

კოსმოსური სხივები და მათი გავლენა დედამიწის ატმოსფეროზე (თანამედროვე მიღწევები) მკურნალიძე ი., კაპანაძე ნ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიური ინსტიტუტი

ანოტაცია: ნაშრომში მოყვანილია ბოლო ათწლეულების განმავლობაში დედამიწის ატმოსფეროზე კოსმოსური სხივების გავლენის მეცნიერული კვლევების მნიშვნელოვანი შედეგები.

საკვანძო სიტყვები: კოსმოსური სხივები, ატმოსფერო

კოსმოსური სხივების აღმოჩენის თარიღად ითვლება 1912 წელი, როცა ავსტრიელმა მეცნიერმა ჰესმა გაუმჯობესებული ელექტროსკოპის გამოყენებით გაზომა ჰაერის იონიზაციის სიჩქარე სიმაღლის მიმართ. აღმოჩნდა, რომ სიმაღლის მატებასთან იონიზაცია ჯერ იკლებს და 2 კმ ზემოთ მკვეთრად იზრდება. იონიზირებულ გამოსხივებას ჰაერით სუსტად შთანთქმავს, სიმაღლესთან ზრდადს ქმნიან კოსმოსური სხივები.

კოსმოსური სხივები (კ.ს.) წარმოადგენენ მაღალი ენერგიების მქონე ნაწილაკების ნაკადებს, რომლებიც მოდიან კოსმოსური სივრცის ყველა მხრიდან და მუდმივად იჭრებიან დედამიწის ატმოსფეროში. პირველად კ.ს. ითვლება ისეთი სხივები, რომლებიც აჩქარდებიან შორეულ ასტროფიზიკურ წყაროებში და მეორადი კ.ს. ის სხივებია, რომლებიც წარმოიქმნიებიან პირველადი სხივების ვარსკვლავთაშორის აირებთან ურთიერთქმედების შედეგად. პირველადი კ.ს. ნაკადები ძირითადად შეიცავენ ელექტრონებს, პროტონებს და წყალბადის, ჰელიუმის, ჟანგბადის, ნახშირბადის, რკინის და ა.შ. მეორად სხივებში ჩნდება ბორის, ბერილიუმის, ლითიუმის ბირთვები [1,2].

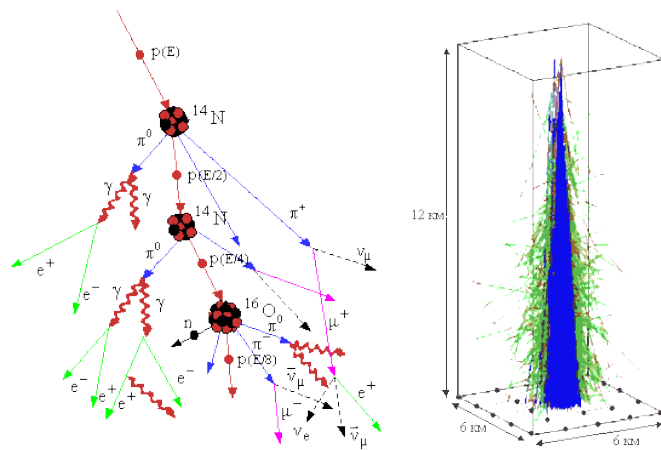
კოსმოსური გამოსხივება, რომელიც აღწევს დედამიწის ატმოსფეროს, შეიცავს ყველა სტაბილურად დამუხტულ ნაწილაკს და ბირთვს, რომლის სიციცხლის დრო 10^6 და მეტიც წელია.

წარმოშობის მიხედვით განასხვავებენ მზის (მ.კ.ს.) და გალაქტიკურ კოსმოსურ სხივებს (გ.კ.ს.) გალაქტიკური კოსმოსური სხივების ენერგიების დიაპაზონია 10^6 - 10^{21} ევ, მზის კოსმოსური სხივების ენერგიები ძლიერი ამოფრქვევების დროს საკმაოდ დიდ მნიშვნელობებს აღწევენ, მაგრამ საშუალოდ მათი ენერგიები არ აღემატება 10^9 ევ.

