

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის

ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

შოშრო № IHM-20-44- GTU-CD-5702

„კამბეკინგ“

დირექტორი

ტიმ. აკად. დოქტორი

----- თ.ცინცაძე

25 დეკემბერი 2020

შპს: 551.501.8

**ამინდის და კლიმატის რეგიონალური მრავალმოდულიანი
საპროგნოზო მეთოდების დამუშავება საქართველოს პირობებისათვის
(2018-2020)**

(დასკვნითი ანგარიში)

ამინდის პროგნოზირების, ბუნებრივი
და ტექნოგენური კატასტროფების
მოდელირების განყოფილების გამგე
ფიზ.-მათ. აკად. დოქტორი

მ. ტატიშვილი

თბილისი - 2020

შემსრულებლები

პროექტის ხელმძღვანელი- ტატიშვილი მარია

შემსრულებლები:

უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი- ხვედელიძე ზურაბი

მეცნიერი თანამშრომელი-სამხარაძე ინგა

მეცნიერი თანამშრომელი-დემეტრაშვილი დემური

მეცნიერი თანამშრომელი-მკურნალიძე ირინე

მეცნიერი თანამშრომელი-ფალავანდიშვილი ანა

რეზიუმე

მზის ქარი, კორონალური მასიური ამოფრქვევები (CMEs), მზის ენერგეტიკული ნაწილაკები (SEPs) წარმოქმნიან კოსმოსურ ამინდს გეო-სივრცეში. მათ შეუძლიათ წარმოიქმნას შემდეგი სახის ზემოქმედებები: საფრენი აპარატების ელექტრობის ცვლილება, ვან ალენის რადიაციული ღვედის წანაცვლებები, დაგეგმილი კოსმოსური ფრენების ტრაექტორიის ცვლილებები, სანავიგაციო სისტემების დაზიანება და ცდომილება, ელექტროენერჯის ბლოკირება, ნავთობ-გაზის მილსადენის კოროზია, ელექტრო შოკის საშიშროება, ელექტრო ხანძარი, გულ-სისხლძარღვთა დაავადებების გამწვავება და საგზაო შემთხვევები.

კვლევის მიზანია მაგნიტური ქარიშხლების შესაძლო გავლენის შესწავლა ატმოსფეროში მეტეოროლოგიური პროცესების განვითარებაზე და მეტეოროლოგიური პარამეტრების ცვლილებებზე. მზის ქარით გამოწვეული მეტეოროლოგიური მოვლენები ამჟამად ამინდის და კლიმატის მოდელებში ცუდად არის წარმოადგენილი.

გეომაგნიტური ინდექსები გეომაგნიტური აქტივობის ზომას, რომლებიც ხდება დროის მოკლე შუალედში. **dst**, **kp**, და **aa** ინდექსები და შტორმამდე და შტორმის შემდეგ 3 დღის მეტეოროლოგიური პარამეტრების (ტემპერატურა, ნალექი, ქარი) დაკვირვების მონაცემები და სინოპტიკური რუკები გამოიყენება კორელაციური ანალიზისთვის. ატმოსფეროში მიმდინარე ნაწილაკების დაჯახებისთვის შექნილია ტალღური მოდელი რეზონანსული გაცვლითი ფოტონის გათვალისწინებით. ატმოსფერული კლასტერებისთვის მიღებულია მაკრონაწილაკებს შორის ვან-დერ-ვაალსის ძალისთვის ურთიერთქმედების პოტენციალის გამოსახულება. ატმოსფერო წარმოიდგინება, როგორც სხვადასხვა დონეებზე მყოფი კლასტერების ერთობლიობა, რომლებიც ენერჯების შთანთქმა-გამოსხივებით ურთიერთქმედებენ. დედამიწის გარემომცველი გარემო განახლებადი ენერჯიის ერთ-ერთი შესაძლო წყაროა, რომლის გამოყენებაც ახალ ენერჯო მატარებლებზე გადასვლის შესაძლებლობაა.

შინაარსი

შესავალი

თავი 1. მზის ციკლები

თავი 2. მზის ინდექსები

თავი 3. გეო-მაგნიტური ინდექსები

თავი 4. კლიმატის ცვლილება

თავი 5. ატმოსფერული ელექტრობა

თავი 6. მზის და კოსმოსის გავლენა ატმოსფერულ პროცესებზე: მზის ციკლების გავლენა

თავი 7. გეო- შტორმი და იონოსფერო- ატმოსფერო დაწყვილება

თავი 8. მონაცემების ანალიზი და დასკვნა

დანართი

შესავალი

მზეზე გამოვლენილი მოვლენები; მზის ალები მასიური კორონალური ამოფრქვევები, (CMEs), მზის ენერგეტიკული ნაწილები (SEPs) არიან ფართომასშტაბიანი ამინდის წარმოქმნელები გეო- სივრცეში. როდესაც პლანეტური გიგანტური ღრუბელი იფრქვევა მზის ტრანზიტული მოვლენებიდან, ის ურთიერთქმედებს დედამიწის მაგნიტურ გარემოსთან. გეომაგნიტური შტორმები (Geomagnetic storms) შეიძლება დახასიათდეს გეომაგნიტური სფეროს კომპონენტის დეპრესიით. დედამიწის მაგნიტური ველის კომპონენტის ეს დეპრესია გამოწვეულია წრიული დენებით, რომლებიც გარს უვლის დედამიწას დასავლეთის მიმართულებით. დედამიწის იონოსფერო პასუხობს მზისა და მაგნეტოსფეროს სხვადასხვა მოვლენებს. იონოსფეროს ელექტრონების სიმკვრივის სიმაღლე და ადგილმდებარეობა დამოკიდებულია მზის ულტრაიისფერი ნაკადის, რენტგენის სხივების ნაკადის და ნეიტრალური ქარების და ელექტრული ველის დინამიური ეფექტის ცვალებადობაზე. გეომაგნიტური შტორმის დროს, დედამიწის მაგნეტოსფეროს დაწნეხვის გამო მზის ქართ, ელექტრული ველები ფიქსირდება გეომაგნიტური ველის ძალწირების მთელი სიგრძის გასწვრივ მაღალი განედების იონოსფეროში. ზოგჯერ, ეს ელექტრული ველი და მაღალი ენერჯის მქონე დამუხტული ნაწილაკები თერმოსფეროს ქვედა ფენებამდე აღწევენ. ზრდიან იონოსფეროს გამტარებლობას და ავრორას ზონებს. ეს ინტენსიური ელექტრული დენები განაპირობებს მაღალი განედების იონოსფეროსა და მაგნეტოსფეროს დაწყვილებას და აძლიერებენ ენერჯის მიწოდებას, რაც მნიშვნელოვნად ათბობს იონიზებულ და ნეიტრალურ აირებს. დროის მასშტაბით, არსებობს ორი ტიპის ეფექტი დედამიწაზე მზის ტრანზიენტების მიერ წარმოებული; სწრაფი და დაგვიანებული. გეომაგნიტური შტორმული ეფექტები დაგვიანებულია მზიდან ამოტყორცნილი ნაწილაკების გავლენის გამო.

დედამიწის სადამკვირვებლო სისტემის (Earth Observing System) პროგრამის ფარგლებში დაიწყო დედამიწის შესწავლა თანამგზავრული დაკვირვების მონაცემებით, NASA, NOAA და EUMETSAT პროგრამების ფარგლებში განხორციელდა თანამგზავრების გაშვება აღჭურვილებს სხვადასხვა ტიპის სენსორებით. აქტუალური გახდა იონოსფეროს ამინდის ამოცანა, რომლის მიხედვით დედამიწაზე ამინდის ჩამოყალიბება იწყება ატმოსფეროს მაღალ ფენებში. NASA-ს მაგნიტური ველის სადამკვირვებლო თანამგზავრი MMS, THEMIS და მზეზე დაკვირვების თანამგზავრები SOHO, SDO, SOLAR PROBE, და სხვ. გაშვების შემდეგ განუწყვეტლად გადმოსცემენ ინფორმაციას მზის პარამეტრების ცვალებადობაზე, კოსმოსური სხივების მახასიათებლებზე და დედამიწის მაგნიტური ველის რეაქციაზე ამ ცვლილებებზე [12].

დედამიწის მაგნიტური ველი წარმოადგენს ფარს, რომელიც იცავს კოსმოსური მოკლევადიანი გამოსხივებისგან და მუდმივად იმყოფება დიდი ზემოქმედების ქვეშ. იგი განსაკუთრებით ზიანდება მზის კორონალური ამოფრქვევების, მზის ლაქების, მზის მაგნიტური ველის და კოსმოსური სხივებისგან. დამუხტული ნაწილაკები: პროტონები, ელექტრონები, მეზონები,

დადებითი და უარყოფითი იონები და ნეიტრონები იწვევენ მაგნიტური ველის ძალწირების წყვეტად და შემოიჭრებიან ატმოსფეროში. პოლუსებზე ისინი იწვევენ ეგრეთ წოდებულ Aurora Borealis. საერთოდ დედამიწაზე კი გეომაგნიტურ ქარიშხლებს, რომლებიც დიდ როლს თამაშობენ ამინდის ჩამოყალიბებაში დედამიწაზე. სხვადასხვა დამუხტული ნაწილაკები მოქმედებენ როგორც ღრუბლის კონდენსაციის ბირთვები და იწვევენ ღრუბლის საფარის გაზრდას, ასევე მოქმედებენ, როგორც წვიმის და ყინულის კრისტალების დამატებითი ბირთვები, რაც იწვევს ნალექის გაზრდას კონკრეტულ ადგილებში. ასევე დამუხტული ნაწილაკები ატმოსფეროში აძლიერებენ ელექტრულ ველს რაც გამოიხატება ელჭექების ინტენსივობის ზრდაში. იონოსფეროს ამინდის პროგნოზისთვის ფართო გამოყენება მოიპოვა ელექტრონების სრული შემცველობის პარამეტრმა, რომელსაც NASA თანამგზავრი THEMIS გადმოსცემს.

მზე გადის 22 წლიან ციკლს, რომლის დროსაც მისი მაგნიტური პოლუსი შეტრიალდება, მზის ლაქების აქტივობის სიხშირის მიხედვით. ეს მოიცავს 11 წლიან ციკლურ ფაზებს. პირველ ფაზაზე მაგნიტური პოლუსები პოლარობას შეცვლიან (რევერსი). მეორე ფაზის დროს მაგნიტური პოლარობა უბრუნდება პირვანდელს. მზის შტორმული აქტივობა მკაცრად დამოკიდებულია ამ ფაზებზე.

მზის ლაქები ის ადგილებია, სადაც შტორმების უმეტესობა წარმოიქმნება. მზე ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო, დაახლოებით 27 დღიანი პერიოდით და მზის ლაქების უმეტესობა აქტიური რჩება რამოდენიმე ბრუნვის განმავლობაში და წარმოქმნის ციკლურ 27 დღიან მზის შტორმს.

მზის ალები მზის ზედაპირზე მიმდინარე ამოფრქვევებია. ამოფრქვევიდან დაახლოებით 8წთ-ის შემდეგ ელექტრომაგნიტური მძლავრი რადიაცია გამა სხივების, უკიდურესი ულტრაიისფერი, რენტგენის სხივების და რადიოტალღების სახით აღწევს დედამიწაზე. ულტრაიისფერი ტალღები ათბობენ ატმოსფეროს ზედა ფენებს. რენტგენის სხივები ამოყრიან ელექტრონებს ატომებიდან და ქმნიან დამატებით დიდი რაოდენობით ელექტრონების ღრუბელს რადიაციულ სარტყლებზე. მზის ალები ახშობენ თანამგზავრულ კავშირს, რადარულ კავშირს, ახშობენ მოკლე-ტალღურ რადიოკავშირს, ხშირად იწვევენ თანამგზავრის ორბიტის პარამეტრების ცვლილებას და სხვა შემფოთებებს.

CME არის მაღალ-ენერგეტიკული აირის ღრუბელი, დაბალი ან საშუალო ენერგიების ნაწილაკების პლაზმა, გარშემორტყმული მაგნიტური ველით. როცა ის ეჯახება დედამიწას ეს ველი და პლაზმა შეიჭრება დედამიწის მაგნიტურ ველში, რაც ქმნის დროებით შემფოთებას დედამიწის მაგნიტოსფეროში - მაგნიტურ შტორმს და დენების ეკვატორულ დინებებს, სხვადასხვა გრადიენტებს და იწვევს დამუხტული ნაწილაკების გადახრას დედამიწის მახლობლობაში. მათი წარმოქმნის ადგილი ხშირად მზის ალების სიახლოვესაა.

გეომაგნიტური შტორმების სიძლიერე და მიკიდებულია დედამიწის მაგნიტური ველის ორიენტაციაზე მზის ველთან დაკავშირებით. თუ სამხრეთ მიმართულია, მაშინ ძლიერია, თუ ჩრდილოეთ მიმართული- სუსტი.

მზის კორონალურ ამოფრქვევებს (CMEs), მზის ენერგეტიკული ნაწილაკებს (SEPs) შეუძლიათ შემდეგი გავლენის მოხდენა: საფრენი აპარატების ელექტრობის დაზიანება და მწყობრიდან გამოყვანა, ვან-ალენის რადიაციული სარტყლის წანაცვლება, ყველა სახის კავშირგაბმულობის დარღვევა, კოსმოსური ფრენების პარამეტრების ცვლილება, გაზ და ნავთობსადენების კოროზია, კომუნიკაციების სისტემის მოშლა და აღჭურვილობის დაზიანება, ელექტრული განმუხტვების საშიშროება, გულ-სისხლძარღვთა დაავადებების გამწვავება, ენერგოსისტემის წყვეტა და სხვ. ეს მოვლენა 1-3 დღე გრძელდება და

ერცვლდება მოელ მაგნიტოსფერულ რეგიონზე და იწვევს მაგნიტური ველის მკვეთრ შემცირებას. მაგნეტოსფეროს ქარიშხალი 1-დან 3-დღიანი მოვლენაა და ამ დროს მაგნიტური ველის მკვეთრი შემცირებაა. ქარიშხლისა და ქვე-ქარიშხლების დროს იონოსფეროს დიდი რაოდენობის სითბო გადაეცემა ენერგეტიკულ ნაწილაკთა მძლავრი ენერგიით. დიდი ენერგია ზრდის იონოსფეროს ტემპერატურას, იწვევს ფართომასშტაბიანი იონების დრეიფს და ნეიტრალურ ქარებს [3,4].

დაკვირვებებმა აჩვენა, რომ ენერგეტიკული ნაწილაკი გავლენას ახდენს ტალღის გავრცელების, ზონალური ტემპერატურისა და ზონალურ ქარებზე ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში ზამთრის სტრატოსფეროში. თუმცა, ის მექანიზმები, რომლითაც ეს ცვლილებები მოხდა, ჯერ კიდევ უცნობია. დედამიწის ატმოსფეროში მომხდარი ცვლილებები გამოწვეულს მზის ცვლილებების ან გაზრდილი ანთროპოგენური აქტივობისა და მომატებული სათბური გაზების (GHG) კონცენტრაციის ცვლილების გამო, დედამიწის ატმოსფეროს ენერგეტიკული ბალანსი იცვლება და ეს გავლენას ახდენს მის დინამიკაში. ცვლილებები შეიძლება მოხდეს ატმოსფერული გრავიტაციული ტალღების, პლანეტარული ტალღების პროპაგაციაში, რომელიც მნიშვნელოვან როლს ასრულებს შუა ატმოსფეროს ზოგად მიმოქცევაში. თერმოსფერო-იონოსფეროს სისტემა ცნობილი სისტემური მექანიზმების, ასევე კოსმოსური ამინდის შედეგად, არსებითად განსხვავდება სიმალის, გრძედის, გრძედის, უნივერსალური დროის, სეზონის, მზის ციკლისა და გეომაგნიტური აქტივობით. პირველადი მართვის მექანიზმი მზის რადიაციაა (EUV და UV), მაგრამ ასევე იონოსფერო-თერმოსფერო სისტემაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მაგნიტოსფერული ნაწილაკებისა და მაგნეტოსფეროს ელექტრული ველები. მამოძრავებელი პროცესები განსაზღვრავს ზედა ატმოსფეროს იონიზებულ და ნეიტრალურ შემადგენლობის სიმჭიდროვეს, შემადგენლობა და რაც მთავარია, ტემპერატურას.

დედამიწის კლიმატის ცვლილება მზე-დედამიწის ფიზიკის კვლევის ფოკუსური წერტილია და განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ტროპოსფეროს, შუა ატმოსფეროს, გეოსივრცის (მეზოსფეროს, თერმოსფეროს, იონოსფეროს და მაგნეტოსფეროს), და მზის აქტივობის შეკავშირებას.

CME არის მაღალ-ენერგეტიკული აირის ღრუბელი, დაბალი ან საშუალო ენერგიების ნაწილაკების პლაზმა, გარშემორტყმული მაგნიტური ველით. როცა ის ეჯახება დედამიწას ეს ველი და პლაზმა შეიჭრება დედამიწის მაგნიტურ ველში, რაც ქმნის დროებით შემფოთებას დედამიწის მაგნიტოსფეროში - მაგნიტური შტორმი და დენების ეკვატორულ დინებებს, სხვადასხვა გრადიენტებს და იწვევს დამუხტული ნაწილაკების გადახრას დედამიწის მახლობლობაში. მათი წარმოქმნის ადგილი ხშირად მზის ალების სიახლოვესაა

მზე განუწყვეტლივ ასხივებს დედამიწას და მის სპექტრულ სიმკვრივეში მნიშვნელოვანი ცვლილებებია. დაცემული რადიაცია განუწყვეტლივ იცვლება მაგნიტოსფეროში, თერმოსფეროში და იონოსფეროში მიმდინარე მოვლენების გამო. მზის კვაზი-მდგრადი ნაკადებიც ასევე იცვლება მზის ამოფრქვევების გამო, რომლებიც აჩქარებენ დამუხტულ ნაწილაკებს და იწვევენ გეომაგნიტურ შტორმებს, ზედაპირზე დიდი რაოდენობით დაცემული ენერგეტიკული ნაწილაკების თანამდგევი ზემოქმედებთ დედამიწაზე.

გეომაგნიტური ინდექსები არის გეომაგნიტური აქტივობის ზომა, რომელიც ხდება დროის მოკლე მონაკვეთში. ზედა ატმოსფერული ფიზიკის, მზის სმელეთის ურთიერთობების შესწავლის ან დედამიწის სიღრმის შესწავლის

დროს არსებული მაგნიტური ვარიაციების გათვალისწინება აუცილებელი ხდება. ამ მოდულში უნდა გაერთიანდეს დედამიწის იონოსფეროს და მაგნეტოსფეროს რეაქციის შესწავლა მზის აქტივობის ცვლილებებზე. **dst, kp, aa** გეომაგნიტური ინდექსები და შტორმამდე და შტორმის შემდეგ, 3 დღის მეტეოროლოგიური პარამეტრების (ტემპერატურა, ნალექების, წნევის) დაკვირვების მონაცემები და სინოპტიკური რუკები გამოიყენება კორელაციური ანალიზისთვის.

მზის აქტივობა შეიძლება განისაზღვროს ინდექსების რაოდენობის ან ინდექსების კომბინაციებით, როგორცაა მზის ლაქების რიცხვი WN და რადიოსიხშირე F10.7, რომელიც განსხვავდება მზის ელექტრომაგნიტური გამოსხივებისგან და საპლანეტათშორისო მაგნიტური ველის დაძაბულობის B და მზის ქარის სიჩქარის v , რომლებიც განსაზღვრავენ მზის ქარის თვისებებს..

ეს ინდექსები 1900 წლიდან მუდმივად გამოითვლება პოტსდამის GFZ- ის მიერ და ხელმისაწვდომია ვებ-გვერდზე www.gfz.potsdam.de [5,6]. Kp ინდექსი ყველაზე ფართოდ გამოიყენება ყველა მაგნიტური მახვენებლებით და 1932წ-დან დაწყებული გამოითვლება პოტსდამში. იგი განკუთვნილია "geomagnetic activity", ან მთელ დედამიწაზე შემფოთების ხარისხის გამოსახატავად, სამი საათის ინტერვალებით უნივერსალური დროით. მარტივი საშუალო ოპერაციების დასაწყებად, Kp ინდექსები კონვერტირებულია ცხრილის გამოყენებით, მათი კვაზი-ლოგარითმიული მასშტაბიდან უხეშად ხაზოვან მასშტაბზე (nT), რითაც მიიღება ე.წ. 3-სთ ap ინდექსი. საბოლოოდ, ინდექსი ap განისაზღვრება, როგორც საშუალოდ რვა 3-საათიანი ap ინდექსი [7,8].

გეო-შტორმის შემფოთების დრო (dst) ინდექსი, ისტორიულად გამოყენებულია გეომაგნიტური ქარიშხლის ზომისთვის. გარდა ამისა, არსებობს მაგნეტოსფეროში წარმოქმნილი დენებისაგან, რომლებიც ცვლიან მაგნიტურ ველს, ე.წ. ინდუცირებული დენები. ყველა ეს დენები და მაგნიტური გადახრები, რომლებიც წარმოიქმნება ადგილზე, გამოიყენება პლანეტარული გეომაგნიტური დარღვევების ინდექსის სახელწოდებით Kp. ეს ინდექსი საფუძვლად უდევს NOAA- ს იონოსფეროს ამინდის ზომის, გეომგანტური ქარიშხლის, ან G-ერთეული, რომელიც გამოიყენება კოსმოსური ამინდის აღსაწერად, რომელსაც შეუძლია დედამიწაზე არსებული სისტემების დარღვევა.

კვლევისთვის გამოყენებულია Kp გეომაგნიტური ინდექსი და 2014-19წ. მეტეოროლოგიური პარამეტრების (ტემპერატურა, წნევა, ნალექი) დაკვირვების მონაცემები. ჩატარებული ანალიზიდან დგინდება, რომ ყველა ტიპის ინდექსისთვის ამინდის პარამეტრები მკვეთრ ცვლილებას განიცდიან: ძლიერდება ქარი, იზრდება ნალექების რაოდენობა, იცვლება წნევა, რაც ნათლად ჩანს მიღებული გრაფიკებიდან

თავი 1.

მზის ციკლები

მზის აქტივობა

დაახლოებით ყოველ 11 წელში მზის აქტივობა სრულად იცვლება აბსოლუტური სიწყნარიდან უკიდურეს აქტივობამდე. მზის აქტივობის პიკი ცნობილია, როგორც მზის მაქსიმუმი, როცა მზის ლაქების დიდი რაოდენობითაა, საიდანაც ამოფრქვეული რადიაცია და მზის ნაწილაკები იფრქვევა სივრცეში.

ამასთან, მზის ციკლის პერიოდულობა ყოველთვის ზუსტი არ არის. მას შემდეგ რაც მზეზე დაკვირვებებმა რეგულარული ხასიათი მიიღო აღმოჩნდა, რომ ციკლურობა 9-დან 14წ-მდე მერყეობს. ახლა შემოღებულია ახალი მარკერი- მნათი წერტილები, პატარა მნათი წერტილები მზის ატმოსფეროში საშუალებას იძლევა მზის სიღრმეში მატერიის განუწყვეტელი ბრუნვის დაფიქსირებისა. ისინი საშუალებას იძლევა მაგნიტური ველის ევოლუციისა.

ისტორიულად, მზის ციკლებზე დაკვირვება მხოლოდ ერთი ტიპის პარამეტრს ეყრდნობა: მზის ლაქების რაოდენობას, რომლის ჩანაწერებიც საუკუნეებს მოიცავს. რამოდენიმე დეკადა გავიდა, მას შემდეგ, რაც დაადგინეს, რომ ლაქები ინტენსიური მაგნიტური ველის ადგილებია. ამან საშუალება მისცა მკვლევარებს მაგნიტური ველის გაზომვებიც ჩაერთოთ კვლევებში.

მზის ლაქები უტყუარი მარკერია იმ მეანიზმისთვის, რომელიც არეგულირებს მზის ზედაპირს. თუმცა, პროცესები, რომლებიც წარმოქმნიან მათ არ არის კარგად შესწავლილი. მზის ციკლის დროს, ლაქები მოძრაობენ ეკვატორისკენ. არსებობს თეორია, რომლითაც მატერიის ორი სიმეტრიული მარყუჟი მზის ჰემისფეროში, ამოდის პოლუსებიდან და იძირება ღრმად ეკვატორზე და სიღრმეში, შემდეგ ისევ ბრუნდება ეკვატორზე. ამ მარყუჟებს გადააქვთ მაგნიტური ველი მზის ატმოსფეროში. ამ თეორიის მიხედვით მზის ლაქები მოძრაობენ სინქრონულად ნაკადთან ერთად. თუმცა კვლავ რჩება ბევრი რამ ამოუხსნელი: რატომ წარმოიქმნება ლაქები მხოლოდ 30° დაბალ განედებზე? რა აიძულებს მათ შეცვალონ მაგნიტური პოლარობა მომდევნო ციკლებში? რატომ არის ციკლების პერიოდულობა ცვალებადი? 2010წ. დასაწყისში NASA's Solar Dynamics Observatory-ამ აღმოაჩინა გიგანტური მაგნიტური პაკეტები, ზომით იუპიტერის დიამეტრის ზომისა მზის ატმოსფეროში. ამ პაკეტების გარშემო დაფიქსირდა ექსტრემალური ულტრაიისფერი და რენტგენის გამოსხივება ცნობილი, როგორც მნათი წერტილები და g-კვანძები. მნათი წერტილები და g-კვანძები მზის შიგნით მატერიის გადაადგილების ტრასირების საშუალებას იძლევა. European Space Agency, NASA Solar and Heliospheric Observatory და SDO-ს ერთობლივი მუშაობის შედეგად, მზის ციკლების განვითარების დაკვირვება უწყვეტად მომდინარეობს 20წ.-ზე მეტი ხანი. მათ აღმოაჩინეს, რომ ეს სხივები თანხმლევ მაგნიტურ ველთან ერთად ასევე მოძრაობს ეკვატორისკენ, იმავე ტრაექტორიით რითაც ლაქები, ოღონდ

უფრო დაბალ 55^o განედიდან. ამასთან, ყოველ ჰემისფეროს აქვს ერთზე მეტი ასეთი ნაკრები. თანამედროვე დაკვირვებებით დგინდება, რომ მზეზე მრავლადაა განსხვავებულად პოლარიზებული მაგნიტური მატერია, რომელიც წარმოქმნის შემდეგ დამიზნულად მიემართება მაღალი განედებიდან ეკვატორისკენ. ამ ნაკრებებს აქვთ ან ჩრდ. ან სამხრ. მაგნიტური პოლარობა და მათი მიზანი ისეთნაირად ვარიირებს, რომ სრული პოლარობა 0-ს ტოლია. მაგ. მზის ჩრდ. ჰემისფეროზე ნაკრებს სავარაუდოთ ექნება ჩრდ. პოლარობა, რომლის მაგნიტური ველის წირები უკავშირდება მეორე ჯგუფს სამხრ. პოლარობით. ეკვატორის გასწვრივ იგივე პროცესები მიმდინარეობს, მაგრამ ჯგუფები სარკულად არეკვლილია, სამხრ. პოლარობა ეკვატორითან და ჩრდ. მაღალ განედებზე. მაგნიტური ველის წირები აკავსირებს 4 ჯგუფს: ყოველი ჰემისფეროს შიგნით და ეკვატორის გასწვრივ. მიგრაციის პროცესი მაღალი განედებიდან ეკვატორამდე გრძელდება საშუალოდ 19 წელი, თუმცა იცვლება 16-21 წლებს შორის.

როდესაც მზის მაგნიტური სისტემა წყნარია, წარმოიქმნება ცოტა მზის ლაქები და ამოფრქვევები: ეს არის მზის მინიმუმი. მზის ციკლების თეორიის ტესტირება მინ.-მაქს. პროგნოზირებით მოწმდება. დაახლოებით 2017წ. მეორე ნახევარში მზე შედის მინიმუმში, ხოლო 2019წ. ბოლოსთვის ახალი ციკლის მზის ლაქები გაჩნდება.

ცხრილი 1. მზის ისტორიული ციკლები

მზის ციკლი	დაწყება (მინ)	გაგლუვებული მინ. ISN (ციკლის დაწყება)	Maximum	გაგლუვებული მაქს. ISN	დაწყება (წლები)	ხანგრძლივობა (წლები)	ულაქო დღეები
Solar cycle 1	1755-02	14.0	1761-06	144	6.3	11.3	
Solar cycle 2	1766-06	18.6	1769-09	193	3.3	9.0	
Solar cycle 3	1775-06	12.0	1778-05	264	2.9	9.3	
Solar cycle 4	1784-09	15.9	1788-02	235	3.4	13.6	
Solar cycle 5	1798-04	5.3	1805-02	82	6.8	12.3	
Solar cycle 6	1810-08	0.0	1816-05	81	5.8	12.8	
Solar cycle 7	1823-05	0.2	1829-11	119	6.5	10.5	
Solar cycle 8	1833-11	12.2	1837-03	245	3.3	9.7	
Solar cycle 9	1843-07	17.6	1848-02	220	4.6	12.4	
Solar	1855-12	6.0	1860-02	186	4.2	11.3	561

cycle 10							
Solar cycle 11	1867-03	9.9	1870-08	234	3.4	11.8	942
Solar cycle 12	1878-12	3.7	1883-12	124	5.0	11.3	872
Solar cycle 13	1890-03	8.3	1894-01	147	3.8	11.8	782
Solar cycle 14	1902-01	4.5	1906-02	107	4.1	11.5	1007
Solar cycle 15	1913-07	2.5	1917-08	176	4.1	10.1	640
Solar cycle 16	1923-08	9.4	1928-04	130	4.7	10.1	514
Solar cycle 17	1933-09	5.8	1937-04	199	3.6	10.4	384
Solar cycle 18	1944-02	12.9	1947-05	219	3.3	10.2	382
Solar cycle 19	1954-04	5.1	1958-03	285	3.9	10.5	337
Solar cycle 20	1964-10	14.3	1968-11	157	4.1	11.4	285
Solar cycle 21	1976-03	17.8	1979-12	233	3.8	10.5	283
Solar cycle 22	1986-09	13.5	1989-11	214	3.2	9.9	257
Solar cycle 23	1996-08	11.2	2001-11	180	5.3	12.3	619
Solar cycle 24	2008-12	2.2	2014-04	116	5.3	<i>In progress</i>	959 (2 Feb 2020)
Solar cycle 25	To be determined	(3.53 as at July 2019)					
საშ.		9.3		178.7	4.4	11.04	

ცხრ. 2. მზის ისტორიული ციკლები (1860-2024)

მზის ციკლი	დაწყება (მაქს.)	ულაქო დღეები
მზის ციკლი 10-11	1860-02	406
მზის ციკლი 11-12	1870-08	1028
მზის ციკლი 12-13	1883-12	736
მზის ციკლი 13-14	1894-01	932
მზის ციკლი 14-15	1906-02	1025
მზის ციკლი 15-16	1917-08	534

მზის ციკლი 16-17	1928-04	568
მზის ციკლი 17-18	1937-04	269
მზის ციკლი 18-19	1947-05	446
მზის ციკლი 19-20	1958-03	227
მზის ციკლი 20-21	1968-11	272
მზის ციკლი 21-22	1979-12	273
მზის ციკლი 22-23	1989-11	309
მზის ციკლი 23-24	2001-11	817
მზის ციკლი 24-25	2014-04	622 (2 Feb 2020)

20 და 23 ანომალური ციკლები

ყველაზე დიდი გადახრა კორელაციებში დაფიქსირდა 1970წ. მე-20 ციკლის დასრულებისას. ეს იმდენად ცხადად ჩანს მონაცემებიდან, რომ არც კი საჭიროებს მათ დამუშავებას. მცირე კორელაციის შემდეგი პერიოდი ემთხვევა 23 ციკლის დასრულებას. 20 ციკლი იყო ყველაზე სუსტი 1930-დან დაწყებული. გოსლინგმა აღნიშნა გეომაგნიტური ვარიაციების უჩვეულო ასპექტები.: გეომაგნიტური აქტივობის მაღალი პიკი 6წელში მზის ლაქების მაქსიმუმიდან. მზის ლაქების მხრივ ციკლი იყო ნორმალური, ხოლო aa ინდექსის მხრივ ძლიერ ანომალური. დაფიქსირდა მეორადი მაქსიმუმი 1972-75წწ. მზის ქარის სიჩქარე უდიდესი იყო მზის მინიმუმის დროს, ვიდრე მაქსიმუმისას. ასევე არსებობდა მარკოვის რადიუსსა და მზის ლაქებს WN და aa ინდექსს შორის კორელაციის ანომალია. ანომალური იყო მისი ხანგრძლივობა და უნტრაიისფერ/ახლო ულტრაიისფერი რადიაცია და მზის ალბეცო. ამის ასახლსნელად დაუშვებს ჰიპოტეზა მზის დინამოს პარამეტრებში ცვლილების შესახებ, რამაც განსაზღვრული გავლენა იქონია მომდევნო ციკლებზე, მაგ. ქვეშტორმების რაოდენობის ზრდა შეიძლება გამოწვეული იყოს მაღალი სიჩქარის ნაკადებით მზის ლაქების მინიმუმის დროს 20 ციკლის მსვლელობისას (1974-76).

ლიტერატურა

1. Electron magnetic reconnection without ion coupling in Earth's turbulent magnetosheath, *Nature* (2018).nature.com/articles/doi:10.1038/s41586-018-0091-5
2. Reconnection tames the turbulent magnetic fields around Earth (2018, May 9) <https://phys.org/news/2018-05-reveals-energy-dissipates-earth-magnetic.html>
3. Geomagnetic disturbances analysis using discrete wavelets. M. Zossi de Artigas^{1,2*}, P. Fernandez de Campra³ and E. M. Zotto. *Geofisica Internacional* 47 (3), 257-263 (2008)
4. Advanced Study Institute on Space Storms and Space Weather Hazards. I. A. Daglis. National Observatory of Athens. 2000
5. Energetic Particle Precipitation Interconnection with Climate. NATURAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL https://cordis.europa.eu/result/rcn/60754_en.html European Union, 2018
6. Cosmic Influence on the Sun-Earth Environment. Saumitra Mukherjee. *Sensors* 2008, 8, 7736-7752; DOI: 10.3390/s8127736

თავი 2.

მზის ინდექსები

მზის ალები არის მზეზე ხანმოკლე აფთქებები, რომლებიც წარმოიქმნება როცა გადაგრეხილ მაგნიტურ ველში შენახული ენერგია (მზის ლაქებში) მოულოდნელად თავისუფლდება. ალების ენერგია მოიცავს მთელ ელექტრომაგნიტურ სპექტრს რადიო-ტალღებიდან რენტგენის და გამა სხივებამდე.

მზის ქარების კლასიფიკაცია რენტგენის სივების ტალღის სიგრძის და სიკაშკაშის მიხედვით 3 კატეგორიისაა: **X** -კლასი არის უდიდესი; ეს არის უძლიერესი მოვლენა, რომელიც იწვევს რადიო სიშირეების ჩახშობას და ხანგრძლივ რადიაციულ შტორმებს. **M** -კლასი არის საშუალო სიძლიერის. ისინი იწვევენ ხანმოკლე რადიო ჩახშობებს დედამიწის პოლარულ რეგიონებში. მათ ხშირად მოჰყვება სუსტი რადიაციული შტორმები. ყველაზე სუსტი არის **C**- კლასი, რომლებსაც არ აქვთ რაიმე მნიშვნელოვანი გავლენა დედამიწაზე. ყოველ კატეგორიას აქვს 9 ქვეკლასი მაგ., C1 - C9, M1 - M9, და X1 - X9. მაგ. 2000წ.14 ივლისს მზის 23 ციკლის მასიმალური პიკის დროს ამოიფრვა **X5.7**კლასის მზის ალი მზის ლაქის ატიური 9077 რეგიონიდან, რამაც გამოიწვია **S3** რადიაციული შტორმი დედამიწაზე 15 წთ-ს შემდეგ, რადგანაც იონოსფეროში შემოიჭრა ენერგეტიკული პროტონები. ეს იყო მზის უდიდესი რადიაციული მოვლენა 1989 წლიდან. შემოჭრილი პროტონები 4-ჯერ უფრო მეტი ენერგიის მატარებელი იყვნენ ვიდრე ადრე დაფიქსირებული 1995წ. **SOHO** -ს და 1997წ. **ACE** -ს მიერ. მზის ალს ასევე მოჰყვა მზის კორონალური ამოფრქვევა თაბნდები უძლიერესი გეომაგნიტური სუპერ შტორმით 15-15 ივლისს. გეო-შტორმმა 15 ივლისს მიაღწია უმაღლესი **G5** დონის პიკს. ამ მოვლენას **ბასტილიის დღის ამოფრვევა** დაარქვეს. ცხრილ 1-ში მოყვანილია ალების კლასიფიკაცია

ცხრილ 1. მზის ალების კლასიფიკაცია

კლასი	პიკი (W/m ²) 1 და 8 ანგსტრემს შორის
B	$I < 10^{-6}$
C	$10^{-6} < = I < 10^{-5}$
M	$10^{-5} < = I < 10^{-4}$
X	$I > = 10^{-4}$

მზის ალუმინის კლასიფიკაცია X-სხივების სიკაშკაშის მიედვით ხდება გამოსხივების სპექტრში. გამოიყოფა 3 კატეგორია X- M- C-კლასი. ქვემოთ მოყვანილია მათი შესაბამისი ენერგიები და ნაკადის ინტენსივობები დედამიწის ზედაპირზე.

M1- 0.1 x 10 ⁻⁴ W/m ²	X1 1.0 x 10 ⁻⁴ W/ m ²
M2 0.2 x 10 ⁻⁴ W/ m ²	X2 2.0 x 10 ⁻⁴ W/ m ²
M3 0.3 x 10 ⁻⁴ W/m ²	X3 3.0 x 10 ⁻⁴ W/m ²
M4 0.4 x 10 ⁻⁴ W/m ²	X4 4.0 x 10 ⁻⁴ W/m ²
M5 0.5 x 10 ⁻⁴ W/ m ²	X5 5.0 x 10 ⁻⁴ W/m ²
M6 0.6 x 10 ⁻⁴ W/m ²	X6 6.0 x 10 ⁻⁴ W/ m ²
M7 0.7 x 10 ⁻⁴ W/m ²	X7 7.0 x 10 ⁻⁴ W/m ²
M8 0.8 x 10 ⁻⁴ W/m ²	X8 8.0 x 10 ⁻⁴ W/m ²
M9 0.9 x 10 ⁻⁴ W/ m ²	X9 9.0 x 10 ⁻⁴ W/ m ²

მზე ასევე ასხივებს მაღალ-ენერგეტიკულ პროტონებს. მათი ენერგიები ძირითადად 10 MeV -დან 100 MeV -მდეა. დედამიწაზე მათი დაცემის დრო დამოკიდებულია პროტონების ენერგიაზე, ეს დრო სთ-დან წთ-მდე იცვლება. ქვემოთ მოყვანილია პროტონების ენერგიები, სიჩქარე და ჩამოსვლის დრო. c -სინათლის სიჩქარეა

- 1 MeV- 0.046 c -2.9 სთ
- 10 MeV -0.145c -49 წთ
- 100 MeV- 0.429 c -11.1 წთ
- 1 GeV- 0.875 c -1.2წთ

მზის პროტონები ულტრაიისფერ ნათებას იწვევს ატმოსფეროში, რომელიც ადამიანის თვალისთვის უხილავია. ამ დროს წარმოიქმნება NOx ნარჩენი პროდუქტები, რომლებიც დედამიწის ზედაპირზე ილექება. მძლავრი ამოფრქვევებიდან წარმოქმნილი ნიტრატების აღმოჩენა შესაძლებელია ყინულის საფარში. ნიტრატების კონცენტრაციების ანალიზი პოლარულ და გრელანდიის ყინულებში აჩვენებს, რომ 154 დიდი ამოფრქვევა (>30 MeV; > 0.8 x 10⁹ cm⁻²) მოხდა ბოლო 450წ. (1561-1992). განმავლობაში

მზის მინიმუმის დროს მაგნიტური ველი უსუსტესია, რის გამოც დამატებითი კოსმოსური სხივები შემოდის მზის სისტემაში. ოულოს სოდანკილას გეოფიზიკური ობსერვატორიის (ფინეთი) ნეიტრონული მონიტორები აჩვენებენ, რომ კოსმოსური სხივების კონცენტრაცია ;მაღალია მთელი დაკვირვების პერიოდთან შედარებით.

