

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ლეონარდო ხვედელიძე

გეომანტური ველის ვარიაციების

ზოგიერთი მექანიზმის გამოკვლევა

საინჟინრო მეცნიერებების დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარმოდგენილი

დ ი ს ე რ ტ ა ც ი ა

გარემოს, ნივთიერების, მასალებისა და ნაწარმის კონტროლის საშუალებები და
მეთოდები

სამეცნიერო ხელმძღვანელი:

ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა

დოქტორი თეიმურაზ ადეიშვილი

ქუთაისი 2010 წ.

სარჩევი

შესავალი - - - - -	3
1. გეომაგნიტური და გეოელექტრული ველის ვარიაციების ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდების ირგვლივ შესრულებული სამუშაოების მოკლე მიმოხილვა - - - - -	9
1.1. გეომაგნიტური ველის ვარიაციების გაზომვის მეთოდები. - - - - -	10
1.2. გეომაგნიტური ველის ვარიაციების გაზომვის ხელსაწყოების და ექსპერიმენტული მასალის დამუშავების ირგვლივ ჩატარებული სამუშაოების მიმოხილვა. - - - - -	12
1.3. კვლევის მიზანი და ამოცანები. - - - - -	20
2. მძლავრ მიწისძვრებთან დაკავშირებული გეომაგნიტური ველის ვარიაციები. -	22
2.1. მაგნიტოსფეროს აღწერა. - - - - -	23
2.2. მიწისძვრის გეომაგნიტური კვლევის შედეგები და ანალიზი. - - - - -	30
2.3. მიღებული ექსპერიმენტული შედეგების დამუშავება. - - - - -	41
2.4. მიწისძვრის წინა პერიოდში ელექტრომაგნიტური წინამორბედების წარმოშობის ბუნების ახსნა. - - - - -	47
2.5. მიწისძვრის ელექტრომაგნიტური წინამორბედების გამოვლენის ზონის საკითხის შესწავლა. - - - - -	55
2.6. მიწისძვრის ელექტრომაგნიტური წინამორბედების ერთ-ერთი მათემატიკური მოდელი. - - - - -	58
2.7. სეისმოაქტიურ რეგიონებში ელექტრომაგნიტური გამოსხივების შემფოთების დამზერის შესახებ ანალიზი. - - - - -	64
2.8. დასკვნები მეორე თავის მიხედვით. - - - - -	67
3. მზეზე მიმდინარე პროცესებით განპირობებული გეომაგნიტური ველის ცვლილებები. - - - - -	69
3.1. მზე და მზეზე მიმდინარე პროცესების მოკლე მიმოხილვა. - - - - -	71
3.2. მზის ქართან დაკავშირებული გეომაგნიტური შემფოთებების ზოგადი სურათი. - - - - -	75

3.3. ახლო კოსმომში მიმდინარე პროცესების კონტროლი საშუალო განედებზე გეომაგნიტური პულსაციების რეგისტრაციის მიხედვით. -----	78
3.4. მაგნიტური ქარიშხალი, როგორც მიწისძვრის ინიცირების ერთ-ერთი მექანიზმი და მისი კონტროლის მეთოდები. -----	82
3.5. გეომაგნიტური ველის შემფოთებების ადამიანის ჯანმრთელობაზე შესაძლო გავლენის მოხდენის შესახებ. -----	85
3.6. დასკვნები მესამე თავის მიხედვით. -----	91
4. მზის სისტემაში მიმდინარე პროცესებისას წარმოქმნილი შემფოთებების ასახვა გეომაგნიტური ველის ვარიაციებში. -----	93
4.1. მზის სისტემის მოკლე დახასიათება. -----	94
4.2. პლანეტა იუპიტერის მოკლე დახასიათება. -----	95
4.3. კომეტების მოკლე დახასიათება. -----	97
4.4. შუმეიკერ-ლევნი 9 კომეტის პლანეტა იუპიტერთან შეჯახება და მისი ასახვა დედამიწის გეომაგნიტურ ველზე. -----	98
4.5. შუმეიკერ-ლევნი 9 კომეტის იუპიტერის ატმოსფეროში ვარდნის შედეგად წარმოქმნილი შემფოთებების შესწავლა. -----	108
4.6. შუმეიკერ-ლევნი 9 კომეტის იუპიტერის ატმოსფეროში ვარდნის დროს წარმოქმნილი საპლანეტათშორისო სივრცის შემფოთებების შესწავლა. -----	113
4.7. დასკვნები მეოთხე თავის მიხედვით. -----	118
ძირითადი დასკვნები. -----	119
ლიტერატურა. -----	121

შესავალი

სადისერტაციო თემის აქტუალობა. როგორც ცნობილია, ჩვენ პლანეტას გარს აკრავს შემდეგი ძირითადი ფენები: ქვედა ატმოსფერო, იონოსფერო და მაგნიტოსფერო. დღეისათვის მკვლევარების ძირითადი ყურადღება ექცევა სწორედ ამ ფენებში მიმდინარე ფიზიკური და ქიმიური პროცესების შესწავლას. ეს კი საბოლოო ჯამში საშუალებას გვაძლევს დადებითად გადაწყდეს მთელ რიგი ფუნდამენტალური და პრაქტიკული სახის პრობლემები. იქ მიმდინარე პროცესების შესწავლა მეტად მნიშვნელოვანია არა მარტო მზე-დედამიწის ფიზიკის საკითხების შესწავლისათვის, არამედ ასტროფიზიკისა და პლაზმის ფიზიკის მთელი რიგი საკითხების გარკვევისათვის.

როგორც ცნობილია, გეომაგნიტური ველის სწრაფი ვარიაციები რხევის პერიოდის მიხედვით მოთავსებულია შუალედში რამდენიმე დღიდან წამის მეათასედამდე და იყოფა შემდეგ ქვეჯგუფებად: მზე-დღელამური და მთვარე-დღელამური, რომელთა ვარიაციის ამპლიტუდა დამოკიდებულია დამზერის ადგილის განედზე და წლის დროზე; პერიოდულ რხევებად-მიკროპულსაციებად, რომელთა პერიოდიცაა წამის მეათასედიდან რამდენიმე ათობით წამამდე, ხოლო მათი ამპლიტუდა არ აღემატება ათობით გამს (1 გამი $\gamma=1$ ნანოტესლას). გეომაგნიტური ველის შემფოთების აღმძრავ შესაძლო წყაროდ განხილულია:

1. მძლავრი მიწიძვრები;
2. მაგნიტოსფეროს პოლარული მიდამოების შემფოთებები და მაგნიტური ქარიშხლები;
3. საპლანეტათმორისო სივრცეში მიმდინარე პროცესები.

ჩვენს ამოცანას წარმოადგენდა აღნიშნული საკითხების შესწავლა ახალი მეთოდით; კერძოდ, საკვლევი აპარატურის გადამწოდები განვალაგეთ სპეციალურ გვირაბში, რათა შეგვემცირებინა პარაზიტული სიგნალების ფონი. ამასთან, მსგავსი სახის გაზომვები მანამდე არ ჩატარებულა კავკასიის რეგიონში.

გეოელექტრომაგნიტური ველის პარამეტრების დროულად რეგისტრირება მეტად აქტუალურია როგორც ელექტრომაგნიტური წინამორბედების მეშვეობით მიწისძვრის მოკლევადიანი პროგნოზის მეთოდთა სრულყოფისათვის, ასევე მაგნიტური

ქარიშხლების შესწავლისა და პროგნოზირების მიზნით. ამასთან, ზოგიერთი ექსპერიმენტული მასალა პირველად იქნა მიღებული და ამიტომ სადსიერტაციო ნაშრომში განხილული კვლევების მეთოდები და საკითხები საინტერესო და მეტად აქტუალურია, როგორც თეორიული, ასევე პრაქტიკული თვალსაზრისით.

კვლევის მიზანი ძირითადი, ამოცანები, საგანი და ობიექტი. კვლევის მიზანს წარმოადგენს გეომაგნიტური ველის ვარიაციების, რეგისტრირების მეთოდების შემუშავება და შესწავლა, რომლებიც დაკავშირებულია დედამიწის მახლობელ კოსმოსურ სივრცეში მიმდინარე პროცესებთან. განხილული საკითხები პრობლემურია როგორც თეორიული კუთხით, ასევე პრაქტიკული თვალსაზრისით. ექსპერიმენტული მასალის მისაღებად ჩვენს მიერ შემუშავებული იქნა გაზომვის ახალი მეთოდი. კერძოდ, ამ მიზნისათვის გეომაგნიტურ ველთან ერთად უნდა გაგვეზომა გეოელექტრული ველის ვერტიკალური Ez მდგენელი, თანაც ამისათვის უნდა გაგვეთვალისწინებია ტერიტორიის სპეციფიკა და შეგვექმნა სპეციალური გვირაბი, რაც საშუალებას მოგვცემდა უფრო ზუსტი გაზომვების წარმოებისათვის.

კვლევის საგანს წარმოადგენს დედამიწის სხვადასხვა ფენებში მიმდინარე პროცესების შესწავლა. კერძოდ, მიწისძვრის ელექტრომაგნიტური წინამორბედის შესწავლა ჰერცულ დიაპაზონში. განხილული საკითხები პრობლემურია, ვინაიდან შესწავლილი პროცესები დიდ ზეგავლენას ახდენს ბიოსფეროზე; კერძოდ, ადამიანზე. ამასთან, მსგავსი სახის ექსპერიმენტები მანამდე არ ჩატარებულა დასავლეთ საქართველოში, რაც ზრდიდა პრობლემების მნიშვნელობას.

კვლევის ობიექტს წარმოადგენს დედამიწის მახლობელ კოსმოსურ სივრცეში დაბალსიხშირული ჰიდრომაგნიტური (ე.წ. ალვენის) ტალღების გავრცელების რეგისტრაცია და მათი აღზნების შესაძლო მექანიზმების დადგენა.

კვლევის მეთოდები. კვლევების ჩატარებისათვის ჩვენ მიერ შერჩეული იქნა სპეციალური ტერიტორია, რათა პარაზიტული სიგნალების ფონი დაგვეყვანა მინიმუმამდე. ამასთან, აიგო სპეციალური დახმარე ნაგებობა (გვირაბი), სადაც ხდებოდა გაზომვები, რაც ზრდიდა ექსპერიმენტის სიზუსტეს და უფრო ამაღლებდა

მიღებული ექსპერიმენტული მასალის საიმედოობას. გარდა ამისა, გამოყენებული იქნა ექსპერიმენტული მასალის სტატისტიკური დამუშავების მეთოდი.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლე. ჩატარებული გამოკვლევების შედეგად დადგენილი იქნა, რომ:

1. შემუშავებული იქნა გეოელექტრომაგნიტური ველის E_z მდგენელის გაზომვის ახალი მეთოდი.
2. გაზომვის ახალი მეთოდის გამოყენებამ საშუალება მოგვცა E_z მდგენელის გაზომვის სიზუსტის ამაღლებისა, რის საფუძველზეც მოხერხდა ტექტონომაგნეტიზმის ეფექტის დაფიქსირება.
3. გაზომვის ახალი მეთოდის გამოყენებამ საშუალება მოგვცა ჰერშელის დიაპაზონში დაგვეფიქსირებინა შუმეიკერ-ლევის კომეტის იუპიტერთან შეჯახება.
4. მიღებული ექსპერიმენტული მასალის საფუძველზე შექმნილი იქნა შესაბამისი ფიზიკურ-მათემატიკური მოდელი.

სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულება. ნაშრომში განხილულ საკითხებზე დაყრდნობით შესაძლებელია მთელი რიგი კატასტროფული მოვლენების პროგნოზის მეთოდთა სრულყოფა (მიწისძვრების, მაგნიტური ქარიშხლების, მზეზე მიმდინარე ფეთქებადი პროცესების და ა.შ.), რასაც დიდი პრაქტიკული ღირებულება გააჩნია. აღნიშნული საკითხები მნიშვნელოვანია ეკოლოგიური თვალსაზრისითაც.

წარმოდგენილი ექსპერიმენტული და თეორიული შედეგები საშუალებას იძლევა ვაკონტროლოთ იონოსფეროსა და მაგნიტოსფეროში მიმდინარე ზოგიერთი პროცესი. კერძოდ, შესაძლებელი ხდება მაგნიტოჰიდროდინამიკური ტალღების გავრცელების შესწავლა დედამიწისა და სხვა პლანეტების იონოსფეროსა და მაგნიტოსფეროში, ასევე საპლანეტათშორისო მაგნიტური ველისა და მზის ქარის ზოგიერთი პარამეტრების ვარიაციები. ამას კი აქვს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა.

გარდა ამისა, წამოდგენილი შედეგების საფუძველზე შესაძლებელია საგრძნობლად განვითარდეს ჩვენი წარმოდგენები მაგნიტოსფეროში მიმდინარე იმ პროცესებზე, რომლებიც წარმოიშვება ბუნების სხვადასხვა არაორდინალური პროცესების შედეგად, რაც საშუალებას მოგვცემს სრულყოთ ამა თუ იმ

კატასტროფული მოვლენის კვლევა-ძიების მეთოდთა და ზოგ შემთხვევაში თავიდან ავიცილოთ კოლოსალური ზარალი და ადამიანთა მსხვერპლი.

დისერტაციის დაცვაზე გამოტანილი ძირითადი დებულებები. ეს დებულებები შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ შემდეგი სახით:

1. გაზომვის ახალი მეთოდის გამოყენებამ, რომლის მიხედვითაც საკვლევი აპარატურა განვითარდა სპეციალურ გვირაბში, მოგვცა საკმაოდ ზუსტი შედეგები. კერძოდ, პირველად იქნა შემუშავებული E_z მდგენელის გაზომვის ახალი მეთოდი.
2. გაზომვის ახალი მეთოდის შემუშავებამ საშუალება მოგვცა ვივარაუდოთ, რომ მიწისძვრის მოკვლევადიანი წინამორბედების შესწავლისას არსებითი ყურადღება უნდა მიექცეს გეომაგნიტური და გეოელექტრული ველის ვარიაციებს. ამ მხრივ კარგი საიმედოობით გამოირჩევა გეოელექტრული ველის ვერტიკალური მდგენელის E_z ცვლილებები.
3. გეოელექტრომაგნიტური ველის კვლევის შემდეგ გაგრძელებას დიდი მნიშვნელობა აქვს არა მარტო მაგნიტოსფეროში მიმდინარე პროცესების შესწავლისა და მისი დიაგნოსტიკის თვალსაზრისით, არამედ სეისმოაქტიურობისა და საპლანეტათმორისო კოსმოსურ სივრცეში მიმდინარე პროცესების კონტროლისათვის.
4. პირველად იქნა რეგისტრირებული შუმეიკერ-ლევი 9 კომეტის პლანეტა იუპიტერთან შეჯახება, რამაც ასახვა ჰპოვა დედამიწის მაგნიტოსფეროში მიმდინარე პროცესებზე.
5. რეგისტრირებული შემფოთების მიხედვით აგებული იქნა შესაბამისი ფიზიკურ-მათემატიკური მოდელი.

სამეცნიერო შედეგების საიმედოობა და საფუძვლიანობა. მიღებული შედეგების საიმედოობა დასტურდება ჩვენს მიერ აგებული ფიზიკურ-მათემატიკური მოდელით და მიღებული შედეგების არსებულ ექსპერიმენტულ მასალასთან კარგი თანხვედრით, რის საფუძველსაც წარმოადგენს კვლევის გამოყენებული მეთოდების სიზუსტე. გარდა ამისა, გამოყენებული იქნა არსებული აპარატურისათვის სპეციალური დაკალიბრების მეთოდი.

სამუშაოს შედეგების რეალიზაცია. გამოყენებული გაზომვის მეთოდოლოგია დანერგილი იქნა ყოფილი ქუთაისის ტექნიკური უნივერსიტეტის კოსმოფიზიკისა და ატმოსფერული ეკოლოგიის სამეცნიერო-კვლევით ცენტრში, ექსპერიმენტული მასალის დამუშავებისათვის. გარდა ამისა, მიღებულმა შედეგებმა ასახვა ჰპოვეს ლექციების კურსში: “კოსმოგენური ფაქტორების ზეგავლენა ბიოსისტემებზე”.

სამუშაოს აპრობაცია. სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოხსენებულ იქნა თბილისში გამართულ საერთაშორისო სიმპოზიუმზე, რომელიც მიემდგვნა რაჭა-სამაჩაბლოს მიწისძვრას, 1993 წელს რესპუბლიკურ სემინარებზე; ”ძლიერი მიწისძვრები და მისი გამომწვევი მიზეზები“(ქუთაისი). თბილისის ივ.ჯავახიშვილის სახელობის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გეოფიზიკის კათედრაზე, უნივერსიტეტის 75 წლისთავთან მიძღვნილ სემინარზე (1993), 1995 წელს რესპუბლიკურ სემინარზე: “კოსმოსი და ეკოლოგია (ქუთაისი), 1997 წელს რესპუბლიკურ სემინარზე: ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები”, კოსმოფიზიკის სამეცნიერო ცენტრის ყოველწლიურ სემინარებზე. ასევე განხილული საკითხები მოხსენებული იქნა აბასთუმნის ევ.ხარაძის სახელობის ასტროფიზიკური ობსერვატორიის სემინარებზე და საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტის სემინარზე (1998).

იგეგმება გაზომვის ახალ მეოდთან დაკავშირებით განაცხადის გაგზავნა საქპატენტში გამოგონებაზე.

სამუშაოს პუბლიკაცია. სადისერტაციო ნაშრომში განხილული საკითხები გამოქვეყნებულია, როგორც რესპუბლიკურ, ასევე უცხოურ სამეცნიერო ჟურნალში. კერძოდ, განხილულ საკითხებთან დაკავშირებით გამოქვეყნებულია 14 სამეცნიერო ნაშრომი.

გარდა ამისა, სადისერტაციო ნაშრომის ავტორს გააჩნია სხვა შრომებიც, მაგრამ მათი შედეგები განსხვავებულია დისერტაციის თემისაგან და ამიტომ არ შევიდა მის შემადგენლობაში.

სამუშაოს მოცულობა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, ოთხი თავის და 111 ციტირებული ლიტერატურისაგან. სამუშაო წარმოდგენილია 127 გვერდზე, შეიცავს 9 ნახაზს და 1 ცხრილს.

**1. გეომანტიური და გეოელექტრული ველის
ვარიაციების ექსპერიმენტული კვლევის მეთოდების ირგვლივ
შესრულებული სამუშაოების მოკლე მიმოხილვა**

როგორც ცნობილია, ჩვენი პლანეტის ქანებში, ატმოსფეროში და მზეზე მიმდინარეობს მრავალრიცხოვანი სხვადასხვა პროცესი. მრავალრიცხოვანი გამოკვლევებით დადგენილია, რომ იონოსფეროს მდგომარეობა და ელექტრომანტიური ველის ცვლადი მდგენელი ძირითადად განპირობებულია მზის ზემოქმედებით. დადგენილია ასევე მჭიდრო კავშირი გეომანტიურ და გეოელექტრულ (ელექტროტელურულ) ველს შორის, მაგრამ მიზეზები, რომლებიც განაპირობებს ელექტროტელურული ველის სხვადასხვა ვარიაციებს და მათი კავშირს ბუნების სხვა ჰელიოგეოფიზიკურ მოვლენებთან, ჯერ კიდევ არაა საკმარისად შესწავლილი. ამ პრობლემის გადაწყვეტა საშუალებას მოგვცემს გავაღრმაოთ ჩვენი შემეცნება გეოელექტრობის მიდამოში და ეფექტურად ჩავატაროთ მაგნიტოტელურული გამოკვლევები დედამიწის აგებულების და სასარგებლო წიაღისეულების შესწავლის მიზნით. ამიტომ ელექტროტელურული ველის ზოგადი კანონზომიერებების შესწავლას აქვს არა მარტო თეორიული, არამედ დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობაც.

დედამიწის ზედაპირის სხვადასხვა პუნქტებში დამზერის ხანგრძლივი მონაცემების შედეგების ყოველმხრივი დამუშავება, ანალიზი და მითანადება საშუალებას მოგვცემს გავაანალიზოთ მრავალი საკითხი, რომელიც ეხება ელექტროტელურული ველის ნამდვილ ბუნებას და მის კავშირს სხვა გეოფიზიკურ მოვლენებთან. რადგანაც დედამიწის ბირთვში ცირკულირებს სხვადასხვა წარმოშობის ელექტრული დენები, ამიტომ ელექტროტელურული ველის ფიზიკური ბუნების შესწავლისათვის აუცილებელია დავამუშაოთ სხვადასხვა სახის ლოკალური და რეგიონალური ველების გამოყოფის მეთოდები.

§ 1.1. გეომაგნიტური ველის ვარიაციების გაზომვის მეთოდები.

სტაციონალური დაკვირვებები დედამიწის რეგიონალურ ელექტრულ დენზე (ტელურულ დენებზე) ამ დენების ფიზიკური ბუნების გამოკვლევისათვის და ჰელიოგეოფიზიკურ მოვლენებთან მისი კავშირის დადგენისათვის საქართველოში დაიწყო 1948 წელს საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტის დუშეთის ობსერვატორიაში. ანალოგიური (დამატებითი) დამზერის პუნქტი 1969 წლიდან ფუნქციონირებს ბოგდანოვკის რაიონში. 1989 წლიდან კი დედამიწის ბუნებრივი ელექტრომაგნიტური (გეომაგნიტური და გეოელექტრული) ველის მდგენელების დამზერა დაიწყო დასავლეთ საქართველოშიც; კერძოდ, ჩვენი უნივერსიტეტის კოსმოფიზიკური გამოკვლევების სამეცნიერო-კვლევით ცენტრთან არსებულ ობსერვატორიაში. ანალოგიური გაზომვები წარმოებს დამოუკიდებელ სახელმწიფოთა თანამეგობრობის (დსთ) სხვა სახელმწიფოებშიც. ამ მხრივ გამოირჩევა მოსკოვის ო. შმიდტის სახელობის დედამიწის ფიზიკის ინსტიტუტის ბოროკოს ობსერვატორიაში წარმოებული დაკვირვებები.

როგორც წესი, ელექტროტელურული ველის შესწავლის მიზნით გამოიყენება გაზომვის რამდენიმე მეთოდი: 1. ეგრეთ წოდებული გრადიენტული გაზომვები; 2. დედამიწის ელექტრული ველის ვერტიკალური მდგენელის Ez გაზომვა, როგორც სპეციალურ ჭაბურღილებში, (1,5x2 მეტრის სიღრმეზე), ასევე მიწისპირა ფენაშიც. ამ დროს გაზომვები უნდა ჩატარდეს მაღალმთურ ქანებზე. ამასთან, ასეთი ვერტიკალური ჭრილები, როგორც წესი, ხასიათდებიან მკვეთრი ჰორიზონტალური არაერთგვაროვნებებით, რაც ძლიერ ზეგავლენას ახდენს გაზომვის შედეგებზე.

როგორც ცნობილია, რეგიონალური ელექტრული დენების გარდა დედამიწის ქერქში არსებობს ლოკალური ხასიათის ელექტრული ველები, განპირობებული ქიმიური რეაქციებით, აგრეთვე დიფუზიური და ფილტრაციული პროცესებით, რომელთა ინტენსივობაც დამოკიდებულია საკვლევი რაიონის გეოლოგიურ აგებულებაზე. რადგანაც ამ პროცესებით განპირობებულმა ელექტრომამოძრავებელმა ძალამ შეიძლება მოახდინოს გარკვეული ზეგავლენა დედამიწის რეგიონალურ ელექტრულ დენზე, ამიტომ აღნიშნული დენების ვარიაციაზე მუდმივი (უწყვეტი) სტაციონალური დამზერისათვის შერჩეულ რაიონში გარდა სხვა პირობებისა მოითხოვება ბუნებრივი

ელექტრული ველის ინტენსიობის და ხასიათის დეტალური შესწავლა, რაც ჩვენ შემთხვევაში 80-იან წლებში განახორციელეს. მოსკოვის ო. შმიდტის სახელობის დედამიწის ფიზიკის ინტიტუტის, თბილისის ივ. ჯავახიშვილის სახელობის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის ფაკულტეტის გეოფიზიკის კათედრის და საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტის თანამშრომლებმა. მათ დაადგინეს, რომ საკვლევ მიდამოში ზემოთ აღნიშნული ხასიათის ბუნებრივი ელექტრული ველი მინიმალურია, რაც საშუალებას იძლევა მაღალი სიზუსტის დაკვირვებების ჩასატარებლად.

გარდა ზემოთ თქმულისა, აუცილებელია აღინიშნოს, რომ ელექტროტელურული ველის ცვლადი ნაწილის ინტენსივობა და დროში ცვლილება, გარდა ადგილმდებარეობის გეოლოგიური და გეოელექტრული აგებულებისა, ძლიერაა დაკავშირებული დედამიწის მაგნიტური ველის ინტენსივობაზე და ხასიათზე; ამიტომ ელექტროტელურული ველის ჩანაწერების სტაციონალური დაკვირვებების ორგანიზაციისა და ანალიზის დროს მოითხოვება გეომაგნიტური ველის ხასიათის შესახებ მონაცემების გამოყენება. წყნარი მაგნიტური ველის არსებობა წარმოადგენს აუცილებელ პირობას ელექტროტელურულ ველზე სრულფასოვანი სტაციონალური დაკვირვებების ჩანაწერების მიღებისათვის.

გამომდინარე იქედან, რომ გეომაგნიტური პულსაციები ძირითადად წარმოიშობიან დედამიწის მახლობელ კოსმოსურ სივრცეში და მათ გააჩნიათ როგორც ჰორიზონტალური, ასევე ვერტიკალური მდგენელები, ამიტომ ხშირად აუცილებელი ხდება მაგნიტოჰიდროდინამიკური ტალღების ელექტრული მდგენელების რეგისტრაციაც. ეს კი საშუალებას გვამლევს უფრო ზუსტად განვსაზღვროთ და შევისწავლოთ როგორც რეგულარული (Pc) ტიპის პულსაციები, ასევე ირეგულარული (Pi) ტიპის პულსაციები. გარდა ამისა, დავადგინოთ საპლანეტათშორისო მაგნიტური ველის კავშირი (ელექტროტელურული) გეოელექტრულ ველთან. მეორეს მხრივ, აღნიშნული საკითხების უფრო დეტალური შესწავლა შეუძლებელი ხდება, თუ არ იქნა შესწავლილი პულსაციის ელექტრული ველის ვერტიკალური მდგენელის Ez ვარიაციები ატმოსფეროში. ასევე არსებითი ხდება მაგნიტოსფერული ბუნების შემფოთებების ზეგავლენა როგორც ატმოსფერული ელექტრული ველის

დაძაბულობაზე, ასევე გეოელექტრული ველის ვერტიკალური მდგენელის Ez ვარიაციებზე.

ატმოსფერული ელექტრული ველის დაძაბულობის ვარიაციებში მაგნიტოსფერული ბუნების შემფოთებების გამოყოფის ყველაზე ეფექტური მეთოდია დედამიწის ზედაპირზე Ez-ის აეროსტატებზე ელექტრული ველის ჰორიზონტალური კომპონენტის Et-თან ერთდროული რეგისტრაცია, რადგანაც მაგნიტოსფერულ-იონოსფერული წარმოშობის ფართომასშტაბური ელექტრული ველები აღწევენ დაახლოებით 30კმ. სიმაღლეებამდე პრაქტიკულად დამახინჯების გარეშე. პირველად ეს მეთოდი რეალიზებული იქნა სსრკ-ში ექსპერიმენტ «САНБО»-ს პერიოდში (САНБО – Синхронные Авроральные Множественные Баллонные Обсерватории). ამ საერთაშორისო ექსპერიმენტების მსვლელობისას შვეციის ტერიტორიაზე (ერსანჯის პოლიგონი, კირუნა) განხორციელდა მაღლივი აეროსტატების გაშვება სამეცნიერო აპარატურით, რომლის დანიშნულებაც იყო ელექტრული ველის, დამუხრუჭებითი რენტგენული გამოსხივების და პოლარული ნათების გამოკვლევა. პარალელურად სსრკ-ში (მურმანსკში და არხანგელსკში) ხდებოდა დედამიწის ზედაპირზე Ez-ის გაზომვა. ასეთი გაზომვებისას ელექტროსტატიკური ფლუქსომეტრის გადამწოდებს ამაგრებენ დედამიწის ზედაპირიდან 3-5 მეტრის სიმაღლეზე. ამ დროს, ჯერ ერთი, მცირდება მეტეოროლოგიური ხმაური, განპირობებული მიწისპირა ფენის ლოკალური ეფექტებით; მეორეც, გადამწოდის ლოკალიზაცია შემადგენელზე იწვევს გაზომილი ველის დაძაბულობის გაზრდას და, მაშასადამე, სიგნალის აპარატურის ხმაურის შეფარდების გაზრდას, ე.ი. იზრდება გაზომვის სიზუსტე.

§ 1.2. გეომაგნიტური ველის ვარიაციების გაზომვის ხელსაწყოების და ექსპერიმენტული მასალის დამუშავების ირგვლივ ჩატარებული სამუშაოების მიმოხილვა

როგორც უკვე ავღნიშნეთ, ელექტროტელურული ველი განიცდის სხვადასხვა სახის ცვლილებებს სივრცეში და დროში. ამ ველის სივრცესა და დროში ქცევის შესწავლა

შეიძლება მოვახდინოთ დედამიწის ზედაპირის სხვადასხვა პუნქტებში ერთდროული და ხანგრძლივი დაკვირვებების მონაცემების საფუძველზე. ძირითადი ფიზიკური სიდიდე, რომელზედაც ხდება ასეთი დაკვირვება, არის ორ წერტილს შორის პოტენციალთა სხვაობა, რომელიც აიღება დედამიწის ზედაპირზე. პოტენციალთა სხვაობის დამზერილი მნიშვნელობა ჩვეულებრივ გამოისახება მვ/კმ-ში და პირობითად უწოდებენ პოტენციალის გრადიენტს, ანუ ელექტროტელურული ველის დამაბულობას მოცემულ პუნქტში და დროის მოცემულ მომენტში. ელექტროტელურული ველის დამაბულობის \vec{E} სრული ვექტორი შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც ჰორიზონტალური \vec{E}_H და ვერტიკალური \vec{E}_Z მდგენელების ჯამი, რომელიც დამოკიდებულია როგორც დროზე, ასევე სხვადასხვა ადგილობრივ ფაქტორებზე. თუ გავშლით ჰორიზონტალურ მდგენელს \vec{E}_H ორ ვექტორად: მერიდიანის \vec{E}_X და განედის \vec{E}_Y გასწვრივ მიმართულების მიხედვით, მივიღებთ შემდეგ დამოკიდებულებას:

$$\vec{E} = \vec{E}_X + \vec{E}_Y + \vec{E}_Z \quad (1-1)$$

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \quad (1-2)$$

რადგან ელექტროტელურულ ველზე სისტემატური დაკვირვებები ჩვეულებრივ წარმოებს მიმდები ხაზების მეშვეობით, რომელიც განლაგებულია დედამიწის დღის ზედაპირზე, ეს დაკვირვებები საშუალებას იძლევა შევისწავლოთ მხოლოდ სრული ვექტორის ჰორიზონტალური მდგენელი:

$$\vec{E}_H = \vec{E}_X + \vec{E}_Y \quad (1-3)$$

ამ დროს დღის ზედაპირის სიმრუდე უგულებელყოფილია და იგულისხმება, რომ მიმდები ხაზების განლაგების საზღვრებში იგი არის ბრტყელი. სისტემატური დაკვირვებები და სპეციალური ექსპერიმენტები მთის რელიეფის გავლენის გამოკვლევის მიზნით დედამიწის ელექტრული დენის ქცევაზე ჯერ არ შესრულებულა. კერძო შემთხვევები რელიეფის ზოგიერთი ფორმის შესახებ მაგნიტოტელურული ველის განაწილებაზე შესწავლილი იქნა საქართველოს გეოფიზიკის ინსტიტუტის თანამშრომლების მიერ (ო.ვ. ტატიშვილის, შ.ა. თავართქილაძის და სხვათა მიერ).

\vec{E}_Z მდგენელის გამოკვლევა დაკავშირებულია დიდ სირთულეებთან, რადგანაც იგი მოითხოვს ღრმა ჭაბურღილების ანუ საკმაოდ ღრმა გვირაბების არსებობას. ვერტიკალური გრადიენტის და \vec{E}_Z მდგენელის ვარიაციების სიდიდის

განსაზღვრისათვის და გამოკვლევისათვის აუცილებელია სისტემატიური ერთდროული პარალელური ჩანაწერების განხორციელება როგორც დღის ზედაპირზე, ასევე სხვადასხვა სიღრმეზე, რაც ცხადია, ყველაზე მარტივია ზღვებში, ოკეანეებში და ამ მიზნისათვის გამოსადეგ სამთო (მთის) გვირაბებში.

რადგან ელექტროტელურული ველის დამაბულობის ვექტორი იცვლება დროში როგორც სიდიდით, ასევე მიმართულებით, უმეტეს შემთხვევაში მოცემულ პუნქტში დედამიწის ზედაპირზე რეგისტრირდება ჰორიზონტალური მდგენელის \vec{E}_H არა სრული ვექტორი, არამედ მისი კომპონენტები მერიდიანული \vec{E}_X და განედური \vec{E}_Y მიმართულებით. \vec{E}_X და \vec{E}_Y კომპონენტების ვარიაციის სისტემატიური ჩანაწერები, საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ \vec{E}_H -ის სიდიდე და მიმართულება დროის ნებისმიერ მომენტში, რადგანაც

$$E_H = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{E_x}{E_y} \quad (1-4)$$

სადაც α არის კუთხე \vec{E}_H და გეოგრაფიულ პარალელს შორის, რომელიც აითვლება საათის ისრის მოძრაობის საპირისპირო მიმართულებით. ვინაიდან ელექტროტელურულ ველს ახასიათებს რეგიონალურობა, ამიტომ სარეგისტრაციო აპარატურის მგრძობიარობა და შესაბამისი მეთოდის შერჩევა დაკავშირებულია მიდამოს გეოლოგიურ აგებულებაზე. ამასთან, ელექტროტელურული რხევების აღმოჩენა და სრული სპექტრის შესწავლა დამოკიდებულია აპარატურის ამპლიტუდურ-სიხშირულ მახასიათებლებზე.

მოკლეპერიოდული რხევების \vec{E}_Z კომპონენტის შესწავლისათვის იყენებენ ინდუქციურ გადამწოდს. ეს გადამწოდი აგებულია ელექტროსტატიკური ინდუქციის პრინციპზე. ის წარმოადგენს ვერტიკალურ მანჭვალს, რომელიც მტკიცედაა (მჭიდროდაა) ჩამაგრებული იზოლატორის საშუალებით მეტალური დისკის ცენტრში. მანჭვალის ქვედა ბოლო შეერთებულია უშუალოდ მაღალმური გამაძლიერებლის შესასვლელთან, რომელსაც გააჩნია შესასვლელი წინაღობის ტევადური ხასიათი სიხშირეთა გასაზომ დიაპაზონში. შესასვლელი წინაღობის ტევადური ხასიათი აუცილებელია იმისათვის, რომ დამაბულობის ფაზა გამაძლიერებლის შესასვლელზე დაემთხვეს \vec{E}_Z -ის მოკლეპერიოდული რხევების ფაზას. აღნიშნული პირობის შესრულების დროს მაღალმური გამაძლიერებლის შესასვლელზე დამაბულობა

დაკავშირებულია \dot{E}_z -ის მოკლეპერიოდული რხევების დამაბულობასთან მარტივი გამოსახულებით:

$$V(t) \approx KE_z(t) \quad (1-5)$$

პროპორციულობის კოეფიციენტი K თითქმის არაა დამოკიდებული სიხშირეზე და განისაზღვრება საკუთარი ტევადობის C_1 მნიშვნელობით, მანჭვალის მოქმედი (არსებული) სიმაღლით h და, ასევე გამამლიერებლის შესასვლელი ტევადობის $C_{\text{გეს}}$ მნიშვნელობით:

$$K \approx h \cdot d / (1 + C_1 / C_{\text{გეს}}) \quad (1-6)$$

სადაც $h \cdot d \approx h/2$, h – მანჭვალის გეომეტრიული სიმაღლეა. ცვლადი ელექტრული ველით მანჭვალზე აღძრული ემმ გამლიერება ხდება მუდმივი დენის გამამლიერებლის საშუალებით.

გამამლიერებლების პარამეტრების შეფასება მოახდინეს როცა $R_{\text{გეს}} \approx 10^{12}$ ომი და $C_{\text{გეს}} \approx 150$ პფ. გადამწოდის ხმაურული თვისებები გამოიკვლიეს აქტიური ფილტრების გამჭვირვალობის ზოლში ორ დიაპაზონში: $0,03 \div 0,3$ ჰც. და $0,3 \div 3$ ჰც. პირველ დიაპაზონში საკუთარი ხმაურის დონე მითანადებული გადამწოდის შესასვლელთან, შეადგენდა $0,1$, ხოლო მეორეში $-0,5$ ვ/გ-ს, რაც საშუალებას იძლევა გავზომოთ გეოელექტრული ველის ვერტიკალური მდგენელის დამაბულობის პულსაცია მოკლეპერიოდული რხევების მთელ დიაპაზონში.

დედამიწის გეომაგნიტური პულსაციების რეგისტრაცია $0,001 \div 10$ ჰც. სიხშირეთა დიაპაზონში ხდება ხელსაწყო მაგნიტომეტრის დახმარებით. ეს ხელსაწყო ახდენს გეომაგნიტური პულსაციების სამი მდგენელის: აღმოსავლეთ-დასავლეთი (H_x), სამხრეთ-ჩრდილოეთი (H_y) და ვერტიკალური (H_z) მდგენელის რეგისტრაციას სიხშირეთა ორ დიაპაზონში – დაბალსიხშირულ $0,001 \div 0,05$ ჰც და მაღალსიხშირულ $0,05 \div 0,05$ ჰც. ინფორმაციის მიღება ხდება სამივე მიმართულებით დაყენებული მაგნიტური გადამწოდებით. მაგნიტური გადამწოდები ეს იგივე მაგნიტური სოლენოიდებია. მაგნიტური გადამწოდი შედგება გულარზე დახვეული ორი გრაგნილისაგან. პირველად გრაგნილზე ეწოდება ძაბვა. მასში დენის გავლის დროს წარმოიქმნება მაგნიტური ველი დროში უცვლელი და სივრცულად არაერთგვაროვანი. ეს მაგნიტური ველი მსგავსია სოლენოიდში დენის გავლის დროს წარმოქმნილი

მაგნიტური ველისა. ამ მაგნიტურ ველთან მოქმედებს გარეშე გეომაგნიტური ველი და იწყებს მის ცვლილებას იმავე კანონით, რა კანონითაც იცვლება გარეშე ელექტრომაგნიტური ველი. სოლენოიდის ირგვლივ არსებული ცვლადი მაგნიტური ველი მეორეულ გრაგნილში აღძრავს ინდუქციის ელექტრომამოძრავებელ ძალას (ემძ), რომლის გაძლიერება ხდება გადამწოდზე დამაგრებული წინასწარი გამაძლიერებლის საშუალებით და ეკრანირებული კაბელით გადაეცემა მაგნიტომეტრს, რომელიც კიდევ ძლიერდება მაგნიტომეტრში დადგმული ბუფერული გამაძლიერებლით და გაძლიერებული ინფორმაცია გადაეწოდება თვითმწერს.

აპარატურის კალიბრება ხდება 0,053ვ. სიხშირისა და 0,1ვ. ამპლიტუდის სიგნალით გენერატორიდან დაბალსიხშირულ დიაპაზონში, ხოლო მაღალსიხშირულისა კი 0,53ვ. სიხშირისა და $\pm 0,02$ ვ. ამპლიტუდის მქონე სიგნალით.

აპარატურის კალიბრება ხდება მაგნიტურად მშვიდ პერიოდში, რათა გარეშე სიგნალმა შეშფოთება არ შეიტანოს საკალიბრო სიგნალში და არ დაამახინჯოს ის.

საკალიბრო სიგნალი მიეწოდება პირველად გრაგნილს, აღძრავს რა მასში ცვლად მაგნიტურ ველს, რაც იცვლება იმავე კანონით რითაც საკალიბრო სიგნალი. ეს ცვლადი მაგნიტური ველი მეორეულ გრაგნილში აღძრავს ემძ-ს, რაც სპეციალური გამაძლიერებლების შემდეგ რეგისტრირდება თვითმწერზე.

დაბალი სიხშირეების დიაპაზონში გადამწოდს მიეწოდება $V=\pm 0,1$ ვ. სიგნალი. გადამწოდის პირველად ხვიაში ამ დროს გადის დენი, რომელიც წარმოშობს H მაგნიტურ ველს. ეს დენი ამ მაგნიტურ ველთან დაკავშირებულია შემდეგი ფორმულით:

$$H=CI \quad (1-7)$$

სადაც H – მაგნიტური ველია და იზომება გამებში ($1\gamma=1$ ნანოტესლა), I – გადამწოდში გამავალი დენი იზომება ამპერებში, ხოლო C – გადამწოდის მუდმივია და

$$C = 1,1 \frac{\gamma}{mA} = 1,1 \text{ ნანოტესლა/მიკროამპერი}$$

გადამწოდს გენერატორიდან სიგნალი ეწოდება 10 ომი აქტიური წინაღობის გავლით. მასში გამავალი დენი განისაზღვრება დამოკიდებულებიდან:

$$I=U/R=0,1\text{ვ}/10^5\text{ომი}=10^{-6} \text{ ამპერი}=1\text{მკამპერი (mkA)}$$

$$H=CI=1,1\gamma/mkA \cdot 1mkA=1,1\gamma,$$

$$H=\pm 1,1\gamma$$

თუ თვითმწერზე ორმაგი ამპლიტუდა კალიბრების დროს საშუალოდ 30მმ-ია, მაშინ 1 მმ-ზე გადახრა (მგრძნობიარობა) იქნება

$$\Delta l = 1,1\gamma / 30\text{მმ} \cdot 1\text{მმ} \approx 0,06\gamma / \text{მმ}.$$

მაღალი სიხშირის დიაპაზონში ანალოგიურად

$$H = CI = C \frac{U}{R} = 1,1 \frac{\gamma}{\text{mkA}} \cdot \frac{0,02V}{10^5 A} = 1,1 \frac{\gamma}{\text{mkA}} = 0,2 \cdot 10^{-6} A,$$

ანუ

$$H = 1,1 \cdot 0,2\gamma = \pm 0,22\gamma / \text{მმ}$$

თუ თვითმწერზე გადახრა 35 მმ-ია (ორმაგი ამპლიტუდა), მაშინ

$$\Delta l = 0,44\gamma / 35 \text{მმ} \cdot 1\text{მმ} \approx 0,012\gamma / \text{მმ}$$

დაბალსიხშირულ დიაპაზონში, თუ გეომანტური პულსაციის ამპლიტუდა თვითმწერზე 5 მმ-ია, მაშინ მისი ამპლიტუდა იქნება (γ)-ში:

$$H = \Delta l \cdot S = 0,06\gamma / \text{მმ} \cdot 5\text{მმ} = 0,3\gamma$$

მაღალსიხშირულ დიაპაზონში, თუ გეომანტური ველის პულსაციის ამპლიტუდა თვითმწერზე 10მმ-ია ($S=10\text{მმ}$), მშინ მისი ამპლიტუდა γ -ში იქნება:

$$H = \Delta l \cdot S = 0,012\gamma / \text{მმ} \cdot 10\text{მმ} = 0,12\gamma$$

დედამიწის ელექტრული ველის ვარიაციების რეგისტრაცია ჩვენ შემთხვევაში ხდება ხელსაწყო "გეოვოლტმეტრით". ეს ხელსაწყო ზომავს დედამიწის ელექტრული ველის რხევებს სამი მიმართულებით: ჰორიზონტალურები აღმოსავლეთ-დასავლეთი (E_x), სამხერეთ-ჩრდილოეთი (E_y), და ვერტიკალურ E_z , მდგენელს. გაზომვა ხდება სიხშირეთა ორ დიაპაზონში: დაბალსიხშირული 0,001--0,05ჰც და მაღალსიხშირული 0,05--0,5ჰც დიაპაზონში. ტყვის ელექტროდები ჩამარხულია მიწაში, რომლებიც ერთმანეთისაგან დაშორებულია გარკვეული მანძილით (23 მეტრით).

ამ ელექტროდებით შესაბამისი პოტენციალები მიეწოდება გეოვოლტმეტრს, რაც ძლიერდება გეოვოლტმეტრში ჩადგმული სპეციალური გამაძლიერებლებით და თვითმწერს მიეწოდება გაძლიერებული სიგნალი.

გეოვოლტმეტრის კალიბრება ხდება დაბალსიხშირულ დიაპაზონში $\pm 0,1$ ვ. ამპლიტუდისა და 0,05 ჰც სიხშირის სიგნალით გენერატორიდან, მაღალსიხშირულ დიაპაზონში კი 0,02ვ. ამპლიტუდისა და 0,5 ჰც. სიხშირის სიგნალით. გეოვოლტმეტრში ჩადგმულია ძაბვის დამყოფი, რომელიც ყოფს გენერატორიდან მიწოდებულ ძაბვას:

$$V_{\text{მეს.კალ.}} = \frac{R_{K2}}{R_{K1} + R_{K2}} V_{\text{გენ.}} = KV_{\text{გენ.}} \quad (1-8)$$

სადაც, V - გენერატორიდან მიწოდებული სიგნალია, K - გაძლიერების კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება ასე:

$$K = \frac{R_{K2}}{R_{K1} + R_{K2}} = \frac{51}{10000} = 5,1 \cdot 10^{-4}$$

თუ ელექტროდებს შორის მანძილი $d=23$ მეტრს, მაშინ დედამიწის ელექტრული ველის დაძაბულობა

$$E = \frac{V_{\text{მეს.კალ.}}}{d} = \frac{5 \cdot 10^{-5}}{23} = 0,21 \cdot 10^{-5} \text{ ვ/მმ}$$

თუ დაბალი სიხშირეების დროს თვითმწერზე გადახრა არის 45 მმ (ორმაგი ამპლიტუდა), მაშინ მგრძნობირობა იქნება:

$$\Delta E = 2 \cdot 0,21 \cdot 10^{-5} \text{ ვ/45 მმ} \approx 0,01 \cdot 10^{-5} \text{ ვ/მმ} = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ ვ/მმ} = 0,1 \text{ მკა/მმ}$$

თუ ელექტრული ველის პულსაციის ამპლიტუდა (ორმაგი ამპლიტუდა) თვითმწერზე არის $\Delta S=7$ მმ, მაშინ ელექტრული ველის დაძაბულობა ვ/მ-ში იქნება:

$$\Delta E = 7 \text{ მმ} \cdot 0,1 \text{ მკვ/მმ} = 0,7 \text{ მკვ/მ}$$

და ბოლოს უნდა ავლნიშნოთ, რომ აპარატურა მიღებულ სიგნალს აძლიერებს 8-ჯერ, რომელიც იწერება სპეციალურ თვითმწერზე. თვითმწერზე ლენტის სიჩქარე არის 30 მმ/წთ-ში ტოლი, რაც საშუალებას იძლევა საკმაოდ მკაფიოდ იქნას აღქმული მიღებული ინფორმაცია.

