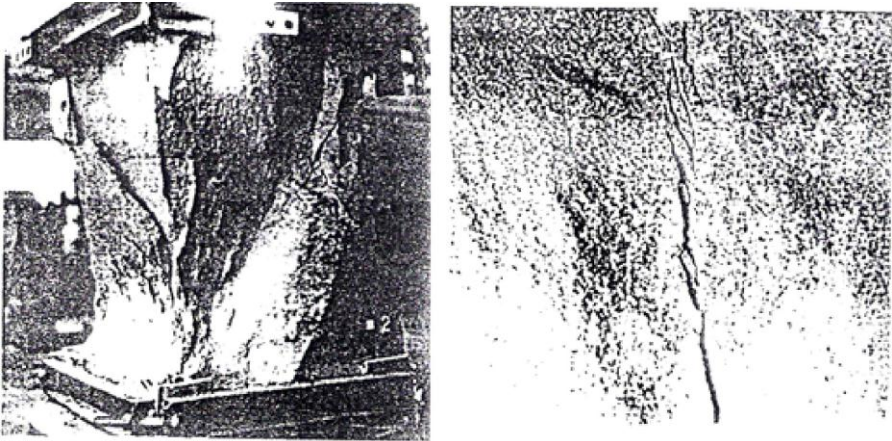
Şək.22-də blokun bir müstəvisində  $I$ -nin dəyişmə xəritəsi verilmişdir. Bu xəritə səkkizinci tsikldə gərginliyin  $\delta = 85$  MPa və 134 MPa qiymətləri üçün göstərilmişdir.

$I$  xəritələrinin təhlili göstərilmişdir ki, deformasiyanın erkən mərhələlərində blokda müxtəlif dərəcədə deformasiyaya uğramış sahələr mövcuddur. Bu sahələr gərginlik artırıldıqca öz yerlərini dəyişməyə başlayırlar. Qeyd etmək lazımdır ki, belə sahələrin ölçüləri onlarca sm-lərə bərabərdir ki, bu da qranit zərrəciklərin ölçülərindən qat-qat böyükdür. Belə güman etmək olar ki,  $I$  xəritəsi yüklənmə zamanı aşkarlanan blokun müxtəlif sərtlikli elementlərinin strukturunu əks edir. Makroçatın hazırlanması zamanı lokal deformasiyaların dinamikası ölçüləri 915x580x575 mm olan düzbucaqlı paralelliped formalı bazalt blokunda müşahidə olunmuşdur. Petroqrafik analiz nəticəsində onun tərkibi 60% - plagioklazdan, 20% - olivindən, 10% - monoklin piroksendən və 10%, avgit, diopsid, ilmenit və apatitdən ibarət olduğu müəyyənənmişdir. Blokun əsas kütləsinin məsələliyi 6%, dənələrin ölçüləri isə 1.5 mm-dən yüksək deyildi. Yüklənmə blokun uzun oxu boyu həyata keçirilmişdir. Yüklənmə hərəsi bir neçə saat uzanan beş tsikl ərzində həyata keçirilmişdir. Bu zaman gərginlik ardıcıl olaraq aşağıdakı qaydada artırıldı  $\sigma = 22; 24; 42; 63$  və 78 MPa. Şəkil 23a-da tenzoqeydedicilərin yerləşmə sxemi və son yüklənmə siklinə makroqırılmaların yaranma trayektoriyası göstərilmişdir.

Şəkil 23b və 23c-də müstəvi deformasiyasının tenzorunun birinci invariantının İdəyişmə qrafiki 6 və 18- ci müşahidə nöqtələri üçün verilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, 6-cı nöqtə blokun deformasiyaya uğramayan hissəsinə, 18-ci nöqtə isə çat üzərinə təsadüf edirlər.

Qrafiklərin absis oxunun müsbət hissəsinə təsadüf etməsi elementin sahəsinin kiçilməsini göstərir.

Şəkil 23c-dən görünür ki, yüklənmənin dördüncü tsiklindən başlayaraq 18-ci nöqtəyə aid qrafiklər dilatansiya hadisəsinin mövcud olduğunu göstərir. Bu nəticələrin şəkil 23b qrafikləri ilə müqayisəsi göstərir ki, makroqırılmadan uzaq yerləşən elementlər üçün dilatansiya özünü zəif birüzə verir. Analoji nəticələr başqa nöqtələr üçün də müşahidə olunmuşdur. Blokun tam parçalanması üst və alt konusların yaranması ilə nəticələnmişdir ki, bu da şək.24-də göstərilib. Makroqırılma mürəkkəbləşmiş sürüşmə tip çatlardan ibarət olmuşdur.



**Şəkil 24.** Eksperimentdən sonra bazalt nümunəsi və makroqırılmanın fraqmenti



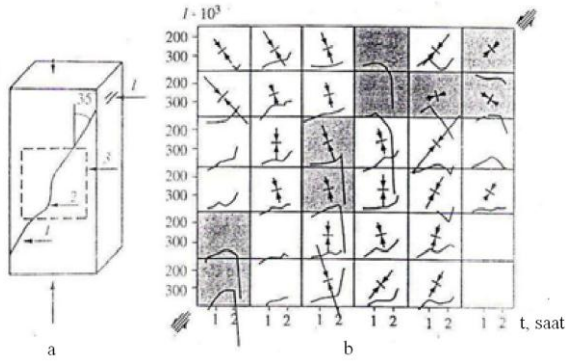
## 2.2. İri beton blokların eksperimental tədqiqi

Yüklənmə zamanı yaranan sıxılma zonalarının strukturlarını və dilatansiya effektini ilkin bircinsli mühitdə öyrənmək məqsədi ilə beton seçilmişdir[44]. Onun tərkibi 47% - qranit qırıntılarından, 20% - kvars qumundan, 25% - sement və 8% - sudan ibarət idi. Ölçüləri 2000x1000x500 mm forması isə düzbucaqlı prizmaşəklində idi. Blok hazırlanan zamanı onun daxilində iki cüt ölçüləri 470 x 330 x 8 mm olan düzbucaq şüşə lövhələr yerləşdirilmişdir. Onlar blokun uzun oxuna  $35^0$  bucaq altında yerləşdirilmişdir. Lövhələrin daxili müstəvilərinə onların sürtünmə əmsalını kiçiltmək üçün yüksək temperatura dözümlü yağ sürtülmüşdür. Bu lövhə çütlükləri gərginliyin konsentratoru rolunu oynayrdılar. Belə konstruksiya makroqırılmanın sürüşmə növ olmasını təmin edir. Qırıq xətlərlə işarələnmiş blokun yan tərəfində tenzoqeydedicilər yerləşdirilmişdir. Bazalt blokunda olduğu kimi yüklənmə bir neçə tsikllə həyata keçirilmişdir. Yükün yuxarı həddi  $\delta=8; 13;16$  və 15 MPa olmuşdur. Maksimal yüklənmə üçüncü tsiklə təsadüf etmişdir. Hər tsiklin müddəti bir neçə saata bərabər olmuşdur.

Şəkil 25-də hərəsi üç tenzoqeydedicidən ibarət 36 elementlə aparılan ölçmələrin nəticələri təqdim olunmuşdur. Ordinatda müstəvi deformasiyasının tenzorunun birinci invariantının qiyməti yerləşdirilmişdir, absis oxunda isə sonuncu dördüncü tsiklin zamanı qeyd olunmuşdur. Eksperiment zamanı nisbi deformasiyanın sürəti  $10^{-8}$  1/s uyğun idi.

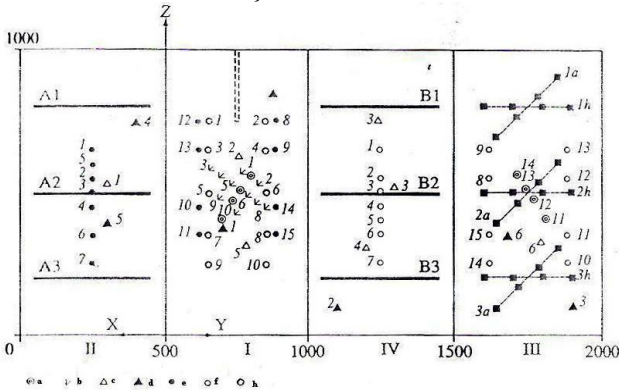
Şəkil 25b-dən görünür ki, makroyarığın trassının üzərində yerləşən elementlərdə xəbərverici effekti (dilatansiya) hamısında müşahidə olunmayıb. Şəkildə belə sahələr tünd rənglə işarələnib. İstiqamətlənməsi və qiyməti

şəkil 25b-də oxlarla göstərilən maksimal sıxılma deformasiya sahəsinin şəbəkəvari olduğu aşkarlanmışdır.



**Şəkil 25.** Konsentratorlu beton modelinin sxemi (a) və makroqırılma yaranmamışdan öncə müstəvi tenzorunun birinci invariantının hesablanması nəticələri

1- gərginlik konsentratorları; 2- makroqırılmanın trası; 3- tenzodatiklərlə təchiz olunmuş tərəf.



**Şəkil 26.** Blokun tərəfləri və qeydedicilərin yerləşmə sxemi  
a - gərginlik konsentratorları; b- tenzoqeydedicilər; c və d - AE qeydediciləri; e - ultrasəs dalğaların mənbələri; f- ultrasəs dalğaların qəbulediciləri; h - səthi (1-10) və daxili (11-14) ölçülü elektrodlar; A (1,2,3), B (1, 2, 3) - cərəyan elektrodları; 1h -3a, 3h - fərz olunan xüsusi müqaviməti ölçən simmetrik dördelektrodlu mikroqurğu.

### **2.3. İri su ilə doymuş mərmər və əhəngdaşının eksperimental tədqiqi**

Məlumdur ki, real geoloji şəraitdə süxurların tərkibində su mövcuddur. Süxurda mövcud olan suyun gərginlik və deformasiya sahəsinə təsirini öyrənmək məqsədilə iri sulu süxur blokları tədqiq olunmuşdur[44].

Bir oxlu sıxılmaya bir-birindən dənələrinin ölçüləri ilə, möhkəmlik və keçiricilik qabiliyyətinə görə fərqlənən mərmər və əhəngdaşı blokları tədqiq olunmuşdur.

Mərmər blokunun mineral tərkibi və xassələri: kalsit - 85-90%, piroksen və diopsid - 5-10%, epidot - 5%, Yunq modulu - 25 GPa, sıxlığı -  $2.69 \text{ q/sm}^3$ , uzununa dalğanın orta sürəti -  $V_p=5.3 \text{ km/s}$ ,  $V_s=3,1 \text{ km/s}$ , məsaməlik - 0.2%, keçiricilik - 0,4 mkdarsi olmuşdur.

Əhəngdaşının mineral tərkibi və xassələri: kalsit - 50%, dolomit - 30%, gilli əlavələr - 20% qədər, Yunq modulu - 8.3 GPa, sıxlığı -  $2.3 \text{ q/sm}^3$ ,  $V_p=3.8 \text{ km/s}$ ,  $V_s=2.5 \text{ km/s}$ , məsaməlik - 6-7%, keçiricilik - 140 mkdarsi olmuşdur.

Yuxarıda adı çəkilən süxurlardan ölçüləri  $1000 \times 500 \times 500 \text{ mm}$  olan düzbucaqlı prizma şəklində bloklar kəsilmişdir. Blokların mərkəzi hissəsində  $d=13 \text{ mm}$  olan profil boyu onun uzun oxuna  $30^\circ$  bucağı altında bir sıra dəlik açılmışdır ki, bunlardan gərginliyin konsentratoru rolunu oynayaraq yüklənmə zamanı sürüşmə tip makroyarılmaya keçən daxili parçalanma oblastının yaradılmasına imkan verməli idi.

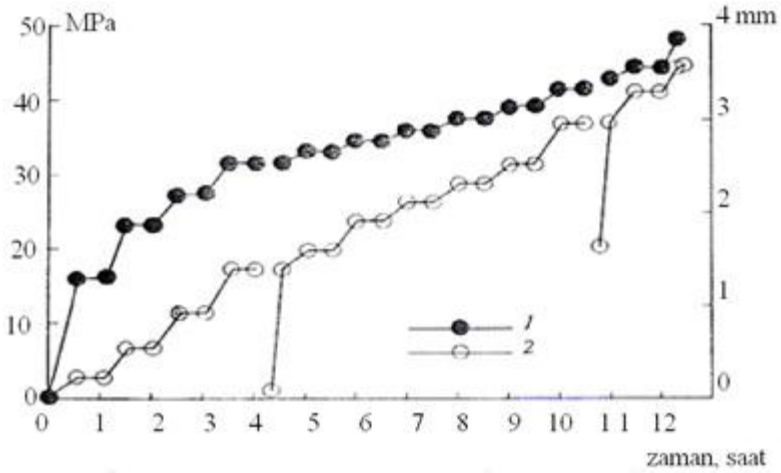
Şəkil 26-da qeydedicilərin yerləşmə sxemi göstərilmişdir. Blokun üst hissəsinin mərkəzində  $250 \text{ mm}$  dərinlikli və  $d=13 \text{ mm}$  olan süxurun daxilinə su ötürmək

üçün quyu qazılmışdır. Quyuda suyun təzyiqi 0.5bar idi və eksperiment zamanı sabit saxlanılmışdır.

Böyük mərmər blokuna eksperiment zamanı su yüklənmənin birinci tsiklindən üç gün öncə verilmişdir. Üst və alt trasslarda ultrasəs dalğalarının sürətini və sönməsinə ölçüb və müqayisə edərək belə qənaətə gəlinmişdi ki, birinci tsikl öncəsi artıq su blokun orta hissəsinə nüfuz etmişdir, belə ki, filtrasiya sürəti  $\sim 10$  sm/sutka təşkil edirdi.

Qumdaşı bloku üzərində aparılan analoji əməliyyatlar nəticəsində məlum olmuşdur ki, su bloku tam hündürlük boyunu əhatə etmişdir. Lakin elektrik müqavimətinin ölçülməsi göstərdi ki, su blokun hündürlüyü boyu qeyri-bərabər paylanıb. Belə ki, onun üst hissəsində elektrik müqaviməti 85 Om·m, orta hissəsində - 100 Om·m, aşağı hissəsində isə 190 Om·m təşkil edirdi. Qeyd etmək lazımdır ki, suyun bloklara yüklənmədən öncə və eksperiment zamanı daxil olmasının qeydiyyatı gözlənilməz nəticələr vermişdi. Mərmər bloku eksperimentdən öncə  $\sim 1000$  sm<sup>3</sup> su hopdurmuşdursa, qumdaşı bloku yalnız 200 sm<sup>3</sup> həcmində su hopdurmuşdur. Bu onu göstərirdi ki, qumdaşı blokunun daxilində çoxsaylı qapalı məsamələr mövcuddur. Ümumilikdə qeyd etmək olar ki, tədqiq edilən bloklar su ilə qismən doyuzdurulmuş vəziyyətdə olublar.

Mərmər blokunda hərəsi üç perioda ayrılmış 12 tsikl yüklənmə həyata keçirilmişdir. Hər period bir-birindən yükün götürülmə mərhələsi ilə seçilirdi (şəkil 27). Hər tsiklin müddəti bir saata yaxın olmuşdur. İlk üç sikl ərzində ümumi uzununa deformasiyanın dəyişməsi xətti qanuna tabe idi.



**Şəkil 27.** Mərmər blokunun yükləmə tarixi  
1 - deformasiya; 2 - yükləmə.

Şəkil 28a-da 9-cu tsikldə birinci akustik siqnalın əmələ gəlməsi zamanına qədər blokun tərəfinin toplanmış deformasiya xəritəsi verilmişdir.

Şəkildən görmək olar ki, dəlik-konsentrator sahəsinin alt hissəsində sıxılma və genişlənmə deformasiya zonaları bir-birindən kəskin ayrılır.

Müəyyən olunmuşdur ki,  $I$  parametrin anomal variasiyaları 9-10-cu tsikllərdə mərkəzi makroçatın hazırlanması dövrünə təsadüf edir.

Variasiyalar əksər müşahidə nöqtələrində aşkarlanmışdır və körfəzvari formaya malik idilər. Anomaliyaların yaranma vaxtı dəlik-konsentratorlar yerləşən hissədə akustik siqnalın yaranması ilə üst-üstə düşürdü. Əksər nöqtələrdə sıxılma anomaliyası müşahidə olunurdusa, bəzi nöqtələrdə deformasiyanın işarəsi fərqli idi.

Qeyd etmək lazımdır ki, anomaliyanın formasına görə

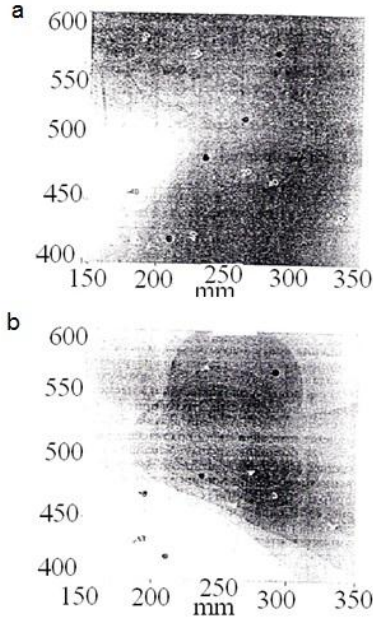
analoji effekt üçüncü tsiklin sonunda da müşahidə olunurdu.

Belə güman etmək olar ki, eksperimentin bu mərhələsində gələcək makroçatın xəbərvericiləri özünü biruzə verirdi. Lakin dördüncü tsikldən sonra həyata keçirilən yüklənmənin 18 saatlıq dayandırılması və hətta qismən azalması bu prosesin inkişafını müvəqqəti dayandırmışdır.

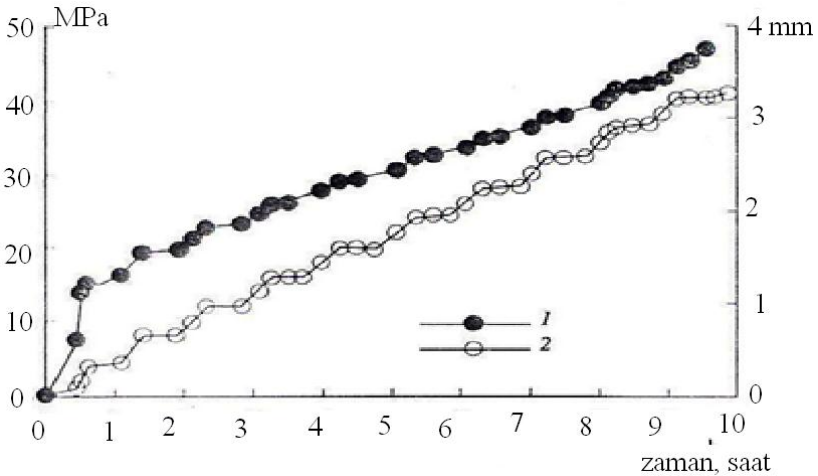
Əhəngdaşı blokunun yüklənməsi 11 tsikllə həyata keçirilmişdir(şək.29). Bu zaman 4 tsikldən başlayaraq ümumi uzununa deformasiya hətta sabit gərginlik şəraitində daimi artmışdı. Əks işarəli intensiv dəyişmələr alt müşahidə nöqtələrində (9,10) eksperimentin ilk tsikllərində müşahidə olunmuşdur. Deyilənlər I parametrlinin struktur xəritəsində (şək.30) öz əksini tapmışdır.

Şəkil 30-dan görünür ki, mərmər blokunda müşahidə olunduğu kimi nisbi sıxılma və genişlənmə sahələrinin sərhəddi dəlik-konsentratörlər xəttinə uyğun gəlir.