ნახ.1. ოულოს სოდანკილას გეოფიზიკური ობსერვატორიის (ფინეთი) ნეიტრონული მონიტორინგი

Cosmic Rays on Earth since 1964

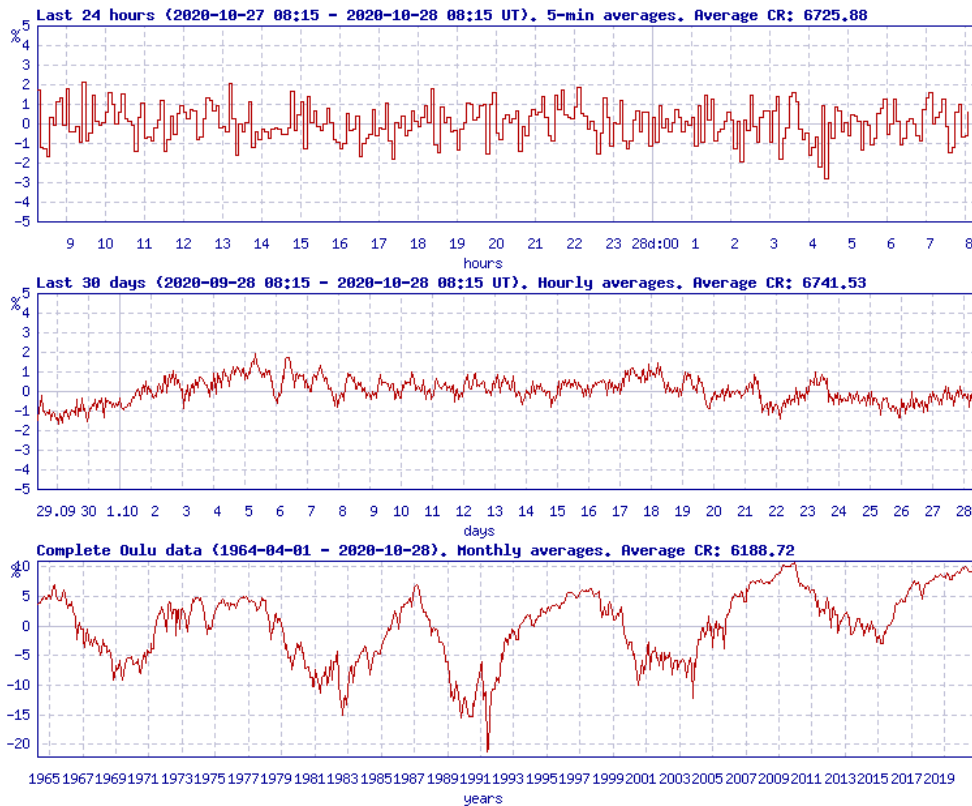


სოდანკილას გეოფიზიკურ ობსერვატორიაში კოსმოსურ სხივებსაკვირდებიან 1964წ-დან. როცა სხივები ეჯახება დედამიწის ატმოსფეროს წამოიქმნება მეორადი ნაწილაკები, რომლებიც დედამიწის ზედაპირს აღწევენ, რომელთა შორის ნეიტრონებია. ამ ნეიტრონებს ითვისებენ ობსერვატორიაში. ნეიტრონების რაოდენობა მზის 11წლიან იკლს მიჰყვება. მზის მაქსიმუმის დროს კოსმოსური სხივები სუსტია, მინიმუმის დროს-ძლიერი. 2019წ. ბოლოს ნეიტრონები აღწევნენ მაქსიმუმს 2009-10 წლებში. ეს მნიშვნელოანია რადგან ზედმეტი ნაწილაკები იწვევენ ასტრონავტების ჯანმრთელობის გაუარესებას, პოლარული აერო მიმოსვლის გაუარესობას, დედამიწის ზედა ატმოსფეროს ელექტრო-ქიმიური შემადგენლობის ცვლილებას, რაც ელჭექების ინტენსივობას ზრდის.

ნახ.2. ოულოს ნეიტრონის მონიტორინგი

Oulu Neutron Monitor

Pressure corrected data



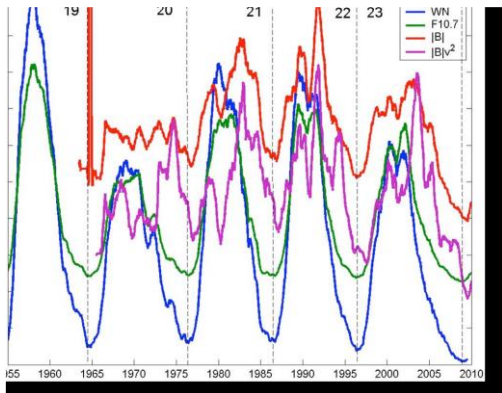
ლიტერატურა

1. USGS 1-minDst index. J.L. Gannon, J.J.Love. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 73 (2011) 323–334.
2. Effect of magnetic storms and substorms on the low- latitude/ equatorial ionosphere J. H. Sastri. ILWS WORKSHOP 2006, GOA, FEBRUARY 19-24, 2006.
3. Ionospheric response to the geomagnetic storm on 13–17 April 2006 in the West Pacific region Biqiang Zhao a,b, Weixing Wan, Libo Liua, K. Igarashi c, K. Yumoto d, Baiqi Ning. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 71 (2009) 88–100.
4. Solar magnetic flux influences on the dynamics of the winter middle atmosphere. Nell F. Arnold, Terry R. Robinson. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 28, NO. 12, PAGES 2381-2384, JUNE 15, 2001.
5. Analysis of the positive ionospheric response to a moderate geomagnetic storm using a global numerical model. A. A. Namgaladze^{1,2}, M. FoÈrster³, R. Y. Yurik. *Ann. Geophysicae* 18, 461±477 (2000) Ó EGS ± Springer-Verlag 2000.
6. Morphological Investigation of Disturbed Ionosphere during Intense Geomagnetic Storms. Bhupendra Malvi¹, Prateek S. Srivastava¹, Azad A. Mansoori¹, Roshni Atulkar², Shivangi Bhardwaj² and P. K. Purohit. *Journal of Physics: Conference Series* **759** (2016) 012067 doi:10.1088/1742-6596/759/1/012067
14. Super substorms (SML<_2500nT): Magnetic storm and solar cycle dependences. Rajkumar Hajra, Bruce T. Tsurutani, Ezequiel Echer, Walter D. Gonzalez¹, Jesper W. Gjerloev. *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, doi:10.1002/2015JA021835
15. **Geomagnetic storm effects in the low- to middle-latitude upper thermosphere.** A. G. Burns, T. L. Killeen, W. Deng,¹ and G. R. Carignan. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. I00, NO. A8, PAGES 14,673-14,691, AUGUST I, 1995

თავი 3.

გეო-მაგნიტური ინდექსები

მზის აქტივობის შესაფასებლად შემოღებულია რამოდენიმე მზის ინდექსი. ორი კლასიკური ინდექსი დაკავშირებულია მზის ელექტომაგნიტურ გამოსხივებასთან: ვოლფის (მზის ლაქების)რიცხვი **WN** და რადიო ფლუქტუაციების სერია **F10.7**, რომელიც ყველაზე ხანგრძლივია მზის დაკვირვებებში. მზის ლაქების დღიური რიცხვი ხელმისაწვდომია 1850წ-დან <ftp://ftp.ngdc.org>. წყაროზე. დეციმეტრული **F10.7** ინდექსი წარმოადგენს 10.7სმ რადიოტალღის ფლუქტუაციის დღიურ გაზომვებს პენტინგტონის უნივერსიტეტში და ხელმისაწვდომია 1947-დან (<ftp://ftp.ngdc.noaa.gov>). ეს ინდექსი უკეთესად კორელირებს უკიდურეს ულტრაიისფერ რადიაციასთან ვიდრე ვოლფის რიცხვი [Donnelly et al., 1983; Floyd et al., 2005; Dudok de Wit et al., 2009]. თუმცა ორივე ინდექსი ერთნაირი ინფორმაციის მატარებელია. უფრო თანამედროვე მონაცემი მზის ქარზე და საპლანეტათმორისო მაგნიტურ ველზე ხელმისაწვდომია მისამართზე: <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>. ეს არის ველის მაგნიტუდა **|B|** და მზის პლაზმის სიჩქარე **v**. ამ პარამეტრების დღიური მონაცემი ხელმისაწვდომია 1965წ.-დან.



ნახ. 3. მზის ციკლოზობა წარმოდგენილია 1წ. გასაშუალოებული ინდექსით WN (ლურჯი), F10.7 (მწვანე), |B| (წითელი), |B|v2 (იისფერი) ინდექსების ზოგადი მსვლელობა

|B| and B.v2 პარამეტრების საშუალებით დადგინდა, რომ მზის 20 ციკლი ანომალური იყო. ყველა ინდექსი aa, Ap, Dst, z უმეტესად დროში ერთნაირი მსვლელობა აქვთ, ეს მსგავსება წვევილებს შორის (aa, Ap), (Dst, z)იკარგება 1973-77 ანუ ციკლის შესუსტებისას. Dst, z უფრო გამოსახავს |B| ევოლუციას, ხოლო ასახავს B.v2 ევოლუციას.

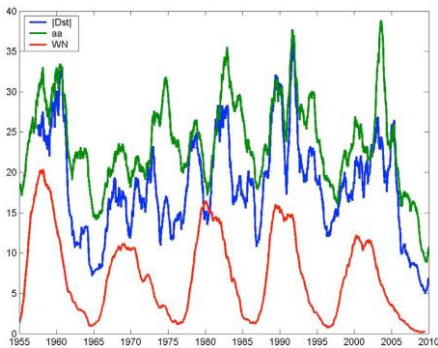
გეომაგნიტური ინდექსების ურთიერთობა

მზის ციკლოზობა პირველად სამუელ ჰენრიხ შვაბემ აღმოაჩინა 1843წ. მან 17 წლის დაკვირვებების შემდეგ შეამჩნია მზის ლაქების რაოდენობის პერიოდულობა. 1645-1715წ. შორის პერიოდი მზის მცირე რაოდენობის ლაქებით ცნობილია, როგორც მინიმუმი. მე-19ს. მეორე ნახევარში რიჩარდ კარინგტონმა და სპიორერმა აღმოაჩინეს მოვლენა, რომ მზის ლაქები მზის სხვადასხვა განედებზე ჩნდებოდნენ ციკლის სხვადასხვა დროს. მზის ციკლების ფიზიკური დასაბუთება გააკეთა გეორგ ჰელიმ, როცა 1908წ. უჩვენა, რომ ლაქები ძლიერ

დამაგნიტებული იყო. ეს იყო პირველი შემთხვევა, როცა მაგნიტური ველი დაფიქსირდა დედამიწის გარეთა სივრცეში. 1919წ. მან უჩვენა, რომ მზის ლაქების წყვილის მაგნიტური პოლარობა:

- ციკლის დროს მუდმივია;
- ურთიერთსაწინააღმდეგოა ეკვატორის კვეთაზე;
- ერთი ციკლიდან მეორეზე გადასვლისას რევერსს განიცდის.

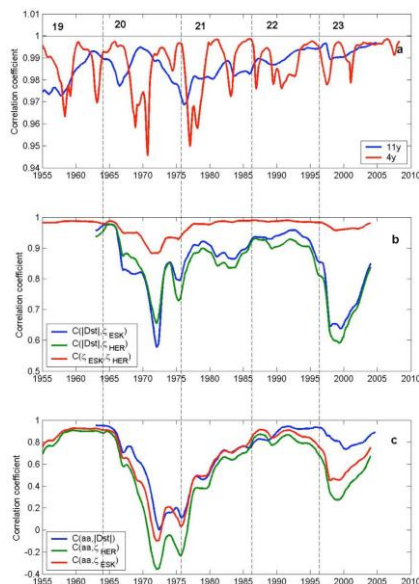
ქვემოთ მოყვანილია გასაშუალოებული ინდექსების დროში ევოლუცია. ნახ-ზე ცხადად ჩანს შვებებს ციკლის დროითი ვარიაცია, რომელიც ციკლიდან ციკლზე მეორდება, მეორადი, მესამედი მაქსიმუმებით და მცირე მეორადი მაქსიმუმით ორი ციკლის ტრანზიტის დროს.



ნახ 4. გასაშუალოებული $|Dst|$, (ლურჯი), aa (მწვანე), ინდექსების და მზის აქტივობა WN/10 (წითელი) განვითარება

ინდექსების კორელაცია

1932წ. ბარტელმა აღმოაჩინა კორელაცია მზის ლაქებსა და გეომაგნიტურ ინდექსს შორის 1872-1930წწ, რომელიც უტოლდებოდა 0.88. ასევე გამოთვლილია კორელაცია ინდექსების წყვილებს შორის და შესწავლილია მათი ევოლუცია მრავალწლიურ და მულტიდეკადურ მასშტაბში. კვლევის პერიოდი მოიცავდა 1955-2010წწ.



ნახ.5. (a) კორელაცია aa და Ap ინდექსებს შორის. (b) კორელაცია |Dst| და zESK (ლურჯი) ინდექსებს შორის. (c) კორელაცია aa, |Dst| (ლურჯი), zHER (მწვანე) და zESK (წითელი) ინდექსებს შორის

ლიტერატურა

16. GLOBAL THERMOSPHERIC RESPONSE TO GEOMAGNETIC STORMS. Padmashri Suresh. <https://digitalcommons.usu.edu/etd/5001>
17. Correcting the Dst index: Consequences for absolute level and correlations. A. Karinen and K. Mursula. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 111, A08207, doi:10.1029/2005JA011299, 2006
18. Modeling the ionosphere-thermosphere response to a geomagnetic storm using physics-based magnetospheric energy input: OpenGGCM-CTIM results. Hyunju Kim Connor¹, Eftyhia Zesta, Mariange Fedrizzi, Yong Shi, Joachim Raeder, Mihail V. Codrescu, Tim J. Fuller-Rowell. J. Space Weather Space Clim., 6, A25 (2016) DOI: 10.1051/swsc/2016019
19. Ionospheric and thermospheric response to the 27-28 February 2014 geomagnetic storm. Khalifa Malki, Aziza Bounhir, Zouhair Benkhaldoun, Jonathan J. Makela, Nicole Vilmer, Daniel J. Fisher, Mohamed Kaab, Khaoula Elbouyahyaoui, Brian J. Harding, Amine Laghriyeb, Ahmed Daassou, and Mohamed Lazrek. Ann. Geophys. Discuss., <https://doi.org/10.5194/angeo-2018-24>
- 20. Effects of geomagnetic storms in the lower ionosphere, middle atmosphere and troposphere J. LaStoviEka. Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, Vol. 58, No. 7. pp. 831-843, 1996**
21. Thermospheric composition changes deduced from geomagnetic storm modeling. M. Förster¹, A. A. Namgaladze^{2,3}, and R. Y. Yurik. GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 26, NO. 16, PAGES 2625-2628, AUGUST 15, 1999 <http://wcd.kugi.kyoto-u.ac.jp/index.html>
22. Possible geomagnetic activity effects on weather. J. Bochněcek, P. Hejda, V. Bucha, J. Pycha Ann. Geophysicae 17, 925±932 (1999) Ó EGS. Springer-Verlag 1999.
- 23. Solar Storm Threat Analysis. James A. Marusek. Impact, Bloomfield, Indiana 47424**
- Wind–Magnetosphere–Ionosphere–Atmosphere Coupling and the Generation of Magnetospheric Currents. S.E. Milan, L.B.N. Clausen, J.C. Coxon, J.A. Carter, M.-T. Walach, K. Laundal, N. Østgaard, P. Tenfjord, J. Reistad, K. Snekvik, H. Korth, B.J. Anderson. Space Sci Rev (2017) 206:547–573 DOI 10.1007/s11214-017-0333-0**

თავი 4.

კლიმატის ცვლილება

სამთავრობოთშორისო პანელის Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2013) ბოლო ანგარიშში ასახულია 1998წ-დან კლიმატური სისტემის გადამეტებული შეფასება სათბურ გაზებზე კლიმატური მოდელის მიერ, ანუ ისინი პროგნოზირებენ მაღალ მოსალოდნელ ტემპერატურებს, ვიდრე ის, რაც ფიქსირდება. ნახშირბადის დიოქსიდის გადამეტებული შეფასება იწვევს იმას, რომ მოდელის სიზუსტე 1950-97პერიოდში, შეიძლება მოხდეს თუ მოდელი სხვა ფაქტორების გავლენას უგულებელყოფს. ერთ-ერთი ასეთი უგულებელყოფილი ფაქტორი - ღრუბლის საფარია. ღრუბლის საფარი აკონტროლებს დედამიწაზე მოსულ მზის რადიაციას დღისით და ღამით სითბოს კარგვას. ღრუბლის საფარის გავლენა ჯამურ რადიაციაზე განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ტროპიკულ კონვექციაზე. ტროპიკული კონვექციის ზონაში ღრუბლების გამო გაზრდილი ალბედოს გადაციების ეფექტი მცირდება არეკვლილი გრძელტალღოვანი რადიაციის გამო.

ჰევისაიდის ფენა

პირველად ოლივერ ჰევისაიდმა ჩამოაყალიბა ჰიპოთეზა, რომ დედამიწის უკიდურესი ატმოსფერული შრის ე.წ. იონოსფეროს ზოგიერთი ფენები სრულად იონიზირებულია, მან ასევე იწინასწარმეტყველა კენელი-ჰევისაიდის ფენის არსებობა. 1947წ. ედვარდ აპპლეტონმა მიიღო ნობელის პრემია ფიზიკაში ამ ფენის არსებობის დამტკიცებისთვის. ეს ფენა მდებარეობს დაახლოებით 90-დან 150კმ-ს შორის და აირეკლავს საშუალო სიხშირის რადიოტალღებს. ეს ეფექტი გამოიყენება რადიოკავშირში გრძელ მანძილებზე, ტრანსკონტინენტალურ მანძილებზე. ამ გავრცელებაზე ძლიერად მოქმედებს დღე-ღამის ცვალებადობა: დღის განმავლობაში მზის ქარი პრესავს დედამიწის ზედაპირისკენ, რითაც ზღუდავს პროპაგაციას. ღამით კი პირიქით, ზეწოლა მცირდება და ეს ფენა განივრცობა, რაც ზრდის პროპაგაციის ზონას. ამ ფენისთვის ასევე მნიშვნელოვანია სეზონურობა და მზის ლაქების ციკლურობა.

ღრუბლის გლობალური საფარის თანმდევი ვარიაციები

ნარჩენი ტემპერატურული ანომალია არ თანხვდება ატმოსფეროში ნახშირბადის დიოქსიდის ცვლილებას, რომელიც წრფივად იზრდება 1958წ-დან, როცა დაიწყო მისი მონიტორინგი და არც სტაბილიზირდება 2000-დან. შედეგი არც ემთხვევა სხვა სათბური გაზის ცვლილებას, მეთანის ჩათვლით. ნარჩენი ტემპერატურული ანომალია უკავშირდება ღრუბლის საფარის ორ ცვლილებას. პირველი არის სრული საფარის შემცირება, რომლის დროსაც მზის ნათების მკვეთრი მატებაა დედამიწაზე, კერძოდ ულტრაიისფერი რადიაციის შემოჭრა და მეორე; დაბალი დონის ღრუბლის საფარის შემცირება და საშუალო და ზედა ფენის საფარის ზრდა. ღრუბლის გლობალური საფარის მონაცემები ხელმისაწვდომია ISCCP International Satellite Cloud Climatology Project -დან მხოლოდ 1984-2009 პერიოდისთვის. ღრუბლის სრული საფარის შემცირების ანომალია 4.55%-ს შეადგენს, ხოლო გრძელვადიანი (1984-2009) პერიოდისთვის 6.8%. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ ღრუბლის საფარი, რომელიც რადიაციული

და სითბური ბალანსისთვის უმნიშვნელოვანესი პარამეტრია, აირეკლავს დაცემული რადიაციის 23%. 6.8%-იანი შემცირება ნიშნავს, რომ 5.4 Wm^{-2} აღარ აირეკლება, არამედ დარჩება ზედმეტი დატვირთვის სახით ატმოსფეროში.

შედარებისთვის, IPCC 5 ანგარიშის 8.5.2 ნაწილში ჩაწერილია, რომ სრული ანთროპოგენული რადიაციული დატვირთვა 1750-2011-თვის შეადგენს $2.29 [1.13 - 3.33] \text{ Wm}^{-2}$ ყველა სათბური გაზისთვის და მხოლოდ ნახშირბადის დიოქსიდისთვის $1.68 [1.33 - 2.03] \text{ Wm}^{-2}$. ცხადია, რომ ღრუბლის საფარის შემცირება 2-ჯერ მეტ რადიაციულ დატვირთვას იწვევს, ვიდრე ყველა სათბური აირი ერთად აღებული და 3-ჯერ მეტი ვიდრე ნახშირბადის დიოქსიდის გავლენა. Goode და Pallé [5] შეაფასეს დედამიწის ალბედო 1984-2000 პერიოდში და დაადგინეს, რომ ალბედოს შემცირებამ გამოიწვია დამატებითი 6.8 Wm^{-2} მიკროტალღოვანი დატვირთვა.

ღრუბლის საფარის ცვლილების მეორე ფორმა არის ღრუბლის სიმაღლე. ღრუბლის გაზრდილი სიმაღლე უკავშირდება ღრუბლის გამჭვირვალობას და მასში რადიაციული სითბოს გავლას. ცის გლობალური დაფარვის პროცენტული მაჩვენებლები დაბალი, საშუალო და მაღალი გავრცობის ღრუბლებისთვის შესაბამისად არის 27.3, 20.6 და 13.1. დაბალი გავრცობის ღრუბლების შემცირება -15%; საშუალოსი-10%.

24. No Major Solar Flares but the Largest Geomagnetic Storm in the Present Solar Cycle. Y. Kamide and K. Kusano *Space Weather*, 13, 365–367, doi:10.1002/2015SW001213

25. Advancing the understanding of the Sun– Earth interaction—the Climate and Weather of the Sun– Earth System (CAWSES) II program Progress in Earth and Planetary Science (2015) 2:28 DOI 10.1186/s40645-015-0059-0

26. Solar activity impact on the Earth’s upper atmosphere. Ivan Kutiev1,, Ioanna Tsagouri, Loredana Perrone, Dora Panchev1, Plamen Mukhtarov, Andrei Mikhailov, Jan Lastovicka, Norbert Jakowski, Dalia Buresova, Estefania Blanch, Borislav Andonov, David Altadill, Sergio Magdaleno, Mario Parisi, and Joan Miquel Torta. *J. Space Weather Space Clim.* 3 (2013) A06 DOI: 10.1051/swsc/2013028

27. Time variations of geomagnetic activity indices Kp and Ap: an update. G. K. Rangarajan1, T. Iyemori. *Ann. Geophysicae* 15, 1271±1290 (1997) Ó EGS ± Springer-Verlag 1997.

28. Validation of Ionospheric Specifications during Geomagnetic Storms: TEC and foF2 During the 2013 March Storm Event. Shim, J. S., Tsagouri, I., Goncharenko, L., Rastaetter, L., Kuznetsova, M., Bilitza, D., et al. (2018).. *Space Weather*, 16. <https://doi.org/10.1029/2018SW002034>.

29. Solar Eruptions Linked to North Atlantic Oscillation. Theodor Landscheidt. Schroeter Institute for Research in Cycles of Solar Activity , Canada.

30. Solar wind-atmospheric electricity-cloud microphysics connections to weather and climate. Mai Mai Lam, Brian A. Tinsley. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2015.10.019>

31. Heliophysics Science and the Moon Potential Solar and Space Physics Science for Lunar Exploration. Subpanel for Heliophysics Science and the Moon. Report to the NASA Advisory Council Heliophysics Subcommittee. September 2007

თავი 5.

ატმოსფერული ელექტრობა

იონების არსებობა ატმოსფეროში არის უმთავრესი პირობა ატმოსფერული ელექტრობის წარმოქმნისთვის. მათი გაქრობა ნიშნავს 0-ვან ელექტრული ველს და შესაბამისად არანაირ ელქექს და ელვას. პირველად ჯ.ელსტერმა და ჰ.გეითელმა (1899) შემოიტანეს დადებითი და უარყოფითი იონების, როგორც მუხტის მატარებლების კონცეპცია, ჰაერის

ელექტროგამტარობის ასახსნელად. მას შემდეგ მრავალი კვლევა ჩატარდა ატმოსფერული ელექტრობის მოვლენის შესასწავლად. დრეისათვის ცნობილია, რომ ძირითადად 3 ტიპის იონები არსებობენ: მცირე იონები, საშუალო და დიდი იონები. ყველაზე მნიშვნელოვანი მცირე იონებია, მათი დიდი მობილობის გამო, რაც საშუალებას აძლევს ატმოსფეროში აქტიურად გადაიტანონ მუხტი. მობილობის განზომილება მ/წმ/ volt /მ, რაც ნიშნავს იონის სიჩქარეს, რომელსაც იგი მიაღწევს თუ მასზე იმოქმედებს 1ვოლტის ძაბვის ელექტრული ველი 1წამში. მცირე იონებისთვის მობილობა 0.0001 რიგისაა. ნეგატიურიდან პოზიტიურზე მობილობის შეფარდება მცირე იონებისთვის დაახლოებით 1.25. რაც პარადოქსია, რადგან ნეგატიური იონები უფრო მასიურია ვიდრე პოზიტიური. ეს პარადოქსი უკავშირდება იონების სტრუქტურას და მათი სიცოცხლის ხანგრძლივობას.

ატმოსფეროს დაბალ ფენებში იონიზაცია გამოწვეულია ძირითადად კოსმოსური სხივების და ბუნებრივი რადიოაქტიობის გამო. იონები ასევე წარმოიქმნება ელჭექურ ღრუბლებში ან მათ სიახლოვეს. კოსმოსური სხივები წარმოიქმნება მზის ალების და გალაქტიკის სხვა ობიექტებიდან, როგორებიცაა ზეახალი და აფეთქებადი ვარსკვლავები. კოსმოსური სხივები ასევე კვებავს ელჭექებს იონებით. ღრმა კოსმოსში წარმოქმნილი კოსმოსური სხივები ჩვეულებრივ შესდგება ძალიან მაღალი სიჩქარის ნაწილაკებისგან. კოსმოსში არსებობს ელექტრონები, რომლებიც მოძრაობენ სინათლის სიჩქარესთან მიახლოებული სიჩქარით, მაგრამ ასეთი ნაწილაკები ატმოსფეროს ზედა ფენებში შთაინთქმება. მძიმე კოსმოსური ნაწილაკები შემოიჭრებიან ატმოსფეროში და ხშირად დედამიწის ზედაპირამდე აღწევენ. ასეთი შემოჭრების დროს უამრავი მეორადი ელექტრონი წარმოიქმნება (ე.წ. ელექტრონების წვიმა), მთელი ტრეკის გასწვრივ ატმოსფეროს მოლეკულებთან მაიონიზირებელი დაჯახებით. მეორად ელექტრონებს შეუძლია თავის მხრივ სხვა მოლეკულების იონიზაცია, სანამ არ შენელებს და არ ჩაიჭირება ატმოსფეროს მოლეკულის მიერ, რაც წარმოქმნის ნეგატიურ იონს. შედეგად კი ვლუბულობით მღრდ იონურ წყვილს წარმოქმნის ერთი კოსმოსური ნაწილაკისგან. ზღვის ზედაპირის სამაღლეზე იონების წარმოქმნის საშუალო სიჩქარე დაახლოებით 10მლნ./მ³მწ.-ში.

ნალექების ელექტრობას მნიშვნელოვანი როლი აქვს ატმოსფეროს შესწავლაში. ღრუბლის ფუძის და მიწისპირა მუხტი განსაზღვრავს წვეთის მუხტს, რომელიც ყოველთვის ღრუბლის ფუძის საწინააღმდეგო ნიშნისაა. ამ მოვლენას სარკული გამოსახულების ეფექტი ეწოდება: როდესაც ღრუბლის ფუძე უარყოფითადაა დამუხტული, ნალექის ნაკადი დადებითი ხდება და პირიქით. წვეთს სჭირდება რამოდენიმე წუთი, სანამ დედამიაზე დაეცემა და ამ დროის განმავლობაში ის ასწრებს მუხტის შეცვლას საბოლოო ნიშნამდე ღრუბლის ვევით ან მიწისპირთან ახლოს. თოვლის მიერ გადატანილი მუხტი ყოველთვის უარყოფითია ხოლო დამაბულობის გრადიენტი მერყეობს $+800 \text{ V/m}$ (Chalmers 1956). სრული ნალექის მუხტი დედამიწაზე დაახლოებით უტოლდება $+340$ ამპერს.

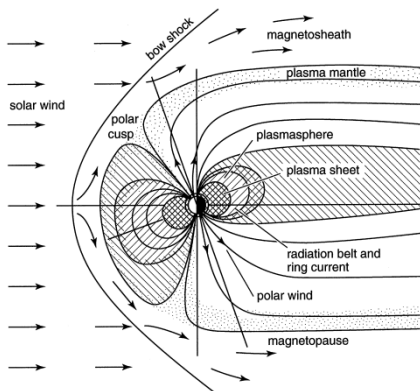
ელჭექის მუხტი

ელჭექის მიერ დედამიწის ზედაპირზე გადატანილი მუხტი საშუალოდ -340 ამპერის ტოლია, რაც აქრობს ნალექების მუხტს. უნდა გვახსოვდეს, რომ -340 ა. საშუალო ამპერი წარმოადგენს ნეგატიური მუხტის ნარჩენს განეიტრალებული დადებითიდან და ნეგატიურის ფარდობა დადებითთან 10:1-ნაა. ნეგატიური ელჭექის მუხტი 25000 ამპერია, ხოლო სრული მუხტი მხოლოდ 25კულონი. დადებითი ელჭექის მუხტი 10-ჯერ უფრო ძლიერია.

ელექტრული ბალანსი

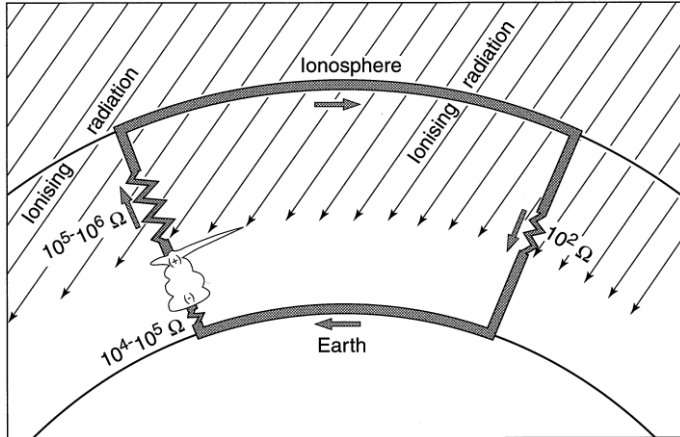
დედამიწა-იონოსფეროს სისტემის მუხტის ელჭეკებით წარმომნის კონცეპცია პირველად ვილსონმა წამოაყენა 1920წ. ელექტრული ველის ძალწირები ღრუბლის წვეროდან ატმოსფეროს ზედა გამტარ ფენებამდე (50კმ და მეტი)ვრცელდება და გადააქვს მუტი. იგივენაირად გადადის დადებითი მუხტი დედამიწის ზედაპირზე, ხოლო უარყოფითი კი ძირითადად ელვის და წერტილოვანი განმუტების საშუალებით გადადის.

საინტერესოა თუ როგორ მომედებს ადამიანებზე და ტექნოლოგიურ სისტემებზე ატმოსფეროს ელექტრობა. ცხადია, რომ თანამედროვე ტექნოლოგიები ძლიერადაა დამოკიდებული ატმოსფეროში ან კოსმოსში მიმდინარე ელექტრულ პროცესებზე. ცნობილია, რომ 60კმ-ს ქვემოთ მუხტის ძირითადი გადამტანები მცირე იონები არიან, რომლებსაც ძირითადად კოსმოსური სხივები წარმოქმნიან, ხოლო 60კმ-ს ზემოთ თავისუფალი ელექტონები არიან ძირითადად მუხტის გადამტანები. დაახლოებით 80კმ-ზე გამტარობა ანიზოტროპული ხდება გეომაგნიტური ველის ზეგავლენით და მზის ფოტოიონიზაციის გამო ხდება დღიური ვარიაციები.



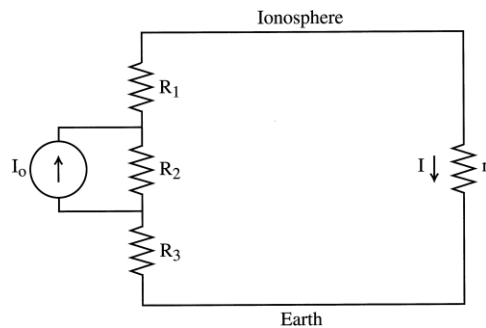
ნახ. 6. დედამიწა მისი გარემომცველი ატმოსფერო, ვან-ალენის რადიაციული ღვედები და მაგნიტოსფერო, დეფორმირებული მზის ქარის გავლიენის გამო (Davies, 1990).

ორ საუკუნეზე მეტი ცნობილია, რომ მყარი და თხევადი დედამიწა და მისი ატმოსფერო პერმანენტულად დაელექტროებულია. ზედაპირს აქვს უარყოფითი მუხტი, ხოლო ზედაპირის ზემოთ ატმოსფეროს- დადებითი. ატმოსფეროს სრული ველი 100-300 V/m, არსებობს ველის დღე-ღამური, სეზონური და სხვა დროითი ვარიაციები, გამოწვეული მრავალი ფაქტორით. ატმოსფეროს ფინიტური გამტარობა იზრდება სიმადლესთან ერთად, კოსმოსური სხივების იონიზაციის გამო. პოტენციალთა სხვაობა წამოქმნის რამოდენიმე ათასი ვოლტიანი ძაბვის, ქვემოთ მიმართულ გამტარობის დენს. გამტარობის დენი იცვლება იონოსფეროს პპოტენციალთა სხვაობის და კულონის წინააღობის გამო იონოსფერო-ზედაპირს შორის. ნებისმიერ ადგილზე წარმოქმნილი ჰორიზონტალური დენები თავისუფლად გადაადგილდებიან ზედაპირსა და იონოსფეროს შორის. დენები მიმართული ზევით და წარმოქმნილი ელჭეკური ღრუბლის წვეროდან იონოსფეროსკენ, და ასევე ზედაპირიდან ღრუბლისაკენ კეტავენ წრედს. სრული გლობალური წრედი 100 A რიგისაა. ელჭეკური ღრუბლიდან წარმოქმნილი ზევით მიმართული დენები 0.1-დან 6 A-მდე რანგისაა, ხოლო ყოველ ელჭეკურ უჯრედზე დაახლოებით 0.5 -1A -ის დენი წარმოიქმნება საშუალოდ (Blakeslee et al., 1989). მაღალ განედებზე ჰაერის გამტარობა იზრდება იონიზირებული რადიაციის (>1 GeV იონები) ან რელატივისტური დამუხტული ნაწილაკების შემოჭრის გამო მაგნიტოსფეროში (>1 GeV იონები და 1 MeV ელექტრონები).



ნახ.7. გლობალური ელექტრული წრედი (მუქი. Markson, 1978)

ძალიან ცოტა მათემატიკური მოდელია შექმნილი გლობალურ ატმოსფერულ ელექტრობაზე (Kasemir, 1963,1977; Hill, 1971; Hays and Roble, 1979; Volland, 1982; Ogawa, 1985). რადგან ძალიან რთულია გაზომვების ჩატარება გლობალურ წრედეზე. ყველაზე ხელსაყრელი სეტყვა-ელჭექური ღრუბლებია, როგორც გლობალური მოდელების გამარტივებული შემთხვევა. ჩვეულებრივ, ჩათვლილი, არამ ღრუბელი წარმოადგენს დიპოლს, წვეროზე დადებითი, ხოლო ფუძეზე უარყოფითი მუხტით. ტაშიო ოგავამ (1985) შეიმუშავა გამარტივებული ექვივალენტური სქემა ატმოსფეროსთვის. მის მოდელში R1 წარმოადგენს დამუხტვის წინაღობას, R2 -წინაღობა, რომელიც გააჩნია ღრუბელს წვეროსა და ფუძეს შორის, როცა არსებობს 100 MV პოტენციალთა სხვაობა, R3-ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენის წინაღობა, სამივეს ჯამი მცირედ აღემატება სრული ატმოსფეროს წინაღობას.



ნახ. 8. გლობალური ელექტრული წრედის გამარტივებული სქემა, სადაც მოცემულია ელჭექით გენერირებული დენი I_0 და სრული ატმოსფეროს დენი I . (Ogawa, 1985).

ლიტერატურა

1. A Brief Mathematical Guide to Earth Science and Climate Change. **Space Math**

<http://spacemath.gsfc.nasa.gov>

2. On secular changes of correlation between geomagnetic indices and variations in solar activity. Jean-Louis Le Mouél, Elena Blanter, Mikhail Shnirman, and Vincent Courtillot. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 117, A09103, doi:10.1029/2012JA017643, 2012.
3. ARTIFICIAL ATMOSPHERIC IONIZATION: A Potential Window for Weather Modification. Phillip Kauffman, Arquimedes Ruiz-Columbié
4. Late Twentieth-Century Warming and Variations in Cloud Cover. John McLean Atmospheric and Climate Sciences, 2014, 4, 727-742. SciRes. <http://www.scirp.org/journal/acs>. <http://dx.doi.org/10.4236/acs.2014.44066>
5. Martin G. Mlynczak, Linda A. Hunt, James M. Russell, B. Thomas Marshall, Thermosphere climate indexes: Percentile ranges and adjectival descriptors, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2018.04.004>
37. Mlynczak, M. G., L. A. Hunt, B. T. Marshall, J. M. Russell III, C. J. Mertens, R. E. Thompson, and L. L. Gordley (2015), A combined solar and geomagnetic index for thermospheric climate. *Geophys. Res. Lett.*, 42, 3677–3682. doi: 10.1002/2015GL064038.
6. Mlynczak, M. G., L. A. Hunt, J. M. Russell III, B. T. Marshall, C. J. Mertens, and R. E. Thompson (2016), The global infrared energy budget of the thermosphere from 1947 to 2016 and implications for solar variability, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 11,934–11,940, doi: 10.1002/2016GL070965

თავი 6.