ჩვენ ძირითადად ვზომავდით მაგნიტური ველის სამივე კომპონენტს: აღმოსავლეთ-დასავლეთი (H_x), ჩრდილოეთ-სამხრეთი (H_y) და ვერტიკალურს (H_z), როგორც მაღალსიხშირულ, ასევე დაბალსიხშირულ დიაპაზონში. გარდა ამისა, იზომებოდა გეოელექტრული ველის ვერტიკალური E_z მდგენელი.

მიღებული ექსპერიმენტული მასალის დამუშავება ხდებოდა შემდეგნაირად: ინფორმაცია დაიყო ორ ჯგუფად, პირველ ჯგუფში შევიდა ის მასალები, რომლებიც დაკავშირებული იყო მძლავრ მიწისძვრებთან, ხოლო მეორე ჯგუფში შევიდა მაგნიტურ ქარიშხლებთან დაკავშირებული მონაცემები. მიწისძვრებთან დაკავშირებული ინფორმაციის დამუშავება ხდებოდა შემდეგი ცნობილი სქემის მიხედვით. კერძოდ,

მიწისძვრასთან დაკავშირებული გეომაგნიტური ველის ვარიაციები უნდა გამოვლენილიყო ველის ვექტორში

$$\delta H_{\alpha} = (\delta X_{\alpha}^2 + \delta y_{\alpha}^2)^{1/2} \quad (1-9)$$

სადაც, $\delta X_{\alpha} = \delta X_{\text{დაძვ}} - \delta X_{\text{ნორმ}}$. ამასთან, $\delta X_{\text{დაძვ}}$ და $\delta y_{\text{დაძვ}}$ იღებოდა H და D კომპონენტის მიხედვით გამოთვლილი x და y საშუალო საათური ორდინატით, ხოლო $\delta X_{\text{ნორმ}}$ და $\delta y_{\text{ნორმ}}$ - ნორმალური დღელამური სვლის X და y ორდინატებია. ვარიაციის ნორმალური დღელამური სვლის ქვეშ მოცემულ შემთხვევაში აიღება საშუალო დღელამური სვლა ყველა დღელამური მაგნიტოგრამიდან, რომელიც ჩართულია განხილვაში, გარდა აშკარად შემფოტოებული დღეებისა. გარდა ამისა, ყოველი მიწისძვრის მომენტი ($K \geq 10,6$) მიიღებოდა დროის ათვლის საწყისად და დროის ამ მომენტის მიმართ კეთდებოდა H ვარიაციის საშუალო საათური ორდინატი დროის გარკვეული მონაკვეთისათვის, როგორც ბიძგამდე, ასევე ბიძგის შემდეგ და შემდეგ მათგან ხდებოდა ნორმალური დღელამური სვლის შესაბამისი ორდინატის მნიშვნელობის გამოკლება, ე.ი. ვადგენდით სიდიდეს:

$$\delta H_{\alpha} = \delta H_{\text{დაძვ}} - \delta H_{\text{ნორმ}} \quad (1-10)$$

სადაც, $\delta H_{\text{დაძვ}}$ და $\delta H_{\text{ნორმ}}$ აქვთ იგივე არსი, რაც (1-9) გამოსახულებაში შემდეგ ვადგენდით ჯამს

$$\sum_{i=1}^n \delta H_{\alpha}$$

სადაც $i=1,2,\dots,n$ მიწისძვრების რიცხვია.

ამ მეთოდით დავამუშავეთ ზემოთ აღნიშნული მიწისძვრების როგორც ფორშოკული, ასევე აფტერშოკული პერიოდი.

გარდა ზემოთ მოყვანილი მეთოდიკისა, ვიყენებდით იმპულსების თვლის და მომვლების მეთოდს. ამასთან, იმპულსების თვლის მეთოდი შეიძლება გამოყენებული იქნას გეოელექტრული ველის ვერტიკალური კომპონენტის (E_z) მონაცემების დამუშავებისათვის, ხოლო ე.წ. მომვლების მეთოდი შეიძლება გამოვიყენოთ გეომაგნიტური ველის საშუალო დღელამური სურათის აგებისათვის.

ახლა განვიხილოთ მაგნიტური ქარიშხლების დამუშავების მეთოდიკა. აღვნიშნოთ, რომ მაგნიტური ქარიშხლებიდან გამოვყავით ისეთი ქარიშხლები, როდესაც ველის ვარიაცია იყო $H \geq 25-30$ ნანოტესლა. ვიღებდით ქარიშხლამდე 1-2 საათს და ქარიშხლის

შემდეგ 2 საათს. ყოველი საათი დაგყავით 15-20 წუთიან ინტერვალად და ვილებდით აღნიშნულ პერიოდებში ველის მაქსიმალურ, მინიმალურ და საშუალო მნიშვნელობებს. შემდეგ ანლოგიურად ვამუშავებდით 1 ან 2 მაგნიტურად მშვიდ დღეს. ამის შემდეგ ვადგენდით $\delta H_{\text{დამზ.შემზ}} - \delta H_{\text{დამ.წყნარი}}$ სხვაობას.

ცალკე ვახდენდით რეგულარული და ირეგულარული პულსაციების გამოყოფას. ასეთ მონაკვეთებს ვამუშავებდით რხევის პერიოდის ზრდადობის ან კლებადობის მიხედვით. ასევე ვადგენდით ამა თუ იმ სახის პულსაციის გაჩენის რიცხვს.

1.3. კვლევის მიზანი და ამოცანები

ამრიგად, სადისერტაციო ნაშრომის პირველ თავში ძირითადად განხილულია გეომაგნიტური და გეოელექტრული ველის გაზომვის მეთოდოლოგია. კერძოდ, მოცემულია გამზომი აპარატურის მოკლე დახასიათება და აღწერილია მუშაობის პრინციპი.

ჩატარებული კვლევების შედეგად შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ:

1. დამუშავებულია გეომაგნიტური და გეოელექტრული ველის ვარიაციების გაზომვის მეთოდები. დადგენილია გაზომვის შესაძლო ცდომილებები. ჩატარებული კვლევების შედეგად დადგენილია, რომ პარაზიტული სიგნალების ფონი მინიმალურია.
2. დადგენილია გეომაგნიტური პულსაციების წარმოშობის ბუნება და განსაზღვრულია მასზე მოქმედი ფაქტორები. კერძოდ, საკვლევ მიდამოში ბუნებრივი ელექტრული ველი მინიმალურია. გარდა ამისა, მინიმალურია ე.წ. მოხეტიალე დენების და პარაზიტული სიგნალების ბუნებრივი ფონი, ამიტომ ჩატარებულ გაზომვებს აქვს დიდი თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა.
3. აღნიშნული საკითხის მიხედვით საპლანეტათშორისო მაგნიტური ველის გეომაგნიტურ ველზე ზეგავლენის დეტალური შესწავლა შეუძლებელია პულსაციის ელექტრული ველის ვარიაციების შესწავლის გარეშე. კერძოდ, დადგენილია, რომ ხშირად აუცილებელი ხდება მაგნიტოჰიდროდინამიკური ტალღების ელექტრული

მდგენელების რეგისტრაციაც, რაც საშუალებას მოგვცემს უფრო ზუსტად განვსაზღვროთ და შევისწავლოთ როგორც რეგულარული (P_c) ტიპის პულსაციები, ასევე ირეგულარული (P_1) ტიპის პულსაციები.

4. განხილულია გაზომვის ორი მეთოდი: 1) ეგრეთ წოდებული გრადიენტული გაზომვები; 2) დედამიწის ელექტრული ველის ვერტიკალური მდგენელის E_z გაზომვა როგორც სპეციალურ ჭაბურღილებში (1,5 x2 მეტრის სიღრმეებზე), ასევე მიწისპირა ფენაში. ამასთან, ასეთი ვერტიკალური ჭრილები, როგორც წესი, ხასიათდებიან მკვეთრი ჰორიზონტალური არაერთგვაროვნებებით, რაც ძლიერ ზეგავლენას ახდენს გაზომვის შედეგებზე. ასეთი ზეგავლენის შემცირების მიზნით აპარატის გადამწოდებლები ჩვენ განვალაგეთ სპეციალურ გვირაბში, რამაც მოგვცა საკმაოდ კარგი შედეგი. კერძოდ, კიდევ უფრო გაგვეზარდა მიღებული ექსპერიმენტული მასალის სიზუსტე.

2. მძლავრ მიწისძვრებთან დაკავშირებული გეომაგნიტური ველის ვარიაციები

ცნობილია, რომ კავკასიის ლითოსფერული მეგაბლოკი ყოველი მხრიდან გარშემორტყმულია ძლიერი სეისმური რღვევის ზონებით. გარდა ამისა, დადგენილია,

რომ კავკასიის მეგაბლოკი სტატიკური შეკუმშვის მდგომარეობაშია. ამჟამად მიჩნეულია, რომ მიმდინარეობს კავკასიის ნაწილი ტერიტორიის აღმასვლა. ცნობილია აგრეთვე, რომ ე.წ. ქართული ლოდის საძირკველი ნელ-ნელა მოექცევა კავკასიონის მთავარი ქედის ქვეშ. ყველა ამ ტექტონიკურ პროცესებს უკავშირებენ სპიტაკის 1988 წლისა და რაჭა-სამაჩაბლოს 1991 წლის ძლიერ მიწისძვრებს.

მიწისძვრის პროგნოზირება გულისხმობს სეისმური ტალღების აღმოცენების ადგილის, დროისა და ძალის წინასწარ გამოცნობას. ამჟამად ცნობილია მიწისძვრების 300-მდე წინამძღვარი, მაგრამ მათგან მხოლოდ რამდენიმე მათგანია მეტ-ნაკლებად კარგად შესწავლილი. საერთოდ, მიწისძვრის პროგნოზის შემდეგი სახეები არსებობს: გრძელვადიანი (იგი მოიცავს რამდენიმე წელს და თვეს); საშუალოვადიანი (თვეები, კვირები); მოკლევადიანი (საათები, დღე-ღამე). ამათგან შედარებით ნაკლებადაა შესწავლილი მოკლევადიანი პროგნოზი. მიწისძვრის მოკლევადიანი პროგნოზის დროს გარკვეული უპირატესობა ენიჭება ფართოსიხშირული დიაპაზონის ელექტრომაგნიტურ წინამორბედებს. მათგან შეგვიძლია ცალკე გამოვყოთ ელექტრული და ცალკე მაგნიტური წინამორბედები. ასე მაგალითად, რუსი და ამერიკელი სპეციალისტების მიერ არაერთჯერ იქნა დაფიქსირებული მაგნიტური ველის ცვლილება, რომელიც ხდება მიწისძვრამდე [25;26]. ამ მოვლენას უწოდებს ტექტონომაგნეტიზმის ეფექტი. მოსკოვის დედამიწის ფიზიკის ინსტიტუტის თანამშრომლები (მ. გოხბერგის ხელმძღვანელობით) თვლიან, რომ მიწისძვრამდე რამდენიმე საათით ადრე ხდება ელექტრული ველის თანდათან მომატება და მან შეიძლება მიაღწიოს მაქსიმალურ მნიშვნელობას ბიძგის მომენტში.

დედამიწის ქერქში ძაბვის გადანაწილებამ მიწისძვრის მომზადების კერაში შეიძლება გამოიწვიოს დედამიწის ზედაპირზე მაგნიტური ველის ცვლილება. ეს ეფექტი შეიძლება გამოწვეული იქნეს ტექტონომაგნეტიზმის მოვლენით (მთის ქანების პიეზო – და თერმონარჩენი დამაგნიტებით და სხვა), დედამიწის ქერქში ლოკალური გამტარებლობის ან ელექტროკინეტიკური ბუნების ტელურული დენების სისტემის ცვლილებით [25].

შეფასებები აჩვენებენ, რომ მაგნიტური ველის სიდიდეების ცვლილება ტექტონომაგნეტიზმის გამო აღწევს 10 ნანოტესლას (10 γ). თანამედროვე

მაგნიტომეტრები 0,1 μ გაზომვის სიზუსტით საშუალებას გვაძლევს გამოვავლინოთ ასეთი ეფექტები. ამასთან დაკავშირებით სხვადასხვა სეისმოაქტიურ ქვეყანაში ჩატარებული იყო გრძელვადიანი პროგრამები მიწისძვრის გეომაგნიტური წინამორბედების საძიებლად [26], მსგავსი ექსპერიმენტების ჩატარებაში ძირითადი სიძნელე მდგომარეობს გეომაგნიტური პულსაციების, როგორც ბუნებრივი ხელშემშლელი მოვლენის გამორიცხვაში.

გარდა ზემოთ თქმულისა ავლნიშნოთ, რომ ვანის ობსერვატორიის ადგილმდებარეობა საშუალებას იძლევა შევისწავლოთ გეოდინამიკური პროცესებით გამოწვეული მოვლენები და მათი შედეგები, რასაც თან ახლავს სეისმოაქტიურობის მკვეთრი მომატება. კერძოდ, ობსერვატორია მდებარეობს ცაიშისა და ქუთაისის ქვეზონების (გეოსტრუქტურული ერთეულების) გამყოფ ხაზზე. ის მიახლოებით იმყოფება სუფსა-საგარეჯოსა და კურზუ-ხიხაძირის რღვევის ხაზების გადაკვეთის თავზე.

2.1. მაგნიტოსფეროს აღწერა.

პირველად, ტერმინი მაგნიტოსფერო შემოიღო მეცნიერმა გოლდმა [18;19]. შემდეგ მოხდა დაზუსტება, ამიტომ სათანადოდ უწოდეს დედამიწის დღის მაგნიტოსფერო და ღამის მაგნიტოსფერო. ეს სახელწოდება აგრეთვე გამოყენებული იქნა იმ პლანეტებისათვისაც, რომლებსაც გააჩნია მაგნიტური ველი. დედამიწის ღამის მაგნიტოსფეროს არსებობის აღმოჩენას საკმაოდ უცნაური ისტორია აქვს. იგი პირველად შეამჩნია ცნობილმა გერმანელმა ბუნებისმეტყველმა ალექსანდრე ფონ ჰუმბოლდტმა 1803 წელს. მან უბრალო ღამით აღმოაჩინა მკრთალი ოვალური ფორმის ნათება, რომელიც გაცილებით მეტი დიამეტრის იყო, ვიდრე სავსე მთვარე. ეს მოვლენა მან დაწვრილებით აღწერა, მაგრამ თვით ნათების არსი მისთვის აუხსნელი დარჩა. გავიდა 50 წელი და მზისგან ეს «საწინააღმდეგო ნათება» კიდევ ერთხელ აღმოაჩინა ჯონსმა, ხოლო 3 წლის შემდეგ, 1856 წელს, ბრონზენმა. ამ ორმა მეცნიერმა არ იცოდა

ჰუმბოლდტის მიერ დადგენილი ეს უცნაური მოვლენა, ამიტომ აღმოჩენა თვით მიიწერეს.

მთავარი იყო აეხსნათ ამ მოვლენის მექანიზმი და გაეზომათ მანძილი აღნიშნულ ნათებამდე. მეცნიერები ფიქრობდნენ, რომ ეს ნათება უფრო შორსაა, ვიდრე დედამიწის ჩრდილის კონუსის წვერი. ჯერ გულდენმა, ხოლო შემდეგ მულტონმა აღნიშნეს, რომ ეს ნათება იყო დედამიწიდან დაშორებული 1,5·10⁶კმ-ით, ხოლო ის უნდა იყოს გამოწვეული მცირე ზომის მეტეორიტების მიერ. ასეთი ახსნა, რომელიც დადგენილად იქნა მიჩნეული, საკმარისად დიდი დროის განმავლობაში ითვლებოდა სწორად.

მხოლოდ ჩვენი საუკუნის 30-იანი წლებიდან დაიწყო ამ მოვლენის მეცნიერული შესწავლა; ჯერ მოსევემა, ხოლო შემდეგ ი.ს. ასტაპოვიჩის ჯგუფმა, რომელიც აშხაბადში მოღვაწეობდა, დაიწყო მუშაობა ამ მოვლენის მექანიზმზე. 1942-1943 წლებში იყო ნათების ინტენსივობის ცვლილება. ზოგჯერ, ღამის განმავლობაში, ნათება საკმარისად სწრაფად იცვლებოდა. იყო შემთხვევები, როცა განათებულობა 30%-მდე იზრდებოდა. მიღებული ღამის დაკვირვებები შედარებული იქნა ჩრდილოეთის ნათებასთან. ამით დადგინდა, რომ ე.წ. «საწინააღმდეგო ნათება» გაზური ბუნების უნდა იყოს. გარდა ამისა, ამ მოვლენაში უნდა მონაწილეობდეს მზე.

ჯერ კიდევ ჰუმბოლდტმა შეამჩნია, რომ ნათებას აქვს ელიფსის ფორმა. ასტაპოვიჩმა გაზომა ელიფსის ღერძები: დიდი ღერძი აღმოჩნდა 13⁰, ხოლო მცირე 8⁰. რადგან სავსე მთვარის მხედველობა 0,5-ის ტოლია, ამიტომ ნათების ეს სიდიდე 26-ჯერ მეტი აღმოჩნდა, მაგრამ, აშხაბადელმა მეცნიერებმა ისიც შეამჩნიეს, რომ დიდი ღერძის სიდიდე ერთი საათის განმავლობაში 3-4⁰ გრადუსით იზრდებოდა. იყო შემთხვევა, როდესაც დიდი ღერძის სიდიდე 23⁰-ს აღწევდა, ხოლო პატარასი 13⁰-ს. ასტაპოვიჩის ჯგუფმა მოახერხა ექსპერიმენტალურად გაეზომათ მანძილი უცნაურ ნათებამდე. იგი აღმოჩნდა 125·10³კმ-ის ტოლი. ეს იმას ნიშნავდა, რომ ნათება უფრო ახლოს იყო ვიდრე დედამიწის ჩრდილის კონუსის წვერი. რადგან ნათება ყოველ ღამე არსებობს და იგი გაზური ბუნების არის, ამიტომ მისი შევსება უნდა ხდებოდეს განუწყვეტლივ. აქედან გამომდინარე დედამიწიდან დაწყებული მზის საწინააღმდეგო მიმართულებით უნდა არსებობდეს გაზური სვეტი, რომლის «პროექციას» ჩვენ ვხედავთ 125000კმ-ის შემდეგ. ასე და ამრიგად აღმოჩენილი იქნა დედამიწის «კუდი» და მის შექმნაში უდაოდ

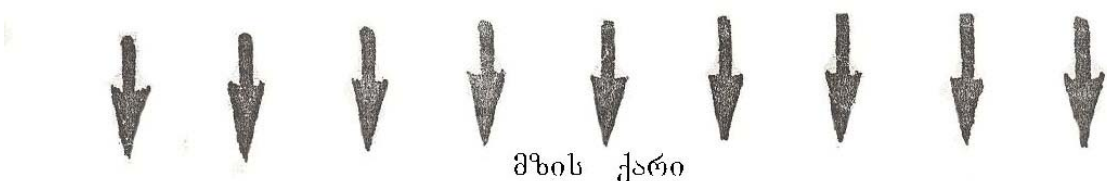
მონაწილეობს მზისგან წამოსული ელემენტარული ნაწილაკების ნაკადი. კონცენტრაციის სიდიდე ჩვეულებრივ 10-ს უდრის, მაგრამ იგი შეიძლება გაიზარდოს 10-ჯერ. ამ ნაწილაკების სიჩქარეც სხვადასხვაა [18-20] 200÷800კმ/წმ.

განვიხილოთ დღის მაგნიტოსფეროს აღმოჩენის მოკლე ისტორია. ეს საკითხი მჭიდროდ არის დაკავშირებული რადიოტალღების აღმოჩენასთან და მის გამოყენებასთან. მას შემდეგ რაც გამოგონებული იქნა რადიოგადამცემი და რადიომიმღები. წარმოიშვა მომდევნო საკითხი, რომელიც ეხებოდა ინფორმაციის დიდ მანძილებზე გადაცემას. 1901 წელს რადიოგადამცემი დადგმული იყო დიდი ბრიტანეთის დასავლეთში, ხოლო რადიომიმღები ამერიკის კონტინენტის აღმოსავლეთის სანაპიროზე, კერძოდ, კუნძულ ნიუფაუნდლენდზე. ამ პუნქტებს შორის ატლანტიკის ოკეანეს სიგანე დაახლოებით 5000კმ-ის ტოლია. ეს იმას ნიშნავდა, რომ პირდაპირი მხედველობის საკითხი გამორიცხული იყო. ამიტომ ამ ექსპერიმენტს ეჭვის თვალით უყურებდნენ. მაგრამ რადიოკავშირი მაინც დამყარდა და ეს მაშინ, როდესაც რადიოგადამცემის სიმძლავრე უმნიშვნელო იყო. მეცნიერებისათვის გაუგებარი იყო და გაოცებას იწვევდა ის გარემოება თუ რატომ დამყარდა რადიოკავშირი. გამოდის, რომ კიდევ რაღაც დამატებითი, ამ შემთხვევაში ხელშემწყობი, ფაქტორი ასრულებდა ძირითად როლს. მომდევნო კვლევა-ძიებამ დაადგინა, რომ დედამიწის გარშემო არსებობენ იონიზირებულ ნაწილაკთა ფენები, რომლებიც ასრულებენ ამრეკლი ზედაპირის როლს. ამრიგად აღმოჩენილი იყო დედამიწის იონოსფერო, ხოლო მოგვიანებით დღის მაგნიტოსფერო. სწორედ დედამიწის მაგნიტოსფეროს უნდა უმაღლოდნენ სიცოცხლის არსებობას. რაც შეეხება რადიაციულ სარტყლებს, ისინი რაკეტების საშუალებით იქნა აღმოჩენილი და სხვა მრავალ ფაქტორებთან ერთად ხელს უწყობენ სიცოცხლის არსებულ ფორმებს. ლ.ლაიონს და დ.უილიამს-ის წიგნში «მაგნიტოსფეროს ფიზიკა» [19] მაგნიტოსფერო შემდეგნაირად არის განმარტებული: «დედამიწის მაგნიტოსფერო არის კოსმოსური სივრცის არე, სადაც ადგილი აქვს მზის ქარის ურთიერთქმედებას გეომაგნიტურ ველთან, რომელიც მსგავსია დიპოლის ველის. იგი განლაგებულია დედამიწის ზედაპირიდან 100კმ სიმაღლიდან, ანუ იმ სიმაღლიდან, სადაც პროტონების დაჯახების სიხშირე ნეიტრალურ ატომებთან ტოლია

გიროსიხშირის 10Rდ. დედამიწის რადიუსამდე 63800კმ-მდე მზის მიმართულებით და რამდენიმე ასეულ დედამიწის რადიუსამდე მზის მიმართულების საწინააღმდეგოდ”.

ამრიგად, დედამიწის დღის მაგნიტოსფერო წარმოადგენს მაგნიტური ძალწირებისაგან შემდგარ შეკრულ სისტემას, ხოლო ღამის მაგნიტოსფერო – გაშლილს (იხ.ნახ.1). მზის ქარის ურთიერთქმედება დედამიწის საკუთარ დიპოლურ ველთან განაპირობებს მაგნიტოსფეროს არსებობას. აქვე მოკლედ დავახასიათოთ მაგნიტოსფეროს შემადგენელი ძირითადი ფენები.

როგორც უკვე ავღნიშნეთ, დედამიწის საკუთარი მაგნიტური ველი წარმოადგენს დაბრკოლებას მზის ქარის პლაზმური ნაკადისათვის. რადგანაც ეს ნაკადი მოძრაობს ზებგერითი სიჩქარით, ამიტომ ასეთი დაბრკოლების ზემოქმედება არ გადაეცემა ნაკადის შესახვედრად და მზის ქარის ნაწილაკები დაბრკოლებას «ეჯახებიან» მოულოდნელად, როდესაც გადალახავენ დარტყმითი ტალღის სტაციონალურ ფრონტს [15]. დარტყმითი ტალღის ფრონტზე პლაზმა იჭიმება (იწელება) და ნელდება, ისე, რომ მისი სიჩქარე ხდება ბგერის სიჩქარეზე ნაკლები; გარდა ამისა, შესამჩნევად ტურბულიზირდება და გარს შემოერთდება მაგნიტოსფეროს. პლაზმის ეს ფენა ქმნის ტურბულენტურ გადასვლით მიდამოს, რომელიც მოქმედებს როგორც დრეკადი გარემო და იგი მზის ქარის დინამიკურ წნევას გადასცემს დედამიწის მაგნიტურ ველს. მაგნიტოსფეროს ველიდან გადასასვლელ მიდამოს განსაზღვრავს ძალიან უხეში საზღვარი – მაგნიტოპაუზა. მაგნიტოსფეროს ველი შემოსაზღვრულია როგორც დღის, ასევე ღამის მხრიდან. ცალკე განვიხილოთ მაგნიტური ველის წყვეტის ორი მიდამო (ნახ.1): მაგნიტოპაუზა და ნეიტრალური შრე. ნეიტრალური შრე პერპენდიკულარულია დედამიწა-მზე სიბრტყის და გეომაგნიტური დიპოლის ღერძის (ე.ი. ნახაზის სიბრტყის პერპენდიკულარულია). ეს ორსიბრტყის მიდამო (მაგნიტური ველის წყვეტის) დაიჭირება სტაციონალური ელექტრული დენებით, რომლებიც შეიძლება წარმოიქმნას დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობის შედეგად შესაბამისი ზედაპირების გასწვრივ.



მაგნიტოსფეროში არსებობს (მიედინება) სხვა დენებიც, რომლებიც საგრძნობლად მოქმედებენ მაგნიტურ ველზე, განსაკუთრებით შემფოთების პერიოდში. ისინი

შეიძლება დავყოთ რამდენიმე კატეგორიად. დენების ნაწილი განეკუთვნება «დიამაგნიტურს» – იგი გამოწვეულია კონცენტრაციის გრადიენტით, ე.ი. დამუხტული ნაწილაკების არაერთგვაროვანი განაწილებით, რომლებიც განიცდიან პრეცესიას მაგნიტურ ველში. ასეთი დენის მაგალითს წარმოადგენს ეკვატორიალური წრიული დენი, არსებული დედამიწის ირგვლივ, რომელიც მაგნიტურად მშვიდ პერიოდში კონცენტრირებულია $\sim 6R$ -დ მანძილზე. მაგნიტოსფეროს შიგნით (გულში) არსებობს გამტარებლობის დენი, რომელიც იწვევს მაგნიტურ ვარიაციებს დედამიწის ზედაპირზე. ეს იონოსფერული დენები (ე.ი. დენები, რომლებიც მიედინება მაგნიტოსფეროს გულში) გამოწვეულია დინამო-ეფექტით (იონიზირებული კომპონენტა ჩაითრევა ნეიტრალური ნაწილაკების ქარით მაგნიტური ველის გასწვრივ მოძრაობაში), ანუ, მაღალ განედებზე, მაგნიტოსფეროს ელექტრული ველით (რომელთა ელექტროსტატიკური პოტენციალი «პროეცირდება» იონოსფეროში პოლარულ მიდამოებში მაგნიტური ძაღწირების გასწვრივ). პოლარულ მიდამოებში იონოსფერულ დენებთან მჭიდროდ არის დაკავშირებული დენი ძაღწირების გასწვრივ, რომლებიც მიედინება იონოსფეროში (ანუ იქედან აქეთ). ეს დენები წარმოადგენენ იონოსფეროს და მაგნიტოსფეროს შორის კავშირის ერთ-ერთ ძირითად მექანიზმს. და ბოლოს, ელექტრული დენები შეიძლება კიდევ წარმოიქმნას იმის შედეგად, რომ დადებითი და უარყოფითი ნაწილაკები დრეიფირებენ ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით. ამ დენების როლი დიდია, თუ მაგნიტოსფეროს კუდიდან მის სიღრმეში ინჟექტირდება ნაწილაკების დიდი ნაკადი. ამის მაგალითს წარმოადგენს ასიმეტრიული წრიული დენი, რომელიც წარმოიქმნება ძლიერი მაგნიტური შემფოთების დროს.

მაგნიტოსფეროს მაგნიტური ველის კონფიგურაცია არ არის სტატიკური. ზემოთ ხსენებული დენების უმრავლესობა დამოკიდებულია დროზე – ანუ ზედა ატმოსფეროში იონიზაციის დღე-ღამურ ცვლილებასთანაა დაკავშირებული, ანუ შემფოთებებთან, რომელიც ჩნდება მაგნიტოსფეროში პლაზმური არამდგრადობების გამო. მზის ქარის დინამიკური წნევის (არამდგრადობამ) ვარიაციამ შეიძლება დიდი (როლი) გავლენა იქონიოს მაგნიტოსფეროს შეკუმშვაში დღის მხრიდან. საპლანეტათშორისო დარტყმითი ტალღის გავლას, რომელიც შეიძლება წარმოიშვას მზის აფეთქების (ანთების) დროს, თან ახლავს დედამიწის მაგნიტოსფეროს დღის საზღვრის ძლიერი შეკუმშვა (შეჭყლეტა)

5÷6Rდ.-მდე. ამ დროს იზრდება ველის დაძაბულობა კუდში, რაც მიანიშნებს იმაზე, რომ მოხდა კუდის ძლიერი შეკუმშვაც.

მაგნიტოსფეროს შემფოთების ერთ-ერთი ძირითადი შედეგი ცნობილია საერთო სახელწოდებით – ქარიშხალი. ეს არის თავისებური «გაელვება» (განმუხტვა) მაგნიტოსფეროს კუდსა და იონოსფეროს შორის. ამ დროს ხდება მაგნიტოსფეროს კუდის მაგნიტური ენერჯის (დაგროვილი ენერჯის) გამოთავისუფლება, რომელიც გარდაიქმნება გარშემო არსებული პლაზმის კინეტიკურ ენერჯიად. ზოგჯერ ასეთი რამ შეიძლება მოხდეს ზედიზედ (გარკვეული ინტერვალით), რომელსაც უწოდებს მაგნიტური ქარიშხალი.

ცნობილია, რომ დედამიწის მაგნიტური ველის დაძაბულობის მუდმივი მდგენელის სიდიდე მაგნიტურ პოლუსებთან 0,6 ერსტედის ტოლია, ხოლო მაგნიტურ ეკვატორზე 0,25 ერსტედის. დიპოლის ღერძი გეოგრაფიულ ღერძთან ამაჟამად შეადგენს 11,5°. მაგნიტური ველის დაძაბულობის ამპლიტუდური ცვლილება 0,001÷53კ სიხშირის ფარგლებში შეადგენს 10^{-3} ერსტედს. ხშირად ასეთ ცვლილებას მიკროპულსაციებს უწოდებენ [15]. ძირითადი ფაქტორები, რომლებიც მიკროპულსაციებს იწვევენ შემდეგია:

1. მაგნიტური ქარიშხლები;
2. მაგნიტოჰიდროდინამიკური ტალღები, რომლებიც იონოსფეროში და ხშირ შემთხვევაში, ეკზოსფეროშიც წარმოიქმნება. ასეთი ხასიათის ტალღები პირდაპირ კავშირშია მაგნიტურ ქარიშხლებთან;
3. იონების რხევა; ასეთი ტიპის რხევები დედამიწის რადიაციულ სარტყლებში დაიმზირება;
4. კოსმოსური ნაწილაკების შემოჭრა უმთავრესად პოლარულ რაიონებში იწვევენ პულსაციებს;
5. ძლიერი ელექტრული ატმოსფერული განმუხტვები.

ამასთან, აღსანიშნავია, რომ დღის მაგნიტოსფეროს რხევები არაა შესწავლილი, ასევე უცნობია მაგნიტოსფეროს რხევის მიღების პროცესი და მრავალი სხვა საკითხი.

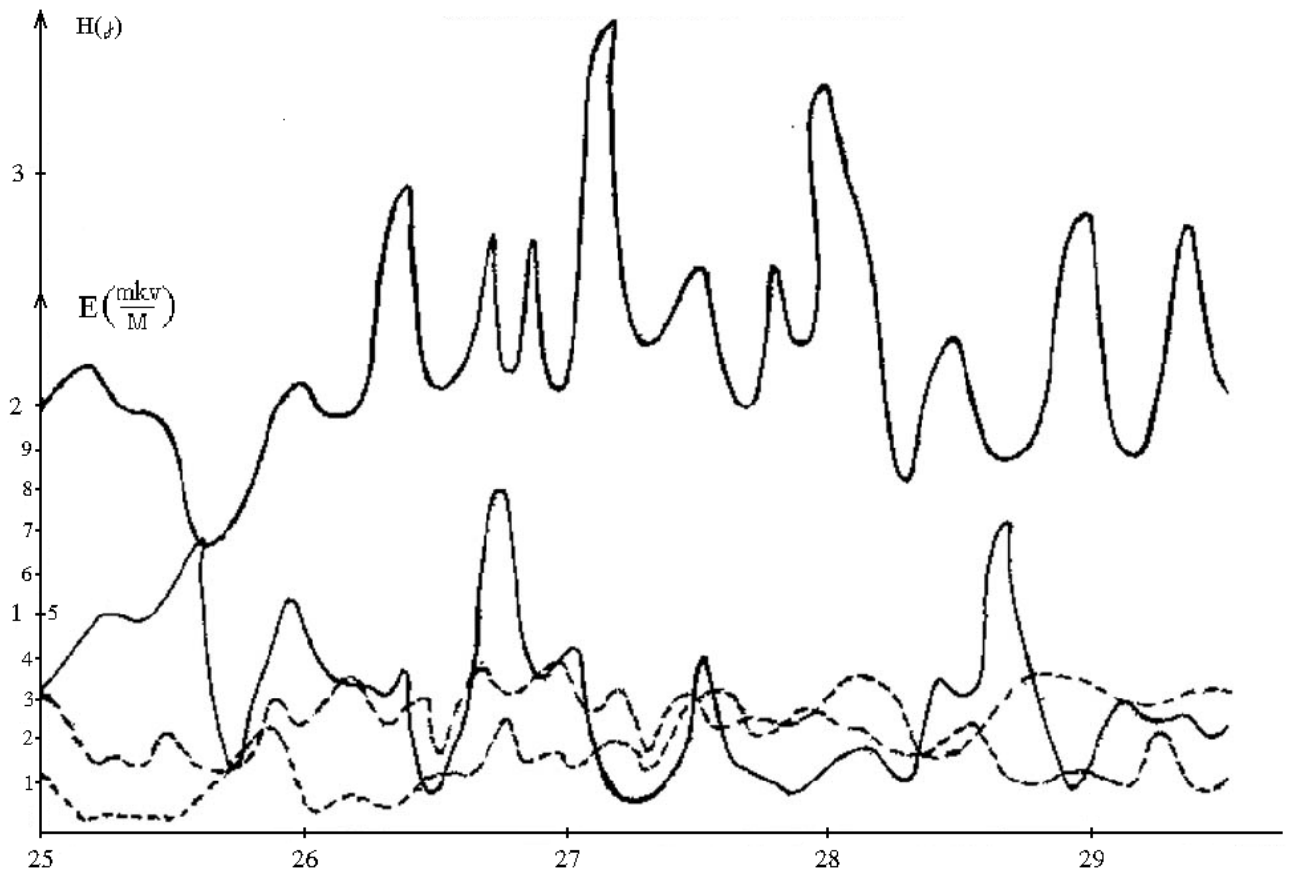
2.2. მიწისძვრის გეომაგნიტური კვლევის შედეგები და ანალიზი

როგორც ცნობილია, კავკასიის რეგიონი ითვლება მსოფლიოში ერთ-ერთ სეისმოაქტიურ რეგიონად, რასაც ადასტურებს ბოლო 10 წლის განმავლობაში აქ მომხდარი რამდენიმე საკმაოდ მძლავრი ($M > 5$ მაგნიტუდით) მიწისძვრა. აქედან გამომდინარე, აშკარაა, რომ განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა რეგიონში მომხდარი ამა თუ იმ მიწისძვრის წინ და მის შემდეგ რომელიმე გეოფიზიკური ველის ანუ რაიმე პარამეტრის ცვლილებას. მართლაც, ბოლო ათწლეულების განმავლობაში არა ერთჯერ ყოფილა აღნიშნული საქართველოში ამა თუ იმ გეოფიზიკური ველის მკვეთრი ვარიაციები კავკასიის რეგიონში (და არა მარტო აქ) მომხდარი მძლავრი მიწისძვრების წინ და მის შემდეგ პერიოდში. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ სხვა გეოფიზიკურ ველების შესწავლასთან ერთად ერთ-ერთი მთავარი ადგილი უკავია გეომაგნიტური ველის ვარიაციების შესწავლას. აღნიშნული საკითხების შესწავლაში სხვა სამეცნიერო ორგანიზაციებთან ერთად (კერძოდ, თბილისის ივ.ჯავახიშვილის სახელობის სახელმწიფო უნივერსიტეტთან, მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტთან, აბასთუმნის ასტროფიზიკურ ობსერვატორიასთან და სხვებთან) დასავლეთ საქართველოში აწარმოებდა ქუთაისის ტექნიკური უნივერსიტეტის კოსმოფიზიკისა და ატმოსფერული ეკოლოგიის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის თანამშრომლები.

გამომდინარე იქედან, რომ პრაქტიკულად საინტერესოს წარმოადგენს ახლო მდებარე და მძლავრი მიწისძვრების (მაგნიტუდით $M=5$; $k \geq 10 \div 11$) შესწავლა, ამიტომ წარმოდგენილ სადისერტაციო ნაშრომში სწორედ ასეთ მიწისძვრებზე გვექნება ყურადღება გამახვილებული. ამასთან, ერთ-ერთი ძირითადი აქცენტი გაკეთებული იქნა 1991 წლის რაჭა-სამაჩაბლოს მიწისძვრაზე შემდეგი მოსაზრებების გამო:

ჯერ ერთი, აღნიშნული მიწისძვრა ყველაზე უფრო ახლოს იყო სხვა ძლიერ მიწისძვრებთან შედარებით, რომელიც მოხდა არა მარტო კავკასიის რეგიონში, არამედ საქართველოშიც.

მეორეც, ეს მიწისძვრა ხასიათდებოდა საკმაოდ მძლავრი და ხანგრძლივი აფტერშოკური აქტივობით, რამაც საშუალება მოგვცა მკაფიოდ დაგვეფიქსირებინა მთელი ამ პერიოდის განმავლობაში გეომაგნიტური და გეოელექტრული ველის ვარიაციები. ამასთან, მიღებული სურათი იმდენად მკაფიო იყო, რომ არავითარ ეჭვს



ΪΑ.2 ΔΙΑΔΙΔΑΙΕΟΘΕ ΑΔΕΟ ΥΔΕΕΑΑ 1991 ΒΕΟ 29 ΔΘΟΕΕΟ ΙΕΒΕΡΑΟΕΟ ΒΕΙ

- H_x (ΔΑΔΕΟΕαΰΕΘΘΕ) --- ΔΰΠΟΑΔΕΑΕ-ΔΑΟΑΔΕΔΕ
- H_x (ΙΑΰΑΕΟΕαΰΕΘΘΕ) --- ΔΰΠΟΑΔΕΑΕ-ΔΑΟΑΔΕΔΕ
- H_y (ΔΑΔΕΟΕαΰΕΘΘΕ) --- ΟΑΙαΟΑΕ-ΰΟΔΕΕΙΑΕ
- H_y (ΙΑΰΑΕΟΕαΰΕΘΘΕ) --- ΟΑΙαΟΑΕ-ΰΟΔΕΕΙΑΕ
- H_z (ΔΑΔΕΟΕαΰΕΘΘΕ) --- ΔΕΑΘΘΘΕ ΔΔΕΟ ΑΑΘΕΕΔΕΘΕ
ΙΑΔΙΑΕ

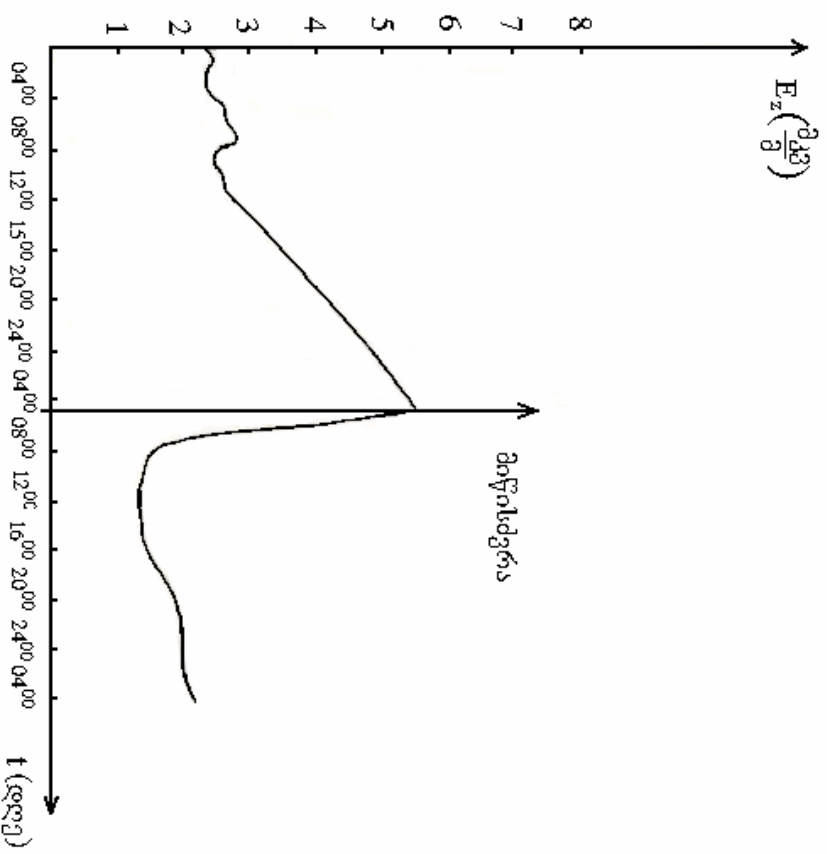
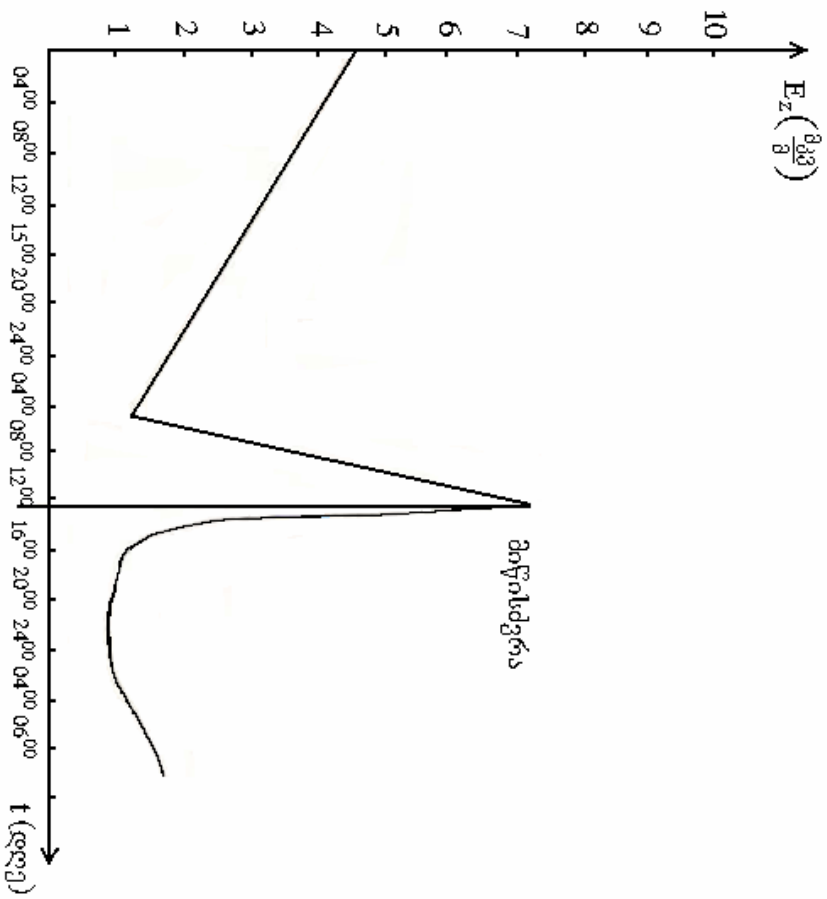
აღარ ტოვებს სხვა რაიმე ფიზიკურ ანუ კოსმოფიზიკურ მოვლენებთან დასაკავშირებლად.

მესამე, ხსენებული მიწისძვრა შესწავლილი იქნა სხვა ქვეყნის მეცნიერების მიერაც და დაფიქსირებული იქნა როგორც ამ მიწისძვრის ელექტრომაგნიტური წინამორბედები (კილოჰერცულ დიაპაზონში), ასევე გეოქიმიური და სხვა ტიპის წინამორბედები.

ამგვარად, ბოლო ათი წლის განმავლობაში მომხდარი მძლავრი მიწისძვრებიდან, ყველაზე კარგად შესწავლილი აღმოჩნდა (1988 წლის სპიტაკის მიწისძვრასთან ერთად) 1991 წლის რაჭა-სამაჩაბლოს მიწისძვრა, რაც აღარავითარ ეჭვს აღარ ტოვებს, რომ აღნიშნულ მიწისძვრას თან ახლდა სხვადასხვა გეოფიზიკური ველების მკვეთრი ცვლილებები.