პირველადი კ.ს. (ძირითადად პროტონები) ატმოსფეროს ნაწილაკების ბირთვებთან ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნიან დიდი რაოდენობის მეორად ნაწილაკებს – პიონებს, პროტონებს, ნეიტრონებს, მიონებს, ელექტრონებს, პოზიტრონებს და ფოტონებს. ამრიგად ერთი პირველადი ნაწილაკის მაგივრად წარმოიქმნება დიდი რაოდენობის მეორადი ნაწილაკები, რომლებიც ქმნიან ანდრონულ, მიონურ და ელექტრონ-ფოტონურ კომპონენტებს. ჩნდება ნაწილაკების ფართო ნაკადი ე.წ. ატმოსფერული ზვავისებური კასკადი, რომელიც წარმოდგენილია შემდეგ სქემატურ ნახატზე.

კოსმოსური სხივები ფაქტიურად წარმოადგენენ გაჯერებულ რელატივისტურ აირს, რომლის ნაწილაკები პრაქტიკულად არ ურთიერთქმედებენ, იზვიათად ეჯახებიან პლანეტა- და ვარსკვლავთაშორის ნივთიერებებს და განიცდიან კოსმოსის მაგნიტური ველის

ზემოქმედებას. როგორც ცნობილია, მ.კ.ს წყარო არის მზე. მისი სხივები წარმოადგენენ დამუხტულ ნაწილაკებს, რომლებიც აჩქარდებიან მზის ამოფრქვევების დროს და მათი ენერგიები ბევრად აღემატება სითბურ ენერგიას მზის ზედაპირზე. მზეზე ამოფრქვევისას მ.კ.ს ხვდებიან პლანეტაშორის სივრცეში და შემდეგ აღწევენ დედამიწას. მათი ნაკადი ძალიან მძლავრია და დიდ საშიშროებას წარმოადგენს ყველა ცოცხალი ორგანიზმისათვის. ამ საშიშ რადიაციისგან დედამიწას იცავს ატმოსფერო და მაგნიტური ველი. შემოსული ენერგიის დიდი ნაწილი იფანტება ატმოსფეროში. იმის და მიუხედავად, რომ დარჩენილი ენერგია რამდენიმე რიგით ნაკლებია მზიდან წამოსული ენერგიაზე, მას მაინც დიდი გავლენა აქვს სხვადასხვა ატმოსფერულ პროცესებზე.



ნახ. 1. ატმოსფერული ზვავისებური ნაწილაკების კასკადი

კ.ს ენერგია ატმოსფეროში ძირითადად იხარჯება ჰაერის ატომების იონიზაციაზე. XXI საუკუნის დასაწყისამდე ითვლებოდა, რომ იონების ბალანსის განტოლებას აქვს კვადრატული სახე მაგრამ კ.ს. ნაკადების და ატმოსფეროში იონების კონცენტრაციის მონაცემების ერთობლივი ანალიზით დადგინდა, რომ იონების ბალანსის განტოლებას აქვს წრფივი სახე ამის დადგენას დიდი მნიშვნელობა აქვს დედამიწის კლიმატის მოდელირებისათვის [2,3].