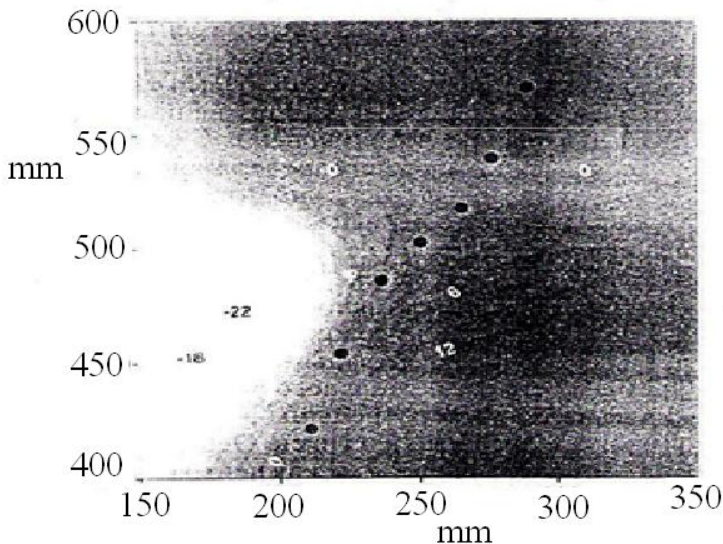
Nəzərə alaraq ki, tətqiq olunan iki süxur blokları bir-birindən strukturları, mexaniki və filtrasiya xassələri ilə kəskin fərqlənirdilər. Onların parçalanmasının xəbərvericilərini dilatant-diffuzlu və selli qeyri-dayanıqlı çatəmələgəlmə modelləri ilə müqayisə edərək bəzi mülahizələr yeritmək mümkündür. Labobator eksperimentlərdən məlumdur ki, gələcək makroparçalanma sahəsində inkişaf edən dilatansiya və çatəmələgəlmə dinamik makro qeyri-dayanıqlığın yaranmasının ümumi əlamətləridir. Qeyd olunan modellərdə bu hadisə mühüm rol oynayır. Lakin təsvir olunan eksperimentlərdə bu effektin mürəkkəb formasına rast gəlinir.



**Şəkil 28.** Mərmər blokunun birinci tərəfinin müstəvi deformasiyasının tenzorunun birinci invariantının sahəsi



**Şəkil 29.** Əhəngdaşının yüklənmə prosesinin tarixi  
1 - deformasiya; 2 - yükləmə.



**Şəkil 30.** Əhəngdaşı blokunun yüklənməsinin 6-cı tsikli üçün müstəvi deformasiyasının tenzorunun birinci invariantının sahəsi

Mərmər blokunun parçalanmasından öncə 9 və 10-cu tsikllər dövründə və akustik siqnallar yaranan zaman  $\dot{I}$  parametrinin anomaliyası müşahidə olunmuşdu. Bu anomaliyanın 10 müşahidə nöqtələrinin hamısında müşahidə olunması vacib amildir. Bu onun etibarlılığına dəlalət edir və sahə boyu  $\dot{I}$  parametrinin paylanmasını izləməyə imkan verir. Anomaliya zamanı deformasiyanın dəyişmə xarakteri şəkil 28b-də verilib. Bu şəkil  $\dot{I}$  dəyişməsinə (30 dəqiqəlik gərginliyin 9-cu tsikldə sabitliyi zamanı) əks etdirir. Görmək olur ki, anomaliya iki orta dəlik-konsentratör ərazisində sıxılma zonası ilə özünü birüzə verir. Bu zaman ətraf fon genişlənmə zonasına uyğun olur. Bu anomaliyanı blokun mərkəzi hissəsində



yanacaq yarılanın xəbərvericisi kimi qəbul etmək olar. Lakin bu effektin fizikası tam araşdırılmayıb. Səbəblərdən biri dilatansiyanın yayılmasına imkan verməyən baryerin iki mərkəzi konsentratorların arasında yaranmasıdır.

Lokal deformasiya sahəsinin əhəngdaşı blokunda öyrənilməsi göstərir ki, nisbi sıxılma və genişlənmə sahələri assimetrikdir və şəkl.28a-da göstəriləyənə görə analojidir. Anomal dilatansiya sahəsinə qeyd etmək mümkün olmamışdır.

Parçalanma prosesin əhəngdaşı blokunda daha mürəkkəb formada baş verməsini göstərirdi. İri blokların tədqiqatı nəticələrindən belə qənaətə gəlmək olar ki, ilkin bircinsli materiallarda qeyri-bircinsli gərginlik vəziyyəti müşahidə olunur və deformasiya artdıqca böyüyə bilər.

# III FƏSİL. ÇATƏMƏLƏGƏLMƏNİN VƏ QEYRİ- DAYANIQLI DEFORMASIYANIN LOKALLAŞMASI

## 3.1. Daxili konsentratorlu modellər

Böyük süxur bloklarında ardıcıl olaraq çoxsaylı tenzoqeydedicilərdən ölçü götürüldüyünə görə hər müşahidə nöqtəsində deformasiyanın bərpasını və miqrasiyasını uzunmüddətli izləmək mümkün olmadığından lokal deformasiyaları fasiləsiz izləmək məqsədi ilə əlavə eksperimentlər həyata keçirilmişdir [45].

Bunun üçün tərkibi sementdən və qumdan ibarət (1/3 nisbətində) ölçüləri 150x75x37.5 mm olan düzbucaqlı prizma formalı modellər hazırlanmışdır. Modelin üst və alt künçlərinə  $35^0$  bucaq altında (uzun tərəfinə)iki cüt lövhə yerləşdirilmişdir(ölçüləri 36x25x1.2 mm). İki lövhə arasında olan kontakt yağlanmışdır. Bunlar gərginliyin konsentrator rolunu oynayır. Yekunda, yüklənmə nəticəsində sürüşmə növ makroqırılma yaranır (şək.31a). Hər eksperimentdə sabit olmaq şərti ilə, lakin eksperimentdən eksperimentə fərqlənən yüklənmə sürəti ilə tədqiqatlar aparılmışdır( $10^{-6} \div 10^{-8}$  1/s).

Şəkil 31a-da göstərildiyi kimi modelin qarşı müstəvisində lokal deformasiyanı qeyd edən 4 tenzometrik qeydedici yerləşdirilmişdir. Modelin bu hissəsinin fotoşəkili periodik olaraq lazer işığında çəkilmişdi.

Bu tədqiqatın ümumiləşdirilmiş nəticələri şəkil 31b-də göstərilmişdir. Şəkilin alt hissəsində yerləşən 4 sxem vasitəsilə modelin bir tərəfinin relyefinin dəyişməsi ardıcıl olaraq göstərilmişdir.

Qrafikin modelin maksimum yüklənməsinə (F) qədər olan hissəsində konsentrasiyaların sonlarından başlayan iki intensiv deformasiyanın artma sahəsi müşahidə olunmuşdur. Onlar konsentrasiyaların gərginlik sahələrinin qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranmışlar. Müvafiq nəzəri məsələ B.V.Kostrov və b. [44] tərəfindən həll olunmuşdur.

İki oxlu gərginlik sahəsində yerləşən elastiki çatlı müstəvi üçün gərginlik sahəsini aşağıdakı düsturlar (3.1;3.2) vasitəsilə hesablamaq olar.

$$\sigma_x + \sigma_y = 4 \operatorname{Re} \phi(z) + 2p \quad (3.1)$$

$$\sigma_x - \sigma_y + 2i \cdot \tau_{xy} = -4(\phi(z) + iy\phi'(z)) - 2qe^{-2ia} \quad (3.2)$$

burada,

$$\phi(z) = \frac{iT_0}{2} \left( 1 - \frac{P(z)}{\sqrt{R(z)}} \right)$$

$$P = \frac{\sigma_1^0 + \sigma_2^0}{2}, q = \frac{\sigma_1^0 - \sigma_2^0}{2}$$

$$T_0 = q \sin 2\alpha - k(p - q \cos 2\alpha)$$

$$P(z) = z^2 - 2az + b,$$

$$R(z) = (z - a_1) \cdot (z - a_2) \cdot (z - a_3) \cdot (z - a_4),$$

$$z = x + iy$$

P - əsas sıxıcı gərginliyin yarımçəmidir, q - əsas sıxıcı gərginliklərin yarımferqidir, k - sürtünmə əmsəlidir.

Çatlar  $a_1, a_2, a_3, a_4$  kəsik boyu əsas sıxıcı gərginliyə  $\alpha$  bucağı altında yönəlmiş qəbul olunur. Çatın sərhədləri sürüşmə zamanı sabit sürtünmə əmsəli ilə Kulon-Mora qanununa uyğun hərəkət edirlər.

(3.1) və (3.2) düsturları ilə hesablanmış maksimal toxunan gərginlik sahəsinin strukturu şəkil 32-də verilib.

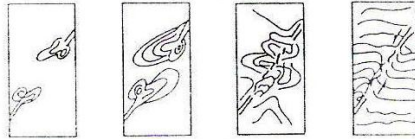
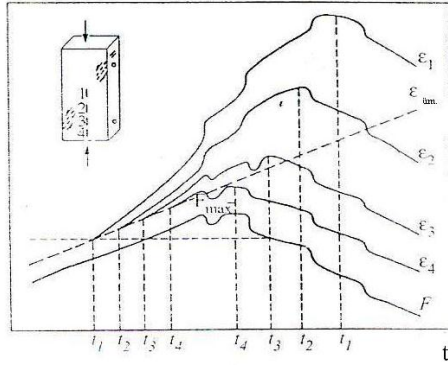
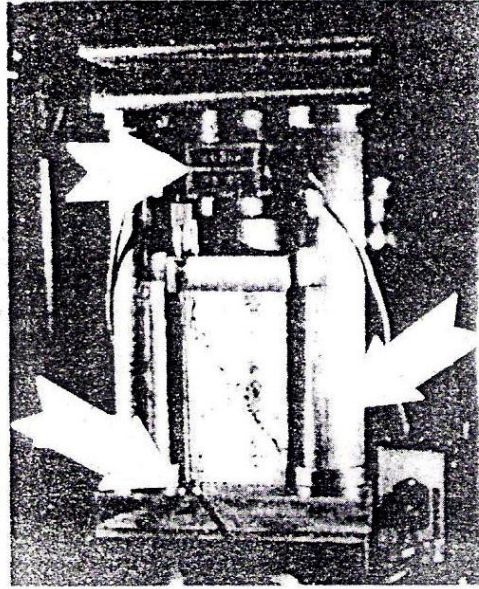
O, şəkil 31b-də verilmiş ekperimental məlumatlara uyğundur. Burada lokal gərginlik sahəsi lövhə - konsentratorların sərhədlərinin hərəkəti nəticəsində yaranmışdır. Deformasiya sahəsinin gələcək inkişafı (31b) izoxətlərin strukturunun mürəkkəbləşməsi ilə və anomal sahəsinin genişlənməsi ilə müşayiət olunan anomaliyanın intensivliyinin artması ilə bağlıdır. Strukturun mürəkkəbləşməsi nümunənin mərkəzi hissəsində formalaşan çatlar qrupu ilə əlaqədardır.

Öncə şaquli ayrılma çatları əmələ gəlir. Gərginliyin  $F_{\max}$ -da lövhələrin sonlarını birləşdirən magistral yarıq formalaşır. Lakin bu zaman yarığın sərhədlərində deformasiya sahəsini mürəkkəbləşdirən çıxıntılar əmələ gəlir. Bilavasitə parçalanma zamanı, yəni gərginliyin düşdüyü zaman, yarıq səthi hamarlaşmağa başlayır.

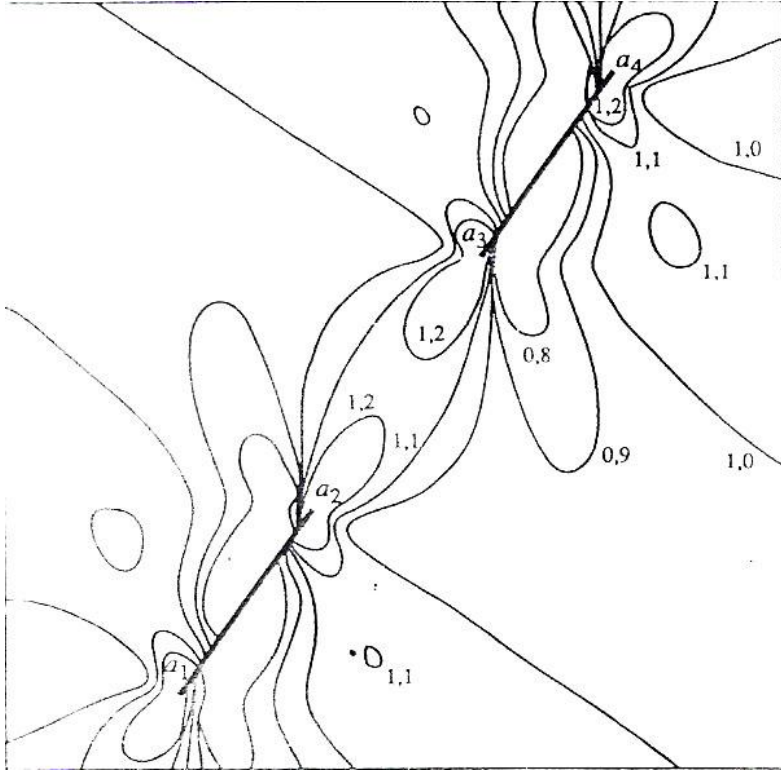
Şək.31b-nin yuxarı hissəsində zaman funksiyasında deformasiyanın şaquli komponentinin  $\varepsilon_1$ – $\varepsilon_4$  qrafikləri verilmişdir. Oradan parçalanma zamanı 1-4 qeydediciləri ardıcıl  $t_1$ - $t_4$  zaman müddətində deformasiyanın xətti qanundan sapmasını göstərmişdir.

Deformasiyanın nümunənin parçalanmaya yaxın hissəsində işarəsinin əksinə dəyişməsi, yəni sıxılmanın genişlənmə ilə əvəz olunması müşahidə olunur. Bu proses üfüqi tərəflərindən başlayaraq nümunənin mərkəzinə doğru inkişaf edir.

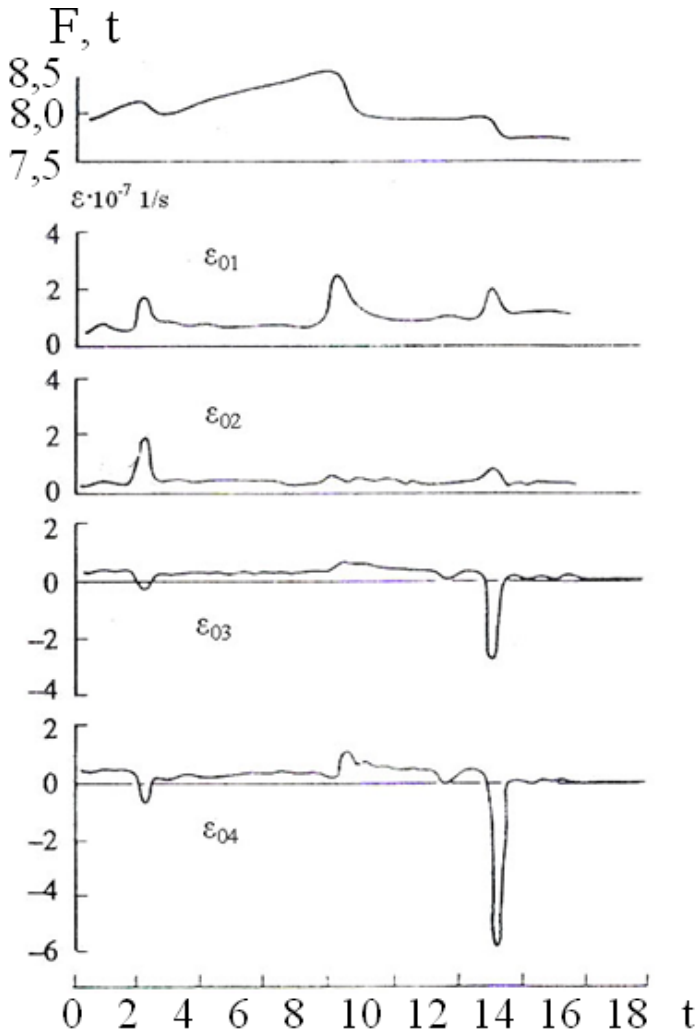
Hər hansı  $t_2$  anındakı hala baxaq. Belə qənaətə gəlmək olar ki, 1 və 2-ci qeydedicilərin yerləşdiyi modelin mərkəzi hissəsi dayanıqsız deformasiya vəziyyətindədir. Lakin modelin xarici hissəsi elastiki bərpa vəziyyətindədir. Beləliklə, modelin müxtəlif mexaniki xassəli iki hissəyə ayrılması müşahidə olunur. Bu iki hissənin sərhədi sonralar süxurun ortasına miqrasiya edir.



**Şəkil 31.** Modelin yüklənməsi (a), lokal deformasiyanın (E), qeydinin nəticələrinə və modelin əks tərəfində makroqırılmanın inkişafı 1-4 - termodatçiklərdir.



**Şəkil 32.** İki kolliniar çat arasında mövcud olan maksimum toxunan gərginliklərin sahəsinin strukturu



**Şəkil 33.** Çatlارın yaranması nəticəsində gərginliyin  $F$  düşməsinə makroqırılmanın formalaşan zonasında ( $\epsilon_{01}$ ,  $\epsilon_{02}$ ) və onun xarici hissəsində ( $\epsilon_{03}$ ,  $\epsilon_{04}$ ) lokal deformasiyanın sürətinin əks reaksiyasına misal

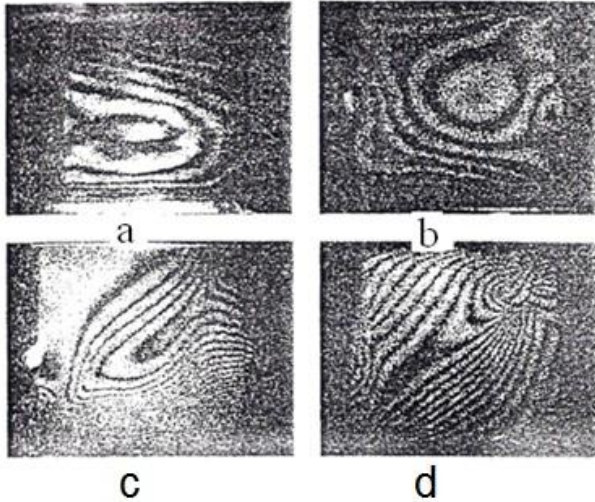
Eksperimentin bu hissəsini təfəsilatı ilə analiz edək[45]. Şək. 33-də zaman funksiyasında lokal deformasiyaların dəyişmə sürəti verilmişdir. Yükün boşalması nümunənin mərkəzi hissəsində xırda çatların yaranması ilə müşahidə olunur. Sonuncular akustik emussiya impulsları vasitəsi ilə də qeyd olunublar. Bu zaman 1,2 və 3,4 qeydedicilər qeyd etdiyi deformasiyanın sürətinin sıçrayışvari dəyişməsi oxvari xarakter daşıyaraq müsbət işarəlidir. Bu da sıxılma deformasiyasının təcilinə müvafiqdir. Eyni zamanda 3 və 4-cü qeydedicilərdə müşahidə olunan oxvari dəyişmələr əks işarəli olub genişlənmə deformasiyasının baş verdiyini təsdiqləyir. Qeyd olunanlar onu sübut edir ki, 1,2 və 3,4qeydedicilərinin ətrafında material müxtəlif xassələrə malikdir. Birincisində sürətlənən dayanıqsız deformasiya baş verir. İkinci sahə isə yükün boşalmasına, yəni materialın elastiki xassəsinin bərpasına uyğundur.