მზის და კოსმოსის გავლენა ატმოსფერულ პროცესებზე

მზის ციკლების გავლენა

მზე გადის 22 წლიან ციკლს, რომლის დროსაც მისი მაგნიტური პოლუსი შეტრიალდება, მზის ლაქების აქტივობის სიხშირის მიხედვით. ეს მოიცავს 11 წლიან ციკლურ ფაზებს. პირველ ფაზაზე მაგნიტური პოლუსები პოლარობას შეცვლიან (რევერსი). მეორე ფაზის დროს მაგნიტური პოლარობა უბრუნდება პირვანდელს. მზის შტორმული აქტივობა მკაცრად დამოკიდებულია ამ ფაზებზე.

მზის ლაქები ადგილებია, სადაც შტორმების უმეტესობა წარმოიქმნება. მზე ბრუნავს სთავისი ღერძის გარშემო, დაახლოებით 27 დღიანი პერიოდით და მზის ლაქების უმეტესობა აქტიური რჩება რამოდენიმე ბრუნვის განმავლობაში და წარმოქმნის ცილურ 27 დღიან მზის შტორმს.

მზის ალები მზის ზედაპირზე მიმდინარე ამოფრქვევებია. ამოფრქვევიდან დაახლოებით 8წთ-ის შემდეგ ელექტრომაგნიტური მძლავრი რადიაცია გამასხივების, უკიდურესი ულტრაიისფერი, რენტგენის სხივების და რადიოტალღების სახით აღწევს დედამიწაზე. ულტრაიისფერი ტალღები ათბობენ ატმოსფეროს ზედა ფენებს. რენტგენის სხივები ამოყრის ელექტრონებს ატომებიდან და ქმნიან დიდი რაოდენობით ელექტრონების ღრუბელს დამატებით რადიაციულ სარტყლებზე. მზის ალები ახშობენ თანამგზავრულ კავშირს, რადარულ კავშირს, ახშობენ მოკლე-ტალღურ რადიოკავშირს, ხშირად იწვევენ თანამგზავრის ორბიტის პარამეტრების ცვლილებას და სხვა შემფოთებებს.

CME არის მაღალ-ენერგეტიკული აირის ღრუბელი, დაბალი ან საშუალო ენერგიების ნაწილაკების პლამა, გარშემორტყმული მაგნიტური ველით. როცა ის ეჯახება დედამიწას ეს ველი და პლაზმა შეიჭრება დედამიწის მაგნიტურ ველში, რაც ქმნის დროებით შემფოთებას დედამიწის მაგნიტოსფეროში - მაგნიტური შტორმი და დენების ეკვატორულ დინებებს, სხვადასხვა გრადიენტებს და იწვევს დამუხტული ნაწილაკების გადახრას დედამიწის მახლობლობაში. მათი წარმოქმნის ადგილი ხშირად მზის ალების სიახლოვესაა.

გეომაგნიტური შტორმების სიძლიერე და მიკიდებულია დედამიწის მაგნიტური ველის ორიენტაციაზე მზის ველთან დაკავშირებით. თუ სამხრეთ მიმართულია, მაშინ ძლიერია, თუ ჩრდილოეთ მიმართული- სუსტი.

მზის კორონალურ ამოფრქვევებს CME შეუძლიათ შემდეგი გავლენის მოხდენა: საფრენი აპარატების ელექტრობის შეცვლა, ვან-ალენის რადიაციული სარტყლის წანაცვლება, ყველა სახის კავშირგაბმულობის დარღვევა, კოსმოსური ფრენების პარამეტრების ცვლილება, გაზ და ნავთობსადენების კოროზია, კომუნიკაციების სისტემის მოშლად ან არჭურვილობის დაზიანება, ელექტრული განმუხტვების საშიშროება, გულ-სისხლძარღვთა დაავადებების გამწვავებას, ენერგოსისტემის წყვეტას და სხვ. ეს მოვლენა 1-3 დღე გრძელდება და ვრცელდება მთელ მაგნიტოსფერულ რეგიონზე და იწვევს მაგნიტური ველის მკვეთრ შემცირებას. მაგნეტოსფეროს ქარიშხალი 1-დან 3-დღიანი მოვლენაა და ამ დროს მაგნიტური ველის მკვეთრი შემცირებაა. ქარიშხლისა და ქვე-ქარიშხლების დროს იონოსფეროს მნიშვნელოვანი ჯოული სითბოს რაოდენობა გადაეცემა ენერგეტიკულ ნაწილაკთა მძლავრი ენერგიით. დიდი ენერგია ზრდის იონოსფეროს ტემპერატურას, იწვევს ფართომასშტაბიანი იონების დრეიფს და ნეიტრალურ ქარებს.

მზე განუწყვეტლივ ასხივებს დედამიწას და მის სპექტრულ სიმკვრივეში მნიშვნელოვანი ცვლილებებია. დაცემული რადიაცია განუწყვეტლივ იცვლება მაგნიტოსფეროში, თერმოსფეროში და იონოსფეროში მიმდინარე მოვლენების გამო. მზის კვაზი-მდგრადი ნაკადებიც ასევე იცვლება მზის ამოფრქვევების გამო, რომლებიც აჩქარებენ დამუხტულ ნაწილაკებს და იწვევენ გომამგნიტურ შტორმებს, თანამდევნი ზემოქმედებით დედამიწაზე დიდი რაოდენობით დაცემული ენერგეტიკული ნაწილაკების საშუალებით.

მზის მოვლენები: მზის ალები, მასიური კორონალური ამოფრქვევები, (CMEs), მზის ენერგეტიკული ნაწილები (SEPs) ფართომასშტაბიანი ამინდის წარმომქმნელებია გეოსივრცეში. როდესაც პლაზმური გიგანტური ღრუბელი იფრქვევა მზის ტრანზიტული მოვლენებიდან, ის ურთიერთქმედებს დედამიწის მაგნიტურ გარემოსთან. გეომამგნიტური შტორმები (Geomagnetic storms) შეიძლება დახასიათდეს გეომამგნიტური სფეროს H კომპონენტის დეპრესიით. დედამიწის მაგნიტური ველის H კომპონენტის ეს დეპრესია გამოწვეულია წრიული დენებით, რომელიც გარს უვლის დედამიწას დასავლეთის მიმართულებით. დედამიწის იონოსფერო პასუხობს მზისა და მაგნეტოსფეროს ამ მოვლენებს. იონოსფეროს ელექტრონების სიმკვრივის პიკები და მდებარეობა დამოკიდებულია მზის ულტრაიისფერი ნაკადის, რენტგენის სხივების ნაკადის და ნეიტრალური ქარების და ელექტრული ველის დინამიური ეფექტის ცვალებადობაზე. გეომამგნიტური შტორმის დროს, დედამიწის მაგნიტოსფეროს დაწნევის გამო მზის ქართ, ელექტრული ველები წარმოიქმნება გეომამგნიტური ველის ძალწირების მთელი სიგრძის გასწვრივ იონოსფეროში. ზოგჯერ, ეს ელექტრული ველი და მაღალი ენერგიის მქონე დამუხტული ნაწილაკები თერმოსფეროს ქვედა განედებზე აღწევენ, ზრდიან იონოსფეროს გამტარებლობას და წარმოქმნიან ავრორას (ციალის) ზონებს. ეს ინტენსიური ელექტრული დენები განაპირობებს მაღალი განედების იონოსფეროსა და მაგნიტოსფეროს შეკავშირებას და აძლიერებს მისთვის ენერგიის მიწოდებას, რაც მნიშვნელოვნად ათბობს იონიზებულ და ნეიტრალურ აირებს. დროის მასშტაბით, არსებობს ორი ტიპის ეფექტი. რომელსაც წარმოქმნის დედამიწაზე მზის ტრანზიენტები: **სწრაფი და დაგვიანებული**. გეომამგნიტური შტორმული ეფექტები დაგვიანებულია მზიდან ამოტყორცნილი ნაწილაკების გავლენის გამო.

დაკვირვებებმა აჩვენა, რომ ენერგეტიკული ნაწილაკი გავლენას ახდენს ტალღის გავრცელებაზე, ზონალურ ტემპერატურასა და **ზონალურ ქარებზე ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში ზამთრის პერიოდში**. თუმცა, ის მექანიზმი, რომლითაც ეს ცვლილებები ხდება, ჯერ კიდევ უცნობია. დედამიწის ატმოსფეროში მომხდარი ცვლილებები გამოწვეულია მზის ცვლილებების ან გაზრდილი ანთროპოგენური აქტივობისა და გაზრდილი სათბურის გაზების (GHG) კონცენტრაციის ცვლილების გამო, შედეგად კი

დედამიწის ატმოსფეროს ენერგეტიკული ბალანსი იცვლება და ეს გავლენას ახდენს მის დინამიკაზე. ცვლილებები შეიძლება მოხდეს ატმოსფერული გრავიტაციული ტალღების, პლანეტარული ტალღების პროპაგაციაში, რომელიც მნიშვნელოვან როლს ასრულებს შუა ატმოსფეროში ზოგად ცირკულაციაში. თერმოსფერო-იონოსფეროს სისტემის მექანიზმი, მზის ციკლისა და გეომაგნიტური აქტივობის გამო არსებითად განსხვავდება სიმალლის, გრძედის, გრძედის, უნივერსალური დროის, სეზონის მიხედვით, რად შედეგად იძლევა კოსმოსურ ამინდს. პირველადი მართვის მექანიზმი მზის რადიაციაა (EUV და UV), მაგრამ ასევე იონოსფერო-თერმოსფერო სისტემაზე მნიშვნელოვანია მაგნიტოსფერული ნაწილაკებისა და მაგნეტოსფეროს ელექტრული ველზე გავლენა. მამოძრავებელი პროცესები განსაზღვრავს ზედა ატმოსფეროს იონიზებულ და ნეიტრალური შემადგენლობის სიმჭიდროვეს, შემადგენლობასა და ტემპერატურას.

მზის ქარი ქმნის პირობებს, რომლებიც ხელსაყრელია გეომაგნიტური ქარიშხლების წარმოქმნისთვის (რამდენიმე საათის), მაღალი სიჩქარის მზის ქარის დროს, და, რაც მთავარია, სამხრეთისკენ მიმართული მზის ქარის მაგნიტური ველი (დედამიწის საპირისპირო მიმართულებით) მაგნეტოსფეროში ეს მდგომარეობა ეფექტურია მზის ქარიდან დედამიწის მაგნეტოსფეროში ენერჯის გადაცემისათვის.

ამ პირობებიდან გამომდინარე ყველაზე დიდი წვიმები დაკავშირებულია მზის კორონალური მასის ამოფრქვევასთან (CMEs), როცა მზისგან მილიარდი ტონა პლაზმა, მისი თანმხლები მაგნიტური ველით დედამიწაზე ჩამოდის. CMEs, როგორც წესი, რამდენიმე დღის განმავლობაში ჩამოდის დედამიწაზე, მაგრამ შეინიშნება, ზოგიერთი ყველაზე ინტენსიური ამოფრქვევის ჩამოსვლა მცირე დაახლოებით 18 საათის განმავლობაში. კიდევ ერთი მზის ქარის ზემოქმედება, რომელიც ქმნის პირობებს გეო-მაგნიტური შტორმის წარმოქმნისთვის არის მაღალი სიჩქარიანი მზის ქარის ნაკადი (HSS). HSS- ის ნაკადი შეერევა მზის ქარის შედარებით ნელ ნაკადს მისი მიმართულებით და ქმნის თანაბარი მბრუნავი ურთიერთქმედების რეგიონებს ან CIRs- ს. ეს რეგიონები ხშირად დაკავშირებულია გეომაგნიტურ ქარიშხლებთან, უფრო მცირე ინტენსიურობის ვიდრე CME ქარიშხალი, მაგრამ მაინც შეუძლია უფრო მეტი ენერჯის დეკონირება დედამიწის მაგნეტოსფეროში დიდი ხნის განმავლობაში.

პროექტის მიზანია ატმოსფეროში მეტეოროლოგიური პროცესების ევოლუციის ხასიათზე მაგნიტური ქარიშხლების შესაძლო გავლენის დადგენა, რათა შევისწავლოთ მაგნეტოსფეროს შემფოთებებისა და მეტეოროლოგიური პარამეტრების ცვლილებებს შორის კორელაცია. მზე, დედამიწის მოძრაობასთან ერთად ორბიტაზე, დედამიწის გეო- გარემოში სხვადასხვა დროითი მასშტაბების ცვლილებებს იწვევს, წლის მასშტაბით დაწყებული მცინვარების ციკლის დროითი მასშტაბით დამთავრებული. დედამიწის კლიმატის ცვლილების ბოლოდროინდელ კვლევებში განსაკუთრებული ყურადღება დაეთმო ტროპოსფერო (10-15 კმ სიმაღლეზე), შუა ატმოსფერო (10-100 კმ) და დედამიწის გეო- სივრცეში (მეზოსფერო, თერმოსფერო, იონოსფერო და მაგნიტოსფერო) და მზის აქტივობის ქმედების შესწავლას.

კვლევის საგანია აგრეთვე მზის აქტივობის პარამეტრები. ატლანტიკასა და ევროპაში შეჯახებები შეინიშნებოდა გეომაგნიტური დღის განმავლობაში. აღმოჩნდა, რომ გეო აქტივობის გაზრდამ გამოიწვია ჩრდილოეთით ჰემისფეროსა და შუა ატმოსფერული ცირკულაციის ზონალურ ზონის გააქტიურება (Buchta, 1988, 1991). ასევე აღინიშნა, რომ მოკლევადიანი და გრძელვადიანი ცვლილებები მზის აქტივობებში, გეომაგნიტურ ველისა და ამინდის მონაცემებში აჩვენებს ძალიან მსგავს პერიოდულ ვარიაციებს. ჩატარდება კოეფიციენტების კვლევა dst, kp, aa და კვაზი ბინალური ოსცილაცია (QBI) და ატმოსფერული ცირკულირების ცვლილების სხვა პარამეტრებს შორის, რამაც ეს პერიოდულობა დაადასტურა. 1957 წლის საერთაშორისო გეოფიზიკური წლიდან დაწყებული მონაცემებით,

ვიყენებთ მონაცემთა ცენტრის C2 იაპონია, კიოტო, და შემდეგი ცენტრების მონაცემებს: Hermanus, HER; Honolulu, HON; Kakioka, KAK; San Juan, SJG (<http://SunSpotWatch.com>; www.swpc.noaa.gov; <http://eyes.jpl.nasa.gov/eyes-on-the-earth.html>; <https://search.earthdata.nasa.gov/search?m=30.8671875!21.9375!2!1!0!0%2C2>; <http://spaceweather.com/>; <http://go.nasa.gov/1WRghoT>; SOHO/LASCO კატალოგი <http://cdaw.gsfc.nasa.gov>. ასევე მაგნიტური ველის დასაკვირვებლად მსოფლიო მაგნიტური ველის (WMM) მონაცემები გამოიყენება. მეტეოროლოგიური მონაცემები მოგვაწოდა გარემოს ეროვნულმა სააგენტომ: nea.gov.ge. შექმნილი მონაცემთა ბაზა იძლევა კორელაციის ანალიზის ჩატარების საშუალებას და გამოავლენს მეტეოროლოგიური პარამეტრების ცვალებადობის დამოკიდებულებას გეო-შტორმებზე. შედეგების ამინდის პროგნოზირების მოდელირებაში გათვალისწინება აუცილებელია, რაც ხელს შეუწყობს რეგიონალური ამინდის პროგნოზირების სისტემას უფრო ზუსტი პროგნოზის შექმნას. პროექტი ასევე ფოკუსირებულია ამინდის ჰიდროთერმოდინამიკის და მაგნიტოჰიდროდინამიკის გაერთიანებაზე, რისთვისაც ახალი მიდგომების შექმნა განიხილება.

Kp ინდექსი 1900 წლიდან მუდმივად გამოითვლება პოტსდამის GFZ- ის მიერ და ხელმისაწვდომია ვებ-გვერდზე www.gfz.potsdam.de. **Kp** ინდექსი ალბათ ყველაზე ფართოდ გამოიყენება ყველა მაგნიტური მაჩვენებლებით. იგი განკუთვნილია "geomagnetic activity", ან მთელ დედამიწაზე შემფოთების ხარისხის საჩვენებლად, გამოითვლება სამი საათის ინტერვალებით უნივერსალურ დროში. **Kp** ინდექსები შემდეგ კონვერტირებულია კვაზი-ლოგარითმიული მასშტაბიდან უხეშად ხაზოვან მასშტაბზე (nT), რითაც მიიღება ე.წ. 3-თ **AP** ინდექსი. საბოლოოდ, ინდექსი **Ap** განისაზღვრება, როგორც საშუალოდ რვა 3-საათიანი ინდექსი.

გეო-შტორმის შემფოთების დრო (**DST**) ინდექსი, ისტორიულად გამოყენებულია გეომაგნიტური ქარიშხლის ზომის შეფასებისთვის. გეომაგნიტური ქარიშხლის ინტენსივობა საყოველთაოდ განისაზღვრება მინიმალური **DST** სიდიდით ან მაქსიმალური დეპრესიული **DST** ბალანსით. მაგნიტური ველის დათრგუნვა ძირითადი ფაზის დროს იწვევს მაგნიტოსფეროში წრიული დენების წარმოქმნას. **DST** ინდექსი ქვემოთ -50 nT მიუთითებს ზომიერ შემფოთებაზე, რომელიც ინტენსიურად ინახავს -100 nT ბარიერი (Gonzalez et al. 1994) და ზე-ინტენსიური ან უკიდურესი თუ **Dst** აღწევს -250 nT (Echer et al 2008). **DST** ინდექსი, რომელიც დედამიწის გარშემო არსებული ბირთვის (Dessler & Parker 1959, Sokopke 1966) გაზომვის სახით იქნა ცნობილი,

ევროპულ და ჩრდილო-ატლანტიკურ რეგიონებში ამინდის ბევრი ვარიაცია დაკავშირებულია ჩრდილოეთ ატლანტის ინდექსის (**NAO**) ცვლილებებთან. ჩრდილოეთი ჩრდილოეთი ატმოსფერული ზედაპირის ზეწოლის ჩრდილოეთით ჩრდილო-ატლანტიკური ინდექსის გამოყენებით ჩრდილო-ატლანტიკური ატმოსფერული პოლარული თვითმფრინავის ნაკადების ცვლილებები და ატმოსფერული ცირკულაციის ფართო ცვლილებები. ნაოსნობის ცვლილების ფიზიკური, ადამიანური და ბიოლოგიური ზემოქმედებები ასევე ვრცელდება ამინდისა და კლიმატის მიღმა, მნიშვნელოვან ეკონომიკურ, სოციალურ და გარემოსდაცვით ეფექტებთან. ბარომეტრიული ზეწოლის ჩანაწერებზე დაფუძნებული **NAO** ინდექსი 1850 წლამდე ვრცელდება. Azores- ისა და ისლანდიის შორის ნორმალური წნევა განსხვავებაა დადებითი ნაოა და ნორმალური ზეწოლისგან განსხვავებით უარყოფითია **NAO**. ზამთრის თვეებში დადებითი ნ.ო. ასოცირდება ჩრდილო-დასავლეთ ევროპის ირგვლივ თბილი და სველი პირობებით, სამხრეთ-აღმოსავლეთ ევროპის მასშტაბით, ცივ და მშრალ პირობებში. საპირისპიროა ზოგადად ჭემმარტი ნაოსნობის პირობები, როგორც სუსტ ზეწოლის გრადიენტი, ზოგადად, სამხრეთით გადაადგილებული ქარიშხალი ტრეკების და ზღვის დონის წნევა (**SLP**) შეცვლის შედეგად, როგორც წესი, უფრო სავალალო მდგომარეობაშია.

ქვედა ტროპოსფერო და სტრატოსფერო ცნობილია, რომ მზის რადიაციის ცვლილებებისადმი მგრძობიარეა. ქვედა ტროპოსფერო მზის ხილული რდიციის აბსორბციის გამო თბება, ხოლო სტრატოსფეროს გათბობა გამოწვეულია ოზონის ულტრაიისფერი გამოსხივებისგან. სპექტრული მზის განცდების ვარიაციები გავლენას ახდენს ოზონის წარმოებასა და განადგურებაში. კვლევებმა აჩვენა, რომ სპექტრული ცვლილებები შეიძლება გამოიწვიოს ოზონის გაზრდა ან შემცირება ატმოსფეროში. ოზონის წარმოება სტრატოსფეროში იზრდება მზის მაქსიმალური განმავლობაში და მცირდება მზის მინიმუმამდე (Rind et al 2008). 11 წლიანი ციკლის დროს მზის აბსორბციის ვარიაცია დაახლოებით 0.1% შეადგენს. ულტრაიისფერი ტალღის სიგრძის (200 - 250 ნმ) მზის რადიაციის ვარიაციები მნიშვნელოვნად აღემატება 4,5% -დან მზის მინიმალური და მზის მაქსიმუმს.

მზე-დედამიწის გარემოში პარამეტრებია, რომლებიც რეგულარულად იცვლებიან: ეს ცვლადებია Kp, პროტონული ნაკადი და E- ნაკადები. ისინი დედამიწის მთელ გარემოზე გავლენას ახდენს, მათ შორის ოზონის ფენების განადგურებასა და კლიმატის ცვლილებაზე. მზის ქარის მერყეობიდან გამომდინარე მეტეოროლოგიური მოვლენები ამჟამად ამინდს და კლიმატურ მოდელეებში ცუდად არის წარმოადგენილი. მართლაც, მზის როლი კლიმატის სისტემაში ერთ-ერთი ყველაზე დიდი უცნობია. არსებობს მოსაზრება, რომ მზის- ამინდის დაწყვილება მოხდეს გლობალური ატმოსფერული ელექტროდრავის მეშვეობით. საერთაშორისო სავალუტო ფონდის დახმარებით დაიწყო ამინდის სივრცითი ვარიაციის დაკავშირების კვლევა მზის აქტივობასთან, რაც არ ყოფილა შესწავლილი მთელ მსოფლიოში.

პროექტის ფარგლებში შემდეგი ამოცანები შეისწავლება:

1 მზის ზემოქმედება ამინდის შემოფოთებაზე ქვედა და შუა ატმოსფეროში. მზის ცვალებადობის ზემოქმედების შესწავლა ატმოსფეროს თერმოდინამიკური, დინამიკური და მიკროფიზიკური პროცესების გავლენით, მზის ენერგეტიკული ნაწილაკების, მზის ენერგეტიკული ნაწილაკების ვარიაციების გათვალისწინებით. განსაკუთრებული ყურადღება გამახვილებულია მიკროფიზიკურ პროცესებზე.

2 გეო-სივრცის ამინდის პროგნოზი.

მეცნიერება და პროგრამები ფოკუსირებულია მზის მოკლევადიანი ვარიაციების შესწავლასა და გამოყენებაზე. იგი მოიცავს მზის ისეთ ფენომენებს, როგორცაა მზის ალები (flares), CMEs, მაგნიტური ქარიშხალი და ქვეშტორმები (substorms), ისევე როგორც იონოსფერული სტრუქტურების მოქმედება ქვედა ატმოსფერულ პროცესებზე. ეს ფენომენები გავლენას ახდენს თანამგზავრებზე ორბიტაზე, ხელს უშლის სატელეკომუნიკაციო სისტემებს და ელექტროენერჯის განაწილების სისტემებს. მიღებული შედეგები გამოყენებული იქნება მზის დედამიწის სისტემის მოდერნიზაციისათვის Geospace- ის პირობების ულტრამოკლე და მოკლე-ვადიანი პროგნოზირებისათვის, რათა ამინდის პროგნოზირება უფრო ზუსტი გახდეს და ადრფეული გაფრთხილების შეტყობინება გასცეს, რათა შეამციროს მზის მოვლენების გავლენა ტექნოლოგიებზე, საზოგადოებასა და ყოველდღიური ცხოვრების აქტივობაზე.

3. ატმოსფერული დაწყვილება. პროცესები მიზნად ისახავს ატმოსფეროში ჩანერგილი პროცესების უფრო დაწვრილებით წესწავლა და გაგება. ამ პროცესებში ჩართულია დინამიური, რადიაციული და ელექტროდინამიკური პროცესები, ასევე ატმოსფერული შემადგენლების გადატანა ზევიდან ქვევით და პირიქით.

4. შეიქმნება შესაბამისი მონაცემების ბაზა.

პროექტი ინოვაციურია, რაც გულისხმობს, რომ ამგვარი ერთიანი მიდგომა ამინდი, ცირკულაცია და გეო-სივრცისადმი ჯერ არ ჩატარებულა, განსაკუთრებით საქართველოში. პროექტის შედეგები მნიშვნელოვანი იქნება შემდგომი კვლევისთვის, რადგან ის ახლად

კომპლექსურად წარმოადგენს ამინდის მოვლენებს, გლობალურ ცირკულაციაში და გეოსივრცეში, კვლევის მასალები შეიძლება საინტერესო იყოს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში, თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში და ა.შ. მეთოდები და მიდგომები გეომეცნიერებებში.

მზის დედამიწის გარემოს აქვს ცვლადები, რომლებიც რეგულარულად იცვლება. ეს ცვლადებია Kp, პროტონული ნაკადი და E (ელექტრონული)- ნაკადი. მუდმივმა ცვლილებებმა ამ პარამეტრებში შეიძლება მკვეთრი გავლენა მოახდინოს დედამიწის გარემოზე. თუკი გლობალური დათბობისთვის E-flux შემოჭრა მნიშვნელოვანია, მაშინ E ნაკადის შემცირებამ შეიძლება გამოიწვიოს თოვლის, წვიმის სივრცულ-დროითი ცვლილება. დედამიწის რეჟიმზე CME- ის ეფექტი არა მხოლოდ მიწისძვრის გამოწვევას, არამედ დედამიწის მთელ გარემოზე გავლენას ახდენს, მათ შორის ოზონის ფენის შემცირებაზეც.

მზის ქარის ცვალებადი ბუნების გამო, გამომდინარე მეტეოროლოგიური მოვლენები ამჟამად ამინდისა და კლიმატის მოდელებში ნაკლებად წარმოდგენილია. მართლაც, მზის როლი კლიმატის სისტემაში ერთ-ერთი ყველაზე დიდი უცნობია. არსებობს მტკიცებულება, რომ ამ მზე- ამინდის დაწყვილება ხდება გლობალური ატმოსფერული ელექტროძრავის მეშვეობით.

ეს კვლევა ასევე აქტუალურია ზუსტი ამინდის პროგნოზის საჭიროების, ახლებურად გააზრებული ატმოსფეროს ფიზიკის, ჯანდაცვისა და ა.შ. ახალი ცოდნა შეიქმნება ამინდის ფორმირების შესახებ, მეტეოროლოგიური პარამეტრების ცვალებადობის კანონზომიერებზე, კოსმოსური პროგნოზირების ამოცანებზე, ჯანდაცვის საკითხებზე, რადგან გეო-მაგნიტური ქარიშხალი გავლენას ახდენს ადამიანებზე კარდიო-ვასკულარულ დაავადებებზე. შედეგები ხელი შეუწყოს ადრეული გაფრთხილების სისტემის შექმნას სამედიცინო პერსონალისთვის რათა მოამზადონ პაციენტები ჯანმრთელობის შესაძლო გაუარესებისთვის.

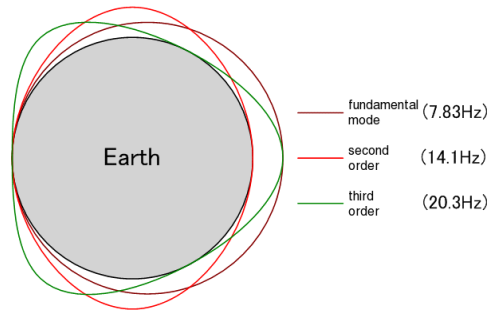
განედური ეფექტები

მზის გავლენა გეომაგნიტურ ველზე იცვლება პოლარულ რეგიონებსა და საშუალო განედებს შორის. მზის გაზრდილი აქტივობა ამცირებს გალაქტიკურ კოსმოსურ სხივებს საშუალო განედებზე, რითაც მცირდება ატმოსფეროს გამტარობა ამ რეგიონებში, ამავე დროს მზის პროტონული ნაკადები შეიძლება ჩაიჭიროს დედამიწის მაგნიტურმა ველმა და გადაიტანოს პოლარულ რეგიონებში (გვირაბული ეფექტი), ამის შედეგად კი, გაიზრდება ატმოსფერული გამტარობა პოლუსებთან. მზის ქარის და გეომაგნიტური ველის ურთიერთქმედებით წარმოქმნილი პოტენციალთა სხვაობამ შეიძლება გადააჭარბოს 100 kV, მზის აქტივობის დროს.

შუმანის რეზონანსი

გლობალური ელექტრომაგნიტური რეზონანსული მოვლენა 1952წ. მათემატიკურად იწინასწარმეტყველა ვინფრიდ ოტო შუმანმა. შუმანის რეზონანსი ხდება დედამიწის ზედაპირსა და გამტარ იონოსფეროს შორის სივრცეში, რომელიც ტალღის გამტარივით მოქმედებს. ის ვლინდება დაბალ სიხშირეებზე სიხშირეებია-7.83 Hz (ბაზური), 14.3, 20.8, 27.3 და 33.8 Hz. შუმანის რეზონანსი წარმოიქმნება ელქეების ელექტრომაგნიტური რადიაციისგან, რომელიც მოხვდა დედამიწა-იონოსფეროს ტალღურ კვეთში (ტალღის გამტარში). ძალიან დაბალ სიხშირეებზე, რადიოტალღების მცირე მილევისას, ისინი რამოდენიმეჯერ ასწრებენ გავრცელებას დედამიწის გარშემო, სანამ დაიშლებიან. ინტერფერენციის შედეგად წარმოიქმნება მდგარი რეზონანსული ტალღები 8; 14; 20; 26; :: : Hz სიხშირეებზე, ხოლო 8 Hz მდგომარეობა წარმოადგენს ტალღას, რომლის ტალღის სიგრძე დედამიწის გარშემოწერილობის ტოლია (40000კმ). ბაზური სიხშირე წარმოადგენს მდგარ ტალღას, რომლის სიგრძეც დედამიწის გარშემოწერილობის ტოლია. უდაბლეს სიხშირულ

მდგომარეობას უდიდესი ინტენსივობა აქვს. ყველა მდგომარეობის სიხშირეები იცვლება მზით გამოწვეული შემფოთებები გამო. უდიდესი რეზონანსი მნათ მოვლენებთან, როგორცაა სპრაიტები, ელვები და ჯეტები ([transient luminous events—sprites, ELVES, jets](#)) და ზედა ატმოსფერულ განმუხტვებთან. ასევე შუმანის რეზონანსი ხანმოკლე მიწისძვრების პროგნოზს უკავშირდება. მის მიმართ ინტერესი გაიზარდა 1993 როცა დადგინდა კორელაცია რეზონანსულ სიხშირეებსა და ტროპიკულ ჰაერის ტემპერატურას შორის, საიდანაც დადგინდა, რომ შუმანის რეზონანსი შეიძლება გლობალური დათბობის მონიტორინგისთვის გამოვიყენოთ.



ნახ.9. შუმანის რეზონანსის გრაფიკული წარმოდგენა

კლიმატის ცვლილება და გლობალური ელექტრო წრედი

გლობალური ელექტროწრედი გახდა დედამიწის კლიმატის და კლიმატის ცვლილების შესწავლაში მნიშვნელოვანი ატრიბუტი. დაკვირვებებით დგინდება, რომ კლიმატის ცვლილების შედეგად განმუხტვების რაოდენობა და ინტენსივობა გაიზარდა. 1992წ. დაადგინეს, რომ არსებობს კავშირი ტროპიკულ ტემპერატურასა და შუმანის რეზონანსის ვარიაციებს შორის, ასევე 1993წ. ჩატარდა კვლევა, რომლის მიხედვითაც, დღის საშუალო ზედაპირული ტემპერატურა და გლობალური ელექტრული წრდის დღიური ცვალებადობა (კარნეგის მრუდი) ერთმანეთთან კარგ თანხვედრაშია. 1999წ. ჩატარდა კვლევა, რომელმაც დაადგინა, რომ იონოსფეროს პოტენციალს აქვს დადებითი კორელაცია გლობალურ და ტროპიკულ ტემპერატურებს შორის. ასევე, თანამგზავრებიდან ელჭექების აქტივობის მონაცემები კარგად თანხვედება გლობალურ ტემპერატურას. ასევე, განმუხტვებთან კარგი თანხვედრა აქვს ატმოსფერულ წყლის ორთლს.

ლიტერატურა

1. www.spaceweather.gov
2. sdo.gsfc.nasa.gov
3. NOAA/SWPC, Boulder, Co, USA. spaceweatherlive.com
4. Earthdata.nasa.gov

თავი 7. გეო- შტორმი და იონოსფერო- ატმოსფერო დაწყვილება

დედამიწის მაგნიტური ველი

დედამიწის მაგნიტური ველი, ანუ მაგნიტოსფერო, პლანეტის ბირთვიდან კოსმოსამდეა გაჭიმული, სადაც ის ეჯახება მზის ქარს, მზისგან გამოსხივებულ დამუხტული ნაწილაკების ნაკადს. უმეტესწილად, მაგნიტოსფერო ფარის როლს ასრულებს დედამიწის დასაცავად ამ ენერგიის მზის ნაწილაკებისგან.

როდესაც ეს ველი ხვდება მზის მაგნიტურ ველს - პროცესს სახელწოდებით "მაგნიტური ხელახლა შეერთება" - მზიდან მძლავრი ელექტრული დინებები დედამიწის ატმოსფეროში შეიძლება შემოვიდეს, გეომაგნიტური ქარიშხლები და კოსმოსური ამინდის მოვლენები, რომლებმაც შეიძლება გავლენა მოახდინონ საფრენ აპარატებზე, და ასევე კსხვა აპარატებზე, რომლებისთვისაც მაგნიტური ველი მნიშვნელოვანია.

MIT- ისა და NASA- ს მეცნიერებმა დაადგინეს დედამიწის მაგნიტოსფეროში მიმდინარე პროცესი, რომელიც აძლიერებს მის დამცავ ეფექტს და მზის ენერგიას აკავებს დისტანციაზე.

მიწიდან და კოსმოსიდან დაკვირვებების კომბინაციით, გუნდმა დააფისირა დაბალი ენერგიის პლაზმის ნაწილაკები, რომლებიც ძლიერად აწვება მაგნიტური ველის ხაზებს - დედამიწის ქვედა ატმოსფეროდან წერტილამდე, ათობით ათასი კილომეტრის დაშორებით, სადაც პლანეტის მაგნიტური ველი უკავშირდება მზისას. ამ რეგიონში, რომელსაც მეცნიერები "შერწყმის წერტილს" უწოდებენ, ცივი, მკვრივი პლაზმის არსებობა ანელებს მაგნიტურ კავშირს, ასუსტებს მზის ზემოქმედებას დედამიწაზე.

"დედამიწის მაგნიტური ველი იცავს სიცოცხლეს ზედაპირზე ამ მზის აფეთქებების სრული ზემოქმედებისგან", - ამბობს ჯონ ფოსტერი, MIT- ის Haystack Observatory- ის ასოცირებული დირექტორი. "ხელახლა დაკავშირება გვაშორებს მაგნიტური ფარის რაღაც ნაწილს და ენერგიას შემოსვლის საშუალებას აძლევს, რაც დიდ, ძლიერ ქარიშხლებს იწვევს. ეს პლაზმებს იფანტება კოსმოსში და ანელებს შეკავშირების პროცესს, შედეგად კი მზის ზემოქმედება დედამიწაზე არის შემცირებული" დედამიწის გარშემო მაგნიტური ველი წარმოიქმნება გარე ბირთვში მდნარი რკინის წრიული ოძრაობით. იგი გვიცავს ნაწილაკების ქარიშხლებისგან, კოსმოსური სხივებისგან, UV ტიპის B გამოსხივებისგან და ღრმა კოსმოსიდან წამოსული სუბატომური ნაწილაკებისგან. მის გარეშე ოზონის შრე დაიშლება და ჩვენ ყოველგარი დაცვის გარეშე ვიქნებით კოსმოსური მიკროტალღოვანი გამოსხივების წინაშე. ყოველ რამდენიმე ასეულ ათასი წელიწადში მაგნიტური ველის ძალა მცირდება მანამ, სანამ ის თითქმის საერთოდ არ გაქრება და ამ ეტაპზე მაგნიტური პოლუსები რევერსს განიდიან, პოლუსები ადგილებს იცვლიან. გეოლოგიური ჩანაწერი გვეუბნება, რომ ასეთი რევერსის მრავალი შემთხვევა ყოფილა. ფიქრობენ, რომ ეს უკანასკნელი დაახლოებით 780 000 წლის წინ მოხდა. ჩვენი მაგნიტური ველი უკვე 150 წელია სუსტდება, მაგრამ შესუსტება არ არის ერთგვაროვანი. პოლუსების ცვლა არ არის სინქრონიზებული; გარკვეული პერიოდის განმავლობაში შეიძლება გვქონდეს ორი, ან მეტი სამხრეთ პოლუსი, ან ჩრდილოეთის პოლუსი, სანამ ველი მოერგება და ჩადგება თავის ახალ მდგომარეობაში. რამდენ ხანს არ ექნება პლანეტას ველის დამცავი მოქმედება ჯერ-ჯერობით უცნობია. არავის დაუდგენია, თუ რამდენი ხანი სჭირდება შეცვლის დასრულებას და ველის ნორმალურ სამუშაო დონეზე დაბრუნებას. **მაგნიტური ჩრდილო პოლუსი** უკვე გარკვეული ხანია მოძრაობს ჩრდილოეთ კანადიდან ციმბირისკენ (რუსეთი) და გადაადგილდება 25-40 მილის სიჩქარით წელიწადში.

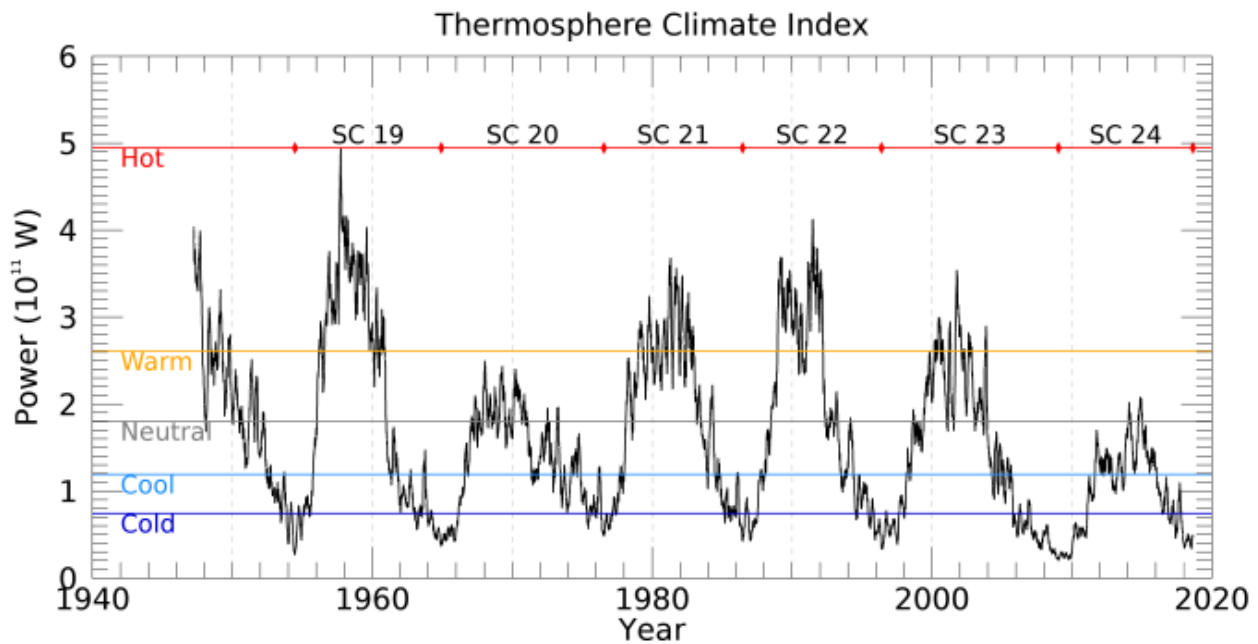
ბოლო ათწლეულის განმავლობაში მოძრაობის სიჩქარე გაიზარდა. ეს ზრდა ემთხვევა ველის შესუსტების სიჩქარეს.