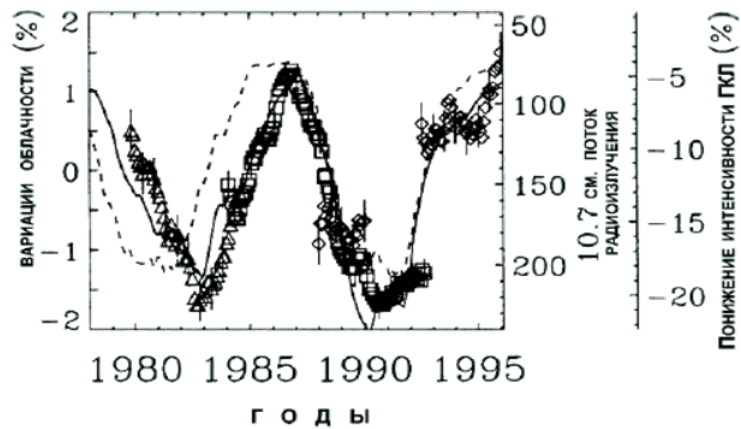
კოსმოსური სხივებით შექმნილი იონები უზრუნველყოფენ ატმოსფეროს გამტარობას. დენი, რომელიც გადის ატმოსფეროში, წარმოადგენს გლობალური ელექტროწრედის ძირითად ელემენტს. ელექტროწრედის მეშვეობით დედამიწა ინარჩუნებს მუდმივ უარყოფით მუხტს, რომელიც 600კვ. ტოლია. ატმოსფეროში ელექტრონული მუხტების გენერატორებს წარმოადგენენ ელჭექური განმუხტვები-ელვები. ბოლო წლების კვლევებით, როგორც თეორიული ასევე ექსპერიმენტებით [4] დამტკიცდა, რომ ელჭექური განმუხტვა ხდება ღრუბელზე კოსმოსური სხივების ზემოქმედებით, როცა მასში ჩნდება მაღალი ენერგიების ნაწილაკების ზვავისებური ნაკადი. მისი ნაწილაკების ტრეკების გასწვრივ ჩნდება ელვური განმუხტვები. მამასადამე კ.ს წარმოადგენენ ელჭექური პროცესების წარმოქმნის და განვითარების აუცილებელ და შემადგენელ ნაწილს [5].

დედამიწის ატმოსფეროში დამუხტული ნაწილაკების ნაკადები ღრუბლიანობის წარმოქმნას ხან აძლიერებენ და ხან ამცირებენ. კოსმოსურ სხივებს ახასიათებს სპორადიული ცვლილებები – ფორბუმ-კლება. უეცრად რამოდენიმე საათის განმავლობაში კ.ს. ინტენსივობა მკვეთრად კლებულობს [6]. ეს ხდება მზეზე ძლიერი ამოფრქვევების დროს. ფორბუმ-ეფექტი ვლინდება მზის აქტივობის პერიოდებში.

გრაფიკზე ჩანს, რომ ღრუბლიანობის და გ.კ.ს. ვარიაციები სინქრონულად ხდება და მზის რადიაცია იგვიანებს.

მეოცე საუკუნის ბოლოს დანიელმა მეცნიერებმა ჰენრი სვერსმარკის მონაწილეობით ღრუბლიანობაზე თანამგზავრული დაკვირვების დროს აღმოაჩინეს, რომ ღრუბლიანობის ფართობები იცვლება კ.ს. ნაკადების სიდიდეების ცვლილებასთან ერთად [7]. სვერსმარკმა წარადგინა ჰიპოტეზა, რომლის თანახმად კ.ს. ხელს უწყობენ დაბალი ღრუბლიანობის

განვითარებას, რომელიც შთანთქავს მზის ენერჯის ნაწილს. მზის მაქსიმალური აქტივობის პერიოდის დროს მისი მაგნიტური ველი ძალიან გადახრის კ.ს. და ღრუბლები ნაკლებად წარმოიქმნება. სვერსმარკმა და მისმა კოლეგებმა ექსპერიმენტალურად დაადასტურეს, რომ კ.ს. წყლის ორთქლის მოლეკულების იონიზირებით ხელს უწყობენ წყლის წვეთების წარმოქმნას.



გრაფ. 1. კოსმოსური სხივები და ღრუბლიანობა. პუნქტირი – მზის რადიოგამოსხივება, მთლიანი ხაზი – კოსმოსური სხივების ინტენსივობა, ნიშნები – ღრუბლიანობა თანამგზავრული მონაცემებით.