ახლა მოკლედ მიმოვიხილოთ მიღებული ექსპერიმენტული მასალა. როგორც სურათი 2-დან ჩანს, 1991 წლის 29 აპრილის მიწისძვრის დროს გეომაგნიტურმა ველმა იწყო მკვეთრი მომატება მთავარ ბიძგამდე $2\div 3$ დღით ადრე. მისი x და y ($H_x; H_y$) კომპონენტების საშუალო მნიშვნელობა განიცდიდა მცირე, მაგრამ შესამჩნევ მომატებას. მიწისძვრამდე რამდენიმე საათით ადრე შეიმჩნეოდა მისი კვაზისინუსოიდური სწრაფი ვარიაციები, რაც ალბათ გამოწვეული უნდა იყოს ტექტონომაგნეტიზმის მოვლენით (ამის შესახებ უფრო დაწვრილებით ქვემოთ იქნება საუბარი). ამასთან, აღსანიშნავია, რომ ბიძგის შემდეგ შეიმჩნეოდა გეომაგნიტური ველის საშუალო მნიშვნელობის შემცირება ფონურ მნიშვნელობასთან შედარებით (სურ.3).

სამაჩაბლოს 15 ივნისის მიწისძვრის გეომაგნიტური წინამორბედები ვერ იქნა დაფიქსირებული, რადგან 13-14 ივნისს ადგილი ჰქონდა ძლიერ მაგნიტურ ქარიშხალს ($D_{st}=50\div 60$ ნანოტესლა), რომელიც მთელი დღე გაგრძელდა. ბიძგის შემდეგ კი დაფიქსირებული იქნა გეომაგნიტური ველის კვაზიპერიოდული რხევები (მაქსიმუმით $5\div 7$ წუთის ინტერვალში), რომელიც გაგრძელდა რამდენიმე საათის განმავლობაში მიწისძვრის შემდეგ. ამასთან, ეს სურათი უფრო მკაფიოდ დაიმზირობოდა ბიძგიდან 1 საათის განმავლობაში. მართალია, მსგავსი სურათი (უფრო ნაკლები ამპლიტუდით) გვქონდა მიწისძვრამდეც, მაგრამ მიწისძვრის შემდეგ ეს უფრო თვალნათლივ დაიმზირობოდა, როგორც აღმოსავლეთ-დასავლეთ (H_x), ასევე ჩრდილოეთ-სამხრეთ (H_y)



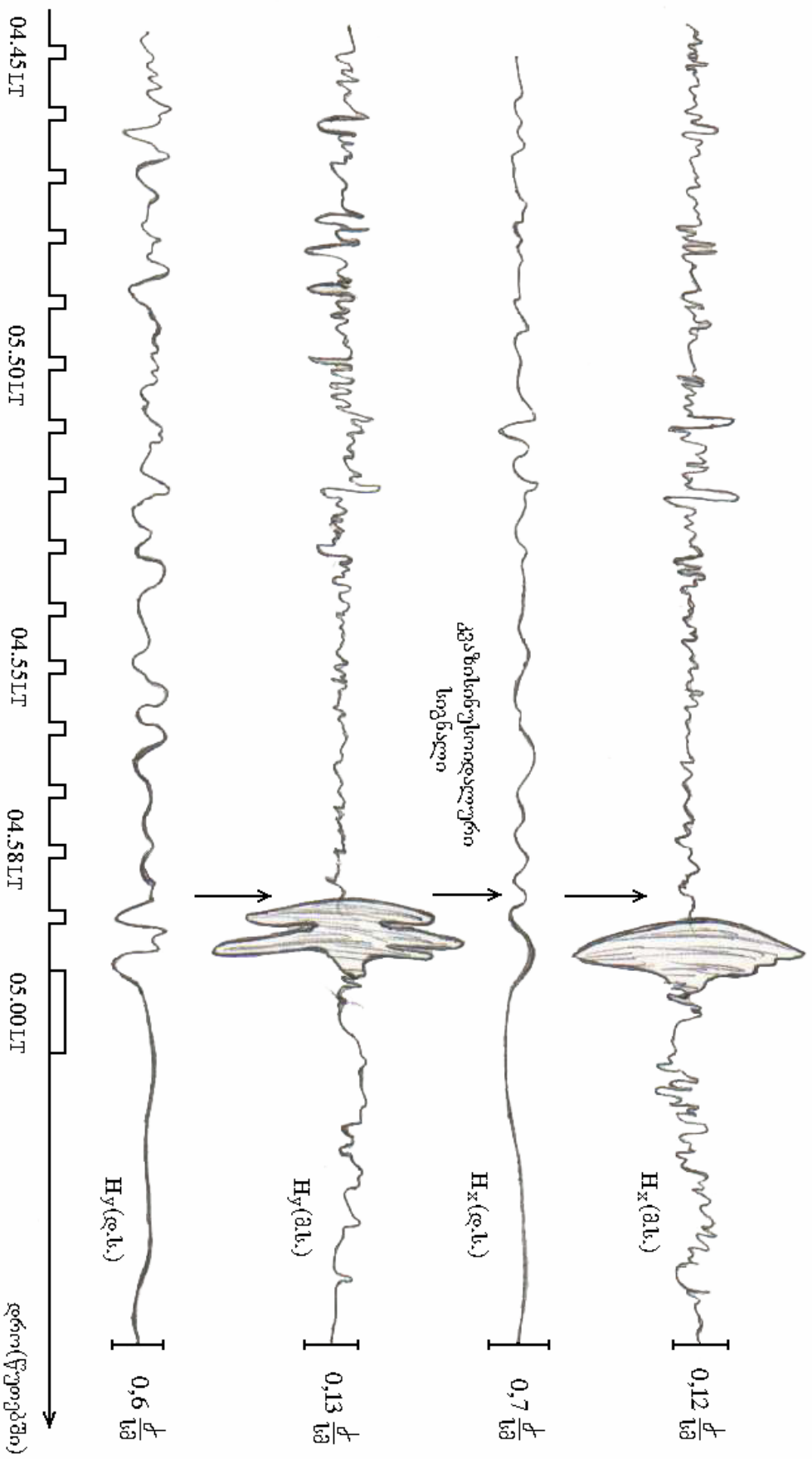
ΓΑ.3 ΑΙΙΑΕΑΘΘΘΘΕ ΑΑΕΘ ΥΑΕΕΑΑ 1991 ΒΕΘ ΘΑΑ-ΘΑΙΑΥΑΑΕΘ ΙΕΒΘΒΑΘΘ

მდგენელში (ამ საკითხს უფრო დაწვრილებით ჩვენ ქვემოთ განვიხილავთ). ეს სურათი წარმოდგენილია ნახ.4-ზე, სადაც მიწისძვრის მომენტი აღნიშნულია ისრით.

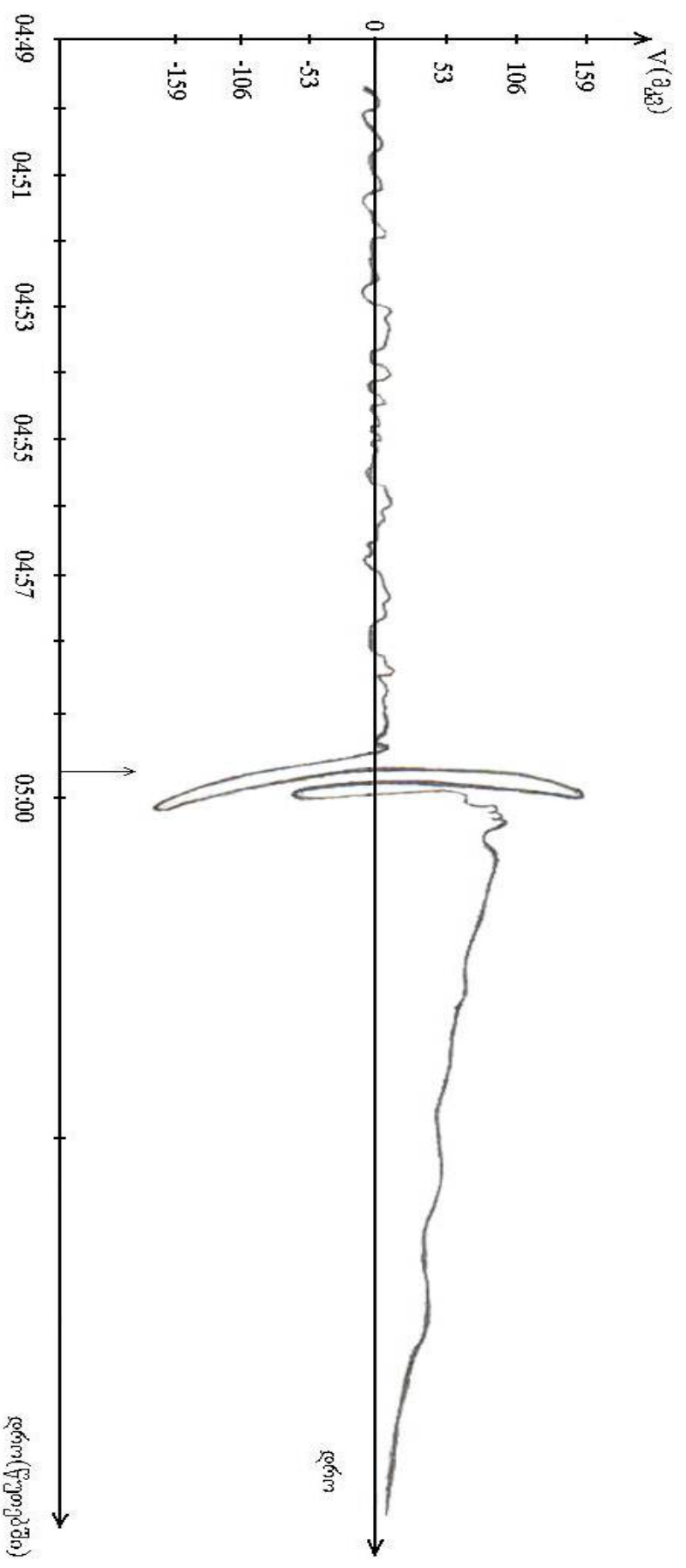
ნახ.5-ზე წარმოდგენილია გეოელექტრული ველის ცვლილება 1991 წლის 15 ივნისის სამაჩაბლოს მიწისძვრის წინ (იხილეთ ასევე სურ.3). კერძოდ, ვერტიკალური გეოელექტრული ველის დაბალსიხშირული მდგენელის ამპლიტუდის ზრდას ადგილი ჰქონდა 1991 წლის 29 აპრილამდე ორი დღით ადრე და მიაღწია $6^{მმ/ა}$ მნიშვნელობას, შემდეგ იწყო შემცირება $4^{მმ/ა}$ მნიშვნელობიდან $1,5^{მმ/ა}$ მნიშვნელობამდე მიწისძვრამდე 6 საათით ადრე. 29 აპრილის 04.00LT-დან ისევ იწყო ზრდა და მიწისძვრის მომენტში მიაღწია $7^{მმ/ა}$ მნიშვნელობას, ხოლო მიწისძვრის შემდეგ დაეცა $1^{მმ/ა}$ მნიშვნელობამდე. თითქმის ანალოგიური რამ დაიმზირებოდა 1991 წლის 15 ივნისის დროს. კერძოდ, ამ დროს ადგილი ჰქონდა გეოელექტრული ველის ვარიაციებს და მიწისძვრის მომენტში დილის 05.00 LT-სთვის მიაღწია მაქსიმალურ მნიშვნელობას $6^{მმ/ა}$.

გარდა ამისა, ჩვენს მიერ განხილული იქნა პერიოდი 29.04-დან 4.07-მდე (1991 წლის აპრილიდან ივლისამდე) და შესწავლის მიზნით გამოყოფილი იქნა ის აფტერშოკები, რომელთა ენერგეტიკული კლასი $K \geq 12,5$. ამასთან, აფტერშოკებს შორის დავიცავით მინიმუმ ერთდღიანი ინტერვალი. თუ ეს პირობა არ სრულდებოდა, მაშინ აფტერშოკების სერია განიხილებოდა როგორც ერთიანი (ერთი ბიძგი). (იხ.ცხრილი)

ამრიგად, როგორც მოცემული ცხრილიდან ჩანს, ჩვენ საშუალება მოგვეცა დამატებით განგვეხილა კიდევ 5 საკმაოდ მძლავრი ბიძგი. განხილული დღეებიდან მცირე სიმძლავრის ($D_{st}=10 \div 15$ ნანოტესლა) მაგნიტური შეშფოთებები (ალბათ, ქარიშხლები) დაფიქსირდა მხოლოდ ერთჯერ 1.05.1991 წელს. ამგვარად, აღნიშნული დღეები საშუალებას იძლეოდა დამატებით შეგვემოწმებინა კავშირი სეისმოაქტიურობასა და გეომაგნიტური და გეოელექტრული ველის ვარიაციებს შორის. მით უმეტეს, რომ ყველა აფტერშოკი მოხდა საღამოს და ღამის საათებში (20.00LT-დან 07.00LT-მდე), რაც საშუალებას იძლეოდა განხილვიდან გაკეთებულიყო სწორი დასკვნები. აღნიშნულ პერიოდში ჩატარებული კვლევების ძირითადი შედეგი მდგომარეობს იმაში, რომ მართალია 1991 წლის 29 აპრილის მიწისძვრის შემდგომ გეომაგნიტურმა და გეოელექტრულმა ველმა იწყო შემცირება, მაგრამ აღნიშნულ პერიოდებში (1.05-3.05;



ჩანაწერი 4 H_x , H_y , H_γ და H_z კომპონენტების დროის მიხედვით 1991 წლის მაისის 15-ის დროს.



ΙΑδ.5 **ΑΑΑΑΙΙΕΒΕΘ** **ΑΕΑΘΟΘΘΘΕΕ** **ΑΑΕΘΟ** **ΑΘΘΘΕΑΕΘΘΕ** **ΙΑΑΙΑΙΕΘΟ** **ΑΑΘΕΑΥΕΑΑΕ** **0,01 -0,1αγ. ΘΕΑΥΕΘΑΕΑ**
ΑΕΑΒΑΕΙΙΙΕ,
ΑΑΙΙΡΑ ΑΘΦΕ ΘΑΙΑΤΙΑΑΕΙΘ 1991 ΡΕΦΘ 15 ΕΑΙΘΘΘΘ ΙΕΡΕΘΒΑΘΦΕ ΙΕΡΕΘΒΑΘΦΘ ΙΙΙΑΙΘΕ ΑΠΕΠΙΘΦΕΑ ΕΘΘΦΕ

10.05; 15.05; 30.06; 4.07) აშკარად დაიმზირებოდა ზიბგამდე რამდენიმე საათი-წუთით ადრე გეომაგნიტური და გეოელექტრული ველების მკვეთრი ვარიაციები.

ცხრილი 1.

დრო (1991წ)		UTსთ-ში	K	R(კმ)	ეპიცენტრის კოორდინატები	
თვე	რიცხ ვი				განედი	გრძედი
04	29	09-12	14,9	90	42,44	41,43,62
04	29	14-43	13,8	90	42,51	43,91
04	29	18-23	13,5	80	42,50	43,73
04	29	18-31	14,0	80	42,50	43,83
05	01	05-14	12,8	70	42,59	43,46
05	02	01-25	12,9	80	43,53	43,98
05	03	20-19	13,2	65	42,62	43,11
05	10	20-52	12,8	70	42,41	43,99
05	15	14-29	13,0	75	42,51	44,01
06	15	00-59	14,4	135	42,40	43,63
06	30	20-09	12,5	120	42,38	44,09
07	04	06-26	13,2	130	42,39	44,05

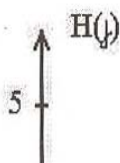
აქ მანძილი ეპიცენტრამდე აღებულია ± 5 კმ-ის სიზუსტით.

ასეთი შემფოთებები განსაკუთრებით აშკარა იყო დედამიწის ელექტრომაგნიტური ველის ვერტიკალური E_z მდგენელის ცვლილებებში. რაც შეეხება გეომაგნიტური ველის ვარიაციებს, აქ აღინიშნებოდა მაგნიტოჰიდროდინამიკური ტალღების გაძლიერება $0,01 \pm 0,13$ ვ. დიაპაზონში, გარდა ამისა, ორჯერ (03.05; 4.07, ენერგეტიკული კლასით $K=13,2$; $K=13,2$) აღინიშნა ე.წ. გიროტროპული ტალღების გავლა.

როგორც ცნობილია, 1992 წლის 24 ოქტომბრის (04.40 LT) მოხდა საკმაოდ მძლავრი მიწისძვრა ბარისახოს მიდამოებში. ამ მიწისძვრის მაგნიტუდა იყო ($M=6.0$). ხსენებული მიწისძვრის წინა პერიოდში აღინიშნა გეომაგნიტური და გეოელექტრული ველის


შესამჩნევი ცვლილებები (იხ.ნახ.6;7). როგორც წარმოდგენილი გრაფიკებიდან ჩანს, აშკარად დაიმზირებოდა მიწისძვრის გეომაგნიტური და გეოელექტრული წინამორბედები. ამასთან, ვამჩნევთ, რომ გეომაგნიტური და გეოელექტრული ველის ვარიაციები გაცილებით უფრო მკაფიოდ დაიმზირებოდა 1991 წლის რაჭა-სამაჩაბლოს მიწისძვრების წინა პერიოდში. უფრო მეტიც, ე.წ. ტექტონომაგნეტიზმის ეფექტი გაცილებით კარგად აღინიშნა რაჭის (1991 წლის 29 აპრილი) მიწისძვრის წინა პერიოდში. ამასთან, აღინიშნებოდა გეომაგნიტური ველის ვარიაციების გაძლიერება $0,01 \pm 0,13$ გ. სიხშირეების დიაპაზონში. რაც შეეხება გეომაგნიტური ველის კვაზისინუსოიდალურ რხევებს, რომელიც დაიმზირებოდა ჯავის მიწისძვრის (15.06.1991 წელი) შემდგომ პერიოდში, ამ შემთხვევაში ასეთი რამ აღარ დაფიქსირებულა, თუმცა, ალბათ, არაა გასაკვირი, რომ მსგავსი რამ აღარ შეიმჩნეოდა (ყოველ შემთხვევაში ისე მკაფიოდ, როგორც რაჭის 29.04.1991წ. მიწისძვრის შემდეგ), რადგანაც მანძილი იყო საკმაოდ დიდი და ალბათ, ამიტომ ვეღარ დაფიქსირდა.

რაც შეეხება კავკასიის რეგიონში მომხდარ სხვა მიწისძვრებს, ისინი არ გამოირჩეოდნენ გეომაგნიტური ველის არსებითი ვარიაციების აღძვრით. თუმცა, ზოგიერთი შედარებით ახლომდებარე მიწისძვრებისათვის ($R \approx 200 \div 500$ კმ; $M = 5 \div 7$) აღინიშნებოდა დაახლოებით $0,5 \div 1$ ნანოტესლა რიგის ვარიაციები, რაც ჩვენი აზრით მოითხოვს დამატებით შესწავლას. აქვე შევნიშნოთ, რომ ჩვენს მიერ ვერ იქნა რეგისტრირებული [34] ნაშრომში განხილული სახის გეომაგნიტური ველის ვარიაციები.



ნახ.6 გეომაგნიტური ველის ვარიაციები 1992 წლის
ბარისახოს მიწისძვრის წინა და შემდგომ პერიოდში

$E \left(\frac{\text{მკვ}}{\text{მ}} \right)$



s

ÍÀá.7 ÆÄÏÀÄÍÉÖÖÉ ÄÄËÉÓ ÝÄËËÄÄები1992 წლის ბარისახოს ÌÈÈÉÓÄÖÉÓ ÈÉÍს და შემდგომ პერიოდებში. მიწისძვრის მომენტი აღნიშნულია ისრით

2.3. მიღებული ექსპერიმენტული შედეგების დამუშავება.

მე-19 საუკუნის დასაწყისიდან სხვადასხვა ქვეყნის მეცნიერები თვლიდნენ, რომ გეომაგნიტური ველის ცვლილება დაკავშირებულია სეისმოლოგიურ მოვლენებთან, თუმცა, მე-20 საუკუნის 50-იანი წლებიდან დაწყებული ასეთი მტკიცებები ითვლებოდა მცდარად, რადგანაც ადრინდელი გაზომვების შედეგები იყო განპირობებული ხელსაწყოების უბრალო მექანიკური ვიბრაციით მიწისძვრის ბიძგის დროს. 60-იან წლებში უფრო თანამედროვე მაგნიტომეტრების გამოჩენასთან ერთად ყოფილ საბჭოთა კავშირის და ამერიკის შეერთებული შტატების სპეციალისტების მიერ არაერთჯერ იქნა დაფიქსირებული მაგნიტური ველის ცვლილება, რომელიც ხდებოდა მიწისძვრამდე. ამ მოვლენას უწოდეს ტექტონომაგნიტური ეფექტი. კერძოდ, დედამიწის ქერქში ძაბვის გადანაწილებამ მიწისძვრის მოვლენის მომზადების კერაში შეიძლება დედამიწის ზედაპირზე გამოიწვიოს მაგნიტური ველის ცვლილება.

შეფასებები აჩვენებს [31], რომ მაგნიტური ველის სიდიდეების ცვლილება ტექტონომაგნეტიზმის გამო აღწევს 10 ნანოტესლას (10γ). თანამედროვე მაგნიტომეტრები 0,1 ნანოტესლა გაზომვის სიზუსტით საშუალებას გვაძლევს გამოვამყდავნოთ ასეთი ეფექტები. ასეთი გამოკვლევების ჩატარებას მნიშვნელოვნად უშლის ხელს ბუნებაში არსებული გეომაგნიტური პულსაციები, რომლებიც ხასიათდება კვაზიპერიოდული სტრუქტურით და უკავია (0,001÷10)ჰც. სიხშირეთა დიაპაზონი. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ გეომაგნიტური პულსაციები ფიზიკური ბუნებით მაგნიტოჰიდროდინამიკური ტალღებია, რომლებიც ალიგზნებიან დედამიწის მაგნიტოსფეროზე მზის ქარის ურთიერთქმედების შედეგად [19-22].

გეომაგნიტური პულსაციების გამოსარიცხად ეპიცენტრის მახლობლობაში სრული გეომაგნიტური ვექტორის მნიშვნელობას (F) აკლებენ 10÷200კმ-ით დაშორებული წერტილის (ბაზური წერტილის (F_ბ)) სრული გეომაგნიტური ვექტორის მნიშვნელობას. საშუალო განედებში გარეშე წყაროს არაერთგვაროვნება ასეთ წერტილებში ჩვეულებრივ მცირეა და მაგნიტური ველების სხვაობა $\Delta F = F - F_{\text{ბ}}$. ორივე სადგურში არ უნდა იცვლებოდეს დროში ტექტონომაგნიტური ეფექტის არ არსებობის შემთხვევაში; მაგრამ დედამიწის ქერქის არაერთგვაროვანი გამტარებლობა წარმოშობს არაერთგვაროვან ინდუცირებულ ელექტრულ დენებს სხვადასხვა წერტილებში. აღძრული დენები და,

მაშასადამე ΔF არსებითად იქნებოდა დამოკიდებული პლანეტარულ მაგნიტურ შემფოთებაზე. შედეგად ΔF იცვლება დროში. ასეთი ტიპის ხელშემშლელი სიგნალები არსებითი ხარისხით განისაზღვრებიან უშუალოდ გაზომვის პუნქტის სიახლოვეში გამტარებლობის მნიშვნელობით და განაწილებით. ასე მაგალითად, ΔF -ის საშუალო კვადრატული გადახრა ტოკიოს მახლობლად ობსერვატორია ოსიმოში 7კმ-ით დაშორებული მაგნიტომეტრისათვის შეადგენს 1,9 ნანოტესლას მაგნიტურად მშვიდ დღეებში და 5,7 ნანოტესლას მაგნიტურად აქტიურ დღეებში და ზოგჯერ აღწევს 31 ნანოტესლას [31]. იაპონიაში წარმოებული გაზომვის მეთოდებმა უჩვენა, რომ სხვაობის მეთოდი არ გვაძლევს საშუალებას გამოძღვანდეს გეომაგნიტური ველის ლოკალური ცვლილება 1 ნანოტესლა სიზუსტით. გარმსკის პოლიგონზე საშუალო კვადრატული გადახრა შეადგენს $(0,5 \div 2)$ ნანოტესლას. ჩვეულებრივ შეცდომის შემცირებისათვის განსაზღვრავენ არა $\Delta F = F - F_0$, არამედ $\Delta F = F - CF_0$. მნიშვნელობას, სადაც C ემპირიულად შერჩეული მუდმივაა; მაგრამ ამ მეთოდით ვერ ხერხდება ხელაწყოს გაზომვის ცდომილების ტოლი ცდომილების დაშვება ტექტონომაგნიტური ეფექტის სიმცირის გამო (≈ 10 ნანოტესლა ეპიცენტრის მიდამოებში და გაცილებით მცირე ეპიცენტრიდან დაშორების მიხედვით) და მიწისძვრის წინამორბედების მნიშვნელობისათვის მიზანშეწონილია გავაუმჯობესოთ გარეშე ხელისშემშლელის მოცილების მეთოდიკა.

მაგნიტური ველის ლოკალური ცვლილება მიწისძვრის წინ შეიძლება გამოწვეული იყოს ტელურული დენების გადანაწილებით დედამიწის ქერქის გამტარებლობის ცვლილების ხარჯზე. რიცხვითი შეფასებები გვიჩვენებს, რომ დაბალმიან ქანებში ($\approx 10 \div 10^3$ ომი.მ) გამტარებლობის არაერთგვაროვნებების გამოჩენისას გეომაგნიტური ველის ცვლილება შეიძლება აღწევდეს $(1 \div 10)$ ნანოტესლას, რაც ტექტონომაგნიტიზმის ეფექტების ტოლფასია.

სხვადასხვა სეისმოაქტიურ ქვეყნებში სეისმურობასთან დაკავშირებულ ელექტრული გამტარებლობის სავსე დაკვირვებებმა (მაგალითად, აშხაბადის მახლობლად) უჩვენა, რომ მიწისძვრამდე $1 \div 6$ თვით ადრე შეინიშნებოდა ელექტრული წინაღობის შემცირება $10 \div 20\%$ -ით. ანალოგიური შედეგები იქნა მიღებული აშშ-ში (სან-ანდრეასის რღვევის მახლობლად) $M=3,5$ და $M=3,9$ მაგნიტუდის მქონე მიწისძვრებისათვის [31]. მრავალი ლაბორატორიული მონაცემები მთის ქანების გამტარებლობის ცვლილებაზე

მექანიკური დაძაბულობისა და ტემპერატურის ცვლილებებით ჯერ კიდევ ძნელად გამოსაყენებელია მიწისძვრის კერაში მომხდარი პროცესების რიცხვითი შეფასებისათვის; მაგრამ შეიძლება დავუშვათ, რომ მიწისძვრის მომზადების პროცესში და რღვევის სტადიაზე გამტარებლობა კერაში წყვეტს ცვლილებას.

გარდა ზემოთ განხილული შემთხვევებისა, შეიძლება წარმოიშვას ელექტროკინეტიკური ბუნების ლოკალური გეომაგნიტური ვარიაციები, რომლებიც დაკავშირებულია მიწისქვეშა წყლების ფილტრაციასთან. ამ ეფექტების მნიშვნელობა შეიძლება შეადგენდეს $0,2 \div 200$ ნანოტესლას [31]. გარმსკის პოლიგონზე გამოთვლები გვაძლევს $0,8$ ნანოტესლას. ელექტროკინეტიკური მოვლენები დედამიწის ქერქში შეიძლება გამოწვეული იყოს როგორც მიწისძვრის მომზადების პროცესით, ისე სხვა პროცესებით, რომლებიც არაა დაკავშირებული მიწისძვრების მოვლენებთან (მაგალითად, მიწისქვეშა წყლების ჰიდრორეჟიმის სეზონური ცვლილებებით).

ცნობილია, რომ ანომალური ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წარმოშობას ზოგიერთი სპეციალისტი აიგივებს აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღის წარმოქმნასთან, რომელიც შემდეგ ატმოსფეროს შემადგენელ კომპონენტებთან ურთიერთქმედებისა და გარკვეული ტრანსფორმაციის შედეგად იწვევს ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გენერაციას იონოსფეროში და მაგნიტოსფეროში [23,24,35]. ზოგიერთის აზრით კი ელექტრომაგნიტური წინამორბედების წარმოქმნა დაკავშირებულია დედამიწის ქერქში მიმდინარე მექანოელექტრულ გარდაქმნებთან [23,26,36,37,38]. მიუხედავად იმისა, თუ ამ ორი მოსაზრებიდან რომელს ჩავთვლით ჩვენ უფრო მისაღებად, ფაქტი ერთია, რომ მიწისძვრის წინა პერიოდში (ასევე ბიძგის მომენტში და მის შემდეგაც) მართლაც არსებობს ასეთი ანომალური ცვლილებები ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ფართო დიაპაზონში. არსებითია ისიც, რომ ეს გადახრები საიმედოდ ფიქსირდება გეომაგნიტური პულსაციების დიაპაზონში. აქვე შევნიშნოთ, რომ დასაშვებია ზემოთ ხსენებული ორივე მექანიზმის ერთდროულად მოქმედება. კერძოდ, მიწისძვრის წინ, როგორც აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღების გამოსხივება, ასევე მექანოელექტრული გარდაქმნების შედეგად ელექტრომაგნიტური გამოსხივების მიღწევა იონოსფერომდე, რომელიც შეიძლება გავრცელდეს ტალღამტარში დედამიწა-იონოსფერო.

ქუთაისის ტექნიკური უნივერსიტეტის კოსმოფიზიკისა და ატმოსფერული ეკოლოგიის სამეცნიერო-კვლევითი ცენტრის ობსერვატორიაში (სოფ. ყუმური) მიღებული ექსპერიმენტული მასალის ანალიზის შედეგად შეიძლება დავასკვნათ, რომ ძლიერ მიწისძვრებს თან უნდა ახდეს, როგორც აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღების წარმოქმნა, ასევე დედამიწის ქერქში მექანოელექტრული გარდაქმნების შედეგად იმპულსური ელექტრომაგნიტური შემფოთების წარმოშობა. ეს მოსაზრება გამოთქმული იქნა [1] ნაშრომში, მსგავსი მოსაზრება გამოთქმულია [38] ნაშრომშიც. ჩვენ ქვემოთ მოვიყვანთ რამდენიმე არგუმენტს ამ მოსაზრების დასადასტურებლად.

პირველი: როგორც ცნობილია, აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღა წარმოშობს იონოსფეროს შემფოთებას მიწისძვრამდე 2÷3 დღით ადრე. იმავე დროს იონოსფეროს E-ფენის სიმაღლეზე მოსალოდნელია აკუსტიკურ გრავიტაციული ტალღის ტრანსფორმაცია მოკლეპერიოდულ ელექტრომაგნიტურ ტალღებად [23-24]. აკუსტიკური ტალღის მიერ ნეიტრალური ნაწილაკების იონებთან დაჯახება იწვევს ამ უკანასკნელთა წანაცვლებას დამაგნიტებული ელექტრონების მიმართ. ასეთი დენების მაგნიტური ველი დედამიწაზე დაფიქსირებული იქნება გეომაგნიტური პულსაციების სახით. ასეთი სურათი ჩვენს მიერ მართლაც იქნა რეგისტრირებული რაჭა-სამაჩაბლოს 1991 წლის მძლავრი მიწისძვრის პერიოდში. ამასთან, ასეთი სურათი უფრო მკაფიოდ დაიძიება 1991 წლის 15 ივნისის ჯავის მიწისძვრის შემდგომ პერიოდში.

მეორე: ცნობილია, რომ დედამიწის ზედაპირის მახლობლად $E \sim 10^2 \div 10^3 \text{ ვ/მ}$ ამპლიტუდის იმპულსების არსებობის დროს შეიძლება მაგნიტოსფეროში ელექტრომაგნიტური ველის ვარიაციების წარმოქმნა სიდიდით $10^{-3} \div 10^{-23/8} \text{ ვ} \sim (10^{-2} \div 10) \text{ ვ}$. დიაპაზონში, ე.ი. გეომაგნიტური პულსაციების დიაპაზონში [25]. ასეთი ვარიაციები კი ერთის მხრივ, ხელს უწყობენ ელექტრონული სიმკვრივის საგრძნობი არაერთგვაროვნების წარმოქმნას, იონოსფეროში იონიზაციის მომატებას ატომების დაშლის და იონიზაციის ხარჯზე, იონოსფეროს შრეების კრიტიკული სიხშირეების ცვლილებას, რითაც აადვილებენ მაგნიტოსფეროში გენერირებული ძალიან დაბალი სიხშირის გამოსხივების შეღწევას იონოსფეროს სიმაღლეებამდე; ხოლო მეორეს მხრივ, შეუძლია წარმოქმნას მაგნიტოსფერული ენერგიული ნაწილაკების სიჩქარეების მიხედვით ანიზოტროპული განაწილება.

მესამე: 1991 წლის 15 ივნისის მიწისძვრის დაკვირვებებში აღმოჩენილი ანომალიები შეიძლება ახსნილი იქნას როგორც აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღით გამოწვეული ანომალიები, ასევე მექანოელექტრული გარდაქმნების შედეგად წარმოქმნილი შემფოთებებით. კერძოდ, მიწისძვრის მომენტში დაფიქსირებული იქნა გეოელექტრული ველის ვერტიკალური მდგენელის E_z მკვეთრი მომატება. გარდა ამისა, როგორც ცნობილია, აკუსტიკურ-გრავიტაციულ ტალღას იონოსფეროდე მიღწევისათვის სჭირდება $3 \div 5$ წუთი. ამასთან, გეომაგნიტური ველის მკვეთრი მომატება იქნა დაფიქსირებული $5 \div 8$ წუთის შემდეგ 15 ივნისის მთავარი ბიძგიდან, რაც, ალბათ, დაკავშირებულია აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღის მიღწევასთან იონოსფეროსა და მაგნიტოსფეროდე. ამასთან, ბიძგის შემდეგ მსგავსი ანომალიები დაფიქსირებული იქნა რამოდენიმეჯერ და ამ განმეორებადობას ჰქონდა თითქმის კვაზიპერიოდული ხასიათი (თუმცა, ასეთივე სურათი იყო მიწისძვრამდეც, მაგრამ ბიძგის შემდეგ ეს უფრო აშკარად დაიშვინებოდა). ეს შეგვიძლია ავხსნათ შემდეგი მექანიკური ანალოგიით: თუ ჩვენ დედამიწის მაგნიტური ველის ძალწირებს განვიხილავთ როგორც სიმებს, მაშინ მოხდება რა სიმის შემფოთება, იგი დაიწყებს რხევას კვაზიპერიოდულად. ამასთან, ეს რხევა იქნება იძულებითი და მიღევადი. განხილული ანალოგია კარგად აღწერს აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღის მიერ გეომაგნიტური ველის შემფოთების გამოწვევას და მის კვაზიპერიოდულ ხასიათს, აგრეთვე ამ კვაზიპერიოდული რხევის მიღევას, რომელიც ექსპერიმენტულად იქნა დამზერილი.

გარდა ამისა, აღსანიშნავია, რომ 29 აპრილისა და 15 ივნისის მიწისძვრების დროს დაფიქსირებული დედამიწის ბუნებრივი ელექტრული ველის ვერტიკალური მდგენელის E_z მკვეთრი მომატება შეიძლება ჩაითვალოს მიწისძვრის ჰიპოცენტრულ ზონაში ძლიერი ელექტრული ველების არსებობის ირიბ დადასტურებად. ასეთ მოვლენებს შეიძლება მივაკუთნოთ მიწისძვრის ეპიცენტრის მახლობლად ჰაერის ნათება, დედამიწის ზედაპირის მახლობლად ელექტრული განმუხტვები და სხვა [25].

როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ, 1991-1995 წლების მძლავრი მიწისძვრების დროს რეგისტრირებული იქნა გეომაგნიტური ველის ვარიაციები, გამოწვეული ტექტონომაგნეტიზმის მოვლენით. ამასთან, შენიშნული იქნა, რომ ტექტონომაგნიტური ეფექტის სიდიდე დამოკიდებულია მანძილზე მიწისძვრის კერამდე და მის

მაგნიტულაზე. გარდა ამისა, აღსანიშნავია, რომ შორეული მიწისძვრებისათვის, ასევე ახლომდებარე სუსტი მიწისძვრებისათვის, თითქმის შეუძლებელი ხდება ამ მოვლენებთან დაკავშირებული გეომაგნიტური ველის ვარიაციების დამზერა და შემფოთების სახით მათი გამოყოფა.

ჩატარებული გაზომვები საშუალებას იძლევა დავასკვნათ, რომ მიწისძვრის მოკლევადიანი პროგნოზის მიზნით შეიძლება გამოყენებული იქნეს გეოელექტრული ველის ცვლილებები. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ გეოელექტრული ველის მომატება ახლომდებარე მიწისძვრებისათვის ($R \leq \exp(M)$) შეიძლება ფონურ მნიშვნელობას აღემატებოდეს $3 \div 4$ -ჯერ, ხოლო მიწისძვრებისათვის $R \geq 100 \div 200$ კმ-ზე იგი შეიძლება შეიცვალოს $1,5 \div 2$ -ჯერ. გარდა ამისა, აღსანიშნავია, რომ შორეული მიწისძვრებისათვის შეუძლებელი ხდება გეოელექტრული ველის მომატების (ცვლილების) დამზერა. ამასთან, შევნიშნოთ, რომ გეოელექტრული ველის მომატება ძირითადად შეიძლება გამოწვეული იყოს მექანოელექტრული გარდაქმნებით, რასაც მიღებული ექსპერიმენტული მასალაც ადასტურებს.

ამგვარად, ჩატარებული გამოკვლევები საშუალებას იძლევა დავასკვნათ, რომ მიწისძვრის მოკლევადიანი პროგნოზის მიზნით, ზოგადი გაგებით (გეოფიზიკური თვალსაზრისით) «კარგი ამინდის» პირობებში შეიძლება გამოყენებული იქნას გეომაგნიტური და გეოელექტრული ველის ცვლილებები. ამასთან, შედარებით უკეთესი საიმედოობით გამოირჩევა გეოელექტრული ველის მომატება; კერძოდ, დედამიწის ბუნებრივი ელექტრული ველის ვერტიკალური მდგენელის E_z -ის მომატება.

მაშასადამე, ზემოთ მოყვანილი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ როგორც მიწისძვრამდე, ასევე მის მომენტში და ბიძგის შემდეგაც შესაძლებელია ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წარმოქმნა სიხშირეთა ფართო დიაპაზონში როგორც აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღების საშუალებით, ასევე მექანოელექტრული გარდაქმნების შედეგად წარმოქმნილი კვაზისტაციონალური ელექტრული ველების იონოსფეროში მიღწევით. გარდა ამისა, სავარაუდოა, რომ ეპიცენტრულ ზონაში უფრო ალბათურია მექანოელექტრული გარდაქმნების შედეგად იონოსფეროში შემფოთებების წარმოქმნა, ხოლო შორეულ ზონაში კი იონოსფერული შემფოთებების გამოწვევა აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღებით. ეპიცენტრულ მიდამოში ამ მექანიზმების დაშვების

შემთხვევაში შესაძლებელია აიხსნას მთელი რიგი ანომალიების არსებობა, როგორც დედამიწის მახლობელ კოსმოსურ სივრცეში, ასევე მის ზედაპირზე და ქერქში. კერძოდ, იონოსფეროს ფენების კრიტიკული სიხშირეების ცვლილება, ატმოსფერული ეფექტების გაძლიერება, იონოსფეროს ზედა შრეებში გამოსხივების ხაზების ინტენსიობის ზრდა, ბიოლოგიური წინამორბედების არსებობა და სხვა ბუნებრივი მოვლენები [1].

2.4. მიწისძვრის წინა პერიოდში ელექტრომაგნიტური წინამორბედების წარმოშობის ბუნების ახსნა.

როგორც ცნობილია, ელექტრომაგნიტური წინამორბედების შესწავლა წარმოადგენს მიწისძვრის პროგნოზირების პრობლემის გადაწყვეტაში კვლევის ერთერთ მნიშვნელოვან მიმართულებას [25;26;36;38]. გარდა ამისა, ნაშრომების ბოლო ციკლი, რომლებიც ეძღვნება ანომალური ეფექტების შესწავლას დედამიწის ბუნებრივ ელექტრომაგნიტურ ველში და იონოსფეროში მიწისძვრის წინა პერიოდში, არ ტოვებენ არავითარ ეჭვს, რომ ასეთ ეფექტებს მართლაც აქვს ადგილი [36;41;42]. როგორც ცნობილია, ბოლო წლებში განიხილება იონოსფეროში მიწისძვრის შედეგად შემფოთებების წარმოქმნის ორი შესაძლო ვარიანტი [23;24;25;35]: 1) ეს შეიძლება გამოიწვიოს დედამიწის ქერქში მიმდინარე მექანოელექტრულმა გარდაქმნებმა; 2) იგი დაკავშირებულია აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღების წარმოშობასთან. გარდა ამისა, ამ ბოლო ხანებში გაჩნდა მოსაზრება, რომ ეს შემფოთებები შეიძლება გამოიწვიოს ამ ორივე მექანიზმის ერთდროულმა მოქმედებამ [38;39]. ჩვენ აქ შევეცდებით ამ მოსაზრების დადასტურებას. ამისათვის ჯერ განვიხილოთ ცალ-ცალკე ჯერ აკუსტიკურ გრავიტაციული ტალღებით, ხ

შემდეგ მექანოელექტრული გარდაქმნებით ელექტრომაგნიტური წინამორბედების წარმოშობის შესაძლებლობები.

მოკლედ შევეხოთ აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღების საშუალებით მიწისძვრის ელექტრომაგნიტური წინამორბედების წარმოქმნის შესაძლებლობას. როგორც ცნობილია [42], აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღის გავრცელება ხდება შემდეგი

სქემის მიხედვით: პლესტოსეისმურ მიდამოში სეისმური რხევები აჩენენ აკუსტიკურ ტალღას, რომელიც ვრცელდება ვერტიკალურად ზევით დედამიწის ზედაპირიდან, სიმაღლის მიხედვით ატმოსფეროს სიმკვრივე მცირდება, იზრდება ჰაერის ნაწილაკების სიჩქარე და რხევის ამპლიტუდა, გამოწვეული აკუსტიკური ტალღით. დედამიწიდან 150÷300კმ სიმაღლეზე სიჩქარე და რხევის ამპლიტუდა იზრდება ასობით ათასჯერ. ასეთი მძლავრი «ქანქარა» ცვლის იონოსფეროს სტრუქტურას, მასში ჩნდება ელექტრონების მომატებული და ნაკლები კონცენტრაციის კერები.

თავიდან აკუსტიკური ტალღა ვრცელდება აღმავალი ხაზის მიხედვით. შემდეგ 300კმ. სიმაღლეზე 1000°C-ზე მეტი ტემპერატურის ზეგავლენის შედეგად მისი გზა მრუდდება. რხევები ვრცელდება პლანეტის ზედაპირის თითქმის პარალელურად, აღწევენ რა წარმოშობის წყაროდან დიდ (ზედიდ) მანძილებზე. რაც შეეხება აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღების ზემოქმედებას გეომაგნიტურ ველზე, ჩვენ ეს საკითხი განვიხილეთ წინა პარაგრაფში და ამიტომ მასზე აღარ შევჩერდებით.

ახლა შევხვით მექანოელექტრული გარდაქმნების შედეგად მიწისძვრის ელექტრომაგნიტური წინამორბედების წარმოშობის საკითხს. ბოლო ხანებში ჩატარებული სავლე და ლაბორატორიული დაკვირვებების ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზის საფუძველზე გაკეთებული იქნა დასკვნა იმის შესახებ, რომ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროები, ე.ი. ერთეული გამომსხივებლები (მექანოელექტრული გარდაქმნელები), რომლებიც წარმოქმნიან ელექტრომაგნიტური ველის იმპულსებს, თავსდებიან დედამიწის ქერქის ზედაპირულ ფენაში (სკინ-ფენის სიღრმეზე) [43]. ელექტრომაგნიტური გამოსხივების მანიცირებელი წყარო შეიძლება იყოს ნაპრალოწარმოქმნა, ადგეზიური ბუნების კავშირების რღვევა, ელექტროკინეტიკური მოვლენები და სხვა. მათი წარმოშობის დროს, ე.ი. მაგისტრალური რღვევის წინ შეიცვლება ქერქის ზედაპირისა და მიწისპირა ატმოსფეროს ფენის გამტარებლობა, რაც დაემჩნევა ელექტროტელურირებადი ველის და ატმოსფერული ელექტრული პოტენციალის ცვლილებათა მსვლელობას. მუხტების განცალკება და მათი შემდგომი რელაქსაცია გამოიწვევს ცვლადი ელექტრული ველების წარმოშობას, გამოსხივებას რადიოსიხშირულ დიაპაზონში და სხივურ ეფექტებს; რაც დაფიქსირებული იქნა არაერთჯერ ეპიცენტრალურ ზონაში [25;26;37;38;40]. ამასთან,

ავლნიშნოთ, რომ ზემოთ ხსენებულმა პროცესებმა შეიძლება ზეგავლენა იქონიოს გეომაგნიტური და გეოელექტრული ველის ცვლილებებზეც.

მიწისძვრის მომზადების გამოკვლევამ აჩვენა, რომ მთის ფენის ნგრევის დაწყების მიდამო წარმოადგენს გიგანტურ დენის წყაროს რამდენიმე ათეული და ასეული კილომეტრის ზომებით. დენის ფართომასშტაბიანი იმპულსების ეს წყარო წარმოიქმნება დედამიწის ქერქში (სიღრმეში) ლოკალური მექანოელექტრული გარდაქმნების შედეგად, რომელიც ორიენტირებულია ფენის ზედაპირის გასწვრივ. დენის ასეთი წყაროდან ხდება მისი ელექტრული ველის ურთიერთქმედება იონოსფეროზე, რის შედეგადაც წარმოიქმნება მიწისძვრის ელექტრომაგნიტური წინამორბედები [25;25]. ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგად დადგენილი იქნა, რომ ხდება იმპულსური ხასიათის არაბუნებრივი ტალღური პაკეტების გაჩენა სიხშირეთა ფართო დიაპაზონში. რამდენიმე ჰერციდან რამდენიმე მეგაჰერცამდე.

განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს დედამიწის ზედაპირზე პულსირებადი მუხტების ელექტრული ველის იონოსფეროში შეღწევის შესაძლებლობების განხილვა. დღეისათვის განიხილება ასეთი შესაძლებლობების ორი ვარიანტი [43;44]: იონოსფეროში ელექტრული ველები და დენები ჩნდება ან სეისმური ბუნების ელექტრომაგნიტური ველების $5\div 6$ რიგით შესუსტების შემდეგ ატმოსფეროში გასვლის შედეგად; ან დედამიწა-ატმოსფერო-იონოსფერო რხევითი კონტურის აღზნების ხარჯზე – საკუთარი სიხშირით 1კჰც რიგის და საკმაოდ დიდი ვარგისიანობით ($10^2\div 10^3$) [45].

ჩატარებულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ სეისმური მოვლენების მომზადების დროს 5-ზე ნაკლები მაგნიტუდით ($M < 5$) სეისმოიონოსფერული ურთიერთქმედება მოსალოდნელი არ არის [44]. გამტარებლობის ვერტიკალური დენის შეშფოთება ამ შემთხვევაში შეიძლება დაკავშირებული იყოს მიწისპირა ატმოსფეროს გამტარებლობის ცვლილებასთან დედამიწის ქერქის ზედაპირულ ფენაში მექანოელექტრული გარდაქმნების აღზნების ხარჯზე [46]. ამასთან, ცნობილია, რომ თუ ხდება მიწისძვრის მომზადების პროცესში მიწისქვეშა წყლების მოძრაობა, ამ დროს ელექტროკინეტიკური მგრძობიარობა იღებს მაქსიმალურ მნიშვნელობას [47]. ამკარაა, რომ შიდაოთქლური წნევის მაღალი ლოკალური გრადიენტის დროს უნდა მოველოდეთ ელექტრული ველის

მნიშვნელოვან გრადიენტს, რაც საშუალებას გვაძლევს ელექტროკინეტიკური წყარო ჩავთვალოთ ქვედა ატმოსფეროს იონიზაციის შესაძლო ტრიგერად.

ტალღამტარ დედამიწა-იონოსფეროს იონიზაციის ალბათობა იზრდება, თუ ხდება რადიექტიული აირების გამოყოფა, მიმდებარე (მოსაზღვრე) გარემოს ელექტრული წინააღმდეგობის ცვლილება და ა.შ. [44]. თანახმად [45]-ში არსებული შეფასებისა, მიწისძვრის დროს რადონის ემანაციამ შეიძლება გამოიწვიოს მიწისპირა ატმოსფეროს ფენის ელექტრული გამტარებლობის გაზრდა 50%-ით.

ცხადია, სეისმოიონოსფერული ურთიერთქმედების გამოწვევა პირველ რიგში მოსალოდნელია ეპიცენტრულ ზონაში, აგრეთვე რღვევის ხაზებზე და ფილაქნების საზღვრებზე. როგორც ნაშრომში [43] არის აღნიშნული, დეფორმაციის და რღვევის პროცესების თავისებურებების მიხედვით შეიძლება მოველოდეთ გარდამქმნელების «ორგანიზებულ» და ქაოტურ (არაკორელირებულ) აღგზნებას დროში. «ორგანიზებულის» ქვეშ იგულისხმება მრავალრიცხოვანი ლოკალური გარდამქმნელების სინქრონული ჩართვა. ასეთი აღგზნება შეიძლება თან სდევდეს წანაცვლების ფართომასშტაბურ პროცესებს ფილაქნების საზღვრის მიხედვით დეფორმაციის დროს; იგი აგრეთვე გამოვლინდება ზვაური ნაპრალთწარმოქმნის ზოგიერთ მომენტში კერის მიდამოში ანუ საზღვარზე. მათი სინქრონული ჩართვა გამოიწვევს უმეტესწილად დისლოკაციური ბუნების ფართომასშტაბური დენის წყაროს აღგზნებას. აქ უნდა გავითვალისწინოთ, რომ წანაცვლების პროცესი არ არის უწყვეტი. მათთვის, როგორც დინამიური რღვევისათვის, დამახასიათებელია ნახტომისებური მოძრაობა, ე.ი. წანაცვლების პერიოდი იცვლება შეჩერების ინკუბაციური პერიოდით. ფილაქნების მცირე აბსოლუტური (წანაცვლების) გადაადგილების დროს წაცოცების განივი ზედაპირული ზომები ეთანადება ფილაქნების ზომებს. ამ პირობებში კი ფორმირდება ფართომასშტაბური დენის წყაროს იმპულსები. [43] ნაშრომში გამოთქმულ ამ მოსაზრებას ადასტურებს სხვადასხვა სეისმოექტიურ რეგიონებში ჩატარებული გაზომვები [43;50;51]. კერძოდ, ნაშრომში [51] მოყვანილია დედამიწის ბუნებრივი ელექტრული ველის ცვლილებების გაზომვის შედეგები 1975 წლის დაღესტნის ძლიერი მიწისძვრის წინ. გაზომვებმა აჩვენეს, რომ აშკარად დაიმზირება

მიწისძვრის მომზადების, განვითარების და დაძაბულობის რელაქსაციის პროცესები, აგრეთვე ელექტროსეისმური ეფექტები მის წინა პერიოდში და სეისმური ბიძგის დროს.

როგორც ცნობილია, მექანოელექტრული გარდაქმნების დროს ხდება ელექტრული მუხტების დაყოფა და მათი შემდგომი რელაქსაცია გარემოს ელექტრული გარღვევის ანუ გამტარებლობის დენის ხარჯზე. ამასთან, მექანოელექტრული გარდაქმნების ყველაზე ინტენსიური აღგზნება მოსალოდნელია რღვევის ფაზაში, რომელიც შეიცავს კერის მიდამოში ნაპრალთწარმოქმნას, საზღვრების მიხედვით ფილაქნების წანაცვლებას და სწრაფ დეფორმაციას, დედამიწის ქერქის ზედაპირის დეფორმაციას და მიწისძვრის აქტს.

სეისმოტექტონიკური პროცესების დროს ატმოსფეროს გამტარებლობის შემფოთების ბუნება განიხილება ორი მოდელის ფარგლებში. პირველ მოდელში განიხილება პულსირებადი ფართომასშტაბური დენითი წყაროს ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება ზედა ატმოსფეროსთან და იონოსფეროსთან, რომელიც ფორმირდება დედამიწის ქერქში მრავალრიცხოვანი მექანოელექტრული გარდაქმნების ერთნაირად ორიენტირებული აღგზნების დროს. ასეთი ურთიერთქმედებებისას იონიზაციის პროცესების ხარჯზე იცვლება ტალღამტარ დედამიწა-იონოსფეროს გამტარებლობა. მეორე მოდელში კი დედამიწის ქერქის ზედაპირულ ფენაში მექანოელექტრული გარდამქმნელების აღგზნება იწვევს მიწისპირა ატმოსფეროს გამტარებლობის ცვლილებას [25]. აქ შემფოთებების დამზერის მიდამო, ალბათ, შემოსაზღვრული იქნება მიწისძვრის მომზადების ზონით, ხოლო ფილაქნების და რღვევების საზღვარზე ის შეიძლება იმყოფებოდეს ამ ზონის გარეთაც [43].

ზემოთ განხილული სეისმოიონოსფერული ურთიერთქმედების მოდელების თანახმად, მიწისძვრის მომზადების პერიოდში ხდება დედამიწის ქერქში ფართომასშტაბური პულსირებადი მუხტების დაყოფა. თუ ასეთი პროცესების მასშტაბი L საკმაოდ დიდია, ასე რომ $L \geq h$, სადაც $h \approx 100$ კმ იონოსფეროს E ფენის სიმაღლეა, მაშინ წარმოქმნილი ელექტრული და მაგნიტური ველები აღწევენ იონოსფეროში და გამოიწვევს შესამჩნევ ეფექტებს მის E და F ფენებში; კერძოდ, ამ დროს E ფენის მიდამოებში მოსალოდნელია იმპულსური ჯოჯოხური გათბობა და, მაშასადამე, ელექტრონების ტემპერატურის გაზრდა [38]. ხოლო თუ კერის ზომები $L < h$, მაშინ

მოსალოდნელი არ არის არც ზემოთ აღნიშნული და არც [45] ნაშრომში შემოთავაზებული მექანიზმის (კონდენსატორული სისტემის) აღზნება და ელექტრომაგნიტური წინამორბედების წარმოშობა შესაძლებელია მხოლოდ სეისმოპლასტური მიდამოს ფარგლებში. გარდა ამისა, გასათვალისწინებელია, რომ მექანოელექტრული გარდაქმნების პროცესის ინტენსიობის განმსაზღვრელ ძირითად ფაქტორს წარმოადგენს დეფორმაციის სიჩქარე, რასაც ადასტურებს, როგორც საველე, ასევე ლაბორატორიული ექსპერიმენტები [52;53].

ცხადია, რომ ზემოთ აღნიშნული ფაქტები და ჩატარებული ანალიზი ვერ იქნება მეტნაკლებად ზუსტი და დამაჯერებელი, თუ არ იქნა გათვალისწინებული მიკროგეოლოგიური პირობები, ფილაქნების ზომები და მისი შესაძლო გადაადგილებები. რა თქმა უნდა, წინამორბედის წარმოქმნის ხასიათი აშკარად ინდივიდუალურია თითოეული მიწისძვრისათვის, ტექტონიკურად განსხვავებული მიდამოებისათვის. ამიტომ ქვემოთ მოკლედ შევხვით ამ საკითხსაც.

როგორც ცნობილია, დღეისათვის მიწისძვრის წინამორბედების წარმოქმნის ახსნისათვის ძირითადად ეფუძნებიან დილატანტურ-დიფუზიურ ან ზვაურ-ნაპრალთწარმოქმნის მოდელებს. ამ მოდელების თანახმად, ყველა მიწისძვრა მზადდება მსგავსად, ამ დროს მაგნიტუდაზე დამოკიდებულია მხოლოდ მომზადების ზონის მოცულობა. ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებაში დამზერილი თავისებურებებიც ასევე ეთანადება ჰიპოთეზას, რომლის თანახმადაც დეფორმაციის ენერჯის სიმკვრივე არ არის დამოკიდებული მაგნიტუდაზე და გამონთავისუფლებული ენერჯია და მაგნიტუდა დამოკიდებულია მხოლოდ კერის მოცულობაზე. გარდა ამისა, სეისმოელექტრომაგნიტური გამოსხივების ამპლიტუდა უნდა კონტროლირდებოდეს დეფორმაციის ენერჯის სიმკვრივის სიდიდით, აგრეთვე მთის გარემოს გეოფიზიკური (ელექტროფიზიკური) პარამეტრებით. რადგანაც მიწისძვრის კერაში დეფორმაციის და ენერჯის სიმკვრივის კრიტიკული სიდიდე პრაქტიკულად ერთნაირია სეისმური ენერჯის მიუხედავად [54], მახლობელ (ერთნაირ) გეოფიზიკურ პირობებს უნდა ეთანადებოდეს მექანოელექტრული წყაროების მახლობელი ამპლიტუდები. ანომალიის ხანგრძლიობის გაზრდა დაკავშირებული უნდა იყოს აქტიური გარემოს მოცულობის გაზრდასთან [54]:

$$V=1,25m+5 \quad (2-1)$$

და, როგორც შედეგი, მთის მასივის რღვევის პერიოდის გაზრდასთან. აქვე აღნიშნოთ, რომ გასათვალისწინებელია კავშირი კერის განრთხმას l და მიწისძვრის მაგნიტუდას m შორის, რომელიც გამოისახება ცნობილი ფორმულით:

$$\lg l(\text{კმ})=0,5m-1,8. \quad (2-2)$$

დღეისათვის მკვლევარების მიერ განიხილება მოკლევადიანი წინამორბედების რიგი მექანიზმები, რომლებიც ძირითადადში ბაზირებულია მთის ქანების ნიმუშების რღვევის ლაბორატორიული კვლევის შედეგებზე [23]. განსხვავების მიუხედავად, ისინი არ გამორიცხავენ ერთმანეთს და მიწისძვრის წინა პერიოდში დამზერილი ანომალური მოვლენების მრავალსახეობა, ალბათ, შედეგია წყაროების ერთობლივი სინქრონული ან ეტაპობრივი გამოვლინების, რომელიც ეთანადება მთის მასივის რღვევის სხვადასხვა სტადიებს. სეისმოელექტრომაგნიტური გამოსხივების ერთერთი ყველაზე ალბათური წყაროა ორმაგი ელექტრული ფენის (მყარი სხეულის და თხევადი ფაზის, მყარი სხეულების საზღვარზე კონტაქტური ზონის პოტენციალთა სხვაობის) რხევა მძლავრი აკუსტიკური ნაკადის ველში [55]. ნაშრომში [56] მოყვანილია ეპიცენტრიდან დაახლოებით 450კმ-ზე ($R=450\text{კმ}$) დაფიქსირებული მაღალსიხშირული სეისმური ხმაურის რეგისტრაციის შედეგები 19.03.1984წ. გაზლის მიწისძვრის დროს. მათი შედარება ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ვარიაციასთან აღნიშნული მიწისძვრის წინა პერიოდში გვიჩვენებს, რომ მათი ცვლილება ხდება სინქრონულად, რაც ადასტურებს ელექტრომაგნიტური გამოსხივების აღზნების რეალურ წყაროდ აკუსტიკური წყაროს არსებობის შესაძლებლობას. ასეთივე სინქრონულობა შემჩნეულია სეისმურად წყნარ პირობებშიც მთის ქანების დამაბულობის ცვლილების დროს [57], რაც ადასტურებს და ამაღლებს ასეთი წყაროს არსებობის ალბათობას. აკუსტიკურმა რხევებმა შეიძლება ასევე ხელი შეუწყოს მიწისქვეშა წყლების ემანაციის მომატებას, რაც განაპირობებს მიწისქვეშა წყლებში და ჰაერში რადონის (Rn) მნიშვნელოვან ანომალიებს მიწისძვრის წინა პერიოდში.

ნაშრომი [58]-ის თანახმად, მიწისძვრის მომზადების დამამთავრებელი ეტაპი ხასიათდება მიკრონაპრალების ურთიერთქმედებით, მათი შერწყმით მიკრონაპრალებში მაგისტრალური რღვევის წარმოქმნით. ნაპრალების გამსხვილების

დროს აკუსტიკური სიგნალების სპექტრი წანაცვლდება დაბალსიხშირულ მიდამოში და მთის მასივის რღვევის გარკვეულ ფაზაში შეიძლება აღიგზნოს ელექტრომაგნიტური გამოსხივება დამზერილ სიხშირეებზე (ე.ი. ძირითადად ჰერცულ და კილოჰერცულ დიაპაზონში).

ამგვარად, როგორც ზემოთ მოყვანილი ფაქტებიდან და მსჯელობიდან გამომდინარეობს, მიწისძვრის ელექტრომაგნიტური წინამორბედების წარმოშობა აქ აღნიშნული მექანიზმებით თანაბრად ალბათურია. კერძოდ, ახლო ზონაში ($r \sim \exp(M)$) იგი შეიძლება გამოწვეული იყოს როგორც ცნობილი მექანოელექტრული გარდაქმნების საშუალებით, ასევე აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღების საშუალებით. ამასთან, გასათვალისწინებელია მიკროგეოლოგიური პირობები, ფილაქნების ზომები და მისი შესაძლო გადაადგილებები. გასათვალისწინებელია აგრეთვე კერის წრფივი ზომები და პლეისტოსენისმური მიდამოს ზომები (კერძოდ, მისი მოცულობა). გარდა ამისა, აღსანიშნავია, რომ როგორც ჩატარებული მსჯელობიდან ჩანს შორ ზონაში უფრო რეალურია ელექტრომაგნიტური წინამორბედების გამოწვევა აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღებით, ხოლო ახლო ზონაში ლითოსფერულ-იონოსფერული კავშირების სხვადასხვა მექანიზმების ფარდობითი როლის გამოკვლევა შემდგომი კომპლექსური დაკვირვებების ამოცანაა. რაც შეეხება გეომაგნიტური ველის შემფოთებებს, აუცილებელია აღინიშნოს, რომ ტექტონომაგნეტიზმის ეფექტი, რომელიც ძირითადად განპირობებულია მექანოელექტრული გარდაქმნებით, შეიძლება რეგისტრირებული იყოს ახლო ზონაში, ხოლო ძალიან ძლიერი მიწისძვრების დროს კი იგი შეიძლება რეგისტრირდეს შედარებით შორ ზონაში პლეისტოსენისმური მიდამოსთან უშუალოდ დაკავშირებული ფილაქნების საზღვარზე ($R \approx 200-400$ კმ) აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღების მიერ წარმოქმნილი იონოსფერული შემფოთებები, ასევე გეომაგნიტური ველის შემფოთებები კი შეიძლება რეგისტრირებული იყოს მიწისძვრის კერიდან რამდენიმე ასეულ კილომეტრზე [23;24;59]. ასე, რომ ეს კიდევ ერთი არგუმენტია ზემოთ მოყვანილი მოსაზრების დასადასტურებლად.

2.5. მიწისძვრის ელექტრომაგნიტური წინამორბედების გამოვლინების ზონის საკითხის შესწავლა

როგორც ცნობილია, ბოლო პერიოდში დიდი ყურადღება ეთმობა ლითოსფერული-იონოსფერული კავშირების შესწავლას, თუმცა ეს საკითხი დღესაც არაა ბოლომდე შესწავლილი. გარდა ამისა, ბოლო ათწლეულებში ჩატარებული გამოკვლევების შედეგად დადგენილი იქნა, რომ სეისმოიონოსფერული კავშირების არსებობა, მძლავრი მიწისძვრების დროს (მაგნიტუდით $M \geq 5$) არავითარ ეჭვს არ ტოვებენ ასეთი კავშირების რეალურად არსებობაში [23-25;35-40;46;54]. როგორც უკვე ავღნიშნეთ, ნაშრომში [1] გამოთქმული იქნა მოსაზრება, რომ ეპიცენტრულ ზონაში უფრო ალბათურია მექანოელექტრული გარდაქმნების შედეგად იონოსფეროში შემფოთებების წარმოქმნა, ხოლო შორეულ ზონაში კი იონოსფერული შემფოთებების გამოწვევა აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღებით. ქვემოთ ჩვენ შევეცდებით არსებულ ექსპერიმენტულ მასალებზე დაყრდნობით მოვიყვანოთ არგუმენტები ამ მოსაზრების დასადასტურებლად.

სხვადასხვა სეისმოაქტიურ რეგიონებში ჩატარებულმა ექსპერიმენტულმა გამოკვლევებმა აჩვენეს, რომ მიწისძვრის მომზადების წინ წარმოიშობა ანომალური ელექტრომაგნიტური გამოსხივება ფართო სპექტრალურ დიაპაზონში (ჰერცის მესამედიდან რამდენიმე მეგაჰერცამდე) [60]. სეისმურ აქტიურობასთან დაკავშირებულ ანომალურ გამოსხივებას გააჩნია თავისი მახასიათებელი თვისებები, რითაც ჩვენ შეგვიძლია გავარჩიოთ იგი ფონისაგან. დღეისათვის დაფიქსირებულია ანომალური ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წარმოშობის არაერთი შემთხვევა როგორც ჩვენთან, ასევე საზღვარგარეთ. ძლიერი მიწისძვრების წინ ხშირად რეგისტრირებული იქნა სხვადასხვა მახასიათებელი პარამეტრების სწრაფი ვარიაციები, როგორც დედამიწის მახლობელ კოსმოსურ სივრცეში, ასევე უშუალოდ დედამიწის ზედაპირზე და მის ქერქში. ასეთი ანომალური მოვლენები დაფიქსირებული იქნა როგორც უშუალოდ ჰოპოცენტრულ მიდამოში, ასევე მის ფარგლებს გარეთაც რამდენიმე ასეულ კილომეტრზე [23-26;30-46].

ჩატარებულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ სეისმური მოვლენების მომზადების დროს ხუთზე ნაკლები მაგნიტუდით ($M < 5$) სეისმოიონოსფერული ურთიერთქმედება მოსალოდნელი არ არის [44]. აქედან გამომდინარე, ძირითადად განიხილება მიწისძვრები მაგნიტუდით $M \geq 5$.

ცნობილია, რომ მიწისძვრის წინამორბედების გამოვლინების ზონა შეიძლება შევაფასოთ ფორმულით

$$r = e^M; \text{ ან } r = 301 (კმ) \quad (2-3)$$

აქ e -ნეპერის რიცხვია, M – მაგნიტუდა, I – ჰიპოცენტრის ზომაა. ამ გამოსახულებიდან ჩანს, რომ რაც უფრო მეტია მაგნიტუდა, მით უფრო შორს შეგვიძლია დავაფიქსიროთ ეს შემფოთება. გარდა ამისა, რაც უფრო მეტია მაგნიტუდა, მით მეტ ფართობს იკავებს ჰიპოცენტრი. აღსანიშნავია ასევე, რომ სეისმოელექტრომაგნიტური და სეისმოიონოსფერული ურთიერთქმედებების გამოწვევა პირველ რიგში, ალბათ, მოსალოდნელია ეპიცენტრულ ზონაში (პლეისტოსეისტურ მიდამოში), აგრეთვე რღვევის ხაზებზე და ფილაქნების საზღვრებზე.

გარდა ყოველივე ზემოთ თქმულისა, ცხადია, რომ გათვალისწინებული უნდა იქნას მიკროგეოლოგიური პირობები, ფილების ზომები და მისი შესაძლო გადაადგილებები. კერძოდ, გასათვალისწინებელია მოცემულ რეგიონში ფილების აგებულება და ის ფაქტი, თუ ფილების როგორ გადაადგილებას ჰქონდა ადგილი მოცემული მიწისძვრის დროს.

როგორც ცნობილია, ტექტონიკურ რღვევებს შორის განასხვავებენ: ნასხლექტ-რღვევას, რომლის ზედაპირზედაც ზემოთ მოთავსებული მასები (რღვევის ზედა ფრთის მასები) წინაცვლებენ ქვემოთ; ზენასხლექტ რღვევას, რომელიც დახრილია ჰორიზონტისადმი 45° -ზე მეტი კუთხით და რომლის ზედაპირზედაც ხდება ზედა ფრთის მასის ზემოთ გადანაცვლება; გადანაცვლება რღვევას მეზობელი ფილების ფარდობითი წინაცვლებით მისი განფენის გასწვრივ. წინაცვლებითი გადაადგილება რღვევების მიხედვით ხშირად ერწყმის გადანაცვლებებთან რღვევის ზედაპირის ვარდნას, წარმოქმნის რა ზენასხლექტ-წინაცვლებას, ნასხლექტ-წინაცვლებას და წინაცვლება-წამოცმას (გადაადგილებას) [61].

გარდა ამისა, ცნობილია, რომ რამდენიმე რღვევის გადაკვეთის მიდამოში დედამიწის ქერქი დაყოფილია კიდევ უფრო მცირე ზომის ფილებად. ამ ფილების ზომების

დადგენისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნეს შემდეგი მეთოდისა [62]: ზომავენ თითოეული ფილის მაქსიმალურ L_{\max} და მინიმალურ L_{\min} ზომებს და საზღვრავენ საშუალო გეომეტრიულ ზომას

$$L_i = \sqrt{L_{\max} L_{\min}} \quad (2-4)$$

ცალკეული ზომის ფილების L_i პროპორციული წვლილი შეიძლება შეფასებული იქნას გამოსახულებით $\frac{N_i}{\sum N_i} \cdot 100\%$ აქ N არის ფილების რაოდენობა. სეისმოგენურ წყვეტებს აქვთ სიგრძე 20-დან რამდენიმე ასობით კილომეტრამდე. მათი სიგანე არის 15÷35კმ., ხოლო აქტიური სიღრმე არ აღემატება 35კმ-ს [63]. ზოგიერთი მათგანის სიგრძე ზედაპირული ტალღების მონაცემების მიხედვით აღწევს 80კმ-მდე. ისინი განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან სიგრძის, სიგანის, სიღრმის და მიწისძვრის მაგნიტუდის მიხედვით. ძალიან ძლიერი მიწისძვრების ეპიცენტრი უმეტეს წილად დაიმზირება რამდენიმე ურთიერთგადაკვეთის რღვევის კვანძებში. ამასთან, სეისმოგენური რღვევების მიხედვით მიწისძვრის წარმოქმნის სიხშირე მით მეტია, რაც მეტია სეისმოტექტონიკური მოძრაობის სიჩქარე.

როგორც ჩატარებულმა ექსპერიმენტების ანალიზმა აჩვენა [64], თუ ფილების ზომები არის 50÷80 კმ, მაშინ ასეთი ზომის ფილებს შეუძლიათ დააგროვონ პოტენციური ენერგია, რომლის გამონთავისუფლების დროს მოხდება მიწისძვრა მაგნიტუდით $M \leq 6,5$.

მეორეს მხრივ, ცხადია, რომ რაც უფრო მეტი ზომა ექნება ფილას და დიდი იქნება მისი გადაადგილების სიჩქარე (იგულისხმება შეცოცებითი გადაადგილება), გარდა ამისა, დიდი იქნება აბსოლუტური გადაადგილების ვექტორი (სიდიდე), მით უფრო მძლავრი უნდა იყოს ელექტრომაგნიტური გამოსხივება და გამოიწვიოს შეშფოთებები იონოსფეროში. ცხადია, ამ გზით სეისმოიონოსფერული ურთიერთქმედებების გამოწვევა პირველ რიგში მოსალოდნელია ეპიცენტრულ ზონაში, აგრეთვე რღვევის ხაზებზე და ფილაქნების საზღვრებზე. ჩვენს ამ მოსაზრებას ადასტურებს არა მარტო ჩვენს ობსერვატორიაში ჩატარებული გაზომვები, არამედ სხვა სეისმოაქტიურ რეგიონებში ჩატარებული გაზომვებიც.

ამგვარად, როგორც ზემოთ მოყვანილი ფაქტებიდან და მსჯელობიდან გამომდინარეობს, შორ ზონაში უფრო რეალურია ზოგიერთი სახის ვექტრომაგნიტური

წინამორბედების აღზნება აკუსტიკური ტალღებით (კერძოდ, აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღებით და ინფრაბგერით), ვიდრე ცნობილი მექანოელექტრული გარდაქმნების საშუალებით. მით უმეტეს, თუ გავითვალისწინებთ, რომ ამ სახის ტალღებისათვის არსებობს ტალღამტარული ფენები (≈ 100 კმ-ის სიმაღლეზე), რაც რიგ შემთხვევებში განაპირობებს სხვადასხვა წყაროდან წარმოქმნილი აკუსტიკური ტალღების შორ მანძილებზე გავრცელების შესაძლებლობას. რაც შეეხება ახლო ზონაში ლითოსფერულ-იონოსფერული კავშირების სხვადასხვა მექანიზმების (იგულისხმება ცნობილი მექანოელექტრული გარდაქმნები და აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღები) ფარდობითი როლის გამოკვლევა შემდგომი კომპლექსური დაკვირვებების ამოცანაა.

2.6. მიწისძვრის ელექტრომაგნიტური წინამორბედების წარმოშობის ერთ-ერთი მათემატიკური მოდელი

სხვადასხვა სეისმოაქტიურ რეგიონებში ჩატარებულმა ექსპერიმენტულმა გამოკვლევებმა აჩვენეს, რომ მიწისძვრის მომზადების წინ წარმოიშობა ელექტრომაგნიტური გამოსხივება ფართო სპექტრულ დიაპაზონში [60]. სეისმურ აქტიურობასთან დაკავშირებულ ანომალურ გამოსხივებას გააჩნია თავისი მახასიათებელი თვისებები, რითაც ჩვენ შეგვიძლია გავარჩიოთ იგი ფონურისაგან. ძლიერი მიწისძვრების წინ ხშირად რეგისტრირებული იქნა სხვადასხვა მახასიათებელი პარამეტრების სწრაფი ვარიაციები როგორც დედამიწის მახლობელ კოსმოსურ სივრცეში, ასევე უშუალოდ დედამიწის ზედაპირზე და მის ქერქში. ასეთი ანომალური მოვლენები დაფიქსირებული იქნა, როგორც ჰიპოცენტრულ მიდამოში, ასევე მის ფარგლებს გარეთაც რამდენიმე ასეულ კილომეტრზე [55-60].

გარდა ამისა, როგორც ცნობილია, ბოლო წლებში განიხილება იონოსფეროში მიწისძვრის შედეგად შეშფოთებების წარმოქმნის ორი შესაძლო ვარიანტი [38;39]: 1) ეს შეიძლება გამოიწვიოს დედამიწის ქერქში მიმდინარე მექანოელექტრულმა გარდაქმნებმა; 2) იგი დაკავშირებულია აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღების

წარმოშობასთან. ბოლო წლებში გაჩნდა მოსაზრება, რომ ეს შეშფოთებები შეიძლება გამოიწვიოს ამ ორივე მექანიზმის ერთდროულმა მოქმედებამ. უფრო მეტიც, ნაშრომ [38]-ში გამოთქმული იქნა მოსაზრება, რომ ეპიცენტრულ ზონაში უფრო ალბათურია მექანოელექტრული გარდაქმნების შედეგად იონოსფეროში შეშფოთებების წარმოქმნა, ხოლო შორეულ ზონაში კი იგი შეიძლება გამოწვეული იყოს აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღებით. ჰიპოცენტრულ მიდამოში ამ მექანიზმების დაშვების შემთხვევაში შესაძლებელია აიხსნას იონოსფეროს ფენების კრიტიკული სიხშირეების ცვლილება, ატმოსფერული ეფექტების გაძლიერება, ელექტრომაგნიტური წინამორბედების ფართო სპექტრის წარმოშობა სიხშირეთა ფართო დიაპაზონში, ბიოლოგიური წინამორბედების წარმოშობა, ჰიპოცენტრულ მიდამოში სხივური ეფექტები და სხვა სახის ანომალური მოვლენები.

მოკლედ შევხვით აღნიშნული საკითხის მათემატიკურ მხარეს. ამასთან დაკავშირებით გავითვალისწინოთ შემდეგი ფაქტები:

პირველი, დედამიწის ქერქში სეისმური ტალღების წარმოშობის წყარო არ იმყოფება ფიქსირებულ სიღრმეზე და ეპიცენტრი შეიძლება განთავსებული იყოს დედამიწის ზედაპირიდან 0÷70კმ. სიღრმეზე; გარდა ამისა, დედამიწის ქერქის აგებულება მკვეთრად განსხვავდება სხვადასხვა რეგიონისათვის და, მაშასადამე, სხვადასხვა ადგილზე გვხვდება სხვადასხვა ნივთიერებისაგან შემდგარი დედამიწის ქანები.

მეორე, მაგნიტუდის მიხედვით განსხვავდება ეპიცენტრის ზომები, ასევე დრეკადი სეისმური ტალღების გავრცელებაზე დიდ როლს თამაშობს ე.წ. მახორვიჩის ზედაპირის მდგომარეობა, რომელიც სხვადასხვა ადგილებზე იმყოფება სხვადასხვა სიღრმეზე; ხოლო ზოგიერთ შემთხვევაში, იმის მიხედვით, თუ რა ნივთიერებისაგან შედგება დედამიწის ფენები და როგორია მისი კუთრი წინაღობა, ბევრადაა დამოკიდებული ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოსხივება; კერძოდ, მისი დედამიწის ქერქიდან გამოსვლა ატმოსფეროში.

ყოველივე ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე, ჩვენ ამ გარემოში ტალღების გავრცელებას (როგორც აკუსტიკური, ასევე ელექტრომაგნიტური) არ განვიხილავთ და ჩავთვლით, რომ ტალღა ვრცელდება დედამიწის ზედაპირიდან. გარდა ამისა, იმის გამო, რომ არაა ზუსტად დადგენილი, თუ როგორ ხდება სეისმური წარმოშობის

ელექტრული ველების ატმოსფეროში გასვლა, ამიტომ ამ გარემოსაც არ შევხებით და განვიხილავთ შემდეგ მოდელურ ამოცანას.

ვთქვათ, იონოსფერულ სიმაღლეებამდე ვრცელდება აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღა, რომელიც ალაგზნებს იმ ელექტრომაგნიტურ შემფოთებებს, რომლებსაც ჩვენ შემდგომ ვაფიქსირებთ. ამრიგად, ელექტრომაგნიტური ტალღების გავრცელებისათვის მიზანშეწონილია გამოვყოთ შემდეგი უბნები: ზედა იონოსფერო (E,F-ფენა) – მაგნიტოსფერო (გზა ზემოთ) – ზედა იონოსფერო – ქვედა იონოსფერო მოთავსებულია მაგნიტურ ველში თუ Z ღერძს მივმართავთ მაგნიტური ველის გასწვრივ (რაც სამართლიანია იონოსფეროს ზედა მიდამოებისათვის), მაშინ $\hat{\sigma}$ -თვის გვექნება

$$\hat{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_p, & \delta_H, & 0 \\ -\sigma_H, & \delta_p, & 0 \\ 0; & 0; & \sigma_H \end{pmatrix} \quad (2-5)$$

აქ σ_p , σ_H , $\sigma_{||}$ - პლაზმის პეტერსონის, ჰოლლის და განივი გამტარებლობაა. ამ ტენზორის კომპონენტებზე არსებითად არის დამოკიდებული ამა თუ იმ გარემოსთვის თვისებები; კერძოდ, იზოტროპულობის საკითხი. ასე მაგალითად, ატმოსფეროსათვის $\sigma_{||} = \sigma_p$, რაც ნიშნავს, რომ ატმოსფერო იზოტროპულია (ლაპარაკია $H=0 \div 70$ კმ. სიმაღლეებზე), ხოლო იონოსფეროსათვის კი $\sigma_{||} > \sigma_p$, ე.ი. ის არის ანიზოტროპული გარემო.

შემოვისაზღვროთ გამჭვირვალე ანიზოტროპულ გარემოში ბრტყელი ტალღების გავრცელების განხილვით, ე.ი. ვგულისხმობთ რომ ყველა სიდიდე პროპორციულია $e^{i\vec{k}\vec{r}}$ -ის სადაც \vec{K} ნამდვილი ტალღური ვექტორია. ამ შემთხვევაში განტოლებათა სისტემას ექნება შემდეგი სახე [66]:

$$\left. \begin{aligned} [\vec{K}\vec{H}] &= -\frac{\omega}{C}\vec{D}; & (\vec{K}\vec{D}) &= 0, \\ [\vec{K}\vec{E}] &= -\frac{\omega}{C}\vec{E}; & (\vec{K}\vec{H}) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2-6)$$

ხოლო ტალღური განტოლება ასეთი სახით ჩაიწერება:

$$[\vec{K}[\vec{K}\vec{E}]] + \frac{\omega^2}{C^2}\hat{\xi}\vec{E} = 0. \quad (2-7)$$

(2-6) განტოლებათა სისტემიდან გამომდინარეობს რომ \vec{K}, \vec{D} და \vec{H} ვექტორები ურთიერთპერპენდიკულარულია და \vec{H} ვექტორი (D-ფენის საწყისამდე) – ტალღამტარი იონოსფერო-დედამიწა. გარდა ამისა, გასათვალისწინებელია ის გარემოება, რომ როგორც იონოსფერო, ასევე მაგნიტოსფერო არიან არაერთგვაროვანი, ანიზოტროპული გარემოები. რაც შეეხება ატმოსფეროს, იგი არის არაერთგვაროვანი და იზოტროპული. საერთოდ, გარემოს ხშირად განიხილავენ მარტო ან იზოტროპულს, ან როგორც არაერთგვაროვანს.

განვიხილოთ ანიზოტროპულ გარემოში ტალღების გავრცელება, რომლის თვისებებზეც ხასიათდება შემდეგი მატერიალური განტოლებებით:

$$\vec{D} = \hat{\xi}\vec{E}; \quad \vec{B} = \hat{H}$$

მაქსველის განტოლებებს, რომელიც აღწერს მონოქრომატული ტალღების გავრცელებას, აქვს ასეთი სახე [65]:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{rot}\vec{H} &= i\frac{\omega}{C}\vec{D}; \quad \operatorname{div}\vec{D} = 0, \\ \operatorname{rot}\vec{E} &= i\frac{\omega}{C}\vec{H}; \quad \operatorname{div}\vec{H} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (2-8)$$

თუ გამოვრიცხავთ ამ სისტემიდან H ვექტორს და გამოვიყენებთ (2-8) განტოლებებს, მივიღებთ ტალღურ განტოლებას ანიზოტროპული გარემოსათვის:

$$\operatorname{rot}\operatorname{rot}\vec{E} - \frac{\omega}{C^2}\hat{\xi}\vec{E} = 0 \quad (2-9)$$

აქ შემავალ დიელექტრიკული შეღწევადობის ტენზორს აქვს შემდეგი სახე:

$$\hat{\xi} = \xi + \frac{4\pi i}{\omega}\hat{\sigma}_i \quad (2-10)$$

$\hat{\sigma}$ და $\hat{\xi}$ გარემოს გამტარებლობის და კომპლექსური დიელექტრიკული შეღწევადობის ტენზორია. თუ პლაზმა, რომელშიც ველის ენერგია გადაადგილდება დაახლოებით ისე, როგორც უკუმშვადი სითხე მილში. თუკი ტალღის სიმცირესთან ერთად გავითვალისწინებთ λ -ს (მაგრამ არა λ^2 -ის) პროპორციულ წევრებს, მაშინ ჩვენ მივალთ პარაბოლური განტოლების მეთოდთან.

ფიზიკური თვალსაზრისით დამატებითი წევრები ითვალისწინებს ველის «გაჟონვას» სხივური მილის კედლებს გარეთ სხივების პერპენდიკულარულად. ეს კი ნიშნავს რომ

ენერგიის ნაკადის მიმართულება არ ემთხვევა სხივის მიმართულებას მოცემულ წერტილში და ადგენს მასთან მცირე კუთხეს. ამ მოვლენას გ.მალიუჟინეცმა უწოდა ტალღური ამპლიტუდის განივი დიფუზია.

პარაბოლურ განტოლებას მივყავართ არსებით გამარტივებებთან როგორც ანალიზური ამოხსნის აგების თვალსაზრისით, ასევე რიცხვითი გამოთვლების დროს. იგი პასუხობს ამოცანის რეალურ დასმას და ხსნის ამ დროს მიმდინარე პროცესების ფიზიკურ არსს.

განვიხილოთ დედამიწის ზედაპირიდან ტალღური ნაკადის გავრცელება ვიწრო კუთხური სპექტრით. ამისათვის მოსახერხებელია ამოვხსნათ შემდეგი სახის პარაბოლური განტოლება [66]:

$$2iK \frac{\partial a}{\partial Z} + \Delta_1^2 A = 0 \quad (2-11)$$

სადაც A ტალღის ამპლიტუდაა, $\Delta_1^2 = \frac{\partial^2}{\partial X^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ ლაპლასის ოპერატორია განივი კომპონენტების მიხედვით. ამ განტოლების თანახმად, ტალღის გავრცელების მიხედვით ხდება მისი ამპლიტუდის «დიფუზია» განივი მიმართულებით – ნაკადი დიფრაქციის გამო ფართოვდება.

განვიხილოთ აქსიალურ-სიმეტრიული ნაკადის შემთხვევა, როდესაც (2-9) განტოლება შეიძლება ჩავწეროთ ცილინდრულ კოორდინატებში:

$$2iK \frac{\partial A}{\partial Z} + \frac{\partial^2 A}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial A}{\partial r} = 0 \quad (2-12)$$

K პერპენდიკულარულია \vec{E} ვექტორის. მაშასადამე, \vec{K}, \vec{D} და \vec{E} ვექტორები ძევეს ერთ სიბრტყეში აქედან გამოდინარე \vec{D} და \vec{H} ვექტორები ძევეს ტალღის ფრონტის სიბრტყეში, ხოლო E ვექტორი არ ძევეს ამ სიბრტყეში. რადგანაც ენერგიის სიმკვრივის ნაკადი ხასიათდება პოინტინგის ვექტორით

$$\vec{S} = \frac{C}{4\pi} [\vec{E}\vec{H}],$$

ამიტომ ანიზოტროპულ გარემოში ენერგიის სიმკვრივის ნაკადის მიმართულება არ ემთხვევა ტალღური ვექტორის მიმართულებას. მაშასადამე, არ ემთხვევა ჯგუფური და ფაზური სიჩქარეების მიმართულებაც $\vec{D}, \vec{E}, \vec{K}$ და \vec{S} ვექტორები ორთოგონალურია

\vec{H} ვექტორის. მაშასადამე, ამ შემთხვევაში უნდა ამოიხსნას (2-8) განტოლება (2-9) და (2-10) გამოსახულებების და გამოთქმული შენიშვნების გათვალისწინებით.

ახლა მოკლედ განვიხილოთ მეორე შესაძლო შემთხვევა, ელექტრომაგნიტური ტალღა ვრცელდება დედამიწის ზედაპირიდან, გამოიწვევს რა იონოსფეროს და მაგნიტოსფეროს შემფოთებას, გარკვეული ტრანსფორმაციის შემდეგ კვლავ ფიქსირდება დედამიწაზე. ამ საკითხის განხილვა მიზანშეწონილია პარაბოლური განტოლების მეთოდით. ეს მეთოდი 1946 წელს განავითარა აკადემიკოსმა ვ.ფოკმა და იგი გამოიყენა ბრტყელი და სფერული დედამიწის თავზე ტალღების გავრცელების ამოცანისათვის. მათემატიკური გზა პარაბოლური განტოლებისაკენ არის შემდეგი: ცნობილია, რომ მაქსველის განტოლებებიდან, შესაბამისი აპროქსიმაციის გაკეთების შედეგად (ე.ი. ტალღის სიგრძის λ სიმცირის გათვალისწინების შედეგად ყველა მახასიათებელ ზომებთან და სიგრძესთან შედარებით), შეიძლება მიღებული იქნას გეომეტრიული ოპტიკის განტოლებები. გეომეტრიული ოპტიკის საფუძველზე ჩატარებული გამოთვლების საკმაოდ მარტივია. იგება სხივები და სხივური მილები (მილაკები), ვეძებთ (2-12)-ის ამონახსნი ცვლადების შემდეგი კომბინაციის სახით [66].

$$A = \frac{A(0)}{(1+iD)^{m-1}} \varphi \left[\frac{r^2}{a^2(1+id)} \right], \quad (2-13)$$

სადაც, m - მთელი დადებითი რიცხვია, $d=2Z/Ka^2$ (2-10)-ის ჩასმა საშუალებას იძლევა კერძოწარმოებულებიანი საწყისი განტოლება დავიყვანოთ ჩვეულებრივ დიფერენციალურ განტოლებაზე $\varphi(\xi)$ ფუნქციისათვის:

$$\xi \frac{d^2 \varphi}{d\xi^2} + (1+\xi) \frac{d\varphi}{d\xi} + (m+1)\varphi = 0, \quad (2-14)$$

სადაც, $\xi=r^2/[a^2(1+iD)]$ (2-14) განტოლების ამონახსნია შემდეგი სახის ფუნქციები:

$$\xi=e^{-\xi} L_m(\xi); \quad m=0,1,2,\dots$$

აქ L_m ჩებიშევ-ლაგერის m რიგის პოლინომია. ეს პოლინომები ქმნიან ორთოგონალური და ნორმირებული ფუნქციების სისტემას $\exp(-\xi)$ წონით. სხვა ნაკადები შეიძლება წარმოდგენილი იქნას (2-14) ამონახსნების წრფივი კომბინაციის სახით, ე.ი. შეიძლება აღწერილი იქნას შემდეგი გამოსახულებებით:

$$A = \exp \left[-\frac{r^2}{a^2(1+iD)} \right] \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_m(0)}{(1+iD)^{m+1}} L_m \left[\frac{r^2}{a^2(1+iD)} \right] \quad (2-15)$$

(2-14) განტოლება წრფივია, ამიტომ ამონახსნების ნებისმიერი კომბინაცია ასევე იქნება მისი ამონახსნი.

ამგვარად, პარაბოლური განტოლების ამოხსნის საშუალებით ჩვენ მივიღეთ მარტივი გამოსახულებები, რომლებიც იძენენ ახალ ფიზიკურ არსს. ამასთან, ამ გზით მიღებული ამონახსნი გაცილებით უკეთ აღწერს რეალურ სურათს, ვიდრე სხვა მეთოდებით მიღებული ამონახსნები.

2.7. სეისმოაქტიურ რეგიონებში ელექტრომაგნიტური გამოსხივების შეშფოთების დამზერის შესახებ ანალიზი

როგორც ბოლო ათწლეულებში ჩატარებულმა გამოკვლევებმა აჩვენა, ჯერჯერობით ვერ ხერხდება მიწისძვრასთან დაკავშირებული ელექტრომაგნიტური შეშფოთებების ცალსახა იდენტიფიკაცია. მიუხედავად იმისა, რომ დღეისათვის რეგისტრირებულია მრავალი სხვადასხვა სახის ანომალური ელექტრომაგნიტური მოვლენები როგორც უშუალოდ დედამიწის ზედაპირზე, ასევე დედამიწის მახლობელ კოსმოსურ სივრცეში, მათი საშუალებით მიწისძვრის მოკლევადიანი პროგნოზის სრულყოფა მაინც ერთ-ერთ ურთულეს პრობლემად რჩება, რაც დაკავშირებულია იმასთან, რომ ზოგიერთ შემთხვევაში საერთოდ არ ყოფილა რეგისტრირებული ელექტრომაგნიტური შეშფოთებები. (მაგალითად, კილოჰერცულ დიაპაზონში) [22]. თუმცა, არ შეიძლება არ აღინიშნოს, რომ მიუხედავად ამისა, აუცილებელია ამ კუთხით სამუშაოების გაფართოება და საკითხის კომპლექსური შესწავლა, რაც გულისხმობს შემდეგს:

1. უნდა მოხდეს დამზერილი სიხშირეების დიაპაზონის გაფართოება;
2. ელექტრომაგნიტურ წინამორბედებთან ერთად უნდა ხდებოდეს სხვა სახის გეოფიზიკური ველების შესწავლაც.

