

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

GEODİNAMİK PROSESLƏRİN TƏDQIQINDƏ ELEKTROMAQNİT MONİTORİNQİN SƏMƏRƏLİLİYİ

İxtisas: 2507.01 – Geofizika, faydalı qazıntıların
geofiziki axtarış üsulları
Elm sahəsi: Yer elmləri

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş

DİSSERTASIYA

İddiaçı: Rəhman Həkim oğlu Piriyev

Elmi rəhbərlər: Geologiya-mineralogiya elmləri doktoru
Baba Manaf oğlu Qarayev

Geologiya-mineralogiya elmləri namizədi, dosent
Etibar Seyfulla oğlu Novruzov

Bakı – 2022

MÜNDƏRİCAT

Giriş	5
I Fəsil. SÜXURLARIN DEFORMASIYA MEXANİZMINİN NƏZƏRİ VƏ TƏCRÜBİ TƏDQIQI NƏTİCƏLƏRİNİN ANALIZI	11
1.1. Elektromaqnit sahəsinin yaranma mexanizminin analizi	11
1.1.1. Dipol mənbələrinin səciyyəsi	12
1.1.2. Geoloji mühitin modelləri və başlıca parametrləri	14
1.2. Geofiziki sahələrin öyrənilməsində geodinamik amillərin nəzərə alınması	16
1.2.1. Real zaman rejimində gərginlik-deformasiya şəraitinin analizi	16
1.3. Süxurların deformasiyasının fiziki xassələrə təsirinin təcrübi tədqiqi	17
1.4. Süxurların petrofiziki xüsusiyyətlərinin riyazi modelləşdirilməsi	30
II Fəsil. GEODİNAMİK AKTİV ZONALARDA APARILMIŞ ELEKTROMAQNİT MONİTORİNQ ÜSULLARI	36
2.1. Şimali Tyan-Şanda aşağı tezlik diapazonunda aparılmış maqnitotellurik monitorinq	37
2.1.1. Tyan-Şan seysmoaktiv zonada geniş tezlik diapazonunda aparılmış elektromaqnit monitorinq	38
2.2. Kamçatka yarımadasında aparılmış elektromaqnit monitorinq	40
2.3. Kola yarımadasında Yer qabığının fluid rejiminə və elektrik keçiriciliyinə Ay-Günəş qabarma deformasiyalarının təsiri	47
2.4. Quam adasında baş vermiş güclü zəlzələnin tədqiqinin analizi	48
2.5. Ultra aşağı tezlik məlumatlarına əsasən İzu yarımadasında baş vermiş zəlzələ silsilələrinin tədqiqi	50
2.6. Tayvan adasının Çi-Çi rayonunda baş vermiş güclü zəlzələnin ultra aşağı tezlik xəbərvericiləri	50

III Fəsil. REAL ZAMAN REJİMİNDƏ ZƏLZƏLƏLƏRİN	
PROQNOZLAŞDIRILMASININ XÜSUSİYYƏTLƏRİ	52
3.1. Real zaman rejimində Kamçatka yarımadasında aparılmış elektromaqnit monitorinqin əsaslarının analizi	52
3.2. Adaptiv emal üsullarının tətbiqi ilə geodinamik proseslərin elektromaqnit monitorinq məlumatlarının emal metodikası	59
3.2.1. Adaptiv darzolaqlı süzgəcləmə üsulu ilə spektral-zaman analizi	62
3.3. Maqnitotellurik monitorinqin tətbiqi ilə geodinamik proseslərin öyrənilməsinin analizi	63
3.4. Mühitin admitans xüsusiyyətlərindən istifadə etməklə maqnitotellurik sahənin monitorinqinin əsaslandırılması	68
3.5. Maqnitotellurik monitorinqin tətbiqi ilə geodinamik proseslərin öyrənilməsinin nəticələri	71
3.6. Geodinamik obyektlərə avtomatlaşdırılmış nəzarət sisteminin təşkili imkanlarının analizi	80
IV Fəsil. GEOFİZİKİ MONİTORİNG MÜŞAHİDƏLƏRLƏ ZƏLZƏLƏLƏRİN	
PROQNOZLAŞDIRILMASININ TEKTONİK ƏSASLARI	85
4.1. Geodinamik obyektlərin və proseslərin modelləşdirilməsi	87
4.1.1. Elektromaqnit sahələrdən anomal təşkiledicilərin ayrılması	90
4.1.2. Yerin geomaqnit sahəsinin qısdövrü rəqslərinin öyrənilməsi ilə monitorinq sisteminin qurulması	94
4.1.3. İmpuls geomaqnit mənbələrinin monitorinqinin aparılma metodikasının tətbiqi	96
V Fəsil. AZƏRBAYCANDA REAL ZAMAN REJİMİNDƏ APARILMIŞ	
MAQNİTOTELLURİK MONİTORİNGİN TƏTBİQİNİN	
SƏCİYYƏSİ	100
5.1. Elektromaqnit monitorinq nəticələrinin emal prosedurlarının analizi	100

VI Fəsil. ZƏLZƏLƏ QABAĞI MÜŞAHİDƏLƏR VƏ ONLARIN ZƏLZƏLƏ PROQNOZUNDA TƏTBİQİNİN NƏTİCƏLƏRİNİN MÜQAYİSƏLİ TƏHLİLİ	111
6.1. Elektromaqnit sahəsində müşahidə olunan siqnallarla zəlzələ proqnozu mümkündürmü?	113
6.2. Zəlzələ qabağı proseslərin interpretasiyasının zəlzələlərin proqnozlaşdırılmasında əhəmiyyəti	114
6.3. Zəlzələlərin tədqiqində elektromaqnit monitorinqin effektivliyi	116
6.4. Elektromaqnit sahəsinin ölçülməsi üsullarının icmalı	125
6.5. Zəlzələlərin elektromaqnit xəbərvericiləri: tədqiqatların müqayisəli analizi	126
6.6. Zəlzələlərin elektromaqnit monitorinqlə tədqiqində ultra aşağı tezlik siqnalları səmərəli zəlzələ xəbərvericiləri kimi	140
Nəticələr	149
İstifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı	150
Əlavə	172
İxtisarlər və şərti işarələr	175

GİRİŞ

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi

Müasir dövrümüzdə geodinamik gərginlik zonalarının tədqiqatı ilə bağlı aktual məsələlərdən biri həmin zonalarda geofiziki monitoring tədqiqatlarının aparılmasıdır. Seismoaktiv, sürüşmə, uçqunlar və karstların inkişaf etdiyi dayanıqsız zonalarda inşa edilmiş müxtəlif obyektlərin təhlükəsizliyinin qorunması məqsədilə geofiziki monitoring tədqiqatlarının aparılması zərurəti ortaya çıxır. Əsasən real zaman rejimində litosferin və təbii mühitin tədqiqi məqsədilə aparılan monitorinqlər, onların nəzəri və praktiki işləmələri Amerika, Çin, Yaponiya, Yunanıstan, Azərbaycan və digər ölkələrin alimləri tərəfindən aparılmış və hal-hazırda da onların metodikaları təkmilləşdirilməkdədir. Elektromaqnit (EM) və ya maqnitotellurik (MT) monitoring üsullarının nəzəri əsasları, onların praktiki tətbiqi, elmi zənginləşdirilməsi sahəsində xarici ölkə alimlərindən A.Tixonovun, Q.A.Sobolevin, B.S.Svetovun, D.A.Stanicanın, M.Hayakavanın, Y.A.Kopytenkonun, O.A.Molçanovun, Azərbaycan alimlərindən K.M.Kərimovun, E.S.Novruzovun, Ə.Ə.Abdullayevin və başqalarının böyük xidmətləri vardır. Bu alimlərin tədqiqatları əsasında təklif olunmuş monitoring üsulları texniki məsələlərin həllində mühüm rol oynayır. Bundan başqa, real zaman rejimi daxilində geodinamik aktiv zonaların praktiki olaraq öyrənilməsində müxtəlif xüsusiyyətə malik geoloji mühitdə aparılan tədqiqatlar zamanı həmin mühitlərlə əlaqədar kiçik amplituda malik geodinamik variasiyaların ayrılması zamanı müəyyən dərəcədə çətinliklər üzə çıxır. Bununla əlaqədar olaraq geodinamik zonalardan alınmış monitoring məlumatlarının emal olunmasında əsas qiymətləndirici amil olaraq geodinamik proseslərin modelləşdirilməsi və təhrif yaradıcı amillərin işlənməsinə diqqət yönəlməlidir.

Hal-hazırda təcrübədə tətbiq olunan monitoring üsulları və geodinamik gərginlik zonalarına nəzarət sistemləri xüsusən elmi tədqiqat işləri üçün nəzərdə tutulmuşdur. Məhz bu səbəbdən real zaman rejimində cari geodinamik proseslərin dəyişikliklərinin operativ emalını aparmaq və bununla əlaqədar tədbir görməkdə bir sıra çətinliklər yaranır. Deməli, geodinamik proseslərin EM monitoringinin elə bir sistemi yaradılmalıdır ki, aşağı tezlikli EM sahələrinin bütün xüsusiyyətlərini real zaman

rejimində nəzərə alsın.

Zəlzələ katastrofik təbiət hadisələrindən biridir. Uzun illərdir ki, tədqiqatçılar müxtəlif üsullarla bu geodinamik hadisənin tədqiqatını aparırlar. Son 100 il ərzində zəlzələlərin fəsadları nəticəsində ölənlərin sayı 2 milyonu aşmışdır. Bu səbəbən də zəlzələlərin tədqiqatı əsas məsələlərdən biridir. Ən dağıdıcı zəlzələlər baş verən ölkələrin içərisində ilk yerləri İran, Çin, Türkiyə, Yaponiya və Hindistan tutur. EM monitoring üsullarından istifadə olunaraq zəlzələlərin proqnozlaşdırılması cəhdləri həm aktiv, həm də passiv rejimlərdə həyata keçirilir. Nisbətən əhəmiyyət kəsb edən monitoring nəticələri Çin Xalq Respublikasında əldə edilmişdir. Belə ki, orada Venera və Şlumberje şaquli elektrik zondlama qurğuları istifadə edilmişdir. Zəlzələ qabağı elektrik müqavimətinin kəskin dəyişikliyi aşkar edilmişdir. Yaponiyada elektrik müqavimətini fasiləsiz olaraq qeyd edən variometrlərin tətbiq olunması ilə laborator tədqiqatlar geniş inkişaf etmişdir. Yunanıstanda yerdə cərəyanlar yaradan elektro-kinetik, elektro-kimyəvi və filtrasiya prosesləri elektro-tellurik müşahidələrin əsas tədqiqat obyektinə olmuşdur. Keçmiş SSRİ məkanında proqnoz məsələlərin həllində istifadə olunan elektrik kəşfiyyatından çox zəngin təcrübə toplanmışdır. Buna baxmayaraq bu müddət ərzində biz zəlzələlərin elmi proqnozu məsələsinin həllinə yaxınlaşa bilməmişik. Bu bir sıra səbəblərdən, o cümlədən vahid proqnoz strategiyasının olmamasından asılı idi. Yer qabığına elektrik müqavimətinin dəyişməsinin ölçülməsinə əsaslanmış zəlzələ proqnozuna gəldikdə isə, yuxarıda göstərilən nümunələrdə müşahidə şəbəkəsinin, müxtəlif tədqiqatçıların istifadə etdikləri instrumental bazanın kifayət qədər inkişaf etməməsi ilə səciyyələnmişdir [41]. Zəlzələ qabağı EM hadisələri izləmək və onların arasında zəlzələ xəbərvericilərini aşkarlamağa cəhdlər göstərmək geodinamik proseslərin tədqiqat üsullarından biridir. Zəlzələ qabağı seysmik xəbərverici əlamətlər təkcə litosferdə deyil, atmosfer və ionosferdə də yaranır [101, 170, 199]. Bu sahədə çoxsaylı inandırıcı sübutlar mövcuddur. Hələ 2007-ci ildə Yaponiya alimi Masaşi Hayakava və Rusiya alimi Oleq Molçanov ən azı 3 səbəb göstərmişdir ki, bu cür tədqiqatların aparılması zəruridir. Bu səbəblərdən birincisi zəlzələ qabağı maraqlı müşahidə faktlarının aşkarlanması (UAT emissiyası), ikincisi seysmikliklə müşayiət olunan EM və digər