CERN-ში (ბირთული კვლევების ევროპული ცენტრი) ხორციელდება გრანდიოზული პროექტი “CLOUD”. რომლის ფარგლებშიც იკვლევენ მაღალი ენერჯების მქონე კ.ს. იონების გავლენას ღრუბლის აეროზოლებზე. ბოლო ათი წლის კვლევების შედეგად რამოდენიმე მნიშვნელოვანი აღმოჩენა იყო გაკეთებული, რომლებიც ეხება ღრუბლის წარმომქმნელ აეროზოლებს. იმის და მიუხედავად, რომ აეროზოლების უმეტესობის წარმოქმნისათვის აუცილებელია გოგირდმჟავა, “CLOUD“-ის ექსპერიმენტმა აღმოაჩინა, რომ აეროზოლებს ქმნის ბიოგენური აირები, რომლებსაც გამოყოფენ ხეები და კ.ს. მათი წარმოქმნის სიჩქარეებს 100-ჯერ ზრდიან [8].

გასულ საუკუნეში ბევრი კვლევა ტარდებოდა კ.ს. ოზონზე გავლენის შესწავლის მიზნით. განსაკუთრებით ასეთ კვლევებმა იმატა 80-ან წლების დასაწყისიდან, როცა ატმოსფეროში ოზონის რაოდენობის კლება აღმოაჩინეს, ე.წ. ოზონის ხვრელები.

როგორც ცნობილია, ატმოსფერულ ოზონს დიდი მნიშვნელობა აქვს დედამიწაზე სიცოცხლის არსებობისათვის. ის იცავს დედამიწას მზის მძლავრი რადიაციისაგან.

ოზონი სიმაღლის მიმართ არათანაბრადაა განაწილებული. 15კმ სიმაღლემდე მისი სიმკვრივე პრაქტიკულად მუდმივია, 20-25 კმ-მდე იზრდება, მერე კლებულობს. ოზონის რაოდენობის 90% კონცენტრირებულია სტრატოსფეროში. ოზონის ხვრელების გაჩენის მიზეზებზე რამოდენიმე ჰიპოთეზა იყო წარმოდგენილი, მაგრამ ერთმნიშვნელოვანი პასუხი კითხვებზე ამ პრობლემასთან დაკავშირებით არ იყო გაცემული [9].

გასული ათწლეულის ბოლო წლებში რუსეთის ფიოდოროვის სახელობის გამოყენებითი გეოფიზიკის ინსტიტუტის მეცნიერებმა იუ. ბელიკოვმა და ს. ნიკოლაიშვილმა გამოაქვეყნეს ნაშრომი [10], რომელშიც თეორიული და ექსპერიმენტალური კვლევების საფუძველზე წარადგინეს შემდეგი დასკვნები:

“ოზონის მოლეკულები პოლარულ სტრატოსფეროში იშლება დამუხტულ ნაწილაკებთან, ანუ იონებთან დაჯახებისას და არა ქლორშენაერთებიან ქიმიურ რეაქციებისას. დამუხტული ნაწილაკების წყაროს პოლარულ სტრატოსფეროში წარმოადგენენ კოსმოსური სხივები. ატმოსფერული აირების იონიზაცია ძლიერდება მაღალ განედებზე. იონები ეწეებიან ღრუბლების ნაწილაკებზე და გლობალური ელექტროწრედის გავლენის გამო გროვდებიან ღრუბლის ზედა და ქვედა ზღვარზე. პოლარულ გრიგალში ოზონი ჰაერთან ერთად ჩადის არეში, რომელშიც დამუხტული ნაწილაკების დიდი რაოდენობაა. ეს აჩქარებს ოზონის მოლეკულების დაშლას და დედამიწის პოლარულ რეგიონების თავზე ჩნდება არეები, ოზონის

დაბალი შემადგენლობით (ნორმასთან შედარებით), ე წ. ოზონის ხვრელები.” როგორც ჩანს მნიშვნელოვან როლს ამ პროცესში თამაშობს სტრატოსფეროს დინამიკა.