მიუხედავად იმისა, რომ ჩატარებულია დიდი მოცულობის სამუშაოები, მაინც პრობლემად რჩება შემდეგი საკითხები: რაოდენობრივი კავშირი მაგნიტუდას M ეპიცენტრულ დაშორებას R , სიგნალის მაქსიმალურ ამპლიტუდასა და მისი წარმოშობის

დროს შორის. (ეს ეხება გეომაგნიტურ და გეოელექტრულ ველსაც). 300-მდე მიწისძვრების (მაგნიტუდით $M \geq 5$) მონაცემების სტატისტიკურმა ანალიზმა აჩვენა, რომ შემთხვევების 51%-თვის არსებობს კორელაცია ელექტრომაგნიტური გამოსხივების მყისიერ მომატებას და სეისმურ მოვლენებს შორის. ანომალიები როგორც წესი იწყება მიწისძვრამდე 2-7 საათით ადრე და მთავრდება ბიძგის მომენტში, ან 2-3 საათის შემდეგ. მთელ რიგ შემთხვევებში ანომალიის მაქსიმუმი მოდის მიწისძვრის მომენტში. ზოგჯერ ანომალიები ჩნდება ბიძგის შემდეგ.

გამომდინარე იქედან, რომ შედარებით უფრო მეტად არის შესწავლილი იმპულსური ელექტრომაგნიტური ველის შემფოთებები, ამიტომ მოკლედ შევეხთ ამ კუთხით მიღებულ შედეგებს. კერძოდ, სეისმოაქტიურ რაიონებში იმპულსური ელექტრომაგნიტური ველის მსვლელობის დაკვირვების ანალიზმა აჩვენა, რომ:

1. იმპულსური ელექტრომაგნიტური ველის მსვლელობის ანომალიები არ გამოიკვეთება ყველა მიწისძვრის წინ, რომელიც ხდება რეგისტრაციის ზონაში;
2. ანომალიები ვლინდება იმპულსური ელექტრომაგნიტური ველის მსვლელობის მაქსიმუმის ან მინიმუმის პერიოდების სახით;
3. მიწისძვრის წინ იმპულსური ელექტრომაგნიტური ველის შემფოთება ძვეს სიხშირეთა ფართო დიაპაზონში – რამოდენიმე ჰერციდან მეგაჰერცამდე;
4. ანომალიის ხანგრძლიობა მოიცავს პერიოდს ათობით წუთიდან ორ თვემდე.

გეომაგნიტური ველის ირეგულარული ვარიაციების და იმპულსური ელექტრომაგნიტური ველის შემფოთებების შედარებამ არ გამოავლინა კავშირი ამ მოვლენებს შორის. 103 მაგნიტური ქარიშხლისათვის და 96 მაგნიტური სუბქარიშხლისათვის (ხანგრძლიობით ერთ საათზე მეტი და ინტენსივობით 15 ნტლ-ზე მეტი). დროში იმპულსური ელექტრომაგნიტური ველის შემფოთებასთან დამთხვევა აღინიშნა 10%-ზე ნაკლებ შემთხვევაში; მაგრამ ამ შემთხვევებისთვისაც კი დამთხვევა იყო არადამაკმაყოფილებელი, რადგან მძლავრ მაგნიტურ შემფოთებებს თან ახლდა იმპულსური ელექტრომაგნიტური ველის სუსტი შემფოთებაც და პირიქით. გარდა ამისა, ცალკეული შემფოთებების დასაწყისი, დასასრული და ხანგრძლიობა, როგორც წესი, არ ემთხვეოდნენ [26].

ამგვარად, იმპულსური ელექტრომაგნიტური ველის ფონური ვარიაციის შედარებამ მეტეოროლოგიურ ფაქტორებთან და გეომაგნიტური ველის ვარიაციებთან ვერ გამოავლინა კავშირი ამ გეოფიზიკურ მოვლენებს შორის.

და ბოლოს, შევეხოთ ერთ მეტად სერიოზულ და მნიშვნელოვან საკითხს. კერძოდ, თუ რატომ არ დაიძირება ელექტრომაგნიტური შემფოთებები ყველა მეტნაკლებად ძლიერი მიწისძვრების წინ ამასთან დაკავშირებით ჩვენი მოსაზრება არის შემდეგნაირი.

პირველი, გასათვალისწინებელია ის ფაქტი, თუ ფილების როგორ გადაადგილებას ჰქონდა ადგილი მოცემული მიწისძვრის წინ, მეორე, დედამიწის ზედაპირის ელექტრული გამტარებლობა სხვადასხვა ადგილებში არის განსხვავებული და, მაშასადამე, შეიძლება არსებობდეს პირობები, როდესაც დედამიწის ზედაპირზე ვერ ამოვა საკმაო რაოდენობის გამოსხივება, რათა გამოიწვიოს დამატებითი ანომალური გამოსხივება ატმოსფეროს ზედა ფენებში.

მესამე, გასათვალისწინებელია მიკროგეოლოგიური პირობები, მოცემულ რეგიონში ფილების აგებულება. კერძოდ, რეგიონალურ გეოტექტონიკურ მდგომარეობაში განსხვავება აუცილებლად იწვევს გარკვეულ განსხვავებებს მიწისძვრის მომზადების პროცესებში, რაც ასახვას ჰპოვებს მოკლევადიანი წინამორბედების ყოფა-ქცევაში.

მეოთხე, ფართო მასშტაბური ტექტონიკური პროცესების დროს ჰორიზონტალური წყაროს ველების რეგისტრაციისას აუცილებელია გავითვალისწინოთ მისი ღერძის მდებარეობა რეგისტრაციის პუნქტის მიმართ.

ალბათ ამიტომ არის, რომ ზოგჯერ არ რეგისტრირდება ელექტრომაგნიტური წინამორბედები.

დასკვნები მე-2 თავის მიხედვით

ამრიგად, მოცემული სადსიერტაციო ნაშრომის მეორე თავში ჩვენ შევეხეთ სეისმოაქტიურობით განპირობებულ გეომაგნიტური და გეოელექტრული ველის

ცვლილებებს. გამომდინარე იქედან, რომ პრაქტიკულად საინტერესოს წარმოადგენს ახლო მდებარე და მძლავრი მიწისძვრები (მაგნიტუდით $M \geq 5$), ამიტომ სადისერტაციო ნაშრომში სწორედ ასეთ მიწისძვრებზე იქნა ყურადღება გამახვილებული. ამასთან, ძირითადი აქცენტი გაკეთებული იქნა 1991 წლის რაჭა-სამაჩაბლოს მიწისძვრაზე შემდეგი მოსაზრებების გამო.

ჯერ ერთი, აღნიშნული მიწისძვრა ყველაზე უფრო ახლოს იყო სხვა ძლიერ მიწისძვრებთან შედარებით, რომელიც მოხდა კავკასიის რეგიონში.

მეორეც, ეს მიწისძვრა ხასიათდებოდა საკმაოდ მძლავრი და ხანგრძლივი აფტერშოკური აქტივობით, რამაც საშუალება მოგვცა მკაფიოდ დაგვეფიქსირებინა მთელი ამ პერიოდის განმავლობაში გეომაგნიტური და გეოელექტრული ველის ვარიაციები. ამასთან, მიღებული სურათი იმდენად მკაფიო იყო, რომ არავითარ ეჭვს არ ტოვებს სხვა რაიმე ფიზიკურ ან კოსმოფიზიკურ მოვლენებთან დასაკავშირებლად.

მესამე, ხსენებული მიწისძვრა შესწავლილი იქნა სხვა ქვეყნების მეცნიერების მიერაც და დაფიქსირებული იქნა როგორც ამ მიწისძვრის ელექტრომაგნიტური წინამორბედები (კილოჰერცულ დიაპაზონში), ასევე გეოქიმიური და სხვა ტიპის წინამორბედები.

ჩატარებული გამოკვლევები საშუალებას იძლევა გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნები:

1. 1991-1992 წლებში საქართველოში მომხდარი მძლავრი მიწისძვრების (მაგნიტუდით $M \geq 5$) წინა პერიოდში რეგისტრირებული იქნა გეომაგნიტური და გეოელექტრული ველის მკვეთრი ვარიაციები, რომლებიც დაკავშირებული იყო გეოტექტონიკურ პროცესებთან.
2. აშკარად აღინიშნა როგორც მექანოელექტრული პროცესებით გამოწვეული შემფოთობები, ასევე იონოსფეროსა და მაგნიტოსფეროში აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღების გავლის შედეგად წარმოქმნილი შემფოთობები.
3. დამზერის პუნქტიდან 200 კმ-ზე მეტ მანძილებზე მომხდარი მიწისძვრებისათვის შესაძლებელი ხდება მხოლოდ გიროტროპული ტალღების რეგისტრირება, ისიც ზოგიერთ შემთხვევებში.

4. 1991 წლის 29 აპრილის მიწისპერამდე რამოდენიმე დღით ადრე აღნიშნული იქნა ტექტონომაგნეტიზმის ეფექტი, რომელიც მკაფიოდ დაიმზირა მიწისპერამდე რამდენიმე საათით ადრე.
5. ახლომდებარე მიწისძვრებისათვის აღინიშნა გეოელექტრული ველის ვერტიკალური მდგენელის E_z -ის მომატება.
6. მიღებულ ექსპერიმენტულ მასალაზე დაყრდნობით ნავარაუდები იქნა, რომ ეპიცენტრალურ ზონაში უფრო ალბათურია მექანოელექტრული გარდაქმნების შედეგად იონოსფეროში შემფოთებების წარმოქმნა, ხოლო შორეულ ზონაში კი იონოსფერული შემფოთებების გამოწვევა აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღებით.

***3. მზეზე მიმდინარე პროცესებით განპირობებული გეომაგნიტური
ველის ცვლილებები***

როგორც ცნობილია, ბოლო ათწლეულებში მეცნიერების განსაკუთრებულ ყურადღებას იქცევს მზეზე მიმდინარე პროცესებით განპირობებული გეომაგნიტური ველის ცვლილებები. ეს საკითხი ერთ-ერთი ყველაზე აქტუალურია მზე-დედამიწის კავშირების საკითხებიდან. მზე-დედამიწის კავშირების გამოკვლევამ მეცნიერები მიიყვანა იმ დასკვნამდე, რომ არსებობს ორი სახის ფართო მასშტაბური შეშფოთებები მზის ქარში [67]: მოკლე დროითი შეშფოთებები, განპირობებული მზის ზოგიერთი ანთებით (ფეთქებით), და რეკურენტული, რომლებიც, ალბათ, განპირობებულია მზეზე დიდხანმცხოვრები მიდამოებით (ე.წ. m მიდამოებით) [68,71].

მზის ქარის კვაზისტაციონალური რეკურენტული შეშფოთების არსებობის შესახებ პირველი მინიშნება მიღებული იქნა რეკურენტული გეომაგნიტური შეოფოთებების ანალიზიდან [72,73].

მზის ქარის პარამეტრების უშუალო გაზომვის შედეგად აღმოჩენილი იქნა პლაზმის მაღალსიჩქარული ნაკადი, რომელიც მეორდებოდა საკმაოდ ხშირად 27 დღიანი პერიოდით [79]. ამასთან, ამ ნაკადის პარამეტრების აღდგენა ხდება რამოდენიმე დღის განმავლობაში.

საერთოდ, აღსანიშნავია, რომ მზე-დედამიწის კავშირების ფიზიკის პრობლემის შესწავლა განსაკუთრებით ინტენსიურად დაიწყო გეოფიზიკური წლის შემდეგ 1957-1958 წლებიდან, როდესაც პირველად იქნა ორგანიზებული 67 ქვეყნის მეცნიერებს შორის შეთანხმებული გეოფიზიკური დაკვირვებები დედამიწის ყველა ფენაში მიმდინარე პროცესებზე, კვლევითი სამუშაოები დაიწყო ანტრაქტიდაზეც, გაშვებული იქნა დედამიწის პირველი ხელოვნური თანამგზავრები. ეს იყო არა მარტო სამეცნიერო-ტექნიკური ღონისძიებების კომპლექსი, არამედ სამეცნიერო საზოგადოებრიობის ერთგვარი მოძრაობა. საერთაშორისო გეოფიზიკური წელი გახდა იმპულსი გეოფიზიკისა და დედამიწის შესახებ სხვა მეცნიერებების განვითარებისათვის. (სსრკ-ში ამ პროგრამის ხელმძღვანელი იყო მეცნიერებათა აკადემიის ვიცე-პრეზიდენტი ი.პ. ბარდინი). აღნიშნული მიმართულებით სამეცნიერო კვლევები კიდევ უფრო გაფართოვდა 80-იანი წლებიდან. კერძოდ, 1981 წელს გაშვებული იქნა მაგნიტოსფერულ-იონოსფერული თანამგზავრი „Ореол-3,“ (სსრკ-საფრანგეთის ერთობლივი პროექტი „Аркад-3“) და „Интеркосмос-Болгария-1300“ სსრკ-ში ორი

თანამგზავრი გაუშვა ამერიკამ "Dainemics-explorer". 1986 წელს კი მუშაობა დაიწყო შვეციის მაგნიტოსფერულმა თანამგზავრმა "Викинг". 90-იანი წლებიდან აღნიშნული საკითხების შესწავლის მიზნით ფართოდ იყენებენ საპლანეტათმორისო სადგურებს და ორბიტალურ მოდულებს. პარალელურად ხდება დაკვირვებები ჩვენს პლანეტაზე განლაგებულ 100-ზე მეტ გეომაგნიტურ და ასტროფიზიკურ ობსერვატორიებში. ამ მიმართულებით აქტიურ სამეცნიერო-კვლევით სამუშაოებს აწარმოებს საქართველოს სამეცნიერო საზოგადოებაც. კერძოდ, აბასთუმნის ასტროფიზიკური ობსერვატორია, თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გეოფიზიკის კათედრა, გეოფიზიკის ინსტიტუტი და სხვები. დასავლეთ საქართველოში ამ საკითხებით დაინტერესდა ქუთაისის ტექნიკური უნივერსიტეტის კოსმო-ფიზიკისა და ატმოსფერული ეკოლოგიის სამეცნიერო-კვლევითი ცენტრი, რომლის განკარგულებაშიც იმყოფება ვანის რაიონის სოფ.ყუმურში მდებარე ობსერვატორია, სადაც ხდება გეომაგნიტური ველის სწრაფი ვარიაციების შესწავლა დედამიწაზე და დედამიწის მახლობელ კოსმოსურ სივრცეში მიმდინარე პროცესებზე.

სადსიერტაციო ნაშრომის მესამე თავში ძირითადად განხილული იქნა 1989-1999 წლებში მიღებული ექსპერიმენტული მასალა. კერძოდ, ჩვენ ავარჩიეთ მაგნიტური ქარიშხალები, რომელთა ხანგრძლიობაც იყო არა ნაკლები 24 საათისა და მაგნიტური ველს ვარიაციები მეტი იყო 10 ნანოტესლაზე. სუბქარიშხლებიდან კი აირჩა ისეთი სუბქარიშხლები, რომელთა ხანგრძლიობაც მეტი იყო 5-10 წუთზე, ხოლო მაგნიტური ველის ვარიაციები კი აღემატებოდა 15 ნანოტესლას. რაც შეეხება მძლავრ ქარიშხლებს, ასეთი იყო რამოდენიმე და მათთვის მაგნიტური ველის ვარიაციები მეტი იყო 20-50 ნანოტესლაზე.

3.1. მზე და მზეზე მიმდინარე პროცესების მოკლე მიმოხილვა

როგორც ცნობილია, მზე წარმოადგენს მზის სისტემის ცენტრალურ სხეულს და იგი ჩვენგან ყველაზე ახლოს მყოფი ვარსკვლავია. იგი გალაქტიკის ცენტრიდან დაშორებულია რამდენიმე ათობით კილოპარსეკ მანძილზე (1 კპრსკ=3,1.10²¹სმ). მზე გალაქტიკის ცენტრის მიმართ ბრუნავს 250 კმ/წმ სიჩქარით, ხოლო მახლობელი ვარსკვლავების მიმართ კი 20 კმ/წმ სიჩქარით [75]. მზე პლაზმურ მდგომარეობაში მყოფი სხეულია მზის რადიუსი დაახლოებით ტოლია 700000 კმ-ის, მასა დაახლოებით 330000 დედემიწის მასის ტოლია, რაც 750-ჯერ აღემატება მზის სისტემის დანარჩენ სხეულთა სრულ მასას. ტემპერატურა გარეთა თვალით უშუალოდ ხილვად ფენებში 6000-ია, სიღრმეში კი თანდათან იზრდება და ცენტრალურ არეებში 15 მილიონ კელვინს აღწევს.

მზის ქიმიური შემადგენლობა ასეთია: 90%-მდე წყალბადი, 10%-მდე ჰელიუმი, დანარჩენი ელემენტები C,N,O და სხვა გაცილებით ცოტაა. მზეში ენერგიის წარმოშობის პირველადი წყარო ბირთვული რეაქციებია, რომლებიც მზის ყველაზე ღრმად მდებარე ფენებში მიმდინარეობს. ესაა სინთეზის რეაქციები-წყალბადისაგან ჰელიუმისა და შემდგომში უფრო მძიმე ელემენტების წარმოქმნა – რის შედეგად გამოყოფილი სხივური ენერგია და მისი გავრცელება ზედაპირისაკენ განსაზღვრავს მზის მთელ ფენობრივ სტრუქტურას.

მზის გარეთა, თვალით ხილვად ფენას ფოტოსფერო ჰქვია. მასში წარმოიქმნება ჩვენამდე მიღწეული მზის გამოსხივების უწყვეტი სპექტრი. უფრო გარეთ არის დაახლოებით 15000 კმ-ის სისქისა და 10-100 ათასი K ტემპერატურის მქონე ფენა – ქრომოსფერო. ეს ფენა ნივთიერების მცირე რაოდენობას შეიცავს, ამიტომ ძირითადად გამოსხივების ხაზების შემცველ სპექტრს წარმოქმნის, ამასთან, ფოტოსფეროს გამოსხივების ფონზე მისი დანახვა არც ხერხდება. ყველაზე გარეთა ფენაა მზის გვირგვინი (კორონა), რომელიც ძალან გაიშვიათებულია და ამასთან ძალიან ცხელია (1-2 მილიონი გრადუსი). გვირგვინი მზის რამდენიმე რადიუსის მანძილზე ვრცელდება, ამასთან არასტაციონალურია. მისი სიმკვრივე, ფორმა, ტემპერატურა და სხვა პარამეტრები საგრძნობლად ცვალებადობს დროის მსვლელობის მიხედვით (დროში).

მზის ზედაპირზე განუწყვეტლივ წარმოიქმნებიან ე.წ. მზის ლაქები – ძაბრისებური წარმონაქმნები, რომელთა ტემპერატურა 1000-1500K-ით ნაკლებია ფოტოსფეროსაზე.

ლაქათა სიცოცხლის ხანგრძლივობა რამდენიმე საათიდან რამდენიმე თვემდეა, იშვიათ შემთხვევაში წელიწადზე მეტიც. ფოტოსფეროს ფონზე ლაქები ბნელ წარმონაქმნებად ჩანს. ისინი ჩნდებიან ჯგუფებად, ძირითადად მზის ეკვატორულ ზოლში. აქვთ ძლიერი მაგნიტური ველი (რამდენიმე ათას გაუსამდე). უდიდეს ლაქათა დიამეტრები ასეულ ათას კილომეტრს აღწევს.

მზის გარე ფენებში დროდადრო ნივთიერების დიდი მასები ამოიტყორცნება სხვადასხვა ტიპის პროტურბერანცების სახით. ამორტყორცნის სიჩქარე რამდენიმე ასეული კმ/წმ-ია, სიმაღლე ათასობით კილომეტრი. ზოგი პროტურბერანცი პარაბოლურ სიჩქარესაც იძენს და ამრიგად, ვარსკვლავთშორის სივრცეში იფანტება. მზის ლაქების, პროტურბერანცებისა და სხვა აქტიური წარმონაქმნების გამოჩენის ინტენსიურობა დაახლოებით 11 წლიანი ციკლით იცვლება. ხანდახან მზის ცალკეული არეების გამოსხივება უეცრად ძლიერდება, ე.წ. პროტონული ამორფრქვევების შედეგად. ამ დროს ამოტყორცნილი ჩქარი ნაწილაკები, ისევე როგორც მზის გვირგვინიდან განუწყვეტლივ გამომდინარე მზისიერი ქარი (ელექტრონებისა და სხვადასხვა ქიმიური ელემენტების ატომბირთვების ნაკადი) დედამიწის ატმოსფერომდე აღწევს და იწვევს პოლარულ ციალს, სხვა ატმოსფერულ მოვლენებს, რადიოკავშირის დარღვევას და სხვა. საგრძნობია მზის აქტიურობის კავშირი დედამიწაზე მიმდინარე ბიოლოგიურ პროცესებთანაც.

მზის ქარი შედეგია მზის გახურებული კორონის გაფართოების. აღსანიშნავია, რომ კორონა უფრო ცხელია, ვიდრე თვითონ მზის ზედაპრი. ერთი შეხედვით ეს ეწინააღმდეგება თერმოდინამიკის მეორე კანონს, რომელიც ამტკიცებს, რომ სითბო უფრო ცხელი სხეულიდან გადაეცემა ნაკლებად ცხელს. ამ საკითხზე თავის დროზე ფართო მსჯელობა იყო მეცნიერებს შორის. კორონის გახურების (მისი ტემპერატურა ~1,5 მილიონი გრადუსია) მექანიზმს განიხილავდა მრავალი მეცნიერი. დღეისათვის ფართოდ მიღებული კონცეფცია ასეთია: ხდება კორონალური პლაზმის გახურება დარტყმითი ტალღის ფრონტის საშუალებით, რომელიც წარმოიქმნება ნივთიერების კონვექციური მოძრაობით მზის ფოტოსფეროში. გაფართოების პროცესში მზის ქარს თან გადააქვს მაგნიტური ველი. პროცესები, რომლებიც ხორციელდება მზის ქარში, თავის

ასახვას ჰპოვებენ ფიზიკური მოვლენების მრავალსახეობაში, რომლებიც მიმდინარეობენ დედამიწის ატმოსფეროსა და მაგნიტოსფეროში.

მზის ქარი ვრცელდება მზიდან რადიალური მიმართულებით. ამ უკანასკნელის ბრუნვის გამო კი მზის ქარის მაგნიტურ ველს საპლანეტათშორისო სივრცეში აქვს არქიმედის სპირალის ფორმა. რადგანაც მაგნიტური ველის დაძაბულობის ვექტორი მიმართულია ძალწირის მხების მიხედვით, ამიტომ კუთხე მასა და ნაკადის სიჩქარის ვექტორს შორის იზრდება მზიდან დაშორების მიხედვით. ასე მაგალითად, დედამიწის ორბიტაზე მზის ქარის საშუალო სიჩქარის დროს 300 კმ/წმ. ეს კუთხე შეადგენს დაახლოებით 50°. წყნარ ნაკადში, რომელიც მოძრაობს 300 კმ/წმ სიჩქარით, ველის ძალწირი სრულ ბრუნს გააკეთებს ყოველი 6 ა.ე. მანძილის (9.10⁸ კმ) შემდეგ [75].

კოსმოსური ხომალდების საშუალებით აღმოჩენილი იქნა, რომ ეკლიპტიკის სიბრტყის მახლობლად მზის ქარის მაგნიტური ველი დროის განსაზღვრულ ცალკეულ მონაკვეთში მიმართულია მზისკენ, ხოლო ზოგჯერ – საწინააღმდეგო მიმართულებით. ამას კი მივყავართ მზის სექტორულ სტრუქტურასთან. ამ სექტორების რიცხვი იცვლება დროში, მაგრამ როგორც წესი, იგი ოთხის ტოლია.

ამ სექტორებს შორის არსებული საზღვარი წარმოადგენს სასარგებლო დროით და სივრცით სანიშნეს მზის ქარის მიერ დედამიწის ზედაპირზე გამოწვეული ეფექტების ანალიზის დროს. ამასთან, აღმოჩნდა, რომ გეომაგნიტური შემფოთებები ყველაზე ხშირად ვლინდება ორი დღის შემდეგ დედამიწის მიერ სექტორის საზღვრის გავლიდან.

მზის ქარს დედამიწამდე მოღწევისათვის სჭირდება დაახლოებით ორი დღე. სწორედ ასეთი ზეგერითი სიჩქარის გამო ხდება მზის ქარის მიერ დარტყმითი ტალღის წარმოქმნა დედამიწის მახლობელ კოსმოსურ სივრცეში 15Rდ (Rდ - დედამიწის რადიუსია) მანძილზე დღის მხრიდან. გაივლის რა მზის ქარი დარტყმითი ფრონტს იგი "ჩაამოკლებს" გეომაგნიტურ ველს და მას მიცემს სიგარისებურ ფორმას, რომელიც იქნება წაგრძელებული კომეტის კუდის მსგავსად მზის ქარის ურთერთქმედება კოსმოსურ სივრცეში ქმნის დედამიწის გასწვრივ ცვლად პოტენციალთა სხვაობას 100 კვ.-ის რიგის. მაგნიტოსფეროსა და ზედა ატმოსფეროში. ეს ველი იწვევს შემდეგ ეფექტებს:

1. ელექტრულ დენს სიმკვრივით 10^{-6} ა/მ²-მდე, რომელიც მიედინება გეომაგნიტური ველის ძალწირების გასწვრივ მაგნიტოსფეროს შორეული მიდამოებიდან პოლარული ნათების ზონისაკენ.
2. პოლარულ ნათებას;
3. გიგანტურ ელექტრულ დენს დაახლოებით 10^5 -- 10^6 რიგის, რომელიც მიედინება ჰორიზონტალურად 100--150 კმ-ის სიმაღლეზე პოლარული ნათების ზონაში; ამ დენს უწოდებენ "პოლარულ დენს" ანუ "ელექტროჯეტს";
4. მაგნიტოსფერულ მიდამოში პლაზმის ადგენებას, რომელიც გარშემორტყმულია წრიული დენით და იგი მიედინება დედამიწის გარშემო;
5. პლაზმოსფეროს კონფიგურაციის და ადგილმდებარეობის ცვლილებას;
6. იონოსფეროში ელექტრული ველის და დენის მოდულაციას;
7. იონოსფერულ ქარიშხლებს;
8. ქარის მიმართულების ცვლილებას, ატმოსფეროში ტემპერატურის და წნევის ცვლილებას 100 კმ სიმაღლეზე;
9. იონოსფეროს შემადგენლობის ცვლილებას;
10. საშუალო ატმოსფეროს მცირე შემადგენლების კონცენტრაციის ცვლილებას;
11. ენერგიული ნაწილაკების მიერ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გენერაციას, რომლებიც ჩაჭერლია დედამიწის მაგნიტოსფეროში; კერძოდ, ელექტრონების – ძალიან დაბალ სიხშირულ დიაპაზონში და ენერგიული იონების – გეომაგნიტური პულსაციების დიაპაზონში;
12. ელექტრონების და იონების აჩქარებას ელექტრული ველით, რომელიც პარალელურია გეომაგნიტური ველის. ასეთი იონების ენერგია (პროტონების, ჰელიუმის იონის და ჟანგბადის იონის). აღწევს 10 კევ-ს;
13. კილოჰერცულ და დეკამეტრულ დიაპაზონში რადიოგამოსხივების გენერაციას. ამასთან, ამ გამოსხივების ინტენსიობა ძალიან დიდია (თითქმის იუპიტერის ტოლი).

რა თქმა უნდა აქ ჩამოთვლილი ყველა ეფექტი არ არის ბოლომდე შესწავლილი. ერთ-ერთ ძირითად პრობლემას წარმოადგენს მზის ქარიდან გეომაგნიტურ ველზე ენერგიის გადაცემის მექანიზმის ახსნა. ზოგიერთი მკვლევარის აზრით ამ ენერგიის გადაცემა ხორციელდება საპლანეტათშორისო მაგნიტურ ველსა და გეომაგნიტურ ველს

შორის კავშირით. მეცნიერების მეორე ჯგუფი კი თვლის, რომ ენერგია, მომენტი და მასა შეიძლება გადაეცეს მაგნიტოპლაზმის გასწვრივ ელექტრული ველის ურთიერთქმედების გამო ანუ მაგნიტოსფეროს სასაზღვრო ფენაში ტურბულენტური მოძრაობის შედეგად. ამასთან, საპლანეტათმორსო მაგნიტური ველის გეომაგნიტურ ველთან კავშირის შესასწავლად კარგ მეთოდს (ხერხს) წარმოადგენს გეომაგნიტური პულსაციები, რომელთა წარმოშობაც დაკავშირებულია დაბალსიხშირული რხევის გენერაციასთან მზის ქარის პროტონების ნაკადის მიერ. ამ რხევების შესწავლა საშუალებას მოგვცემს გავიგოთ მზის ქარის მიერ დედამიწის მაგნიტოსფეროზე ენერგიის გადაცემის მექანიზმი.

მზის ქართან გეომაგნიტური ველის ურთიერთქმედების პროცესში ხდება მზის პლაზმის ჩაჭერა. ამასთან ამ დროს მისი ნაწილი შეიძლება გამოტყორცნილი იქნას კოსმოსურ სივრცეში. მზის ფეთქების პროცესთან მჭიდროდ არის დაკავშირებული გეომაგნიტური ქარიშხალი. მზე წარმოადგენს აგრეთვე კოსმოსური სხივების ინტენსიური გამოსხივების წყაროს. ამ გამოსხივების და მიმართულების დაკვირვება როგორც საპლანეტათმორსო სივრცეში, ასევე დედამიწის მაგნიტოსფეროში, გვაძლევს ინფორმაციას საპლანეტათმორსო მაგნიტური ველის თვისებების და გეომაგნიტურ ველთან მისი კავშირის შესახებ.

3.2. მზის ქართან დაკავშირებული გეომაგნიტურ შემფოთებების

ზოგადი სურათი

როგორც უკვე ავღნიშნეთ, საპლანეტათმორსო მაგნიტურ ველს აქვს სექტორული სტრუქტურა. დედამიწა მზის სექტორებს გადაკვეთს საშუალოდ ყოველ ერთ კვირაში. სექტორებს შორის საზღვარი თხელია (დენითი ფენა) და დედამიწა მას გადის რამდენიმე წუთში. დედამიწის გადასვლა ერთი სექტორიდან მეორეში აისახება მაგნიტოსფეროს კონფიგურაციაზე, რადგანაც ეს უკანასკნელი ხვდება ერთი პოლარობის ველიდან მეორე პოლარობის ველში. ასეთი გადასვლები ფიქსირდება

როგორც დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრზე, ასევე დედამიწის ზედაპირზე სუბქარიშხლების სახით. სუბქარიშხლების დროს ხდება საპლანეტათშორსო და დედამიწის მაგნიტური ველის ძალწირების გადაერთება მაგნიტოსფეროს დღის (შუბლურ) ნაწილში და მასში მზის ქარის ნაწილაკების შეღწევა.

მზის ფეთქებიდან 40-50 საათის შემდეგ საპლანეტათშორისო დარტყმითი ტალღა აღწევს დედამიწის ორბიტამდე. რადგანაც ასეთი ტალღა არეკლავს, გააბნევს და ნაწილობრივ თან წარიტაცებს მცირე ენერგიის კოსმოსურ სხივებს, მისი გავლისას დედამიწის მახლობლად ან საპლანეტათშორისო კოსმოსური აპარატის მახლობლად დაიმზირება კოსმოსური სხივების ნაკადის ინტენსივობის სწრაფი დაცემა დაახლოებით 10-50%-ით. ეს მოვლენა დედამიწაზე დაკვირვებებისას პირველად შენიშნა 1937 წელს ამერიკელმა ფიზიკოსმა ს.ფორბუშმა, ამიტომ მას უწოდებენ ფორბუშის ეფექტს.

როდესაც საპლანეტათშორისო დარტყმითი ტალღა აღწევს დედამიწამდე, მაგნიტოსფერო რამდენიმე წუთში "იძირება" მზის ქარში, რომლის სიჩქარე, სიმკვრივე და ტემპერატურა მეტია. ეს იწვევს მაგნიტოსფეროს სწრაფ შეკუმშვას. ასეთი შეკუმშვა დედამიწაზე მაგნიტომეტრებით რეგისტრირდება როგორც უცაბედი არა ხანგრძლივი გაზრდა დედამიწის მაგნიტური ველის ჰორიზონტალური კომპონენტის (ათობით გამათი) და წარმოადგენს მაგნიტური ქარიშხლის დასაწყისს. ამ დროს შემფოთებული ხდება იონოსფეროც, რადგანაც რადიაციული სარტყლის ყველაზე ენერგიული ნაწილაკები აღწევენ დედამიწის ატმოსფერომდე (~100 კმ სიმაღლეებამდე) ზრდიან პოლარულ იონოსფეროში იონიზაციას, რის გამოც ამ რაიონებში ხდება რადიოტალღების მკვეთრი ჩახშობა, ხოლო პოლარული ნათების ოვალები ეშვება შედარებით დაბალ განედებამდე.

ამგვარად, მაგნიტური ქარიშხლის საწყის ფაზაში დაიმზირება დედამიწის მაგნიტური ველის ძლიერი არარეგულარული ვარიაციები და მისი მკვეთრი მომატება. ამ დროს მაგნიტოსფერო განიცდის მზის ქარის ველის დამაბულობის და პლაზმის სიმკვრივის დიდი ფლუქტუაციების ზემოქმედებას, ასევე ხდება მაგნიტოსფეროს პლაზმური ფენის შეკუმშვა და ნეიტრალურ ფენაში ხდება მაგნიტური ველის გადაერთება (ანჰიგილაცია), რასაც ჩვეულებრივ პირობებში ხელს უშლის პლაზმური ფენის ცხელი გაზის წნევა. წარმოიშობა დენითი ფენა და ხდება ნაწილაკების

(ელექტრონები და პროტონები) აჩქარება, რომლებიც ნაწილობრივ მოხდება მაგნიტოსფეროს უფრო შიგა მიდამოებში. ძალწირების გადაერთების დროს მაგნიტოსფეროს კუდის გარე ნაწილი გამოეყოფა შიგა ნაწილს.

მაგნიტური ქარიშხლის მთავარი ფაზის დროს, რომელიც იწყება 0,5-5 საათის შემდეგ მისი დაწყებიდან (საწყისი ფაზის შემდეგ) მაგნიტური ველის ჰორიზონტალური მდგენელი მცირდება დაახლოებით 50%-ით რამდენიმე საათიდან 2-3 დღემდე. ამ დროს შორდება მაგნიტოსფეროს კუდის შორეული ნაწილი და ხდება მაგნიტოსფეროს ზომების შეცვლა მზის პლამზის დაწნევით. ძალწირების გადაერთების შედეგად მაგნიტოსფეროში აღწევენ ახალი ნაწილაკები, ხოლო მანამდე მასში არსებული ნაწილაკები აჩქარდებიან დენითი ფენით 10-100კევ. ენერგიებამდე. დედამიწიდან 3-5R მანძილზე ფორმირდება წრიული დენი.

ეს წრიული დენი არსებითად წარმოადგენს დედამიწის რადიაციული სარტყლის გარე ნაწილების გაძლიერებას. დედამიწის მახლობლად მყოფ მიდამოებში იგი მიედინება დასავლეთი მიმართულებით და ასუსტებს გეომაგნიტურ ველს. მაგნიტური ველის შემფოთება ისეთია, რომ ამ დროს რადიაციული სარტყლის ქვედა (ნაწილი) საზღვრი უახლოვდება დედამიწას. ამის შედეგად რადიაციული სარტყელი ჰკარგავს ბევრ ნაწილაკს ატმოსფეროს ზედა ფენებში მათი დამუხრუჭების გამო. ნაწილაკების დაკარგვა ძირითადად ხდება ბრაზილიის მაგნიტური ანომალიის რაიონში, სადაც რადიაციული სარტყელი იწვევს ყველაზე დაბლა. ამასთან ერთად პოლარული ნათების ოვალები წაინაცვლებენ უფრო დაბალი განედებისაკენ. თანდათან როგორც პლაზმური არამდგრადობების, ასევე ნეიტრალურ წყალბადზე გადამუხტვის შედეგად. წრიული დენითი ფენა იშლება და ველი უახლოვდება თავდაპირველ მდგომარეობას, ჩვეულებრივ დგება საწყისთან შედარებით დაბალ დონეზე.

ქარიშხლის მთვარ ფაზაში წრიული დენის ნაწილაკები აჩქარდება მაგნიტოსფეროს კუდის გარდაქმნის ხარჯზე ძალწირების გადაერთების დროს საპლანეტათშორისო ველთან. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, მზის ფეთქება დედამიწის მაგნიტოსფეროში ინიცირებს პროცესებს, რომელიც ხარისხობრივად ჩამოგავს იმ პროცესებს, რაც ვითარდება თვითონ მის ფეთქების დროს – მაგნიტური ველის დისიპაცია და მისი დახარჯვა ნაწილაკების აჩქარებაზე. ამასთან, მაგნიტური ველის ენერგიის გამოყოფა

დედამიწის მაგნიტოსფეროში 8-10 რიგით ნაკლებია, ვიდრე მზეზე და შეადგენს 10^4 -- 10^{16} ჯ. (მზეზე იგი ტოლია 10^{21} -- 10^{23} ჯოჯოხის). ამ პროცესების მსგავსება აისახება კიდევ იმაში, რომ ისევე როგორც მზეზე ფეთქების დროს ხდება ქრომოსფეროს "დაწვა" აჩქარებული ნაწილაკებით, ასევე მაგნიტური ქარიშხლის დროს ხდება ნაწილაკების ჭარბი ამოყრა იონოსფეროში (მისი გახურება) და მძლავრი პოლარული ნათების წარმოშობა.

აქვე აღსანიშნავია, რომ საპლანეტათშორისო მაგნიტური ველიდან დედამიწის მაგნიტურ ველზე ენერჯის გადაცემის პირობები დამოკიდებულია მზის და დედამიწის მაგნიტური ველის ფარდობით ორიენტაციაზე. დედამიწის ორბიტის სიბრტყისადმი საპლანეტათშორისო მაგნიტური ველის განივ მდგენელს სხვადასხვა 11-წლიან ციკლში გააჩნია დედამიწის დიპოლის მიმართულებისადმი სხვადასხვა (ორიენტაცია) მიმართულება. ხან დედამიწის დიპოლის მიმართულების, ხან მისი საპირისპირო. მათი პარალელური ორიენტაციის დროს ადვილდება საპლანეტათშორისო მაგნიტური ველის გადაერთების პირობები დედამიწის მაგნიტური ველის გარე ნაწილებთან (ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ მაგნიტოსფეროს შუბლურ ნაწილში ამ შემთხვევაში ძალწირები ორიენტირებულია საპლანეტათშორისო მაგნიტური ველის საპირისპიროდ), იმასთან შედარებით, რასაც ადგილი აქვს ანტიპარალელური ორიენტაციის დროს. ეს კი იწვევს მაგნიტოსფეროს პარამეტრების უფრო მძლავრ ფლუქტუაციებს ერთი 11-წლიანი ციკლის დროს მეორესთან შედარებით, რაც ექსპერიმენტებითაც დასტურდება.

3.3. ახლო კოსმოსში მიმდინარე პროცესების კონტროლი

საშუალო განედებზე გეომაგნიტური პულსაციების რეგისტრაციის

მიხედვით

გეომაგნიტური ველის სტრუქტურის და მისი მოკლევადიანი რხევების შესწავლა დიდი ხანია იქცევა მკვლევარების ყურადღებას. ამასთან, ამ საკითხისადმი ინტერესი განსაკუთრებით გაიზარდა საპლანეტათშორისო მატერიის გეომაგნიტური

მოვლენების განვითარებაზე. შესაძლო ზემოქმედების მიმნიშნებელი ფაქტების დადგენის შემდეგ [76]. ამასთან დაკავშირებით, ბუნებრივია გაჩნდა აუცილებლობა გეომაგნიტური ველის ცვლადი ნაწილის ბუნების არსებული წარმოდგენების დაზუსტების შესახებ. ამ საკითხის შესწავლისათვის აუცილებელია მოკლე პერიოდული რხევების გენერირებისა და გავრცელების ზოგიერთი თავისებურებების შესწავლა გეომაგნიტური ქარიშხლის ფაზების მიხედვით. ამისათვის კი მეტ-ნაკლებად საკმარისია ერთი დამზერის პუნქტის მასალების არსებობა [77].

თანამედროვე წარმოდგენების თანახმად გეომაგნიტური ქარიშხალი, ასევე როგორც მოკლე პერიოდიანი გეომაგნიტური რხევები არის ჰელიოკორპუსკულარული ნაკადის, გეომაგნიტური ველის და ატმოსფეროს გარე მატერიის ურთიერთქმედების შედეგი. ეს კი საშუალებას იძლევა გავაკეთოთ ზოგიერთი დასკვნა მოკლე პერიოდული რხევების (გეომაგნიტური პულსაციების) ბუნების შესახებ, რომელიც შეიძლება გახდეს შემდგომი საფუძველი ამ რხევების წარმოქმნის შესაძლო თეორიული მექანიზმის გაგებისათვის, ასევე ჩნდება შესაძლებლობა მათი გენერაციის და გავრცელების მიდამოების შესწავლისა და კონტროლისათვის, რასაც დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობაც აქვს.

ჩატარებული დაკვირვებებით დადგენილი იქნა, რომ P_c ტიპის პულსაციებს აქვთ საკმაოდ ფართო მაქსიმუმი 8,00--16,00LT შუალედში. მაქსიმუმის ამ ფართო ზოლში თითქმის ყველა წლის მონაცემების მიხედვით გამოირჩევა 14.00LT, რომელიც ხასიათდება P_c რხევათა რაოდენობის ყველაზე მეტი მნიშვნელობებით. P_c -ს მიღებული დღე-ღამური სვლის სურათი ძირითადად ეთანადება სხვა ავტორების მონაცემებს, რომელთა მიხედვით P_c -ს მაქსიმუმი მოდის დღის საათებში, სახელდობრ, შუადღის მახლობლობაში, ხოლო მინიმუმი შუადამისას [11]. გარდა ამისა, შემჩნეული იქნა, რომ ამ სახის პულსაციების წარმოშობის სიხშირე და მათი ამპლიტუდა იცვლება ჰელიოგეოფიზიკური სიტუაციის ცვლილების მიხედვით. ამ პულსაციების საშუალო ამპლიტუდა (ნორმალური გეოფიზიკური პირობების დრს) პულსაციის ტიპის მიხედვით განსხვავებულია და ძვეს შუალედში (0,5-2)γ.

ირეგულარული პულსაციებიდან (P_1) ძირითადად რეგისტრირებოდა ხოლმე P_2 სახის გეომაგნიტური პულსაციები. მათი წარმოშობა ძირითადად ხდებოდა ხოლმე

ლამის საათებში. ამ პულსაციების დღე-ღამური სვლის სურათის მიხედვით შემჩნეული იქნა, რომ მათი წარმოშობა ძირითადად განპირობებულია ახლო კოსმოსში (კერძოდ, მაგნიტოსფეროში) მიმდინარე პროცესებით და მათი ამპლიტუდა კორელირებს მაგნიტოსფეროში მიმდინარე პროცესებთან [77,79].

მოკლედ შევხვით ახლო კოსმოსში მიმდინარე პროცესების კონტროლის შესაძლებლობას გეომაგნიტური პულსაციების რეგისტრაციის მიხედვით. როგორც ცნობილია [74], P_1 სახის პულსაციები აღიგზნებენ გარე რადიაციული სარტყლების ან წრიული დენის მაღალენერგიული პროტონების ციკლოტრონული არამდგრადობის შედეგად. იგი ძირითადად აღიგზნება მაგნიტური ქარიშხლის საწყისი ანუ აღდგენითი ფაზის დროს და წარმოადგენს პროტონულ DR დენში არამდგრადობის განვითარების შედეგს. მათი გენერაცია ხდება პლაზმოპაუზის მახლობლად. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ P_1 -ის სპექტრს მოაქვს ინფორმაცია მაგნიტოსფერული პლაზმის მდგრადობის შესახებ მათი გენერაციის მიდამოდან. გარდა ამისა, P_1 -ის აღგზნება ხშირად დაიმზირება დაახლოებით ერთი საათით ადრე ქარიშხლის უცაბედ (SC) დასაწყისამდე. აქვე აღვნიშნოთ აგრეთვე, რომ P_1 -ის გენერაციის მიდამოს ადგილდმლებარეობა გარკვეული თვალსაზრისით არის დაკავშირებული პლაზმოპაუზის მდგომარეობასთან. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ DR-დენების ინტენსიობის გაზრდის მიხედვით იზრდება P_1 პულსაციის პერიოდიც [74;76].

გარდა ამისა, დედამიწაზე ჩატარებული დაკვირვებებით დადგენილია, რომ მაგნიტოსფეროს ეკვატორულ მიდამოში პლაზმოპაუზის კონფიგურაციას აქვს ასიმეტრიული ფორმა. ამასთან, პლაზმოპაუზის მდებარეობა ძლიერ დამოკიდებულია მაგნიტურ აქტიობაზე. კერძოდ, K_p ინდექსის გაზრდის დროს პლაზმოპაუზა უახლოვდება დედამიწას. ვარაუდობენ, რომ პლაზმოპაუზამდე მანძილი გამოისახება ასე:

$$L_{pp}=5,5-0,5K_p \quad (3-1)$$

სადაც, K_p - ინდექსის საშუალო მნიშვნელობაა წინა დღეებში.

P_2 ტიპის გეომაგნიტური პულსაციები არ დაიმზირება ხშირად საშუალო განედებზე, მაგრამ მისი დაფიქსირება ამ მიდამოში შესაძლებელია გეომაგნიტური ქარიშხლის საწყის ფაზაში [74]. გარდა ამისა, ნაშრომში [75] ნაჩვენებია იქნა, რომ

საშუალო განედებზე P_2 პულსაციები არ ქმნიან გეომაგნიტური პულსაციების ერთგვაროვან სახეს, არამედ არის სულ მცირე ორი სხვადასხვა სახის, რომელთაგან ერთ-ერთი, ალბათ, განპირობებულია იონების განაწილების არამდგრადობით წრიულ დენში, ხოლო მეორე $-H^+$ იონების განაწილების არამდგრადობით მაგნიტოსფეროს ფრონტის წინ.

P_3 სახის გეომაგნიტური პულსაციები აღიზნებიან მზის ქარში, დედამიწის მახლობელი დარტყმითი ტალღის ფრონტის წინ [81]. P_3 სახის პულსაციების მიმართ დიდი ინტერესი განპირობებულია მათი დიდი გავრცელებადობის გამო. გარდა ამისა, იგი ფიქსირდება პრაქტიკულად უწყვეტად მზისკენ მიმართულ დედამიწის ზედაპირზე. გარკვეული თვალსაზრისით ისინი წარმოადგენენ გეომაგნიტური პულსაციების ძირითად სახეს. დადგენილი იქნა, რომ ეს ტალღები აღიზნებიან არეკლილი პროტონების ნაკადის ციკლოტრონული არამდგრადობის შედეგად. ამასთან, დადგენილია, რომ იონოსფეროში შედარებით უფრო ძლიერად ჩაიხშობა P_3 და P_4 სახის გეომაგნიტური პულსაციები.