effektlərin tədqiqatını aparan 2 nəhəng proyekt (RIKEN və NASDA UAT müşahidə şəbəkələri) əhatə etdiyi və ən azı qısa müddətli proqnozu tədqiq edən Yaponiya hökuməti tərəfindən qurulmuş xüsusi tədqiqat proqramları və nəhayət üçüncüsü isə zəlzələlərlə əlaqəli EM effektlərin tədqiqatı məqsədilə Fransada yaradılmış DEMETER süni peykinin həyata keçirilməsidir. Qeyd etmək lazımdır ki, son 20 ildə zəlzələlərin EM xəbərvericilərin aşkarlanması nöqteyi nəzərdən proqnozlaşdırılması cəhdlərində vacib nəticələr əldə edilmişdir [97, 98, 109]. Göstərilən bu tədqiqatlardan alınmış nəticələr təhlil edilərək dissertasiyada öz əksini tapmışdır. Bundan başqa dissertasiyada geodinamik hadisələrdən qabaq EM sahəsində baş verən xəbərvericilər hesab olunan anomal dəyişikliklər tədqiq olunaraq onların bu hadisələrin öyrənilməsində perspektivliyi işıqlandırılıb və yeni nəticələr təqdim olunub.

Yuxarıda qeyd olunanlara əlavə olaraq Azərbaycan geofiziklərinin aldıkları patentlər əsasında qurulmuş MTS-MTM proqram təminatı real zaman rejimində geodinamik gərginlik zonalarında monitorinq apararaq yerin təbii EM sahəsinin maqnit və elektrik təşkilədicilərinin xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi vasitəsilə zəlzələlərin proqnozunu 2-3 gün əvvəlcədən vermək cəhdlərində alınan nəticələrin mühitin admittans səciyyəsinin tədqiqi baxımından araşdırılması xüsusi maraq kəsb edir. Bununla da, dissertasiya işini aktual hesab etmək olar.

Tədqiqatın obyektı və predmeti

Tədqiqatın obyektı geodinamik proseslərin təsirindən EM dalğalarının ultra aşağı tezlik (UAT) və aşağı tezlik (AT) diapazonlarında dəyişməsi qanunauyğunluqlarının öyrənilməsidir.

Tədqiqatın predmeti geodinamik zonalara nəzarətlə əlaqədar üsullar, alqoritmlər və proqramlardır.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri

Tədqiqatın məqsədi geodinamik proseslərin MT sahələrə təsirindən alınan nəticələrin analizi və adaptiv emal proseduru ilə EM monitorinq prosesinin öyrənilməsidir.

Tədqiqatın vəzifələri aşağıdakılardır:

1. Real zaman rejimində emal sistemləri əsasında aparılmış tədqiqatların xüsusi

siyyətlərinin araşdırılması

2. Geodinamik zonalara nəzarət əsasında əldə edilmiş EM məlumatlarının formalaşdırılması və onların tətbiq olunması

3. Adaptiv emal üsulunun tətbiqində mühitin admitans xüsusiyyətlərinin işlənməsi.

4. Geodinamik gərginlik zonalarının EM sahəsində təzahürünün Azərbaycan və xarici ölkələr üzrə təhlili

Tədqiqat metodları

Qarşıya qoyulmuş məsələlərin həlli spektral-zaman analizi, ən kiçik kvadratlar üsulunun iterasiya variantının tətbiq olunması ilə aparılmışdır.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar

1. Geodinamik gərginlik zonalarına nəzarəti təmin edən xüsusi sistem və proqram təminatına daxil edilən mühitin admitans səciyyəsiindən istifadə etməklə alınmış təhlilin nəticələri;

2. UAT diapazonunda geomaqnit sahəsi variasiyalarının analizi və anomal səciyyəli siqnalların aşkarlanması metodikası.

Tədqiqatın elmi yenilikləri

- Geoloji mühitin dinamik dəyişikliyi şərti daxilində həmin zonalarda bununla əlaqədar baş verən geodinamik proseslərin UAT və AT diapazonunda EM dalğalarının xüsusiyyətləri ilə monitorinq məlumatlarının əldə edilməsi, onların emal olunması və tətbiqi metodlarına əsasən geodinamik proseslərlə əlaqəli anomal siqnalların ± 100 km episentral məsafədə aşkarlanması mümkündür.

- Real zaman rejimində geodinamik gərginlik zonalarında EM siqnalları üzrə zəlzələlərin proqnozu cəhdlərinə əsasən EM monitorinq baxımından əsas çətinlik EM xəbərvericilərin zəlzələlərdən əvvəl müxtəlif vaxtlarda peyda olmasına baxmayaraq anomal səciyyəli EM xəbərverici siqnallar $M > 6$ olan bütün zəlzələlərdən əvvəl müşahidə edilmişdir.

- Mühitin admitans parametrinin öyrənilməsi əsasında adaptiv emal sisteminin yaradılması və tətbiqi metodikasının işlənməsinə əsasən mühitin admitans səciyyəsinin fasiləsiz olaraq öyrənilməsi və zaman intervalında impuls keçid xüsusiyyət-

lərinin hər bir diskret an üçün hesablanması zəlzələlərlə əlaqədar gərginlik zonalarının ayrılmasına imkan yaradar.

- Azərbaycanda və dünyanın müxtəlif ölkələrində aparılmış EM monitoring tədqiqatlarının nəticələri ümumiləşdirilmiş və məlum olmuşdur ki, Azərbaycan geofizikləri tərəfindən aparılmış MT tədqiqatlarda 6-106 saat zaman intervalı zəlzələlərin proqnozlaşdırılması intervalını təşkil etmiş, digər ölkələrin tədqiqatlarında isə EM xəbərvericilər zəlzələlərdən ən tezi bir neçə saat, ən gec isə bir neçə ay əvvəl üzə çıxmışdır.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti aşağıdakılardır:

- xüsusi sistem və program dəstinin tətbiqi ilə geodinamik gərginlik zonalarının nəzarətinin təmin edilməsi;

- EM monitoringlə UAT diapazonunda geomaqnit sahəsinin variasiyalarının analizində anomaliyaların aşkarlanması.

Aprobasiyası və tətbiqi

Dissertasiyanın başlıca elmi nəticələri və müdafiə olunan əsas müddəalar bir sıra respublika və beynəlxalq səviyyəli elmi konfranslarda, o cümlədən: Azərbaycan xalqının ümummilli lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 89-cu, 93-cü, 94-cü ildönümünə həsr olunmuş “Geologiyanın aktual problemləri” mövzusunda Respublika Elmi Konfransında (Bakı, 2012, 2016, 2017), “Mürəkkəb quruluşlu neftli-qazlı regionların öyrənilməsində geofiziki tədqiqatların kompleksləşdirilməsi” mövzusunda keçirilmiş IX Azərbaycan Beynəlxalq Geofizika Konfransında (Bakı, 2015), Azərbaycanın işğaldan azad edilmiş ərazilərinin faydalı qazıntılarına həsr olunmuş “Geologiya: problemlər, perspektivlər” mövzusunda Respublika Elmi Konfransında (Bakı, 2020) və “XXI əsrdə elmi tədqiqatlar” mövzusunda keçirilmiş 8-ci Beynəlxalq Elmi-Praktiki konfransda (Ottava, 2021) müzakirə edilmişdir.

Dissertasiyanın məzmunu 14 elmi əsərdə (8 elmi məqalədə, 4 Respublika və 2 Beynəlxalq konfrans materiallarında) öz əksini tapmışdır.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı

SOCAR Neftqazəlmütədqiqatlayihə İnstitutu

**Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla
dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi**

Dissertasiya 175 səhifə (229105 simvol) həcmində - girişdən (9728 simvol), 6 fəsildən (I fəsil-30913 simvol, II fəsil-25014 simvol, III fəsil-31443 simvol, IV fəsil-17767 simvol, V fəsil-14964 simvol, VI fəsil-56586 simvol), nəticələrdən (1577 simvol), 209 adda ədəbiyyat siyahısından, əlavədən, ixtisarlardan və şərti işarələrdən ibarətdir. Dissertasiyada 20 şəkil, 29 qrafik, 12 cədvəl təqdim olunub.

I Fəsil. SÜXURLARIN DEFORMASIYA MEXANİZMİNİN TƏCRÜBİ TƏDQIQI NƏTİCƏLƏRİNİN ANALIZI

1.1. Elektromaqnit sahəsinin yaranma mexanizminin analizi

Bildiyimiz kimi geoloji mühitdə baş verən dağıntılar həmişə EM sahəsinin şüalanması ilə nəticələnir. Belə şüalanmanın xüsusiyyəti adətən iki istiqamətdə araşdırılır: birinci hal süxurların daxilində çat əmələ gəlmə prosesinin aktivləşməsi ilə, ikinci hal isə qırışq əmələ gəlmə prosesində yaranan hərəkətin nəticəsi kimi səciyyələnir. Lakin qeyd olunmalıdır ki, mexaniki enerjinin EM enerjisinə çevrilmə mexanizminin təbiəti lazımi səviyyədə aydın olmadığı üçün hələ də alimlərin mübahisəsinə səbəb olur. Məqsədimiz EM şüalarının yaxın zonalarda - Yer səthində, Yer-hava sərhəddində yayılma mexanizmini və uzaq zonalarda - zəlzələ baş verən yerdən uzaqda EM dalğaların yayılma səbəbini aydınlaşdırmaqdır.