გეო- შტორმი და იონოსფერო- ატმოსფერო დაწყვილება

კლასიკური ტერმინი "მაგნიტური შტორმები" გაცილებით ძველია, ვიდრე თანამედროვე ტერმინები "კოსმოსური ამინდი" (NSWC, 1995) და "კოსმოსური შტორმები" (დაგლისი, 1997) იგი შემოიღო ალექსანდრე ფონ ჰუმბოლდტმა, გერმანელმა ბუნებისმეტყველმა და მკვლევარმა, რომელმაც ყურადღება სამხრეთის ექსპედიციით მიიპყრო ამერიკაში 1799-1804 წლებში. კოსმოსური შტორმი, კოსმოსური ამინდის მთავარ ფენომენს- აქვს მთელი რიგი ზემოქმედებები დედამიწის მახლობლად არსებულ გარემოში: დამუხტული ნაწილაკების შემოჭრა და მათი ზედმეტი კონცენტრაცია დედამიწის სივრცეში, ელექტრული დინების გაძლიერება, შთამბეჭდავი ჩრდ.და სამხრ. ციალები და გლობალური მაგნიტური დარღვევები.

თერმოსფეროს კლიმატური ინდექსი

2018წ. სექტემბერში მზე შევიდა უკიდურეს ღრმა მინიმუმში, მზის ლაქები მთელი წლის განმავლობაში არ გაჩენილა და მისი ულტრაიისფერი გამოსხივება მკვეთრად შემცირდა. დაკვირვებებმა აჩვენა უკიდურესი ზედა ატმოსფეროს რეაქცია ამ ცვლილებაზე. როგორც მარტინ მლენზაკი აცხადებს NASA's Langley Research Center -დან, დაფიქსირდა აცივების ტრენდი, ატმოსფერომ დაკარგა სითბური ენერჯია. თუ პროცესი გაგრძელდება დამყარდება აცივების პერიოდი. ეს შედეგები მიიღება SABER ინსტრუმენტიდან, რომელიც NASA's TIMED თანამგზავრზეა განთავსებული. SABER მონიტორინგს უტარებს CO₂ ნახშირბადის დიოქსიდის და NO_x ოქსიდის ინფრაწითელ ემისიებს, ორი ნივთიერება, რომლებსაც მნიშვნელოვანი როლი უჭირავთ პლანეტის ზედაპირიდან 100-300კმ ენერგო ბალანსის ცვლაში. ინფრაწითელი გამოსხივების გაზომვით SABER ინსტრუმენტი აფასებს აირის თერმულ მდგომარეობას ატმოსფეროს ზედა ფენაში. თერმოსფერო მზის მინიმუმის დროს ყოველთვის ცივდება, რაც მზის ციკლის უმნიშვნელოვანესი გავლენაა პლანეტაზე. როდესაც თერმოსფერო ცივდება, იგი იჭმუხნება, მცირდება ატმოსფეროს რადიუსი. SABER 17 წელია ფუნქციონირებს და დაგროვილი მონაცემების საფუძველზე NASA შემოიღო თერმოსფეროს კლიმატური ინდექსი Thermosphere Climate Index (TCI). ეს ინდექსი საშუალებას იძლევა გაიზომოს NO კონცენტრაციის ცვლილება-მათი ღია სივრცეში გაფანტვა. TCI მაღალია მაქსიმუმის ფაზაში და უდაბლესი მზის მინიმუმისას.



ნახ 10. თერმოსფეროს კლიმატური ინდექსი 1940-2020წ. პერიოდში

ლიტერატურა

1. On secular changes of correlation between geomagnetic indices and variations in solar activity. Jean-Louis Le Mouél, Elena Blanter, Mikhail Shnirman, and Vincent Courtillot. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 117, A09103, doi:10.1029/2012JA017643, 2012.
2. ARTIFICIAL ATMOSPHERIC IONIZATION: A Potential Window for Weather Modification. Phillip Kauffman, Arquimedes Ruiz-Columbié
3. Late Twentieth-Century Warming and Variations in Cloud Cover. John McLean Atmospheric and Climate Sciences, 2014, 4, 727-742. SciRes. <http://www.scirp.org/journal/acs>. <http://dx.doi.org/10.4236/acs.2014.44066>
4. Martin G. Mlynczak, Linda A. Hunt, James M. Russell, B. Thomas Marshall, Thermosphere climate indexes: Percentile ranges and adjectival descriptors, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2018.04.004>
5. Mlynczak, M. G., L. A. Hunt, B. T. Marshall, J. M. Russell III, C. J. Mertens, R. E. Thompson, and L. L. Gordley (2015), A combined solar and geomagnetic index for thermospheric climate. *Geophys. Res. Lett.*, 42, 3677–3682. doi: 10.1002/2015GL064038.
6. Mlynczak, M. G., L. A. Hunt, J. M. Russell III, B. T. Marshall, C. J. Mertens, and R. E. Thompson (2016), The global infrared energy budget of the thermosphere from 1947 to 2016 and implications for solar variability, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 11,934–11,940, doi: 10.1002/2016GL070965

თავი 8.

მონაცემების ანალიზი და დასკვნა

კვლევის ჩასატარებლად გამოყენებულია კp გეო-მაგნიტური ინდექსი და შემდეგი მეტეოპარამეტრების: ტემპერატურა, ნალექი, წნევა, ქარი მონაცემები 2014-19წ-თვის. კვლევა

ჩატარდა საქართველოს ტერიტორიაზე განთავსებული ყველა მეტეოსაგურისთვის, რომლებსთვისაც გარემოს ეროვნულ სააგენტოს ჰქონდა დაკვირვების უწყვეტი რიგი. გამოყენებულია ყველა მახასიათებელი სადგურის მონაცემი, რომლებმაც სრულად მოიცვა საქართველოს ტერიტორია. განსაკუთრებით აღსანიშნავია მაღალმთიანი სადგური, რადგან კვლევისთვის მისი მონაცემი მნიშვნელოვანია. წნევის, ტემპერატურის და ქარის დინამიურობიდან გამომდინარე გეო-შემოფოტებზე ისინი დაგვიანების გარეშე რეაგირებენ: უმეტესად იზრდება მათი სიდიდე და ინტენსივობა. რაც შეეხება ნალექს-მას დროში დაგვიანება აახასიათებს, რადგან ნალექის წარმოქმნა და გამოყოფა დროში გაწეილი პროცესია. ეს ცხადად გამოჩნდა გრაფიკებზე, რომლებიც მოცემულია დანართში.

ნალექების გაზრდა გამოწვეულია მზის ნაწილაკების შემოსვლით ატმოსფეროს დაბალ ფენებში, რომლებიც ამავდროულად ახშობს კოსმოსურ სხივებს, რაც ამცირებს ღრუბლის საფარს. თუმცა მიუხედავად ამისა. იმდენად ბევრი ნაწილაკი შემოიჭრებამზიდან, რომ ამ დანაკლისს აკომპენსირებს და ეს ნაწილაკები მოქმედებენ, როგორც კონდენსაციის ან კრიტალიზაციის ბირთვები. ასევე, გასათვალისწინებელია მათი ურთიერთქმედება ატმოსფეროში სხვადასხვა მოლეკულებთან, როდესაც მოხდება ამ მოლეკულებით მათი ჩაჭერა და წარმოიქმნება დიდი რაოდენობით ახალი ნაერთები. მოლიკულურ-პროტონული ან მოლეკულურ-ელექტრონული დაჯახებები ატმოსფეროში ენერგიების გადანაწილებას იწვევს და ასეთი პროცესების დროს მრავალჯერადი რეზონანსული ფოტონური გაცვლები მომდინარეობს. ამ პროცესის ურთიერთქმედების პოტენციალს აქვს სახე:

$$U(r) = -\frac{2}{3c^2} \sum_n r_n^{-1} |d_n|^2 \omega_n^2 \exp\left(\frac{\Gamma_n r}{c}\right) \cos \frac{\omega_n r}{c}$$

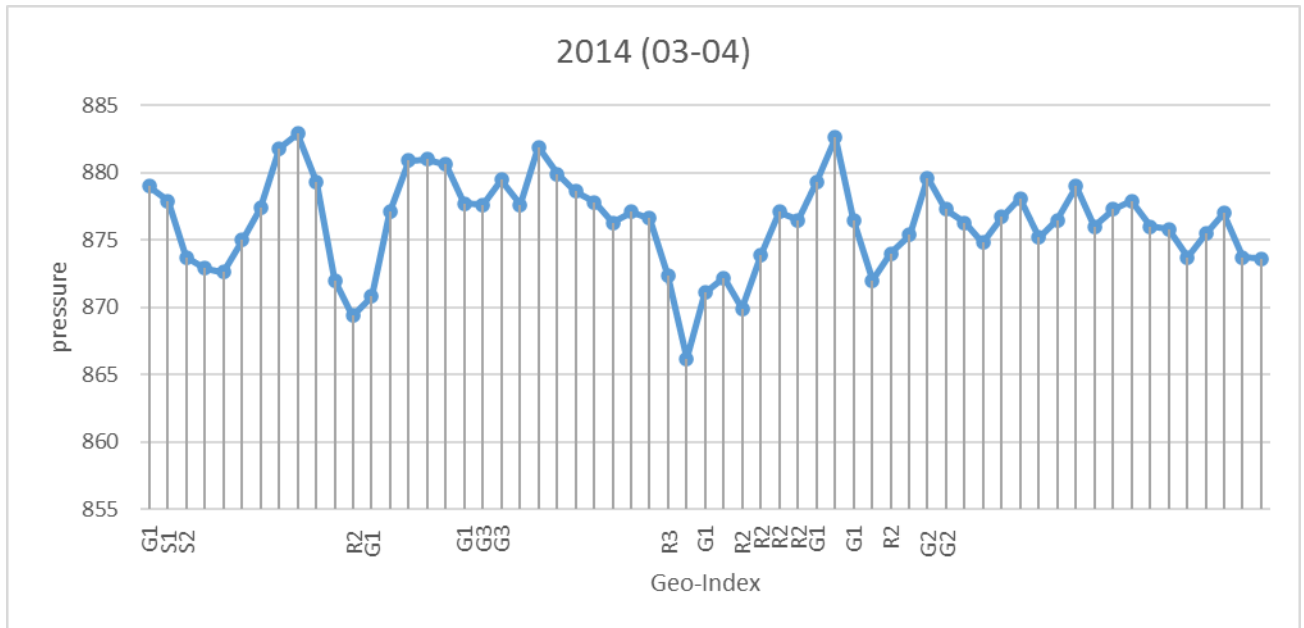
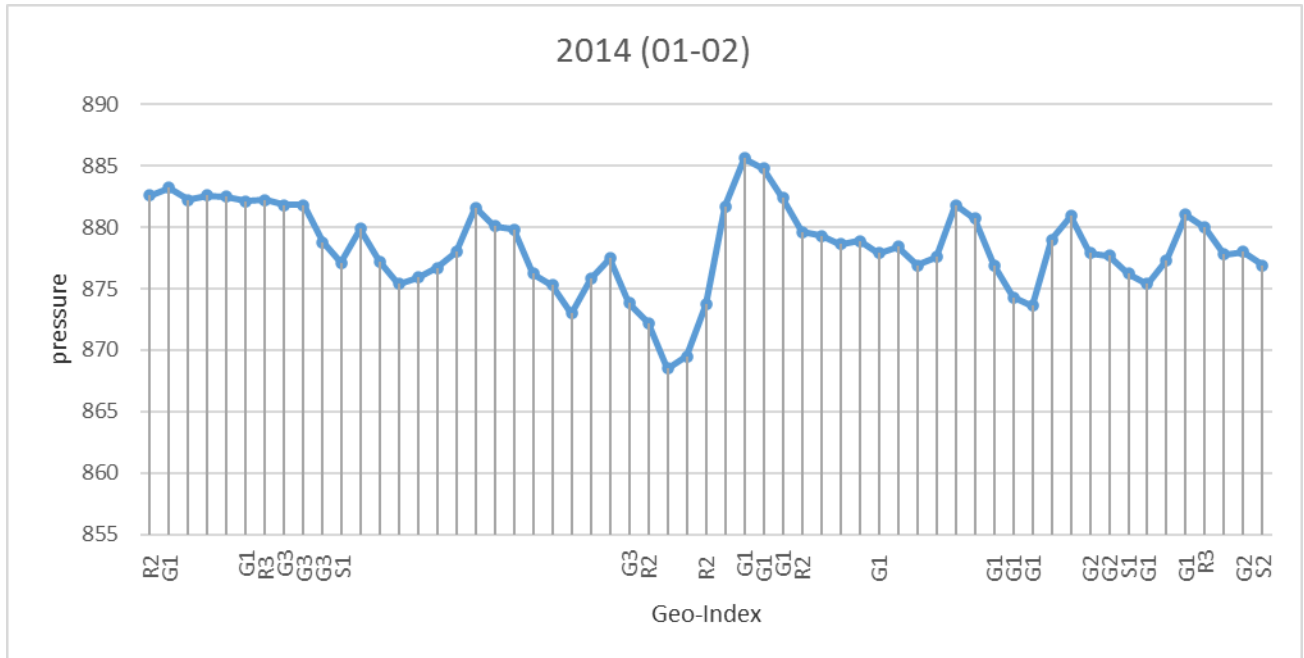
ვან-დერ-ვაალსის ძალა სულ უფრო მეტ მნიშვნელობას იღებს თანამედროვე კვლევებში, როცა კვანტური ეფექტები ანგარიშგასაწევი ხდება. ორფოტონიან ურთიერთქმედებას თან ახლავს გრძელ-ტალღოვანი გამოსხივებები, რომლებიც ჩნდება ატმოსფეროში. ფოტონების გამოსხივება-შთანქმის გათვალისწინებით ატმოსფერული პროცესები წარმოსდგება, როგორც ტურბულენტური მატერიის კონტინუუმი პერიოდული გამოსხივებებით. თან ამ ნაწილაკების დედამიწის მაგნიტური ველის გავლენა მათ აჩქარება/შენელებას გამოიწვევს, რაც ამ ურთიერთქმედებებს კიდევ უფრო გაართულებს.

კვლევის შედეგები მნიშვნელოვანია ამინდის პროგნოზისთვის და შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, როგორც პრედიქტორი, პროგნოზის შედგენამდე, მისი დაზუსტებისთვის.

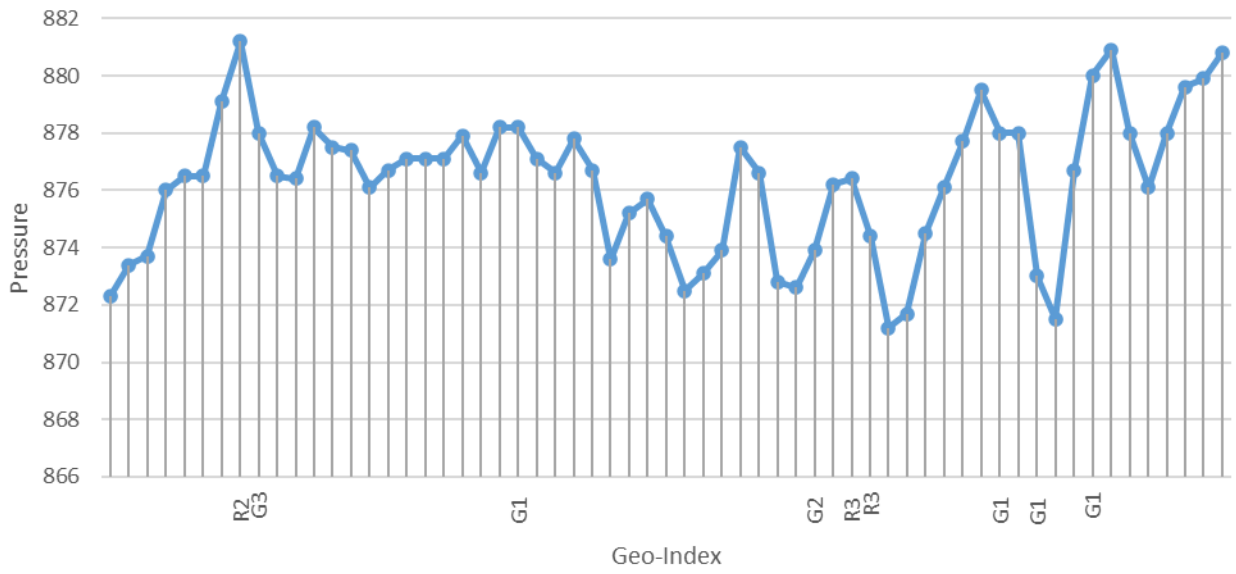
ლიტერატურა

1. Impact of solar coronal mass ejections (CME) on formation of Earth climate and weather pattern. Marika Tatishvili, Irine Mkurnalidze, Inga Samkharadze, Nunu Tsintsadze. International Scientific Journal. Journal of Environmental Science. v.7. issue 1. pp1-5. 2018. ISBN -13:978-1721539185
2. THE CONNECTION OF GEOMAGNETIC ACTIVITY AND WEATHER FORMATION IN GEORGIAN REGION. Tatishvili M., Khvedelidze Z., Mkurnalidze I., Samkharadze I., Kokosadze Kh. International Scientific Conference „Modern Problems of Ecology“ Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 6, Kutaisi, Georgia. 2018
3. Developing Weather Forecasting System in Georgia. Marika Tatishvili. Ecology & Environmental Sciences 2 (7) DOI:10.15406/mojes. 2017.02.00046.
4. M. Tatishvili. Energy Transformation in Clouds According Quantum Principles. // International Scientific Journal. Journal of Environmental Science. vol 3. ISBN- 13: 978-1499721980; ISBN -10: 1499721986, Vienna, Austria 2014. pp. 7-9.

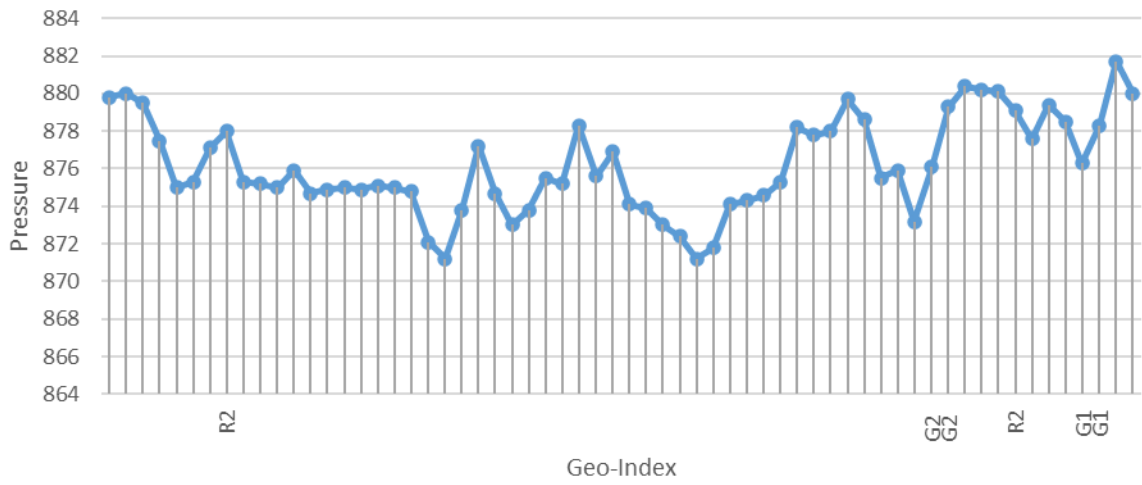
დანართი
მთა-საბუეთი (2014-19)

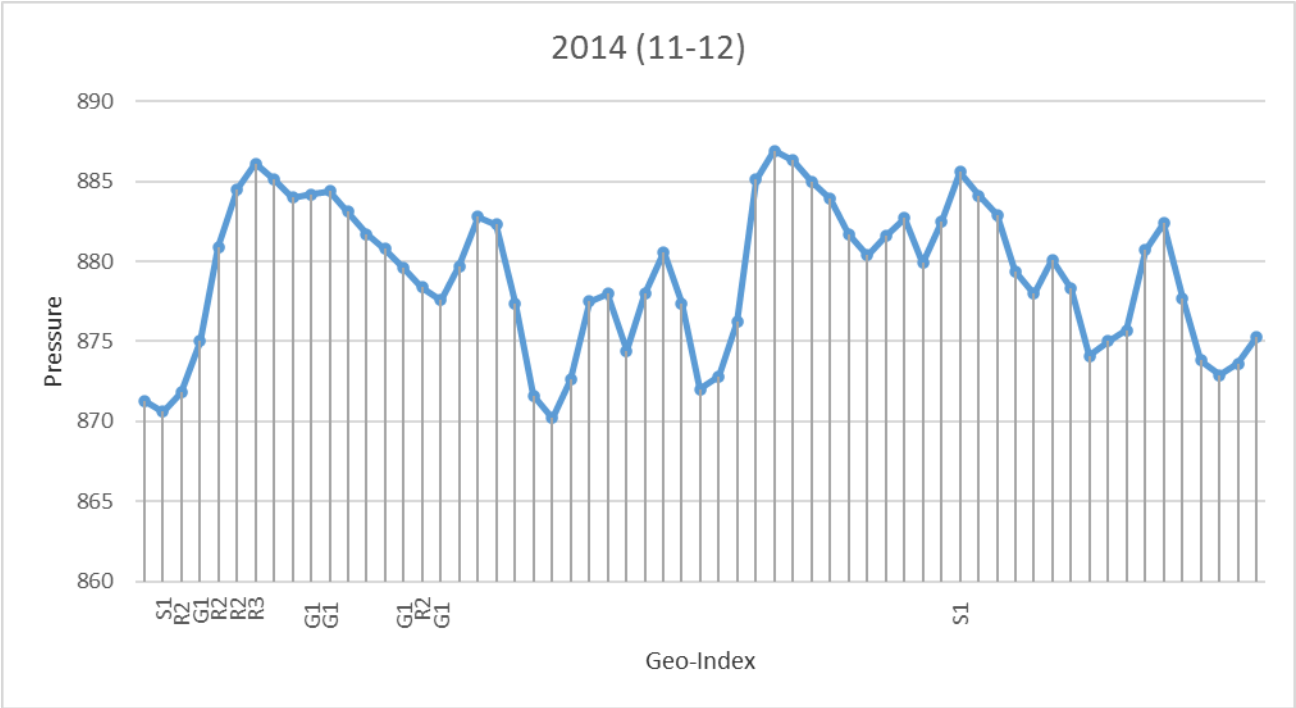
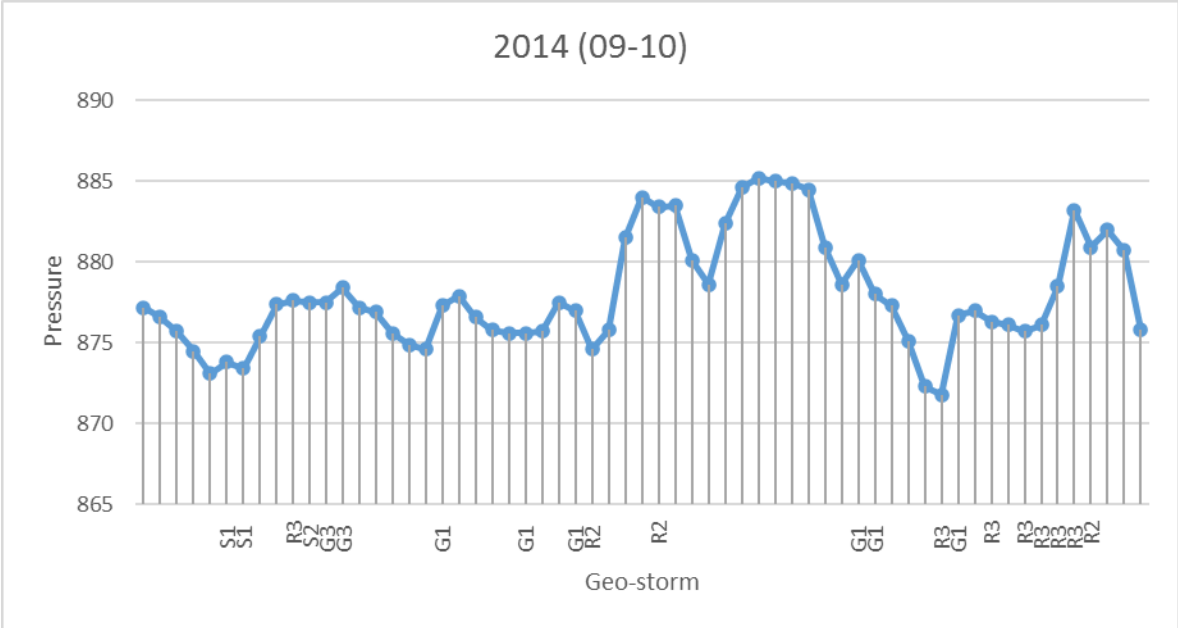


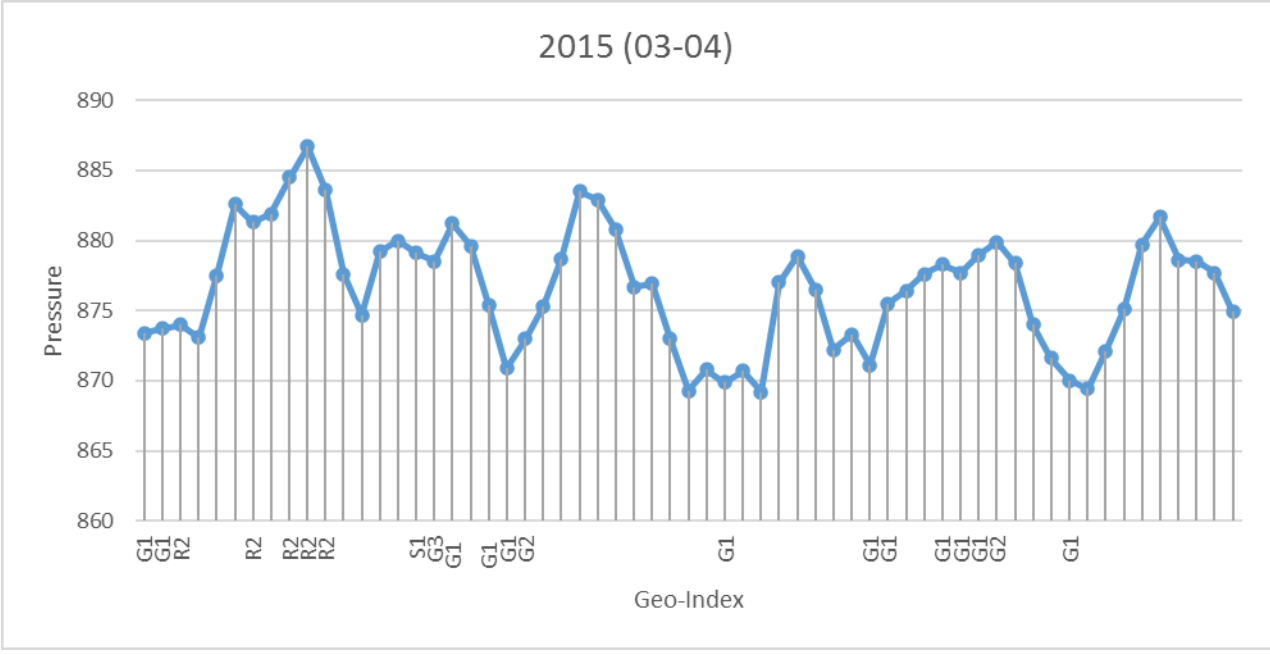
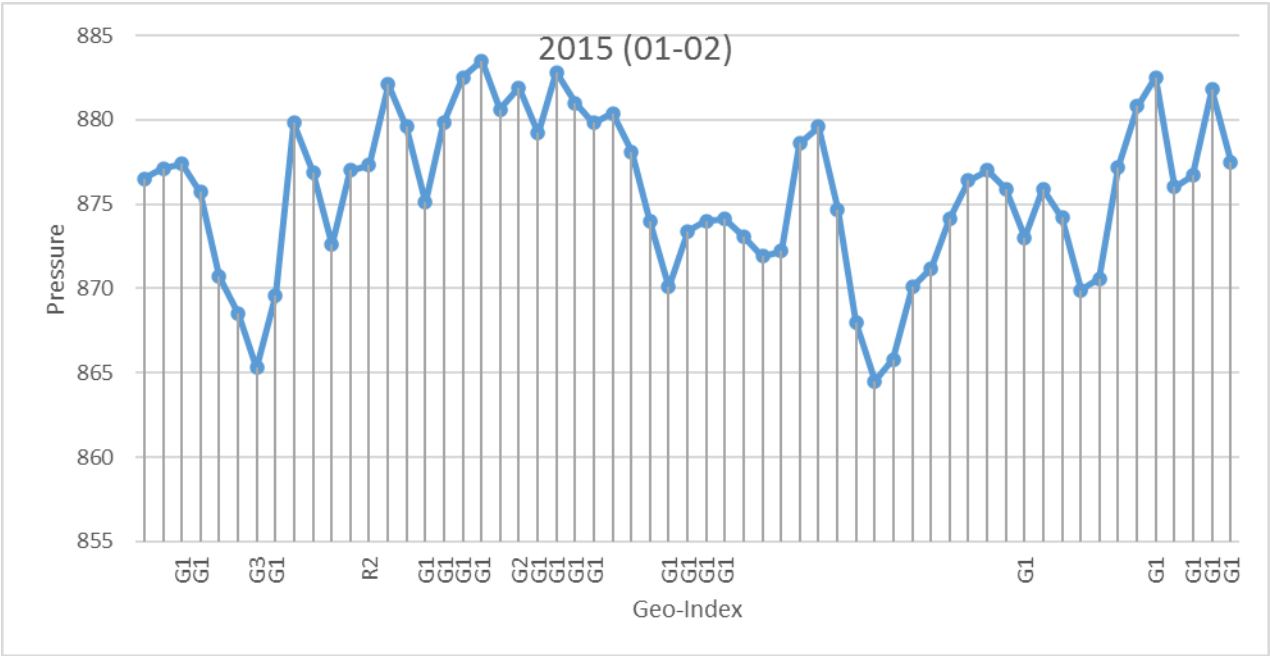
2014 (05-06)

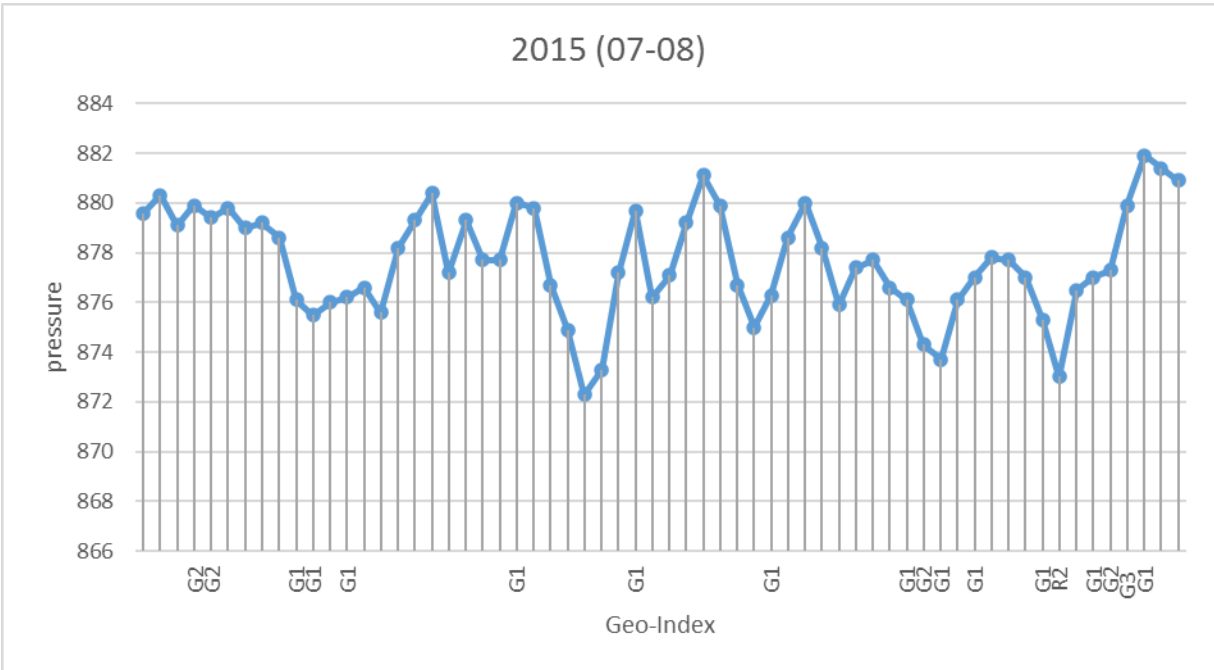
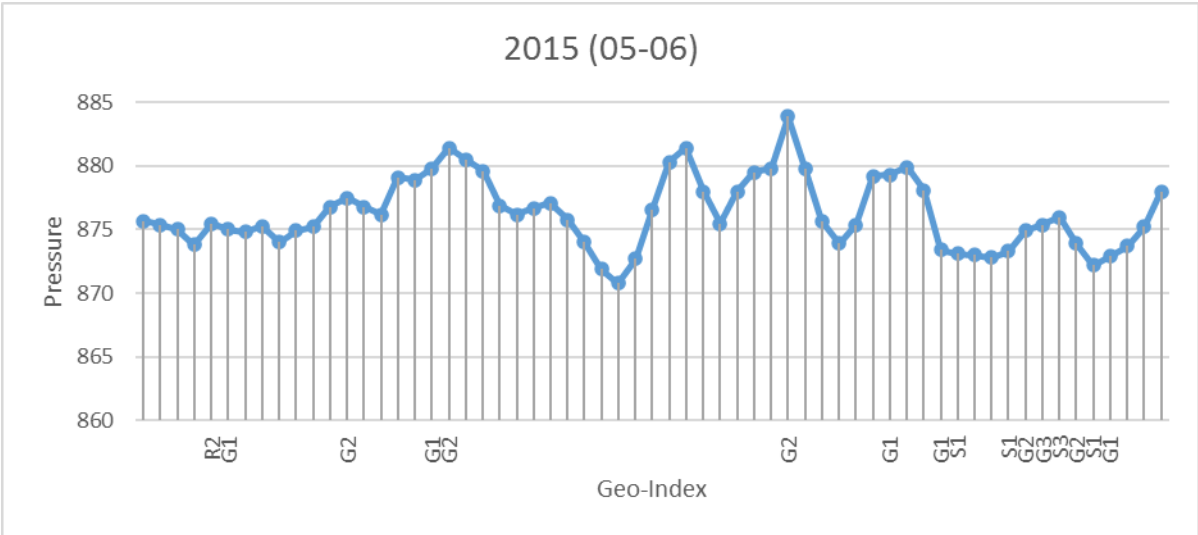


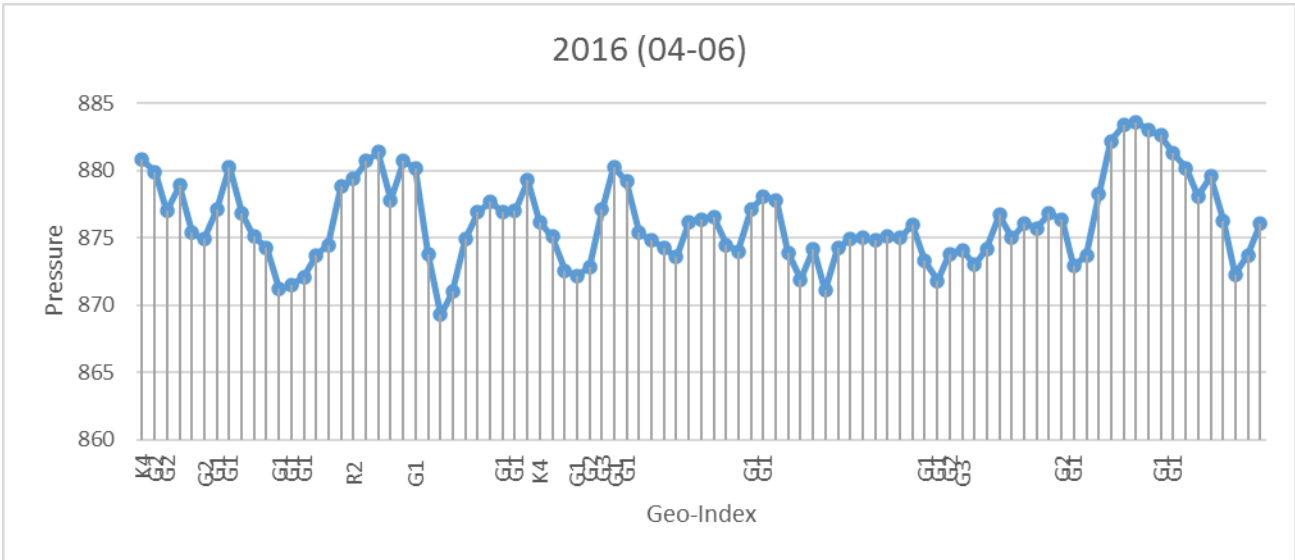
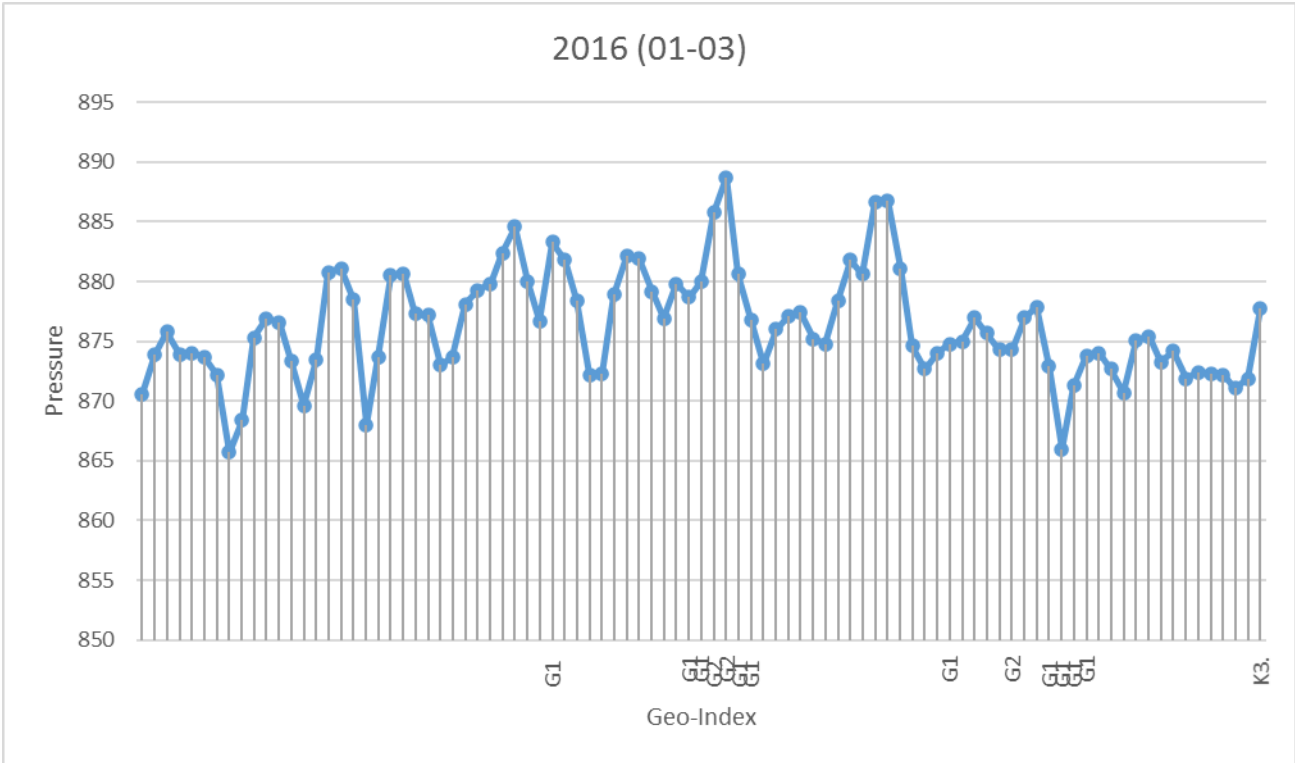
2014 (07-08)