როგორც ცნობილია [80;81], P_2 სახის გეომაგნიტური პულსაციები წარმოიშობა სუბქარიშხლის ფეთქებადი ფაზის დროს. უფრო ზუსტად, რომ ვთქვათ, P_2 -ის მკვეთრი ნაფეთქი ერთგვარი სიგნალია ავრორალური პროცესების აქტივიზაციის ანუ ქარიშხლის ფეთქებადი ფაზის დასაწყისის შესახებ. უფრო მეტიც P_2 სახის გეომაგნიტური პულსაციები აღიზნება მაგნიტური ველის ძალური მილის მიერ, რომელშიც ხდება ელექტრონების ამოგლეჯა. ავრორალურ განედებზე სიგნალი შეიცავს მრავალ სიხშირეებს, მაგრამ ძლიერ ლოკალურია. იგი მოძრაობს პოლარულ ნათებებთან ერთად. საშუალო განედებზე სიგნალი შედარებით ვიწროვდება, მისი ტალღური ფორმა ხდება უფრო მკაფიო. მათი ფაზური სიჩქარე არის 10-20 კმ/წმ-ის ტოლი.

გარდა ამისა, ცნობილია, რომ მაგნიტური ქარიშხლის დროს ($K_p \sim 4$) მოსალოდნელია პლაზმოსფეროს შიგნით დამატებითი იონიზაციური დანაკარგები, რომელიც განპირობებულია მაგნიტოსფერული წარმოშობის ელექტრული ველების და დენების იქ შეღწევით [81]. D_{fit} - ინდექსი არის სწორედ ამ დენების დამახასიათებელი. კერძოდ, D_{fit} - ინდექსი ახასიათებს მაგნიტოსფერულ წრიულ დენს, აგრეთვე დენებს მაგნიტოპაუზაში. მეორეს მხრივ, როგორც [82] ნაშრომშია ნაჩვენები, წრიული დენის

გაზრდის სიჩქარე ფუნქციონალურადაა დაკავშირებული მზის ქარის სიჩქარეზე და საერთო აქტიურობის წინა პერიოდთან. მზის ქარის სიჩქარის ინდიკატორად კი შეიძლება გამოყენებული იქნას P₃ პულსაციის ამპლიტუდა. გარდა ამისა, ცნობილია, რომ P₃ სახის პულსაციის სიხშირეს და საპლანეტათშორისო მაგნიტური ველის დამაბულობას შორის ადგილი აქვს გამოსახულებას [83].

$$f=gB \quad (3-2)$$

სადაც, f - რხევის სიხშირეა, B - საპლანეტათშორისო მაგნიტური ველის სიდიდე (გზნტლ/მლჰც). ასე, რომ ამ სახის პულსაციები საშუალებას იძლევა გარკვეული ინფორმაცია მივიღოთ საპლანეტათშორისო მაგნიტური ველის სიდიდის შესახებაც.

ამრიგად, როგორც ზემოთ მოყვანილი ფაქტებიდან ჩანს, დედამიწის ზედაპირზე მიღებული მაგნიტოგრამების საშუალებით შესაძლებელი ხდება შესწავლული და გაანალიზებული იქნას დედამიწის მახლობელ კოსმოსურ სივრცეში მიმდინარე ფიზიკური პროცესები. უფრო მეტიც, გეომაგნიტური პულსაციების ზოგიერთი კანონზომიერებების გაანალიზებით შესაძლებელი ხდება ახლო კოსმოსში მიმდინარე სხვადასხვა პროცესების კონტროლი. ამასთან, ზოგიერთ შემთხვევაში (განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც გვექნება რამდენიმე პუნქტში ჩაწერილი მონაცემები) შეგვიძლია დედამიწის მახლობელ კოსმოსურ სივრცეში მიმდინარე ზოგიერთი პროცესების წინასწარმეტყველებაც კი.

3.4. მაგნიტური ქარიშხალი, როგორც მიწისძვრის ინიცრების ერთ-ერთი მექანიზმი და მისი კონტროლის მეთოდები

როგორც ცნობილია, მიწისძვრის ძირითადი გამომწვევი მიზეზია დედამიწის ლითოსფეროში მიმდინარე პროცესები. კერძოდ, ფილების გადაადგილება ერთმანეთის მიმართ. ამასთან, დადგენილია, რომ ძლიერი მიწისძვრები ძირითადად ხდება ორი ან რამდენიმე ფილის ურთერთგადაკვეთის მიდამოში. გარდა ამისა, მრავალწლიანი კვლევების შედეგად დადგენილი იქნა, რომ მიწისძვრის აქტის წარმართვისათვის

აუცილებელია ე.წ. "გამშვები მექანიზმის" არსებობა. ეს შეიძლება განაპირობოს: მომატებულმა მაგნიტურმა ქარიშხალმა და გეომაგნიტურმა ანუ საპლანეტათშორისო მაგნიტურმა ველმა, მზე-დედამიწა-მთავარის ურთიერთ-განლაგებამ, სხვა პლანეტების თუ ციური სხეულების განლაგებამ დედამიწის მიმართ. მომატებულმა მზის აქტიურობამ და ა.შ.

როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ, გეომაგნიტური ქარიშხალი, ისევე როგორც მოკლეპერიოდიანი გეომაგნიტური რხევები, არის ჰელიოკორპუსკულარული ნაკადის, გეომაგნიტური ველის და ატმოსფეროს გარე მატერიის ურთიერთქმედების შედეგი. ამასთან, მსოფლიო მაგნიტური ქარიშხალი წარმადგენს გეომაგნიტური შემფოთებების ერთდროული და დამოუკიდებელი ტიპების ერთობლიობას, რომლებსაც გააჩნიათ წარმოშობის სხვადასხვა მექანიზმები. კერძოდ, სრული შემფოთება D შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგნაირად:

$$D=P+L+S+D_{st} \quad (3-3)$$

სადაც, P - პერნამენტული, L-ლოკალური, S- სინფაზური შემფოთებებია და D_{st} - შტორმ-ტაიმ-ვარიაციაა. შესაბამისი იონოსფერული სისტემა ამ დროს განიხილება როგორც სხვადასხვა გვარის დენების სისტემის ზედდება, რომელიც პასუხისმგებელია აღნიშნულ შემფოთებებზე.

მეორეს მხრივ, დადგენილია, რომ ზოგიერთ ძლიერ მიწისძვრას წინ უსწრებდა ან თან ახლდა მძლავრი მაგნიტური ქარიშხალი. ასეთი რამ შეიმჩნეოდა 1991 წლის 15 ივნისს ჯავაში მომხდარი მძლავრი მიწისძვრის წინა დღესაც. გარდა ამისა, ნაშრომში [82;84] დიდ სტატისტიკურ მასალაზე დაყრდნობით დადგენილი იქნა, რომ ძლიერი მიწისძვრების წარმოშობა კარგად კორრელირებს მზეზე მიმდინარე აქტიურ პროცესებთან და მათ ადგილმდებარეობასთან. ამ მონაცემებზე დაყრდნობით ნავარაუდები იქნა, რომ ამაში არსებით როლს თამაშობს მზის კორპუსკულარული გამოსხივება და მზის ქარი. ძლიერი მიწისძვრები, როგორც წესი, წარმოიშობა დედამიწაზე შემფოთებული მზის ქარის მოსვლის დროს (პროტონების კონცენტრაციის გაზრდის დროს, საპლანეტათშორისო მაგნიტური ველის სექტორული სტრუქტურის ნიშნის ცვლილების დროს).

ამრიგად, შეიძლება ვთქვათ, რომ ძლიერი მიწისძვრების წარმოქმნის დრო დაკავშირებულია ისეთ პროცესებთან მზეზე, რომლებიც იწვევენ მზის ქარის პარამეტრების ცვლილებას ანუ საპლანეტათშორისო სივრცის შემფოთებას დედამიწის ორბიტასთან, მიწისძვრის წარმოშობის დრო ემთხვევა დედამიწაზე შემფოთებული მზის ქარის მოსვლას, ე.ი. მზის აქტივობა წარმოჩინდება როგორც უშუალო მიზეზი, რომელიც ზეგავლენას ახდენს დედამიწის სეისმურობაზე [85].

თანახმად ნაშრომ [86]-ში გამოთქმული მოსაზრებისა, რომელიც დაფუძნებულია მსოფლიოში მომხდარი ძლიერი მიწისძვრების ანალიზზე, ტექტონიკურმა პროცესებმა შეიძლება მხოლოდ მოამზადოს მიწისძვრა. ამასთან, ერთნაირ დროში მათ შეუძლიათ მოამზადონ მით უფრო ძლიერი მიწისძვრა, რაც უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს დეფორმაცია და დიდია დედამიწის ქერქის წრფივი ზომები მოცემულ რეგიონში. გარდა ამისა, გასათვალისწინებელია მიკროგეოლოგიური პირობები და მისი შესაძლო გადაადგილებები.

როგორც ჩატარებული ექსპერიმენტების ანალიზმა აჩვენა [62] თუ ფილების ზომა არის 50--80კმ, მაშინ ასეთი ზომის ფილებს შეუძლიათ დააგროვონ პოტენციური ენერგია, რომლის გამოთავისუფლების დროს მოხდება მიწისძვრა მაგნიტუდით $M \leq 6,5$ ამასთან, კავშირი კერის განრთხმას (l) და მიწისძვრის მაგნიტუდას (M) შორის გამოისახება ცნობილი კავშირით:

$$l_{ge}(კმ) = 0,5M - 1,8. \quad (3-4)$$

მეორეს მხრივ, ნაშრომში [87] ნაჩვენებია, რომ ელექტრომექანიკური ეფექტები დაკავშირებულია გეომაგნიტური ველის ლოკალურ შიგა წყაროსთან, რომელიც იმყოფება დედამიწის ბირთვის საზღვარზე იწვევს დედამიწის ბრუნვის სიჩქარის ვარიაციებს. ნაშრომში [69] კი ნავარაუდებია, რომ ასეთი სახის ეფექტი შესაძლებელია გარე ცვლადი გეომაგნიტური ველისთვისაც (გეომაგნიტური პულსაციებისათვის), რომელიც აღიზნება დედამიწის მაგნიტოსფეროში და იონოსფეროში გავლისა და გარკვეული ტრანსფორმაციის შემდეგ რეგისტრირდება დედამიწის ზედაპირზე ხელსაწყო მაგნიტომეტრის საშუალებით. ცნობილია ასევე, რომ არსებობს გარკვეული კავშირი სეისმურ ციკლსა და მზის აქტივობას შორის [85]. თუ მონაცემები ძლიერი მიწისძვრების კავშირის შესახებ მზის მაქსიმუმთან, მაშასადამე, სპორადულ

გეომაგნიტურ აქტიურობასთან მართებულია, მაშინ ამ მოვლენებს შორის ურთიერთკავშირი შეიძლება აისახოს გეოლოგიურ გარემოში ზესუსტი მექანიკური წანაცვლების არსებობაში, რომელიც კორელირებული იქნება გეომაგნიტურ პულსაციებთან. მართლაც, ნაშრომში [88] ექსპერიმენტულად იქნა აღმოჩენილი ასეთი ეფექტი, რომელიც დაკავშირებული იქნა დედამიწის მახლობელ კოსმოსურ სივრცეში მიმდინარე ფიზიკურ პროცესებთან (კერძოდ, მზის ქართან).

მეორეს მხრივ, მზის აქტიურობის ზეგავლენა სეისმურ მოვლენებზე ხორციელდება ატმოსფერული პროცესებით, ამიტომ გასარკვევეი ხდება მზის ქარის ენერჯის გადაცემის მექანიზმი დედამიწის მაგნიტოსფეროსა და ატმოსფეროზე.

ამრიგად, ჩატარებული ექსპერიმენტული და თეორიული გამოკვლევები საშუალებას იძლევა გავაკეთოთ დასკვნა, რომ მაგნიტური ქარიშხალი მთელ რიგ შემთხვევებში შეიძლება მოგვევლინოს მიწისძვრის ინიცირების ერთ-ერთ მექანიზმად. ამასთან, ნაშრომში [88;89]-ში გადმოცემული მეთოდის საშუალებით შესაძლებელი ხდება ამ პროცესების კონტროლი. თუმცა, აღნიშნული საკითხი მოითხოვს შესწავლას, როგორც თეორიული, ასევე ექსპერიმენტული კუთხით. მიუხედავად ამისა, მზის აქტიურობის და მაგნიტური ქარიშხლების ზეგავლენა სეისმურ აქტიურობაზე შეიძლება ჩაითვალოს დადგენილად.

3.5. გეომაგნიტური ველის შემფოთების ადამიანის ჯანმრთელობაზე შესაძლო გავლენის მოხდენის შესახებ

როგორც ცნობილია, მთელი ბიოსფერო და მათ შორის ადამიანიც განიცდის ფონური მაიონიზირებელი რადიაციული გამოსხივების ზეგავლენას, რომლის შემადგენელ ნაწილსაც წარმოადგენს გალაქტიკური და მზის კოსმოსური სხივები და დედამიწის ქერქში არსებული რადიაქტიული ნივთიერებების გამოსხივება. ამასთან, მზე-დედამიწის კავშირის ფიზიკიდან ყველაზე უფრო საინტერესოა გეომაგნიტური ველის შემფოთებათა ზეგავლენა ბიოსფეროზე, კერძოდ, კი ადამიანზე. ამ შესაძლო

კავშირების გამოვლენაზე ბოლო წლებში ინტენსიურად მუშაობენ არ მარტო მედიკოსები, არამედ ბიოლოგები, ბიოფიზიკოსები და ფიზიკოსები. ასეთი თანამშრომლობის შედეგად შეიძლება ჩაითვალოს მეცნიერების ახალი დარგის ბიომეგნიტოლოგიის ჩამოყალიბება.

ქვემოთ განხილულია გეომეგნიტური ველის შემფოთებების (მაგნიტური ქარიშხლის) ადამიანის ჯანმრთელობაზე ზეგავლენის ორი შესაძლო მექანიზმი [2,16]. 1. ამ გამოსხივების უშუალო მოქმედება ადამიანის სხვადასხვა ორგანოებზე; 2. ამ პერიოდში სხვადასხვა აირების კონცენტრაციის გაზრდის შედეგად გამოწვეული გავლენა ბიოსისტემებზე.

განვიხილოთ პირველი მექანიზმი. ჩატარებული გამოკვლევებით დადგენილი იქნა, რომ ადამიანზე ხელოვნური ველის მოკლე პერიოდიანი ზემოქმედებაც კი 0,01-5ჰც სიხშირით და $H=100\gamma$ დამაბულობით მკვეთრად ცვლის ელექტროენციოფოლოგრამის ხასიათს. სუსტი ცვლადი ველის ჩართვის შემდეგ ადამიანში იზრდება პულსის სიხშირე, უარესდება თვით შეგრძნება (ჩნდება სისუტე, თავის ტკივილი, შემფოთებული მდგმარეობა და ა.შ.) და ძლიერ იცვლება ტვინის ელექტრული აქტიობა. გარდა ამისა, ცნობილია, რომ გეომეგნიტური ველი თამაშობს დიდ როლს ცოცხალი ორგანიზმების ორიენტაციაში. (ეს ეხება როგორც ფრინველებს, ასევე ცხოველებს, თევზებს და მცენარეებს).

თეორიული გამოთვლების შედეგად მიღებული იქნა [91], რომ გეომეგნიტური ველის ენერჯის სიმკვრივე და სიმკვრივის ნაკადი შემფოთების დროს 2-5 რიგით აღემატება ადამიანის მგრძნობიარობის ზღვარს. გარდა ამისა, ჩატარებული გამოკვლევების მონაცემების სტატისტიკურმა დამუშავებამ საშუალება მოგვცა გაკეთებულიყო დასკვნა, რომ გულ-სისხლძარღვთა სისტემის დაავადებათა დინამიკაზე ზეგავლენას ახდენს გეომეგნიტური ველის სპონტანური მომატება, ამასთან, უფრო ინტენსიურ შემფოთებას იწვევს ძალიან დიდი და ხანგრძლივი ქარიშხლები [87,93].

ცნობილია, რომ გეომეგნიტური ველის ვარიაციები ხორციელდება დიაპაზონში 0,001-10 ჰც. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ 7-12 ჰც დიაპაზონი ეთანადება ტვინის ელექტრული აქტიობის ალფა-რიტმს, ხოლო 0,029-0,031 ჰც. კი თავის ტვინის პოტენციალის ზენელ რხევებს. ეს კი მიანიშნებს იმაზე, რომ რეალურია მათზე

გეომაგნიტური აქტივობის ზეგავლენის შესახებ არსებული მოსაზრებები. გარდა ამისა, აღმოჩენილი იქნა [93], რომ ჯანმრთელი ადამიანის სისხლის სისტემაში ხდება მთელი რიგი ცვლილებები, რომელიც განპირობებულია მზის აქტივობით. ალბათ, გეომაგნიტური ველი ამაშიც თამაშობს არსებით როლს. კერძოდ, დადგენილი იქნა, რომ არსებობს სინქრონულობა ადამიანის სისხლში ლეიკოციტების რაოდენობასა და გეომაგნიტური ველის ცვლილებას შორის. გარდა ამისა, გეომაგნიტური აქტივობის მკვეთრი ცვლილებების დროს ხშირად დიამზირება ერთროციტების და ჰემოგლობინის რაოდენობის შემცირება [92].

ნაშრომში [91] აღნიშნულია, რომ ბიოლოგიური ეფექტურობა მაგნიტური ქარიშხლების მოულოდნელი და თანდათანობითი დასაწყისით აღინიშნება ზოგიერთ შემთხვევაში ქარიშხლის შემდეგაც, განსაკუთრებით მე-3, მე-4 დღეს. გარდა ამისა, ცნობილია, რომ მოულოდნელი დასაწყისით ქარიშხლის გავლიდან მე-3, მე-4 დღეს აღინიშნება Pcl სახის მოკლე პერიოდული რხევების წარმოშობის მაქსიმალური რაოდენობა, 2--4 დღის შემდეგ კი P₃ სახის პულსაციების წარმოქმნის მაქსიმუმი, რომელთა ბიოლოგიური როლიც უკვე ნათელი ხდება. მაგნიტური ქარიშხლების შემდეგ უცაბედი დასაწყისით ამ დღეებში ინფარქტების რიცხვის გაზრდა ახლა უკვე სულ უფრო ცხადი ხდება, განსაკუთრებით, მაშინ, თუ გავითვალისწინებთ გეომაგნიტური ველის მოკლე პერიოდული რხევების ელექტრული ველის ვერტიკალური მდგენელის E_Z-ის მაღალ დონეს.

60-იან წლებში აღმოჩენილი იქნა ბიოლოგიური ობიექტების საკუთარი მაგნიტური ველი. ასეთი მაგნიტური ველები რეგისტრირებული იქნა გულის მუშაობის დროს (~10⁻⁵ ერსტედის რიგის), ბოჭკოში ნერვული იმპულსის გავლისას, ნერვის და თავის ტვინის ელექტრული აქტივობის დროს და სხვა. კერძოდ, ადამიანის ტვინის მაგნიტური ველი არის 10⁻⁸ ერსტედის რიგის, ხოლო ადამიანის სხეულში კი არსებობს (3-5)10⁻⁶ა. რიგის დენები. ეს დენი წარმოიქმნება სხეულის კანში და არა კუნთებში მიმდინარე პროცესების შედეგად [89]. (თუ ხელს არ შევკუმშავთ, მაშინ გალვანომეტრზე არავითარი ჩვენება არ გვექნება). თვლიან, რომ მათ წარმოშობს ტვინის იონური ელექტრული დენი.

გეომაგნიტური ქარიშხლის დროს იცვლება ადამიანის კანის ელექტრული პოტენციალის სიდიდე, ჩნდება ასიმეტრია კანში მათ განაწილებაში. კანის ელექტრული

პოტენციალის ცვლილებას შეიძლება გააჩნდეს დიდი ეფექტები, რადგანაც მის ზედაპირზე ზემოქმედების დროს გეომაგნიტური ველი გავლენას ახდენს კანის ფუნქციონირებაზე. ფიზიკური თვალსაზრისით ეს შესაძლებელია, რადგანაც მუდმივ დენსა და მაგნიტურ ველს შორის ასეთი ურთიერთქმედება არსებობს. ეს ე.წ. გალვანომაგნიტური ეფექტია. ამიტომ არაა გამორიცხული, რომ მაგნიტური ველი იმოქმედებს მუდმივ ელექტრულ დენზე და ამით ზემოქმედებას მოახდენს ცოცხალი ორგანიზმის ცენტრალური და პერიფერიული სისტემების რეგულაციაზე.

მაგნიტური ველის დაძაბულობის ცვლილებას ადამიანი უშუალოდ ვერ აღიქვამს გრძნობის ორგანოებით. ველის დაძაბულობის შეცვლას შევიგრძნობთ სხვადასხვა თანმხლები ეფექტის საშუალებით. ჩაატარეს ასეთი ცდა [93]: საცდელმა ობიექტებმა არ იცოდა, თუ რა მომენტში ხდებოდა ველის ჩართვა. 80%-მა უშეცდომოდ აღნიშნა ველის ჩართვის მომენტი, თანაც ახალგაზრდები უფრო მგრძნობიარენი აღმოჩნდნენ მაგნიტური ველის ზემოქმედების მიმართ, ვიდრე მოხუცები, მამაკაცები უფრო მწვავედ აღიქვამდნენ ველს, ვიდრე ქალები. იცვლებოდა ამ პირთა ენცეფოლოგრამის სურათი, მათი ქსოვილების ელექტრული გამტარებლობა და სხვა [93].

გეომაგნიტური ველის არასტაციონალური მდგენელი მართავს ადამიანის ორგანიზმში მიმდინარე ციკლურ პროცესებსაც, რომლებსაც ”ბიორითმებს” უწოდებენ. მეცნიერების მიერ დადგენილია ასზე მეტი სხვადასხვა ბიორითმი: დღეღამური 24 და 27 დღიანი და სხვა ციკლებით.

გეომაგნიტური ველის დაძაბულობის მკვეთრი ცვლილება მოქმედებს ადამიანის ფსიქიკაზეც. აშშ-ის მეცნიერების მიერ აღრიცხული იყო ნიუ-იორკის შტატის ფსიქიატრიულ საავადმყოფოში 1977-1984 წლებში შემოსულ ავადმყოფთა დინამიკა. პარალელურად იგი შედარებული იქნა გეოფიზიკური ობსერვატორიის მონაცემებთან. აღმოჩნდა, რომ შემოსულ ავადმყოფთა რაოდენობა, მათი ფსიქიკური ადგენილებლობა მკვეთრად იზრდება გეომაგნიტური ველის შეშფოთებების პერიოდში. იაპონელი მეცნიერების მიერ კი შემჩნეული იყო საგზაო-სატრანსპორტო შემთხვევათა რაოდენობის დამოკიდებულება გეომაგნიტური ველის სიდიდეზე.

ბიომაგნეტიზმის ერთ-ერთი სპეციალისტის პროფესორ ი.ხოლოდოვის აზრით [91], გარე ელექტრომაგნიტურმა (რხევებმა) ველებმა ორგანიზმში გავლისას შეიძლება

წარმოქმნას ინდუქციური დენები, რომელთა ზედღება ხდება "ბიოდენებზე" და გამოიწვევს ამ უკანასკნელის დამახინჯებას ეს მოსაზრება ცოცხალ ორგანიზმებზე ველების ზემოქმედების ერთგვარ ახსნას იძლევა.

არაა გამორიცხული, რომ გეომაგნიტური ველის ასეთი უნივერსალური ზემოქმედება ცოცხალ ორგანიზმზე დაკავშირებული იყოს წყლის მოლეკულასთან, რომელსაც ჭარბად შეიცავს ყველა ცოცხალი ორგანიზმი. მით უმეტეს, რომ იგი საკმაოდ მგრძობიარეა მაგნიტური და ელექტრული ველებისადმი და შეუძლია თავისი სტრუქტურის გარდაქმნა მათი ზემოქმედებისას. ამასთან, აღმოჩნდა, რომ ეს გარდაქმნები არ მოითხოვს დიდ ენერგეტიკულ დანახარჯებს.

ახალა განვიხილოთ მეორე მექანიზმის შესაძლებლობა. ცნობილია, რომ დღემდე დაუდგენელი მიზეზების გამო მაგნიტური ქარიშხლების დროს არსებითად იზრდება ($\approx 50\text{--}200\%$ -ით) დედამიწის ზედაპირზე სხვადასხვა აირების კონცენტრაცია. ამასთან, ცნობილია ამ აირების ზეგავლენა როგორც ადამიანზე და ცხოველებზე, ასევე მცენარეებზე. ამ აირებიდან ჩვენ გამოვყოფთ მხოლოდ ორს: რადონსა და ოზონს, რადგანაც მათი ცვლილებების შესახებ ყველაზე მეტი ინფორმაციაა დაგროვილი ჩვენს ინსტიტუტში. ამ აირების კონცენტრაციის გაზომვა გეომაგნიტური ველის ვარიაციებთან ერთად ხორციელდება 1991 წლიდან. ამასთან, უწყვეტი რეგისტრაცია ძირითადად ხდებოდა 1991-1993 წლებში.

ჩატარებული გაზომვების ექსპერიმენტული მასალის ანალიზმა აჩვენა, რომ აღნიშნულ პერიოდში მძლავრ მაგნიტურ ქარიშხლებს ($K_p \geq 5$, $H \geq 30\gamma\text{--}40\gamma$ ხანგრძლიობა $T \geq 3$ საათი) თან სდევს ხსენებული აირების კონცენტრაციის მკვეთრი ცვლილებები (იხ. ნახ. 2.2). ამასთან, ეს ცვლილებები განსაკუთრებით არსებითია რადიაქტიული ნივთიერების რადონის შემთხვევაში.

გეომაგნიტური ველის შემფოთებას და რადონის კონცენტრაციას შორის არსებობს შემდეგი სახის ემპირიული კავშირი [92]:

$$A = K(H/T)Q_t + A_0, \quad (3-5)$$

სადაც, A_0 - საწყისი კონცენტრაციაა, Q - მთის ქანის რეზონანსული მახასიათებელია (ვარგისიანობა) და მისი სიდიდე $10^3\text{--}10^4$, t გეომაგნიტური შემფოთების ამპლტუდაა, ხოლო T - დროის პერიოდია, K - კოეფიციენტი, რომელიც

დაკავშირებულია ქანში მაგნეტიტის და რადონის კონცენტრაციაზე. ამასთან, რადონის კონცენტრაცია გრანიტის და ბაზალტის მთის ქანებში რამდენიმე რიგით აღემატება მის კონცენტრაციას მიწისპირა ატმოსფეროში. აღნიშნულ ნაშრომში [91] ეს მოვლენა (ე.ი. რადონის კონცენტრაციის გაზრდა მაგნიტური ქარიშხლის დროს) ახსნილია ე.წ. მაგნიტოსტრიქციული ეფექტის საშუალებით, თუმცა, არსებობს სხვა თეორიული შესაძლებლობებიც, მაგრამ ჩვენ ამ საკითხზე არ შევჩერდებით, რადგანაც ჩვენთვის არსებითია ის ფაქტი რომ როგორც წარმოდგენილი გრაფიკებიდან ჩანს, რადონის კონცენტრაცია მართლაც იმატებს მაგნიტური ქარიშხლის დროს. ამასთან, დადგენილია, რომ ატმოსფეროში რადონის კონცენტრაციის მომატებას თან ახლავს მოსახლეობის 30%-ში ხუთვის, არითმიის, გულისძგერის, უძილობის, მშფოთვარე მდგომარეობის და სხვა არასასიამოვნო მოვლენები [92,93].

მეორეს მხრივ, ცნობილია, რომ რადონი კარგად იხსნება სისხლში და ლიმფაში, ამიტომ ძალიან სწრაფად ატმოსფეროში მისი კონცენტრაციის გაზრდიდან ადამიანის სხეულში მისი კონცენტრაცია აღწევს დაახლოებით ჰაერის კონცენტრაციის 50%-ს, ხოლო ზოგიერთ ორგანოში იგი შეიძლება დაგროვდეს უფრო დიდი რაოდენობით. ცხადია, ეს გამოიწვევს ჰიპოფიზარულ-ადრენალური სისტემის აღზუნებას. ეს კი გამოიწვევს ორგანიზმის მობილიზებას [93], თუკი ორგანიზმი არ არის ჯანსაღი, იგი საკმაოდ რთულად გადაიტანს ასეთ აღზუნებას.

რაც შეეხება ოზონს, მისი კონცენტრაციაც იზრდება მძლავრი ქარიშხლების დროს, თუმცა, აღსანიშნავია, რომ მიწისპირა ოზონის ზემოქმედება ცოცხალ ორგანიზმებში მისი კონცენტრაციის არსებითი გაზრდის დროს ჯერჯერობით არაა შესწავლილი. ამასთან, სხვადასხვა შემთხვევებში მისი ზემოქმედება ადამიანის ჯანმრთელობაზე, გაანალიზებულია ნაშრომში [94]. (თუმცა, მაგნიტური ქარიშხლების პერიოდი არც აქაა შესწავლილი), ამიტომ ჩვენ ამ საკითხს აღარ განვიხილავთ და ავღნიშნავთ მხოლოდ, რომ მისი როლი, ალბათ, არსებითი იქნება ასეთ შემფოთოებულ პერიოდშიც, რაც შემდგომ შესწავლას მოითხოვს.

ამგვარად, როგორც ზემოთ მოყვანილი ფაქტები გვიჩვენებს, აშკარაა, რომ გეომაგნიტური ველის შემფოთებები არსებით ზეგავლენას ახდენენ ბიოსფეროზე, კერძოდ, ადამიანზე. ამასთან, არსებობს ორი სახის ზემოქმედება: 1. უშუალო

ზემოქმედება ადამიანის ხვადასხვა ორგანოზე; 2. სხვადასხვა აირების (განსაკუთრებით რადონის) კონცენტრაციის გაზრდის ზეგავლენა ბიოსფეროზე [2]. ამასთან, ეს საკითხები არ შეიძლება ჩაითვალოს საბოლოოდ შესწავლილად და მოითხოვს შემდეგომ კვლევა-ძიებას, რასაც დიდი მნიშვნელობა ექნება ეკოლოგიური თვალსაზრისითაც.

მესამე თავის დასკვნა

ამრიგად, მოცემული სადისერტაციო ნაშრომის მესამე თავში ჩვენ შევეხეთ მზეზე მიმდინარე პროცესებით განპირობებულ გეომაგნიტური ველის ცვლილებებს. ეს საკითხი ერთ-ერთი ყველაზე აქტუალურია მზე-დედამიწის კავშირების საკითხებიდან. აქ ძირითადად განხილული იქნა ბოლო ათი წლის მანძილზე მიღებული ექსპერიმენტული მასალა. ძირითადი მიღებული შედეგები ასეთია:

1. დადგენილი იქნა, რომ P_c ტიპის პულსაციებს აქვთ საკმაოდ ფართო მაქსიმუმი 08.00-16.00LT შუალედში. ამასთან, P_c რხევათა რაოდენობის ყველაზე მეტი მნიშვნელობა (რაოდენობა) მოდის შუაღელზე: 14.00LT ხოლო მათი მინიმუმი მოდის შუაღამეზე. ამ სახის პულსაციების წარმოშობის სიხშირე და ამპლიტუდა იცვლება ჰელიოგეოფიზიკური სიტუაციის ცვლილებების მიხედვით.
2. ირეგულარული პულსაციებიდან P_i ძირითადად რეგისტრირდებოდა ხოლმე P_{i2} სახის გეომაგნიტური პულსაციები. მათი წარმოშობა ძირითადად ხდებოდა ხოლმე ღამის საათებში. ამასთან, მათი ამპლიტუდა კორელირებს მაგნიტოფეროში მიმდინარე პროცესებთან.
3. შესწავლილი და გაანალიზებული იქნა მძლავრი და ხანგრძლივი მაგნიტური ქარიშხლების ბიოსისტემებზე ზემოქმედების შესაძლებლობები, რის საფუძველზეც გაკეთდა დასკვნა, რომ არსებობს ორი სახის ზემომქედება: 1. უშუალო ზემოქმედება ადამიანის სხვადასხვა ორგანოზე; 2. სხვადასხვა სახის აირების კონცენტრაციის გაზრდის ზეგავლენა ბიოსისტემებზე.

4. ერთ-ერთი მძლავრი მაგნიტური ქარიშხლის მაგალითზე ნაჩვენები იქნა, რომ მძლავრი ქარიშხლის დროს მართლაც არსებითად იზრდება რადონის და ოზონის კონცენტრაცია მიწისპირა ფენებში. ამასთან, ეს საკითხები არ შეიძლება ჩითვალოს საბოლოოდ შესწავლილად და მოითხოვს შემდგომ შესწავლას.

4. მზის სისტემაში მიმდინარე პროცესებისას წარმოქმნილი შემფოთებების ასახვა გეომაგნიტური ველის ვარიაციებში

სადისერტაციო ნაშრომის მესამე თავში ჩვენ განვიხილეთ მზეზე მიმდინარე პროცესების ზეგავლენა მაგნიტოსფეროში და დედამიწის ზედაპირზე მიმდინარე პროცესებზე. ახლა შევეხებით მზის სისტემაში მიმდინარე პროცესებისას წარმოქმნილი შემფოთებების ასახვას გეომაგნიტური ველის ვარიაციებში. ამ მხრივ ძირითადად არჩეული იქნა 1994 წლის 16/17 ივნისს პლანეტა-გიგანტ იუპიტერთან შუმეიკერ-ლევინ კომეტის შეჯახებით გამოწვეული შემფოთებები, რომელიც დაფიქსირდა დედამიწაზეც. მართალია, ასეთი სახის მოვლენებით ძირითადად დაინტერესებულნი არიან ხოლმე ასტრონომები, მაგრამ მას შემდეგ, რაც მოვახდინეთ ამ შეჯახებასთან დაკავშირებული შემფოთების რეგისტრაცია, რომელიც მკაფიოდ აღიბეჭდა დედამიწის მაგნიტოსფეროში მიმდინარე პროცესებზე, ამ საკითხებით დავინტერესდით ჩვენ აბასთუმნის ასტროფიზიკური ობსერვატორიის თანამშრომლებთან ერთად. საკითხი კიდევ უფრო აქტუალური ხდება, თუ გავითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ ჯერ ერთი, ასეთი სახის მოვლენები არც თუ ხშირად ხდება ჩვენი მზის სისტემაში, მეორეც, მსგავსი ეფექტები შეიძლება გამოიწვიოს დედამიწის ატმოსფეროში დიდი ზომის (~10--15კმ-ის დიამეტრის) ციური სხეულების შემოჭრამ.

ამრიგად, დისერტაციის მეოთხე თავი დათმობილი აქვს პლანეტა იუპიტერთან შუმეიკერ-ლევინ კომეტის შეჯახებას. აქ შესწავლილია ამ საკითხის როგორც ექსპერიმენტული, ასევე ნაწლობრივ თეორიული მხარეც. თავის ბოლოში მოცემულია პლანეტა იუპიტერის ატმოსფეროს ძირითადი ფიზიკური მახასიათებლები, რომლებიც დადგენილი იქნა ბოლო 10 წლის განმავლობაში ჩატარებული გამოკვლევებით.

მამსადაამე, ამ თავში განხილული მასალა და მისი ანალიზი საშუალებას იძლევა გავაკეთოთ ზოგიერთი დასკვნა პლანეტა იუპიტერის გაზური ფენების (ატმოსფერო, იონოსფერო, მაგნიტოსფერო) შესახებ, ასევე ვიმსჯელოთ მისი მაგნიტოსფეროს აგებულების შესახებ. ამას კი დიდი მნიშვნელობა აქვს როგორც თეორიული, ასევე პრაქტიკული თვალსაზრისითაც. ამასთან, ეს საკითხი სრულებით არ მიგვაჩნია ამოწურულად და მოითხოვს შემდგომ კვლევა-ძიებასა და შესწავლას.

4.1. მზის სისტემის მოკლე დახასიათება

როგორც ცნობილია, მზის სისტემა ჩამოყალიბდა დაახლოებით 4,5 მილიარდი წლის წინათ. ამ სისტემის ცენტრალურ სხეულს წრმოადგენს მზე, რომლის გარშემოც მიმოიქცევა 9 პლანეტა და სამ ათეულზე მეტი ამ პლანეტების თანამგზავრი. გარდა ამისა, მზის სისტემაში ჩვენ გვხვდება რამდენიმე ასეული მცირე ზომის სხეულები (ე.წ. ასტეროიდები, მეტეორიდეები და კომეტები, ასევე მცირე ზომის პლანეტები).

მზის ირგვლივ გარემომქცევი პლანეტები მზიდან დაშორების რიგით შემდეგნაირად ლაგდებიან: მერკური, ვენერა, დედამიწა, მარსი, იუპიტერი, სატურნი, ურანი, ნეპტუნი, პლუტონი. უკანასკნელამდე მზიდან საშუალო მანძილი 40 ასტრონომიული ერთეულია (აე.). შეუიარაღებელი თვალით შეიმჩნევა პირველი 6 პლანეტა, რომლებიც უხსოვარი დროიდანაა ცნობილი. დანარჩენთა აღმოჩენა მოგვიანებით მოხდა: ურანისა 1781 წ. (ვ.ჰერშელი), ნეპტუნისა 1848 წ. ფრანტილევერიესა და ინგლისელი ადამისის თეორიული გამოთვლების საფუძველზე. პლუტონი 1930 წ. აღმოაჩინეს. იყო ცდები პლუტონზე შორი პლანეტის ძებნისა და მისი აღმოჩენის ცნობაც, მაგრამ იგი არ დადასტურდა.

პლანეტები ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან ზომით (უდიდესია იუპიტერი – 11-ჯერ აღემატება დედამიწას), მასით (ყველაზე დიდმასიანი იუპიტერია – 318-ჯერ მეტი დედამიწაზე), სიმკვრივით (მაგალითად, სატურნის სიმკვრივე 8-ჯერ ნაკლებია დედამიწაზე), ბრუნვის პერიოდით (ვენერა ღერძის ირგვლივ ერთ შემობრუნებას 243 დღეს ანდომებს, იუპიტერი კი 10 საათი) ატმოსფეროს სისქით (მერკურს თითქმის არა აქვს ატმოსფერო, ვენერას ზედაპირზე კი წნევა ~90 ატმოსფეროს უდრის), ბრწყინვალებით (ვენერას ბრწყინვალება ზოგჯერ – 4 ვარსკვლავიერ სიდიდეს აღწევს, პლუტონისა კი საშუალოდ 14,7-ია). თანამგზავრთა რაოდენობით (მერკურს თანამგზავრი არა ჰყავს, იუპიტერს ჰყავს 18, სატურნს – 17, ამას გარდა, მინიშნებულია მისი კიდევ რამდენიმე სავარაუდო თანამგზავრი, გამოსხივების ხასიათით (იუპიტერის გამოსხივებაში მზიდან არეკლილი სინათლე 50%-საც კი არ შეადგენს, ე.ი. ამ პლანეტას საკუთარი გამოსხივების წყაროებიც აქვს, პლანეტათა უმრავლესობა კი ძირითადად მზის სინათლის ხარჯზე ანათებს), სპექტრით (ზოგიერთი დიდი პლანეტა, მაგალითად, იუპიტერი ძლიერი რადიოგამოსხივების წყაროა), ორბიტის გაწელილობით

(პლუტონის ორბიტის ექსცენტრისიტეტი 0,25-ია, ვენერასი – 0,007, საიდანაც გამომდინარეობს, რომ მზიდან პლუტონამდე მანძილი 20. ა.ე-ის ანუ 3 მილიარდი კმ-ის ფარგლებში მერყეობს, ვენერასი კი მხოლოდ 1,5 მილიონი კმ-ის ფარგლებში), ორბიტის ზომით 158 მილიონი კმ. მერკურისათვის და 6 მილიარდი კმ პლუტონის შემთხვევაში), ორბიტაზე გარემოქცევის პერიოდით (88 დღე-ღამე მერკურისა და 248 წელიწადი – პლუტონის შემთხვევაში), ეკლიპტიკისადმი ორბიტის დახრით (უდიდესი დახრა აქვთ პლუტონს – 17° და მერკურს – 7° , სხვების დახრა $\leq 3^{\circ}$ ზედაპირული ტემპერატურით (ვენერა - $+500^{\circ}\text{C}$ -მდე, პლუტონი კი მთლიანად გაყინულია), ქიმიური შემადგენლობით და სხვა.

4.2. პლანეტა იუპიტერის მოკლე დახასიათება

ამ პლანეტას უჩვეულოდ მძლავრი ატმოსფერო აქვს. ზედაპირული წარმონაქმნები ერთმანეთის მიმართ ადგილს ინაცვლებენ, ე.ი. მყარი ზედაპირი პლანეტას ან არ გააჩნია, ან იგი ძალზე ღრმადაა განლაგებული. 1878 წელს აღმოაჩინეს იუპიტერის დიდი წითელი ლაქა (ეტყობა, იგი XVII საუკუნეშიც შეუმჩნევიათ), რომელიც რადიოგამოსხვიების მძლავრი წყაროა. იგი ატმოსფერული ციკლონის ნიმუში უნდა იყოს. პლანეტის ბრუნვის პერიოდი განედის ზრდადი ფუნქციაა. 20° განედზე იგი 5 წუთით მეტია, ვიდრე ეკვატორზე. პლანეტის ზედაპირს ზოლური სტრუქტურა აქვს, ამასთან ზოლები ეკვატორის პარალელურია. ქიმიური შემადგენლობა მზისას ჩამოგავს.

იუპიტერის გამოსხივების სრული ენერგია 2,9-ჯერ მეტია, ამ პლანეტის მიერ არეკლილ მზისეული გამოსხივების ენერგიაზე, ასე რომ იუპიტერს გამოსხივების საკუთარი წყაროებიც ჰქონია. ტემპერატურა პლანეტის ცენტრისკენ იზრდება ზედაპირიდან 500 კმ სიღრმეზე იგი დაახლოებით 1200K -ია. ატმოსფეროს სისქე $\sim 10^4$ კმ. უნდა იყოს, პლანეტის ძირითადი მასა კი შესაძლოა თხევადია. ენერგიის წყარო ალბათ არის პლანეტის ჩამოყალიბებისას, კონდენსირების პროცესში გამოყოფილი გრავიტაციული ენერგია.

იუპიტერი დეკამეტრული რადიოგამოსხივების ძლიერი წყაროა. ეს გამოსხივება ცალკეული თქაფებისაგან შედგება. მათი წყარო შეიძლება იყოს აირის განმუხტვა, ენერჯის გენერაციის მექანიზმი კი პლაზმური რხევები იუპიტერის ატმოსფეროში (იონოსფეროში). შეიმჩნევა აგრეთვე წყნარი, დროის მსვლელობაში უცვლელი რადიოგამოსხივება 1-68 სმ დიაპაზონში, რომლის ტემპერატურა 3 სმ სიგრძით ტალღაზე 160K-ია, გრძელ ტალღებზე კი იზრდება და 68 სმ-ზე 50000K-ს აღწევს. როგორც ჩანს, იუპიტერს აქვს რადიაციული სარტყელები, მაგნიტურ ველში მოძრავი ჩქარი ელექტრონები ასხივებენ მაგნიტურ-მუხრუჭა და სინქროტრონულ გამოსხივებას. ამ გამოსხივების პოლარიზაცია აღმოჩენილია.

მაგნიტური ველის დამაბულობა იუპიტერის ზედაპირზე ~10 ერსტედია, ხოლო პლანეტის მაგნიტოსფეროს ზომები ასეთია: დღის მხრიდან პლანეტის დაახლოებით 100 რადიუსის მანძილზე ვრცელდება, ხოლო ღამის მხრიდან კუდი გაწელილია სატურნის ორბიტის იქით, ე.ი. 800 მილიონ კმ-ზე მეტზე.

იუპიტერს 16 თანამგზავრი ჰყავს. 4 მათგანი აღმოაჩინა გ.გალილეიმ (XVII საუკუნეში), ბოლო 4 კი აღმოჩენილია 1973-1980 წლებში. ბოლო ხანებში მიკვლევულია იუპიტერის ირგვლივ არსებული რგოლების სისტემა. იუპიტერის თანამგზავრ იოზე კი – მოქმედი ვულკანები. ვარაუდობენ, რომ იოს გეოლოგიური აქტიობა დაკავშირებულია იუპიტერის მაგნიტოსფეროსთან. მის ზედაპირზე 10-მდე მოქმედი ვულკანია, რომელთა აქტიობაც რამდენიმე თვეა. ვულკანური მოქმედებების დროს ამოფრქვეული მატერიის სიჩქარე დაახლოებით 1 კმ/წმ-ის ტოლია, ხოლო სიმაღლე ასობით კილომეტრია. ამის შედეგად ხდება დიდი რაოდენობით გოგირდის და ჟანგბადის იონების მიწოდება იუპიტერის მაგნიტოსფეროში, რომელიც იქ წარმოშობს ცალკე პლაზმურ რგოლს იოს ორბიტის მახლობლად.

4.3. კომეტების მოკლე დახასიათება

კომიტეები გაიშვიათებული, დიდი ზომის ობიექტებია, რომლებიც თავიანთი მოულოდნელი შემოჭრისას არღვევენ ცის ჩვეულებრივ, საყოველთაოდ ცნობილ სურათს. ისინი ადამიანმა უხსოვარი დროიდან გამოარჩია. კომიტეები პერიოდულად გამოჩნდებიან, უახლოვდებიან მზეს და სათანადოდ, დედამიწასაც, შემოუვლიან მზეს და ისევ უჩინარდებიან შორეულ სივრცეში. 1577 წელს ტიხო ბრაჰემ თეორიულად დაასკვნა, რომ კომიტეები მთვარეზე უფრო შორს არიან. სწორედ ამის შემდგომ დაიწყო კომიტეების ინტენსიური შესწავლა. კომიტეების შესახებ პირველი წიგნი კი დაიბეჭდა 1667 წელს. მისი ავტორია სტანისლავ ლიუბინცკი. ამ პერიოდში კომიტებს უწოდებდნენ "ცის სტუმრებს". მხოლოდ მსოფლიო მიზიდულობის კანონის აღმოჩენის შემდეგ იქნა დადგენილი, რომ კომიტეები შეიძლება მოძრაობდნენ ელიფსის მიხედვით. მაშინ გამოდის, რომ მათ შორის უნდა არსებობდნენ პერიოდული კომიტეებიც. ასეთი აღმოჩენა 1682 წელს გააკეთა ედმუნდ ჰალეიმ. ამ კომიტეს მის საპატივცემულოდ მისი სახელი შეარქვეს.