Elmi ədəbiyyatdan [15] məlumdur ki, 2-50 kHs diapazonunda aparılan təcrübi tədqiqatlarda EM dalğaların yayılma xüsusiyyətləri kəsilişin dərinlik strukturu ilə sıx əlaqədardır. Yer qabığının səthinə çıxan qırılma-deformasiya zonaları üzərində və eləcə də çökmə qatı altında yerləşən qırılmalar üzərində şüalanma iki nazik maksimumla səciyyələnir ki, bu da [15]-in tətbiq etdiyi termin əsasında qaranquş quyruğunu xatırladır. Müşahidə olunmuşdur ki, obyektin dərinliyi nə qədər azdırsa, alınan lokal anomaliyanın intensivliyi daha güclü olur. Məsələn, qırılma pozulmaları üzərində qeyd olunan EM şüalanma zonasının eni adətən 100-130 m təşkil edir [15, 25]. Deməli EM dalğalarının yerdə yayılmasının tektonik qırılma-pozulma zonasının eninə uyğun olması şərti daxilində Yer səthinə çıxma mexanizmi tədqiqat probleminin daha çətin olduğuna dəlalət edir, çünki həmin dalğaların nəm süxurlardan keçmə mexanizmi aydın deyildir. Belə ki, qırılma zonaları dalğa keçirən zonalar kimi qəbul edilməzdir və mühitdən keçən dalğanın uzunluğu belə zonalarda keçiriciliyin qiymətinin 10^{-4} - 10^{-1} sm/m olduğu hal üçün 10-160 m təşkil edir [15]. Tədqiqatçılar tərəfindən bu hal üçün göstərilən tezlik diapazonunda yayılan EM dalğalarının anomal uzaq zonalara yayılması üçün bir neçə mümkün ola biləcək fiziki mexanizm

təklif edilir [15]. Bu mexanizmlər aşağıdakılardır:

Birincisi, kristallik fundamətdən Yer səthinə qədər uzanan qırılma pozulmalarının müşahidə olunmayan izlərində seysmikliyinin fərz olunması;

İkincisi, zəifləmiş zonalara yönəldilmiş pyzoeffektlə bağlı mexano-elektromaqnit çevirmələrinin yaranma mexanizmi əsasında akustik-elektromaqnit, hal-hazırda geopolyariton adlanan impuls şüalanmanın varlığı. Bu tip şüalanmanın Yer səthinə yalnız EM təşkilədici çıxır və cihaz tərəfindən qeyd olunur [15]. Bərk cismin fizikasının əsas müddələri və təcrübi nəticələrlə təklif olunan bu mexanizm akustik-EM şüalanmasını təsdiq etsə də real geoloji mühitlərdə özünü doğrultmur. Bu səbəbdən də, son zamanlar EM enerjinin uzaqlara yayılma mexanizmini izah edə biləcək daha mürəkkəb proseslərə müraciət olunur. Bu proseslər dissipativ mühitlərdə qeyri-bərabər çəki ilə yayılan statik avtosolitonlarla əlaqədardır. Bu mühitlərdə avtosolitonlar mühitdən xaricdə paylanmış mənbədən qeyri-xətti spin və polyariton dalğaların varlığı ilə enerjini ötürürlər. Lakin bu halda həmin dalğaların lokallaşması və geoloji mühitdə zəifləmiş (xüsusi halda qırılmalar və pozulmalar) nəmli zonalardan (ümumiyyətlə keçirici zonalardan) keçməsinə ədədi üsullarla izah etmək mümkün olmur [54, 56]. Bu səbəbdən EM impuls siqnallarının uzağa yayılmasını izah etmək üçün fiziki mühitlərdə elektrodinamikanın konservativ, klassik nəzəriyyəsini əsas götürərək tədqiqatlarda alınmış nəticələrlə kifayətlənək [27, s.293]. Qeyd etməliyik ki, bunu nəzəri hesablamalarla deyil, yalnız təcrübi yolla əsaslandırmaq olar.

II Fəsil. GEODİNAMİK AKTİV ZONALARDA APARILMIŞ ELEKTROMAQNİT MONİTORİNQ ÜSULLARI

EM sahələrində geodinamik aktiv zonalarda baş verən proseslərin təzahürü zəlzələlərin hazırlıq dövrü ilə əlaqədar olduğundan yer təkində baş verən geodinamik proseslərə müasir baxışlara görə həmin prosesləri təbii yolla yaranmış və ya süni yolla yaradılmış EM sahələrində baş verən anomal dəyişiklikləri müşahidə etməklə izləmə imkanımız var. Geodinamik proseslərin EM monitorinq tədqiqatları bir-birindən fərqlənən iki fiziki proses əsasında aparılması mümkündür. Bu proseslər aşağıdakılardır:

1-tektonik proseslərin təsirindən geoloji mühitin EM xüsusiyyətlərinin dəyişməsi;

2-zəlzələlərin baş vermə ərəfəsində mexanoelektrik enerjinin bilavasitə EM enerjiyə çevrilməsi.

Yuxarıda qeyd olunanlar müəyyən dərəcədə I və II növ seysmoelektrik effektlərə uyğun gəlirlər [31]. Buna əsaslanaraq deyə bilərik ki, geodinamik proseslər, o cümlədən zəlzələnin hazırlıq dövrü aktiv çat əmələgəlmə prosesləri ilə müşayiət olunur, süxurların məsaməliliyinin kəskin dəyişməsi ilə əlaqədar onları doyduran su məhlullarının yenidən paylanması nəticəsində tektonik proseslərlə əhatə olunmuş dağ massivlərinin xüsusi elektrik müqavimətini dəyişdirir. Dağ süxurlarının xüsusi elektrik müqavimətinin nisbi qiyməti onun strukturundan, su ilə doyumluluq dərəcəsindən asılıdır. Elektrik keçiriciliyində dəyişikliklər geodinamik proseslərin təsiri ilə müşayiət olunan fiziki-kimyəvi şəraitdə həmin süxurların dehidratlaşmasına səbəb olur, su məhlullarının buxarlanması baş verir. Bu cür fiziki-kimyəvi proseslər həm elektrik keçiriciliyinin qiymətini, həm də cisimlərin qütbləşməsini dəyişdirir [90].

AT diapazonunda təbii EM (MT) sahələrin fəsiləsiz müşahidələri ilə eyni vaxtda 2 istiqamətdə geodinamik prosesləri öyrənmək mümkündür: 1-geoelektrik kəsilişlərin zaman ərzində dəyişmə xüsusiyyətlərini; 2-daxili proseslərlə əlaqədar EM monitorinqin aparılması.

Qeyd olunan diapazonda daxili proseslərin təsirindən yaranan elastiki sahə ilə

EM sahəsi arasında xətti asılılığın mövcudluğunu təsvir etmək mümkündür. Bundan başqa, EM monitoring tədqiqatlarda bilavasitə AT diapazonunda geodinamik proseslərin öyrənilməsi baxımından 10-20 km dərinliklərdə yerin geoelektrik strukturunda, o cümlədən süxurların EM xüsusiyyətlərində dəyişikliklər əks olunur.

2.1. Şimali Tyan-Şanda aşağı tezlik diapazonunda aparılmış maqnitotellurik monitoring

Dissertasiyada 1992-ci ildə Qırğızıstan Elmlər Akademiyasının Yüksək Temperaturlar İnstitutunun Bişkek proqnostik poliqonunda başlamış MT sahənin 5 təşkiledicisinin fasiləsiz müşahidələrinin praktiki nəticələri öz əksini tapmışdır. Monitoring stasionar müşahidə məntəqələrində modifikasiya olunmuş rəqəmsal ölçü işlərinin köməyi ilə yerinə yetirilmişdir. Monitoring zamanı EM sahənin şimal istiqamətinə (E_y) və şərq istiqamətinə yönəlmiş (E_x) təşkilediciləri, uzunluğu 100 m olan, *Travers* sisteminin polyarlaşmayan elektrodlarla bitən 2 cərəyan xəttindən istifadə edilmişdir. Monitoring məlumatlarının zamana görə diskretləşməsi 10 saniyə təşkil edir. Rəqəmsal süzgəcləmə əsasında müşahidə olunan monitoring məlumatları 2 zolağa ayrılır: 1-maksimum dövrü 1 saata bərabər olan yüksək tezlik diapazonu; 2-dövrü 1 saatdan yuxarı olan aşağı tezlik diapazonu.

Monitoring zamanı müşahidə olunan məlumatların adaptiv emal üsulu ilə alqoritmi təklif edilmişdir. Bununla geoloji mühitdə baş verəcək hər hansı bir prosesin davamlılığını səciyyələndirən ötürücü funksiyanın ($Z_{xx}(t, \tau)$ və $Z_{xy}(t, \tau)$) qiymətini təsadüfi siqnalların öyrənilməsi əsasında daxili mənşəli EM sahəsinin generasiyasının vəhdəti kimi ayırmağa imkan verir. Buna əsasən Yer səthinin müşahidə nöqtəsində MT sahənin təşkiledicilərinin qiymətlərindəki dəyişikliklər arasında əlaqədən ibarətdir və mürəkkəb inteqral tənliklə aşağıdakı şəkildə yazılır:

$$E_x(t) = \int_0^{\infty} Z_{xx}(t, \tau) H_x(t - \tau) d\tau + \int_0^{\infty} Z_{xy}(t, \tau) H_y(t - \tau) d\tau + \Delta E_x(t) \quad (2.1.1)$$

burada

$Z_{xx}(t, \tau)$ və $Z_{xy}(t, \tau)$ - zaman oblastında keçid funksiyalarının müəyyən hüduddan kənara çıxan EM sahəsində baş verən həyəcanlanmaların dəyişməsi və geoelektrik kəsilişin variasiyaları əsasında dəyişikliyin mümkünlüyünü nəzərə alır. $\Delta E_x(t)$ - digər mənşəli EM sahəsinin təsviridir. Tənlikdə $H_z(t)$ üçün analogi forma var. Bu alqoritmin sayəsində tədqiqat aparılan il üzrə 1 saata kimi dövr zolağında monitorinq müşahidələrin məlumatları əldə edilmişdir. Tədqiqatların nəticəsi olaraq demək olar ki, yerin təbii EM sahəsinin monitorinq müşahidələri sayəsində geodinamik proseslərin EM monitorinqinin avtomatlaşdırılmış texnoloji kompleksinin bir tipi yaradılmışdır. Bunun əsasında eyni zamanda kvazireal zaman ərzində geoelektrik kəsilişin və yerin daxilində yaranan təbii EM sahələri barədə obyektiv məlumat əldə etməyə imkan verir. Bişkek geodinamik poliqonunda bir neçə il ərzində bu cür kompleksdən istifadə olunması nəticəsində alınan eksperimental məlumatlar sayəsində geodinamik proseslərin izlənməsi, geoelektrik kəsilişlərin və daxili mənşəli EM sahəsinin dəyişməsinin korrelyasiya əlaqələrinin aşkar olunması baxımından onun çıxış məlumatlarının yüksək informativliyini göstərmişdir.

2.1.1. Tyan-Şan seysmoaktiv zonada geniş tezlik diapazonunda aparılmış elektromaqnit monitorinq

Qırğızıstan Elmlər Akademiyasının Bişkek proqnostik poliqonunda aparılmış tədqiqatlar göstərmişdir ki, süxurların elektrik müqavimətində müşahidə olunan dəyişikliklər bir qayda olaraq gələcək zəlzələ ocağında baş verən proseslərlə əlaqədar deyil, tədqiq olunacaq sahənin geoloji mühitinin elastiki və plastiki deformatsiyasını əks etdirir [22]. Lokal seysmoaktiv toplayıcı zonadakı proseslər bütün Orta Asiya regionunda baş verən seysmik proseslərin tərkib hissəsidir, konkret seysmogenerasiya zonasında seysmik proseslərin hiposentrlərinin paylanma sahəsinin dərinlik quruluşu, xüsusilə də seysmoloji müşahidələr və dərinlik EM zondlama əsasında asanlıqla ayrılan boşalmış horizontların kəsilişində mövcud olması ilə səciyyələnir [36]. Bunlar əsasən nəql edən horizontlar ilə uzlaşan seysmik sürətlərin aşağı qiymətlərində lay və

horizontlar formasında təzahür olunur.