### **3.2.Yüksək plastikliyə malik süxurlar**

Makroqırılmanın yaranmasından öncə deformasiyanın tədricən lokallaşmasının mərhələləri plastikliyə malik süxur nümunəsində də tədqiq olunmuşdur. Belə süxur nümunələri kimi tərəfləri 30-32 mm arasında dəyişən kub formalı pirofillit istifadə olunmuşdur. Parçalanma ilə nəticələnən deformasiya iki və üç oxlu sıxılma vasitəsi ilə həyata keçirilmişdir. Süxurların nisbi deformasiyalarının sürəti  $10^{-6}$ - $10^{-8}$  s<sup>-1</sup>arasında dəyişirdi. Üç oxlu təsir zamanı lazer işığında fotoşəkillər yüksək təzyiqliq kamerasının kvars ilə müdafiə olunmuş xüsusi pəncərəsindən çəkilmişdir.



Şəkil 34-də iki oxlu sıxılma şəraitində pirofillit nümunəsində baş verən deformasiyanın lokallaşma prosesinin holoqramı nümayiş olunur[46]. Nümunənin yan sıxılma istiqamətinə perpendikulyar olan tərəfi tədqiq olunmuşdur. Hər holoqramda tədricən yükün artması zamanı iki ekspozisiya arasında nümunənin tərəfinin relyefinin nisbi dəyişməsi öz əksini tapmışdır.



**Şəkil 34.** Makroqırılmanın formalaşması zamanı lazer interferometriya üsulu ilə qeyd olunmuş deformasiyanın lokallaşmasının ardıcıl mərhələləri

Ümumi uzununa deformasiya iki ekspozisiya arasında  $6 \cdot 10^{-4}$ /s yaxın saxlanılırdı. Şəkil 34a-da parçalayan yükün 50%-ə bərabər qiymətində yüklənmənin başlanğıc hissəsində deformasiya sahəsi mövcuddur. Həmin yükdə (şək.34b) daha böyük deformasiyalı xaçvari zona müşahidə

olunur (şəkilin üst sağ küncündə), sonra şəkl.34c-də (parçalanma yükünün 84%-i miqdarında) deformasiyanın lokallaşması prosesini müşahidə edirik. Şəkil 34e-də verilmiş son holoqram üst sağ küncdə görünən sürüşmə çatın yaranmasından sonra alınmışdır. Təqdim olunan şəkillərə və sınaq nəticələrinə əsaslanaraq belə qənaətə gəlmək olar ki, deformasiyanın lokallaşması effektini makroqırılmanın yaranmasının xəbərvericisi kimi istifadə etmək olar.

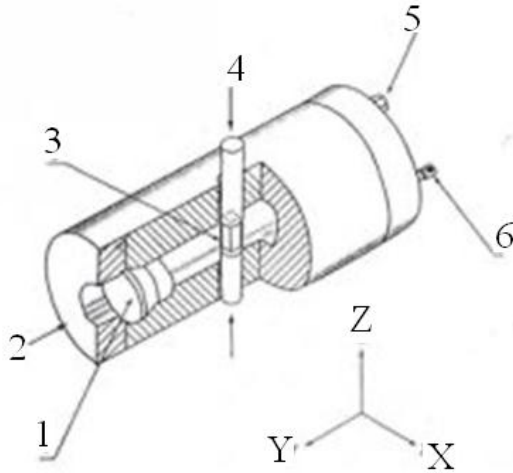
Yüksək plastikliyə malik süxurun yüksək təzyiqlə altında qeyri-bircins sıxılma şəraitində tədqiqi unikal nəticələr vermişdir [46]. Şəkil 35-də yüksək təzyiqlə kameranın quruluşu verilmişdir. Bu qurğu əlavə sıxılma ilə 100 MPa hərtərəfli təzyiqlə yaratmağa qadirdir. Qurğunun önəmli xüsusiyyətlərindən biri 50 mm ölçüsündə olan yüksək dayanıqlığa malik optik pəncərənin mövcudluğudur. Bu optik pəncərə eksperiment zamanı sınaqda olan süxurun bir yan tərəfinin lazer interferometriyasını həyata keçirməyə imkan verir.

Pirofillit nümunəsində üçoxlu sıxılma nəticəsində yarığın yaranmasından öncə müşahidə olunan səthin relyefinin dəyişməsi misalına baxaq. Bu nümunə yüksək təzyiqlə kamerasında  $\delta_3=15\text{MPa}$ ,  $\delta_2=30\text{MPa}$  və tədricən yüksələn (64 MPa-dək) differensial təzyiqlə ( $\delta_1-\delta_3$ ) şəraitində tədqiq olunmuşdur. Nümunə sürüşmə xarakterli çat vasitəsilə parçalanmışdır.

Şəkil 36a-da profilin nisbi dəyişməsi, şəkil 36d-də eksperimentin sonuncu mərhələsində modelin tərəfinin relyefi verilmişdir. Şəkil 36b profilin kumulyativ dəyişməsi haqqında təsəvvür yaradır. Şəkil 36c-də profildə seçilmiş  $P_1, P_2, P_3$  nöqtələrinin  $P_0$  nöqtəsinə nəzərən hündürlüyünün

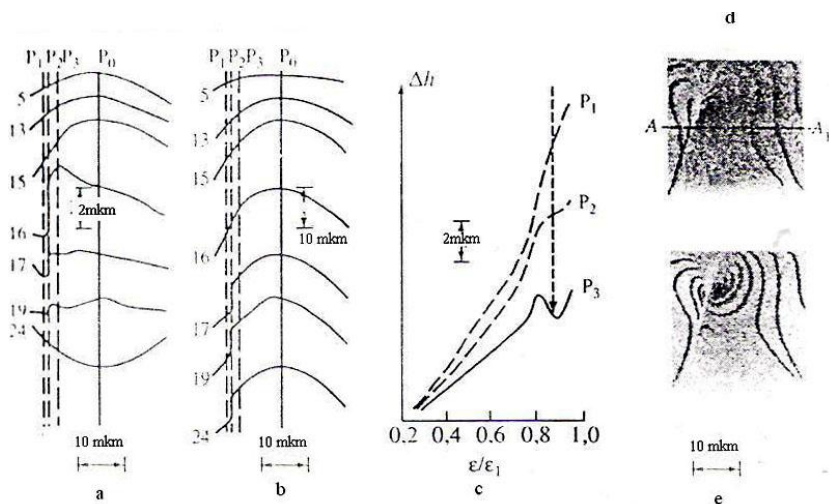
dəyişməsi göstərilib.  $P_0$  nöqtəsi  $AA_1$  profilinin ortasında yerləşdirilmişdir. Qırıq şaquli xətt (şək.36) çatın sonunun profilin trassı ilə kəsişmə momentini göstərir.

Şəkil 36-da təqdim olunan qrafiklərdən belə nəticəyə gəlmək olar ki, çat əmələ gəlməmişdən öncə onun yolunda xəbərverici rolunu oynayan deformasiya sahəsinin dəyişməsi effekti baş vermişdi. Qeyd etmək lazımdır ki, müşahidə nöqtəsinin yerləşməsindən asılı olaraq xəbərvericinin forması müxtəlifdir:  $P_1$  nöqtəsində o deformasiyanın təcili kimi,  $P_3$  nöqtəsində körfəzvari formada özünü biruzə verir.  $P_2$  nöqtəsinin qrafiki isə orta vəziyyət tutur.



**Şəkil 35.** Lazer interferometriyasını keçirməyə imkan verən optik pəncərəli və əlavə sıxıcılı yüksək təzyiqli kameranın sxemi

1 - optik pəncərə; 2 - qoloqraflanmanın istiqaməti; 3 - nümunə; 4 - əlavə sıxıcı; 5 - yüksək hidrostatik yaratmaq üçün giriş; 6 - ölçücü cihazlara çıxış [46].



**Şəkil 36.** AA<sub>1</sub> (a,b,c) profili üzrə pirofillit nümunəsinin tərəfinin relyefinin dəyişməsi və lazer interferometriya məlumatlarına əsasən tərəfin relyefinin rekonstruksiyası (d)

a - differensial və b - kumulyativ dəyişiklər; c - mərkəz nöqtə P<sub>0</sub>-anisbətən P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> nöqtələrində qeyd olunmuş xəbərvericilərin formaları.

Yarığın özü isə profilin relyefinin böyük qradiyentlə xarakterizə olunan hissəsində onun simmetriyası pozulandan sonra əmələ gəlmişdi.

Aparılan sınaqlar nəticəsində aşağıdakıları qeyd etmək olar.

1. Hətta ilkin bircinsli materiallarda müxtəlif miqyaslı çatların ətrafında deformasiya prosesinin təsirindən onun xassələrinin dəyişməsi nəticəsində gərginlik-deformasiya vəziyyətinin qeyri-bircinsliyi müşahidə oluna bilər.

2. Dayanıqsız deformasiyanın lokallaşması ani proses deyil. O hətta kövrək materiallarda (beton, süxurlar) təzyiq və temperaturun təsiri nəticəsində tədricən inkişaf edir.

3. Makroqırılmanın yerini (parçalanmanın ocağını) deformasiyanın miqrasiya prosesinin ardıcıl olaraq ocaqdan periferiyaya və geri izləmək vasitəsilə müəyyən etmək olar.

4. Formalaşan qırılmaya nisbətən müxtəlif zonalarda qeyd olunan lokal deformasiyaların sıçrayışvari dəyişməsinin işarələri müxtəlif ola bilər. Bu mühitin təkcə quruluşunun mümkün lokal qeyri-bircinsliliyi ilə yox, həm də mühitin fundamental surətdə iki dayanıqsız və elastiki deformasiyaya uğramış hissələrə bölünməsi nəticəsində baş verə bilər.

Sonuncu nəticəni zəlzələlərin ocaq zonalarında deformometrik işlərin qoyuluşu və nəticələrin interpretasiyası zamanı nəzərə almaq lazımdır.

## **IVFƏSİL.ELASTİK DALĞALARIN SÜRƏT VARIASIYALARI**

Süxurların laboratoriya şəraitində deformasiyası zamanı elastik dalğaların sürətinin (V) öyrənilməsi böyük maraq kəsb edir.Süxur nümunələrinin öyrənilməsi zamanı müəyyən olunmuşdur ki, dağılma halına yaxınlaşdıqca V kəmiyyəti xeyli dərəcədə (30%-ə qədər) azalır[47-51].Təbii şəraitdə tədqiqatlar zamanı qeyd olunan V dəyişkənliyi ilk %-ləri aşmır.Bu fərqlənmənin mümkün səbəblərindən biri miqyas effektinin varlığı ola bilər.

### **4.1. Qranit və bazaltın iri blokları üzərində təcrübələr**

Yuxarıdakı ehtimalı yoxlamaq üçün süxurun iri bloklarının və süni materialların deformasiyası zamanı sürətin detal ölçmələri aparılmışdır[44-52].Bazalt, qranit və betonun yan tərəfi üzərində 96 müxtəlif traslar üzrə ultrasəs dalğalarını süxura ötürə bilən 36-ya qədər ötürücü qurğular quraşdırılmışdır.Şüalandırıcı kimi ölçüləri 16x16x16 mm, məxsusi rezonans tezliyi 90kHs olan seqnet duzlarından olan kristallardan istifadə edilirdi.Ötürücü və qəbuledici qurğu Г5-56 impulsu generatordan, C-70 seysmokokopundan, Ч3-34A tezlik ölçəndən və C8-13 ossilloqrafından ibarət olmuşdur.Elastik dalğaların giriş vaxtının dəqiq ölçüləri 0.5-1mksan təşkil edirdi.Bu işə müxtəlif traslar üzrə dalğaların 120-230 mksan qaçış vaxtı zamanı nisbi xəta 1% dən az olmuşdur.

Nümunə kimi bazalt blokunun tsiklin deformasiyası

zamanı uzununa dalğaların sürət variasiyasına baxaq(şəkil 37).Ultrasəs şüalanma yüklənməmiş vəziyyətdə başlanırdı.Blokun tsikl yüklənmələri zamanı isə 96 trass üzrə ölçmələr seriyası təkrarlanırdı.Blokun 1-ci yüklənmə tsiklində  $\delta=0,6, 9, 15, 18, 21, 12, 0$ MPa təzyiq zamanı 9 seriya; 2 tsiklində  $\delta=12,21,24,122$ MPa təzyiq zamanı 5 seriya; 3 tsiklində  $\delta=12,24,27,30,33,36,39,42, 6$ MPa təzyiq zamanı 9 seriya; 4 tsiklində  $\delta=1,24,42,45,48,51,54,57,60,63,24,3$  MPa təzyiq zamanı 12 seriya və 5 tsiklində  $\delta=3,42,63,66,70,73,75$  MPa təzyiq zamanı 7 seriya yerinə yetirilmişdir.Müəyyən edilmişdir ki,blok üzrə (96 traslar üzrə) orta sürət yüklənmənin bütün tsikllərində azalmışdı.

Bu, mərmərin böyük bloku üzərində bir neçə traslar boyu uzununa elastik dalğaların sürətinin ölçülməsinə görə müəyyən olunmuşdur.Təcrübənin xüsusiyyəti blokun mərkəzi hissəsində dəliklərin -gərginlik konsentratorların təsiri nəticəsində makroqırılmaların hazırlanması olmuşdu.Bu zona deformasiya tenzorunun I invariantının anomaliyası ilə özünü göstərir. Şəkil 37-də “0” başlanğıc qiymət kimi nisbi qəbul edilən I tərəfin proyeksiyasında uzununa dalğaların sürət sahəsinindəyişmə qrafikləri göstərilmişdir. Yüklənmənin 1 tsiklinin sonunda blokun mərkəzində sürətin əhəmiyyətli dərəcədə artması qeyd olunur (şəkil 37a). Tsikllərin sonunda makroçatların hazırlanması zamanı sahənin strukturu kəskin sürətdə dəyişir (şəkil 37b,c).Nəticədə dəliklər sistemi boyunca gedən sıxılma və dartılma sahələrini ayıran, mənfi qiymətlərdən müsbət qiymətlərə qədər sürətlərin dəyişmə kontrast sahəsi yaranır.

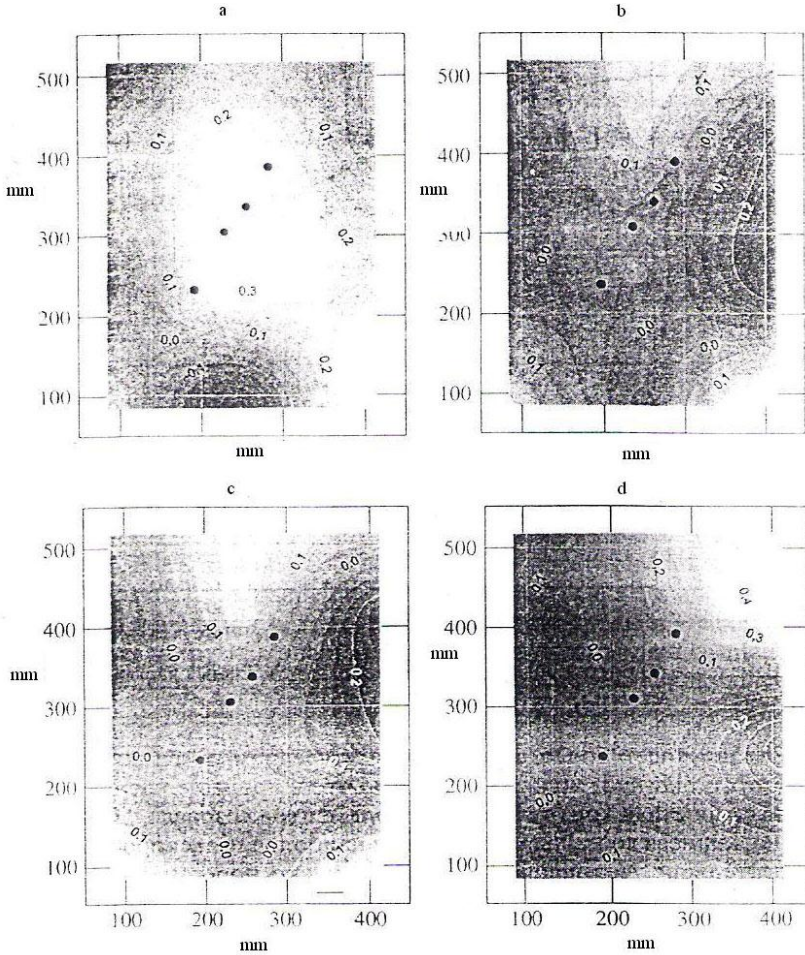
Qeyd etmək lazımdır ki, sürətlərdə anomaliya görünən mikroçatların və 9 tsiklindən başlayaraq, qeydə alınan intensiv akustik siqnalların yaranmasından əvvəl aydın müşahidə olunur. Blokun mərkəzi hissələrində qırılmanın yaranmasından sonra sürət sahəsinin strukturu yenidən kəskin dəyişir (şəkil 37d).

Göstərilən nəticələrdən belə qənaətə gəlmək olar ki, süxurlar elementar həcmi elastik dalğaların sürətinin kontrastı nəticəsində ölçmə bazasının artması ilə inteqral sürətlərin variasiyasının azalmasını gözləmək olar. Müvafiq olaraq, təbii şəraitdə zəlzələnin hazırlanma prosesini öyrənmək və ocağı aşkar etmək üçün seysmik tomoqrafiyadabir çox trasslarüzrə ölçmələr aparmaq lazımdır.

Zəlzələdən öncə uzununa və eninə seysmik dalğaların yayılma vaxtlarının nisbətinin körfəzvari dəyişiklikləri aşkar olunduqdan sonra laboratoriya şəraitində bu effektin qeydə alınmasına və təhlilinə maraq artmışdı [53,54]. Əsas sual kimi deformasiya olunan nümunədə suyun iştirakının vacibliyi idi. Əgər sualın cavabı təsdiq olarsa, onda bu zəlzələnin dilatant-diffuz modelini dəstəkləmiş olar. Bu modeldə dilatansiya sahəsində məsamədaxili məhlul təzyiqinin dəyişməsi zəlzələnin yaranması üçün vacib şərt hesab olunur. Əgər suala mənfi cavab alınarsa, onda eyni uğurla əmələgəlmənin selli dayanıqsız “quru” modeli qəbul edilə bilər. Burada zəlzələnin hazırlanması zamanı məsamədaxili məhlulun miqdarından və varlığından asılı olmayaraq, həcmi dispers dağıntı lokal dağıntıya keçir. Məhz gələcək makroqırılma zonasında sürətlənən deformasiya və bu zonadan kənarında zəifləyən deformasiya

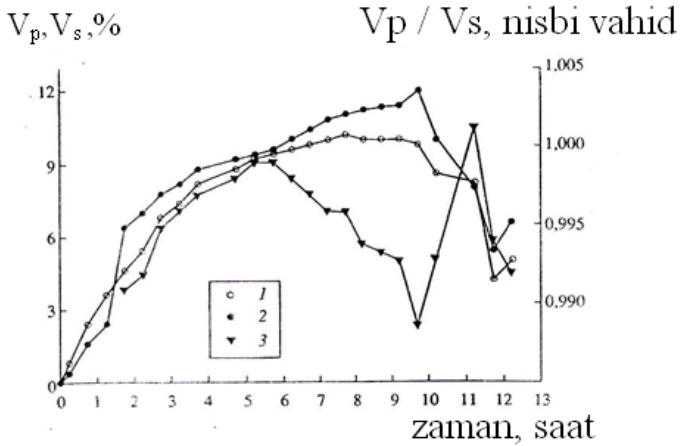


sahəsində materialın ayrılması bu model əsasında zəlzələnin xəbərvericiləri kimi çıxış edən müxtəlif sahələrin fəza-zaman variyasiyalarını müəyyən edir.