მზესთან გავლისას მზის სინათლის წნევის ძალით კომიტეებიდან ამოიტყორცნება მტვრის ნაწილაკები და ჩნდება კუდი. კომიტებს აქვთ აგრეთვე თავი (ზოგჯერ მზეზე დიდი) და ბირთვი (1-30 კმ-ის ზომის). ზოგიერთი კომიტის კუდი ასეულობით კმ სიგრძისაა. არსებობს ანომალურკუდიანი კომიტეები, ხან კი ორ და სამკუდიანებიც, რაც მეტყველებს, რომ კუდების წარმოქმნის მექანიზმები რამდენიმენაირი შეიძლება იყოს. კომიტეების ბირთვები შედგება გაყინული CH_4 , NH_3 , H_2O და CO_2 -საგან. მასები კომიტებს მცირე აქვთ – დედამიწასთან შედარებით ასეულ ათასჯერ მაინც ნაკლები. ორბიტები, როგორც ითქვა, ელიფსურია, მაგრამ ზოგჯერ პარაბოლურ და ჰიპერბოლურორბიტის კომიტეებიც ჩნდებიან. ისინი ვარსკვლავთშორისი სივრციდან შემოიჭრებიან ხოლმე და პერიპელიუმში გავლის შემდეგ კვლავ გადიან მზის სისტემიდან. ზოგჯერ ამა თუ იმ კომიტის ორბიტა საგრძნობლად იცვლება დიდი პლანეტების ზემოქმედებით. ასე შეიქმნა, როგორც ჩანს, ე.წ. იუპიტერის ჯგუფის კომიტეები, რომელთა პერიპელიუმები იუპიტერის ორბიტასთანაა, სატურნის ჯგუფის კომიტეები და სხვა. ზოგი კომიტა მზის ზემოქმედებით თანდათან კარგავს მასას და იშლება. მაგალითად, ბილეს კომეტა (1772 წლისა) ორ კომეტად დაიშალა 1846 წელს, შემდეგ ერთ-ერთი მათგანი დაიკარგა,

სამაგეიროდ გამოჩნდა მეტეორული ნაკადი მსგავს ორბიტაზე. ახლახანს წამოაყენეს ჰიპოთეზა, რომ 1908 წ. ტურგუნსკში ჩამოვარდნილი მეტეორიტი ენკეს კომეტის ნამსხვრევი იყო.

ზოგიერთი კომეტა მზეს შორდება პლუტონის ორბიტაზე ათასჯერ მეტი მანძილით. მათი გარემოქცევის პერიოდები მილიონ წელს აღემატება. მაგალითად, ვესტის კომეტის პერიოდი ~1 მილიონი წელია დელავანის კომეტისა კი ~24 მილიონი წელი. ამრიგად, ეს სხეულები მზის სისტემის საზღვრებამდე აღწევენ, ზოგნი კი, როგორც ითქვა, ტოვებენ კიდეც მას და ვარსკვლავთშორისიერში გადიან.

დასასრულს ავღნიშნოთ, რომ ერთ-ერთი თანამედროვე ჰიპოთეზა, რომელიც ეკუთვნის ცნობილ ამერიკელ ფიზიკოსს ფ.დაისონს, გალაქტიკაში სიცოცხლის წარმოშობას უკავშირებს კომეტებს. მართლაც, კომეტების ქიმიური შემდგენლობა, რომელსაც საზღვრავენ სპექტრული ანალიზის საშუალებით, აჩვენებს, რომ მათში ასრებობს ორგანული მოლეკულები, რომლებსაც გარკვეული პირობების დროს შეუძლიათ თვითორგანიზაცია, ე.ი. მათგან შესაძლებელია რთული ორგანული მოლეკულების წარმოშობა, რომლებიც შეიძლება გახდნენ საფუძველი უმარტივესი მიკროორგანიზმების წარმოშობისათვის.

4.4. შუმეიკერ-ლევინ 9 კომეტის პლანეტა იუპიტერთან შეჯახება და მისი ასახვა დედამიწის გეომაგნიტურ ველზე

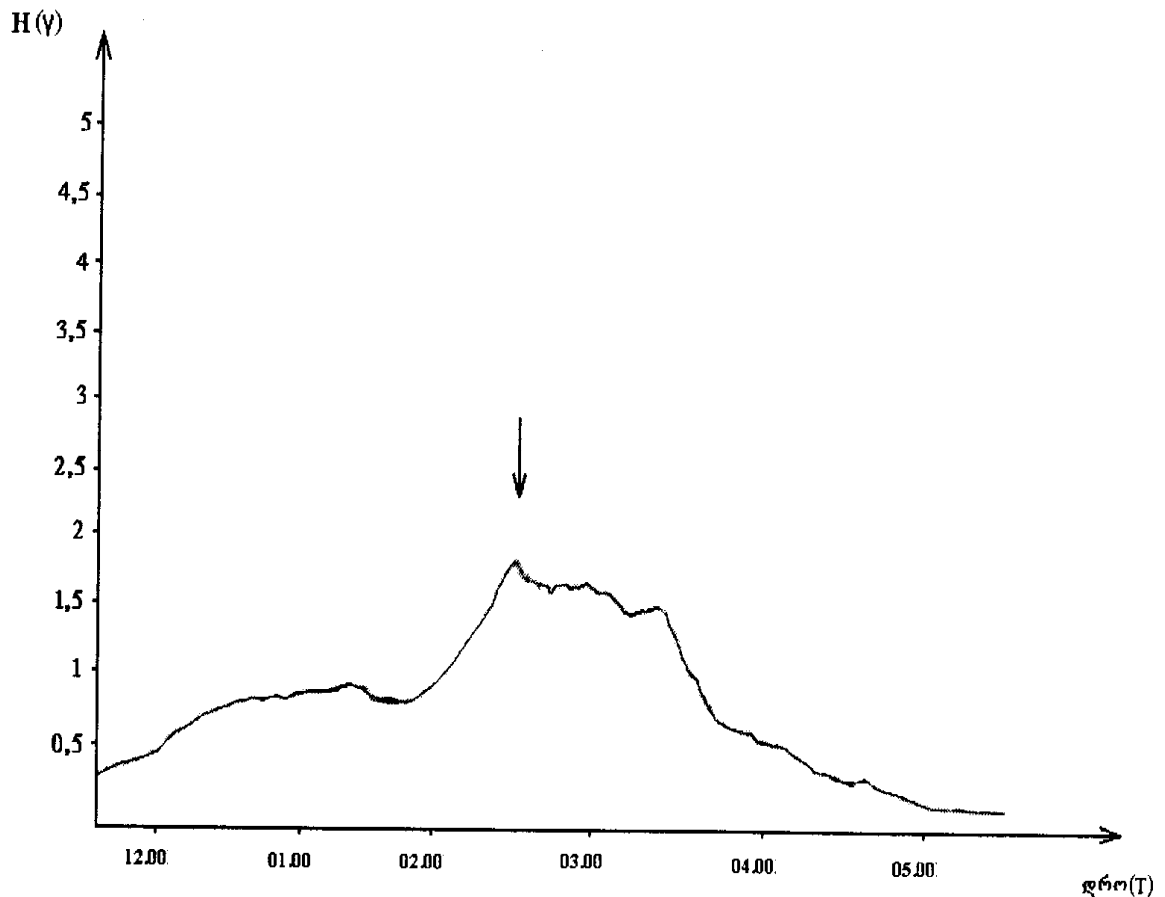
როგორც ცნობილია, 1994 წლის 16/17 ივლისს (~24.00LT) მოხდა შუმეიკერ-ლევინ 9 კომეტის იუპიტერთან დაჯახება, რომელიც ორი წლით ადრე დაფიქსირდა იუპიტერის მახლობელ ორბიტაზე. მან იმდენად ახლოს ჩაუარა იუპიტერს, რომ კომეტის ორბიტა დაექვემდებარა იუპიტერს და მეტიც კომეტამ შეაღწია და გადაჭრა იუპიტერის მიზიდულობის ველი იმ საზღვარზე, რომლის შიგნით მიზიდულობით აღძრული მოქცევა-უკუქცევითი ძალები შლის მიზიდულ სხეულს. ასე მოხდა შუმეიკერ-ლევინის კომეტის შემთხვევაში, რაც დადასტურებული იქნა უშუალო დადკვირვებებითაც.

დაფიქსირდა კომეტის ოცამდე ნამსხვრევი, რომელთა დიამეტრმა საშუალოდ რამდენიმე კილომეტრი შეადგინა. 1994 წლის 18 ივლისს სწორედ ერთ-ერთი შეიჭრა უიპიტერის ატმოსფეროს მაღალ ფენებში ~ 65 კმ/წმ სიჩქარით, ხოლო სხვებმა მათი ზომებისა და მასების სხვადასხვაობის შესაბამისად მომდევნო დღე-ღამის განმავლობაში მიაღწიეს იუპიტერის ატმოსფეროს. ასეთი სიჩქარით შეჭრა და ხახუნი წარმოშობს მაღალ ტემპერატურას და ნათებას, რომლის დროსაც გამოიყოფა უზარმაზარი ენერგია (10^{25} - 10^{29} ერგი). სწორედ აქედან გამომდინარე ეს მოვლენა შეიძლება შეფასებულ იქნას, როგორც საუკუნის მოვლენა. მართალია ამ შეჯახებამ უშუალოდ ვერ მოახდინა მნიშვნელოვანი გავლენა დედამიწაზე, მაგრამ ეს პროცესი აისახა დედამიწის ატმოსფეროს ზედა ფენებში, კერძოდ მაგნიტოსფეროში მიმდინარე მოვლენებზე [95].

როგორც უკვე აღნიშნეთ, ზემოთ ხსენებულმა შეჯახებამ ზეგავლენა მოახდინა ჩვენს მაგნიტოსფეროზე. კერძოდ, დაჯახებიდან დაახლოებით 2 საათის შემდეგ (02.10L) დაფიქსირდა P_3 სახის გეომაგნიტური პულსაცია (სურ.8). უფრო მეტიც, ამ პერიოდშივე აღნიშნულ იქნა გეომაგნიტური ველის სამივე მდგენელის შესამჩნევი მომატება ფონურ მნიშვნელობასთან შედარებით (≈ 40 - 50% -ით), რაც არსებითია ღამის მაგნიტოსფეროსთვის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ის ფაქტი, რომ ღამის პერიოდში დაფიქსირდა P_3 სახის გეომაგნიტური პულსაცია, რომელიც რეგისტრირებული იქნა გეომაგნიტური ველის აღმოსავლეთ-დასავლეთ H_x მდგენელზე. ამასთან, გეომაგნიტური ველის შემფოთებამ ამის შემდეგ იწყო შემცირება: დაახლოებით ერთი საათის შემდეგ შემფოთება თეთქმის 2-ჯერ შემცირდა, ხოლო საერთოდ ასეთი სურათი კიდევ ერთი საათი (04.00LT-მდე) გაგრძელდა.

გარდა ზემოთ თქმულისა, აუცილებელია აღნიშნოს, რომ P_3 სახის გეომაგნიტური პულსაციები წრმოშობის მექანიზმის თეორიიდან გამომდინარე არ აღიგზნება ღამის მაგნიტოსფეროში, თანაც ერთჯერადი იმპულსის სახით. ამ მოსაზრებას ადასტურებს არა მარტო ჩვენი ინსტიტუტის ობსერვატორიაში ჩატარებული დაკვირვებები, არამედ დუშეთის მაგნიტურ ობსერვატორიაში წარმოებული გაზომვებიც [11]. კერძოდ, 1957-1961წ.წ. დუშეთში ხდებოდა გეომაგნიტური ველის მოკლებპერიოდული რხევების ზოგიერთი კანონზომიერებების შესწავლა. აღმოჩნდა, რომ P_c ტიპის პულსაციებს აქვთ საკმაოდ ფართო მაქსიმუმი 8.00-16.00LMT შუალედში. მაქსიმუმის ამ ფართო ზოლში

თითქმის ყველა წლის მონაცემების მიხედვით გამოირჩევა 14.00LT, რომელიც ხასიათდება P_c რხევათა რაოდენობის ყველაზე მეტი მნიშვნელობებით. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ 4 წლის მანძილზე არც ერთჯერ არ იყო შემჩნეული P_c შუაღამის საათებში (23.00-03.00). აქ მიღებული P_c -ს დღე-ღამური სვლის სურათი ძირითადად ეთანადება სხვა ავტორების მონაცემებს, რომელთა მიხედვით P_c -ს მაქსიმუმი მოდის დღის საათებში, სახელდობრ, შუადღის მახლობლობაში, ხოლო მინიმუმი კი შუაღამისას [11].



ÍÀá.8 ÄÄÏÄÄÍÉÖÖÈ ÄÄÈÉÓ ÝÄÈÈÄÄÁ 1994 წლის 16-17 ივლისის ღამით.
(მაქსიმალური შემფოთების დრო აღნიშნულია ისრით)

აღნიშნული სურათის ასახსნელად ნაშრომი [95]-ში ჩვენს მიერ ნავარაუდები იყო, რომ დაჯახების შემდეგ წარმოიქმნა ნაწილაკების ინტენსიური ნაკადი, რომელიც ამოტყორცნილი იქნა იუპიტერის მაგნიტოსფეროდან. კერძოდ, შემფოთება, რომელიც ჩვენ დავაფიქსირეთ შუმეიკერ-ლევო 9 კომეტის იუპიტერთან დაჯახებიდან დაახლოებით 2 საათის შემდეგ, ალბათ გამოწვეულია ნაწილაკების გასვლით დანაკარგების კონუსში და მათი აჩქარებით კომეტის "აფეთქების" დროს წარმოქმნილი დარტყმითი ტალღებითა და ასევე მაგნიტოსფეროს კუდში და იონოსფეროში ელექტრული ველების დამაბულობათა საგრძნობი გაზრდით. ჩვენ მოსაზრებას იმის შესახებ, რომ რეგისტრირებული შემფოთება გამოწვეულია კომეტის იუპიტერთან შეჯახებით ადასტურებს ის გარემოებაც, რომ მსგავსი სახის სიგანლი (მით უმეტეს ღამის საათებში) აღარ დაფიქსირებულა მომდევნო პერიოდში მიუხედავად იმისა, რომ იუპიტერის ბომბარდირება კომეტის ფრაგმენტების მიერ გაგრძელდა 22 ივლისამდე. ამის ახსნა შეიძლება იმით, რომ ვიანაიდან სხვა შემთხვევებში გამოიყო ნაკლები ენერგია, ჩანს ის არ იყო საკმარისი ნაწილაკების ასაჩქარებლად იმ ენერგიებამდე, რომ მათ მოეღწიათ დედამიწის მაგნიტოსფერომდე, თუმცა საპლანეტათშორისო სივრცეში მათი ნაკადი გაიზარდა ფონურ მნიშვნელობასთან შედარებით [96].

მეორეს მხრივ, ცნობილია, რომ იუპიტერის მაგნიტოსფეროს გააჩნია საკმაოდ დიდი ზომები (იგი აღწევს $100R_{იუპ}$). მას ასევე გააჩნია რადიაციული სარტყლები, სადაც იმყოფება პლანეტის მაგნიტური ველის მიერ ჩაჭერილი რელატივისტური ელექტრონები და პროტონები. იმავდროულად, იუპიტერის ეკვატორულ სიბრტყეში განლაგებულ პლაზმაში დაიმზირება გაცილებით დიდი ენერგიის ნაწილაკები: 50 მეგ-მდე ელექტრონები და 70 მეგ-მდე პროტონები. ასეთი ნაწილაკები გამოდიან მაგნიტოსფეროდან და ხდებიან მზის სისტემაში კოსმოსური სხივების დამატებითი წყაროები როგორც იუპიტერის ორბიტის მახლობლად, ასევე მისგან მოშორებით. ასეთი ნაწილაკების ნაკადი დაიმზირება მზიდან 0,5-10 ა.ე. მანძილებზე. ამ პროცესების იუპიტერთან კავშირი ვლინდება ელექტრონების ნაკადის მოდულაციაში პერიოდით ~10 საათი, რაც ემთხვევა იუპიტერის ბრუნვის პერიოდს [98,99].

ცხადია, რომ კომეტის იუპიტერის მაგნიტოსფეროში შეჭრა ზებგერთი სიჩქარით გამოიწვევდა სიმკვრივის, ტემპერატურის და პლაზმის სხვა პარამეტრების მკვეთრ

ცვლილებას, რაც თავის მხრივ გამოიწვევდა დაუჯახებელი დარტყმითი ტალღის წარმოშობას, ხოლო იუპიტერის ზედაპირის მახლობლად მოძრაობისას და დაცემის მომენტში (უფრო ზუსტად ”აფეთქების” მომენტში) წარმოიშობოდა მძლავრი დარტყმითი ტალღა. ამასთან, ცნობილია, რომ თუ ტალღა არ არის დარტყმითი, ე.ი. მისი ფრონტის სისქე ნაკლებია თავისუფალი განარბენის სიგრძეზე, მაშინ დაუჯახებელი დარტყმითი ტალღის ფრონტის შიგნით პლაზმაში არსებობს სიმკვრივის, მაგნიტური ველის და სხვა პარამეტრების ინტენსიური რხევა. ასეთი რხევების წარმოშობა კი შეიძლება არ იყოს დაკავშირებული არამდგრადობასთან, იგი შეიძლება წარმოშვას არაწრფივმა რხევებმა ე.წ. განმარტოებული ტალღების, ანუ სოლიტონების სახით.

მეორეს მხრივ, ცნობილია, რომ იუპიტერის ატმოსფეროში არსებობს ე.წ. გრიგალური წარმონაქმნები, რომლებიც შეიძლება ”ჩამოყალიბდნენ” დიდი ამპლიტუდის მქონე არაწრფივ ტალღებად. გრიგალური წრმონაქმნის ყველაზე ნათელი მაგალითია ე.წ. იუპიტერის დიდი წითელი ლაქა, რომელსაც გააჩნია საკმაოდ დიდი ზომები. ამდენად, არაა გამორიცხული მსგავსი სახის გრიგალური წარმონაქმნების წარმოშობა კომეტის მოძრაობისას იუპიტერის ატმოსფეროში.

გარდა ამისა, ავლნიშნოთ, რომ კომეტის იუპიტერის ატმოსფეროში ზებგერითი სიჩქარით შეჭრისას შეიძლება წარმოშობილიყო დაუჯახებელი დარტყმითი ტალღა, რომელიც შემდგომში გავრცელდებოდა სოლიტონის სახით. ეს კი დამოკიდებულია პლაზმის სპეციფიკურ დისპერსიულ თვისებებზე. კერძოდ, ეს დაკავშირებულია იმაზე, ტალღური რიცხვის ზრდის მიხედვით იზრდება თუ კლებულობს სიჩქარე. სოლიტონების სუპერპოზიცია ქმნის დაუჯახებელი დარტყმითი ტალღის ფრონტს ოსცილირებადი სტრუქტურით. გარდა ამისა, ცნობილია [98], რომ იმ შემთხვევაში, როდესაც გარემოს გააჩნია უარყოფითი დისპერსია, სოლიტონის მოძრაობის სიჩქარე იზრდება მისი ამპლიტუდის მიხედვით, რომლის მაგალითსაც წარმოადგენს მაგნიტური ველის მართობულად გავრცელებული მაგნიტობგერითი ტალღა. სოლიტონის მახასიათებელი ზომა (სიგანე) ბუნებრივია ემთხვევა დისპერსიულ სივრცულ ზომებს ($l_{\text{დისპ}}$), ე.ი. ტალღის სიგრძეს, რომელზედაც ხდება არსებითი ფაზური სიჩქარის დისპერსია. მაგნიტობგერითი სოლიტონებისათვის, რომლებიც ვრცელდებიან

მაგნიტური ველის მართობულად, ეს არის სკინ-ფენის სიღრმე C/ω_c , სადაც, C -სინათლის სიჩქარეა, ω_c კი ელექტრონის ლენგმიურის სიხშირეა. განხილულ შემთხვევაში ყველაზე დიდი ამპლიტუდის მქონე სოლიტონი გარბის წინ, ხოლო ოსცილირებადი "კუდი", რომელსაც ქმნის ნაკლები ამპლიტუდის სოლიტონები, რჩება ფრონტის უკანა მხარეს.

ნაშრომში [99] ჩამოყალიბებულია პირობა, რომლის დროსაც შეიძლება გავრცელდეს მაგნიტოჰიდროდინამიკური ტალღა. უფრო ზუსტად ნაჩვენებია, რომ იმისათვის, რათა პლაზმაში ზებგერითი სიჩქარით მოძრავი სხეულის მიერ წარმოქმნილი ელექტრომაგნიტური ტალღა მართლაც იყოს ალვენის ტალღა, აუცილებელია შემდეგი პირობის შესრულება: $\omega \ll \omega_{iH}$ აქ $\omega_{iH} = eB/m_0c$ - იონების ჰიროსიხშირეა, რაც იძლევა შეზღუდვას შემფოთების წყაროს განივ ზომებზე:

$$D \gg 2\pi V_0/\omega_{iH}; \quad (4-1)$$

რაც ჩვენ შემთხვევაში სრულდება საკმაოდ კარგად. გარდა ამისა, როგორც ცნობილია, იგივე პირობა, ე.ი. იონების ლარმორის რადიუსის V_0/ω_{iH} სიმცირის პირობა, აუცილებელია საერთოდ ჰიდროდინამიკური აღწერის გამოყენებისათვის. რაც შეეხება შემფოთების სივრცულ ზომებს, იგი დროში გაიზრდება შემდეგნაირად [99].

$$e \approx \sqrt{2g_m t}$$

სადაც, $g_m = C^2/4\pi\sigma$ - მაგნიტური სიბლანტეა, ხოლო σ გამტარებლობაა.

ამგვარად, წარმოქმნილი შემფოთება იუპიტერის იონოსფეროსა და მაგნიტოსფეროში შესაძლებელია მართლაც სოლიტონის, ანუ დიდი ამპლიტუდის მქონე არაწრფივი ტალღების სახით გავრცელებულიყო.

მაშასადამე, როგორც ჩვენს მიერ ზემოთ ჩატარებული ანალიზი აჩვენებს, შუმეიკერ-ლევი 9 კომეტის იუპიტერთან შეჯახებისას წარმოქმნილი ნაწილაკების ამოყრა იუპიტერის მაგნიტოსფეროდან უნდა გამოეწვია ამ დროს წარმოქმნილ გაზრდილ ელექტრულ ველებს, დარტყმით ტალღებს და ამ დროს წარმოქმნილ გრიგალურ წარმონაქმნებს (ანუ დიდი ამპლიტუდის სოლიტონებს).

მაგალითის სახით განვიხილოთ მაგნიტობგერითი სოლიტონების შემთხვევა. როგორც ცნობილია, სოლიტონების აღწერა შეიძლება კორტევეგ-დე-ფრიზის განტოლებით, რომელსაც ჩვენი შემთხვევისათვის ექნება სახე [100]:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (V + V_A) \frac{\partial V}{\partial X} = -\frac{1}{2} V_A^2 \delta_m^2 \frac{\partial^3 V}{\partial X^2} \quad (4-2)$$

აქ $V_A = \frac{B_0}{\sqrt{4\pi\rho}}$ - ალვენის სიჩქარეა, $\delta_m = 2\sqrt{\beta(u - u_0)}$. ეს განტოლება სუსტი

არაწვივობის შემთხვევაში ცვლის მოძრაობის განტოლებას და მაქსველის განტოლებების სისტემას არაწრფივი წევრებით. კორტევეგ-დე-ფრიზის განტოლების ამონახსნს, რომელიც აღწერს ე.წ. მაგნიტობგერით სოლიტონს, ანუ მაგნიტური ველის იმპულსს დამაგნიტებულ გამტარ გარემოში, აქვს სტანდარტული სახე [100].

$$V = 3(u - V_A) ch^{-2} \sqrt{(u - V_A) / \delta_H^2 (x - ut)}, \quad (4-3)$$

სადაც, $\delta_H = C / \omega_{0c}$ სკინ-ფენის სიღრმე, ანუ დისპერსიის სიგრძეა. აქედან გამომდინარე, არაა გამორიცხული, რომ იუპიტერის მაგნიტოსფეროდან ნაწილაკების ამოყრაში გარკვეული წვლილი შეეტანათ ზემოთ ხსენებულ არაწრფივ პროცესებს, რომლის განვითარებაც ასეთი მძლავრი შემფოთებების დროს მეტად ალბათურია. ახლა ვნახოთ, თუ როგორი ზემოქმედება შეიძლება მოეხდინა ასეთი ნაწილაკების ნაკადს დედამიწის ღამის მაგნიტოსფეროში.

ცნობილია, რომ გეომაგნიტური პულსაციების წყაროს 0,1-10 ჰც დიაპაზონში წარმოადგენს პროტონები და ელექტრონები ენერგიით რამდენიმე ათეული კევ. [101]. ასეთი ნაწილაკები მუდმივად არსებობენ გარე რადიაციულ სარტყელში, მაგრამ მათი მეშვეობით გეომაგნიტური პულსაციების გენერაციისათვის 0,1-10 ჰც დიაპაზონში აუცილებელია წარმოიშვას სპეციფიკური "გეოფიზიკური სიტუაცია", რომელიც განისაზღვრება რამდენიმე ხელსაყრელი ფაქტორით: საკმაო რაოდენობის ენერგიული ნაწილაკების არსებობა გარკვეული ანიზოტროპიით ანუ ენერგიების მიხედვით არამონოტონური განაწილება, ცივი პლაზმის ოპტიმალური რაოდენობის არსებობა და ა.შ. [99]. თანაც, როგორც ნაშრომში [93] ნაჩვენებია, საერთოდ P3 სახის გეომაგნიტური პულსაციის აღგზნებისათვის აუცილებელია საპლანეტათმორისო მაგნიტური ველის მომატებული მნიშვნელობა ($B > 4$ ტლ) და დინამიკური წნევის ρV^2 მომატებული მნიშვნელობა. მეორეს მხრივ, ცნობილია, რომ დედამიწის მაგნიტურ ველს შეუძლია

”ალიქვას” დამუხტული ნაწილაკების გარე ზემოქმედება, თუ მათი სიმკვრივე აღემატება კრიტიკულ სიდიდეს $n_c \sim 10^8 \text{ სმ}^{-3}$ [67;74]. ამ დროს n_c დაკავშირებულია ნაწილაკების სიჩქარესთან მარტივი გამოსახულებით:

$$n_c = 6,8 \cdot 10^{-15} V \text{ სმ}^{-3}$$

სადაც V იზომება სმ/წმ-ში. ეს პირობა სრულდება მზის ქარის შემთხვევაში, როგორც შემფოთებული, ასევე შეუშფოთებელი პირობებისათვის. ამგვარად, ჩვენი შემთხვევისათვისაც შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ $n > n_c$ პირობა შესრულებულია. უფრო მეტიც, თუ გამოვალთ იმ მოსაზრებიდან, რომ ჯერ ერთი, იუპიტერის მაგნიტოსფეროდან ამოტყორცნილი ნაწილაკების ნაკადი იყო ინტენსიური, მეორეც, საქმე გვქონდა რელატივისტურ ნაწილაკებთან, მაშინ ავტომატურად შესრულდება როგორც პირველი, ასევე მეორე პირობა, რომლის შესახებაც ზემოთ გვქონდა საუბარი.

მეორეს მხრივ, იუპიტერიდან დედამიწის ორბიტამდე კორპუსკულები მოსვლას მოანდომებდნენ დროს:

$$t_1 = \frac{r}{V_{\max}}$$

დედამიწის ორბიტის მახლობლად სიჩქარეების დისპერსია, ანუ $\frac{V_{\max}}{V}$ - ფარდობა,

შეიძლება გამოვსახოთ ასე [103]:

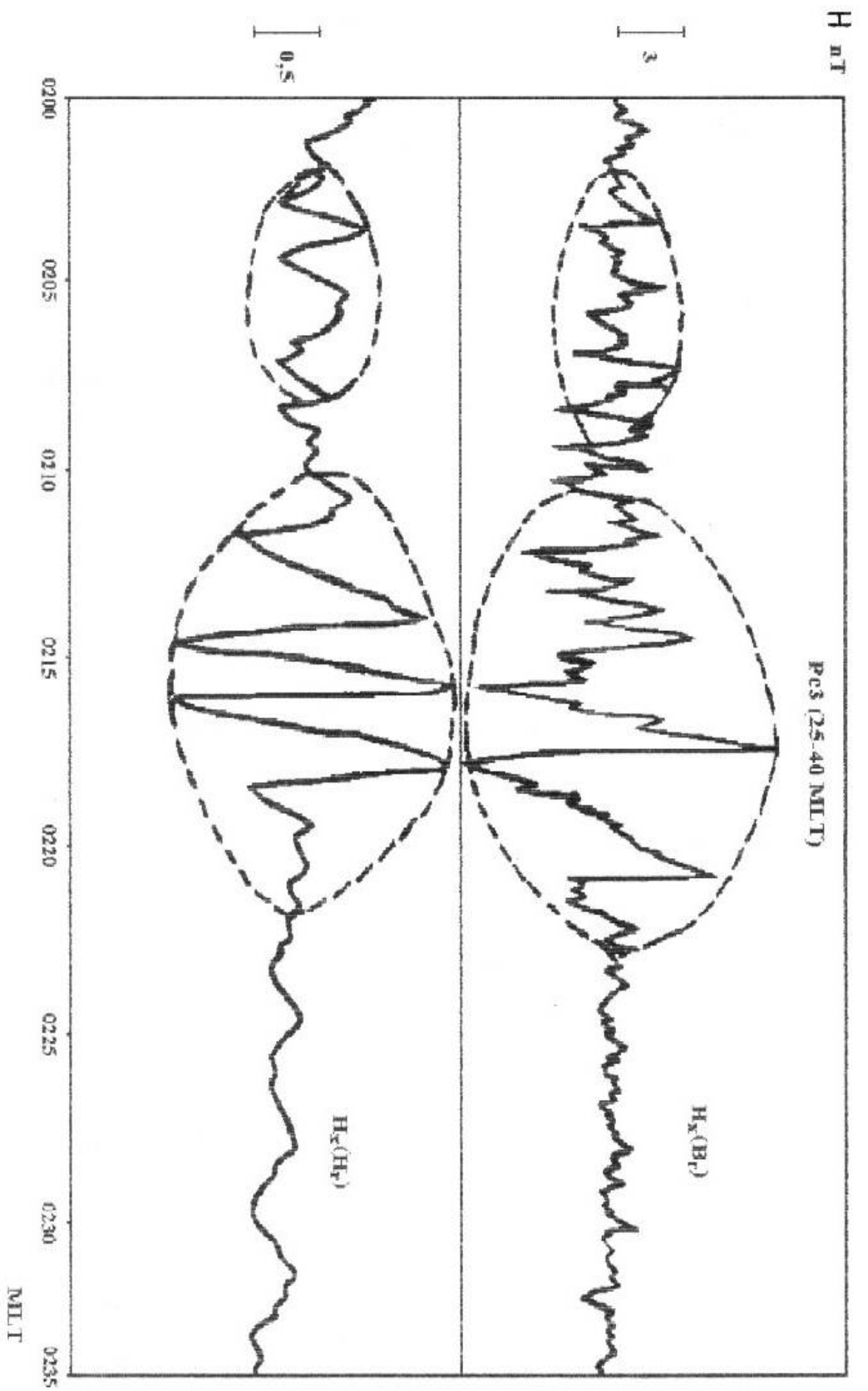
$$\frac{V_{\max}}{V} = 1 + \frac{V_{\max} \lambda}{r \Omega}; \quad \left(V_p = V_e = \frac{V_0}{\sqrt{1 + \beta^2}} \right). \quad (4-4)$$

აქ λ არის საშუალო კუთხური ზომის მნიშვნელობა, ანუ იუპიტერის ატმოსფეროში წარმოქმნილი მაქსიმალურად შეშფოთებული მიდამოს საშუალო კუთხური ზომა, r - დედამიწამდე მანძილია, Ω - იუპიტერის ეკვატორის წერტილების კუთხური სიჩქარეა (გრადუსებში), $V_{\max} = 280000 - 290000 \text{ კმ/წმ}$ [101,103]. ამ ტოლობიდან გამომდინარე აშკარაა, რომ ვინაიდან მანძილი არის დიდი, ამიტომ დიდი იქნება სიჩქარეების დისპერსიაც. რაც შეეხება იუპიტერის ატმოსფეროში ენერგის დისიპაცას წანაცვლებად ცილინდრულ ფენაში, იგი შეიძლება შევაფასოთ ნაშრომი [103]-ში მოცემული მეთოდის მიხედვით:

$$E \approx \eta \rho_{\text{cau}} \left(\frac{\Delta \omega}{\Delta B} \right)_{\text{cau}}^2 2\pi r_1^2 \sin \varphi_0 \Delta R; \quad (4-5)$$

სადაც, η - ტურბულენტური სიბლანტის კოეფიციენტი ($\eta=10^5-10^6 \text{მ}^2/\text{წმ}$), $\rho_{\text{საშ}}$ - ატმოსფეროს საშუალო სიმკვრივე ($\rho_{\text{საშ}} \approx 10^{-2} \text{მ}/\text{სმ}^3$), $\Delta \omega$ - ჭავლის (გრიგალის) სიჩქარე, r_1 - იუპიტერის რადიუსია ($r_1 \approx 7 \cdot 10^9$); φ_0 - ჭავლის განედია, ΔR - ჭავლის საზღვრის სისქე ($\Delta R \approx 200-400$ კმ, რაც ეთანადება 1^0--2^0 გრადუსს). (4-5) ფორმულიდან აშკარაა, რომ გრიგალური წარმონაქმნის შემთხვევაში ენერჯის დისიპაცია იქნება $10^{25}--10^{27}$ ჯ/წმ-ის რიგის. ამასთან, გასათვალისწინებელია ის გარემოებაც, რომ ასეთი წარმონაქმნი აუცილებლად გავრცელდებოდა ზებგერითი სიჩქარით, ე.ი. რამდენიმე ათეული კმ/წმ სიჩქარით.

ამგვარად, როგორც ჩვენს მიერ ჩატარებული ანალიზიდან ჩანს და რასაც ექსპერიმენტიც ადასტურებს, შუმეიკერ-ლევინი 9 კომეტის ურთიერთქმედება იუპიტერთან (1.707.1994 წ) დაფიქსირდა საკმაოდ მკაფიოდ. (ნახ.9) კერძოდ, შეჯახებიდან დაახლოებით 2 საათის შემდეგ რეგისტრირებული შემფოთება, ალბათ გამოწვეული უნდა იყოს ნაწილაკების გასვლით დანაკარგების კონუსში და მათი აჩქარებით კომეტის "აფეთქებისას" წარმოქმნილი გრიგალური (ანუ სოლიტონური) დარტყმითი ტალღებით, ასევე მაგნიტოსფეროს კუდში ელექტრული ველების დამაბულობის გაზრდით. ამასთან, არაა გამორიცხული გრიგალური წარმონაქმნის გამოსვლა საპლანეტათშორისო სივრცეში. რაც შეეხება რეგისტრირებული შემფოთების ხანგრძლიობას (~2სთ), ეს ალბათ არის ის დრო, რომელიც დასჭირდა იუპიტერის მაგნიტოსფეროს ჩამჭერების დაცლას და არათანაბარი სიჩქარეების მქონე ნაწილაკების მოსვლას დედამიწის მაგნიტოსფერომდე.



ნახ. 9 გეომანტიჭური ველის პულსაციები 1994 წლის 16-17 ივლისის დამით

4.5. შუმიკერ-ლევნი 9 კომეტის იუპიტერის ატმოსფეროში ვარდნის შედეგად წარმოქმნილი შეშფოთებების შესწავლა

როგორც ცნობილია, მზის სისტემის პლანეტები არაა ბოლომდე შესწავლილი. ბოლო ათწლეულებში ამ მიზნისათვის ფართოდ გამოიყენება კოსმოსური ხომალდები, საპლანეტათშორისო სადგურები და ა.შ. ამ მიზნისათვის დამუშავებული იქნა მრავალი კოსმოსური პროგრამა და შეიქმნა სხვადასხვა ტიპის საფრენი აპარატი (მაგალითად, ორბიტალური სადგური, კოსმოსური მოდული და სხვა). ერთ-ერთი ასეთი პროგრამა განახორციელეს ამერიკელებმა. კერძოდ, 1989 წლის 18 ოქტომბერს გაშვებულ იქნა კოსმოსური აპარატი "გალილეო", რომელსაც უნდა შეესწავლა ე.წ. ასტეროიდების სარტყელი, ხოლო 1995 წლის დეკემბერში მან მიაღწია იუპიტერამდე და 2 წლის განმავლობაში სწავლობდა პლანეტა იუპიტერს და მის თანამგზავრებს.

ხსენებული ორბიტალური მოდული შედგება ორი ნაწილისაგან: ორბიტალური ბლოკისაგან და დასაშვები ზონდისაგან (მოდულისაგან). 1995 წლის დეკემბერში "გალილეოს" დასაშვები აპარატი შეიჭრა იუპიტერის ატმოსფეროში და იმოდრავა მანამ, სანამ იგი მწყობრიდან არ გამოიყვანა ატმოსფეროს მაღალმა წნევამ. მან მოასწრო ამ ხნის განმავლობაში დედამიწაზე, გადმოეცა ამ უზარმაზარი გაზური სფეროს შემადგენლობის და თვისებების შესახებ პირველი მონაცემები. ამ მონაცემების ანალიზი გრძელდება, მაგრამ წინასწარი მონაცემები უკვე გამოქვეყნდა [104].

დაშვებისას, 1 საათის განმავლობაში ავტომატური სადგური შეიჭრა იუპიტერის ატმოსფეროში 600 კმ-ზე (პლანეტის დიამეტრია 142800 კმ). ასეთ სიღრმეზე წნევამ შეადგინა 24 ატმოსფერო. გარდა ამისა, ატმოსფეროს შემადგენლობაში აღმოჩნდა გაცილებით მეტი ჰელიუმი და ნახშირბადი, ვიდრე ვარაუდობდნენ დედამიწაზე ჩატარებული სპექტრომეტრული გაზომვების შედეგად. ჰელიუმის შემცველობა დახლოებით ისეთივეა, როგორც მზეზე, რაც მოწმობს მზის და მზის სისტემის ყველაზე დიდი პლანეტის საერთო წარმოშობაზე.

ჩატარებული გაზომვები საშუალებას გვაძლევს მოლეკულურ-კინეტიკურ თეორიაზე დაყრდნობით ვიპოვოთ იუპიტერის ატმოსფეროსათვის დამახასიათებელი ზოგიერთი პარამეტრები [105].

ამრიგად, წნევა $P=24$ ატმოსფეროს= $24 \cdot 10^5$ პასკალი; $T=600\text{K}$.

1. მოლეკულის ყველაზე ალბათური სიჩქარე: $V_{\text{აკ}} = \sqrt{\frac{2KT}{m}} \approx 2,2$ კმ/წმ.

2. საშუალო სიჩქარე: $\bar{V} = 1,13V_{\text{აკ}} \approx 2,7$ კმ/წმ.

3. საშუალო კვადრატული სიჩქარე: $\sqrt{\bar{V}^2} = 1,22V_{\text{აკ}} \approx 2,7$ კმ/წმ.

4. კონცენტრაცია: $n = \frac{P}{KT} \approx 3 \cdot 10^{26}$ ნაწილაკი/მ³

5. მოლეკულების კინეტიკური ენერგია : $E \approx \frac{mV^2}{2} \approx KT \approx 10^{-20}$ ჯ.

6. სიმკვრივე $\rho = \frac{MP}{RT} \approx 0,9$ კმ/მ³

7. ზგერის სიჩქარე $C_{\kappa} \sqrt{\frac{\partial \ell p}{\rho}} \approx 2$ კმ/წმ, სადაც, $\partial \ell = \frac{C_p}{C_v} = 1,67$

აღსანიშნავია, რომ ძველი მონაცემებით: $n=3,6 \cdot 10^{13}$ ნაწ/მ³

ვიპოვოთ დაჯახებების რაოდენობა 1 წმ-ში გვექნება

$$g = \pi d^2 h \bar{V}$$

სადაც, \bar{V} ფარდობითი მოძრაობის საშუალო სიჩქარეა და $\bar{V} = \sqrt{2g} \approx 1,4g \approx 3,5$ კმ/წმ. მაშასადამე, თუ გავითვალისწინებთ, რომ მოლეკულების დაიმეტრი $d \approx 10^8$ სმ $\approx 10^{-10}$ მ, გვექნება:

$$V = 3,3 \cdot 10^{10} \text{წმ} \sim 10^{10} \text{წმ}.$$

ამრიგად, დაჯახებების საერთო რაოდენობა ტოლი იქნება:

$$n_{1,2} = 1/2 n V = 5 \cdot 10^{36},$$

რაც საკმაოდ დიდი სიდიდეა (ჩვეულებრივი წნევის დროს $n_{1,2} = 10^{27}$).

ახლა ადვილად ვიპოვით თავისუფალი განარბენის სიგრძეს:

$$\lambda = \frac{\bar{V}}{n} \approx 7 \cdot 10^{-8} \text{ მ. (ე.ი. } 10^{-8} \text{ რიგისაა).}$$

(ანალოგიურ შედეგს იძლევა $\lambda = \frac{KT}{\sqrt{2} \pi d^2 p}$ ფორმულით გამოთვლა).

ვინაიდან ჩვენთვის უკვე ცნობილია თავისუფალი განარბენის სიგრძის მნიშვნელობა, ამიტომ სირთულეს აღარ წარმოადგენს დიფუზიის კოეფიციენტის გამოთვლა:

$$D = \frac{\lambda \bar{V}}{3} \approx (10^{-5} \dots 10^{-2}) \text{ მ}^2/\text{წმ}$$

აქვე შეგვიძლია განვსაზღვროთ აირის შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი (სიბლანტე):

$$\eta = \frac{1}{3} \bar{g} \lambda \rho \approx 10^{-5} \text{ (კმ/მ.წმ)}$$

ახლა ვიპოვოთ ჩვენთვის საინტერესო კიდევ ერთი კოეფიციენტი, ე.წ. კუთრი სითბოგამტარობის კოეფიციენტი:

$$C_v = \frac{3}{2} \frac{K \gamma}{\rho} \approx (10^3 \dots 10^4) \text{ (ჯ/(კგ.კ))}$$

აქედან გამომდინარე განვსაზღვროთ სითბოგამტარობის კოეფიციენტიც:

$$\xi = \frac{1}{3} \bar{g} \lambda C_v \rho \approx 0,5 \text{ (ვტ/მკ)}$$

ამრიგად, ჩვენ განვსაზღვრეთ (შევავსეთ) ყველა ის სიდიდე, რომელიც ჩვენთვის მეტ-ნაკლებად საინტერესოა. ახლა გადავიდეთ იმ ძირითად საკითხზე, რასთან დაკავშირებითაც ჩვენ ჩავატარეთ ჩვენთვის საინტერესო ზოგიერთი პარამეტრის შეფასება.

როგორც ცნობილია, 1994 წლის 17 ივლისს მოხდა შუმეიკერ-ლევინი 9 კომეტის დაჯახება პლანეტა იუპიტერთან. ჩვენს მიერ ნაშრომში [10] აღნიშნული იქნა, რომ დაჯახებიდან დაახლოებით 2 სთ-ის შემდეგ (02.10LT) დაფიქსირდა P₃ სახის გეომაგნიტური პულსაცია. უფრო მეტიც, ამ პერიოდშივე აღნიშნული იქნა გეომაგნიტური ველის სამივე მდგენელის შესამჩნევი მომატება ფონურ მნიშვნელობასთან შედარებით. ამასთან, შემოთვლილი დაფიქსირდა ერთჯერადი მკვეთრი იმპულსის სახით. აღნიშნულის სურათის ასახსნელად ნაშრომში [95] ნაგარაუდები იყო, რომ დაჯახების შემდეგ წარმოიქმნა ნაწლაკების ინტენსიური ნაკადი, რომელიც ამოტყორცნილი იქნა იუპიტერის მაგნიტოსფეროდან.

ნაშრომში [13] აღნიშნულია, რომ იონოსფეროში და მაგნიტოსფეროში, მათზე სხვადასხვა სახის ხელოვნური და ბუნებრივი ზემოქმედების დროს, შესაძლებელია

ნაწილაკების ამოფრქვევა, თანაც ეს ნაკადი შეიძლება იყოს საკმაოდ ენერგიული. ეს მოვლენა რეგისტრირებული იქნა როგორც დედამიწის ზედაპირზე, ასევე კოსმოსურ ხომალდზე. მაშასადამე, დასაშვებია მსგავსი მოვლენების არსებობა იუპიტერის მაგნიტოსფეროშიც. მეორეს მხრივ, კომეტის იუპიტერის ატმოსფეროში შესვლის მოდელირებამ აჩვენა, რომ შეჭრის საწყის სტადიაში მიმდინარეობს მომვლები დარტყმითი ტალღის და ბირთვის ზედაპირის მექანიკური დაშლის პროცესი [96]. შემდეგ სიტბო, რომელიც გამოიყოფა დამუხრუჭების დროს და ეთანადება 10^{29} ერგი ენერგიას, იწვევს ბირთვის გადასვლას გაზობრივ ფაზაში მცირე დროის განმავლობაში. შეჭრილი კომეტის სათაო ნაწილის ზომები შეადგენს რამდენიმე კილომეტრს ათობით ათასი გრადუსი ტემპერატურის დროს სურათი ჩამოგავს მილიარდი ტონა ტრინიტროლოლის რიგის ბირთვულ აფეთქებას [96].