1984-cü ildən Şimali Tyan-Şan seysmogenerasiya zonasının tərkib hissəsi sayılan Bişkek geodinamik poliqonunda bir neçə km-dən 25 km-ə kimi olan dərinlik diapazonunda güclü cərəyan mənbələrindən istifadə olunmaqla EM sahənin təşəkkülü metodu ilə rejim zondlama həyata keçirilmişdir [28]. Nəticə etibarilə öyrənilən sahədə lokal zəlzələlərdən qabaq yer qabığına elektrik müqavimətinin anomal dəyişiklik zonasının paylanması alınmışdır. Belə halda müşahidə olunmuş ayrı-ayrı amplituda əsasən elektrik müqavimətinin maksimum dəyişməsi ən güclü zəlzələyə səbəb olur [21], digər məntəqələrdə müqavimətin variasiyası müşahidə olunmur. Beləliklə, Yer qabığının dərin qatlarında süxurların elektrik müqavimətində dəyişiklik kontrastı maksimumdur. Bunun səbəbi isə horizontlarda gərginlik səbəbindən deformasiya prosesləri daha intensiv hal alır, bu prosesləri əmələ gətirən mənbələri Yer qabığının aşağı horizontlarında axtarmaq lazımdır.

Şimali Tyan-Şan seysmoaktiv zonası EM monitorinq əsasında geniş zolaqlı *Feniks MTU-5* cihazının köməyi ilə ölçü işlərinin gedişatında müəyyən olunan MT sahə, onların transformasiyasını daxil edən, seysmik hadisənin maqnitudunun qiyməti, zəlzələnin episentri ilə müşahidə məntəqəsi arasında olan məsafə kimi tədqiq olunan regionun seysmoaktivliyinin müvafiq parametrlərini əhatə edən məlumat bazası əldə edilmişdir. Tədqiqatlar üçün məlumatlar 2004-2006-cı illər ərzində seysmik hadisələri əhatə edən kataloqdan və Aksu məntəqəsində ölçü işləri aparılmış MT sahənin transformasiyası sayəsində formalaşdırılmışdır. Neyron şəbəkə yanaşmasının, daha dəqiq desək çox səviyyəli perseptronun əsasında xətlərin əks paylanma üsulunun köməyi ilə Aksu monitorinq məntəqəsində KNET kataloquna uyğun seymoaktivlik və MT sahənin transformasiyaları arasında korrelyasiya əlaqələrinin axtarışı həyata keçirilmişdir [49]. Alınmış nəticələrə əsasən tədqiqatlar göstərmişdir ki, seysmoaktivlik və MT parametrlər arasında korrelyasiya tapmaq üçün 0.012-25 saniyə dövr diapazonunda daha informativ nəticə əldə etmək mümkündür. Bundan başqa, güman edilən xüsusi müqavimət və seysmoaktivlik arasında korrelyasiyanın aşkar olunması müəyyən edilmişdir. Neyron şəbəkələrinin müəyyən oluna bilən xətlərinin maksimum qiyməti güman olunan müqavimətin təşkilçilərindən eyni vaxtda istifa-

də edilərkən əldə olunmuşdur.

NƏTİCƏLƏR

1. Dünya təcrübəsində seysmoaktiv regionlarda aparılmış EM monitoring tədqiqatlarının müsbət nəticələrinə aid çox sayda təcrübi misallar var. Bu istiqamətdə ən perspektiv nəticələr UAT diapazonunda alınmışdır [163].

2. UAT monitoring şəbəkələri (KANTO-TOKAI, SAO, AeroSolSys, DEMETER) vasitəsilə əldə edilmiş məlumatlar onu göstərdi ki, zəlzələlərlə əlaqəli ionosferdə baş verən anomaliyaları aşkarlamaq mümkündür [164].

3. Mühitin admitans səciyyəsinin fasiləsiz olaraq öyrənilməsi və zaman intervalında impuls keçid xüsusiyyətlərinin hər bir diskret an üçün hesablanması, eləcə də geodinamik proseslərin EM sahələrinə təsiri zəlzələlərlə əlaqədar gərginlik zonalarının ayrılmasına imkan yaradır [6].

4. Azərbaycanda aparılmış tədqiqatlar göstərdi ki, MT sahənin dövrülüyünün dəyişmə vaxtını səciyyələndirən andan başlayaraq maqnit sahəsinin gərginlik vektorlarının zaman ərzində dəyişmə hodoqrafları gələcək zəlzələ ocağına doğru istiqamətlənir. Digər tərəfdən tədqiqatlarla müəyyən edilmişdir ki, geodinamik gərginliyin baş verdiyi və sonradan zəlzələ ilə nəticələncək zona istiqamətində yayılan EM dalğalarının yayılma sürətinin təcili dəyişir və dalğaların bu prosesdən əvvəl müşahidə olunan koherentliyi pozulur [41].

5. Zəlzələ baş verməmişdən qabaq EM sahəsində anomal dəyişikliklər baş verir. Zəlzələlərin tədqiqində EM monitoringin effektivliyini bu dəyişikliklərin əksər zəlzələlərdən qabaq aşkarlanma faktının olması ilə izah etmək olar. Belə ki, əsasən dərinliyi 30 km-ə qədər olan zəlzələlərdən qabaq EM xəbərvericilər müşahidə edilməsi müəyyən edilmişdir [164].

6. Zəlzələlərin maqnitudu ilə episentral məsafə arasında korrelyasiya mövcuddur ki, UAT xəbərvericilərinin zəlzələ qabağı aşkarlanması üçün uyğun episentral məsafə ± 100 km müəyyən olunmuşdur [164].

İSTİFADƏ EDİLMİŞ ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Kərimov, K.M. Cənubi Xəzər meqaçökəkliyinin dərinlik quruluşu və neftlilik-qazlılığı. Əlavə vəsait. / K.M.Kərimov, H.Ö.Vəliyev – Bakı: Elm, – 2003. – 250 s.
2. Məmmədov, Ə.L., Piriyeu R.H. Zəlzələnin hazırlıq prosesində laboratoriya modelləşdirmənin çöl müşahidə məlumatları ilə analogiyası // Heydər Əliyevin anadan olmasının 89-cu ildönümünə həsr olunmuş “Geologiyanın aktual problemləri” mövzusunda Respublika Elmi Konfransının materialları, – Bakı: – 2012, – s. 126.
3. Novruzov, E.S., Cəlalova, N.Ş. Zəlzələ xəbərvericilərinin axtarılması baxımından geodinamik proseslərin elektromaqnit sahələrində əksinin öyrənilməsi məsələsinə dair // Azərbaycan Respublikasının Dövlət Müstəqilliyinin bərpasının 20-ci ildönümünə həsr olunmuş “Geologiyanın aktual problemləri” mövzusunda Respublika Elmi Konfransının materialları, – Bakı: – 2011, – s. 53.
4. Novruzov, E.S., Cəlalova, N.Ş. Geodinamik aktiv zonalarda elektromaqnit sahələrinin öyrənilməsi // Heydər Əliyevin anadan olmasının 89-cu ildönümü ilə əlaqədar “Geologiyanın aktual problemləri” mövzusunda Respublika Elmi Konfransının materialları, – Bakı: – 2012, – s. 179.
5. Novruzov, E.S., Piriyeu, R.H. Geodinamik proseslərin elektromaqnit sahələrinə təsiri və zəlzələ xəbərvericilərinin aşkarlanması // – Bakı: Bakı Universitetinin Xəbərləri, Təbiət elmləri seriyası, – 2015. № 1, – s. 128-135.
6. Novruzov, E.S., Piriyeu, R.H. Maqnitotellurik monitorinqlə geodinamik proseslərin öyrənilməsinə dair // – Bakı: Azərbaycanda geofizika yenilikləri, – 2015. № 1-2, – s. 21-23.
7. Novruzov, E.S., Piriyeu, R.H. Süxurların petrofiziki xüsusiyyətlərinin riyazi modelləşdirilməsinə dair // – Bakı: Bakı Universitetinin Xəbərləri, Təbiət elmləri seriyası, – 2014. № 3, – s. 178-183.
8. Piriyeu, R.H. Elektromaqnit monitorinqin səmərəliliyinə dair // Azərbaycan xalqının ümummilli lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 93-cü ildönümünə həsr olunmuş “Geologiyanın aktual problemləri” mövzusunda Respublika Elmi

- Konfransının materialları, – Bakı: – 2016, – s. 235.
9. Piriyeв, R.H. Geodinamik proseslərin tədqiqində elektromaqnit monitorinqin səmərəliliyi // IX Azərbaycan Beynəlxalq Geofizika Konfransı “Mürəkkəb quruluşlu neftli-qazlı regionların öyrənilməsində geofiziki tədqiqatların kompleksləşdirilməsi”, şifahi sessiya, – Bakı: – 4-6 Noyabr, – 2015.
 10. Piriyeв, R.H. Geoloji mühitin modelləri və onun başlıca parametrləri // Azərbaycan xalqının ümummillі lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 94-cü ildönümünə həsr olunmuş “Geologiyanın aktual problemləri” mövzusunda Respublika Elmi Konfransının materialları, – Bakı: – 17-18 May, – 2017, – s. 208-209.
 11. Piriyeв, R.H. Zəlzələ qabağı müşahidələr və onların zəlzələ proqnozunda tətbiqi // Azərbaycanın işğaldan azad edilmiş ərazilərinin faydalı qazıntılarına həsr olunmuş “Geologiya: problemlər, perspektivlər” mövzusunda Respublika Elmi Konfransının materialları, – Bakı: – 29 Dekabr, – 2020, – s. 82-83.
 12. Абиев, Р.Г. Нечеткие нейронные сети для решения задач нефтегазовой геологии и геофизики // – Баку: Нефть и будущее Азербайджана, Работы молодых ученых и студентов, – 1998. – с. 36-52.
 13. Афанасьев, Н.Ф. Изометричная структура электромагнитного поля месторождений полезных ископаемых и ее идентификация по данным дистанционного зондирования // II-я Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле», Тезисы докладов, – Москва: – 1997, – с. 201.
 14. Баталев, В.Ю. Глубинное строение западной части зоны Таласо-Ферганского разлома по результатам магнитотеллурических зондирований / В.Ю.Баталев, Е.В.Баталева, В.Е.Матюков [и др.] // Литосфера, – 2013. № 4, – с. 136-145.
 15. Богданов, Ю.А. Электромагнитное проявление структуры недр / Ю.А.Богданов, В.И.Воронин, В.Н.Уваров [и др.] // Геофизический журнал, – 2003. № 4, – с. 117-124.
 16. Буряковский, Е.А., Джафаров, И.С., Джеваншир, Р.Д. Моделирование систем нефтегазовой геологии / Е.А.Буряковский, И.С.Джафаров,