**Şəkil 37.** Mərmər blokunda 1 (a), 6 (b), 7 (c) və 11 (d) tsikllərin sonunda elastik dalğaların sürətlərinin variyasiya sahələri [52]

Şəkil 38-də sudoyumlu blok üzərində 13 saat ərzində blokun mərkəzi hissəsində iri çatların yaranmasına qədər davam edən pilləli yüklənmə zamanı uzununa və eninə elastik dalğa sürətlərinin və onların nisbətinin dəyişməsi göstərilmişdir. Yüklənmənin hər tsikli bərabər müddətdə davam edən 2 mərhələdən ibarətdir. Yüklənmənin ilk 6 saati ərzində  $V_p$ ,  $V_s$  və  $V_p/V_s$  böyüyür. Bunu şaquli istiqamətdə yüklənmə zamanı materialın möhkəmlənməsi kimi interpretasiya etmək olar.



**Şəkil 38.** Mərmər blokunda uzununa  $V_p$  (1), eninə  $V_s$  (2) elastik dalğaların sürətinin və onların nisbətinin  $V_p/V_s$  (3) dəyişməsi

5,5-9 saatlıq tsikli intervalında  $V_s$ -in davam edən artması zamanı uzununa dalğaların sürətinin artmasının zəifləməsi və sonradan azalması nəticəsində  $V_p/V_s$  nisbətində azalma müşahidə olunur. Blok üzərində yüklənmənin məhz 6-cı saatında, çoxsaylı laborator təcrübələrin verilənləri əsasında mikroçatlar sürətlə əmələ

gəldikdə blok üzərinə yüklənmə dağıdıcı yükün 50%-nə çatır.

$V_s$ -in artması öncə mövcud olan çatların bağlanma effektinin yenilərin əmələ gəlmə effektindən üstün olması ilə ələqədardır.

Yüklənmənin 10 və 11-ci saatları arasındakı qısa interval  $V_p/V_s$ -in kəskin düşməsi ilə xarakterizə olunur və akustik siqnalların lokallaşmasının verilənləri gələcək makroçat əmələ gəlmə rayonunda, blokun mərkəzi hissəsində daha iri çatların yaranması ilə müşahidə olunur. Növbəti fazada hər iki tip dalğaların sürətinin dəyişməsi zamanı  $V_p/V_s$  nisbəti tezliklə bərpa olunur.

Bu faza blokun mərkəzi hissəsində yerdəyişmə tip makroçatların əmələ gəlməsi ilə sona çatır.

10-11 saat ərzində  $V_p/V_s$ -in körfəzvari variasiyası dinamik müvazinətsizliyin klassik xəbərvericisi sayılır və bu cür anomaliyaların interpretasiyası əsasında DD(dilatant-diffuz) və SD (selli dayanıqsız) modelləri qurulmuşdur. Bu təcrübədə 6-9 saat ərzində  $V_p/V_s$ -in düşmə mərhələsi DD modelinə zidd olmayan dilatasiyanın inkişafı zamanı süxurun nisbi qurumasının nəticəsi kimi izah oluna bilər. Lakin  $V_p/V_s$ -in 10-11 saat ərzində bərpası bu modelin əsas vəziyyətinə uyğun gəlmir. Göstərilən təcrübədə  $V_p/V_s$  nisbətinin yüksəlməsi eninə dalğa sürətinin daha tez düşməsi ilə bağlıdır. Bu periodda gələcək makroçat sahəsində çat əmələgəlmənin konsentrasiyasını nəzərə almaqla belə nəticəyə gəlmək olar ki, uzununa və eninə elastik dalğaların sürətlərinin nisbətinin bərpası formalaşan makroqırılma oblastında deformasiyanın lokallaşmasının nəticəsi kimi qəbul edilir. Beləliklə, əgər

anomaliyanın I fazası DD modeli çərçivəsi daxilində izah olunurdusa, II faza SD modelinə daha uyğundur.

Eninə və uzununa elastik dalğa sürətlərinin nisbətində formasına görə analoji olan anomaliyalar əhəngdaşı blokunda da qeydə alınmışdır. Onlar növbəti dağıntının lokallaşma effektini əks etdirdilər. Sonuncu onunla təsdiq edilir ki,  $V_p/V_s$  anomaliyaları 80-90% yüklənmə zamanı deformasiyanın qeyri-elastik növünün keçidmərhələsində yaranıb. Bunu blokun uzununa deformasiya funksiyasında  $V_p/V_s$  qrafikinə yüklənmənin dəyişməsi ilə müqayisə olunan şəkil 39-da aydın görmək olar.

## **4.2. Yüksək plastikliyə malik süxurnümunələrində təcrübələr**

Sobolyev G.A. tərəfindən [55] müəyyən olunmuşdur ki, sürət nisbətlərinin körfəzvari dəyişkənliyini nəmli süruxlarda olduğu kimi yüksək plastik quru süxur növü-pirofilltdə də aşkar etmək olar. İki oxlu sıxılma şəraitində ( $F_1 > F_2$ ) ölçüləri 30x30x30 mm olan düzbucaqlı prizma formasında nümunələr öyrənilmişdir. Oxun uzunluğu ilə uyğunluq təşkil edən  $F_1$  maksimal sıxılma yükü istiqamətində periodik olaraq onlara ultrasəs dalğalar yönəldilirdi. Nisbi deformasiyanı 15-20%-ə qədər artırmaqla bütün nümunəni qarşılıqlı kəsən çat eşelonlarınıniki xaçvari zonası yaranmışdır. Ayrı-ayrı çatların ölçüləri 1-2 mm təşkil edirdi.

Makroqırılmanın və ayrı-ayrı iri çatvarın formalaşması uzununa  $V_p$  və eninə  $V_s$  elastik dalğaların sürətləri və onların nisbəti  $V_p/V_s$  ilə müəyyən olunmuşdur.

(Şəkil 40a,c) Təcrübələr aparmaqla sudoyumlu və

quru nümunələr arasındakı fərq müəyyən edildi. Bu fərqlədir:

-  $V_p/V_s$  nisbətini kəmiyyəti nəmli nümunələrdə uzununa dalğanın sürətinin artması və eninə dalğanın sürətinin azalması ilə əlaqədar olaraq, təxminən 5% çox idi.

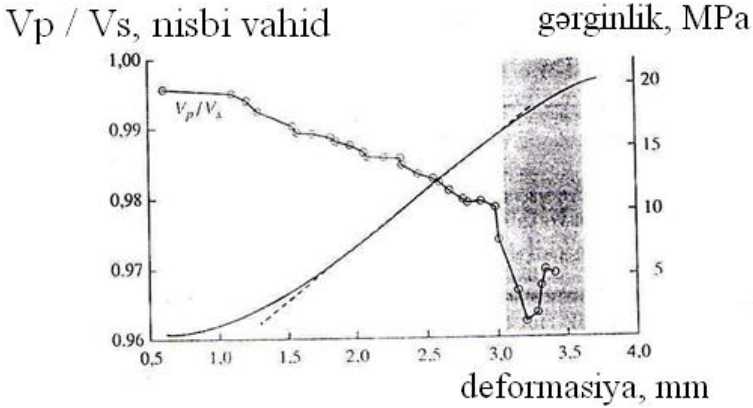
-  $V_p/V_s$ -in körfəzvari anomaliyaları nəmli nümunələrdə daha dəqiq ifadə olunmuşdur. Həmçinin təcrübələr göstərdi ki, deformasiya sürətinin artması körfəzvari variasiyaların amplitudunun azalmasına gətirib çıxarır (şəkil 40b).

Sonuncu fakt əsas hesab olunur. O elastik dalğa sürətlərində xəbərvericinin formalaşması üçün zamanın lazım olduğunu şərtləndirir. Sürətli deformasiya zamanı dalğaların sürətinə təsir edən böyük olmayan çatların kütləvi toplanmasının kinematik posesi inkişaf edə bilmir.

Sürətlərin dəyişməsinə daha böyük yüklənmə oxuna nəzərən ultrasəs dalğaların süxura yönəlmə istiqaməti güclü təsir göstərir.

Bu cür asılılığa misal şəkil 41-də təsvir edilmişdir. Əsas  $F_1$  sıxılma qüvvəsi istiqamətində hərəkət edən dalğaların sürəti  $V_{p1}, V_{s1}$  və onların nisbəti nümunənin deformasiyası ilə qanuna uyğun şəkildə artır və makrodağıntıdan öncə körfəzvariformanın aydın xəbərvericilərini verir. Eyni zamanda nümunənin azad tərəflərinə perpendikulyar istiqamətdə yayılan dalğaların sürəti və onların nisbəti bütün təcrübə ərzində azalır və xəbərvericiləri göstərmir. Bu cür fərqlənmənin səbəblərindən biri ondan ibarət ola bilər ki, birinci halda onlar bütün təcrübə ərzində nümunənin sıxılma zonasında

yayırlar.İkinci halda dalğalar formalaşan yerdəyişmə tip makroqırılmanın dartılma zonasını kəsirlər; baş qırılmanın yerdəyişmə istiqaməti şəkil 41-də sxematik olaraq göstərilmişdir.Bu fərqi səbəblərindən biri eyni zamanda  $V_p/V_s$  nisbətinin çöl tədqiqatları zamanı alınan ziddiyətli nəticələri ola bilər.

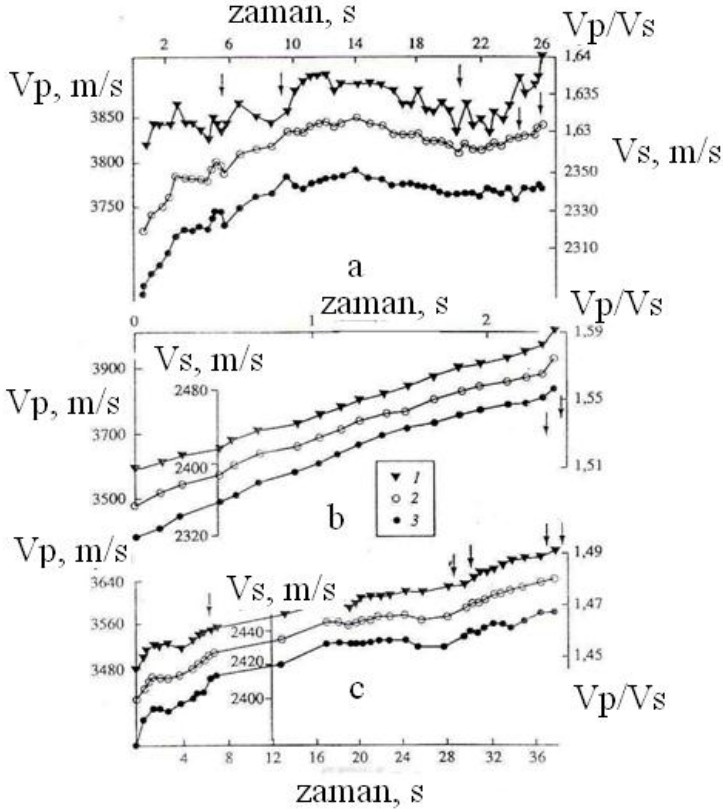


**Şəkil 39.**Mərmər blokunun elastik və qeyri-elastik deformasiya mərhələlərində (ştrixlə göstərilmişdir)uzununa və eninə elastik dalğa sürətlərinin nisbətinin  $V_p/V_s$ dəyişməsi

Tam əyri -  $\nu(\epsilon)$  reoloji asılılığı, punktirlə reoloji əyrinin elastik hissəsi göstərilmişdir.

Eninə elastik dalğa sürətlərinin vəziyyəti təkcə ultrasəs dalğaların süxura yönəlmə istiqamətindən deyil, həm də dalğalarda laylanmaya nəzərən hissəciklərin hərəkət istiqamətindən də xeyli asılıdır.Şəkil 42-dən görünür ki, nümunənin başlanğıc yüklənmə mərhələsində laylanmaya perpendikulyar istiqamətdə polyarizə olunan dalğalar kiçik sürətə malik olurlar( $V_{s1}$ və $V_{s2}$ ).Lakin sıxılma

qüvvəsi və nümunənin deformasiyası artdıqca  $F_1$  istiqamətində polyarizə edilən dalğanın sürəti digərlərinə nisbətən tez artır, nəticədə  $V_{s4}$  dalğası  $V_{s2}$  dalğasını  $\varepsilon=1.5\%$  deformasiya səviyyəsində qabaqlayır.



**Şəkil 40.** Deformasiyanın müxtəlif sürəti  $\varepsilon$  və nümunənin müxtəlif dərəcəli nəmliyi zamanı elastik dalğa sürətlərinin  $V_p, V_s$  və onların nisbətinin  $V_p/V_s$  dəyişməsi

a - sudoyumlu,  $\varepsilon=5 \cdot 10^{-8}$ ; b - sudoyumlu,  $\varepsilon=5 \cdot 10^{-7}$ ; c - quru,  $\varepsilon=5 \cdot 10^{-8}$ ; 1 -  $V_p/V_s$ ; 2 -  $V_p$ ; 3 -  $V_s$ ; oxla makroçatların yaranma vaxtı göstərilmişdir.

Onu da qeyd etmək maraqlı olardı ki,  $\varepsilon=1.3-1.5\%$  olan

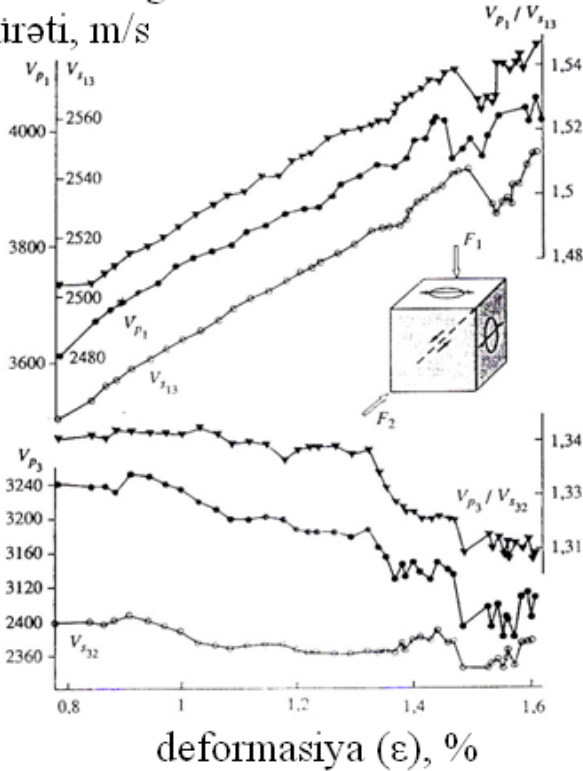
sahədə müşahidə edilən sürətlərin körfəzvari dəyişməsinin qiyməti təxminən hər 4 eninə dalğa üçün eynidir. Bu bir daha dağıntının xəbərvericisi ilə əmələgələn və bunun ardınca müşahidə edilən xaotik istiqamətlənən kiçik defektlərin bağlanması ilə əlaqəsini təsdiq edir. Lakin makroqırılma anına yaxınlaşdıqca sürətlərin ilkin sinxron gedişi pozulur. İnkişaf edən makroqırılmaya perpendikulyar istiqamətdə polyarizə olunan dalğaların sürəti  $V_{s2}$  artdıqca azalır.

Bu isə dalğaların girişinin ardıcılığının bir daha dəyişməsinə gətirib çıxarır. Oxşar nəticələr 3 oxlu yüklənmə şəraitində  $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$  təcrübələr zamanı alınmışdır. Yüksək hidrostatik sıxılma zamanı  $p = \sigma_3 = 50, 100, 150$  və  $200$  mPa olduqda bir sıra təcrübələr aparılmışdır. Elastik dalğaların sürəti əsas sıxma gərginlik ( $\sigma_1$ ) oxunun uzununa və eninə istiqamətində ölçülürdü. Təcrübələr sürətin nisbi düşməsindən (I mərhələ) öncə  $V_p$ -nin max. mərhələsində dayandırılırdı, sonra sürətin minimumunda (II mərhələ) və sonra isə körfəzvari variyasiyanın (III mərhələ) başa çatmasında dayandırıldı. Nümunələr hər mərhələdən sonra mikroskop altında tədqiq olunurdu. Analiz göstərdi ki, II mərhələdə materialın öyrənilmə nəticələri daha böyük maraq kəsb edir. Bu halda nümunədə eşelonvari çatların ensiz oblastı nəzərdən keçirilirdi, lakin bu zonadan kənarında material nəinki II mərhələdə, hətta I mərhələdə öyrənilən materialla müqayisədə daha az defektlərə malikdir. Bu onu göstərir ki, kifayət qədər çox mikroçatlara malik olur, nəinki I mərhələdə. Bu isə I mərhələdən II mərhələyə keçiddə sürətin düşməsinə cavab verir. Lakin III mərhələdə



nümunələrin hazırlanma prosesində makroqırılma zonasından kənarında süxur bərkiyir.

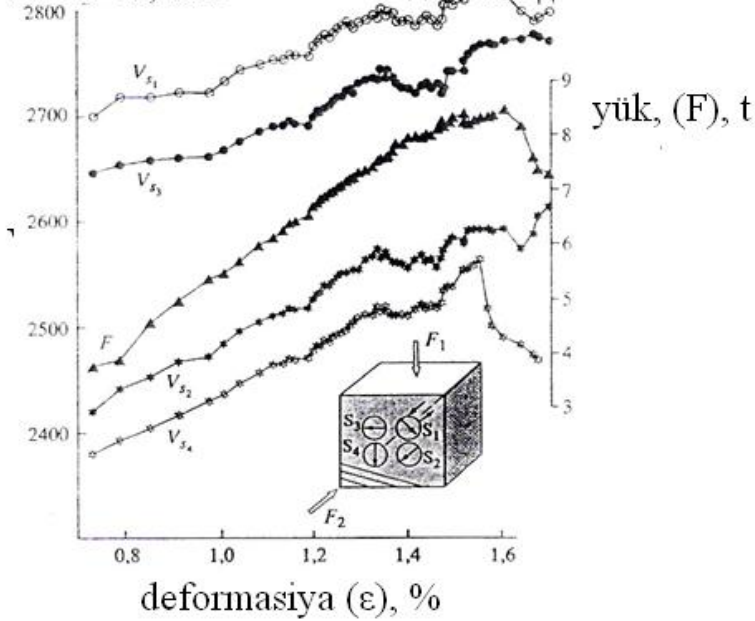
elastiki dalğaların  
sürəti, m/s



**Şəkil 41.** Elastik dalğa sürətlərinin  $V_p, V_s$  və onların nisbətinin  $V_p/V_s$  ultrasəs dalğaların süxura yönəlmə istiqamətindən asılılığına misal

Dairə daxilindəki oxlar (qeydedicilər) S - dalğalarını şüalandıran polarizə müstəvisini göstərir; Məsələn:  $V_{s13}$  işarəsi göstərir ki, hissəciklərin 3 oxu istiqamətində həyəcanlanması zamanı dalğa 1 oxu istiqamətində şüalanır. Oxlu punktir xətt yerdəyişmə tip makroçatın vəziyyətini göstərir.

elastiki dalğaların  
sürəti  $V_s$ , m/s



**Şəkil 42.** Müxtəlif polarizəli eninə elastik dalğa sürətlərinin pirofillit nümunəsinin deformasiyasından asılılığı

S1-S4 qeydedicilərinin yerləşməsi və nümunənin laylılığı göstərilmişdir. Qeydedicilərin təsvirindəki oxlar rəqslərin polarizə müstəvisinin nümunənin öz tininə nəzərən normal vəziyyətini göstərir. Punktir xətt (oxlu) yerdəyişmə tip makroçatı göstərir.