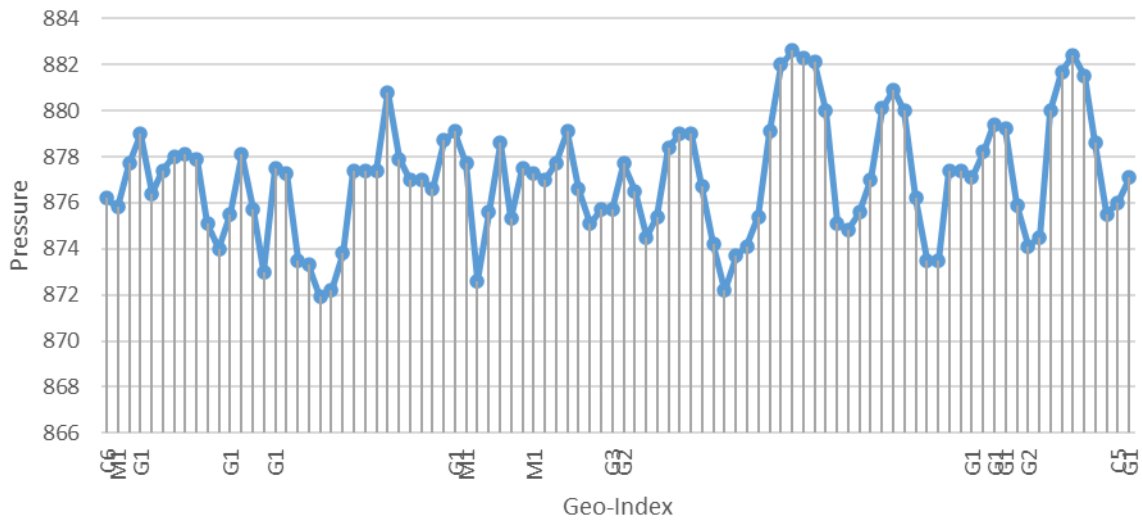




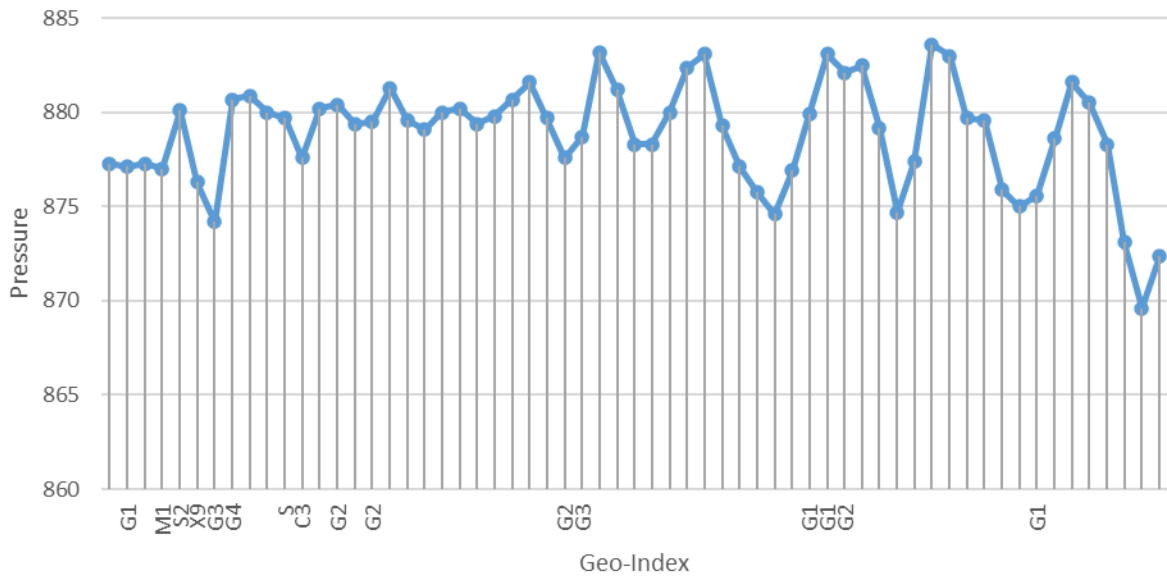


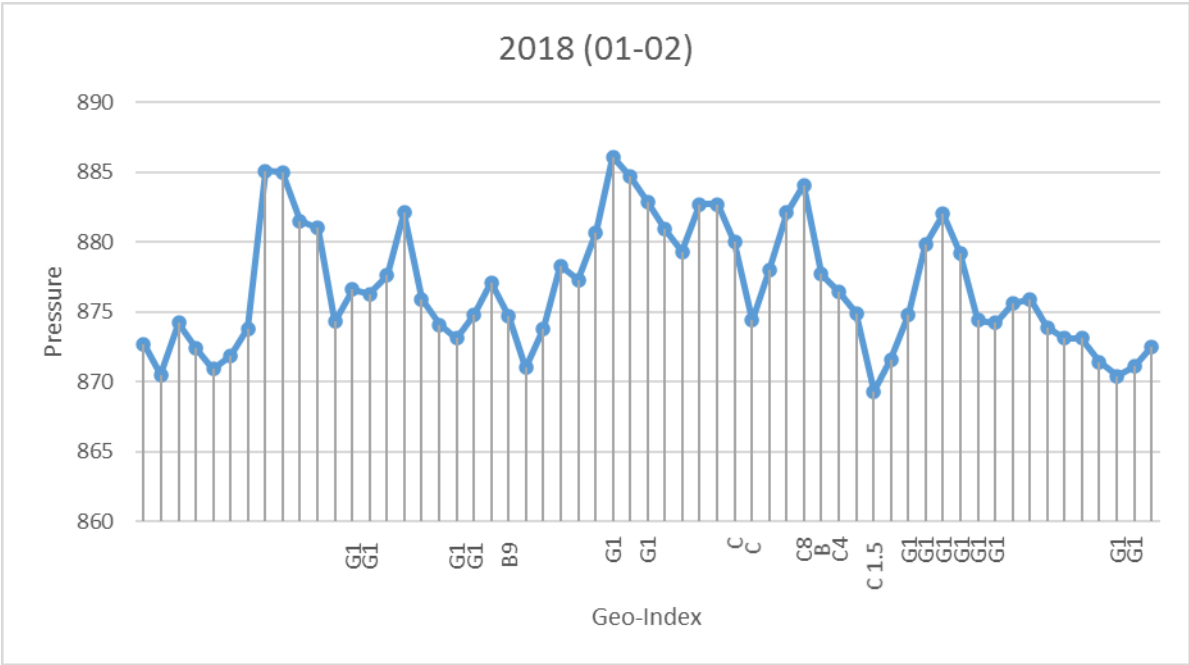
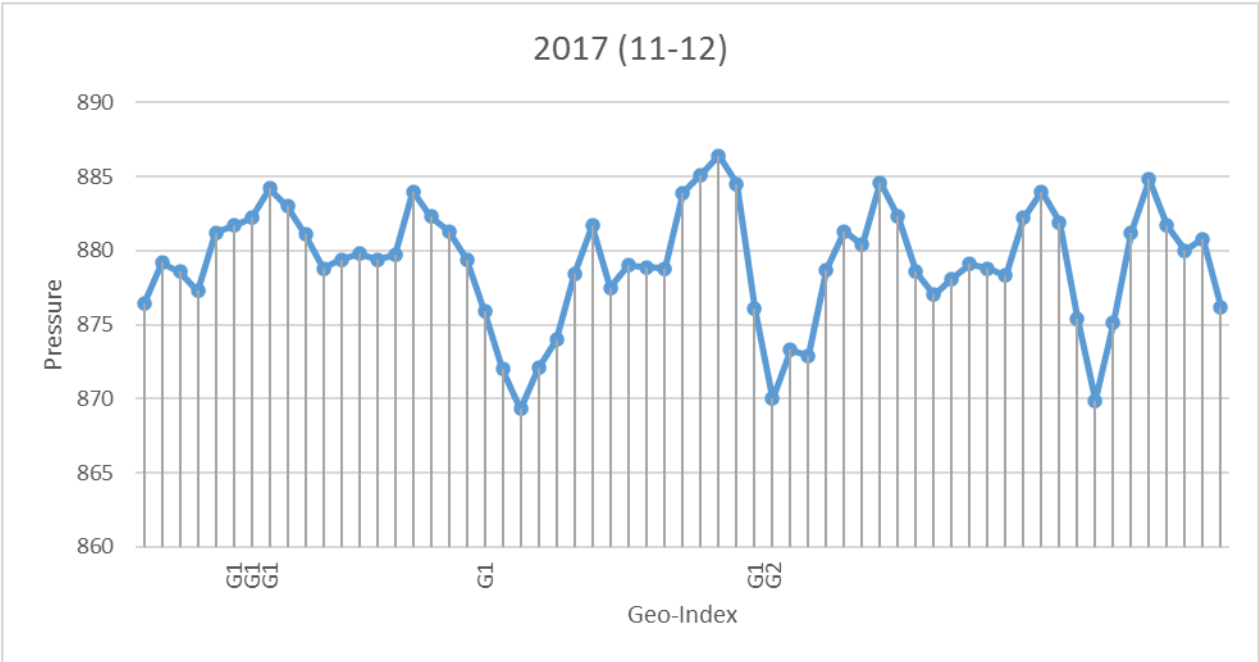


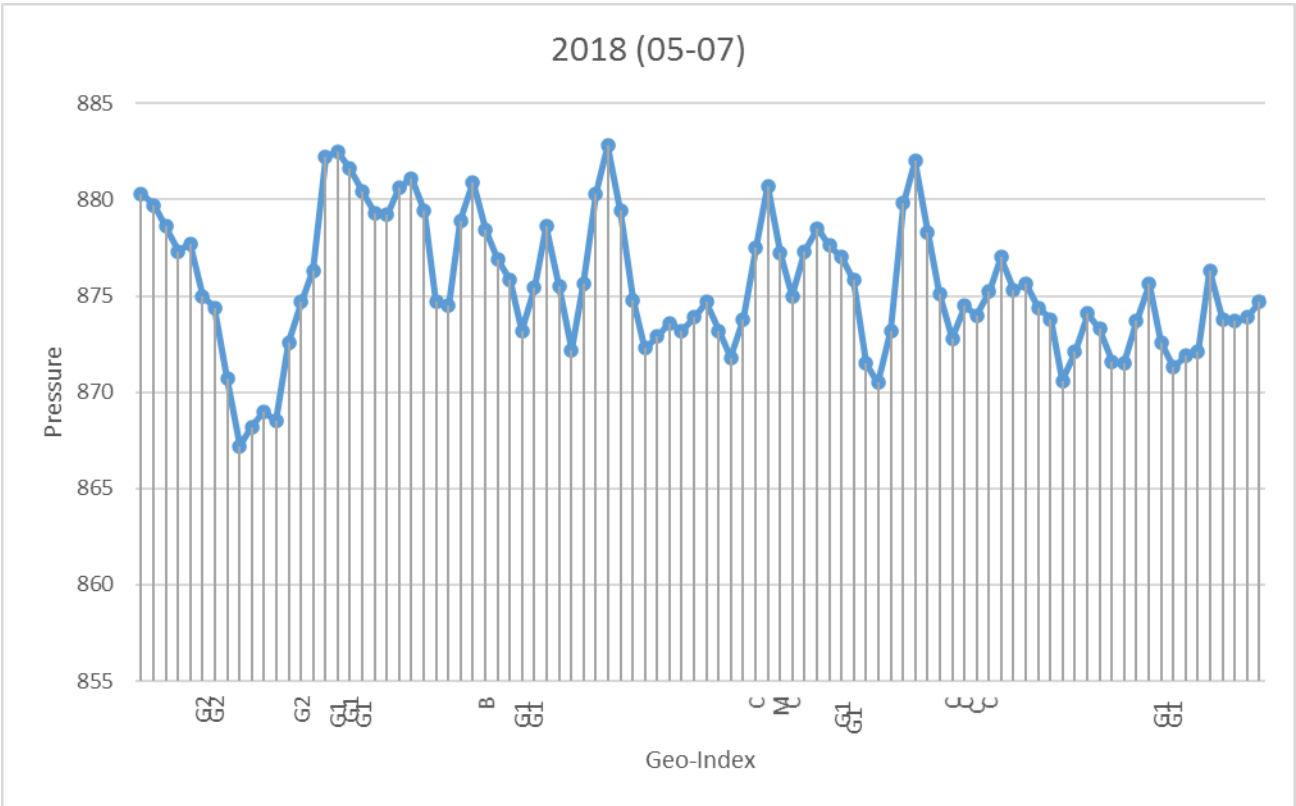
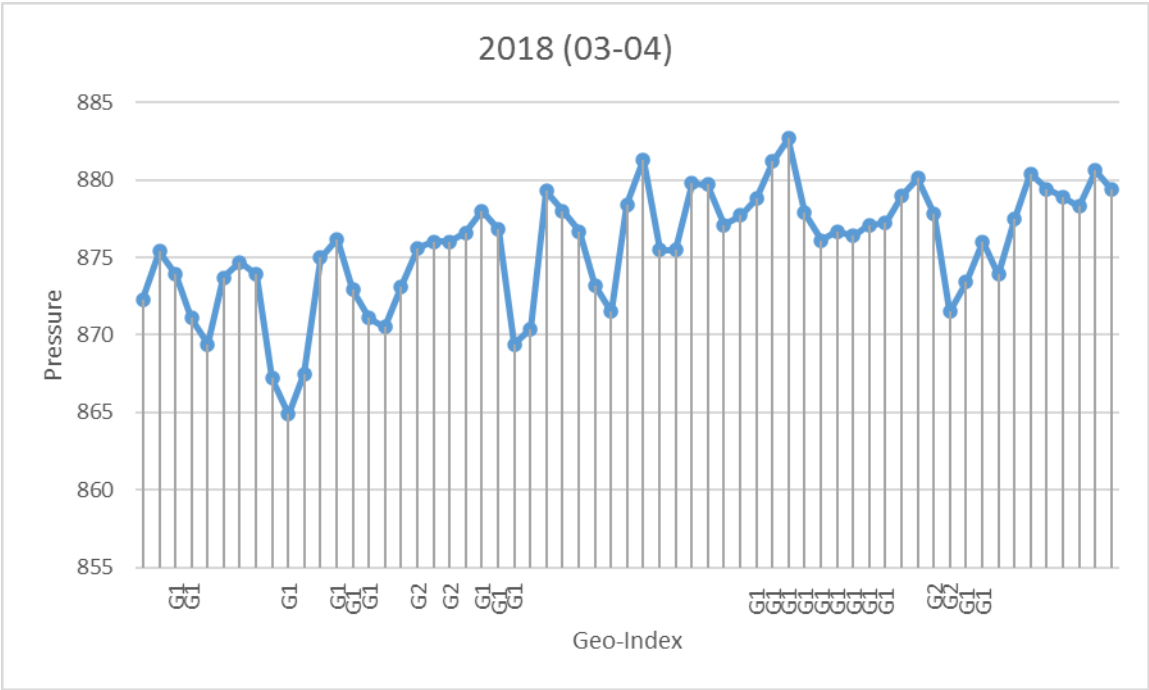
2017 (06-08)

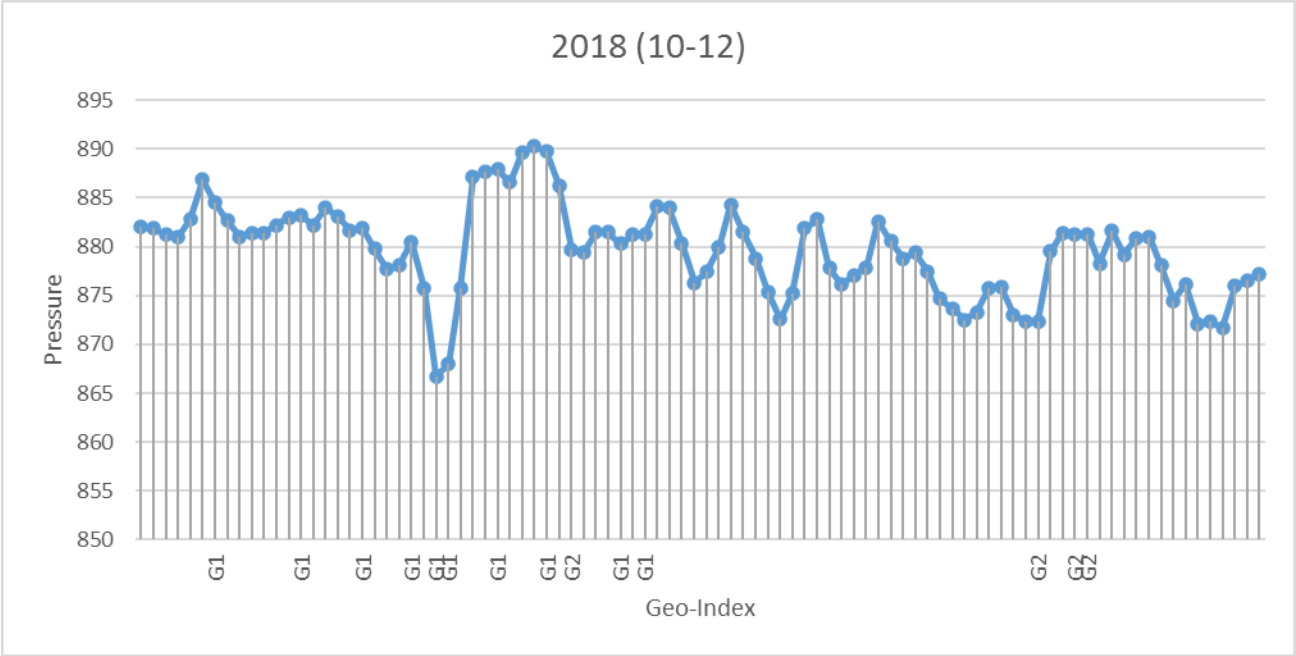
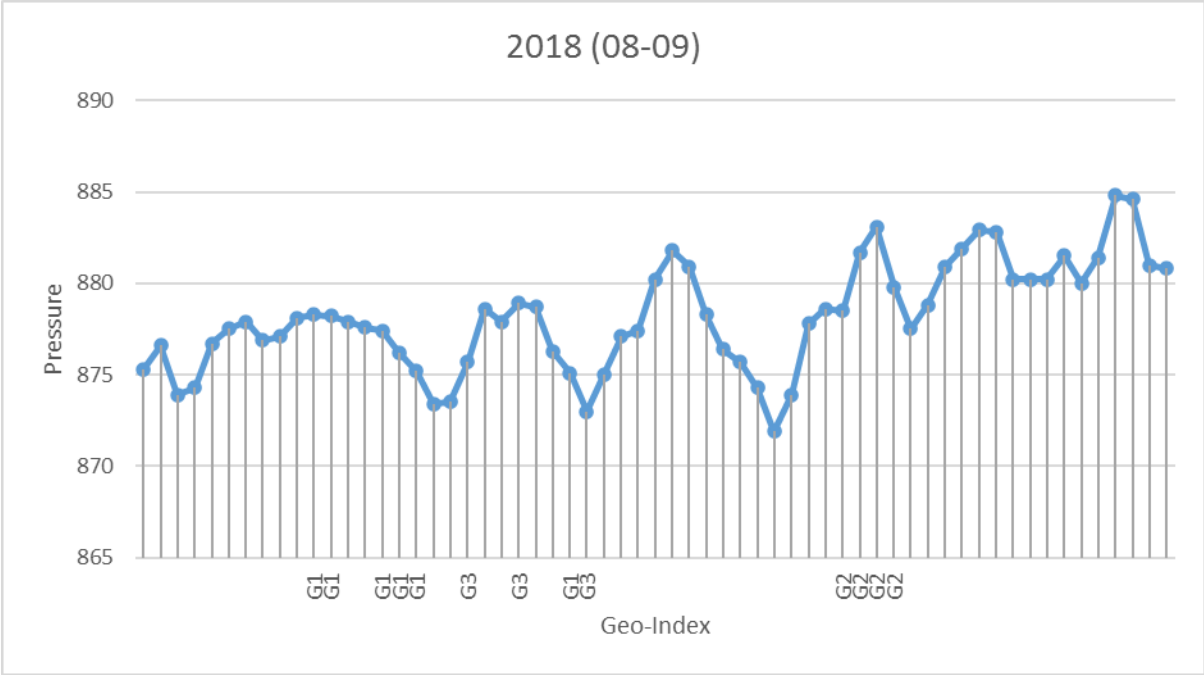


2017 (09-10)

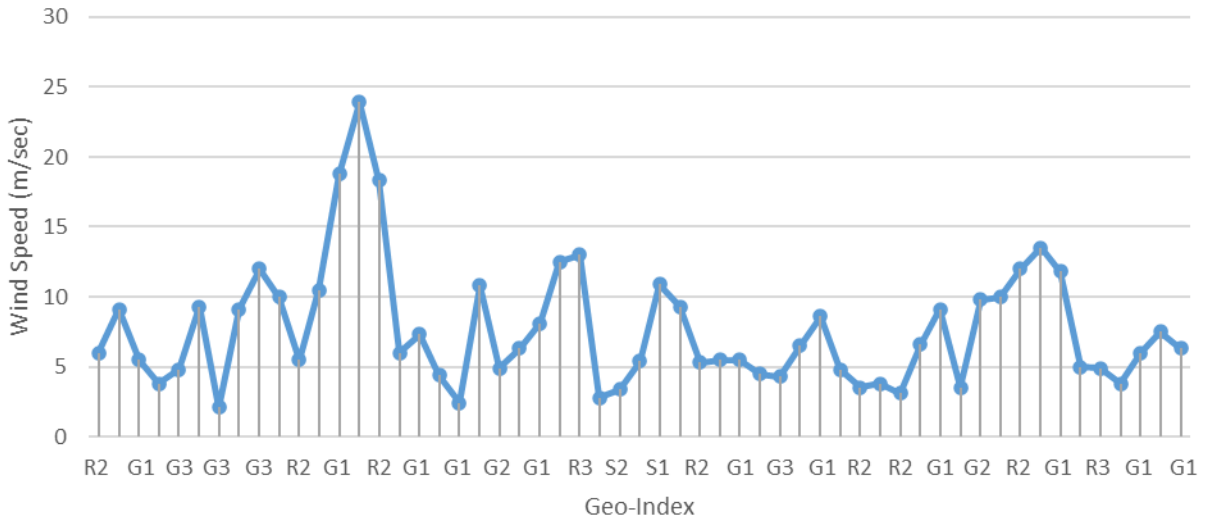




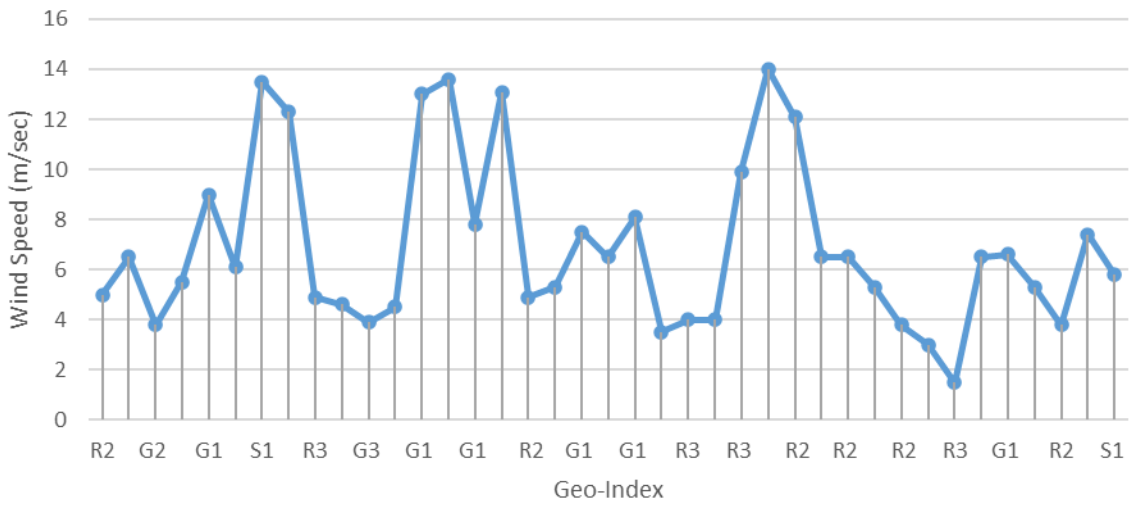




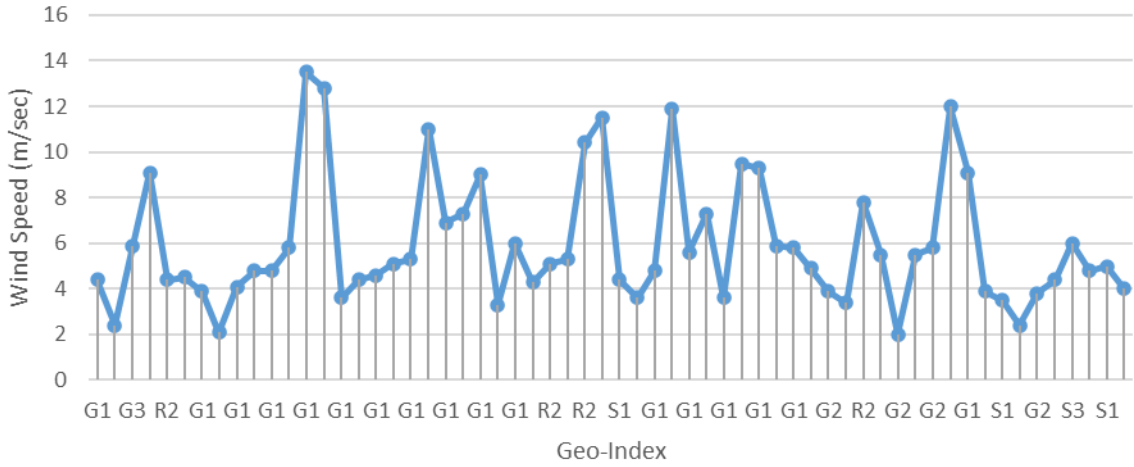
Mta-Sabueti
2014 (01-06)



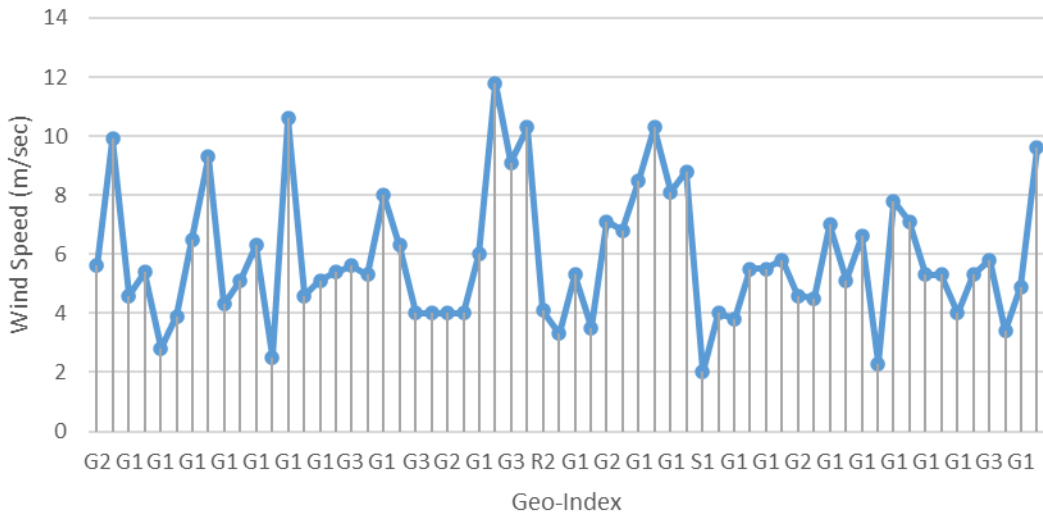
Mta-Sabueti
2014 (07-12)

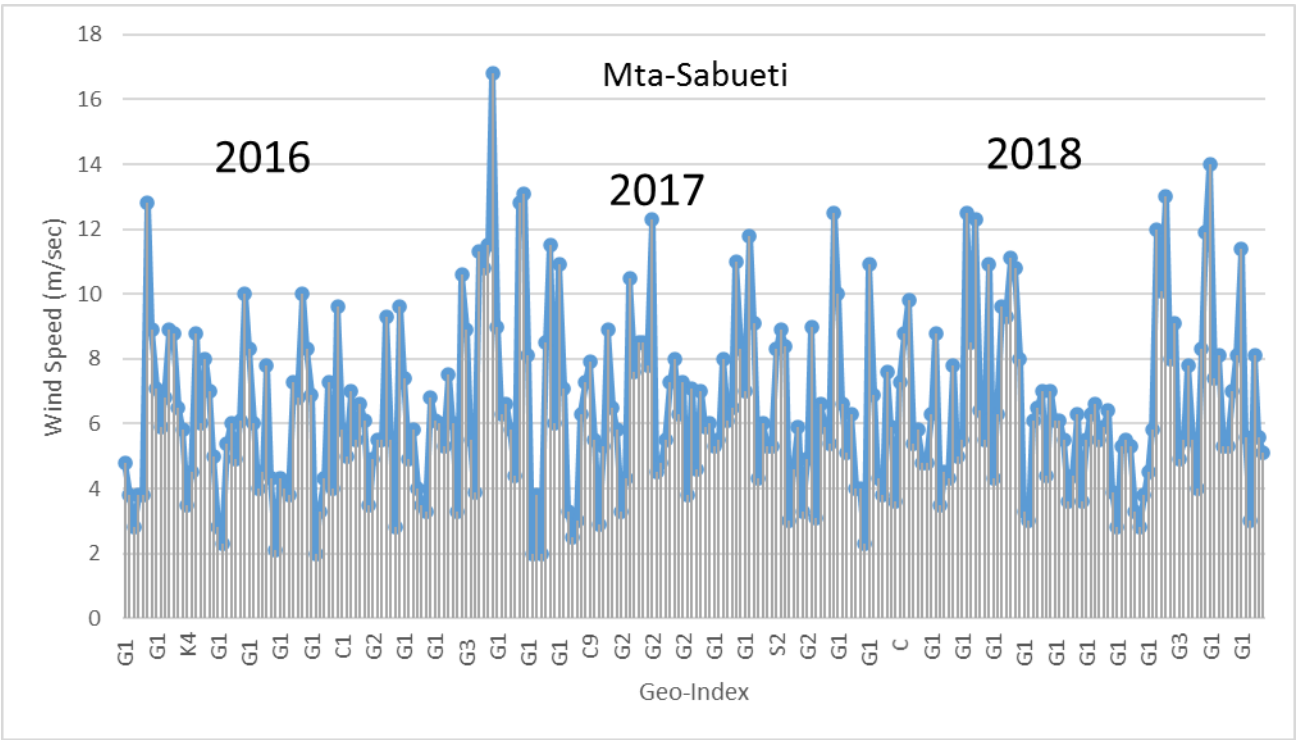
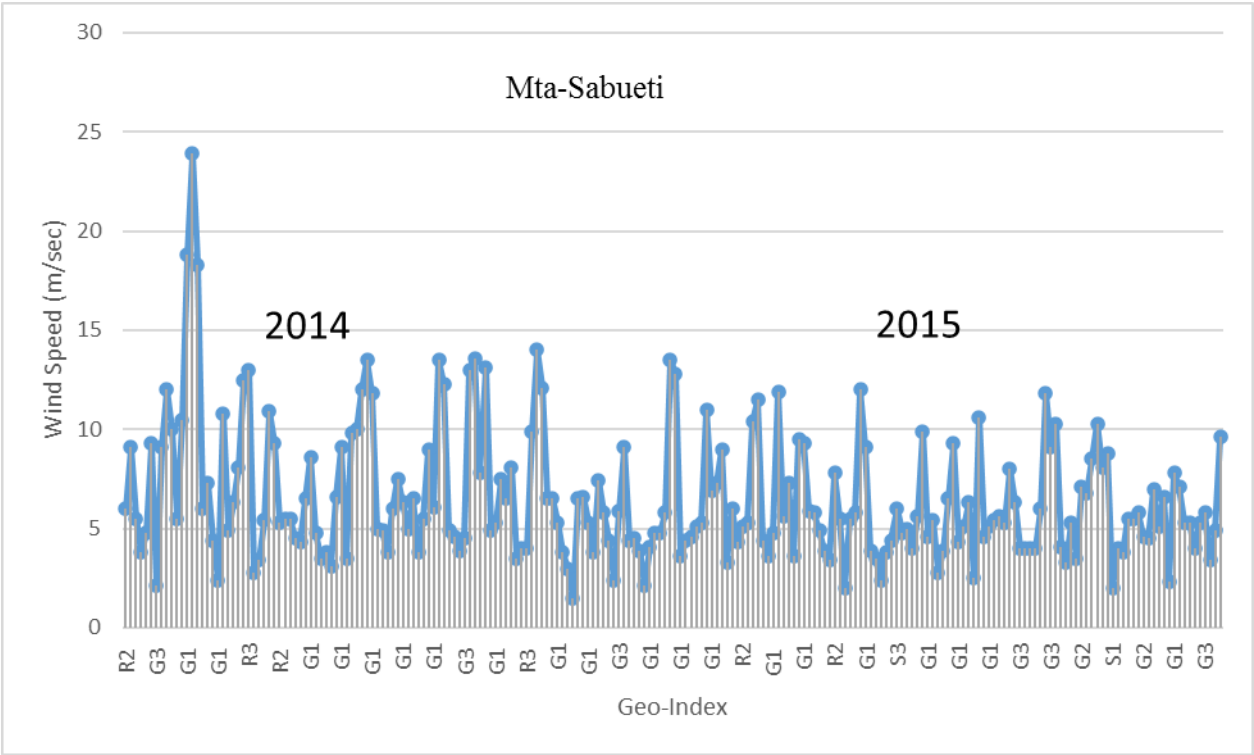


Mta-Sabueti
2015 (01-06)

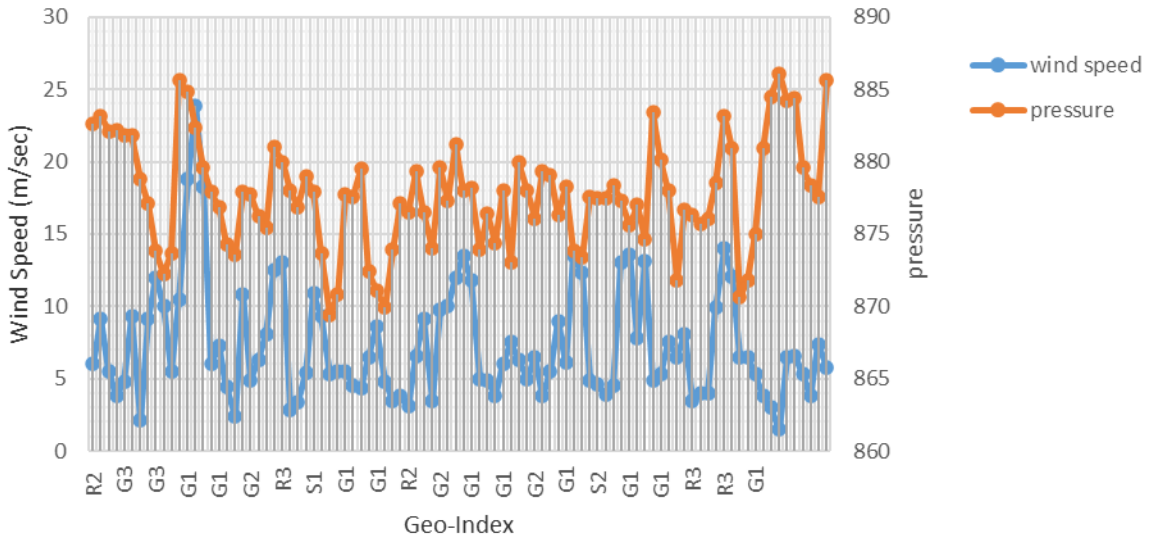


Mta-Sabueti
2015 (07-12)