- Р.Д.Джеваншир. – Москва: Недра, – 1990. – 225 с.
17. Вавелюк, Ю.П., Яновская, Т.Б. Моделирование процессов подготовки землетрясения в системе литосферных блоков // Физика Земли, – 2000. № 6, – с. 4-13.
 18. Войтов, В.И. Эманационные и электрические эффекты над сложно построенными тектоническими структурами (на примере Александровской зоны приразломных поднятий, Белоруссия) / В.И.Войтов, А.С.Гусев, Н.С.Козлова [и др.] // Доклады РАН, – 2000. т. 370, № 1, – с. 105-108.
 19. Габиллар, Р., Декок, Г., Уэйт, Дж.Р. Радиосвязь между подземными и подводными пунктами // Зарубежная радиоэлектроника, – 1972. № 12, – с. 16-34.
 20. Гольдин, С.В. Чуйское землетрясение и его афтершоки / С.В.Гольдин, В.С.Селезнев, А.Ф.Еманов [и др.] // Доклады РАН, – 2004. т. 395, № 4, – с. 534-536.
 21. Гулельми, А.В. Проблемы физики геоэлектромагнитных волн (обзор) // Физика Земли, – 2006. № 3, – с. 3-16.
 22. Дедов, В.П. О перспективах разведки методом проходящих сейсмических волн естественного эндогенного происхождения / В.П.Дедов, О.К.Омельченко, Г.М.Тригубович [и др.] // Геофизика, – 2006. № 3, – с. 30-40.
 23. Джиган, В.И. Прикладная библиотека адаптивных алгоритмов // Электроника: Наука, Технологии, Бизнес, – 2006. № 1, – с. 60-65.
 24. Етирмишли, Г.С. Ощутимые землетрясения Азербайджана за период 2003-2018 гг. – Баку: Элм, – 2020. – 415 с.
 25. Исаев В.И. Оценки продуктивности локальных ловушек по составу тяжелых углеводородов в приповерхностных отложениях центральной части Западно-Сибирской плиты / В.И.Исаев, Ю.В.Коржов, Т.И.Романова [и др.] // Геофизический журнал, – 2006. т. 28, № 6, – с. 58-73.
 26. Кауфман, А.А. Введение в теорию геофизических методов. Часть 2. Электромагнитные поля / А.А.Кауфман. – Москва: Недра, – 2000. – 483 с.
 27. Кинг, Р., Смит, Г. Антенны в материальных средах: [в 2-х книгах] Р.Кинг,

- Г.Смит. – Москва: Мир, – 1984. – 822 с.
28. Ковалев, Р.П. Прогнозное исследование нефтегазоносности Костанайского месторождения углеводородов по материалам дистанционного зондирования / Р.П.Ковалев. – Москва: Аксион-М, – 2006. – 85 с.
29. Кролевец, А.Н., Копылова, Г.Н. Приливные составляющие в электротеллурическом поле // Физика Земли, – 2003. № 5, – с. 75-84.
30. Копылова, Г.Н., Любушин, А.А. (мл.), Таранова, Л.Н. Применение многовременного статического анализа для обработки данных электротеллурических наблюдений на Камчатке // Проблемы геодинамики и прогноза землетрясений, I Российско-Японский семинар, – Хабаровск: – 26-29 сентября, – 2000, – с. 225-245.
31. Левшенко, В.Т. Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы литосферного происхождения: / автореферат дис. доктора физ.-мат. Наук. Объединенный институт физики им. О.Ю.Шмидта РАН. / – Москва, 1995. – 36 с.
32. Любушин, А.А. Анализ канонических когерентностей в задачах геофизического мониторинга // Физика Земли, – 1998. № 1, – с. 59-66.
33. Любушин, А.А., Копылова, Г.Н. Многомерный вейвлет-анализ временных рядов электротеллурических наблюдений на Камчатке // Физика Земли, – 2004. № 2, – с. 82-96.
34. Любушин, А.А., Максютова, М.В. Мультифрактальные меры синхронизации геофизических временных рядов // Геофизика столетия: 2006 год. Сборник трудов Восьмых геофизических чтений им. В.В. Федынского, – Тверь: – 2007, – с. 403-409.
35. Любушин, А.А., Соболев, Г.А. Мультифрактальные меры синхронизации микросейсмических колебаний в минутном диапазоне периодов // Физика Земли, – 2006. № 9, – с. 18-28.
36. Макарова, Л.Н., Широчков, А.В., Коптяева, К.В. Магнитопауза магнитосферы Земли как элемент глобальной электрической цепи // Геомагнетизма аэрономия, – 1998, т. 38, № 3, – с. 159-162.

37. Моги, К. Предсказания землетрясений / К.Моги. – Москва: Мир, – 1988. – 382 с.
38. Мороз, Ю.Ф., Смирнов, С.Э., Мороз, Т.А. Результаты мониторинга вариаций геомагнитного поля на Камчатке // Физика Земли, – 2006. № 3, – с. 49-56.
39. Мороз, Ю.Ф., Мороз, Т.А., Смирнов, С.Е. Результаты мониторинга вариаций геомагнитного поля на Магаданской и Паратунской обсерваториях // Физика Земли, – 2011. № 8, – с. 49-61.
40. Нерсесов, И.Л., Передерин, В.П., Боканенко, А.И., Галаганов, О.Н. Локальные деформации, наклоны земной поверхности и вариации уровня грунтовых вод на Гармском полигоне в 1981-1987 гг. – В сб. Землетрясения и процессы их подготовки. – Москва: Наука, – 1991, – с. 164-181.
41. Новрузов, Э.С., Пириев, Р.Х. Эффективность магнитотеллурического мониторинга при изучении геодинамических процессов // – Житикара: Горно-геологический журнал, – 2015. № 3-4 (43-44), – с. 36-39.
42. Передерин, В.П. Локальные деформации наклоны земной поверхности и вариации уровня грунтовых вод на Гармском полигоне в 1981-1987 гг. // – Москва: Землетрясения и процессы их подготовки, – 1991. – с. 164-181.
43. Пириев, Р.Х. К вопросу о выявлении предвестников землетрясений по материалам МТ исследований // Иваново: Проблемы современной науки и образования, – 2017. № 21(103), – с. 24-28.
44. Пириев, Р.Х. Результаты экспериментальных исследований влияния деформации пород на их физические характеристики // – Тверь: Каротажник, – 2018. № 4 (286), – с. 60-71.
45. Пириев, Р.Х. Электромагнитные предвестники землетрясений: сравнение более ранних и недавних исследований // Scientific Collection «InterConf», (44): with the Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference «Scientific Research in XXI Century». Ottawa, Canada, – 2021, p. 577-589.
46. Поспеева, Е.В. Методическое пособие по применению магнито-

- теллурических зондирований при среднемасштабных алмазопроисковых работах / Е.В.Поспеева. – Мирный, – 2006. – 75 с.
47. Потапов, В.В., Поспеева, Е.В. Электромагнитный мониторинг методом МТЗ в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения // XIII Международный научный конгресс: Международная научная конференция «Недропользование. Добыча полезных ископаемых. Направления и технология поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология», – Новосибирск: 17-21 апреля, – 2017, – т. 3, – с. 167-171.
48. Светов, Б.С. К теоретическому обоснованию сейсмо-электрического метода геофизической разведки // Геофизика, – 2000. № 1, – с. 28-39.
49. Светов, Б.С., Кукса, Ю.И., Одинцов, В.И. Алгоритм и результаты обработки данных магнитотеллурического мониторинга на Бишкекском полигоне // Геофизические исследования, – 2009. т. 10, № 3, – с. 5-15.
50. Сидоров, В.А., Кузьмин, Ю.О. Пространственно-временные характеристики современной динамики геодезической среды сейсмоактивных и сейсмичных областей. // Дискретные свойства геодезической среды, – Москва: Наука, – 1989, – с. 33-47.
51. Соболев, Г.А. Основы прогноза землетрясений / Г.А.Соболев. – Москва: Наука, – 1993. – 313 с.
52. Старков, В.И. Деформация земной поверхности по наблюдениям на Душанбино-Вахшском полигоне // Прогноз землетрясений, – 1988. № 3, – с. 5-24.
53. Френкель, Я.И. Теория явлений атмосферного электричества / Я.И.Френкель. – Москва: КомКнига, – 2007. – 160 с.
54. Шулейкин, В.Н. Использование приземного атмосферного электричества при поиске геологических неоднородностей и контроле геодинамических процессов // Геофизика XXI столетия: Сборник трудов третьих геофизических чтений им. В.В.Федынского, – Москва: – 22-24 февраля – 2001, – с. 372.
55. Шуман, В.Н. Режимы и системы электрозондирований в диспергирующих средах // – Киев: Геофизический журнал, – 2000. № 5, – с. 22-32.

56. Шуман, В.Н. Фундаментальные модели электромагнитных зондирующих систем // – Киев: Геофизический журнал, – 2004. № 1, – с. 42-55.
57. Шуман, В.Н. Электромагнитные зондирования геологической среды: проблемы и парадоксы // Геоинформатика, – 2003. № 4, – с. 30-42.
58. Шуман, В.Н., Причепий, Т.И. Оптимальные режимы электромагнитных зондирующих систем с контролируемым возбуждением поля в изотропных средах с дисперсией // – Киев: Геофизический журнал, – 2004. № 4, – с. 55-62.
59. Шуман, В.Н. Электромагнитные сигналы литосферного происхождения в современных наземных и дистанционных зондирующих системах // – Киев: Геофизический журнал, – 2007. № 2, – с. 31-44.
60. Юшко, В.А. Многомерный анализ временных рядов электро-теллурических данных на пункте верхняя Паратунка (Камчатка) // Вестник краунц. Науки о Земле, – 2007. № 1, – с. 159-168.
61. Armansyah, Suadi Ahadi. Anomalous ULF signals and their possibility to estimate the earthquake magnitude // AIP Conference Proceedings 1857, 020006 (2017); – 2017.
62. Asano, T. Characteristic Variations of VLF/LF Signals during a High Seismic Activity in Japan in November 2016 / Tomokazu Asano, Alexander Rozhnoi, Maria Solovieva [et al.] // Open Journal of Earthquake Research, – 2017, 6 (4), – p. 204-215.
63. Athanasiou, M. Enhanced ULF radion observed by DEMETER two months around the strong 2010 Haiti earthquake / M.Athanasiou, G.Anagnostopoulos, A.Iliopoulos [et al.] // Natural Hazards and Earth Systems Sciences, – 2011. 11, – p. 1091-1098.
64. Aveses, R., Park, S. Cannot earthquakes be predicted? // (technical comment) 17 Oct 1997, – p. 488.
65. Bertello, I. Electromagnetic field observations by the DEMETER satellite in connection with the 2009 L'Aquila earthquake / I.Bertello, M.Piersanti, M.Candidi [et al.] // Annals of Geophysics, – 2018. 36, – p. 1483-1493.
66. Bhattacharya, S. Electric and magnetic field perturbations recorded by