ამრიგად, რეგისტრირებული შემფოთების ასახსნელად მიზანშეწონილია ჩავთვალოთ, რომ ჯერ ერთი, მოხდა იუპიტერის მაგნიტოსფეროში ჩაჭერილი ნაწილაკების შეღწევა დანაკარგთა კონუსში და მთი აჩქარება კომეტის აფეთქების დროს წარმოქმნილი დარტყმითი ტალღებით. მეორე, იუპიტერის მაგნიტური ჩამჭერებიდან ნაწილაკების ამოფრქვევაში და მათ აჩქარებაში გარკვეულ როლს შეასრულებდა მაგნიტოსფეროს კუდში ელექტრული ველების გაზრდა. მესამე, იუპიტერის მაგნიტოსფეროში არსებულ ნაწილაკებთან ერთად აჩქარდებოდა კომეტის დაშლის დროს წარმოქმნილი ნაწილაკებიც. ჩვენს მიერ გამოთქმულ ამ მოსაზრებებს ადასტურებს ის ფაქტიც, რომ რეგისტრირებული იქნა საპლანეტაშორსო სივრცეში ნაწილაკების ნაკადის გაზრდა ფონურ მნიშვნელობასთან შედარებით [96]. ამავე ნაშრომში შემოთავაზებულია კომეტის ფრაგმენტის იუპიტერის ატმოსფეროსთან ურთიერთქმედების შემდეგი სურათი: დარტყმითი ტალღის სათაო ნაწილი, რომელიც ვრცელდება ატმოსფეროს სიმკვრივის ექსპონენციალური შემცირების მიმართულებით, განიცდის აჩქარებას, რაც განპირობებულია დარტყმითი ტალღის იმპულსის კონცენტრირებით უსასრულოდ შემცირებად მასაზე. ხდება ატმოსფეროს ”გარღვევა”, ე.ი. დარტყმითი ტალღის წასვლა უსასრულობაში სასრულ დროში. ამ დროს დარტყმითი ტალღის ფრონტს მიღმა წარმოიშობა ჭავლური დინება, რომელშიც გაზის სიჩქარე და ტემპერატურა იზრდება სიმაღლის მიხედვით [96]. ფენის დამატებითი გათბობა ძლიერ

იონიზირებული გაზით ამოიფრქვევა იუპიტერის ზედა ატმოსფეროში, რომელიც ალბათ, პასუხისმგებელია დამზერილ მოვლენებზე იუპიტერის იონოსფეროსა და მაგნიტოსფეროში. კერძოდ, ამით შეიძლება აიხსნას იუპიტერის დეკამეტრული და დეციმეტრული რადიოსიხშირეების ინტენსიური გამოსხივება, რომელიც დაიმზირა ფრაგმენტების შესვლისას იუპიტერის ატმოსფეროში [96].

მაშასადამე, ვინაიდან კომეტის ფრაგმენტების "აფეთქების" დროს წარმოიშობოდა დარტყმითი ტალღები და მათი სიჩქარე მეტი იქნებოდა ბგერის სიჩქარეზე, ამიტომ შესაძლებელია ფართომასშტაბური გრიგალური წარმონაქმნების არსებობა, რაც მართლაც იქნა დამზერილი [96]. გარდა ამისა, რადგანაც ატმოსფეროს სიმაღლეებზე დიდია ნაწილაკების კონცენტრაცია, სიმკვრივე და დაჯახებების სიხშირე, ამიტომ მცირე ენერჯის დარტყმითი ტალღები ჩაიხშობიან საკმაოდ სწრაფად. ამასთან, რადგანაც შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი (სიბლანტე) არ არის დიდი, ამიტომ შესაძლებელი ხდება დარტყმითი ტალღების გავრცელება სოლიტონების სახით, თანაც, საკმაოდ ეფექტურად მოხდება სითბოგამტარობაც, ე.ი. გაცვლითი პროცესები ახლომდებარე ფენებს შორის. აღსანიშნავია ისიც, რომ გრიგალური წარმონაქმნების დიდი სიცოცხლის ნიშანია ისიც, რომ გრიგალური წარმონაქმნების დიდ სიცოცხლის ხანგრძლიობას განაპირობებს დიფუზიის კოეფიციენტის სიმცირეც.

ამრიგად, აქ მოყვანილი ფაქტებიდან გამომდინარე შესაძლებელია დარტყმითი ტალღებით ნაწილაკების აჩქარება. ამასთან, ასეთი რამ ძირითადად მოხდება საკმაოდ მძლავრი დარტყმითი ტალღებისათვის. ალბათ, ამის შედეგია ისიც, რომ გაიზარდა საპლანეტათშორისო სივრცეში ნაწილაკების ნაკადი. ზემოთ აღნიშნული პროცესები არსებით როლს ითამაშებდნენ ასევე იმ ფართოზოლოვანი ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წარმოშობაში, რომლებიც დაიმზირა ასტრონომიული მეთოდებით [96]. ამასთან, არაა გამორიცხული გრიგალური წარმონაქმნების გამოსვლა საპლანეტათშორისო სივრცეში. გასათვალისწინებელია ის გარემოებაც, რომ ასეთი წარმონაქმნი გავრცელდებოდა ზებგერითი სიჩქარით, ე.ი. რამდენიმე ათეული კმ/წმ სიჩქარით.

**4.6. შუმეიკერ-ლევინი 9 კომეტის იუპიტერის ატმოსფეროში
ვარდნის დროს წარმოქმნილი საპლანეტათშორისო სივრცის
შეშფოთებების შესწავლა**

როგორც უკვე ავღნიშნეთ 1994 წლის 16 ივლისს მოხდა შუმეიკერ-ლევინი 9 კომეტის შეჯახება პლანეტა იუპიტერთან. ნაშრომში [95] ჩვენს მიერ ნავარუდები იყო, რომ გეომანტიური ველის რეგისტრირებული შეშფოთებები უნდა გამოეწვია იუპიტერის მაგნიტოსფეროდან აფეთქებისას წარმოქმნილი დარტყმითი ტალღებით ამოყრილი ნაწილაკების ნაკადის მოსვლას. მითუმეტეს, რომ ნაშრომში [96] აღნიშნულია გამოსხივების და ნაწილაკების ნაკადის არსებითი მომატება, რომელიც რეგისტრირებული იქნა ხსენებულ პერიოდში საპლანეტათშორისო სივრცეში. აღსანიშნავია ისიც, რომ ამ ნაწილაკების დედამიწის მაგნიტოსფერომდე მოსვლის შესაძლებლობის საკითხი საკმაოდ რთულია. განსაკუთრებით იმ შემთხვევაში, თუ გავითვალისწინებთ, რომ ამ ნაწილაკების ნაკადს უნდა ემოდრავა ლარმორის ორბიტით და "გამოჰყოლოდა" საპლანეტათშორისო მაგნიტური ველის ძალწირებს.

როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ, ჩვენ ვთვლით, რომ წამოსული ნაწილაკების აჩქარება მოხდა კომეტის იუპიტერის ატმოსფეროში აფეთქებისას წარმოქმნილი დარტყმითი ტალღების შედეგად. მართლაც, ნაშრომში [107] ნაჩვენებია, რომ დარტყმითი ტალღების ანსამბლში ნაწილაკები აჩქარდება განსაკუთრებით ეფექტურად. ამ დროს აჩქარების ტემპი ტოლია [106].

$$\xi_f = PVU\Delta H / 6He \quad (4-6)$$

აქ U და V შესაბამისად არის ფრონტის და ნაწილაკის სიჩქარე, ΔH - ველის ნახტომია ფრონტს იქეთ, P - ნაწილაკის იმპულსია. განმარტოებული ფრონტის კერძო შემთხვევაში ეს საკითხი განხილულია ნაშრომში [108]. კერძოდ, ნაჩვენებია, რომ შესაძლებელია დამუხტული ნაწილაკების რეგულარული აჩქარების მექანიზმის არსებობა დარტყმითი ტალღის ფრონტში. ამასთან, კავშირს სიმკვრივეს და იმპულსს შორის აქვს სახე:

$$n(p) \approx p^{-\gamma}; \quad \gamma = \frac{3\partial\ell - 1}{2} \quad (4-7)$$

იდეალური გაზის შემთხვევაში $\partial\ell = \frac{5}{3}$, ხოლო "ძლიერი" მაგნიტური ველის შემთხვევაში $\partial\ell = 2$. სპექტის ხარისხის მაჩვენებელი შესაბამისად ტოლია $\gamma=2$ და $\gamma=2,5$ ე.ი. ვლემულობით მტკიცე ენერგეტიკულ სპექტრს.

აქვე განვიხილოთ იუპიტერის მაგნიტური ჩამჭერებიდან ნაწილაკების ამოყრის და აჩქარების შესაძლებლობა. როგორც ცნობილია, ამ შემთხვევაში არსებით როლს თამაშობს მაგნიტოსფეროში პოტენცილთა სხვაობის არსებობა, რაც დაკავშირებულია გრძივი დენების არსებობასთან:

$$i_{||} = \frac{1}{4\pi n V_{te}}. \quad (4-8)$$

როგორც ნაშრომში [108] ნაჩვენებია, ამ დროს წარმოქმნილმა გრძივმა დენებმა შეიძლება გამოიწვიოს მაგნიტურ ძალურ მილში პლაზმის შემცირება. დედამიწის მაგნიტოსფეროსათვის $r \geq 1R_p$ მანძილზე, როცა $i_{||} = 0,1$ ამპერი/კმ² ძალური მილის დაშლის დრო შეადგენს ~ 2 სთ. თუ გავითვალისწინებთ მსგავსებას დედამიწის და იუპიტერის მაგნიტოსფეროს შორის და იუპიტერის მაგნიტოსფეროს დიდ ზომებს ($\sim 100R_{\text{იუპ}}$) მაშინ არაა გამორიცხული, რომ ხსენებულმა მექანიზმმა იუპიტერის მაგნიტოსფეროშიც უნდა იარსებოს.

მეორეს მხრივ ცნობილია, რომ გეომაგნიტური პულსაციების წყაროს 0,1-1,03კვ დიაპაზონში წარმოადგენს პროტონები და ელექტრონები ენერგიით რამდენიმე ათეული კევ. [91]. ასეთი ნაწილაკები მუდმივად არსებობენ გარე რადიაციულ სარტყელში, მაგრამ მათი მეშვეობით გეომაგნიტური პულსაციების გენერაციისათვის 0,1-1,03კვ დიაპაზონში აუცლებელია წარმოიშვას სპეციფიკური "გეოფიზიკური სიტუაცია", რომელიც განისაზღვრება რამდენიმე ხელსაყრელი ფაქტორით: საკმაო რაოდენობის ენერგიული ნაწილაკების არსებობა გარკვეული ანიზოტროპიით ანუ ენერგიების მიხედვით არამონოტონური განაწილება, ცივი პლაზმის ოპტიმალური რაოდენობის არსებობა და ა.შ. [101]. თანაც, როგორც ნაშრომში [78] არის ნაჩვენები, P₃ სახის პულსაციის აღგზნებისათვის აუცლებელია საპლანეტათშორისო მაგნიტური ველის მომატებული მნიშვნელობა ($B > 45$ ტლ) და დინამიკური წნევის მომატებული მნიშვნელობა.

შევაფასოთ საპლანეტათმორისო მაგნიტური ველის მნიშვნელობა რეგისტრირებული P₃ პულსაციის ამპლიტუდის მიხედვით. კერძოდ, ცნობილია, რომ P₃ პულსაციის სიხშირესა და საპლანეტათმორისო მაგნიტური ველის დამაბულობას შორის ადგილი აქვს გამოსახულებას [78]:

$$f = GB \quad (4-9)$$

სადაც, f - რხევის სიხშირეა, B - საპლანეტათმორისო მაგნიტური ველის სიდიდეა. ჩვენ შემთხვევაში $B \approx 45$ ტლ. (გზნტლ/მლ.კც). ამგვარად, საპლანეტათმორისო მაგნიტური ველის დამაბულობა კრიტიკულ მნიშვნელობაზე ნაკლებია, ამიტომ ბუნებრივია ვივარაუდოთ, რომ არსებით როლს ასრულებს დინამიკური წნევა, რომელიც პროპორციულია ρV^2 -ის. მართლაც, ნაშრომში [78] ნაჩვენებია, რომ პულსაციის ინტენსიობაზე ზემოქმედ ძირითად ფაქტორს წარმოადგენს არა მზის ქარის სიჩქარე, არამედ ρV^2 დინამიკური წნევა. მაშასადამე, თუ გამოვალთ იმ მოსაზრებიდან, რომ ჯერ ერთი, იუპიტერის მაგნიტოსფეროდან ამორტყორცნილი ნაწილაკების ნაკადი იყო ინტენსიური, მეორე მხრივ, კი საქმე გვქონდა რელატივისტურ ნაწილაკებთან, მაშინ მოულოდნელი აღარ იქნება ის სურათი, რომელიც იქნა რეგისტრირებული დაახლოებით 2 საათის განმავლობაში.

ახლა ვაჩვენოთ შეძლებდნენ თუ არა აღნიშნული სახის ნაწილაკები დედამიწის ღამის მაგნიტოსფეროში მოხვედრას.

როგორც ცნობილია [14], 1994 წლის 11 ივლისს იუპიტერამდე მანძილი იყო 754,4 მილიონი კმ, ხოლო 27 ივლისს იყო 790,7 მილიონი კმ იუპიტერი 30 პრიუს იყო პირისპირდგომაში, ხოლო 2 ივლისს კი დგომაში. იუპიტერამდე მანძილი მინიმალური იყო 22 აპრილს ($663,8 \cdot 10^7$ კმ) და 8 მაისს ($662,5 \cdot 10^7$ კმ). ამის შემდეგ მანძილი თანდათან იზრდება. ამასთან, ასტრონომიული დაკვირვებებით დადგინდა, რომ კომეტას ჰქონდა კუდი, რომელიც განფენილი იყო 28" (ე.ი. ~ 100000 კმ-ზე).

მეორეს მხრივ, ცნობილია, რომ საპლანეტათმორისო მაგნიტურ ველს აქვს არქიმედეს სპირლის ფორმა, რომლის განტოლებასაც აქვს სახე:

$$\varphi = \frac{2\pi r}{Vt} \quad (4-10)$$

ასე მაგალითად, დედამიწის ორბიტის მანძილზე ($r=1,5 \cdot 10^{11}$ კმ) მაგნიტური ველის დახრის კუთხე რადიუს ვექტორისადმი შეადგენს $\sim 50^\circ$. ამასთან, არქიმედეს ხვიის

ფორმის საპლანეტათშორისო მაგნიტური ველი ერთ სრულ ბრუნს (ერთ ხვიას) ასრულებს ყოველ 6ა.ე. მანძილზე. მაშასადამე, საპლანეტათშორისო მაგნიტური ველის ძალწირი აუცილებლად მოხვდება იუპიტერის მაგნიტოსფეროს კუდის მიდამოებში, ხოლო დედამიწის მაგნიტოსფეროს ის არ გადაჰკვეთს (არ შეუერთდება). ასე, რომ ერთი შეხედვით შეუძლებელია იუპიტერის მაგნიტოსფეროდან ამორტყორცნილი ნაწილაკების უშუალო მოხვედრა დედამიწის მაგნიტოსფეროში.

ჩავწერთ არქიმედეს სპირალის განტოლება ზოგადი სახით და მოვიყვანოთ მისი ზოგიერთი მახასიათებლები. ამრიგად, გვაქვს

$$r=ap.$$

სადაც, $a = \frac{K}{2\pi}$ - არის წანაცვლება (ანუ არქიმედეს სპირალის პარამეტრი), ხოლო K - ხვიის ბიჯია (ნაბიჯია). ამასთან, არქიმედეს სპირალის გეომეტრიულ მახასიათებელს წარმოადგენს ის, რომ ხვიებს შორის მანძილი ტოლია და თითოეული მათგანი ტოლია $2\pi a$ -სი. გამოვთვალოთ არქიმედეს სპირალის პარამეტრი a ჩვენი შემთხვევისათვის; ვინადან ხვიის ბიჯი ჩვენ შემთხვევაში არის 6 ა.ე. (ე.ი. $K=6$ ა.ე.), ამიტომ

$$a = \frac{K}{2\pi} = 6 \text{ ა.ე.} / 6,28 = 0,955 \approx 1 \text{ ა.ე.}$$

ამის შემდეგ ადვილად შეგვიძლია ვიპოვოთ არქიმედეს სპირალის (ანუ საპლანეტათშორისო მაგნიტური ველის) მთელი რიგი პარამეტრები:

1. ვიპოვოთ არქიმედეს სპირალის რკალის სიგრძე პირველი ხვიის საწყისიდან ბოლომდე:

$$\ell = \pi a \sqrt{1 + 4\pi^2} + \frac{a}{2} \ln(2\pi + \sqrt{1 + 4\pi^2}) \approx 20a \approx 2 \cdot 10^9 \text{ კმ.}$$

2. ვიპოვოთ ფართობი, რომელსაც შემოწერს არქიმედეს სპირალის პოლარული რადუსის მისი ერთი ბრუნის დროს, თუ მოძრაობის საწყისს ეთანადება $\varphi=0$. ამრიგად

$$S = \frac{\pi a^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (15 \cdot 10^7)^2}{4} \approx 1,7 \cdot 10^{16} \text{ კმ}^2.$$

ამრიგად, იუპიტერის მაგნიტოსფეროდან ამოყრილ ნაწილაკებს დედამიწის მაგნიტოსფეროში მოხვედრამდე უნდა გაევიდეთ დაახლოებით 3 მილიარდი კილომეტრი, რის გავლასაც სინათლის სიჩქარით მოძრავი ნაწილაკი ($V \approx 0,99C$) მოანდომებდა დაახლოებით 2,7 სთ. თუ გავითვალისწინებთ, რომ ეს დრო სულ მცირე

35 წუთით მეტია რეგისტრირებულ დროსთან შედარებით და გარდა ამისა, ნაწილაკები უშუალოდ ვერ მოხვდებოდნენ დედამიწის ღამის მაგნიტოსფეროში ისე, თუ არ შეიცვლიდნენ ტრაექტორიას, თანაც ისინი აუცილებლად შენელებოდნენ საპლანეტათშორისო სივრცეში მოძრაობის დროს, ვიდრე ჩვენამდე მოაღწევდნენ, ამიტომ აუცლებელია ვივარაუდოთ, რომ მოხდებოდა მათი ურთიერთქმედება საპლანეტათშორისო მაგნიტური ველის არაერთგვაროვნებებთან, რომელთა მახასიათებელი ზომაც ტოლია $L \approx 10^{10} - 10^{11}$ სმ. მაშასადამე, საპლანეტათშორისო სივრცეში არსებულ მაგნიტური ველის არაერთგვაროვნებებთან ურთიერთქმედების შედეგად იუპიტერის მაგნიტოსფეროდან ამოყრილი რელატივისტური ნაწილაკები შეიცვლიდნენ ტრაექტორიას და გარკვეულწილად აჩქარდებოდნენ კიდევ (ე.წ. ფერმის მექანიზმის ხარჯზე), რის შემდეგაც შესაძლებელი იქნებოდა ასეთი ნაწილაკების მიღწევა დედამიწის მაგნიტოსფეროში.

ამრიგად, როგორც ზემოთ ჩატარებული ანალიზი აჩვენებს, იუპიტერის მაგნიტოსფეროდან ამოყრილი ნაწილაკების მოხვედრა დედამიწის ღამის მაგნიტოსფეროში მცირე ალბათურია, მაგრამ არა შეუძლებელი, რასაც ადასტურებს ჩვენს მიერ რეგისტრირებული შემფოთების არსებობა. ამასთან, ცხადია, რომ მოცემულ შემთხვევაში კომეტის ვარდნის შედეგად წარმოქმნილი შემფოთების რეგისტრირება გეომაგნიტური პულსაციების დიაპაზონში განპირობებულია არა მარტო პლანეტა იუპიტერის და დედამიწის ურთიერთგანლაგებით, არამედ ამ დროს საპლანეტათშორისო სივრცეში არსებული მდგომარეობით. ამ საკითხთან დაკავშირებით აღსანიშნავია ერთი ფაქტიც, კერძოდ, კომეტის იუპიტერთან დაჯახების წინა დღეს აღინიშნა საკმოდ ინტენსიური მაგნიტური ქარიშხალი, მაგრამ იგი ვერ მოახდენდა გავლენას წამოსული ნაწილაკების ნაკადზე. ჯერ ერთი, იუპიტერამდე, მისვლას მზის ქარი ანდომებს დაახლოებით 8-10 დღე, ჩვენ კი შემფოთება დავაფიქსირეთ ქარიშხლიდან დაახლოებით 14 საათის შემდეგ; მეორეც, თუ ჩავთვლით, რომ მზის ქარი მოძრობდა მაქსიმალური სიჩქარით ~ 1000 კმ/წმ; იგი 14 საათში გაივლიდა ~ 50 მილიონ კილომეტრს, რაც აშკარად მცირეა იუპიტერიდან დედამიწამდე მანძილზე, მაგრამ ($10^2 - 10^3$) ჯერ აღემეტება საპლანეტათშორისო სივრცეში არსებული მაგნიტური არაერთგვაროვნებების ზომებს. ამასთან, არაა გამორიცხული, რომ მათ გარკვეული

ზეგავლენა მოეხდინა ნაწილაკების ტრაექტორიასა და ინტენსიობაზე. კერძოდ, შეესრულებინა ეგრეთ წოდებული მაგნიტური სარკის როლი.

4.7. დასკვნები მეოთხე თავის მიხედვით

მოცემული სადისერტაციო ნაშრომის მეოთხე თავში განხილული იქნა შუმეიკერ-ლევო 9 კომეტის პლანეტა იუპიტერთან შეჯახება და მის შედეგად დედამიწის მაგნიტოსფეროში და საპლანეტათშორისო სივრცეში წარმოქმნილი შემფოთებები. ზემოთ მოყვანილი განხილვიდან გამომდინარე შეგვიძლია დავასკვნათ:

1. შეჯახებიდან დაახლოებით 2 საათის შემდეგ მოხდა დედამიწის ღამის მაგნიტოსფეროს არსებითი შემფოთებები, რაც დამზერილი იქნა უშუალოდ თითქმის 2 საათის განმავლობაში.
2. ხსენებული შემფოთების წარმოშობა ჩვენს მიერ [95] ახსნილი იქნა იუპიტერის მაგნიტოსფეროდან ამოყრილი ნაწილაკების მოსვლით დედამიწის მაგნიტოსფეროდან, რის შედეგადაც გაიზარდა გეომაგნიტური ველის შემფოთებები. ამ მოსაზრების დასადასტურებლად შემოთავაზებული იქნა შესაბამისი ფიზიკური და მათემატიკური მოდელი, რის შემდეგაც მოხერხდა იუპიტერის ატმოსფეროსა და საპლანეტათშორისო სივრცის ზოგიერთი მახასიათებელი სიდიდეების გამოთლვა, რასაც არსებითი მნიშვნელობა ექნება შემდგომი სამუშაოების ჩასატარებლად. მიღებულ შედეგებს დიდი მნიშვნელობა აქვს საპლანეტათშორისო სივრცეში ნაწილაკების აჩქარების და ტრაექტორიების უკეთ შესწავლისათვის. თუმცა, აქ განხილული საკითხები მოითხოვს შემდგომ შესწავლას არა მარტო თეორიული, არამედ ექსპერიმენტული კუთხითაც.

ძირითადი დასკვნები

1. გაზომვის ახალი მეთოდის საშუალებით საქართველოში მომხდარი მძლავრი მიწისძვრების (მაგნიტუდით $M \geq 5$) წინა პერიოდში რეგისტრირებული იქნა გეომაგნიტური და გეოელექტრული ველის მკვეთრი ვარიაციები, რომლებიც დაკავშირებული იყო გეოტექტონიკურ პროცესებთან. ამასთან, აშკარად აღინიშნა როგორც მექანოელექტრული პროცესებით გამოწვეული შემფოთებები, ასევე იონოსფეროსა და მაგნიტოსფეროში აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღების გავლის შედეგად წარმოქმნილი შემფოთებები. გარდა ამისა, ახლომდებარე მიწისძვრებისათვის აღინიშნა გეოელექტრული ველის ვერტიკალური მდგენელის E_z -ის მომატება.
2. გაზომვის ახალი მეთოდით მიღებულ ექსპერიმენტულ მასალაზე დაყრდნობით ნავარაუდები იქნა, რომ ეპიცენტრალურ ზონაში უფრო ალბათურია მექანოელექტრული გარდაქმნების შედეგად იონოსფეროში შემფოთებების წარმოქმნა, ხოლო შორეულ ზონაში კი იონოსფერული შემფოთებების გამოწვევა აკუსტიკურ-გრავიტაციული ტალღებით.
3. გაზომვის ახალი მეთოდით დადგენილი იქნა, რომ რეგულარულ პულსაციებს აქვთ საკმაოდ ფართო მაქსიმუმი 08.00--16.00LT შუალედში. ამ რხევათა ყველაზე მეტი რაოდენობა მოდის შუადღეზე 14.00LT მახლობლობაში, ხოლო მათი მინიმუმი მოდის შუადამეზე. ამ სახის პულსაციების წარმოშობის სიხშირე და ამპლიტუდა იცვლება ჰელიოგეოფიზიკური სიტუაციის ცვლილების მიხედვით ირეგულარული პულსაციებიდან ძირითადად რეგისტრირდებოდა P_{12} სახის გეომაგნიტური პულსაციები. მათი წარმოშობა ძირითადად ხდებოდა ღამის საათებში. ამასთან, მათი ამპლიტუდა კორელირებს მაგნიტოსფეროში მიმდინარე პროცესებთან.
4. გაზომვის ახალი მეთოდით შესწავლილი და გაანალიზებული იქნა მძლავრი და ხანგრძლივი მაგნიტური ქარიშხლების ბიოსისტემებზე ზემოქმედების შესაძლებლობები, რის საფუძველზეც გაკეთდა დასკვნა, რომ არსებოს ორი სახის ზემოქმედება: ა) გეომაგნიტური ველის უშუალო ზემოქმედება ადამიანის

- სხვადასხვა ორგანოზე; ბ) სხვადასხვა სახის აირების კონცენტრაციის გაზრდის ზეგავლენა ბიოსისტემებზე.
5. გაზომვის ახალი მეთოდით 1994 წლის 16-22 ივნისს კაცობრიობის ისტორიაში პირველად დაიმზირა ორი ციური სხეულის ნაწინასწარმეტყველები დაჯახება. კერძოდ შუმეიკერ-ლევნი 9 კომეტის ოცამდე ნამსხვრევი 65 კმ/წმ-ზე მეტი სიჩქარით შეიჭრა იუპიტერის ატმოსფეროში, რამაც გამოიწვია უძლიერესი შემფოთებები მის მაგნიტოსფეროში. აღნიშნულ შემფოთებათა გავლენა დედამიწის მაგნიტოსფეროზე რეგისტრირებული იქნა ჩვენს მიერ. შუმეიკერ-ლევნი 9 კომეტის პლანეტა იუპიტერთან შეჯახება აისახა დედამიწის მაგნიტოსფეროსა და საპლანეტათშორისო სივრცეში მიმდინარე პროცესებზე. კერძოდ, შეჯახებიდან დაახლოებით 2 საათის შემდეგ რეგისტრირებული იქნა P₃₃ სახის გეომაგნიტური პულსაცია. ხსენებული შეჯახების (ჩვენი ინფორმაციით) მიერ გამოწვეული ელექტრომაგნიტური შემფოთებები ჰერცულ დიაპაზონში (ჰერშელის დაპაზონში) არ ყოფილა რეგისტრირებული ევროპის არც ერთ ობსერვატორიაში, რაც შეიძლება მიჩნეული იქნას პრიორიტეტულ შედეგად.
6. გაზომვის ახალი მეთოდით რეგისტრირებული შემფოთების ასახსნელად პირველად შემოთავაზებული იქნა შესაბამისი ფიზიკური და მათემატიკური მოდელი, რის შემდეგაც მოხერხდა იუპიტერის ატმოსფეროსა და საპლანეტათშორისო სივრცის ზოგიერთი მახასიათებელი სიდიდის (პარამეტრის) გამოთვლა. მიღებულ შედეგებს დიდი მნიშვნელობა აქვს საპლანეტათშორისო სივრცეში ნაწილაკების აჩქარებისა და ტრაექტორიების დაზუსტებისა და მიმდინარე პროცესების უკეთ შესწავლისათვის.

ლიტერატურა

1. ლ. ხვედელიძე, ა. გაბეშია – მიწისძვრის ელექტრომაგნიტური წინამორბედების ბუნების შესახებ. რესპუბლიკური სემინარი: მიწისძვრის გამომწვევი მიზეზები და მათი წინამორბედები.
მოხსენებათა თეზისები. ქუთაისი, 1993წ., გვ. 18-19.
2. თ. ადეიშვილი, ლ. ხვედელიძე, ი. მამაგეიშვილი – გეომაგნიტური ველის შემფოთებების ადამიანის ჯანმრთელობაზე შესაძლო გავლენის შესახებ. რესპუბლიკური V სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია (მასალები) – ქუთაისი: 1997 წ., გვ. 133-137.
3. თ. ადეიშვილი, ლ. ხვედელიძე – გეომაგნიტური პულსაციების საშუალებით საშუალო განედებზე პოლარული ნათების რეგისტრაციის ერთი მეთოდის შესახებ. ქუთაისის სახელმწიფო ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები: №1 (12), ქუთაისი. საქართველო, 2003წ. გვ. 42-45.
4. ლ. ხვედელიძე, ა. გაბეშია – დაბალსიხშირულ დიაპაზონში სეისმოიონოსფერული ეფექტების წარმოქმნის შესაძლებლობების შესახებ. ქუთაისის სახელმწიფო ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები. №1 (12), ქუთაისი. საქართველო, 2003წ. გვ. 92-96.
5. თ. ადეიშვილი, ლ. ხვედელიძე – გეომაგნიტური ველის შემფოთებებით გამოწვეული ეკოლოგიური ეფექტები. ქუთაისის სახელმწიფო ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები. №1 (12), ქუთაისი. საქართველო, 2003წ. გვ. 40-42.
6. თ. ადეიშვილი, ლ. ხვედელიძე, ზ. შაშიაშვილი – აქტინომეტრული გაზომვები და კონტროლი როგორც მიწისძვრის წინამორბედთა გამოვლენის ერთ-ერთი მეთოდი. ქუთაისის სახელმწიფო ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები. №2 (15), ქუთაისი. საქართველო, 2004წ. გვ. 150-153.
7. თ. ადეიშვილი, ლ. ხვედელიძე, ა. წერეთელი, მ. ბარდაველიძე – გეომაგნიტური ველის დამაბულობასა და მიწისქვეშა წყლებში რადონის ვარიაციის ურთიერთ კავშირი სეისმოაქტიურ პერიოდში. ქუთაისის სახელმწიფო ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები. №16 (1), ქუთაისი. საქართველო, 2005წ. გვ. 147-150.

8. თ.ადეიშვილი,ლ.ხვედელიძე,ლ.კოპალიანი,ნ.ოდელაძე---გადამცემი ანტენის მიერ გამოსხივებული ელექტრომაგნიტური ველის შესაძლო ზემოქმედება ბიო სისტემებზე. ქუთაისის სახელმწიფო ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები. №1 (14), ქუთაისი. საქართველო, 2004წ. გვ. 179-183.
9. თ.ადეიშვილი, ლ.ხვედელიძე, ზ.შაშიაშვილი---შესაძლო კავშირი მიწისძვრის ელექტრომაგნიტურ და გეოქიმიურ წინამორბედთა გამომწვევ მექანიზმებს შორის. ქუთაისის სახელმწიფო ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები. №1 (14), ქუთაისი. საქართველო, 2004 წ. გვ. 201-207.
10. თ. ადეიშვილი, თ. გვალია, მ. ვერულაშვილი, ლ. ხვედელიძე - შუმეიკერ-ლევის კომეტის პლანეტა იუპიტერთან დაჯახება და მისი გავლენა დედამიწის გეომაგნიტურ ველზე.ქუთაისის პედაგოგიური ინსტიტუტი "ლამპარი". პროფესორ-მასწავლებელთა პირველი საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის შრომები. 2008 ქუთაისი. გვ.13-15.
11. ნ. ხვედელიძე, ი. გოგატიშვილი – დედამიწის ელექტრომაგნიტური ველის კვლევის ზოგიერთი საკითხები. I (XXIII), თბილისი, მეცნიერება, 1965წ.
12. შ. საბაშვილი – ლექციების კურსი ასტრონომიაში. თბილისი, თსუ, 1989წ.
13. თ. ადეიშვილი – სადოქტორო დისერტაცია. თბილისი. 1995წ.
14. ასტრონომიული კალენდარი. 1994წ. თბილისი, მეცნიერება. რედ. შ. საბაშვილი.
15. Т. Адеишвили, Л. Хведелидзе – Об одном методе регистраций полярных сияний на средних широтах с помощью геомагнитных пульсаций. Научные чтения «белые ночи». Санкт-Петербург, 1997г. Ст. 287.
16. Т. Адеишвили, Л. Хведелидзе, И. Гоголашвили, И. Мамагеишвили – О влиянии естественной радиоактивности на здоровье человека. International journal on immunoreablitation, number 8, Moscow, Russia, 1998, p. 677
17. М.И.Пудовкин, О.М.Распопов, Н.Г.Клейменова – Возмущения электромагнитного поля земли. Т.2 (короткопериодические колебания геомагнитного поля). Изд. ЛГУ. Ленинград, 1976, с. 271.
18. А.И.Ершкович, Г.А.Скуридин, В.П.Шалимов – Некоторые проблемы физики магнитосферы. Сб. Статей «Межпланетная среда и физика магнитосферы». Изд. Наука. М, 1972, с. 3-25.
19. З.Л.Лайонс, Д.Уильямс – Физика магнитосферы. М. Мир. 1987.

20. В.Хесс – Радиационный пояс и магнитосфера. М. 1972.
21. Х.Редерер – Динамика радиации, захваченной геомагнитным полем. М. Наука, 1972.
22. В.Гульельми – Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферной плазмы. М. Наука, 1979.
23. З.С.Шарадзе, Г.А.Джапаридзе, Т.Г.Матиашвили, Н.В.Мосашвили – Известия АН СССР, сер. Физика земли, 1989, №1, с. 20-31.
24. З.С.Шарадзе, Г.А.Джапаридзе, З.К.Жвания, Н.Д.Квавадзе и др. – Известия АН СССР, сер. Физика земли, 1991, №11, с. 106-116.
25. Электромагнитные предвестники землетрясений. Под ред. М.А.Садовского. М. Наука, 1982, с. 89.
26. Поиск электромагнитных предвестников землетрясений. Под ред. М.Гохберга, М. ИФЗ. 1988, с.134.
27. Г.А.Мавлянов, В.И.Уломов, К.Н.Абдуллабеков и др. – Аномальные вариации геомагнитного поля в восточной Фергане – предвестник Алайского землетрясения, 2.XII. 1978 – Док. АН. СССР. 1979, Т. 146, №2, С. 294.
28. О.В.Большакова, В.А.Троицкая – Геомагнетизм и аэрономия, 1984, №5, с. 776.
29. Э.Т.Матвеева, В.А.Троицкая, Е.З.Феигин -- Геомагнетизм и аэрономия, 1985, №3, с. 428.
30. В.А.Троицкая, Е.З.Феигин и др. -- Геомагнетизм и аэрономия, 1986, т. 26, №3, с. 524.
31. Н.Н.Гершензон, М.Б.Бохберг – О методике выделения эффектов изменения геомагнитного поля в связи с сейсмичностью – Геомагнетизм и аэрономия, 1984, т. 24, №1, с. 99-104.
32. Г.А.Мавлянов, В.И.Уломов и др. – Узбек. Геолог. Журнал, 1979, №2, с. 26-29.
33. И.М.Пудовкин, М.М.Погребников, В.И.Почтаров, Г.Г.Бекжанов – О прямой связи геомагнитных вариаций с землетрясениями. – ДАН. СССР, т. 208, №5, с. 1074-1077, 1973.
34. Н.Г.Гогатишвили – Геомагнитные предвестники интенсивных землетрясений в спектре геомагнитных пульсаций о частотами 1-0,02гц. – Геомагнетизм и аэрономия, 1984, т. 24, №4, с. 697.
35. Я.Г.Бирфельд – О ионосферно-сейсмической связи и возможности использования для ионосферного прогнозирования землетрясении. В кн: Поиски предвестников землетрясений на прогностических полигонах. М.Наука, 1974.

36. И.С.Зубков, Н.И.Мигунов – Геомагнетизм и аэрономия, 1975, т. 16, №6, с. 1070-1074.
37. С.А.Алимов, М.Б.Гохберг, Е.В.Липеровская и др. – Док. АН СССР, 1989, т. 305, №6, с. 1335-1339.
38. В.А.Липеровский, О.А.Похотелов, Е.В.Липеровская и др. – ДАН Доссии, 1993, т. 330, с. 372-375.
39. В.И.Уломов – Световые эффекты и электрические явления, сопровождающее землетрясения. В КН: Ташкентское землетрясение 1966 года. Ташкент, ФАИ. 1971, с. 182.
40. В.И.Ларкина, В.А.Липеровский, О.М.Молчанов и др. -- Геомагнетизм и аэрономия, 1983, т. 23, #4.
41. М.Б.Гохберг, В.А.Пилипенко, В.А.Похотелов – ДАН СССР, 1983, т. 268, №1, с. 56-59.
42. Я.Г.Бирфельд – Открытие советских учених.
43. М.Б.Гохберг, И.Л.Гуфельд и др. – Изв. АН СССР, сер. Физика земли, 1985, №1, с. 72-87.
44. М.Б.Гохберг, В.А.Липеровский и др. – Вестник. АН СССР, 1987, №3, с. 54.
45. М.Б.Гохберг, А.М.Булошников и др. -- Изв. АН СССР, сер. Физика земли, 1985, №6, с. 578.
46. И.Л.Гуфельд, В.Н.Шулейкин – Изв. АН СССР, сер. Физика земли, 1988, #2, с. 81-84.
47. Mizutani. H. Ishido T. Yjkokura T. et al. – Geophys. Res. Lett. 1976, v. 3 p. 365.
48. Н.И.Мигунов, Г.А.Соболев, А.А.Хромов – Изв. АН СССР, сер. Физика земли, 1984, №7, с. 55-63.
49. Pierce E.T. – Geophys. Res. Lett. 1976. V3, №3, p. 185-188.
50. Ц.М.Ралчовский, Л.Н.Комаров – Изв. АН СССР, сер. Физика земли, 1988, №11, с. 72-77.
51. И.А.Мулаев – ДАН СССР, 1977, т. 236, №5, с. 1102-1104.
52. В.Ц.Альшиц, В.Л.Инденбом – УФН, 1975, т. 115, вип. 1, с. 3.
53. В.Н.Потураев, А.Ф.Бумат, В.К.Хохолев -- ДАН СССР, 1989, т. 308, №6, с. 1351-1354.
54. А.Н.Султанходжаев, С.С.Хусамидинов -- ДАН СССР, 1988, т. 301, с. 1087-1090.
55. М.Е.Перельман, Н.Г.Хатиашвили -- ДАН СССР, 1983, т. 271, №1, с. 80-83.
56. Б.С.Каррыев и др. -- ДАН СССР, 1986, т. 290, №1, с. 69-71.
57. Б.Г.Дьяконов и др. -- ДАН СССР, 1985, т. 282, №1, с. 34-37.
58. В.И.Мячкин и др. – В КН: Физика очага землетрясений. М. Наука, 1975, с. 6-29.

59. Л.С.Алперович, М.Б.Гохберг, В.И.Дробжев и др. – Изв. АН СССР, сер. Физика земли, 1985, №11, с. 5-9.
60. В.А.Моргунов, Е.А.Герасимович, И.В.Матвеев и др. – Изв. АН СССР, сер. Физика земли, 1988, №11, с. 95-103.
61. В.В.Белоусов – Основы геотектоники. М. Наука, 1975.
62. М.А.Садовский и др. -- Изв. АН СССР, сер. Физика земли, 1982, №12, с. 3-18.
63. Д.И.Сихарулидзе, Т.И.Тутберидзе – Прогноз землетрясений. Дониш, Душанбе, 1984, с. 54.
64. И.Л.Гуфельд, И.П.Добровольский – ДАН СССР, 1981, т. 266, №1, с. 51-54.
65. А.Ф.Александров, Н.С.Богданкевич, А.А.Рухадзе – Основы электродинамики плазмы. М. Высшая школа, 1988, с. 424.
66. М.Б.Виноградова, О.В.Руденко, А.П.Сухоруков – Теория волн. М. Наука, 1979, с. 383.
67. Г.Ф.Крымский, И.А.Транский – В сб: Исследование по космофизике и аэрномии. Якутск, 1975, с. 36.
68. Е.Паркер – Динамические процессы в межпланетной среде. М. Мир. 1965, с. 362.
69. A.J.Hundhausen – “Solar Wind”, Proc. Conf. NASA, 1971, Washington, 1972, p. 393/
70. Н.А.Начкебия, О.Г.Рогава, Л.Х.Шаташвили – Квазипериодические вариации космических лучей и солнечно-земные явления. Тбилиси, Мецниереба, 1991, с. 96.
71. Chapman S. Bartels J. – Geomagnetism. Oxford, 1940, p. 240.
72. А.М.Чхетия – Результаты исследования основных геофизических явлений комплексной проблемы солнечно-земных связи. Тбилиси, Изд. GCI. 1998, С. 258.
73. Snyder C.W. Neugbauer M. Rao U.R. – J. Geophys. Res. 1963, v. 68, p. 63-61.
74. Ю.И.Витинский, А.И.Оль, Б.И.Сазонов – Солнце и атмосфера земли. Гидрометеиздат. Ленинград, 1976, с. 350.
75. К.А.Куликов, Н.С.Сидоренков – Планета земля. М.Наука, 1977, с. 190.
76. Kato G. Watanabe T. J. Geophys. Res. 1958, v. 63, №4.
77. М.С.Бобров – Геомагнетизм и аэрномия. 1984, т. 24, №3, с. 518.
78. А.В.Гульельми, А.Л.Калишер, Т.Б.Русакова – Геомагнетизм и аэрномия, 1989, т. 29, №1, с. 33.
79. Branc. M. Tomas D.V. Williams P.T. – J. Atmosph. Terr. Phys. 1980, v. 42, p. 407.
80. А.С.Потапов, Т.Н.Полюшкина -- Геомагнетизм и аэрномия, 1989, т. 29, №3, с. 394.
81. А.В.Гульельми, К.Г.Иванов -- Геомагнетизм и аэрномия, 1984, т. 24, №3, с. 489.
82. А.Д.Сытинский – ДАН СССР, 1979, т. 245, №6, с. 1337.

83. А.Д.Сытинский – Изв. АН СССР, сер. Физика земли, 1989, №9, с. 13.
84. О.В.Лурсманашвили, А.Д.Гахокидзе, Л.Г.Руда – Сообщения АН ГССР, 1987, №2, с. 227.
85. С.И.Брагинский, В.М.Фишман -- Геомагнетизм и аэрономия, 1978, т. 18, №1, с. 135.
86. С.М.Крилов, В.Т.Левшенко, О.С.Поляков – ДАН СССР, 1991, т. 319, №2, с. 328.
87. А.П.Дубров – Геомагнитное поле и жизнь. Гидрометеиздат, Ленинград, 1974, с. 175.
88. Л.И.Мирошниченко – Солнечная активность и земля. М. Наука, 1981, с. 144.
89. Р.Б.Поль – Учение об электричестве. Физ. Мат. Гиз. 1962, с. 518.
90. Н.В.Павлович, Ю.И.Павлович, Ю.А.Галлиулин – Биомагнитные ритмы. Минск. Университет. 1991.
91. Ю.А.Холодов – Магнетизм в биологии. М. Наука. 1974.
92. А.Э.Шеми-заде – В КН: Космос и метеорология. М. Наука, 1987.
93. Б.В.Анисимов – Сб: Проблемы космической биологии. Т. 42, 1980, с. 68-80.
94. Д.Ф.Харчилава, А.Г.Амиранашвили – Исследование вариаций атмосферного озона в Грузии. Москва, 1988, с. 112.
95. Adeishvili T. Gobeshia A. Khvedelidze L. Kopaliani L. – Bull. Geor. Acad. Sci, 1996, v. 190, p. 220.
96. Всероссийская конференция с международным участием: -- Программы наблюдений высокоорбитальных спутников земли и небесных тел солнечной системы – Тезиси докладов, 13-15 декабря, 1994, с. 130, ИТА РАН Санкт-Петербург.
97. Д.Я.Мартынов – Курс общей астрофизики. М. Наука, 1988.
98. Физика космоса (Маленькая энциклопедия). Под. ред. Г.А.Сюняева. М. Соб. энциклопедия, 1986, с. 783.
99. А.П.Кропоткин – Геомаг. и аэрономия. 1989, т. 29, №3, с. 452.
100. А.В.Кулаков, А.А.Румянцев – Введение в физику нелинейных процессов. М. Наука, 1988, с. 272.
101. Э.Т.Матвеева, В.А.Троицкая, Ф.З.Фейгин -- Геомаг. и аэрономия, 1985, т. 25, №3, с. 428.
102. С.В.Большакова, В.А.Троицкая -- Геомаг. и аэрономия, 1984, т. 24, №5, с. 776.
103. Б.А.Богаряцкий – Астрон. журн. 1958, т. 35, №2, с. 227.
104. Наука и жизнь. 1996, №9, с. 13 (Новости науки).
105. Adeishvili T. Khvedelidze L. et all. – Bull. Georg. Acad. Sci. vol. 165, №1, p. 52 (2002).
106. А.А.Румянцев, А.Г.Чурков – Журн. технич. физики, 1983, т. 53, №37, с. 1261.

107. Г.Ф.Кримский – ДАН СССР, 1977, т. 234, с. 1306.
108. М.А.Волков, В.Б.Ляцкий,Ю,П,Мальцев—Геомаг,и аэрономия, 1985, т. 25, с. 829.
109. Т,Г, Адеишвили,Л,Л,Хведелидзе,А,А,Апциаури,М,С,Бардавелидзе—Воздействие геомагнитных бурь на здоровье человека,Аллергология и иммунология,Т,7,№1,Москва,2006,с,164-165,
110. Т,Г,Адеишвили,Л,Л,Хведелидзе,М,С,Бардавелидзе---О возможной связи повышенной концентрации геохимических компонентов состава Земли с некоторыми асматическими заболеваниями человека во время сильных землетрясений, Аллергология и иммунология,Т,7,№1,Москва,2006,с,165,
111. Т.Adeishvili,L.Khvedelidze,М.Bardavelidze,A.Gabeshia---One physical Model of an increase in Carbon Dioxide concentration in the upper layer before strong earthquarkes.—Bull.Acad.Sci.Georgia.V.174 №2 2006P.276-278. Tbilisi.