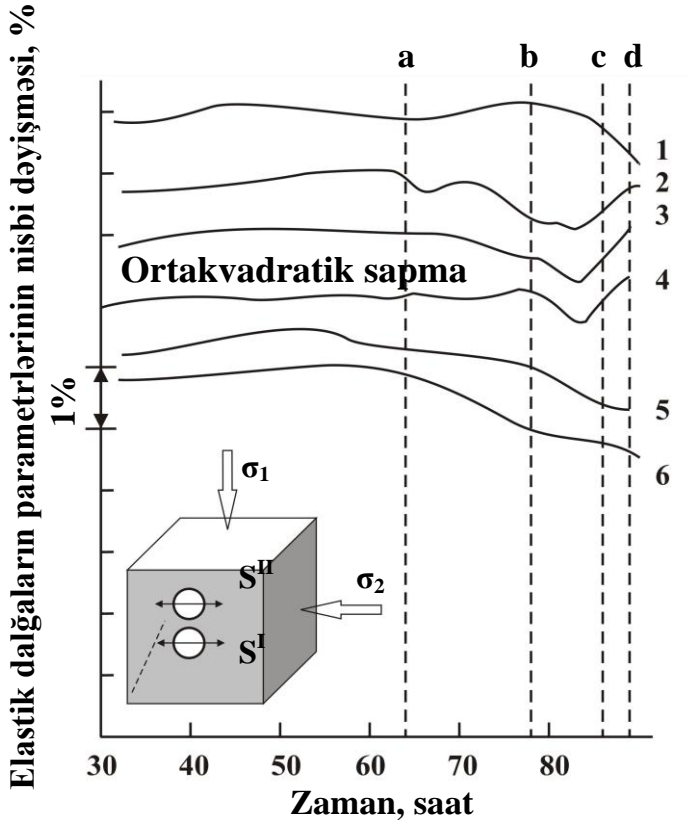
Sürətin körfəzvari variasiyasına səbəb makroqırılmanın formalaşması zamanı gərginlik tenzorunun dönməsi ilə bağlı ola bilər. Şəkil 43-də 3 oxlu sıxılmaya məruz  $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 \neq 0$  qalan pirofillit nümunəsinin

I və II traslar üzrə uzununa  $V_p$ , eninə elastik dalğaların sürətinin  $V_s$  və onların nisbətini  $V_p/V_s$  dəyişməsi göstərilmişdir. Nümunə ölçüləri 38 mm olan kub formasında idi. Datçıqların bir cütü nümunənin mərkəzi hissəsində  $\sigma_1$ -ə perpendikulyar istiqamətdə, II cütü isə presin pistonunun yaxınlığında nümunəni şualandırmaya imkan vermişdir. Şəkildən görünür ki, təcrübənin sonunda - nümunənin küncündən tədricən inkişaf edən yerdəyişmə tipli mikroçatların əmələgəlməsi zamanı və ondan öncə həm hər iki tip dalğaların sürəti, həm də onların nisbəti fərqli şəkildə dəyişir.

Yüksək təzyiğin unikal qurğusu nümunəni lazer ilə şualandıra bilən kvars pəncərəsinə malikdir. 2 tərəfli ekspozisiya üsulu ilə aparılan təcrübənin prosesində üzərinə  $S^1$  və  $S^2$  ultrasəs qeydediciləri yapılandırılan relyef səthlərinin dəyişkənliyi öyrənilmişdir.

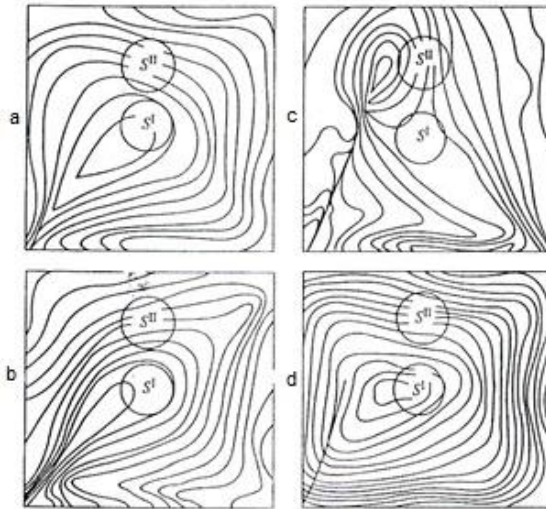
Nəticədə müəyyən olunmuşdur ki, təcrübənin ortasından başlayaraq ( $t=60$  saat) nümunənin mərkəzi hissəsi dilatasiya mərhələsindən keçirdi. Bu zaman səthin mərkəzi hissəsində qabarma müşahidə olunurdu, bu isə şəkil 44a,b-də səth relyefinin dəyişməsinin izoxətlərinin nadir şəkildə yerləşməsinə bildirir. Burada eyni zamanda görünür ki, sol aşağı küncdən inkişaf edən çat nümunədə deformasiya sahəsini təhrif edir. Bu zaman təcrübənin başlanğıc mərhələsində (şəkil 44a,b)  $S''$  şaquli sıxılma sahəsində (izoxətlərin üfüqi yerdəyişməsi) yerləşir.

Deformasiya prosesinin son mərhələsində onlar üfüqi sıxılma sahəsinə (izoxətlərin şaquli yerləşməsi) düşürlər (şəkil 44c).



**Şəkil 43.**Üçoxlu gərginlik vəziyyəti zamanı deformasiya olunan pirofillit nümunəsinin dağılması zamanı uzununa  $V_p$  və eninə  $V_s$  elastik dalğa sürətlərinin və onların nisbətinin  $V_p/V_s$  variasiyaları

1- $\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^{II}$ ; 2- $V_p^{II}$ ; 3- $V_s^{II}$ ; 4- $\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^I$ ; 5- $V_p^I$ ; 6-  $V_s^I$ ;  $S^I$ ,  $S^{II}$ - ultrasəs datçiklərinin vəziyyəti.



**Şəkil 44.**Üçoxlu sıxılma zamanı pirofillit nümunəsinin deformasiya prosesində gərginliyin istiqamətinin dəyişməsinə misal

a-c-ardıcıl yüklənmə mərhələləri; d-yüksüzləşdirmə mərhələsi. İsoxətlər lazer interferometriya üsulu ilə qeydə alınan tərəfin relyefinin dəyişməsinə əks etdirir.

Ultrasəs şüalanmasının nəticələri ilə (şəkil 43) deformasiya sahəsinin dəyişməsinə (şəkil 46) müqayisə etməklə, eyni bir nümunədə paralel I və II traslar üzrə keçən elastik dalğaların sürətlərinin fərqli şəkildə dəyişməsinə izah etmək olar.  $V_p^I$  və  $V_s^I$  sürətlərinin kəskinləşməsi bütün təcrübə ərzində nümunənin mərkəzi hissəsində mikroçat əmələgəlmənin (dilatansiyanın) tədricən inkişafı ilə bağlıdır.  $t=80$  saat vaxt periodunda makroçat əmələgəlmə prosesinin sürətlənməsi çat hissəciklərinin nisbi qurumasına və  $(V_p/V_s)^I$ - nisbətinin düşməsinə səbəb olur. Makroçatın inkişafı ilə mərkəzi

zonada dilatansiyanın sürəti azalır, bu isə çatların nəmlənməsinə və  $(V_p/V_s)^I$ - nisbətinin bərpasına gətirib çıxarır.

Təcrübənin I mərhələsində elastik dalğaların II trass boyu yayılma sürəti I trass boyu olduğu kimi eyni qanuna əsaslanaraq dəyişir və yalnız  $V_p^{II}$  və  $V_s^{II}$  sürətlərinin daha zəif düşməsi ilə fərqlənir. Bu  $S^{II}$  qeydedicinin dilatant zonanın qırağında yerləşməsi ilə izah olunur. Burada əmələ gələn mikroçatların sıxlığı daha az olur (şəkil 44a,b). Lakin mikroçatların nümunənin küncündən yayılması  $\sigma_1$  və  $\sigma_2$  gərginlik sahəsinin istiqamətini təxminən  $90^\circ$  dəyişir (şəkil 44c). Bu ilk gərginlik sahədə əvvəlcədən əmələ gələn mikroçatların bağlanmasına və  $V_p^{II}$  və  $V_s^{II}$  sürətlərinin kəskin artmasına gətirir. İlk gərginlik sahəsi  $\sigma_1$  sıxılma komponentləri ilə xarakterizə olduğu üçün əmələ gələn və sonradan bağlanan mikroçatlar şaquliyə yaxın istiqamətə malikdirlər. Bununla eninə dalğanın sürətinin  $V_s^{II}$  nisbətən böyük dərəcədə bərpasını izah etmək olar. Bununla əlaqədar olaraq  $(V_p/V_s)^{II}$  nisbəti təcrübənin son mərhələsində kiçilir.

Bu misal göstərir ki, elastik dalğaların sürət amplitudlarının dəyişməsi və anomal dəyişkənliklərin forması mühitin gərginlik-deformasiya vəziyyətinin dəyişməsinə həssasdır. Bir halı da qeyd etmək vacibdir: gərginlikli vəziyyət zamanı mühitin xüsusiyyəti təzyiq altında sürətlə bərpa olunur; bu zaman çatların geoloji mənada bağlanması nəzərdə tutulmur. Süxurun gərginliyi qismən (maksimumdan 30%) azaldıqdan sonra süxurda mövcud olan və gərginlik sahəsini təhrif edən çat sahillərinin əks istiqamətdə hərəkəti baş verir.

Qeyd etmək lazımdır ki, mühitin plastik deformasiyası ilə müşahidə olunan 3 oxlu sıxılmanın qeyri-bircins şəraitlərdə nəinki gərginlik sahəsinin qiymətlərinin və ya istiqamətlərinin əvəz olunması həm də deformasiyanın sürətlərinin dəyişməsi zamanı mühitin xüsusiyyətləri tez dəyişir. Bunu aşağıdakı misalda izah edək [56]. Gərginlik  $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 \neq 0$  olduqda və  $S^I$  və  $S^{II}$  qeydediciləri şəkil 44-də göstərildiyi kimi yerləşdikdə pirofillit nümunəsi üzərində təcrübə  $\sigma_1$  istiqamətində deformasiya sürətinin dəyişməsi ilə aparılırdı. Nəticələr şəkil 45-də təsvir edilmişdir.

Birinci yüklənmənin başlanğıc mərhələsində  $\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$  differensial yüklənmənin sürətlə artması  $\varepsilon^3$  uzununa deformasiyanın artmasına və hər 2 trass boyu  $V_s^I$  və  $V_s^{II}$  elastik dalğalar sürətlərinin böyüməsinə müvafiqdir.

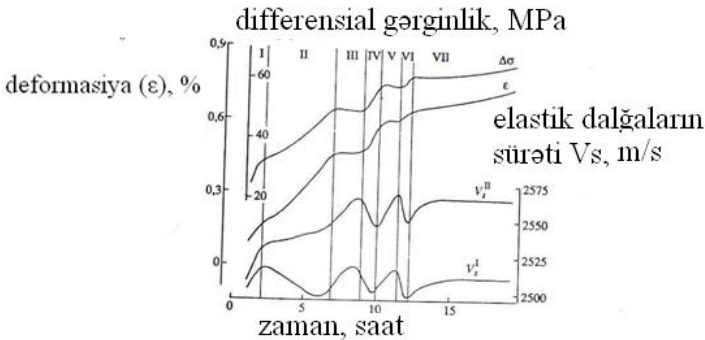
II mərhələdə nümunənin mərkəzi hissəsində  $V_s^I$  sürətinin tədricən düşməsi müşahidə olunur. Az dilatansiyaya məruz qalan zolaqşəkilli zonada  $V_s^{II}$  sürəti yavaşlayır. II mərhələdə deformasiyanın sürəti təxminən  $10^{-7}$  1/s təşkil edir.  $\Delta\sigma$  artımını süni yolla dayandırdıqdan sonra (III mərhələ)  $\Delta\sigma$  sabit yüklənmə zamanı  $10^{-9}$  1/s sürətli kripinyeri olduğu zaman  $V_s^I$  və  $V_s^{II}$  sürətləri tez böyüyür.  $V_s^I$  və  $V_s^{II}$  sürətlərin düşmə (IV mərhələ) və bərpa (V mərhələ) prosesi deformasiya sürətinin artması və azalması dövründə təkrarlanır. Təcrübənin son mərhələsində nümunə  $10^{-8}$  1/s zəif deformasiyaya məruz qalır, buna hər 2 trass üzrə elastik dalğaların sürətlərinin dəyişməsi cavab verir. Təcrübə göstərir ki, materialın deformasiya sürətinin dəyişməsi (yüksək təzyiq şəraitində) elastik dalğa sürətlərinin dəyişmə qanunauyğunluqlarını köklü sürətdə dəyişdirir. Deformasiya sürətlərinin əvəz olunması zamanı yaranan elastik dalğaların körfəzvari sürət variasiyasına

makroqırılmaların yalançı xəbərvericiləri kimi baxılır.

Beləliklə, laboratoriya işlərinin nəticələri göstərir ki, süxurlarda eninə və uzununa dalğaların sürətinin, həm də onların nisbətinin dəyişməsi mühitin bir çox parametrlərindən və gərginlik vəziyyətindən asılıdır. Bundan başqa, dağıntıya yaxınlaşdıqca və yüklənmə artdıqca onlara müşahidə olunan miqyas effekti xasdır.

Bu seysmoaktiv rayonlarda seysmik dalğaların sürətinin dəyişməsinin interpretasiyası və digər səbəblərdən törənən anomal variasiyalar arasında zəlzələnin xəbərvericilərinin aşkar olunmasını çətinləşdirir.

Təsvir edilən təcrübələr göstərdi ki, uzununa və eninə dalğaların sürətlərinin körfəzvari variasiyası və onların nisbəti deformasiyanın formalaşan makroqırılma zonasına tədricən lokallaşması ilə izah olunur. Bu davamsız və elastik deformasiya sahəsində materialın ayrılmasına gətirir. Davamsız (qeyri-sabit) deformasiya zonasının gücü tədricən azaldığı üçün o andan elastik dalğaların sürətinə getdikcə az təsir göstərir.



**Şəkil 45.** Müxtəlif sürətli üçoxlu sıxılma zamanı deformasiya olunan pirofillit nümunəsində elastik dalğa sürətlərinin körfəzvari dəyişməsi



## V FƏSİL. ELEKTRİK MÜQAVİMƏTİNİN VARIASIYALARI

Biroxlu və hər tərəfli sıxılma su ilə doyma dərəcəsi və müxtəlif deformasiya şəraitində süxurların elektrik müqavimətinin dəyişmə qanunauyğunluqları klassik işlərdə öyrənilmişdir [57-59]. K. Morrou və V. Breys mühitin müxtəlif deformasiyası zamanı müqavimətin dəyişməsinin güclənmə əmsalını tədqiq edib, bu faktorunu  $10^{-4} 1/s$  deformasiya zamanı müqavimətin nisbi dəyişməsi kimi müəyyən etmişdilər. Böyük həcmdə faktiki materialda göstərilmişdir ki, bu əmsalın qiyməti (tenzo həssaslıq)  $10^3$ - $10^5$  diapazonunda yerləşir və süxurun su ilə doyma dərəcəsindən asılıdır.

Flüidin miqdarı azaldıqca güclənmə faktorunun qiyməti artır, maksimuma çatır və sonradan azalır. Eyni zamanda müəyyən olunmuşdur ki, kiçik deformasiya diapazonunda ( $10^{-4} 1/s$  və daha kiçik) müqavimətin nisbi dəyişməsi sudoyumluğun müxtəlif səviyyələrində  $10^{-3} 1/s$  deformasiyadan fərqli olaraq 10-100 dəfələrlə çox dəyişir. Bu qayda ilə güclənmə faktorunun maksimal qiymətləri mühitin nisbi kiçik deformasiya zamanı əldə olunur və materialın məsamiliyi və flüidlə doyma dərəcəsi ilə nəzarət olunur.

Laboratoriya təcrübələri üçün güclənmə faktorunun maksimal qiymətləri  $10^5$  təşkil edir. Real şəraitdə deformasiya olunan mühitlərdə flüidin miqdarı ümumi halda tenzohəssaslığın maksimal reallaşması üçün optimal hesab olunmur. Buna baxmayaraq tenzohəssaslıq əmsalının bir başa qiymətləri çöl ölçmələri zamanı nisbətən

pozulmamış süxur massivi üçün  $3 \cdot 10^4$  təşkil edir, sulaşmış dağıntı zonaları üçün isə bu əmsal  $10^6$ -ya qədər artır. Bu qayda ilə çöl ölçmələri təsdiq etdi ki, quru süxurlardan fərqli olaraq, qismən flüidlə doymulu süxurlar üçün tenzohəssaslıq daha yüksəkdir. Çin tədqiqatçıları [60] massivi hidrobalışlar vasitəsilə süni yükləyib elektrik müqavimətinin şaxtalarda ölçməsinə aparmışlar. Onlar  $10^{-6}$ - $10^{-4}$  deformasiya zamanı tenzohəssaslıq əmsalının təxminən  $2 \cdot 10^3$ -ə bərabər almışdılar. Bu verilənləri cəmləyərək göstərilir ki, təbii şəraitdə və geniş miqyaslı təcrübələrdə elektrik müqavimətinin dəyişməsi 1-10% təşkil edir.

Elektrik sahəsinin hərəkəti müəyyən dərəcədə süxurun gərginlik-deformasiya vəziyyətini əks etdirməlidir. Lakin elektrik sahəsi spesifik, onun tenzohəssaslığı isə süxurun bir çox xüsusiyyətlərindən asılı olduğu üçün mexaniki parametrlərlə ciddi korelyasiyasını gözləmək lazım deyil. Zəlzələlərin geniş miqyaslı modelləşdirilməsi zamanı tədqiq olunan blokların bir çox nöqtələrində elektrik ölçmələri aparılmışdır. Bu isə həcmdə səth üzrə sahənin struktur və xüsusiyyətlərini aşkar etməyə imkan verir [44,61].

### **5.1. Su ilə doymuş iri bloklar üzərində təcrübələr**

Artıq qeyd olunmuşdur ki, məsamədaxili məhlul dağıntının hazırlanmasında mühüm rol oynayır və xəbərvericilərin xüsusiyyətlərinə təsir edir. Bununla əlaqədar olaraq, qismən doymuş süxurların iri bloklarının yüklənməsi zamanı elektrik müqavimətinin dəyişməsi

tədqiq olunmuşdur [62]. Çöl müşahidələrində tətbiq olunan cihaz və metodiki üsulların bu təcrübələrdə istifadəsi göstərdi ki, daxili yerdəyişmə tip dağıntının hazırlanması və inkişafı zamanı təbii şəraitlərdə müşahidə olunan anomaliyaya analogi olan fərz olunan elektrik müqaviməti anomaliyası yaranır [63].

Fərz olunan elektrik müqavimətinin variasiyasını  $\rho_i/\rho_0$  ölçmək üçün 2 müşahidə sistemindən istifadə olunurdu - sabit və dəyişən cərəyan. Sabit cərəyan sistemi III tərəfin yuxarı, mərkəzi və aşağı hissələrində 3 müstəqil elektrod qruplarını nəzərdə tutur (şəkil 45). Diametri 8 mm olan elektrodlar dərinliyi 5 mm olan xırda kavernalara montaj olunur. Hər elektrod qrupu 2 mikroqurğudan ibarət idi. Elektrodlardan biri olan Venner yüklənmə oxuna perpendikulyar, digəri isə  $45^\circ$  bucaq altında yerləşdirilir.

Qeydedici qurğu kimi ixtisaslaşdırılmış rəqəmsal ZD-8 cihazından istifadə olunur. Ölçmələr elektrodların bütün qrupları üzərində hər 20 dəqiqədən bir aparılır və ölçmələrin xətası 1.5%-dən çox olmur.