- DEMETER satellite before seismic events of the 17th July 2006 M7.7 earthquake in Indonesia / S.Bhattacharya, S.Sarkar, A.Gwal [et al.] // *Journal of Asian Earth Sciences*, – 2009. 34(5), – p. 634-644.
67. Blečki, J. Parrot, M., Wronowski, R. Studies of the electromagnetic field variations in ELF frequency range registered by DEMETER over the Sichuan region to the 12 May 2008 earthquake // *International Journal of Remote Sensing*, – 2010. 31, – p. 3615-3629.
68. Booker, J.R. The magnetotelluric phase tensor: A critical review // *Surveys in Geophysics*, – 2014, 35, – p. 7-40.
69. Bortnik, J. Estimating the seismotelluric current required for observable electromagnetic ground signals / J.Bortnik, T.Bleier, C.Dunson [et al.] // *Annals of Geophysics*, – 2010, 28, – p. 1615-1624.
70. Butler, K.E., Russell, R.D. Subtraction of powerline harmonics from geophysical records // *Geophysics*, – 1993, 58 (6), – p. 898-903.
71. Büyüksaraç, A., Pinar, A., & Kaşaroğlu, S. Precursory anomaly in VLF/LF recordings prior to the Erzincan (Turkey) Earthquake on July 30th, 2009 // *Bitlis Eren University Journal of Sciences and Technology*, – 2015, 5(1), – p. 18-23.
72. Caldwell, T.G., Bibby, H.M., & Brown, C. The magnetotelluric phase tensor // *Geophysical Journal International*, – 2004, 158, – p. 457-457.
73. Campbell, W.H. Natural magnetic disturbance fields, not precursors, preceding the Loma Prieta earthquake // *Journal of Geophysical Research*, – 2009, – p. 114.
74. Campos J.; Madariaga R.; Scholz, C. Faulting process of the August 8, 1993, Guam earthquake: A thrust event in an otherwise weakly coupled subduction zone // *Journal of Geophysical Research*, – 1996, 101 (B8), – p. 17581-17596.
75. Chen, C.H. Surface displacements in Japan before the 11 March 2011 M 9.0 Tohoku-Oki earthquake / C.H.Chen, S.Wen, J.Y. Liu. [et al.] // *Journal of Asian Earth Sciences*, – 2013, 80, – p. 165-171.
76. Cohen, M.B., Said, R.K., Inan, U.S. Mitigation of 50-60 Hz power line interference in geophysical data // *Radio Science*, –2010, 45, RS6002.
77. Corwin, R.F., Morrison, H.F. Self potential variations preceding earthquakes in

- central California // *Geophysical Research Letters*, – 1977, vol. 4, – p. 171-174.
78. Currie, J.L., & Waters, C.L. On the use of geomagnetic indices and ULF waves for earthquake precursor signatures. *Journal of Geophysical Research Space Physics*, – 2014, 119 (2), – p. 992-1003.
79. Dambara, T. Crustal movements before and after the Niigata earthquake. // *Rep. Joord. Jomm. Earthquake Predict.*, – 1973, H9, – p. 93-96.
80. Dorofeev, N., Kuzichkin, O. The dynamic management of the parameters of the probing signals at the geodynamic monitoring of the karst processes // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), – 2016, p. 1-4.
81. Dragos, Armand Stănică and Dumitru Stănică. ULF Pre-Seismic Geomagnetic Anomalous Signal Related to Mw8.1 Offshore Chiapas Earthquake, Mexico on 8 September 2017 // *Entropy*, – 2019, 21, – p. 29.
82. Eftaxias, K., Panin, V., and Deryugin, Y. Evolution-EM signals before earthquakes in terms of meso-mechanics and complexity // *Tectonophysics*, – 2007, 431, – p. 273-300.
83. Eftaxias, K. Unfolding the procedure of characterizing recorded ultra low frequency, kHz and MHz electromagnetic anomalies prior to the L'Aquila earthquake as pre-seismic ones - Part 1 / K.Eftaxias, L.Athanasopoulou, G.Balasis [et al.] // *Natural Hazards and Earth System Sciences*, – 2009, 9. – p. 1953-1971.
84. Eftaxias, K. Unfolding the procedure of characterizing recorded ultra low frequency, kHz and MHz electromagnetic anomalies prior to the L'Aquila earthquake as pre-seismic ones – Part 2/ K.Eftaxias, G.Balasis, Y.Contoyiannis [et al.] // *Natural Hazards and Earth System Sciences*, – 2010, 10. – p. 275-294.
85. Enescu, B., Enescu, D, Constantin, A. The use of electromagnetic data for short-term prediction of Vrancea (Romania) earthquakes: Preliminary data // *Earth Planets Space*, – 1999, 51. – p. 1099-1117.
86. Febriani, F. Investigation of the ultra low frequency (ULF) geomagnetic anomalies prior to the Lebak. Banten earthquake (M=6.1 January 23, 2018) / F.Febriani, T.Anggono, Syuhada [et al.] // *International conference on trends in*

- material science and inventive materials: ICTMIM 2020. AIP Conference Proceedings, – 2020. 2256, 090002.
87. Fraser-Smith, A. Low-frequency magnetic field measurements near the epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta earthquake / A.Fraser-Smith, A.Bernardi, P.McGill // Geophysical Research Letters, – 1990. 17. – 9. – p. 1465-1468.
 88. Fraser-Smith, A., McGill, P., Bernardi, A. Comment on “Natural magnetic disturbance fields, not precursors, preceding the Loma Prieta earthquake” by Wallace H. Campbell // Journal of Geophysical Research, – 2011, 116, A08228.
 89. Geller, R. Earthquakes Cannot Be Predicted / R.Geller, D.Jackson, Y.Kagan [et al.] // Science, – 1997. 5306, – p. 1616.
 90. Gershenzon, N., Bambakidis, G. Modelling of seismo-electromagnetic phenomena // Russian Journal of Earth Sciences, – 2001, – vol. 3, No 4, – p. 247-275.
 91. Gokhberg, M. Experimental measurement of electromagnetic emissions possibly related to earthquakes in Japan / M.Gokhberg, V.Morgounov, T.Yoshino [et al.] // Journal of Geophysical Research, – 1982. 87, – p. 7824-7828.
 92. Han, P. Statistical analysis of ULF seismomagnetic phenomena at Kakioka, Japan, during 2001-2010 / P.Han, K.Hattori, M.Hirokawa [et al.] // Journal of Geophysical Research: Space Physics, – 2014. 119, – p. 4998-5011.
 93. Hayakawa, M. (ed.). Atmospheric and ionospheric electromagnetic phenomena associated with earthquakes. – Tokyo: Terra Scientific Publishing, – 1999. – 996 p.
 94. Hayakawa, M. Criticality features in ULF magnetic fields prior to the 2011 Tohoku earthquake / M.Hayakawa, A.Schekotov, S.Potirakis [et al.] // Proceedings of the Japan Academy, Ser. B, – 2015. 91, – p. 25-30.
 95. Hayakawa, M. Electromagnetic precursors to the 2004 Mid Niigata Prefecture / M.Hayakawa, K.Ohta, S.Maekawa [et al.] // Physics and Chemistry of the Earth, – 2006. 31(4-9), – p. 356-364.
 96. Hayakawa, M. (ed.). Earthquake prediction studies: seismo electromagnetics. – Tokyo: TERRAPUB, – 2013. – 168 p.
 97. Hayakawa, M. Earthquake prediction with electromagnetic phenomena // AIP Conference Proceedings, – 01 February, – 2016.

98. Hayakawa, M. Earthquake prediction with radio techniques // John Wiley and Sons, Singapore: – 2015, – p. 294.
99. Hayakawa, M. Ionospheric perturbations in possible association with the 2010 Haiti earthquake, as based on medium-distance subionospheric VLF propagation data / M.Hayakawa, J.Raulin, Y.Kasahara [et al.] // Natural Hazards and Earth System Science, – 2011. 11(2), – p. 513-518.
100. Hayakawa, M. Possible precursor to the March 11, 2011, Japan earthquake: Ionospheric perturbations as seen by subionospheric very low frequency/low frequency propagation / M.Hayakawa, Y. Hobara, Y.Yasuda [et al.] // Annales Geophysicae, – 2012. 55(1), – p. 95-99.
101. Hayakawa, M. “Recent Progress in Seismo Electromagnetics and Related Phenomena Special Issue” / M.Hayakawa, S.Pulinets, M.Parrot [et al.] (eds.) // Physics and Chemistry of the Earth, – 2006. 31 (4-9), – p. 129-495.
102. Hayakawa, M. Results of ultra-low-frequency magnetic field measurements during the Guam earthquake of 8 August 1993 / M.Hayakawa, R.Kawate, O.Molchanov [et al.] // Geophysical Research Letters, – 1996. 23, – p. 241-244.
103. Hayakawa, M. (ed.). The Frontiers of earthquake prediction studies (Nihon-senmontosho-Shuppan, Tokyo, – 2012. – 794 p.
104. Hayakawa, M. The ionospheric precursor to the 2011 March 11 earthquake based upon observations obtained from the Japan-Pacific subionospheric VLF/LF network / M.Hayakawa, Y.Hobara, A.Rozhnoi [et al.] // Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences, – 2013a. 24 (3), – p. 393-408.
105. Hayakawa, M. The lower ionospheric perturbation as a precursor to the 11 March 2011 Japan earthquake / M.Hayakawa, A.Rozhnoi, M.Solovieva [et al.] // Geomatics, Natural Hazards and Risk, – 2013b. 4(3), – p. 275-287.
106. Hayakawa, M. The ultra-low-frequency magnetic disturbances associated with earthquakes / M.Hayakawa, Y.Hobara, K.Ohta [et al.] // Earthquake Science, – 2011. 24, – p. 523-534.
107. Hayakawa, M., Hobara, Y. Current status of seismoelectromagnetics for short-term earthquake prediction // Geomatics, Natural Hazards Risk, – 2010, 1 (2), –

p. 115-155.

108. Hayakawa, M., Ito, T., Smirnova, N. Fractal analysis of ULF geomagnetic data associated with the Guam earthquake on August 8, 1993 // *Geophysical Research Letters*, – 1999. 26, – p. 2797-2800.
109. Hayakawa, M., Molchanov, O. Seismo-Electromagnetics as a New Field of Radiophysics: Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes // *The Radio Science Bulletin*, No 320, March 2007.
110. Heki, K. Ionospheric election enhancement preceding the 2011 Tohoku-Oki earthquake // *Geophysical Research Letters*, – 2011, 38, L17312.
111. Ho, Y. Seismo-ionospheric anomalies in total electron content of the GIM and electron density of DEMETER before the 27 February 2010 M8.8 Chile earthquake / Y.Ho, H.Jhuang, Y.Su [et al.] // *Advances in Space Research*, – 2013a. 51, – p. 2309-2315.
112. Ho, Y. Temporal and spatial analyses on seismo-electric anomalies associated with the 27 February 2010 M=8.8 Chile earthquake observed by DEMETER satellite / Y.Ho, J.Liu, M.Parrot [et al.] // *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, – 2013b. 13, – p. 3281-3289.
113. Hobara, Y. Characteristics of ULF magnetic anomaly before earthquakes / Y.Hobara, H.Koons, J.Roeder [et al.] // *Physics and Chemistry of the Earth*, – 2004. 29, – p. 437-444.
114. Honig M.L., Messerschmitt D.G. Adaptive filters: structures, algorithms and applications. MA, Hingham: Kluwer Academic Publishers. – 1984.
115. Horie, T. A possible effect of ionospheric perturbations associated with the Sumatra earthquake, as revealed from subionospheric very-low-frequency (VLF) propagation (NWC-Japan) / T.Horie, S.Maekawa, T.Yamauchi [et al.] // *International Journal of Remote Sensing*, – 2006. 28 (13-14), – p. 3133-3139.
116. Ida, Y., & Hayakawa, M. Fractal analysis for the ULF data during the 1993 Guam earthquake to study prefecture criticality // *Non-linear processes in Geophysics*, – 2006, 13, – p. 409-412.
117. Igor I. Rokityansky, Valeriia I. Babak and Artem V. Tereshyn. Low-Frequency

Electromagnetic Signals Observed before Strong Earthquakes. Seismic Waves - Probing Earth System. Open access peer-reviewed chapter. Published: September 27th 2019.