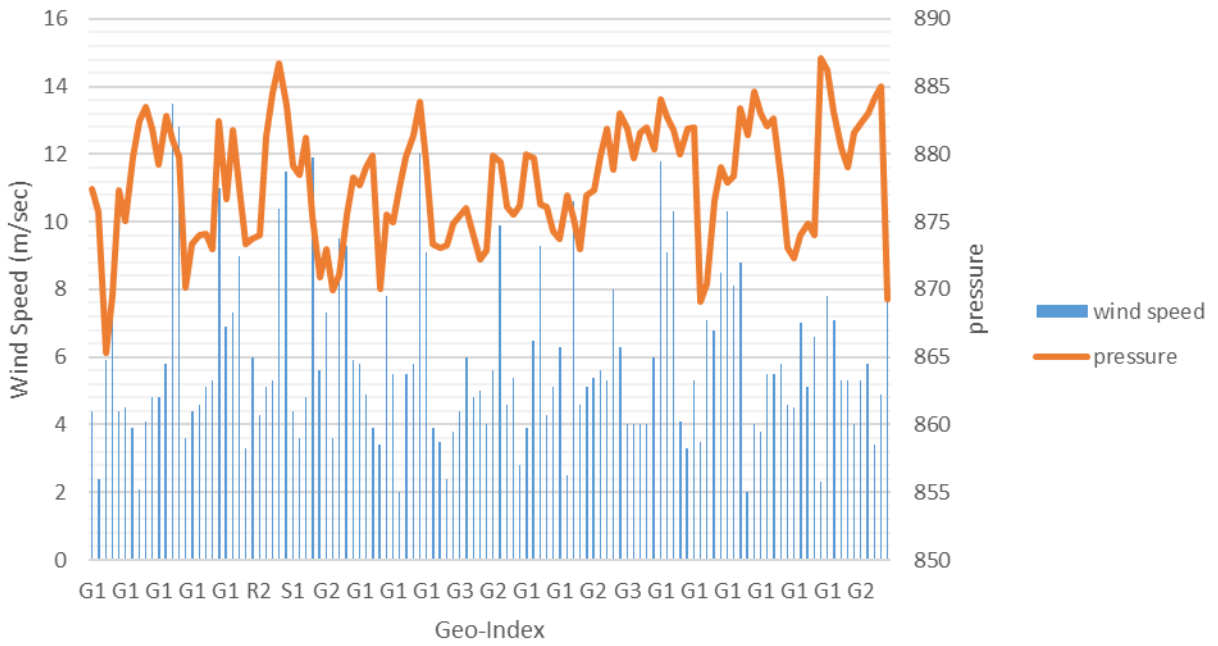




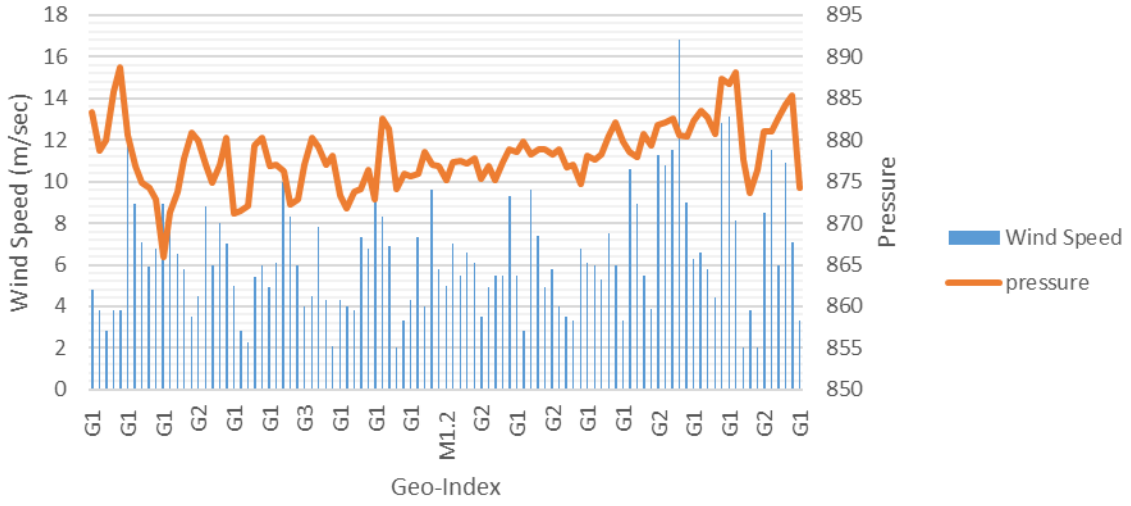
Mta-Sabueti 2014



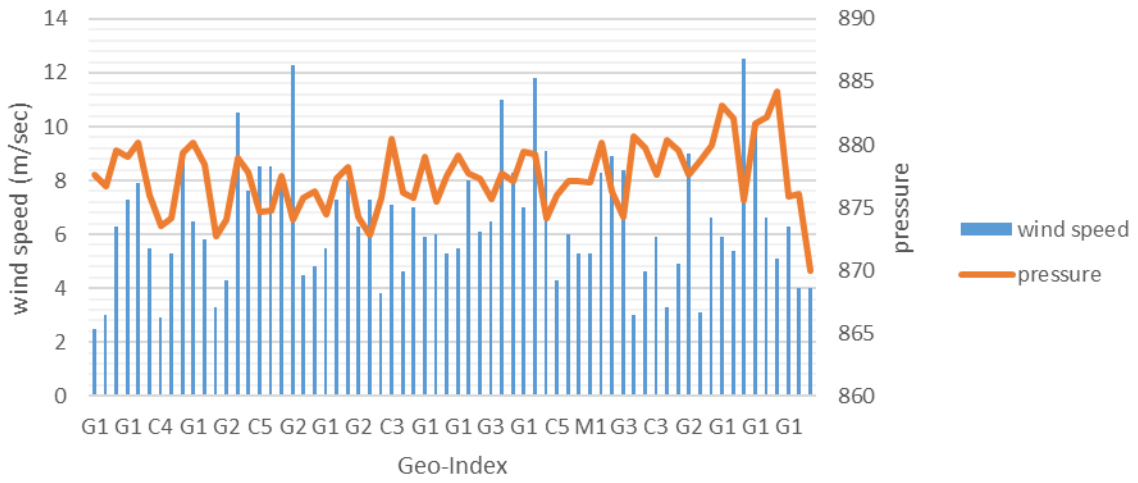
Mta-Sabueti 2015

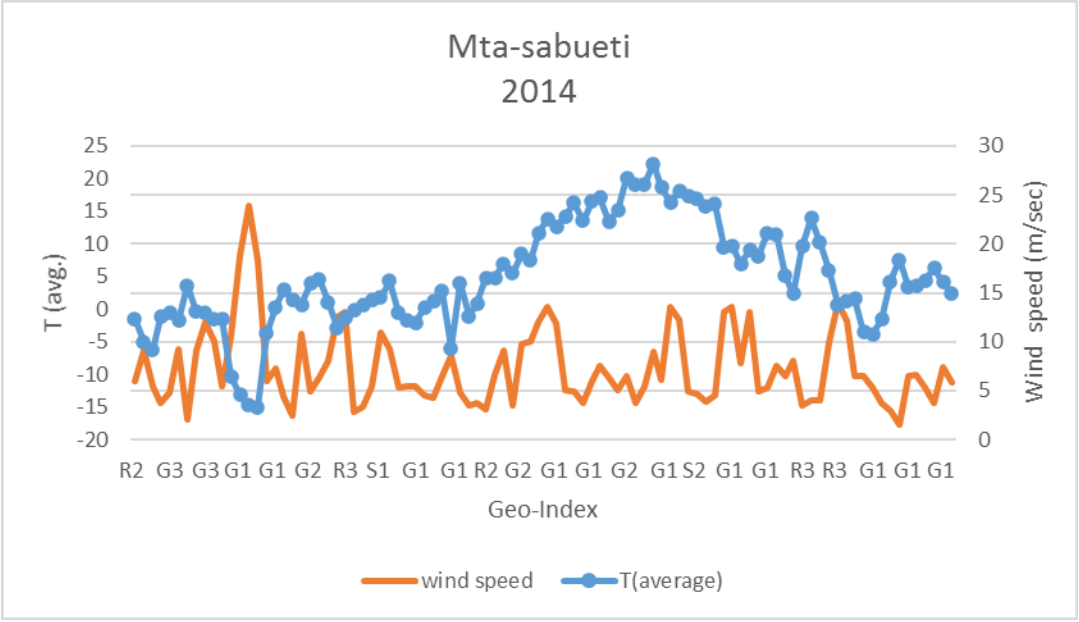
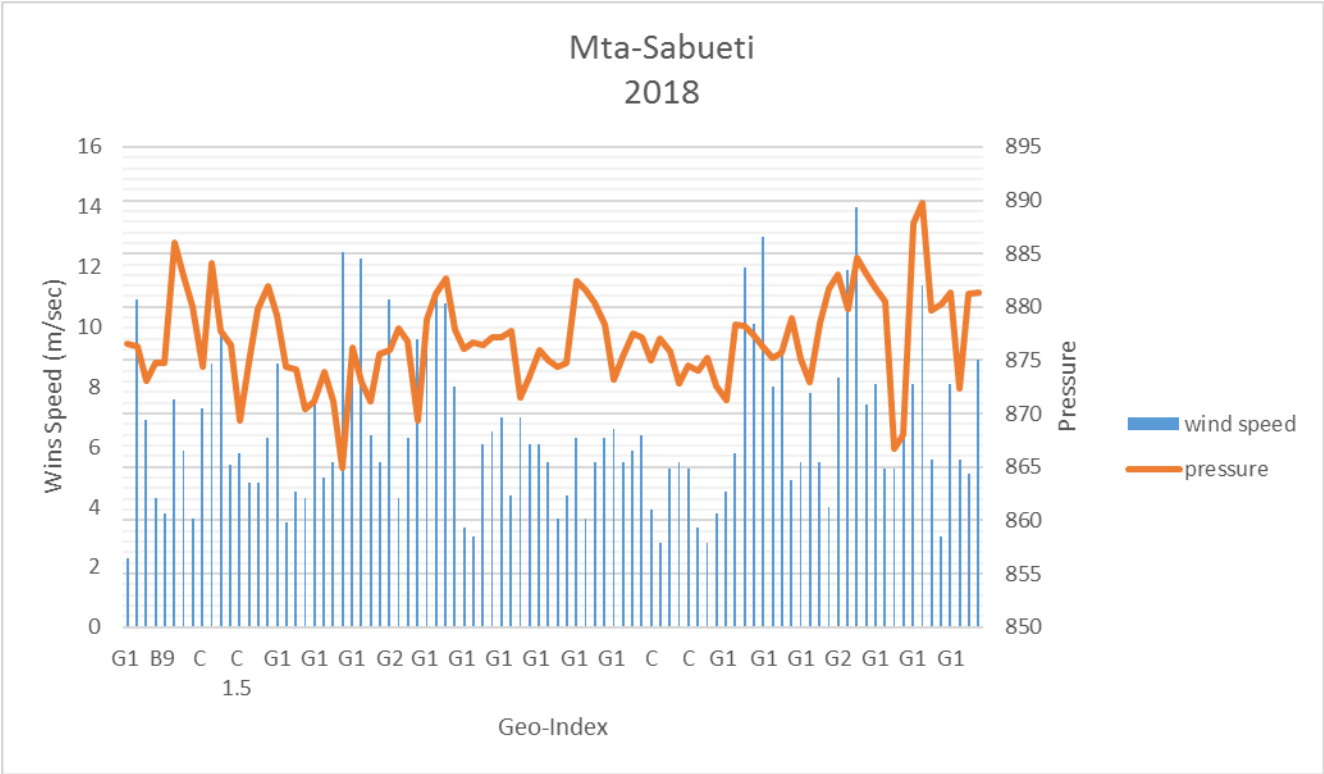


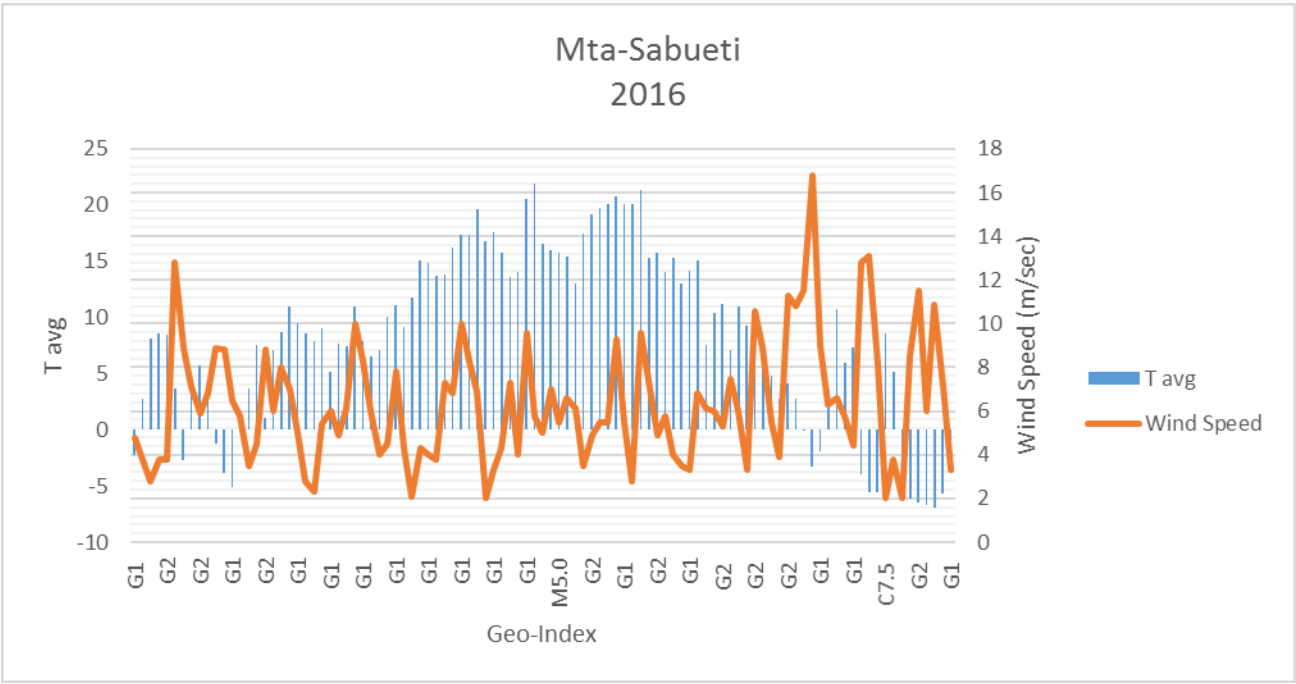
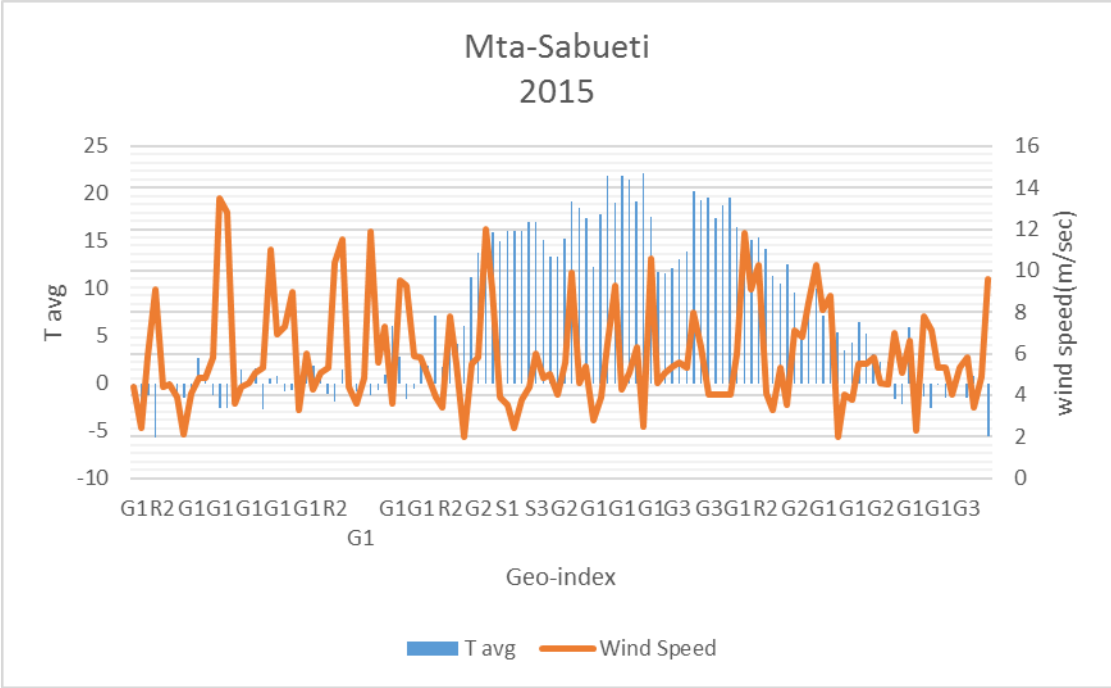
Mta-Sabueti 2016

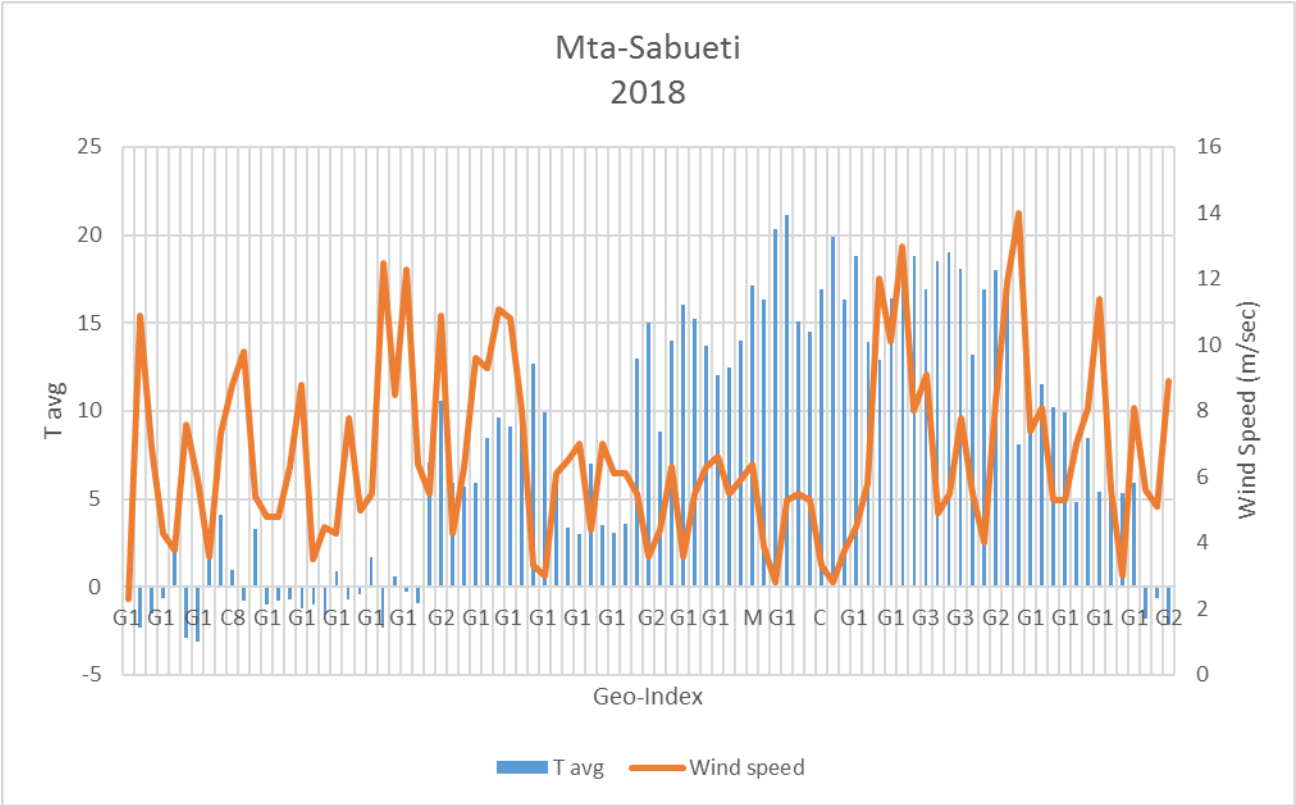
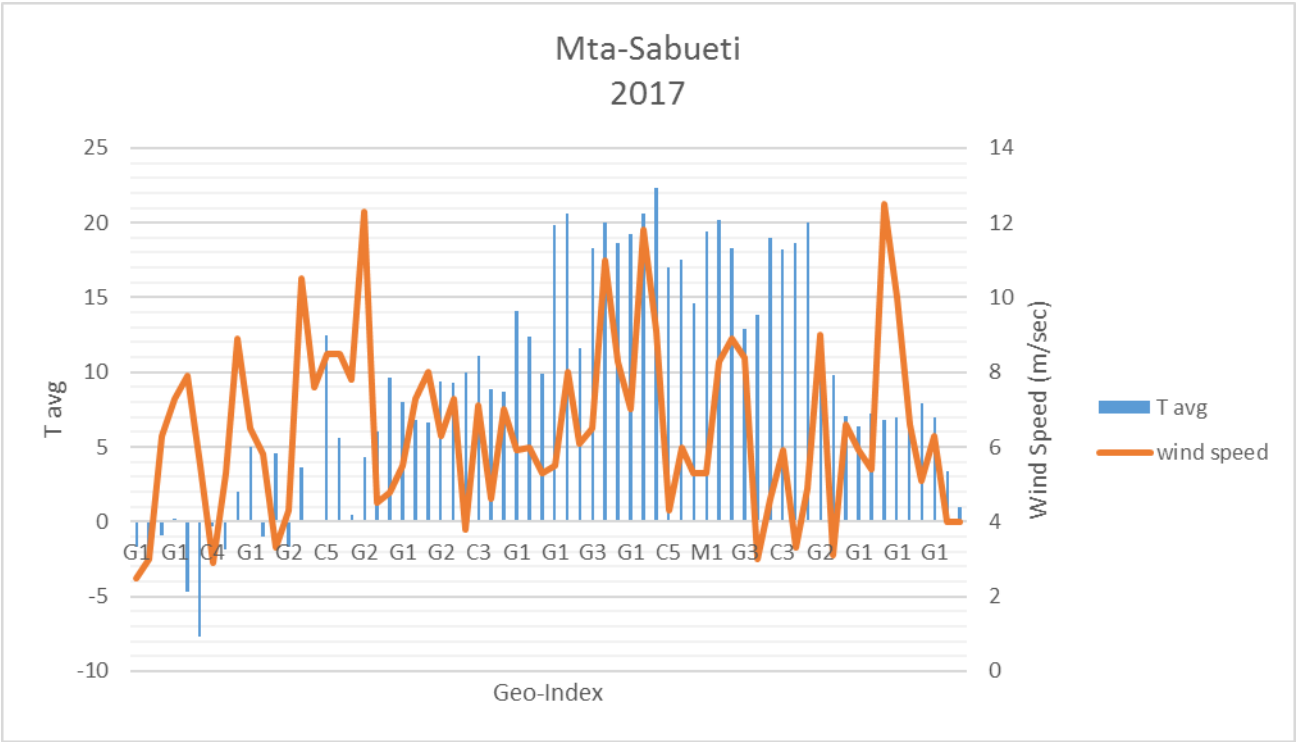


Mta-sabueti 2017



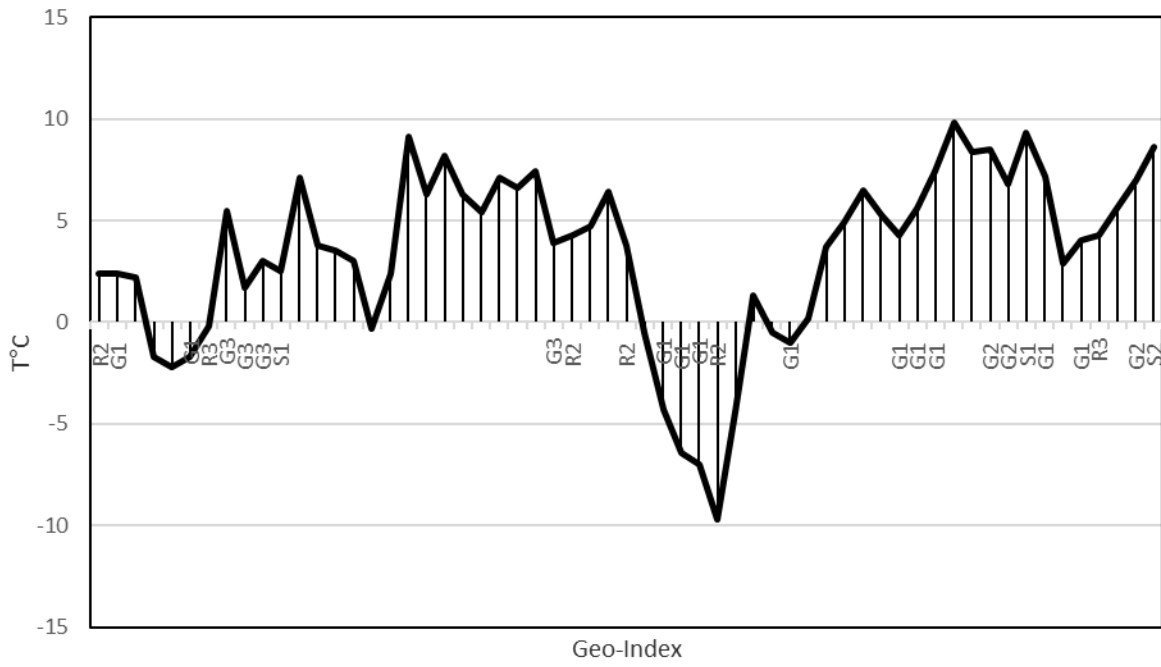




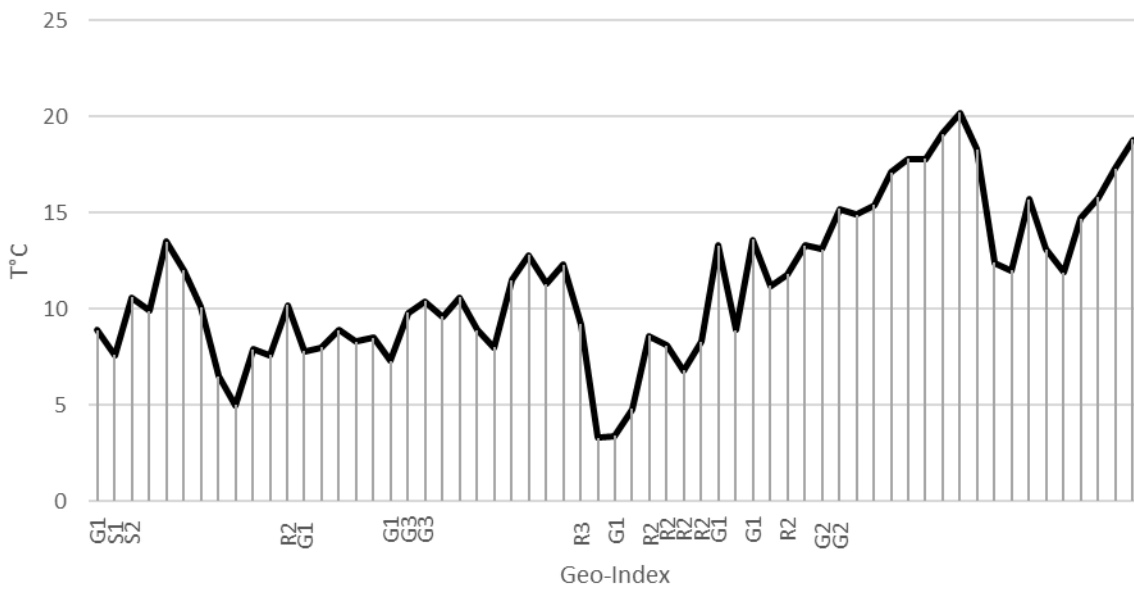


თბილისი (2014-19)

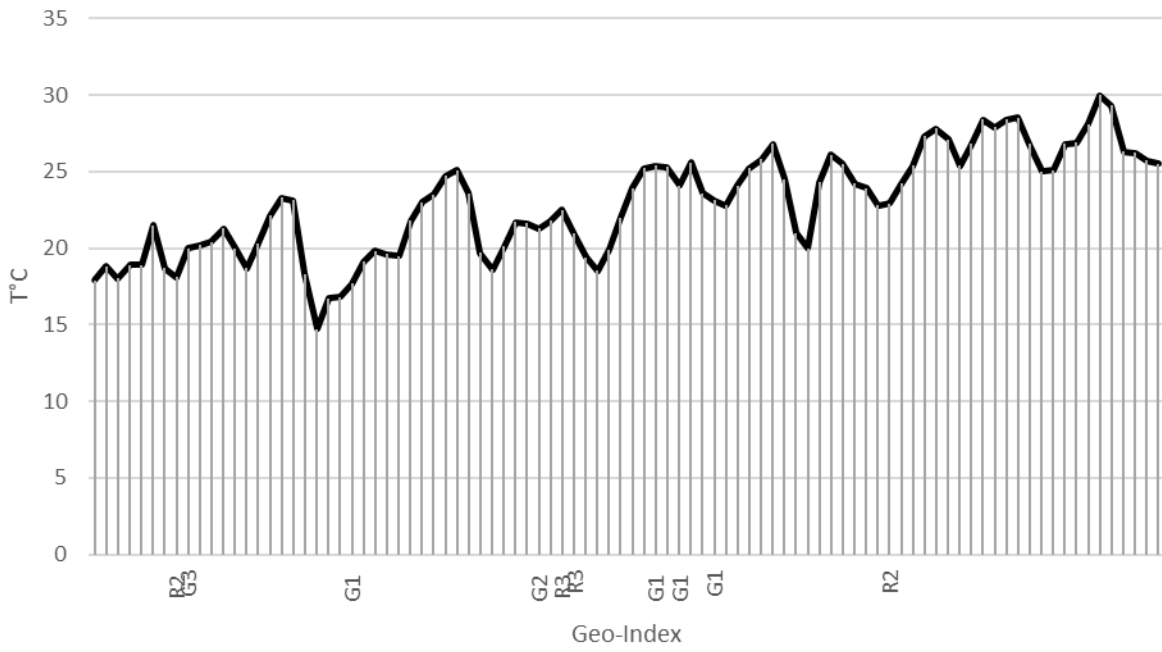
2014 (01-02)



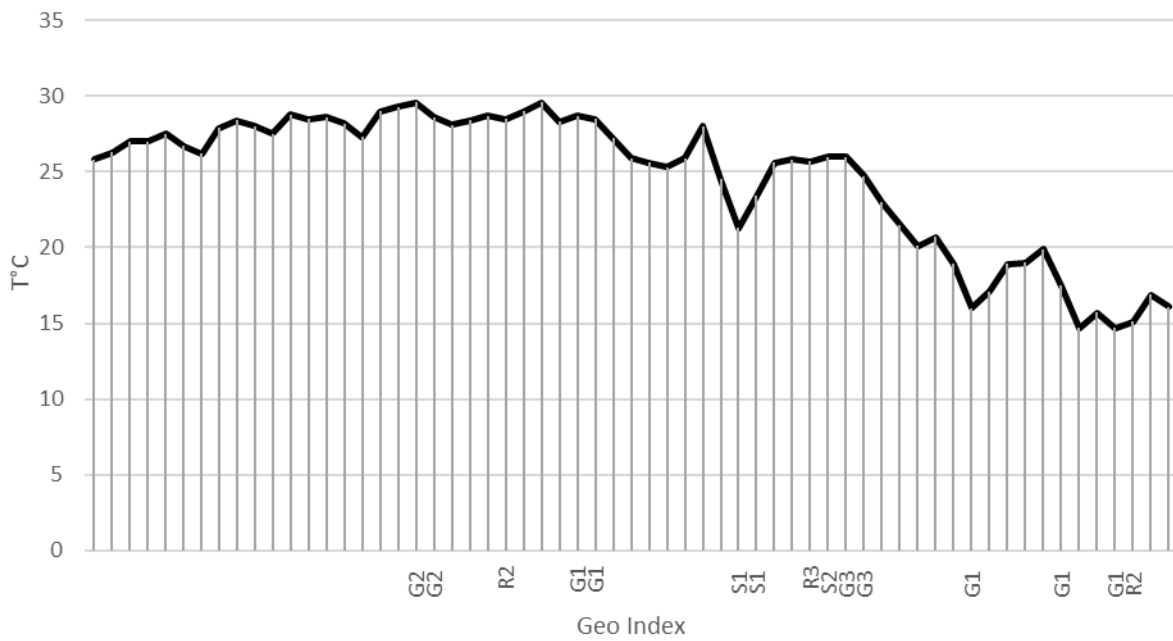
2014 (03-04)



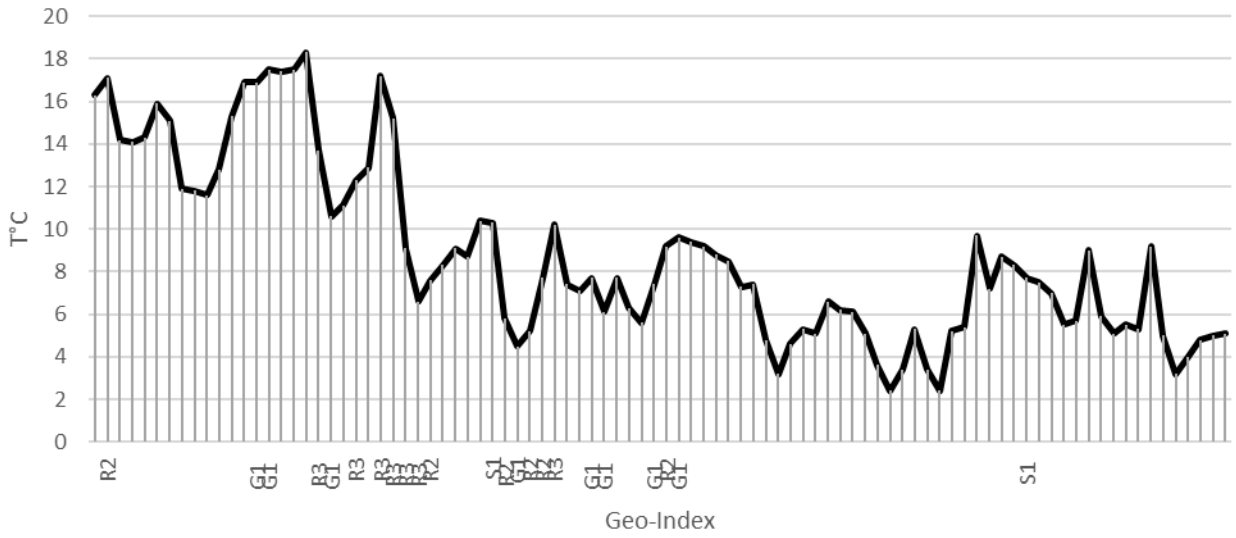
2014 (05-07)



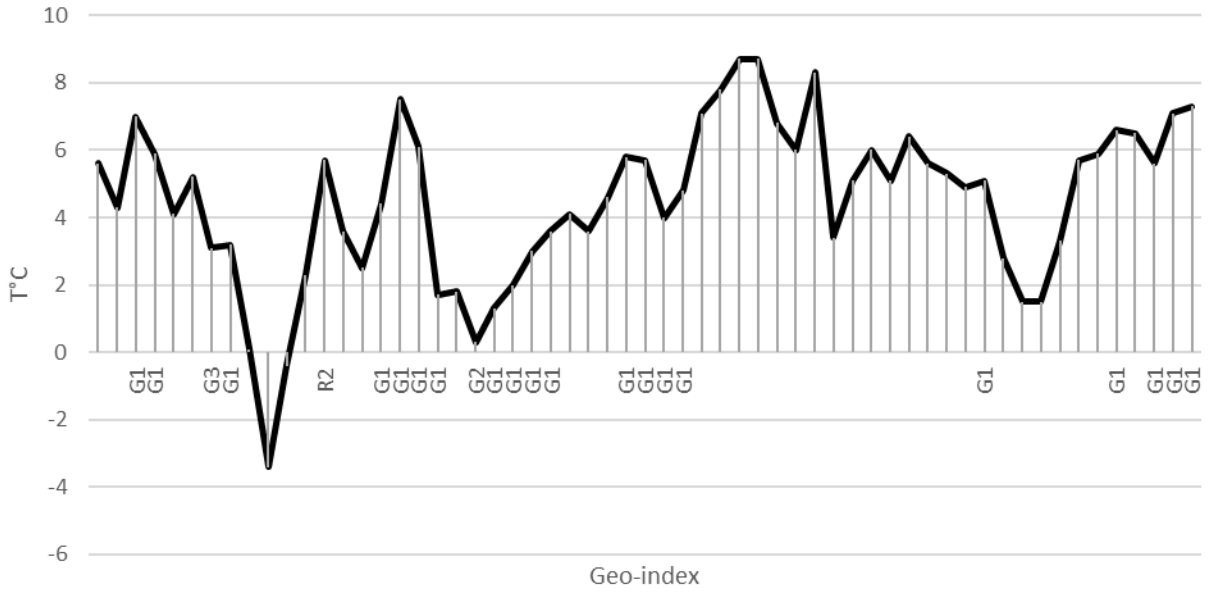
2014 (08-09)



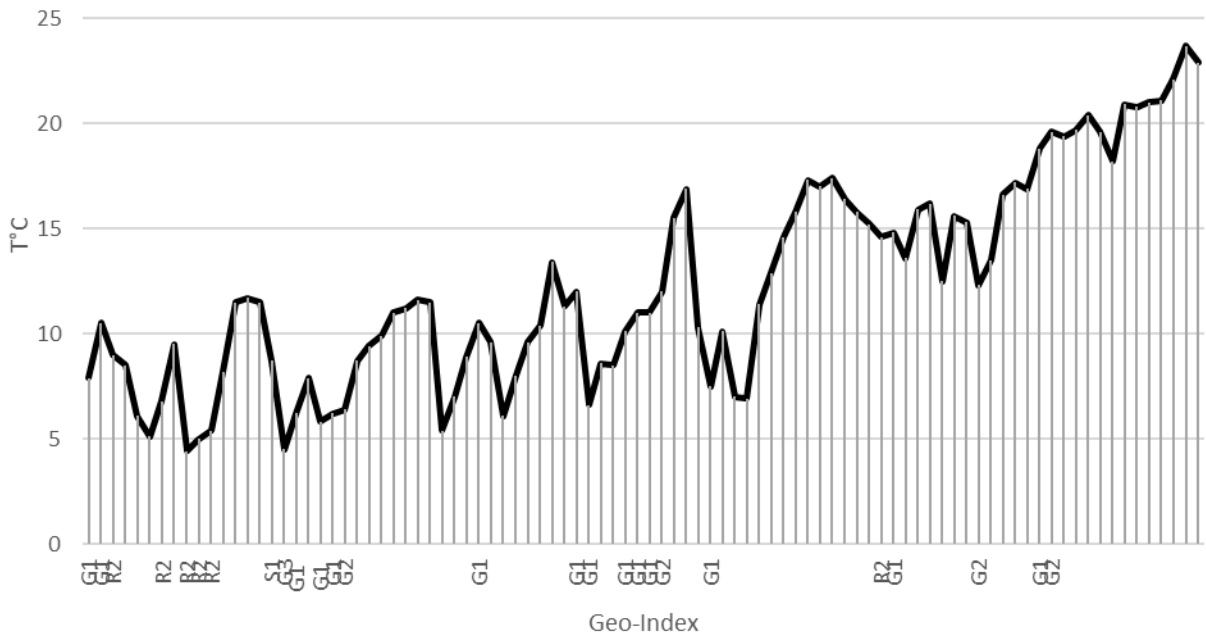
2014 (10-12)