Dəyişən cərəyanda ölçmələr üçün proqramlaşdırılmış rəqəmsal sistem kiçik tezlikli generatoru, elektrodların kommutatorunu, sinxron detektorları, multimetri və onları müşayət edən kompyuter istifadə olunur. Bu sistem üçün II və IV tərəflərin səthinə qidalandırıcı elektrodlar endirilir. I tərəf üzərinə isə 10 səthi qəbuledici elektrodlar yerləşdirilir. Dağıntı sahəsinin daxili nəzarəti üçün təxminən 20 sm dərinlikdə konsentrator-dəliklərdə əlavə elektrodlar presləndirilmiş olur. Bütün elektrodlar parafin əlavəsilə qrafit pastasından hazırlanır. Keçid müqavimət mərmər üçün təxminən 100kOm və əhəngdaşı üçün

10kOm-dan kiçik qiymət təşkil etmişdi. Ölçmələr 83Hs tezlikdə hər 135 san-dən bir aparılırdı.  $\rho_t/\rho_0$ -nı vahid ölçmələrinin dəqiqliyi təxminən 0.5% təşkil edirdi. Mərmər blokunun yüklənmə prosesi şək. 46-da göstərilmişdir.

$\rho_t/\rho_0$  nisbətinin daha intensiv enməsi  $\rho_t$  və  $\rho_0$  müqavimətin ilkin və cari qiymətləri ilə əlaqədardır. Bir çox elektrod cütləri üçün bu effekt təcrübənin ilk saatlarında mərmər blokunda qeydə alınmışdır (şəkil 46). Bu, materialın şaquli yüklənməsinin artması və qalan məsamələrin və çatların su ilə nisbi doymuluğunun artması zamanı materialın sıxlaşması ilə əlaqədardır. Bu zaman məsamədaxili həcm kiçilir, lakin blokda mövcud olan suyun miqdarı az dəyişir. Bu interpretasiyaya dayaq olaraq başlanğıc beş tsikl zamanı elastiki dalğaların sürətinin və nisbətlərinin artmasını göstərmək olar (şəkil 48). Beşinci tsikldən başlayaraq  $\rho_t/\rho_0$  nisbətinin kəskin kiçilməsi müşahidə olunur. Belə güman etmək olar ki, bu, 4 və 5-ci tsikllər arası 18 saatlıq yükün azalması intervalı zamanı süxurun su ilə doymuluğunun artması ilə əlaqədardır. Bu isə, öz növbəsində elektrik üsulunun tenzohəssaslığının kiçilməsinə səbəb oldu. Bilavasitə iri akustik hadisələrin yaranmasından (şəkil 46-da oxla işarələnib) və yarığın formalaşmasından öncə körfəzvari anomaliya (5-7%) qeydə alınmışdır ki, onu yarılmanın xəbərvericisi kimi qəbul etmək olar.

Qumdaşı blokunun mərkəz hissəsində aparılan ölçmələr onda  $\rho_t/\rho_0$  variasiyaları mərmər blokuna nisbətən daha böyükdür. Şəkil 47-də blokun mərkəz hissəsində sabit cərəyanla ölçülmüş müqavimətin dəyişməsi göstərilmişdir. Burada iki faza qeydə alınır. Birinci 7 tsikl ərzində

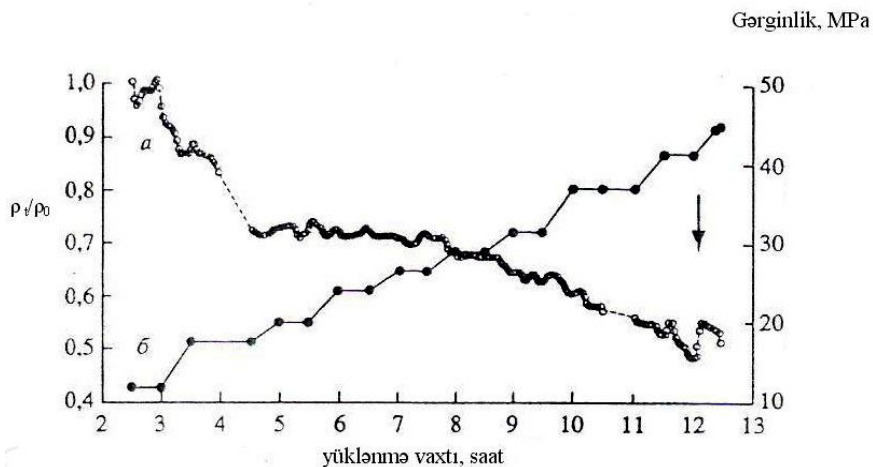
tədricən kiçilməsi (15%) və sonrakı yüklənmələrdə nisbətən intensiv (30%) müqavimətin artması.

Blokun mərkəz hissəsinin parçalanmasını müşahidə edən akustik emissiya 6 saat 30 dəqiqədən sonra və öz aktivliyinin maksimumuna yüklənmənin 9-cu saatında çatır. Blokun üst hissəsində də analoji lakin nisbətən zəif amplitudlu dəyişikliklər qeydə alınmışdır.

## **5.2. Betondan hazırlanmış iri model üzərində təcrübələr**

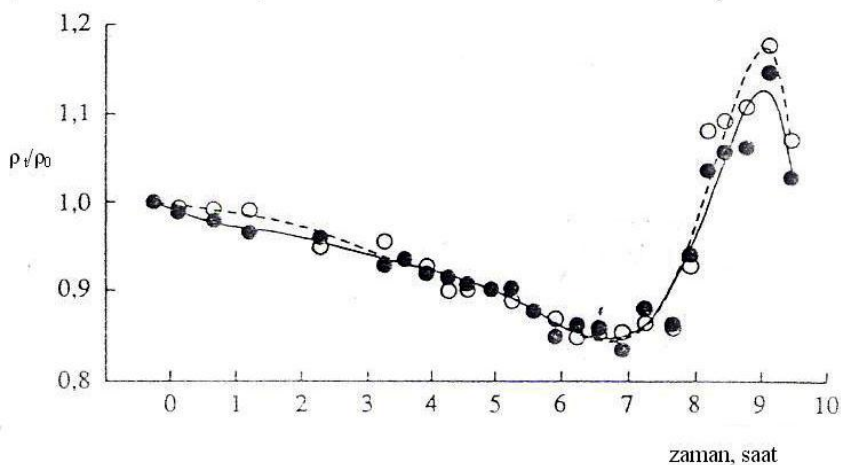
Elektrik potensialının qeydediciləri nümunənin kənarına bərkidilir. Elektrodun süxur ilə qalvanik əlaqəsinin stabilliyi nöqtəvi kontaktla, əlavə olaraq, qeydedicinin nümunə ilə kontakt sahəsi xarici mühitdən bərkimiş həlqələrlə və sukeçirməyən yapışqan qatı ilə təcrid olunur. Qidalandırıcılar kimi xlorgümüşlü elektrodlardan və ya qrafit pastası əsasında olan elektrodlardan istifadə olunur. Cərəyan mənbəyi kimi akkumulyatordan 2.5V-dək gərginlik verilir. Qəbuledici MN elektrod cütləri kimi nümunənin kənar səthi üzərində yerləşdirilmiş qeydedicilərin kombinasiyalarına baxılır. Elektrik potensiallarının yüksək canlanması 1mV və daha kiçik potensiallı sahələrdə dəyişkənlikləri aşkar etməyə imkan verir.

Öncə göstərilmişdir ki,  $V_p/V_s$  anomaliyaları deformasiyanın qeyri-elastiki mərhələyə keçidi zamanı yaranır (şək.39). Şəkil 48-də göstərilib ki, bu mərhələdə müqavimətin yüksəlməsi də müşahidə olunur.



**Şəkil 46.**Mərmər blokunun mərkəzi hissəsində daxili elektrodların köməyi ilə ölçülən fərz olunan elektrik müqavimətinin dəyişkənliyi (a) və yüklənmə qrafiki(b)

Ox ilə iri akustik hadisələrin yaranma anı göstərilmişdir.



**Şəkil 47.**Əhəngdaşı blokunun mərkəzi hissəsində fərz olunan elektrik müqavimətinin dəyişkənliyi

Müxtəlif dairələrdə iki müstəqil daxili elektrodlar sistemində müşahidələr qeyd olunmuşdur.

Müqavimətin artma fazasını formalaşan makroqırılma oblastında deformasiyanın lokallaşması ilə izah etmək olar.

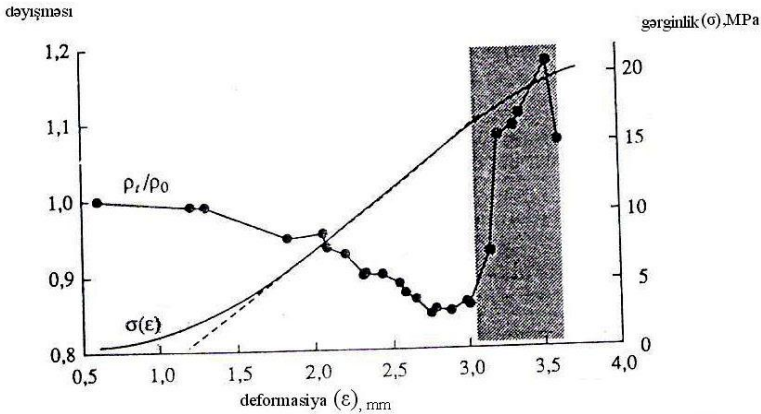
Tərkibinə presizion rəqəmsal multimetr daxil olan ölçü qurğusu nümunənin üzərində 10 sm və daha böyük intervalda yerləşmiş qeydedicilərin ardıcıl sorğusunu təmin edirdi.

Həm məxsusi potensialların qeyri-stabilliyi, həm də polyarizə proseslərinin nəticəsində qidalandırıcı cərəyanın variasiyaları ilə şərtlənən fərz olunan elektrik müqaviməti 1-3% dəqiqliklə ölçülürdü. Misal olaraq, şəkil 51-də beton blokda makroqırılmanın hazırlanması zamanı alınan  $\Delta p_f$  qiymətləri göstərilmişdir. Qırılma yüklənmənin 3 tsiklində 8 saat 50 dəqiqədən sonra baş vermiş və konsentratörün daxili uclarını (şəkil 49-da qırıq xətlə göstərilmişdir) birləşdirmişdi. Qeyd etmək lazımdır ki, yüklənmənin zirvəsi 17mPa 3 tsiklində 4 saat 50dəqiqədən sonra əldə olunmuşdu, bundan sonra təcrübə  $\sim 10^{-8}$  1/s deformasiya sürəti ilə yüklənmənin tədricən azalması ilə aparılmışdı. Bu təcrübədə tərəflərin səthi üzərində 13 elektrod bərkidilmişdi. Onlar fərz olunan elektrik müqaviməti və məxsusi potensialların qeydi üçün istifadə olunurdu. Qrafit pastasından olan cərəyan (qidalandırıcı) elektrodlar nümunənin kiçik tərəflərinə qoyulmuşdu. Müqavimətin ölçmə rejimində onlardan 0.02% dəqiqliklə stabilləşmiş sabit cərəyan buraxılırdı.

Ölçmələr 1 dəqiqədən bir polyarizə effektləri ölçülən kəmiyyətin 0.5% qədər azalması zamanı cərəyanın qoşulmasından sonra aparılmışdı.

1-3 tsikllərində 17mPa gərginlik əldə olunan ana qədər nümunənin yüklənməsinin artması zamanı demək olar ki, bütün trasslar üzrə elektrik müqavimətinin monoton azalması müşahidə olunmuşdu. Bu hadisə nümunədə çatların artması zamanı mühitin nəmli şəraitlərində cərəyankeçirici borular şəbəkəsinin genişlənməsi ilə izah oluna bilər. 1 tsiklində ayrı-ayrı trasslar üzrə azalma 12%-ə çatırdı. Daha aydın variasiyalar 3 tsiklində yüklənmə başladıqdan sonra son hədd yüklənməyə çatan zaman 4 saat 30 dəqiqədən başlayaraq qeyd olunmuşdur. Şəkil 49-da bəzi xarakter trasslar üzrə qrafiklər göstərilmişdir. Çatları birləşdirən xəttin ortasında yerləşən trasslar müqavimətin körfəzvari dəyişməsini göstərir.

Magistral qırılma istiqaməti boyu yerləşən 4-3 trassda müqavimət əvvəlcə enir.



**Şəkil 48.**  $\rho_t/\rho_0$  anomaliyasının əhəngdaşı blokunun qeyri-elastic deformasiya mərhələsinə aid olmasına misal (ştrixlənmiş interval) və  $\sigma(\epsilon)$  - reoloji asılılıq

Qırıq xətlə reoloji əyrinin elastic hissəsi göstərilmiştir.



Bu işə magistral qırılmanı formalaşdıran və yaranan çatlar boyu sukeçiriciliyin yaxşılaşmasına dəlalət edir. Eyni zamanda qırılmaya perpendikulyar olan 4-5 trassında müqavimət sinxron artır. Körfəzvari variasiyanın əks addımı 6 saat 30 dəqiqədən sonra qeyri-sabit deformasiyanın inkişafını əks etdirən model üzərində yüklənmə müstəqil surətdə azaldıqda müşahidə olunur. Belə ki, bu dövrdə modelin ümumi deformasiya sabit sürət- $10^{-8}$  1/s ilə süni şəkildə təmin olunmuşdu. 0-12 və 6-13 trassları magistral qırılmanın hazırlanma oblastından kənarında, modelin yuxarı və aşağı hissələrindən keçmişdi. Təcrübənin son mərhələsində 7 saat 30 dəqiqədən başlayaraq, onlar üzərində müqavimətin bərpası müşahidə olunmuşdu. Bu dövrdə model üzərinə tətbiq edilən yüklənmə endiyi üçün bu dəyişkənliyi ilkin yaranan mikroçatların bağlanması ilə əlaqələndirmək olar.

### **5.3. Betondan hazırlanmış kiçik model üzərində təcrübələr**

Selli dayanıqsız çatəmələgəlmə modelinin əsas şərtlərindən biri - deformasiya olunmuş mühitin gələcək qırılma və nisbətən müxtəlif fiziki parametrlə xarici zonaya ayrılması [56] - 4 elektrodlu elektrometrik cihazlarından istifadə etməklə quru modellər üzərində təcrübə olaraq göstərilmişdir [61,64,65].

İki tip modeldən: gərginlik konsentratları arasında baryerli və qismən formalaşmış qırılmalı tiptən istifadə olunmuşdu. Gələcəkdə onları “baryerli” və “qırılmalı” model adlandıracağıq. Hər 2 model ölçüləri 150x75x37.5

mm olan düzbucaqlı paralelepiped formalı betondan hazırlanmışdır. Beton qarışığı 2 hissə kvars qumdan (2 mm fraksiya) və 1 hissə sementdən ibarətdir. Təcrübədən əvvəl nümunə 30 sutka saxlanılmışdı. Nümunələr daxilində hazırlanma zamanı qalınlığı 0,5 mm olan 4 şüşə lövhə cüt-cüt yerləşdirilmişdir (şəkil 50). Bir-birinə söykənən lövhələrin səthlərinə sürtünməni azaltmaq üçün vazelin sürtülmüşdü. Lövhələr gərginliyin konsentrаторları rolunu oynayır. Bu isə bir oxlu sıxılma şəraitində nümunə daxilindəki lövhənin kənarları arasında yaxşı formalaşmış yerdəyişmə tip qırılmanı əldə etməyə imkan verir.

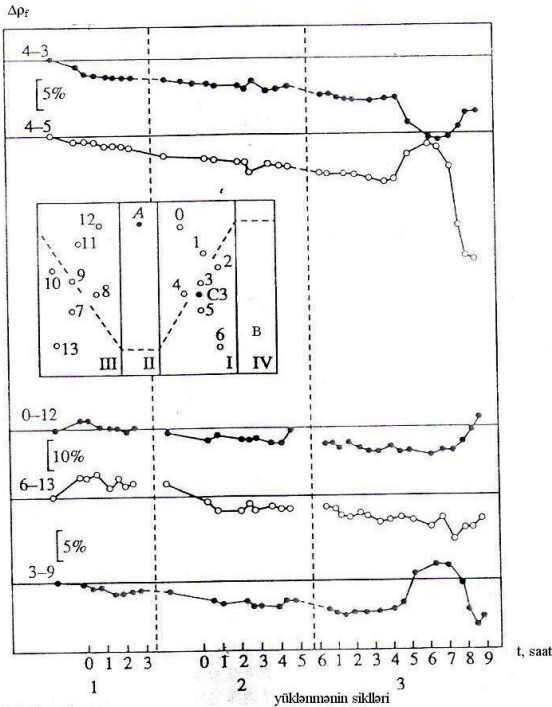
Bu tip 20 nümunə təcrübədən keçirilmişdir. Belə ki, 4 nümunə eyni zamanda yüklənmişdi. “Baryerli” modellərin deformasiya sürəti sabit olaraq  $6 \cdot 10^{-7}$  1/s və  $6 \cdot 10^{-8}$  1/s təşkil etmişdi. “Qırılmalı” modellərin nümunələrində konsentrатор-lövhələr arasında kağız lenti qoyulmuşdu. Bu qayda ilə gələcək qırılma sərhədlərinin “nöqtəvi” ilişməsi həyata keçirilmişdi. Bu, “baryerli” modeldən fərqli olaraq, 2-3 dəfə kiçik yüklənmələr zamanı perfolent boyu lokallaşmış nazik daxili qırılmanı əldə etməyə imkan vermişdi. 14 nümunə təcrübədən keçirilmiş, 4 təcrübədə 2 nümunə eyni zamanda yüklənmişdi. “Qırılmalı” modellərin sabit deformasiya sürəti  $2 \cdot 10^{-7}$  1/s təşkil etmişdi. Fərz olunan elektrik müqaviməti dəyişən cərəyanda müqavimət variometrinin köməyi ilə ölçülmüşdü. Bununla gələcək qırılma zonasının təkamülü daxili  $M_1N_1$  qəbuledici elektrod cütləri, həm də dağıntı müstəvisindən yuxarı və aşağı periferiya sahələrinin köməyi ilə nəzarət edilmişdi. Elektrodlar parafin əsaslı qrafit pudrasından hazırlanmış və isti vəziyyətdə dərinliyi və diametri 5 mm

olan əvvəlcədən hazırlanmış xırda kavernalarapreslənmişdi. Qeydedicilərin düzülməsi şəkil 50-də verilmişdir. Qidalandırıcı AB xəttində 2 Hs tezlikli cərəyan 100 mka-ə bərabər olmuşdu. AB cərəyan elektrodlarının zəifləmiş zonanın müstəvisində yerləşməsi nümunənin mərkəzi hissəsində daxili elektrodların yerləşdiyi yerdə cərəyanın daha yüksək sıxlığını təmin etmişdi. MN-nin paylanması 20-40 mm təşkil edirdi. Cərəyanın stabilləşməsi  $10^{-5}$  dəqiqliklə həyata keçirilmişdi. Faktiki olaraq, ölçmələrin dəqiqliyi 0,01%-dən çox olmurdu. Eyni olaraq, həmin MN xəttinin sığu dövrü 112 santəşkil edirdi. Müşahidələrin nəticələri əsasında fərz olunan müqavimətin nisbi dəyişməsi  $\Delta\rho_f = \rho_f / \rho_0 - 1$  çıxarılmışdı.