118. Isacks, B., Oliver, J., Sykes, L. Seismology and the new global tectonics // Journal of Geophysical Research, – 1968. 73, – p. 5855-5899.
119. Ismaguilov V.S. ULF magnetic emissions connected with under sea bottom earthquake / V.S.Ismaguilov, Yu.A.Kopytenko, K.Hattory [et al.] // Natural Hazards and Earth System Sciences, – 2001. 1 (1-2), – p. 23-31.
120. Kalisperi, D. Continuous magnetotelluric observations in Western Crete as a tool for the study of the Hellenic subduction zone / D.Kalisperi, I.Rigakis, J.P.Makris [et al.] // Bulletin of the Geological Society of Greece, Proceedings of the 13th International Congress, Chania, Sept., – 2013. – vol. XLVII, – p. 531-539.
121. Kamiyama, M. On the precursors to the 2011 Tohoku earthquake: crustal movements and electromagnetic signatures / M.Kamiyama, M.Sugito, M.Kuse [et al.] // Geomatics, Natural Hazards and Risk, – 2014.
122. Kamogawa, M., Kakinami, Y. Is an ionospheric electron enhancement preceding the 2011 Tohoku-Oki earthquake a precursor? // Journal of Geophysical Research: Space Physics, – 2013. 118, – p. 1751-1754.
123. Karakelian, D. Ultra-low frequency electromagnetic measurements associated with the 1998 Mw 5.1 San Juan Bautista, California earthquake and implications for mechanisms of electromagnetic earthquake precursors / D.Karakelian, S.Klemperer, A.Fraser-Smith [et al.] // Tectonophysics, – 2002. 359, – p. 65-79.
124. Kerimov, K. Problems and judgements about possibility of short-term prediction earthquakes / K.Kerimov. – Baku, – 2008. – 160 p.
125. Kerimov, K.M. Matemathical model of petrophysical properties of rocks / K.M.Kerimov, R.G.Abiyev, T.G.Melikov [et al.] // Geophysics news in Azerbaijan, – 1999, No 3, – p. 35-37.
126. Kerimov, K.M., Agaguliyev, G.B. Electromagnetic sounding feasibility to forecast earthquakes // Geophysical news in Azerbaijan, – 2001, No1, – p. 22-24.
127. Kerimov, K.M., Agaguliyev, G.B. Storm-Term earthquake forecasting potential

- based on electromagnetic data // Geophysical news in Azerbaijan, – 2005, No2, – p. 5-8.
128. Kerimov, K.M., Novruzov, E.S., Veliyev, H.O., Suleymanov, G.S. Earthquake forecasting method. Eurasian patent #007086, EAPO, EAPV-#14007087-14. 12.07.2006.
129. Kopytenko, Yu.A. Anomaly disturbances of the magnetic fields before the strong earthquake in Japan on March 11, 2011 / Yu.A.Kopytenko, V.S.Ismaguilov, K.Hattori [et al.] // *Annales Geophysicae.*, – 2012. 55(1), – p. 101-107.
130. Kopytenko, Yu.A. Monitoring of the ULF electromagnetic disturbances at the station network before EQ in seismic zones of Izu and Chiba peninsulas (Japan) / Yu.A.Kopytenko, V.S.Ismaguilov, K.Hattori [et al.] // – Tokyo: Terrapub, *Seismo Elrctromagnetic lithosphere-atmosphere ionosphere copling.* – 2002, – p. 11-18.
131. Kopytenko, Y. Investigation of the ULF electromagnetic phenomena related to earthquakes: contemporary achievement and the perspective / Y.Kopytenko, V.Ismagilov, M.Hayakawa [et al.] // *Annales Geophysicae*, – 2001. 44, – p. 325-334.
132. Kopytenko, Yu.A., Ismagilov, V.S., Nikitina, L.V. Study of local anomalies of ULF magnetic disturbances before strong earthquakes and magnetic fields induced by tsunami // *Electromagnetic phenomena associated with earthquakes /* by ed. M.Hayakawa. – 2009, – p. 21-41.
133. Kopytenko, Yu.A. Detection of ultra-low-frequency emissions connected with the Spitak earthquake and its aftershock activity based on geomagnetic pulsations data at Dusheti and Vardzia observations / Yu.A.Kopytenko, T.G.Matiashvili, P.M.Voronov [et al.] // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, – 1993, 77, – p. 85-95.
134. Kopytenko, Y.A. Observation of electromagnetic ultra-low-frequency lithospheric emissions (ULE) in the Caucasian seismically active area and their connection with the earthquakes / Y.A.Kopytenko, T.G.Matiashvili, P.M.Voronov [et al.] // *Electromagnetic phenomena related to earthquake*

- prediction, edited by M.Hayakawa, and Y.Fujinawa, – 1994, – Tokyo: Terra Sciences, – p. 175-180.
135. Larsen, I. Robust smooth magnetotelluric transfer functions / I.Larsen, R.Mackie, A.Manzella [et al.] // *Geophysical Journal International*, – 1996. –vol. 124. – p. 801-819.
136. Li, M. Review of unprecedented ULF electromagnetic anomalous emissions possibly related to the Wenchuan MS=8.0 earthquake on 12 May 2008 / M.Li, J.Lu, M.Parrot [et al.] // *Natural Hazards and Earth System Sciences*, European Geosciences Union, – 2013, 13, – p. 279-286.
137. Li, V.C., Rice, J.R. Preseismic rapture progression and great earthquake instabilities at plate boundaries // *Journal of Geophysical Research*. – 1983. – vol. 88, – p. 4231-4246.
138. Liu, J. A spatial analysis on seismo-ionospheric anomalies observed by DEMETER during the 2008 M8.0 Wenchuan earthquake / J.Liu, Y.Chen, C.Huang [et al.] // *Journal of Asian Earth Sciences*, – 2015. 114, – p. 414-419.
139. Lorenzetti, E., Tullis, T. Geodetic predictions of a strike-slip fault model: Implications for intermediate and short-term earthquake prediction // *Journal of geophysical research*, – 1989, – p. 94.
140. Louerguioui, S., Gaci, S., Zaourar, N. Irregularities of the ionospheric plasma and the ULF electric components obtained from DEMETER satellite experiments above Chile earthquake (27 February 2010) // *Arabian Journal of Geosciences*, – 2014. 8, – p. 2433-2441.
141. Masci, F. On the recent reaffirmation of ULF magnetic earthquake precursors // *Natural Hazards and Earth System Sciences*, – 2011a, 11, – p. 2193-2198.
142. Masci, F. Further comments on the ionospheric precursor of the 1999 Hector Mine earthquake // *Natural Hazards and Earth System Sciences*, – 2013a, 13, – p. 193-196.
143. Masci, F. On claimed ULF seismogenic fractal signatures in the geomagnetic field // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, – 2010, 115, A10236.
144. Masci, F. On the multi-fractal characteristics of the ULF geomagnetic field

- before the 1993 Guam earthquake // *Natural Hazards and Earth System Sciences*, – 2013b, 13, – p. 187-191.
145. Masci, F. On the seismogenic increase of the ratio of the ULF geomagnetic field components // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, – 2011b, 187, – p. 19-32.
146. Masci, F., Thomas, J. Are there new findings in the search for ULF magnetic precursors to earthquakes? // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, – 2015, 120, 10, – p. 289.
147. Masci, F., Thomas, J. Comment on *Ultra low frequency (ULF) electromagnetic anomalies associated with large earthquakes in Java Island, Indonesia by using wavelet transform and detrended fluctuation analysis*, by Febriani et al. // *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, – 2015a, 3(9), – p. 5665-5675.
148. Masci, F., Thomas, J. On the reliability of the Spatial scintillation Index to identify ionospheric precursors of earthquakes // *Radio Science*, – 2015b, 50, – p. 745-753.
149. Matyukov, V.E. Application of a neural network approach to analyze the correlation of magnetotelluric parameters with the seismic activity of the Northern Tien Shan region / V.E.Matyukov, V.V.Spichak, A.K.Rybin [et al.] // *Forecast of earthquakes, assessment of seismic hazard and seismic risk of Central Asia. 7th Kazakh-Chinese International. simp.: theses*, – Almaty: – 2010, – p. 47.
150. Miyahara, S. On ULF magnetic field variations with the Guam earthquake of 8 August 1993, in *Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes*, edited by Masashi Hayakawa / S.Miyahara, Y.Tanaka, K.Saita [et al.] // *Terra Sciences*. – Tokyo:– 1999, – p. 189-201.
151. Mofiz, U., Battiston, R. Possible ion-acoustic solution formation in the ionospheric perturbations observed on DEMETER before the 2007 Pu'er earthquake // *Earthquake science*, – 2009. 22, – p. 257-262.
152. Molchanov, O. Seismo-electromagnetic and related phenomena: History and latest results / O.Molchanov, M.Hayakawa – Tokyo: TERRAPUB, – 2008. –

189 p.

153. Molchanov, O.A. Precusory effects in the subionospheric VLF signals for the Kobe earthquake / O.A.Molchanov, M.Hayakawa, T.Oudoh [et al.] // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, – 1998. 105 (3-4), – p. 239-248.
154. Molchanov, O.A. Results of ULF magnetic field measurements near the epicenters of the Spitak ($M_s=6.9$) and Loma Prieta ($M_s=7.1$) earthquake: comparative analysis / O.A.Molchanov, Yu.A.Kopytenko, P.M.Voronov [et al.] // *Geophysical Research Letters*, – 1992. 19, – p. 1495-1498.
155. Moore, G.W. Magnetic disturbances preceding the 1964 Alaska earthquake // *Nature*, – 1964. 203, – p. 508-509.
156. Nagao, T., Orihara, Y., Kamogawa, M. Precursory phenomena possibly related to the 2011 $M9.0$ off the Pacific coast of Tohoku earthquake // *Journal of Disaster Research*, – 2014. 9, – p. 303-310.
157. Noritomi, K. Application of precursory geoelectric and geomagnetic phenomena in China // Report by Japanese Seism Soc Delegation to People. Republic of China, Skism Soc Japan. – 1978, – p. 57-87.
158. Ohta, K. The ULF/ELF electromagnetic radiation before the 11 March 2011 Japanese earthquake / K.Ohta, J.Izutsu, A.Chekotov [et al.] // *Radio Science*, – 2013. 48, – p. 589-596.
159. Parrot, M. Examples of unusual ionospheric observations made by the DEMETER satellite over seismic regions / M.Parrot, J.Berthelier, J.Lebreton [et al.] // *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, – 2006. 31, – p. 486-495.
160. Parvaiz A. Khan. Scientific efforts in the direction of successful Earthquake Prediction / A.K.Parvaiz, C.T.Sharad, A.M.Azad [et al.] // *International Journal of Geomatics and Geosciences*, – 2011. vol. 1, No 4, – p. 669-677.
161. Phanikumar, D.V. Anomalous variations of VLF sub-ionospheric signal and mesospheric ozone prior to 2015 Gorkha Nepal earthquake / D.V.Phanikumar, A.K.Maurya, K.N.Kumar [et al.] // *Scientific Reports*, – 2018. 8, – p. 9381.
162. Piriyevev, R. Analysis of electromagnetic monitoring in geodynamic active areas // *International Journal of Earth Science and Geophysics*, Research article: Open