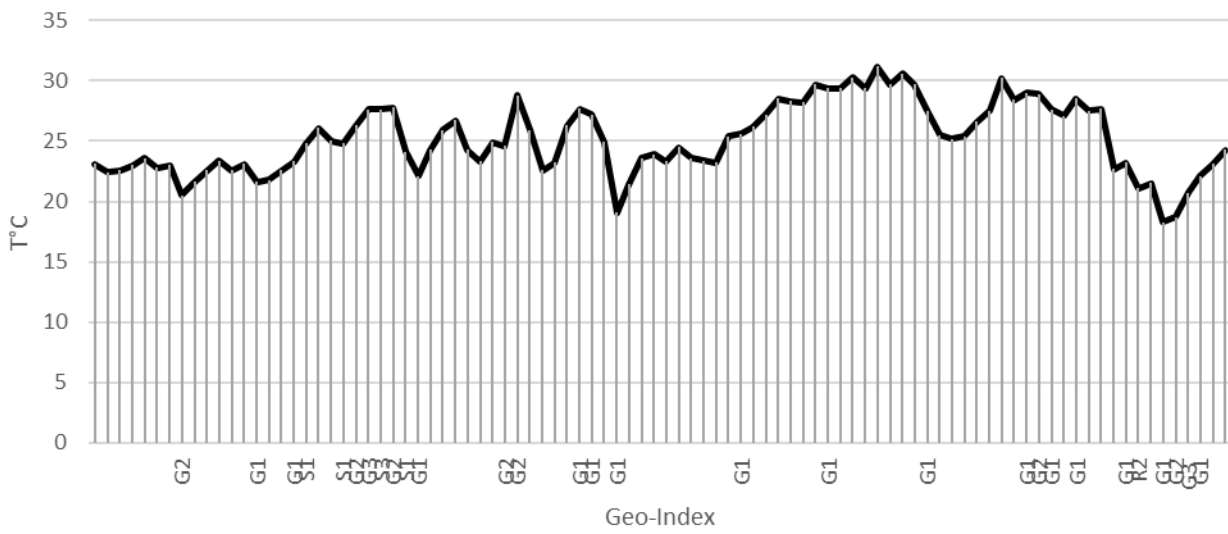
2015 (01-02)

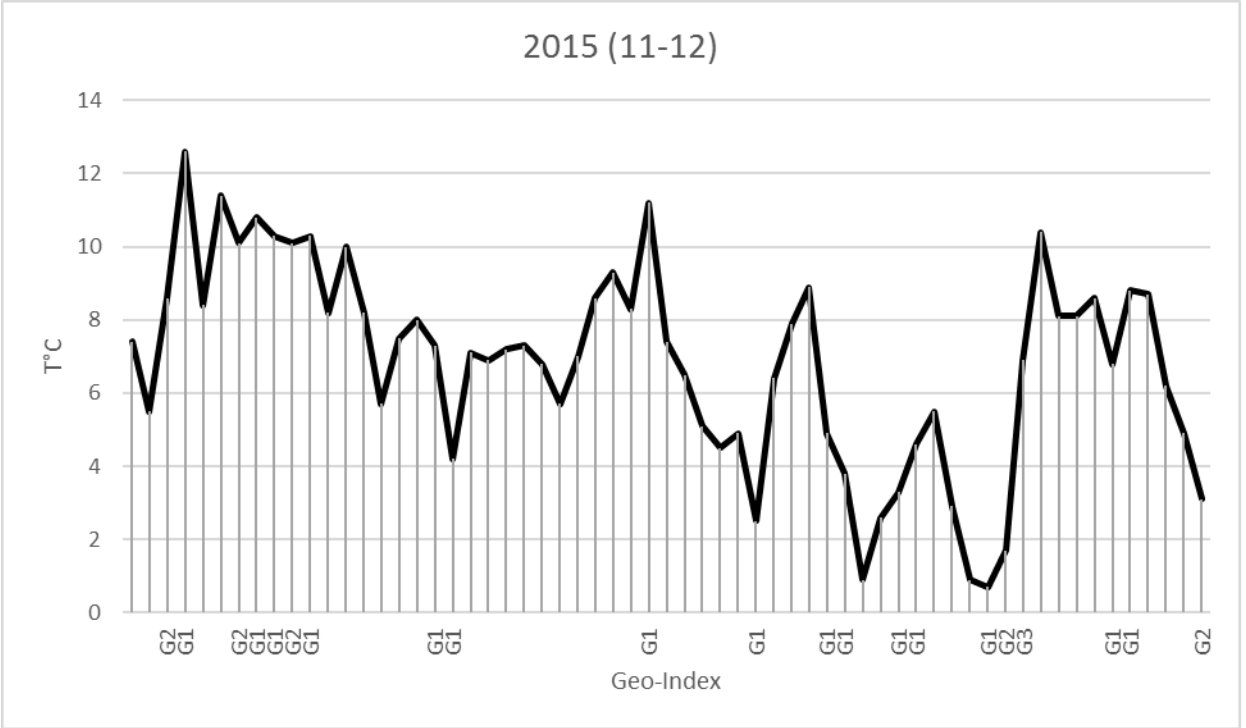
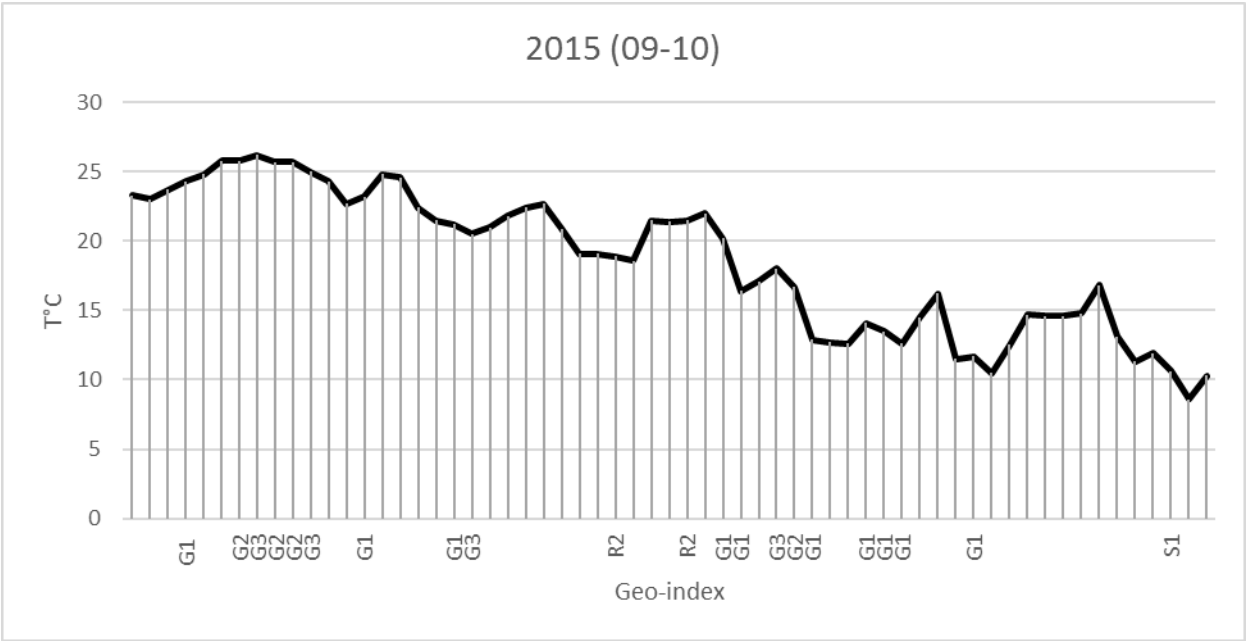


2015 (03-05)

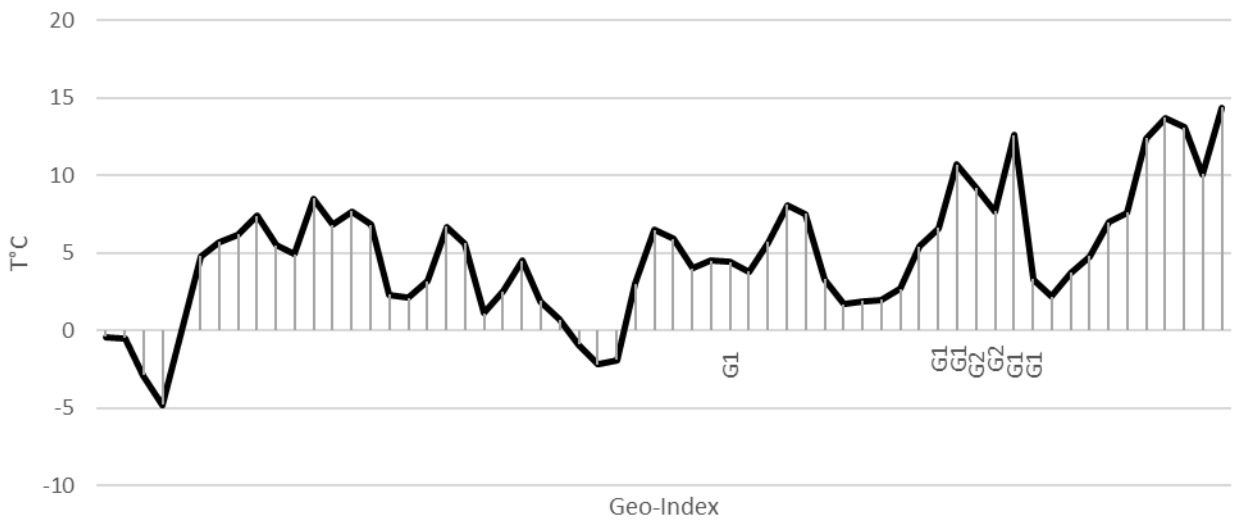


2015 (06-08)

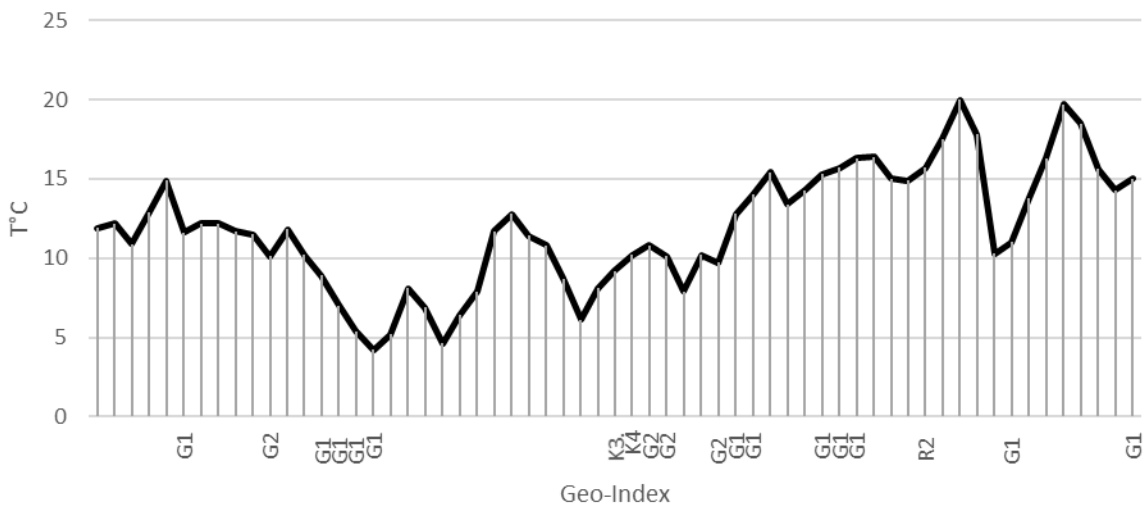




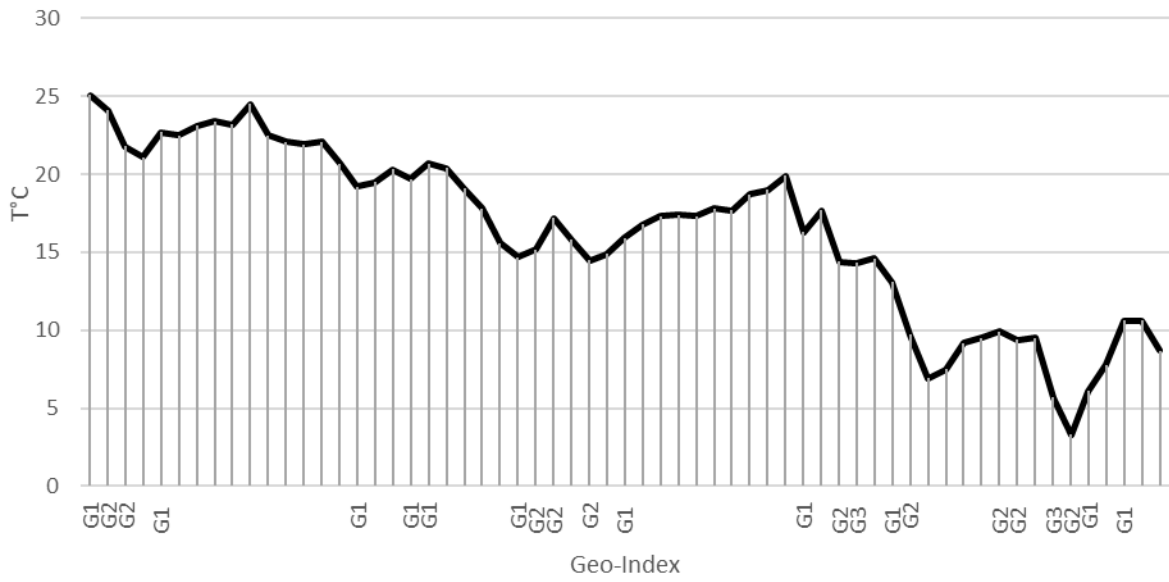
2016 (01-02)



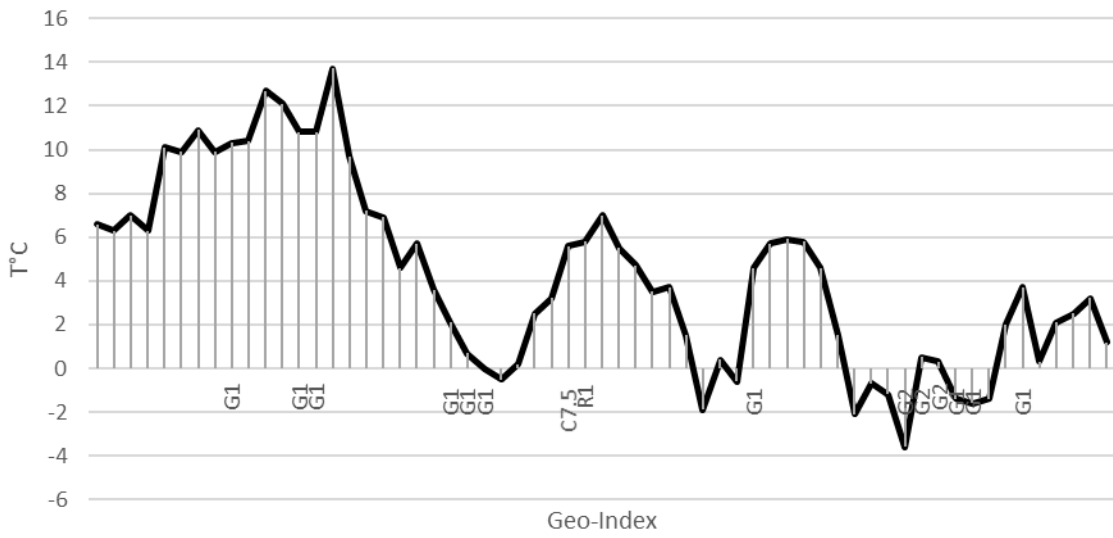
2016 (03-04)

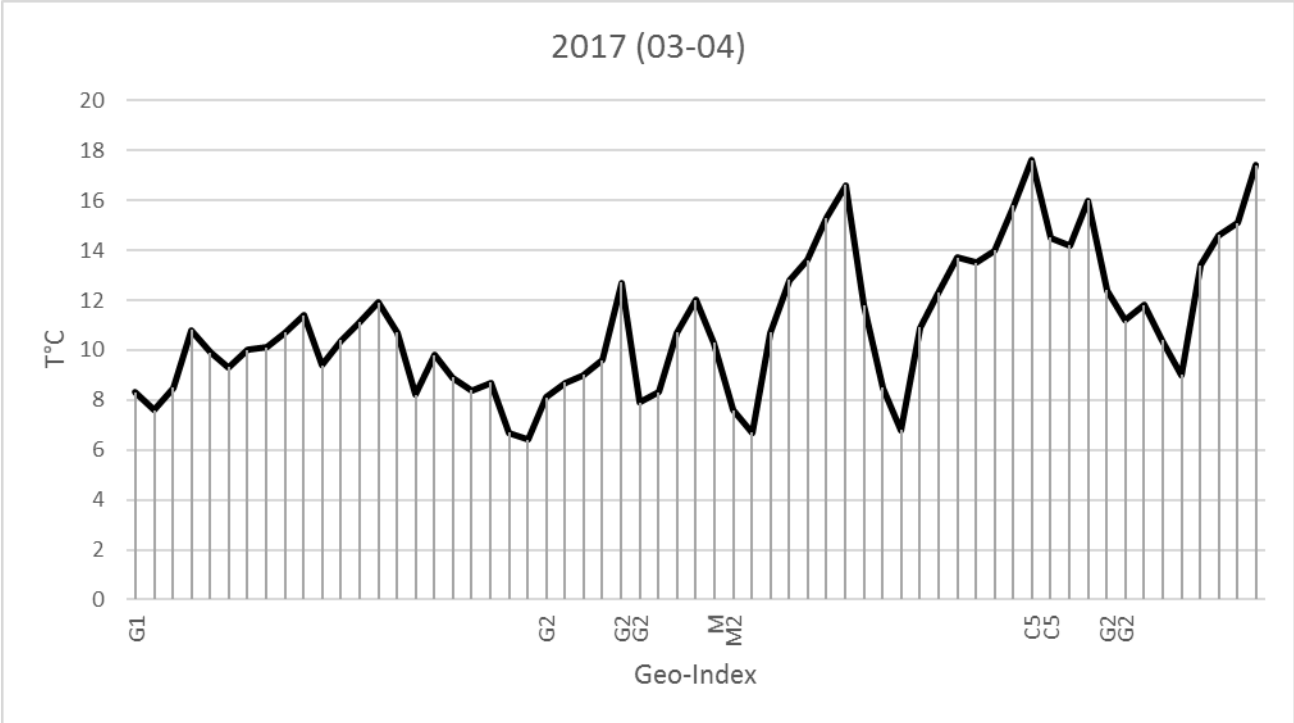
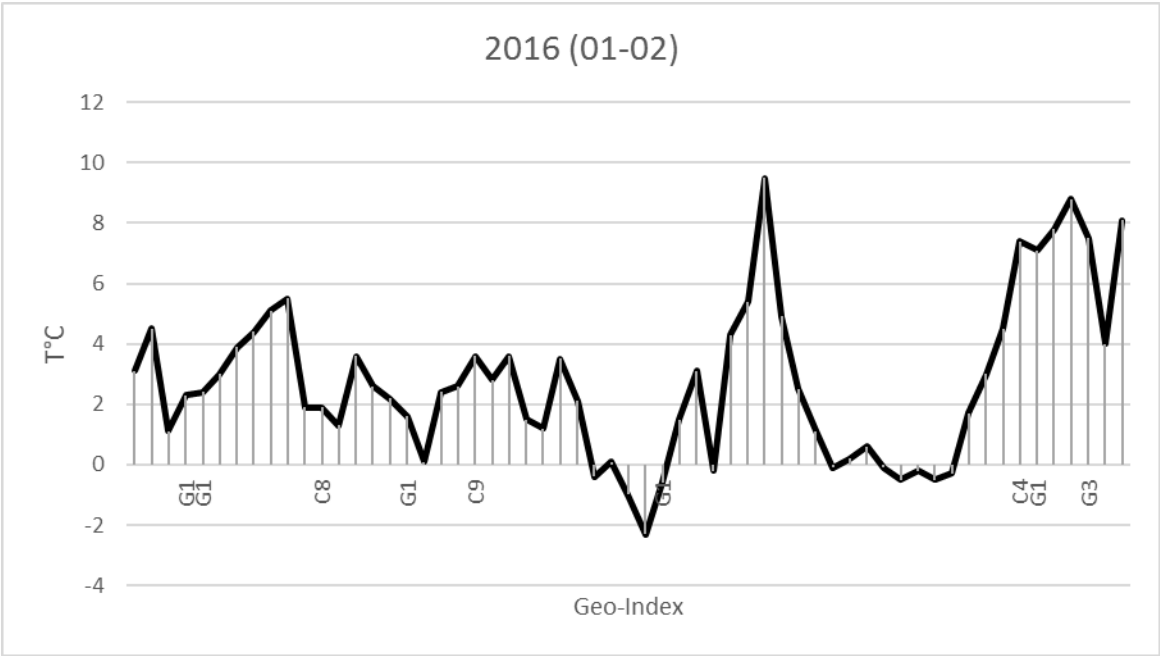


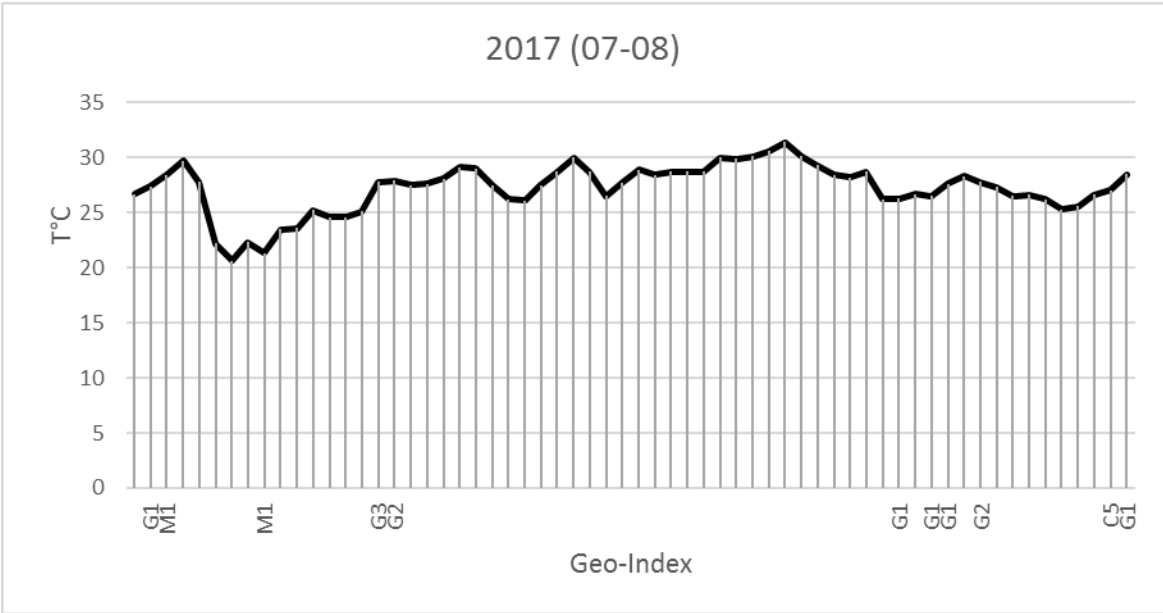
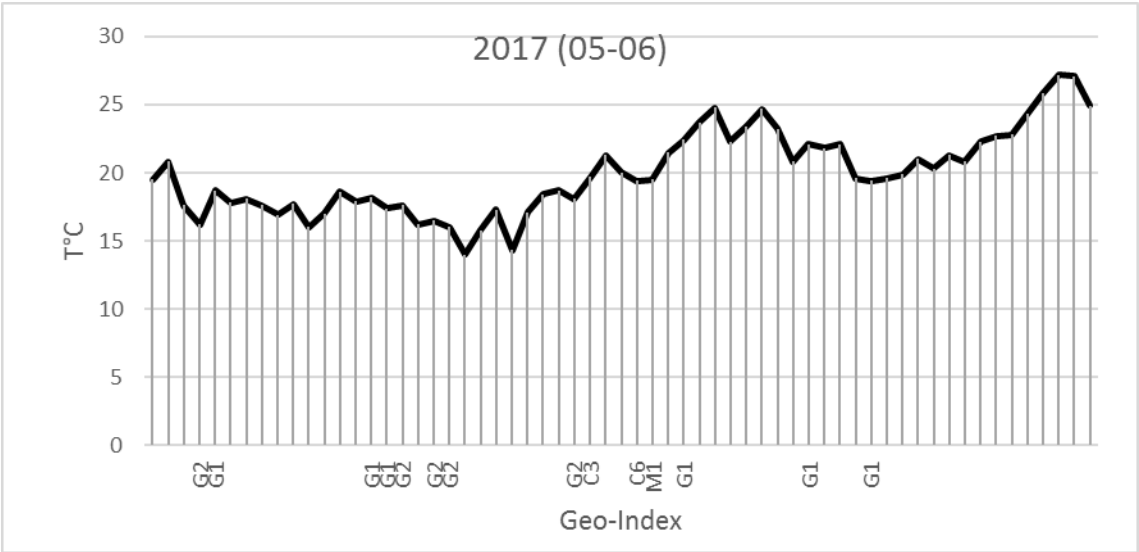
2016 (09-10)

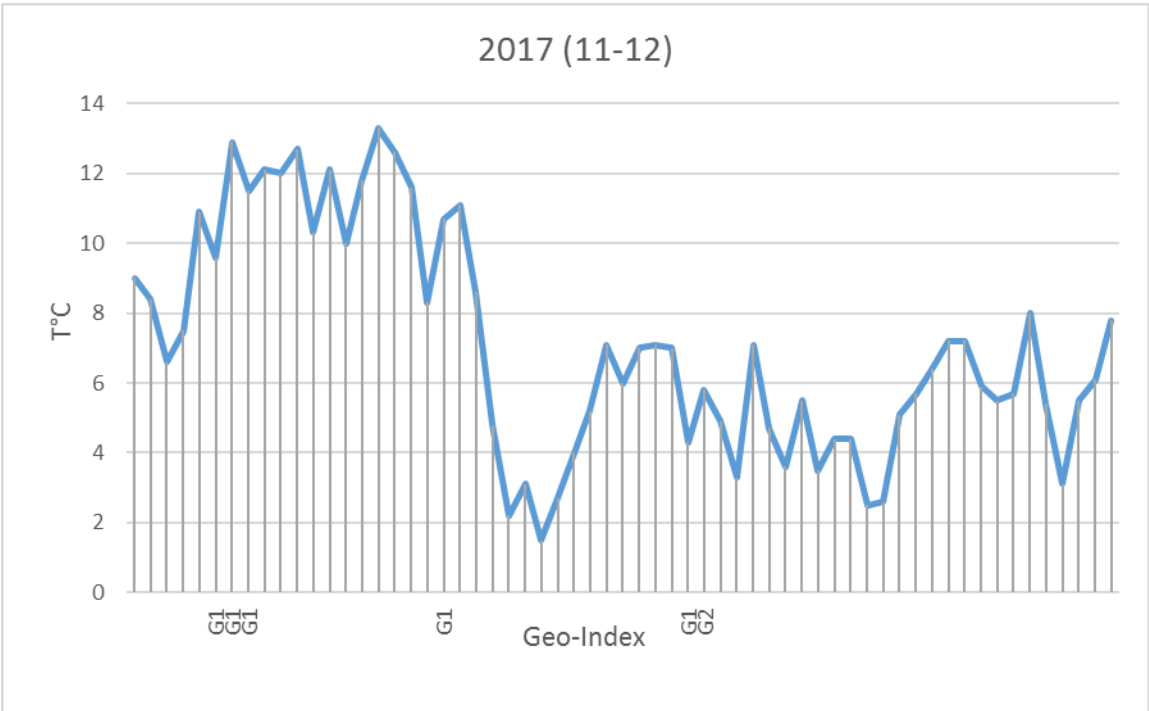
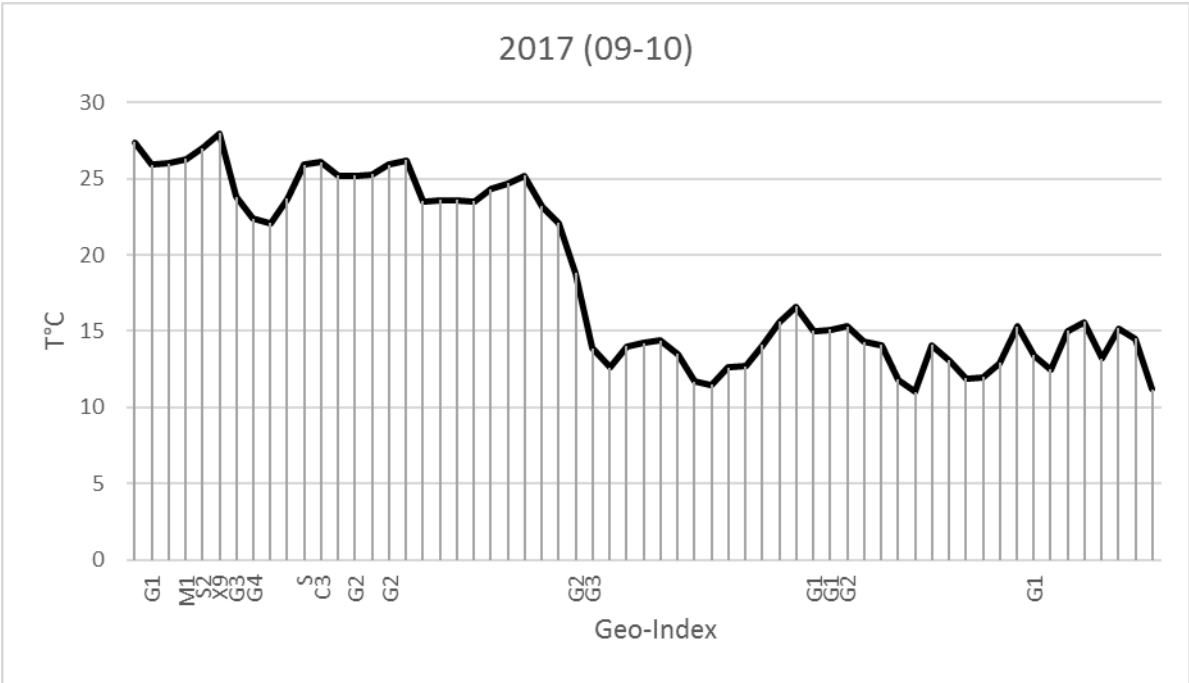


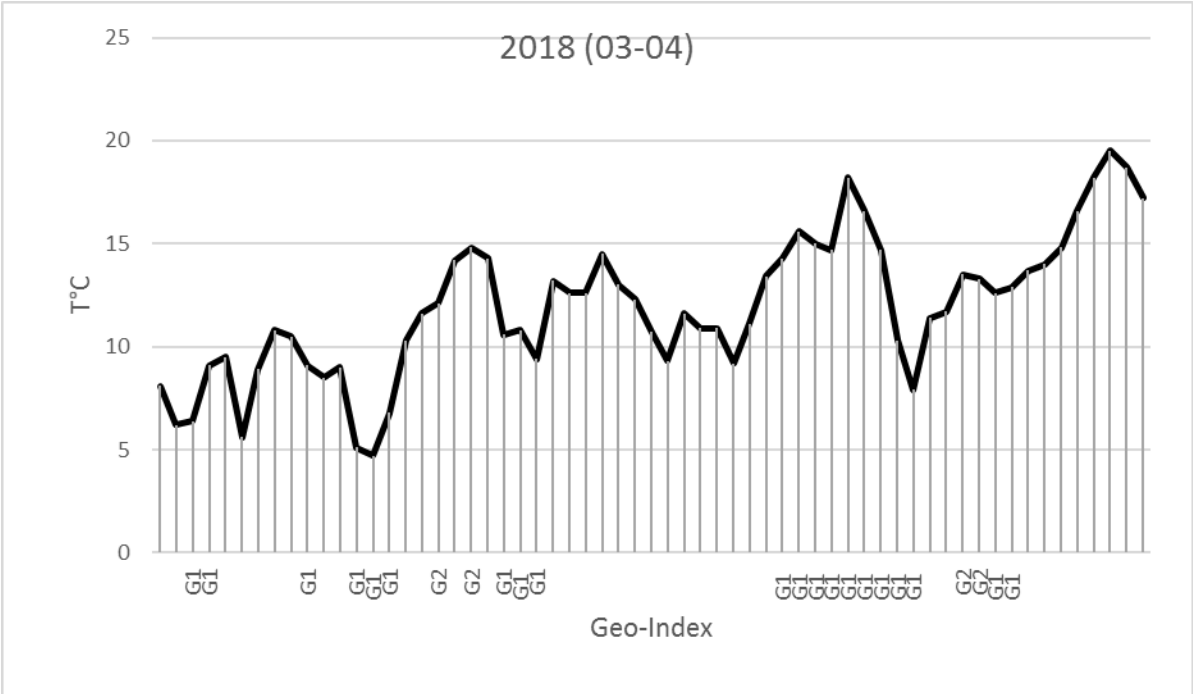
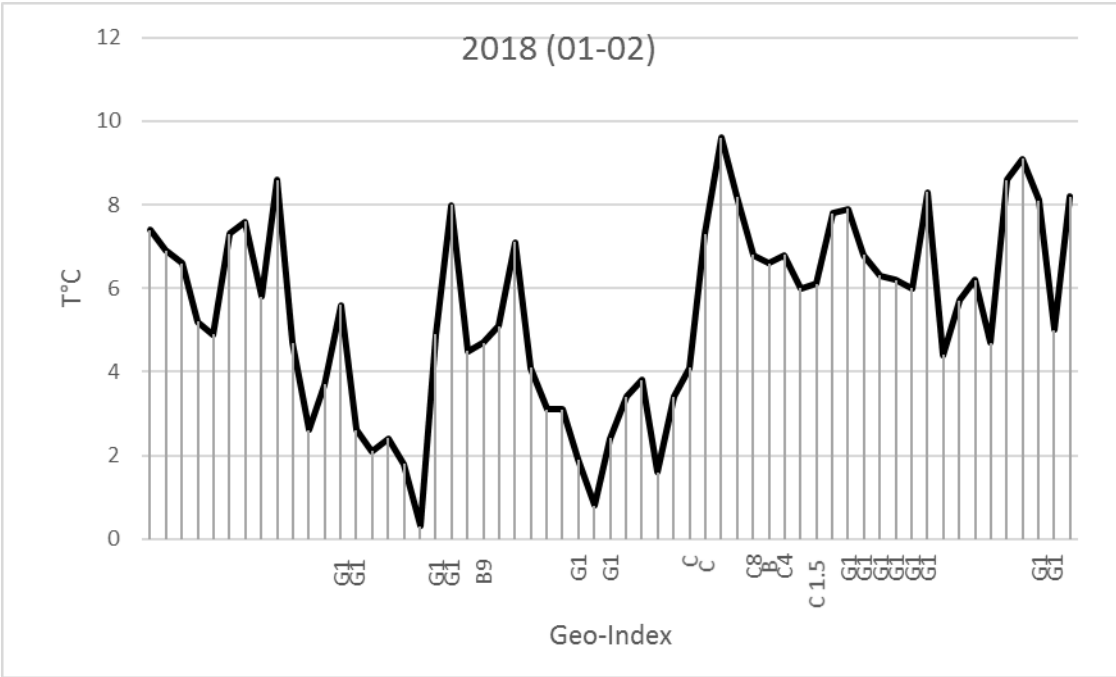
2016 (11-12)

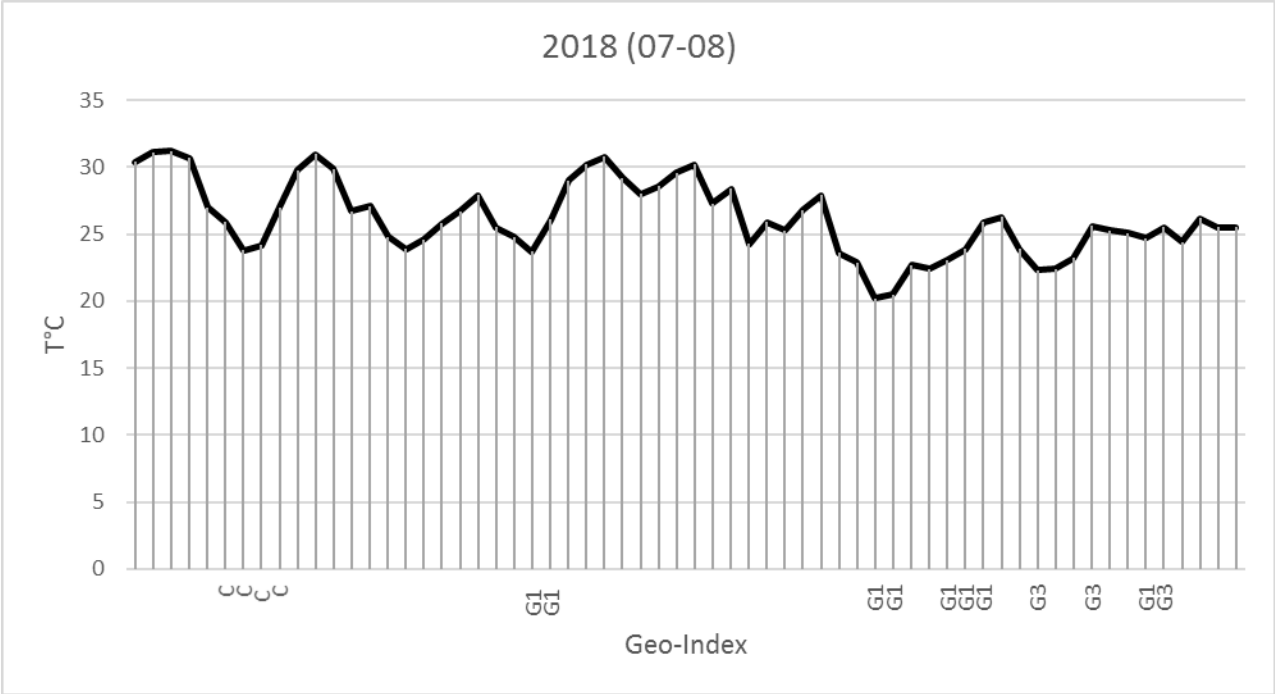
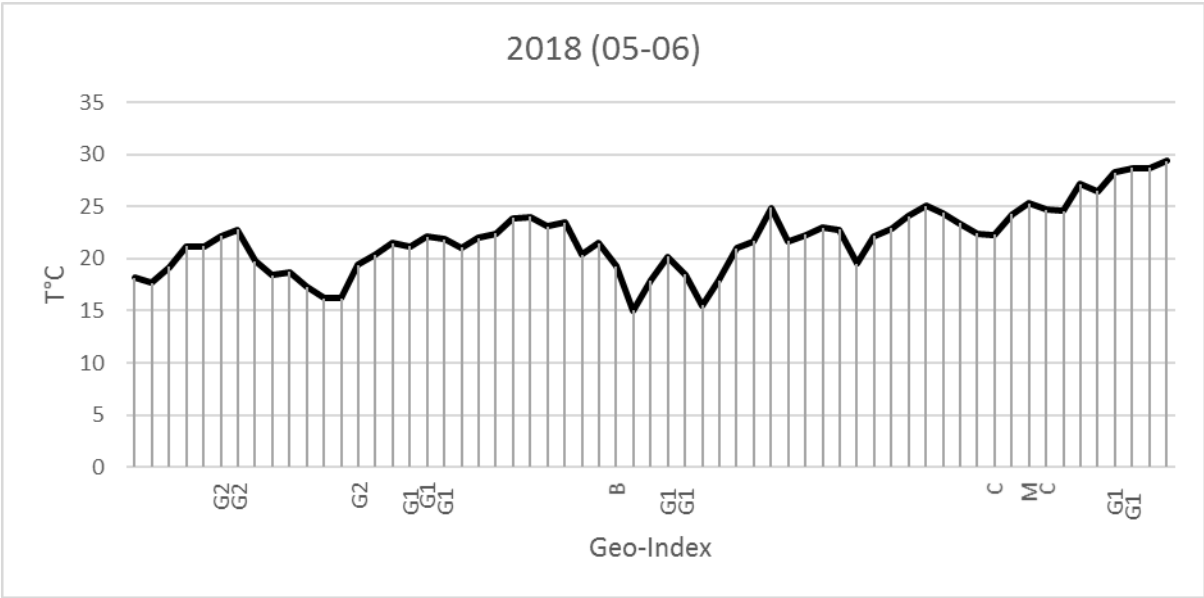