Göstərilən modellərlə aparılan təcrübələrdə əsas nəticə makroqırılmanın hazırlanma oblastında və ondan kənarında elektrik müqavimətinin sabit, təkrarlanan şəkildə variasiyalarının meydana çıxmasının aşkar olunmasıdır. Demək olar ki, hazır qırılma çox nazik, az qalınlıqlı hazırlanma zonasının formalaşmasını təmin edir, yüksək həssas çox kanallı variometr isə nümunənin müxtəlif hissələrində yerləşən nisbətən qısa qəbuledici xətlərdən istifadə etməyə imkan verir. Bu zaman “baryerli” model və tam formalaşmamış daxili yerdəyişmə tip qırılmaya malik olan model üçün dağıntı zonasında elektrik müqavimətinin təkamülündə kəskin fərq aşkar olunmamışdır. Bəzi fərqlər daha çox yüklənmə rejimi və qurunun sərtliyi ilə təyin olunurdu, nəinki modelin tipi ilə.  $\Delta\rho_k$ -nın dəyişməsində 2 faza ayırmaq olar: əvvəlcə müqavimət azalır, sonra isə görünən çatların əmələ gəlmə

mərhələsinə qədər yüksək sürətlə artması müşahidə olunurdu.

Hesab etmək olar ki, sıxılma zamanı elektrik kontaktlarının yaxşılaşması hesabına keçiricilik əvvəlcə artır. Sonrakı yüklənmələr zamanı mikroçatlar əmələ gəlir. Bu isə müqavimətin artmasına gətirib çıxarır. Nəticədə keçiriciliyin qiymətinin artması yavaşdır və sonra dayanır. Bu ona yaxın nümunə üzərindəki yüklənmə zamanı müşahidə olunub və bu baryer zonasında mürəkkəb quruluşlu daxili mikroqırılma zonasının formalaşması ilə bağlıdır.

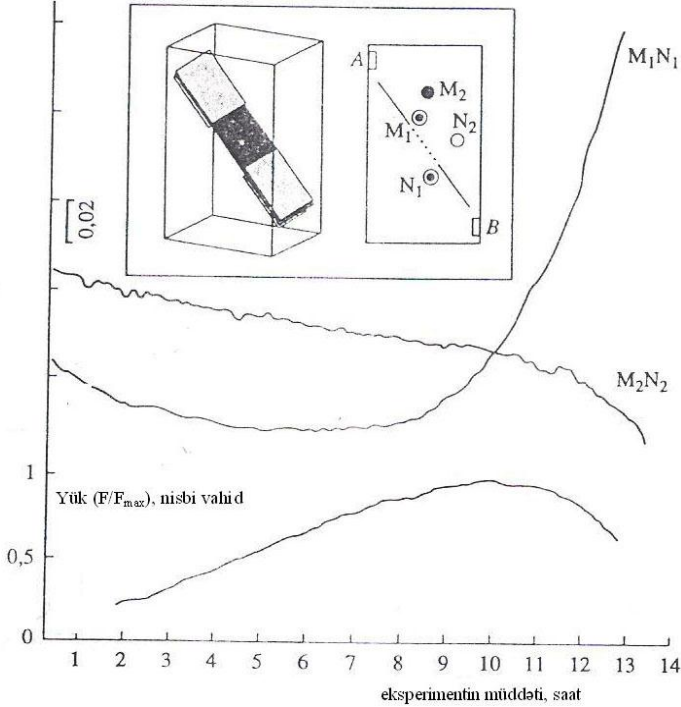


**Şəkil 49.** Böyük beton modelinin müxtəlif hissələri üçün elektrik müqavimətində makroqırılmanın

## xəbərvericilərinin görünməsi

AB-qidalandırıcı elektrodlar; 0-13 - qəbuledici elektrodların nömrələri

elektrik müqaviməti ( $\Delta\rho_f$ ), nisbi vahid



**Şəkil 50.** Lokal dağıntının hazırlanma zonasında ( $M_1N_1$ ) və ondan xaricdə ( $M_2N_2$ )  $\Delta\rho_f$ -nin xarakter dəyişməsi və yüklənmə qrafikləri

Yerdəyişmə tip çat sistemlərinin əmələ gəlməsi cərəyan keçirici strukturun pozulmasının inkişafına və müqavimətin sürətlə artmasına gətirir. İki ölçülü xətlər üzərində elektrik müqavimətinin dəyişməsinin tipik qrafiki şəkil 50-də təsvir edilmişdir.

Bilavasitə zəifləmiş zonada ölçülən elektrik müqavimətinin sürətlə artmasının başlanğıcı nümunə üzərində maksimal yüklənməyə çatma anını həmişə qabaqlayır. Təcrübələrdə bu xüsusiyyət daxili mikroqırılmanın formalaşmasının başlanmasının bir əlamətidir. Bu xüsusiyyət həm də makroqırılmanın gözləmə anının göstəricisi rolunu oynamasını ifadə edir.

Sabit deformasiya sürəti zamanı müqavimətin artması düşən yüklənmə fonunda baş verdiyi üçün bu mərhələni sonradan müşahidə olunan və yüklənmənin kəskin düşməsi ilə müşayət olunan dinamik hadisələrin xəbərvericisi kimi nəzərdən keçirmək lazımdır. Qırılmanın hazırlanma zonasında elektrik müqavimətinin sürətlə artması ilə eyni zamanda zonanı əhatə edən sahədə müqavimətin tədricən düşməsi qeyd olunur. Metodun həssaslığı eninə zəifləyən zonanın uzunluğunun yarısından az olmayan məsafədə müşahidə olunur. Ayrı-ayrı təcrübələrdə xarici zonada müqavimətin azalması daha böyük qiymətə malik olur, nəinki bilavasitə zona daxilində. Bu faktı makroqırılmanın formalaşmasının son mərhələsində qırılmaya nisbətən xarici sahədə gərginliklərin təkrar paylanmasının nəticəsi kimi interpretasiya etmək olar. Proses materialın nisbətən sürətlə bərkiməsi, kontaktların yaxşılaşması və keçiriciliyin artması ilə müşayət olunur.

Göstərilən şəkillərdən və digər analogi təcrübələrdən [44] aşağıdakı nəticələr alınır:

- makroqırılmanın formalaşma sahəsində elektrik müqavimətinin variasiyası adətən xarici zonada olan variasiyaya nisbətən əks işarəlidir;
- qısa ölçmə bazalarında variasiya amplitudları uzun

ölçmə bazalarından fərqli olaraq, daha böyükdür;

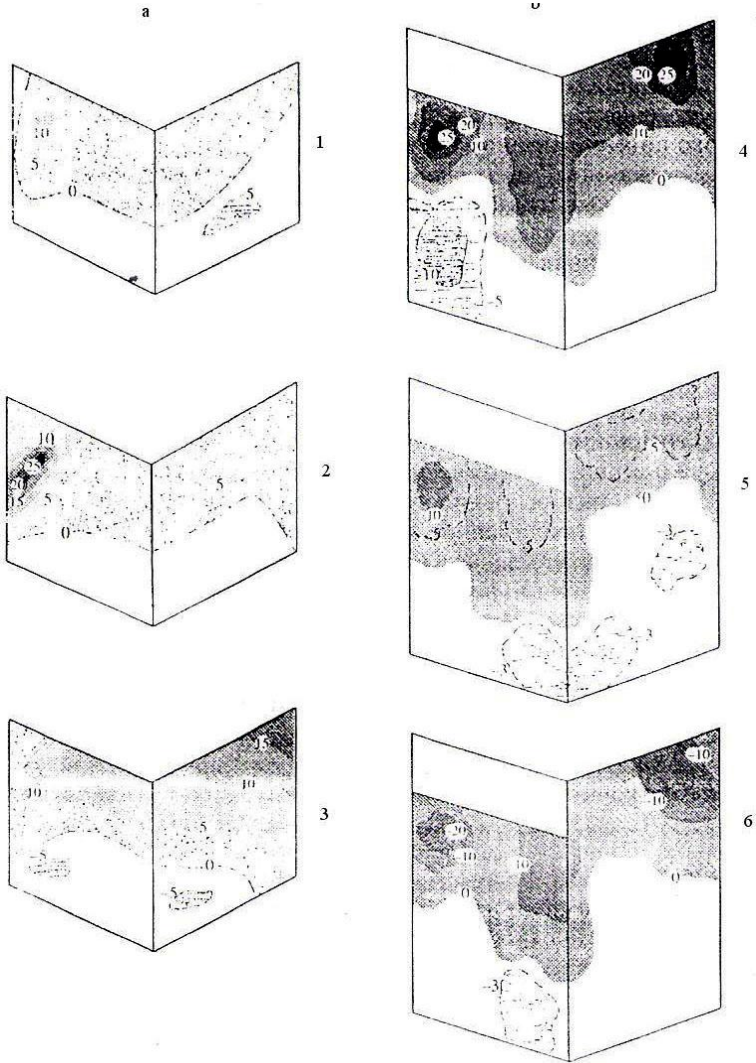
- makroqırılmaya yaxınlaşdıqca müxtəlif trasslar üzrə qiymətlərin dispersiyası artır.

#### **5.4.Məxsusi potensiallar və elektromaqnit emissiya**

$\Delta U$  məxsusi potensialların ölçülməsi mikro və makroqırılmanın inkişafı zamanı onların variasiyalarının qiymətini təyin etmək məqsədilə aparılmışdır [52,53].Onlarla elektrodlardan istifadə  $\Delta U$  anomaliyasının fəza strukturunun inkişafını öyrənməyə imkan vermişdi.Daha çox diqqət qranit və bazalt süxurlarının böyük bloklarında təbii potensialların tədqiqinə yönəldilmişdi.Hər təcrübənin əvvəlində ilkin sahə ölçülür və yan tərəfin səthi üzrə  $\Delta U$  izoxətlər xəritəsi qurulurdu.Müəyyən olunmuşdur ki, yüklənməmiş bloklarda hər elektrod cütləri arasında potensial fərqi 10 mV-dan çox olmamışdı. Qranitdə olduğu kimi bazaltda da yüklənmə prosesində uzaqda yerləşən “0” elektroduna nisbətən müsbət potensialların lokallaşmış sahələri yaranmışdı.Bu potensialların qiyməti bütün şəraitlərdə +30mV-dan çox olmurdu.Qranit və bazalt bloklarının müxtəlif yüklənmə etaplarında anomaliyaların relaksasiyası və müşahidə olunan misallar şəkil 51-də təsvir edilmişdir. Bu anomaliyalarda  $\Delta U$ -nün artma və relaksasiya dinamikası bloka mexaniki yüklənmənin dəyişkənlikləri ilə korelyasiya olunmur və akustik aktivliyin lokal yaranmasında müşahidə olunan çatəmələgəlmə prosesini əks etdirir.

$\Delta U$  anomaliyasının başlanğıc və max.qiyməti akustik aktivliyin bu xarakteristikalarını qabaqlayır.

Anomaliyaların elektrik strukturu süxur blokunun dağılmasından sonra 10 dəq ərzində mövcudluğunu saxlayır. Bu isə relaksasiya proseslərinin kiçik sürətinə işarədir.



**Şəkil 51.** Müxtəlif yüklənmə səviyyələri zamanı təbii



elektrik potensialların qranit (a) və bazalt (b) bloku səthində paylanması. İzoxətlərini şərtlənməsinə millivoltlardır

1-30 MPa; 2-55 MPa; 3-75 MPa (yüklənmənin 4 tsikli); 5-42 MPa; 6-75 MPa (yüklənmənin 5 tsikli).

Yüklənmənin təkrar artması zamanı əvvəlki anomaliya maksimal yüklənməni əldə etdikdən sonra yaranmışdır.

Süxurun böyük və qeyri-bircins nümunəsində ilkin elektrik sahəsinin çoxluğu real geoloji şəraitlərdə geniş yayılan diffuziya-adsorbsiya potensiallarının inkişafı ilə bağlıdır. Bu sahənin sabitliyi ion daşınma prosesinin stasionarlığı ilə müəyyən olunur. Nümunənin fiziki-mexaniki vəziyyətinin dəyişməsi və çatəmələgəlmə zonasının əmələ gəlmə prosesinin stasionar rejimini pozur. Bütövlükdə bu hadisə göstərilən mexanizmlə bitmir və elektrofiltrasiya güclərinin relaksasiya effektlərinin alternativ mexanizminin nəzərə alınmasını tələb edir.

Bununla belə elektrik rəqslərin qeydə alınan xüsusiyyətləri ion daşınma mexanizminin çərçivəsi daxilində tam izahını tapır. Məsələn, anomaliyaların mövcud olma müddəti, akustik aktivliyi yüksək olan zonalarla fəza-zaman əlaqəsi, elektrik struktur miraslılığı, anomaliyaların kəmiyyət üzrə məlum məhdudluğu qeyd oluna bilər.

Anomal variasiyaların böyük olmayan qiyməti (30mV qədər) bizim fikrimizə əsasən, Yer qabığının təbii şəraitlərində həmin potensialların aydın qeydinə imkan vermir. Bu laboratoriya şəraitlərində süxur nümunəsinin elektrik aktivliyinin ana massivi ilə müqayisədə nəzərə

çarpan itki effektinin olmadığına görə mümkündür. Oxşar fikir süxurların elektromaqnit şüalanmasına (EMŞ) aid edilir [66].

Təcrübələr onu göstərdi ki, qısa akustik siqnallar ayrılması 1-2 mm olan çatlarla uzun siqnallar isə ölçüləri 10-30 mm olan yerdəyişmə ilə əlaqədardır.

Elektromaqnit sahəsi süxur və beton blokları üzərində akustik emissiya ilə müqayisədə öyrənilmişdir. EMŞ-nin öyrənilməsi üçün geofiziki kəşfiyyatın radioimpuls metodundan istifadə olunmuşdur. Elektromaqnit siqnalların qəbulu blokun kənar səthindən 1 m məsafədə quraşdırılan maqnit antenna vasitəsilə həyata keçirilmişdi. Sonradan antennaya birləşdirilən qurğu bərabər tezlikli 0,4-3 MHz diapazonda dalğanı formalaşdırmışdı. Siqnalların qeydiyyatı АИ-1024-95 amplitud analizatoru vasitəsilə aparılmışdı. Ona kvadrat detektor və analogi yaddaş blokundan düzbucaqlı impulslar verilirdi. Axıncının amplitudu kvadrat detektorun çıxışında maksimal amplituda bərabər olmuşdu. Ölçmələr göstərmişdi ki, EMŞ-nin tək siqnallarının müddəti 10 mksan-dən çox olmur, müxtəlif amplitudlu siqnalların forması isə demək olar ki, eynidir. Bununla əlaqədar olaraq, ölçülən kəmiyyət elektromaqnit şüalanmasının enerjisinə mütənasib sayılmışdı.

Xarici maneələri aradan qaldırmaq üçün deformasiya olunmuş blokdan 10 m-lərlə məsafədə quraşdırılan kompensasiya maqnit antenasından istifadə olunmuşdu. Blokun tinindən 10 m məsafədə faydalı siqnalların amplitudu  $10^2$ - $10^5$  mV/m diapazonda yerləşirdi.

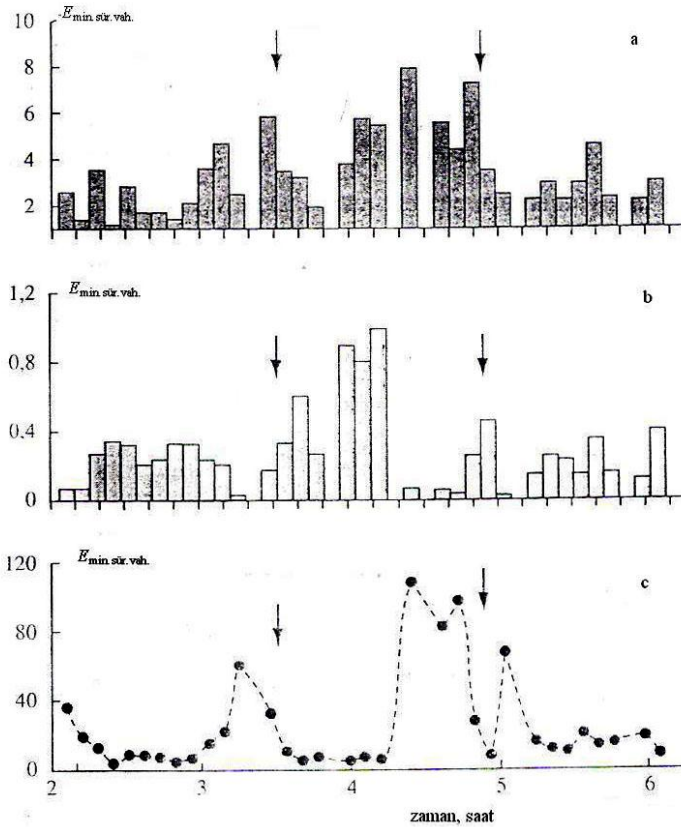
Akustik siqnalların qəbulediciləri rolunda məxsusi rəqslərin 0,6 MHz tezlikli pyezoqeydediciləri çıxış

edirdi. Bu siqnallar EMŞ-ı ilə analoji olan üsulla emal edilib və АИ-1024-95 vasitəsilə qeydə alınmışdı. Daxil edilən məlumat verilənlərin toplanmasının müəyyən intervalları ərzində EMŞ və AE enerjisinin paylanmasını öyrənməyə imkan vermişdi.

Şəkil 52-də müddəti 409,6 san olan zamanın ardıcıl intervalları ərzində  $E_{EMŞ}$  və  $E_{AE}$  enerjilərinin cəminin ayrılmasının histoqramları göstərilmişdir. Yüklənmənin verilən tsikli ərzində blokun daxilində güclü akustik effektivlə müşayiət olunan 2 makroçat əmələ gəlmişdir. Şəkildən görünür ki, AE sürəti cihazın həssaslığının başlanğıc qiymətinə qədər düşdükdə hər 2 hadisədən əvvəl akustik sakitlik müşahidə olunmuşdu. Eyni zamanda EMŞ aktiv yer tuturdu.  $E_{EMŞ}/E_{AE}$  nisbəti makroçatların xəbər vericiləri kimi nəzərdən keçirilən dəqiq maksimumları göstərir.

$E_{AE}$  və  $E_{EMŞ}$  siqnallarının yazılışı göstərdi ki, I siqnallar qısa müddətli (500 mksan-dən kiçik) akustik impulslarla sinxron görünür. Eyni zamanda uzun müddətli (>1msan) AE siqnallarının görünməsi müvafiq EMŞ siqnallarının yaranmasına səbəb olmur. Buradan belə qınaətə gəlmək olar ki axırıncıların elektromaqnit şüalanmasının generasiya qabiliyyəti yüksək deyil. Eyni metodun tətbiqi zamanı şaxtalarda Kola yarımadasının nefelin tərkibli süxurları üzərində V.M.Demin tərəfindən alınan nəticələrlə bu verilənlərin müqayisəsi maraqlı kəsb edir. Bu halda EMŞ-nin qəbul qurğusunun diapazonu kiçik tezliklər (20 kHs-ə qədər) istiqamətində genişləndirilmişdir, həm də məxsusi tezliyi 60 kHs olan akustik qəbuledicilər istifadə olunmuşdur.