- Access, – 2018, 4, – p. 21.
163. Piriyeв, R. Effectiveness of electromagnetic monitoring in studying earth-quakes // – Киев: Геофизический журнал, – 2021. Том. 43, № 2, – p. 166-177.
164. Piriyeв, R. Electromagnetic earthquake precursory signatures in the ULF range: perspectives of the studies // – Lviv: Geodynamics, – 2021. 1(30), – p. 48-57.
165. Piriyeв, R. Modelling of geodynamic objects and processes // – Oslo: Norwegian Journal of development of the International Science, – 2017. vol. 1, № 11, – p. 16-19.
166. Piriyeв, R. Review of electromagnetic monitoring studies in predicting earthquakes: recent results and new perspectives // – Kyiv: Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv: GEOLOGY, – 2022. vol. 1(96), – p. 40-45.
167. Pisa, D., Parrot, M., Santolik, O. Ionospheric density variations recorded before the 2010 Mw8.8 earthquake in Chile // Journal of Geophysical Research: Space Physics, – 2011. 116, A08309.
168. Prattes, G. Ultra low frequency (ULF) European multi station magnetic field analysis before and during the 2009 earthquake at L'Aquila regarding regional geotechnical information / G. Prattes, K. Schwingenschuh, H.U. Eichelberger [et al.] // Natural Hazards and Earth System Sciences, – 2011, 11, – p. 1959-1968.
169. Pre-Earthquake Processes: A Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction Studies / Editor(s): Dimitar Ouzounov, Sergey Pulinets, Katsumi Hattori, Patrick Taylor. First published: 5 June 2018. Book Series: Geophysical Monograph Series. – 2018, American Geophysical Union.
170. Pulinets, S., Koyarchuk, K. Ionospheric Precursors of Earthquakes // Berlin, Springer, – 2004.
171. Rahman, P. The experimental research results of the effect of rock deformation on its physical properties // Journal of Geology and Geophysics, – 2018. 7: – p. 321.
172. Rikitake, T. Predictions and precursors of major earthquakes: The science of macroscopic anomalous phenomena / T.Rikitake., – Tokyo: Terra Scientific

Publishing Company, – 2001a. – 198 p.

173. Rikitake, T. Earthquake Prediction: Achievements and Future / T.Rikitake – Nihon-Senmontosho-Shuppan, Tokyo, – 2001b. – 617 p. (In Japanese.)
174. Rybin, A., Batalev, V., Bataleva, E., Matukov, V. Magnetotelluric monitoring experiment at the Northern Tien Shan seismogenic zone // 11th Scientific Assembly IAGA. Sopron (Hungary), August 23-30, 2009. Abstracts-CD-106-TUE-P1700-0600.
175. Ryu, K. Suspected seismo-ionospheric coupling observed by satellite measurements and GPS TEC related to the M7.9 Wenchuan earthquake of 12 May 2008 / K.Ryu, M.Kim, K.Jeong [et al.] // Journal of Geophysical Research: Space Physics, – 2014. 119, – p. 10305-10323.
176. Rzayev, A. Features of geomagnetic effects of seismodynamic changes in the territory of Azernaijan / A.Rzayev, H.Veliyev, A.Sultanova [et al.] // Seysmo-prognosis observations in the territory of Azerbaijan, – 2021. 19, – p. 25-36.
177. Sarkar, S., Gwal, A. Satellite monitoring of anomalous effects in the ionospheric related to the great Wenchuan earthquake of May 12, 2008 // Natural Hazards, – 2010. 55, – p. 321-332.
178. Saroso, S. ULF geomagnetic anomalous changes possibly associated with 2004-2005 Sumatra earthquakes / S.Saroso, K.Hattori, H.Ishikawa [et al.] // Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, – 2009. vol. 34, issues 6-7, – p. 343-349.
179. Schekotov, A., Hayakawa, M. Seismo-meteo-electromagnetic phenomena observed during a 5-year interval around the 2011 Tohoku earthquake // Physics and Chemistry of the Earth, – 2015. Parts A/B/C.
180. Schekotov, A. ULF magnetic field depression as a possible precursor to the 2011/3.11 Japan earthquake / A.Schekotov, E.Fedorov, Y.Hobara [et al.] // Journal of Atmospheric Electricity, – 2013b. 33(1), – p. 41-51.
181. Schekotov, A. Low frequency electromagnetic precursors as a prospect for earthquake prediction, in M.Hayakawa (ed.) / A.Schekotov, E.Fedorov, O.Molchanov [et al.] // Earthquake prediction studies: Seismo-electromagnetics,

- Tokyo. Terra Scientific Publishing: – 2013a, – p. 81-99.
182. Scoville, J., Sornette, J., Freund, F. Paradox of peroxy defects and positive holes in rocks. Part II: Outflow of electric currents from stressed rocks // *Journal of Asian Earth Sciences*, – 2015.
183. Selway, K. On the causes of electrical conductivity anomalies in tectonically stable lithosphere // *Surveys in Geophysics*, – 2014. 35, – p. 219-257.
184. Sevgi, L. Electromagnetic precursors and earthquakes: Nowcasting, forecasting, and prediction // *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, – 2014. vol. 56, No 6, – p. 319-326.
185. Smirnova, N., Hayakawa, M., Gotoh, K. Precursory behavior of fractal characteristics of the ULF electromagnetic fields in seismic active zones before strong earthquakes // *Physics and Chemistry of the Earth*, – 2004. 29, – p. 445-451.
186. Smirnova, N., Hayakawa, M. Fractal characteristics of the ground observed ULF emissions in relation to geomagnetic and seismic activities // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, – 2007. 69, – p. 1833-1841.
187. Smirnova, N. Scaling characteristics of the ULF geomagnetic fields at the Guam seismoactive area and their dynamics in relation to the earthquake / N.Smirnova, M.Hayakawa, K.Gotoh [et al.] // *Natural Hazards and Earth System Sciences*, – 2001. 1, – p. 119-126.
188. Smith, B., Johnston, M. A tectonomagnetic effect observed before a magnitude 5.2 earthquake near Hollister // – California: *Journal of Geophysical Research*, – 1976. 81, – p. 3556-3560.
189. Surkov, V. *Ultra and Extremely Low Frequency Electromagnetic Field* / V.Surkov, M.Hayakawa – Tokyo: Springer, – 2014. – 486 p.
190. Staelin, D.H. *Electromagnetics and applications*. Department of Electrical Engineering and Computer Science Massachusetts Institute of Technology, – 2011. – 443 p.
191. Svetov, B.S. Magnetotelluric monitoring of geodynamical processes / B.S.Svetov, S.D.Karinskij, Y.I.Kuksa [et al.] // *Anali di Geofisica*, – 1997.

40(2), – p. 435-443.

192. Swati, Birbal Singh. Ultra low frequency (ULF) magnetic field emissions associated with some major earthquakes occurred in Indian Subcontinent / B.S.Swati, P.Devbrat, K.S.Ashwini [et al.] // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, – 2020. vol. 211, 105469.
193. Takla, E.M. Geomagnetic variations possibly associated with the Pisco earthquake on 15 August 2007 / E.M.Takla, K.Yumoto, J.Ishitsuka [et al.] // Tectonophysics, – Peru: – 2012. 524-525, – p. 29-36.
194. Thomas, J.N., Love, J.J., Johnson, M.J.S. On the reported magnetic precursor of the 1989 Loma Prieta earthquakes // Physics of the Earth and Planetary Interiors, – 2009a. 173 (3-4), – p. 207-215.
195. Thomas, J.N., Love, J.J., Johnston, M.J.S. On the reported magnetic precursor of the 1993 Guam earthquake / J.N.Thomas, J.J.Love, M.J.S.Johnston [et al.] // Geophysical Research Letters, – 2009b. 36, L16301.
196. Toader, V. ULF Radio Monitoring Network in a Seismic Area / V.Toader, I.Moldovan, I.Constantin [et al.] // Seismic Network, National Institute for Earth Physics, Romania, Session NH4.5/AS4.31/EMRP4.4/SM9.3, EGU2017-18037, Poster X3.163.
197. Ulash, M. Development of an algorithm by using VLF signals for predicting earthquakes: / University of Firat, PhD thesis / – Elazigh, 2011.
198. Uyeda, S. Geoelectric potential changes: Possible precursors to earthquakes in Japan / S.Uyeda, T.Nagao, Y.Orihara [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences, – 2000. 97, – p. 4561-4566.
199. Varotsos, P. The physics of seismic electric signals // TerraPub, – 2005. 338 p.
200. Varotsos, P., Alexopoulos, K. Physical properties of the variations of the electric field of the earth preceding earthquakes. // Tectonophysics. – 1984, vol.110. – p. 99-125.
201. Walker, S., Kadiramanathan, V., Pokhotelov, O. Changes in the ultra-low frequency wave field during the precursor phase to the Sichuan earthquake: DEMETER observations // Annales Geophysicae, – 2013. 31(9), – p. 1597-

1603.

202. Widrow, B., Stearns, S.D. Adaptive Signal Processing // – New Jersey: Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 07632, – 1985.
203. Xiong, P. Identification of electromagnetic pre-earthquake perturbations from the DEMETER data by machine learning / P.Xiong, C.Long, H.Zhou [et al.] // Remote Sensing, – 2020. 12(21), – p. 3643.
204. Xu, G. Anomalous behavior of geomagnetic diurnal variations prior to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake (Mw=9.0) / G.Xu, P.Han, Q.Huang [et al.] // Journal of Asian Earth Sciences, – 2013. 77, – p. 59-65.
205. Yetirmishli, G.J. About the seismic risk of Sabayil district of Baku / G.J.Yetirmishli, T.Y.Mammadli, R.B.Muradov [et al.] // Seismoprognois observations in the territory of Azerbaijan, – Baku: – 2017. No 1, – p. 12-21.
206. Yusof, K.A. Correlations between Earthquake Properties and Characteristics of Possible ULF Geomagnetic Precursor over Multiple Earthquakes / K.A.Yusof, M.Abdullah, N.S.A.Hamid [et al.] // Universe, – 2021. 7, – p. 20.
207. Zhang, X. Ionospheric electromagnetic perturbations observed on DEMETER satellite before Chile M7.9 earthquake / X.Zhang, J.Qian, X.Ouyang [et al.] // Earthquake Science, – 2009a. 22, – p. 251-255.
208. Zhang, X. Analysis of ionospheric plasma perturbations before Wenchuan earthquake / X.Zhang, X.Shen, J.Liu [et al.] // Natural Hazards and Earth System Sciences, – 2009b. 9, – p. 1259-1266.
209. Zhanghui, A. Investigation of the characteristics of geoelectric field earthquake precursors: a case study of the Pingliang observation station / An Zhanghui, Zhan Yan, Fan Yingying [et al.] // China. Annals of Geophysics, – 2020. 63, 5, PA545, 2020.