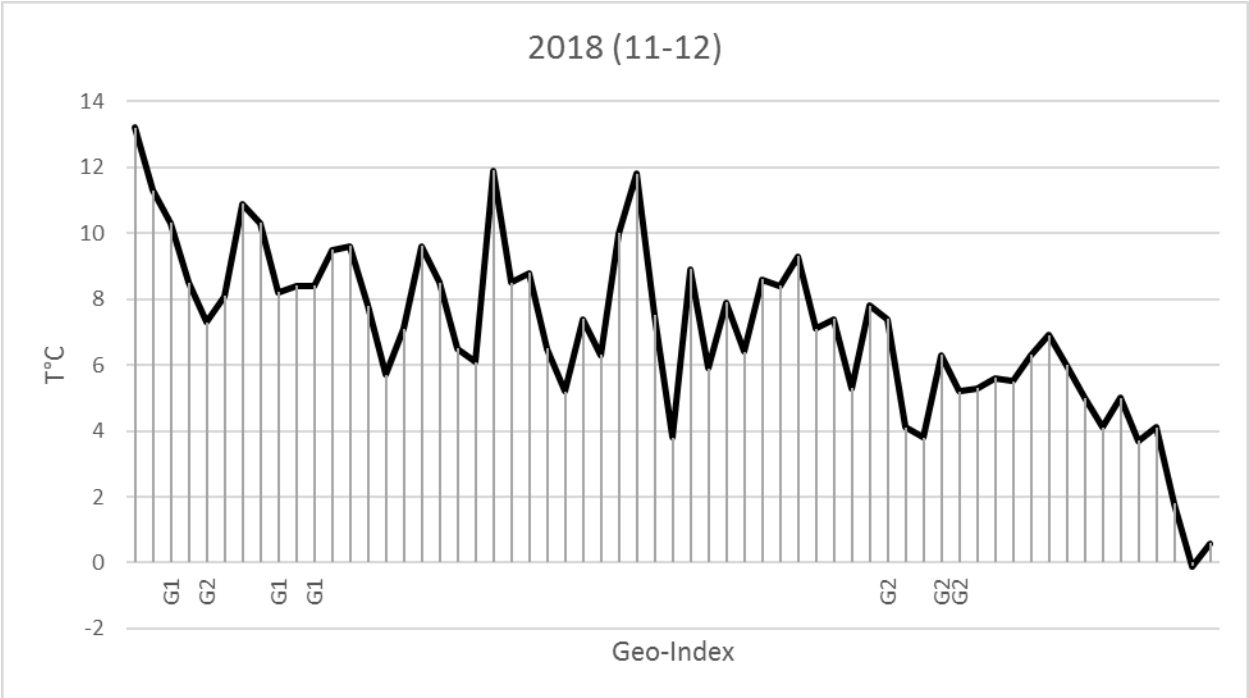
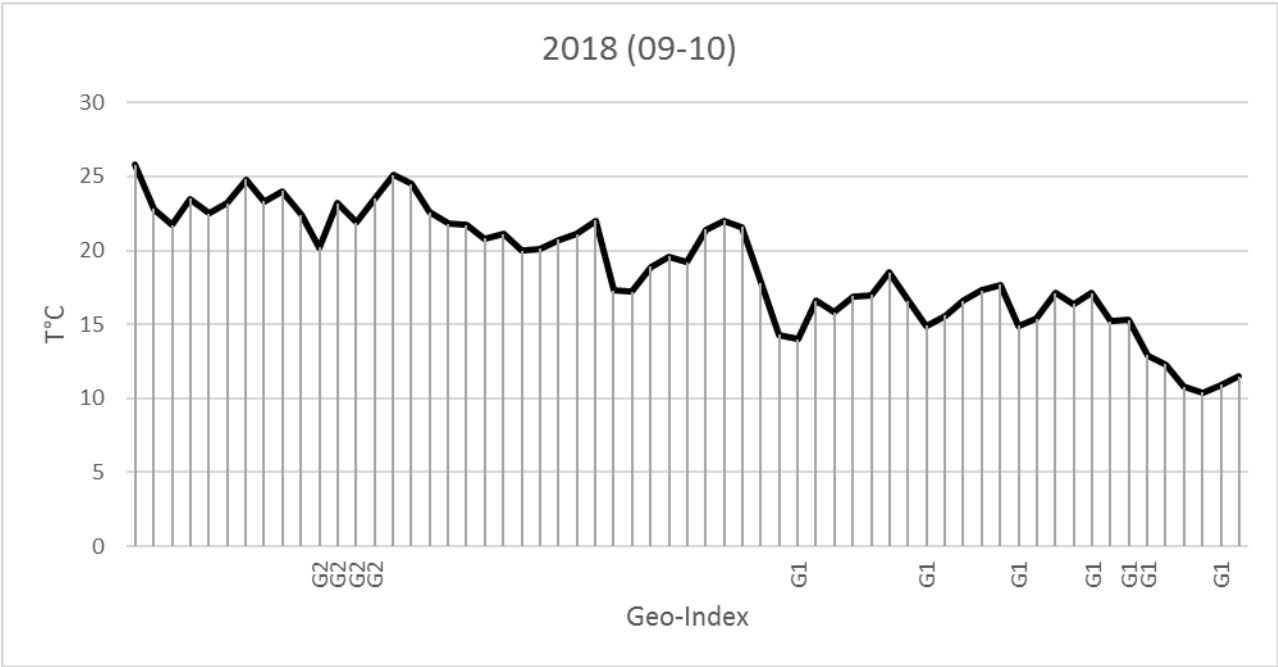




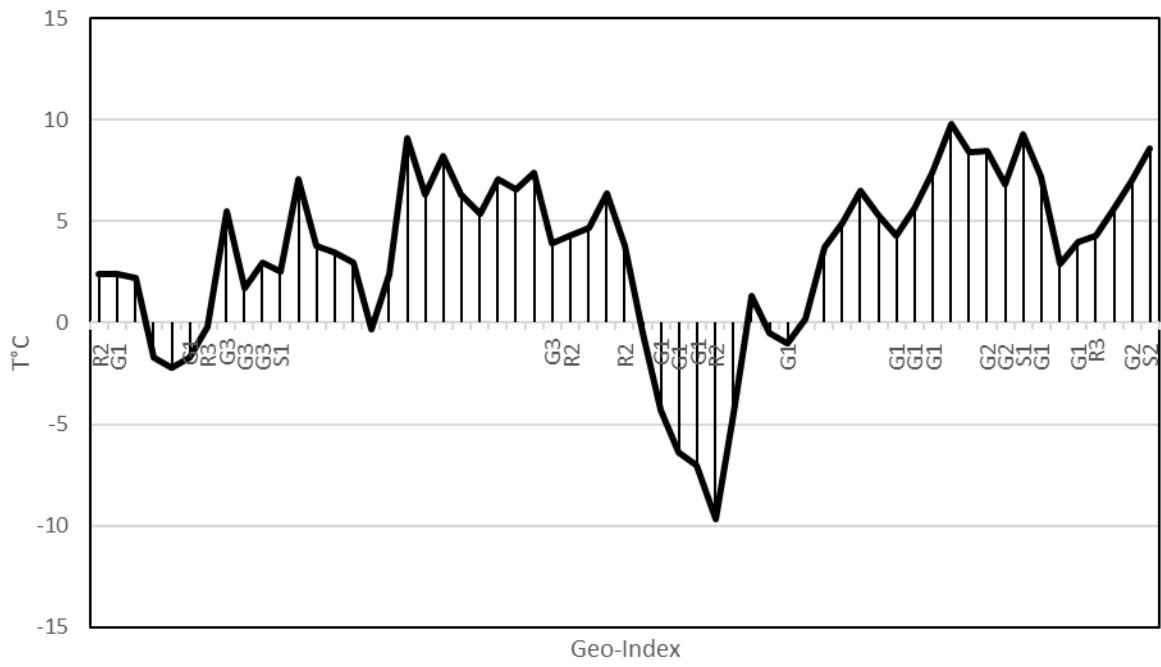




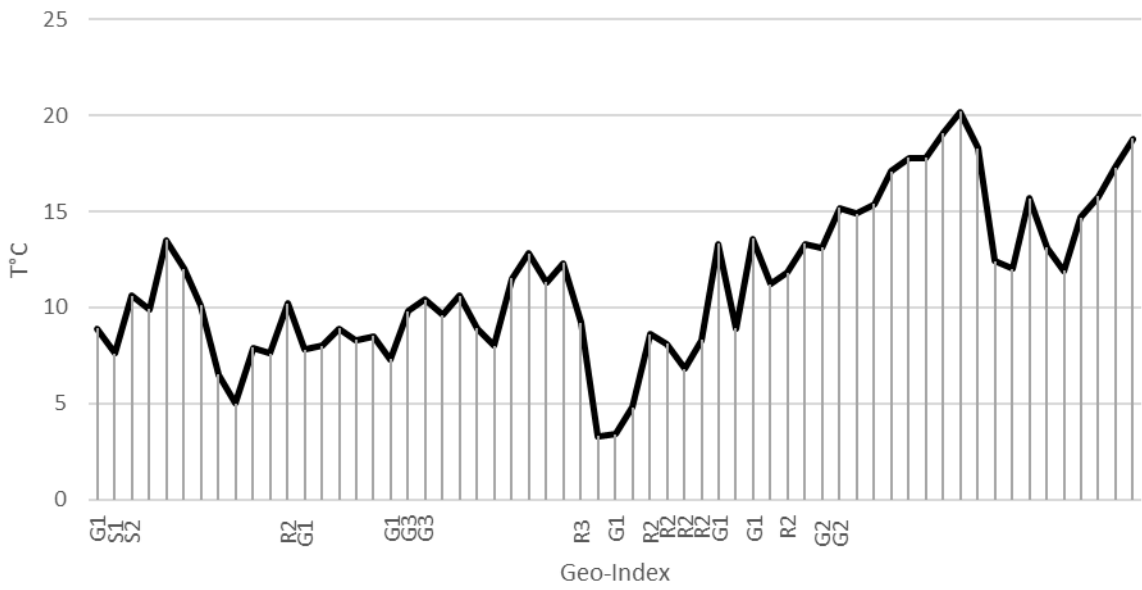




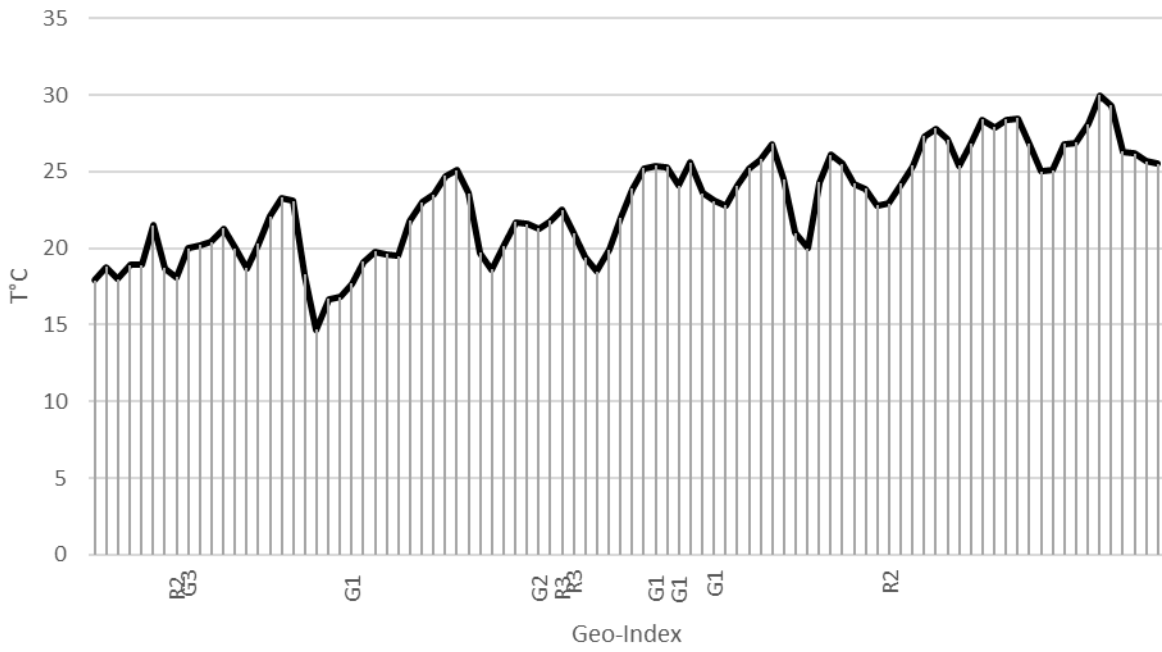
2014 (01-02)



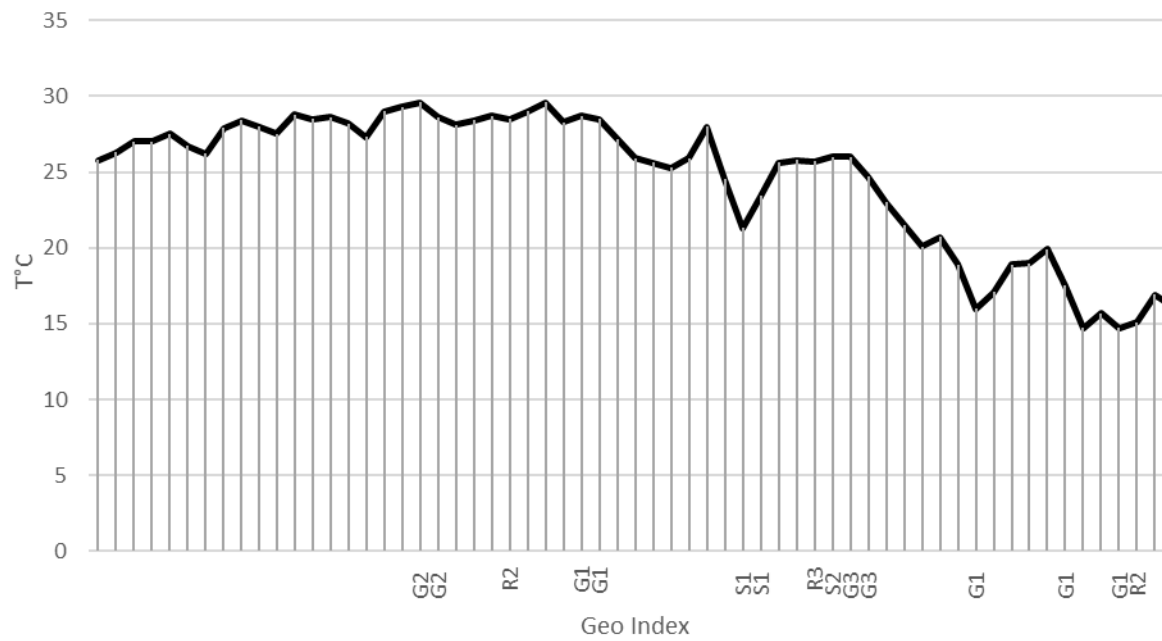
2014 (03-04)

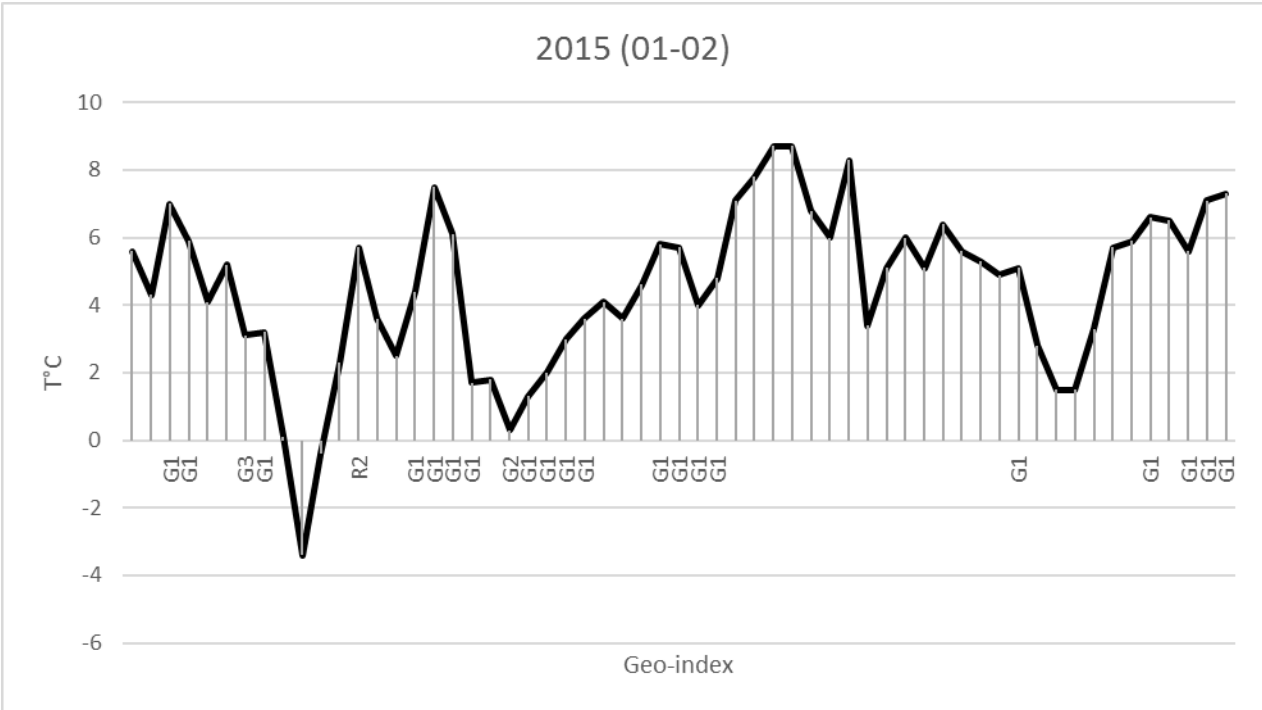
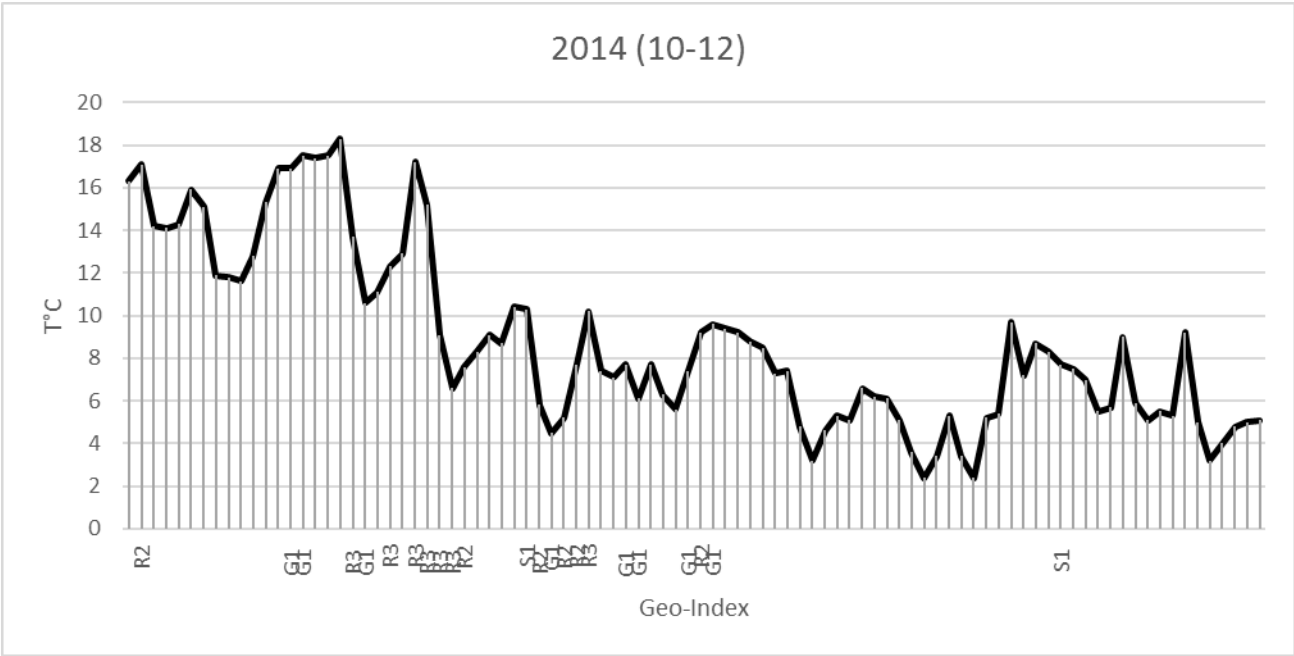


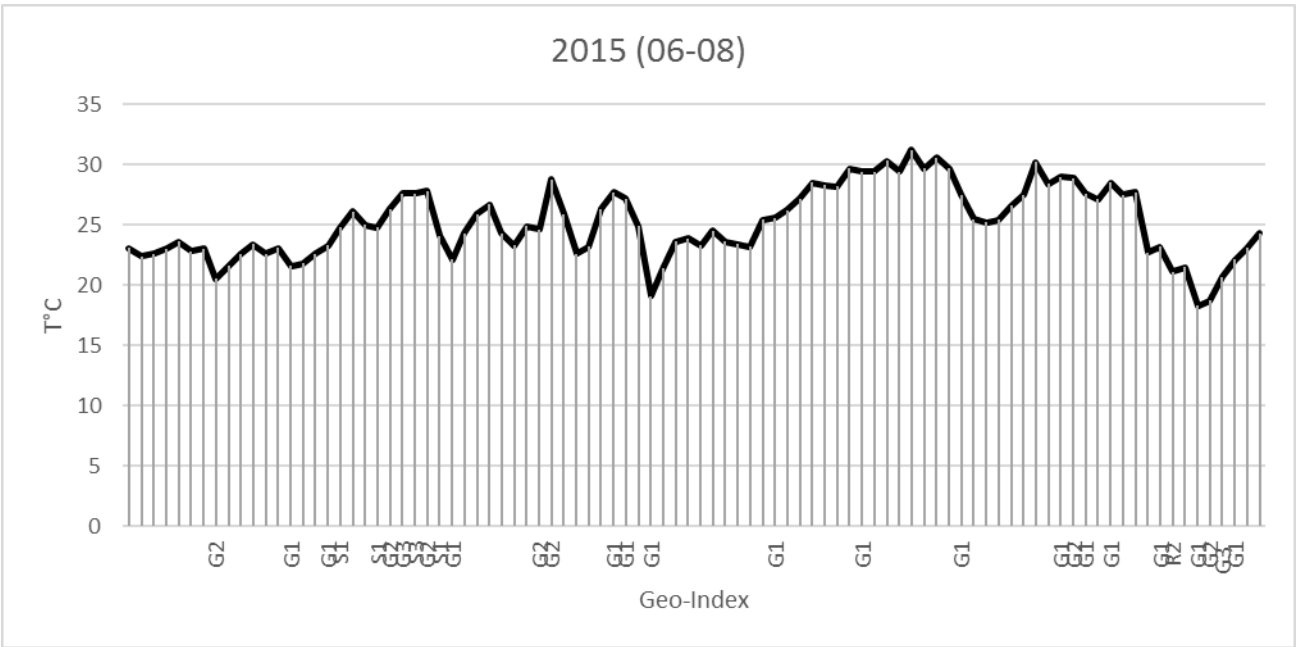
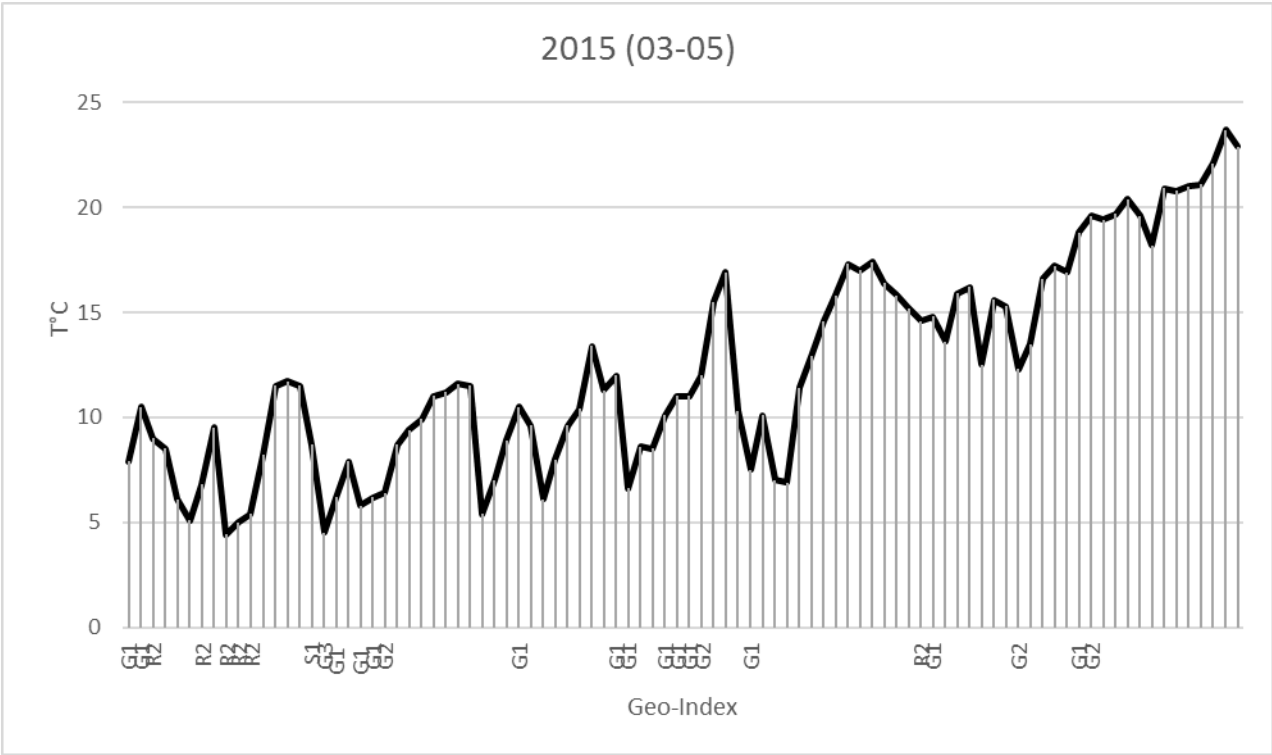
2014 (05-07)

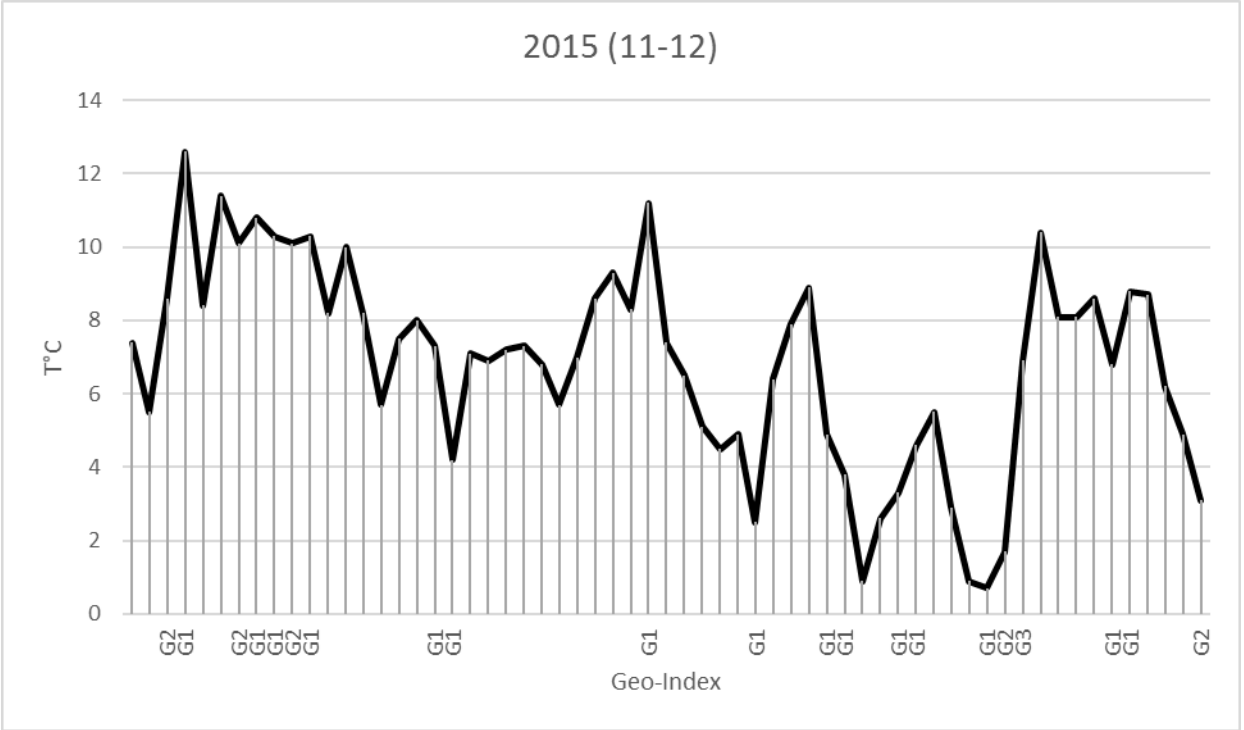
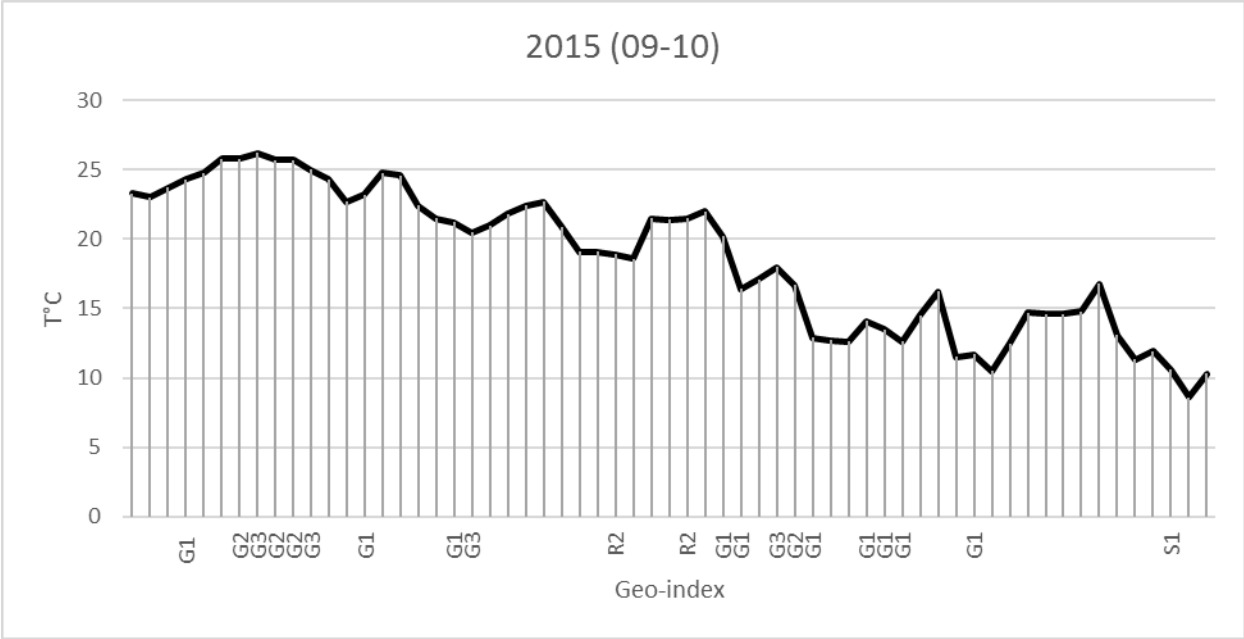


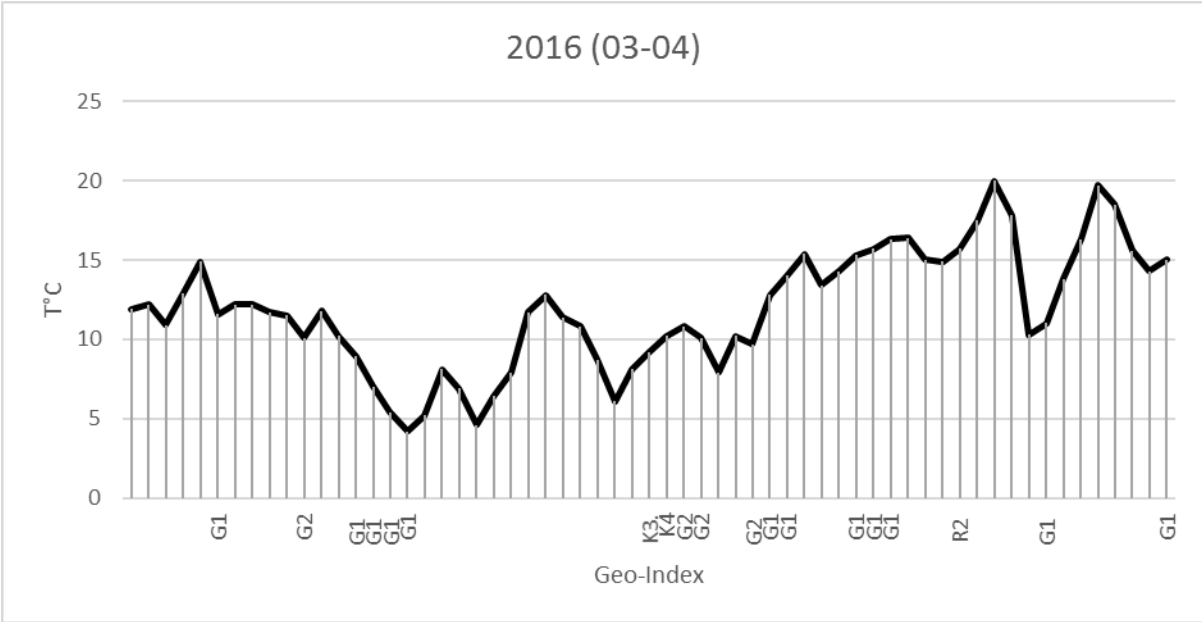
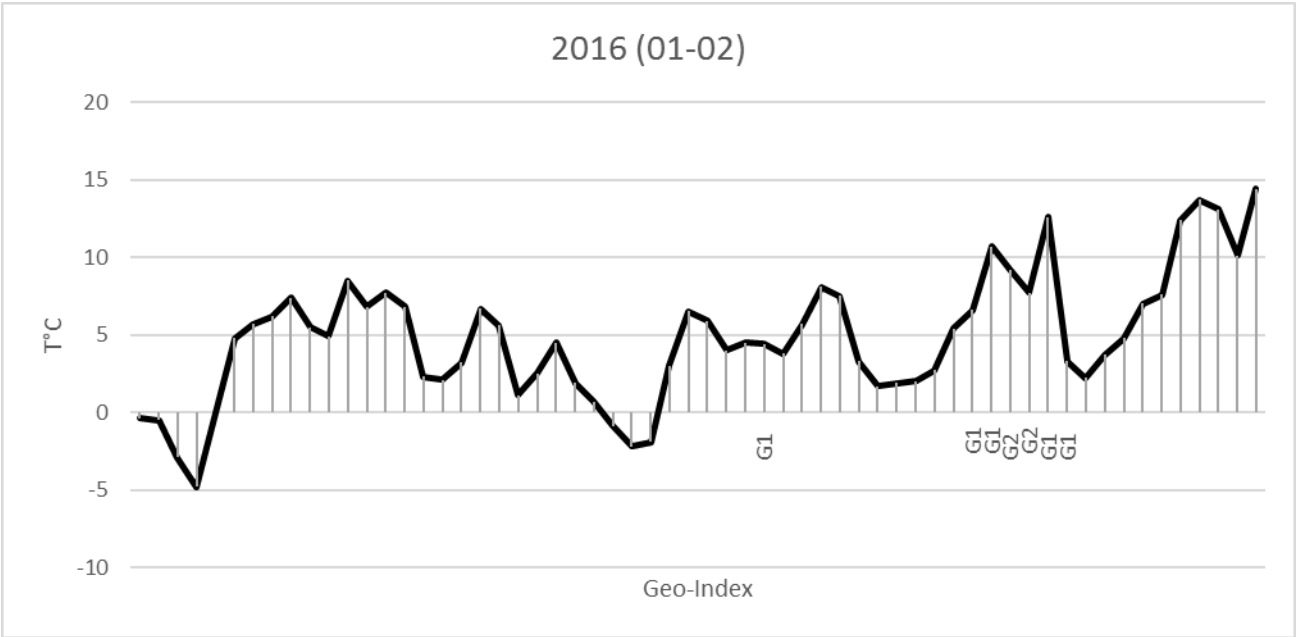
2014 (08-09)



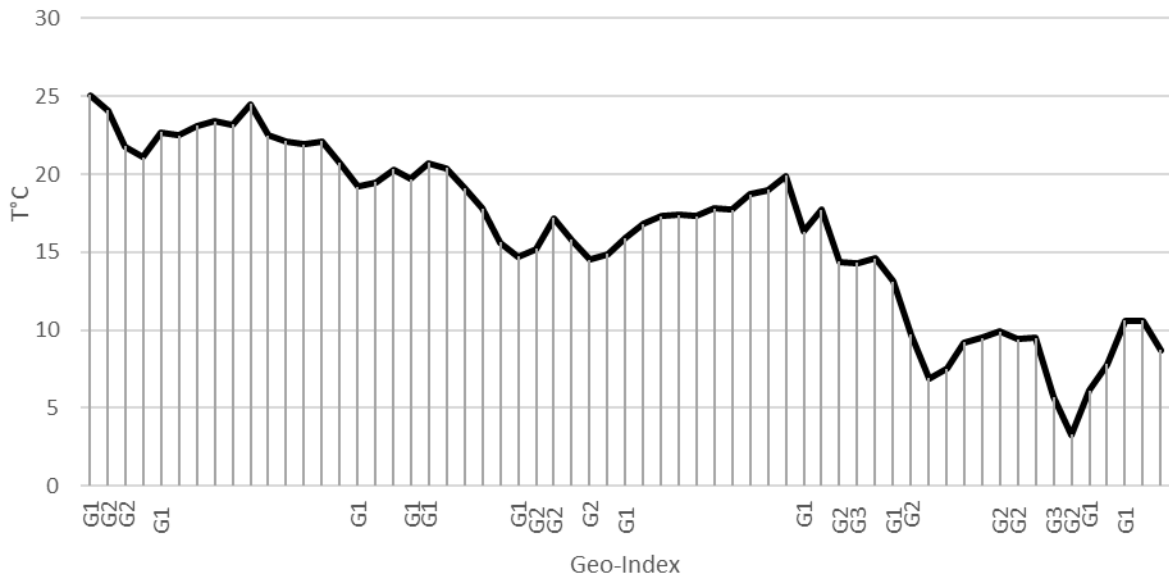








2016 (09-10)



2016 (11-12)