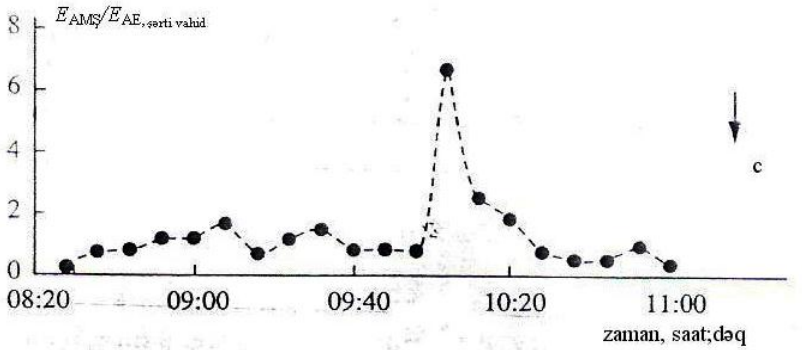
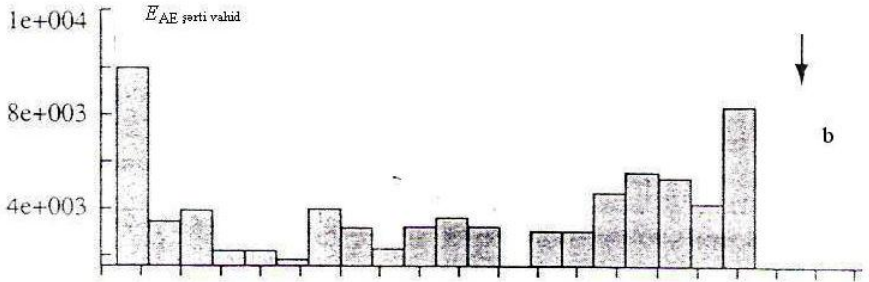
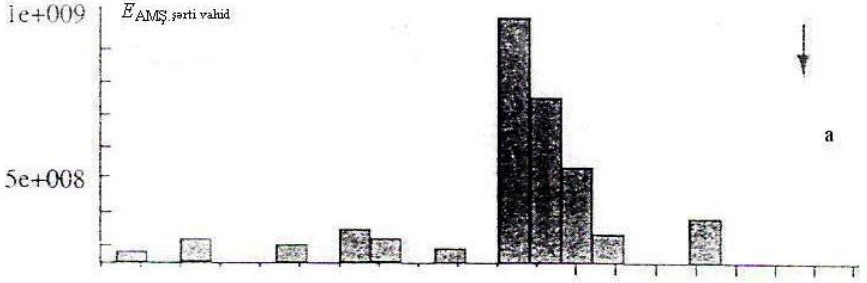
Süxur massivindən EMŞ və AE enerjiləri cəminin çıxarılması dağ təsirlərindən öncə tədqiq edilmişdir. Şəkil 53-də hər biri 409,6 san müddətində olan zamanın ardıcıl intervallarında EMŞ və AE enerjilərinin boşalmasına dair histoqramlar göstərilmişdir. Analoji qayda şəkil 52-də (laboratoriya təcrübəsi) müşahidə olunur.  $E_{EMŞ}/E_{AE}$  nisbəti isə  $k=4$  energetik sinfin dağ təsirinin xəbərvericisi kimi çıxış edir.



Şəkil 52. Böyük beton blokunun deformasiyası zamanı

elektromaqnit şüalanmasının  $E_{EMŞ}$  (a), akustik emissiya  $E_{AE}$  enerjisinin (b) ayrılması və  $E_{EMŞ}/E_{AE}$  qrafiki (c)

Oxlarla iri çatların yaranması nəticəsində baş verən güclü akustik siqnal anları göstərilmişdir.



**Şəkil 53.** Dağ zərbəsindən qabaq (oxla göstərilib) elektromaqnit şüalanması,  $E_{EMŞ}$  (a) akustik emissiya  $E_{AE}$  (b) enerjisinin ayrılması və  $E_{EMŞ}/E_{AE}$  qrafiki (c)

EMŞ siqnallarının əksəriyyəti 10mksan-dən kiçik olmayan zaman anında davam edirdi və 300 kHs-dən böyük tezliyə malik olmuşdu. Lakin az tezlikli (10-50 kHs), davam etmə müddəti 100-dən 400mksan-yə qədər olan siqnallara da rast gəlinirdi. Birinci siqnalların miqdarı dağ təsirinə qədər təxminən 1 saat ərzində artırdı və sonradan tədricən azalırdı. Kiçik tezlikli siqnalların miqdarı təsir anına qədər artma meylinə malik idi. EMŞ-nin yüksək tezlikli siqnalların miqdarının kiçik tezlikli siqnalların miqdarına olan nisbəti şəkil 53-də göstərilən  $E_{EMŞ}/E_{AE}$  nisbətinin xəbərvericisinin yaranması ilə eyni zamanda müşahidə olunduğundan anomal dəyişmə vermişdi.

Müxtəlif tezlikli elektromaqnit şüalanma siqnallarının süxur massivinin akustik aktivliyi ilə müqayisədə paylanması göstərir ki, dağ təsirinin hazırlanmasının ilkin mərhələsində yüksək tezlikli elektromaqnit impulslarını generasiya edən böyük miqdarda kiçik çat əmələ gəlir. Onların qarşılıqlı əlaqəsi və kritik konsentrasiyazamanı qarışması akustik və kiçik tezlikli elektromaqnit siqnallarını şüalandıran daha uzun çatların əmələ gəlməsinə gətirir. Belə mexanizm makrodağıntının hazırlanmasının konsentrasiya kriteriyası haqqında təsəvvürdən irəli gəlir.

Laboratoriya nümunələri və süxur massivləri üzərində miqyas səviyyəsində analoji proses zəlzələlərdən öncə bu

kimi effektlərin əmələ gəlməsinə dair bəzi ümidlər verir.Lakin tezlik diapazonu və yayılan siqnalların enerjisi kifayət qədər qarışıq ola bilər.

## NƏTİCƏ

Müxtəlif süxur nümunələrində (bloklarında) müxtəlif ölçüdə və deformasiya şəraitində həyata keçirilən laborator eksperimentlərin nəticələri aşağıdakı qanunauyğunluqları müəyyən etməyə imkan verir:

1. Gərginlik vəziyyətinin daxili strukturu qeyri-bircinslidir, şəbəkəvaridir və yarığın formalaşmasından asılı dəyişir.

2. Dayanıqsız deformasiyanın lokallaşması ani proses olmayaraq tədricən inkişaf edir. Bu zaman dayanıqsız deformasiya zonasının qalınlığı azalır, lakin ətraf materialda gərginlik azalır və qismən onun ilkin xassələri bərpa olunur.

3. Yarığın yerini deformasiyanın miqrasiyasını ocaqdan periferiyaya və geri ardıcıl izləməklə müəyyən etmək olar.

4. Uzununa və eninə seysmik dalğaların və onların nisbətinin körfəzvari dəyişməsinə deformasiyanın formalaşan yarıqla zonasında lokallaşması ilə izah etmək olar. Dayanıqsız deformasiya zolağının ensizləşməsi ilə əlaqədar onun oradan keçən elastiki dalğaların sürətinə təsiri azalır və beləliklə, sürət ilkin qiymətinə qayıdır.

5. Formalaşan yarıqla zonasında elektrik müqavimətinin variasiyaları əksər hallarda xarici zonalarla müqayisədə əks işarəli olurlar.

6. Uzununa və eninə elastiki dalğaların və elektrik müqavimətinin dəyişmələrinə miqyas faktoru effekti xasdır. Ölçmə bazası artdıqca anomaliyanın qiyməti kiçilir.

7. Elektromaqnit emissiya signalının makroqırılmanın



baş vermə vaxtı yaxınlaşdıqca siqnalların tezliyinin azalmasını formalaşan makroqırılmanın tədricən uzunlaşması ilə əlaqələndirmək olar.

## ƏDƏBİYYAT

1. Handin J., Heard H. C., Magouirk J.N. Effects of the intermediate principal stress on the failure of limestone, dolomite and glass at different temperatures and strain rates, *J. Geophys Res.*, 72, pp. 611-640, 1967.

2. Niwa Y., Koyanagi W., Kobayashi s. Failure criterion of light weight concrete subjected to triaxial compression, *Proc.Jap., Soc.Civ. Eng.*, 143, pp. 28-35, 1967.

3. Hojem J.P.M., Cook N.g. W. The desing and construction of a triaxial and polyaxial cell for testing rock specimens, *S.Afr. Mech. Eng.*, 18, pp. 57-61, 1968.

4. Mogi K. Effect of the triaxial stress on rock failure, *Rock Mech. Jap.*, 1, pp. 53-55, 1970.

5. Griggs D.T., Handin J., ed. Rock deformation, *Geol. Soc. Am. Mem.*, 79, pp. 1-382, 1960.

6. Handin J., Strength and ductility, in: Clark S.P., ed. *Handbook of Physical Constants*, *Geol. Soc. Am. Mem.*, 97, pp. 238-289, 1966.

7. Heard H.C. Transtion from brittle fracture to ductile flow in Solenhofen Limestone as a function of temperature, confining pressure and interstitial fluid pressure, *Geol. Soc. Am. Me.*, 79, pp. 193-226, 1960.

8. Mogi K. Study of elastic shocks caused by the fracture of heterogeneous materials and its relation to earthquake phenomena, *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ.*, 40, pp. 125-173, 1962.

9. Obert L., Duval W. Use of subaudible noise for predixtion of rockburst, *U.S. Bur. Mines. Rep. Invest.*, 3634, pp. 1-13, 1942.

10. Scholz C. H. Microfracturing and the inelastic deformation of rock in compression, *J. Geophys. Res.*, 73, pp. 1417-1432, 1968a.

11. Matsushima S. On the flow and fracture of igneous rocks, *Disaster Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Bull.*, 36, pp. 2-9, 1960b.

12. Brace W. F., Byerlee J. D. Recent experimental studies of brittle fracture in rocks, in: Fairhurst C., ed., *Failure and Breakage of Rock, Proc. 8th Symp. Rock Mech. Univ. Minnesota, Minneapolis, Minn.*, pp. 58-81, 1967.

13. Matsushima S. Variation of the elastic wave velocities of rocks in the process of deformation and fracture under high pressure, *disaster prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Bull.*, 32, pp. 1-8, 1960a.

14. Shimozuru D., Elasticity of rocks under the initial stresses, with special reference to the fracture problem, *Bull. Earthquake Res. Inst., Tokyo univ.*, 33, pp. 437-448, 1955.

15. Brace W. F., Orange A. S. Electrical resistivity change in saturated rocks during fracture and frictional sliding, *J. Geophys. Res.*, 73, pp. 1433-1445, 1968.

16. Brace W. F., Brittle fracture of rocks, in: Judd W. R., ed., *State of stress in the Earth's crust*, Elsevier, New York, N.Y., pp. 111-174, 1964.

17. Bieniawski Z.T. Mechanism of brittle fracture of rock, I, Theory of the fracture process; II Experimental studies; III, fracture in tension and under long-term loading, *int. J. Rock mech. Min. Sci.*, 4, pp. 395-406; 407-423; 425-430, 1967.

18. Мамедов А.Л. Электрические свойства магматических пород при высоких термобарических параметрах. Баку, изд. Политех, 2014, 208с.

19. Raleigh C.B., Paterson M.S. Experimental deformation of serpentinite and its tectonic implications. – J. Geophys. Res., 1965, vol. 70, N 16, p.

20. Мамедов А.Л., Новрузов А.Г. Экспериментальные исследования роли физико-химических процессов в формировании глубоководной сейсмичности. Девятые геотектонические чтения им. В.В. Федынского, 1-3 марта, Москва, 2007, с. 78-79.

21. Griggs D.T., Turner F., Borg J., Sosoca J. Deformation of Jule marble. - Bull., Geol. Soc. Amer., pt. IV, 1951, vol. 62, N 12, p. 1385-1406; pt V, 1953, vol. 64, N 12, p. 1327-1342.

22. Griggs D.T., Miller W.B. Deformation of Jule marble, pt 1. - Bull. Geol. Soc. Amer., 1951, vol. 62, n 8, p. 853-862.

23. Ставрогин А.Н., Певзнер Е.Д. Физико-химические свойства горных пород при динамических нагрузках в условиях сложных напряженных состояний. - В кн.: Физические свойства горных пород при высоких термодинамических параметрах. Киев: Наукова думка, 1971, 238с.

24. Ставрогин А.Н., Лодус Е.В. Механические свойства горных пород при различных видах напряженного состояния и широкой вариации скоростей деформирования. - В кн.: Физические свойства горных пород при высоких давлениях и температурах. Тбилиси: Мецниереба, 1974, с. 274.

25. Воларович М.П., Томашевская И.С., Будников В.А. Механика горных пород при высоких давлениях. М., Наука, 1979, 152с.

26. Matsushima S. Variation of the elastic wave velocities of rocks in the process of deformation and fracture under pressure. - *J. Phys. Earth*, 1960, vol. 8, N 1, p. 2-8.

27. Matsushima S. Fracture of rocks in solid medium; a consideration of the occurrence of the earthquake sequences. - *Spec. Contr. Geophys. Inst. Kyoto Univ.*, 1966, N 6, p. 289-301.

28. Воларович М.П., Баяк, Е.И., Левыкин А.И., Томашевская И. С. Физическо-механические свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах. М.: Наука, 1974, 223с.

29. Томашевская И.С., Хамидуллин Я.Н. Предвестники разрушения образцов горных пород. - *Изв. АН СССР. Физика Земли*, 1972, № 5, с. 12-20.

30. Томашевская И.С. Определение скорости продольных волн в образцах горных пород при испытаниях на сжатие до разрушения при различных всесторонних давлениях. - В кн.: *Проблемы механики горных пород*. Алма-Ата: Наука, 1966, с. 407-412.

31. Шамина О.Г., Осокина Д.Н., Томашевская И.С., Воларович М.П. Модельные и экспериментальные исследования разрушения и связанных с ним процессов. - В кн.: *Предвестники землетрясений*. М.: ВИНТИ, 1973, с. 28-60.

32. Шамина О.Г. Упругие импульсы при

разрушении образцов горных пород. - Изв. АН СССР. Сер. Геофиз., 1956, № 5, с. 513-518.

33. Виноградов С.Д., Мирзоев К.М., Саломов Н.Г. Исследования сейсмического режима при исследовании образцов. Душанбе: Дониш, 1975, 118 с.

34. Моги К. Лабораторные испытания неоднородных пород на разрыв. – Вкн.: предсказания землетрясений. М.: Мир, 1968, с. 109-111.

35. Журков С.Н., Куксенков В.С., Петров В.Я. и др. О прогнозировании разрушения горных пород. - Изв. АН СССР. Физика Земли, 1977, № 6, с. 11-18.

36. Пархоменко Э.И., Бондаренко А.Т. Электропроводность горных пород при высоких давлениях и температурах. М.: Наука, 1972, 279 с.

37. Brace W.F., Orange A.S. Electrical resistivity changes in saturated rock under stress. - Science, 1966, vol. 153, N 3743, p. 1525.

38. Brace W.F., Orange A.S. Further studies of the effects on pressure on electrical resistivity of rocks. - J. Geophys. Res., 1968, vol. 73, N 16, p. 5407-5420.

39. Мамедов А.Л., Пархемонко Э.И., Салехли Т.М. Распределение электросопротивления с глубиной по лабораторным измерениям и электрокаротажу. Изв. АН СССР. Серия Физика Земли, 1989, № 6, с. 65-68,

40. Мамедов А.Л., Пархемонко Э.И., Салехли Т.М. Особенности изменения электропроводности изверженных пород в разрезе саатленской СГ-1 с учетом термодинамических факторов. Док. АН Азерб. СССР, т.45, 1989, т.9, с. 27-30.

41. Məmmədov Ə.L. Zəlzələlərin proqnozunun fiziki-

geoloji əsasları, Bakı, “Təhsil”, 2015, 112s.

42. Томашевская И.С., Звягинцев Л.И. Петрофизические свойства пористого базальта при сложнапряженном состоянии. В кн.: Физические свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах. М., Наука, 1978, с. 71-80.

43. Seifert K.E. Strength of Adirondack anorthosite at elevated temperatures and pressures. Bull. Geol. Soc. Amer., 1969, vol.80, N 10, p.2053.

44. Соболев Г.А., Кольов А.В. Крупномасштабное моделирование подготовки предвестников землетрясений. М.: Наука, 1988. 203 с.

45. Sobolev G., Getting I., Spetzler H. Laboratory study of the strain field and acoustic emissions during the failure of barrier // JGR. B, 1987, vol. 92, N 9, p. 9311-9318.

46. Spetzler H., Sobolev G., Getting I. Holography in laboratory experiments pertinent to rock deformation and failure // Laser Holography in Geophysics / Ed.s. takemoto.Ellis Horwood Limited, Chichester, England, 1989, p. 31-100.

47. Birch F. The velocity of compressional waves in rocks to 10 kbars // J. Geophys. Res., vol. 65, 1960, p. 1083-1102.

48. Bonner B.P.  $V_p/V_s$  in saturated granodiorote loaded to failure // PAGEOPH., vol. 113, 1975, p. 25-29.

49. Handley K.  $V_p/V_s$  anomalies in dilatant rock samples // PAGEOPH., 1975, vol. 113, p. 1-23.

50. Gupta I.N. Seismic velocities in rock subjected to aial loading up to shear fracture // J. Geoph. Res., 1973, vol.

78, p. 6936.

51. Lockner D.A, Walsh J.B., Byerlee J.D. Changes in seismic velocity and attenuation during deformation of granite // J. Geoph. Res., vol. 82, 1977, p. 5374-5378.

52. Шамина О.Г., Понятовская В.И. Модельные исследования неоднородных и трещиноватых сред. М.: ИФЗ РАН, 1993, 179 с.

53. Семенов А.Н. Изменение отношения времен пробега поперечных и продольных волн перед сильными землетрясениями // Изв. АН СССР. Физика Земли, 1969, №4, с. 72-77.

54. Aggarwall Y.P., Sykes L.R., Simpson D.W., Richards P.G. Space and temporal variations of  $t_s/t_p$  and P wave residuals at Blue MOUNTAIN Lake // J. Geophys. Res., 1973, vol. 80, p. 718-732.

55. Соболев Г.А., Завьялов А.Д. О концентрационном критерии сейсмогенных разрывов // докл. АН СССР, 1980, т. 252, № 1, с. 69-71.

56. Соболев Г.А., Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993, с. 313.

57. Пахроменко Э.И. Электрические свойства горных пород. М., Наука, 1975, 164 с.

58. Bonner W.F., Orange A.S. Electrical resistivity changes in saturated rocks during fracture and frictional sliding // J. Geophys. Res., 1968, vol. 73 (4), p. 1433.

59. Morrow C., Brace W.F. Electrical resistivity changes in tuffs due to stress // J. Geophys. Res., 1981, vol. 86, N B4, p. 2929-2934.

60. Zhaoyulin, qian Fuye, Stopinski W. In situ experiments and a relationship between electrical



resistivity changes and the strains // *acta geophys. Polonica*, 1990, vol. XXXVIII, N 2.

61. Пономарев А.В. Изучение вариаций электрического состояния пород применительно к поискам предвестников землетрясений. Автореф. Дис. канд. физ.-мат. наук, М., 1987, с. 24.

62. Sobolev G.A., Ponomarev A.V., Kolstov A.V., Smirnov V.B. Simulation of trigger earthquakes in the laboratory // *PAGEOPH.* 1996, vol. 147, N 2, p. 345-355.

63. Qian Jiadong, Gui Xietai, Lu Yangquan Progress in the observational and experimental studies in the earthquake prediction by using geoelectrical resistivity method in China // *J. Earthquake Prediction Res.*, 1993, vol. 2, N 2, p. 151-170.

64. Пономарев А.В., Лось В.Ф., Хромов А.А., Стопинский В. Вариации электросопротивления-предвестники разрушения в опытах на управляемом прессе. Деп. ВИНТИ 07.06.89, № 4835-B89, с. 2-24.

65. Stopinski W., Ponomaryov A.V., Los V. The dynamics of rupture in porous media // *PAGEOPH.*, 1991, vol. 136, N 1, p. 29-47.

66. Соболев Г.А., Семерчан А.А., Салов Б.Г. и др. Предвестники разрушения большого образца горной породы // *Изв. АН СССР, Физика Земли*, 2001, № 8, 1982, с. 29-43.