ბოლო წლებში მუშავდება კლიმატზე მზის არაპირდაპირი ზემოქმედების თეორია, რომელიც დაკავშირებულია გ.კ.ს. ზემოქმედების შესამჩნევ მატებასთან. დედამიწის ატმოსფეროში შემოსული გ.კ.ს. გეომაგნიტური ველებით არა მარტო მოდელირდებიან და იფანტებიან, არამედ დამიკიდებულნი ხდებიან დედამიწის მაგნიტური ველის პარამეტრებზე [11]. აღსანიშნავია რომ, დედამიწის დიპოლური მომენტის ცვალებადობის გამო გეომაგნიტური ველი გ.კ.ს. შემოსულ მაღალ და დაბალ განედებზე სხვა და სხვანაირად ეკრანირებს: მაქსიმალურია დაბალზე და მინიმალური მაღალზე. ნალექები დაბალ განედებზე წარმოადგენენ კლიმატის პარამეტრს, რომელიც მჭიდროდაა დაკავშირებული ატმოსფეროს პროცესებთან და ამიტომ მგძნობიარეა დიპოლური მომენტის ცვლილებით გამოწვეული გ.კ.ს. ნაკადების ცვლილებისადმი, ამიტომ მნიშვნელოვანია კოსმოსური სხივების რეგიონალური ეფექტების გათვალისწინება.

მაგნიტური ველის პარამეტრები გავლენას ახდენენ კოსმოგენური ნუკლიდების წარმოქმნის სიჩქარეზე. კოსმოგენურ ნუკლიდებს კოსმოფიზიკაში იყენებენ კ.ს. ინტენსივობის განსაზღვრისათვის შორეულ წარსულში. ბოლო გამოკვლევებმა აჩვენეს, რომ სხვადასხვა ხანგრძლივობის დროის სკალაზე შეიმჩნევა კავშირი გეომაგნიტური ველების პარამეტრების ცვლილებასა და კლიმატს შორის [12]. დედამიწის მომენტის ცვლილების ბოლო 10 ათასი წლის განმავლობაში და დაბალ განედებზე არაპირდაპირი მეთოდით მიღებული ნალექების მონაცემთა ანალიზმა აჩვენა, რომ გეომაგნიტური დიპოლური მომენტის დროში ცვლილებას შესაძლო მნიშვნელოვანი როლი აქვს დაბალ განედებზე ნალექების მოსვლაში დედამიწის სხვადასხვა რეგიონში. ეს შედეგი ადასტურებს ზემოდ ნახსენებ სვერსმარკის ჰიპოთეზას გ.კ.ს. მნიშვნელოვან გავლენაზე დედამიწის კლიმატზე.

ცნობილი ასტროფიზიკოსის, სტენფორდის უნივერსიტეტის ფროფესორის, კ.ს. მთავარი ექსპერტის იგორ მოსკალენკოს მოსაზრებით კოსმოსური ასტროფიზიკა ძალიან აქტიურად ვითარდება, რაც შეიძლება შევადაროთ XX საუკუნის დასაწყისს, როცა შეიქმნა ქვანტური მექანიკა, ბირთული ფიზიკა, ფარდობითობის თეორია, რამაც ძირფესვიანად შეცვალა კაცობრიობის მსოფლმხედველობა. ამჟამადაც მეცნიერება ასეთი რევოლუციის ზღურბლზე დგას. ექსპერიმენტები, რომელიც ტარდება საერთაშორისო კოსმოსურ სადგურზე გასცემს პასუხს, თუ საიდან ჩნდებიან კ.ს., სად არის მათი წყაროები. ამერიკული სადგურის “ვოიაჟერ-1”ის, რომელიც გასცდა ჰელოსფეროს, მონაცემების საფუძველზე აიხსნება ვარსკვლავთაშორის გარემოს საიდუმლოები. მზე უზრუნველყოფს სიცოცხლის არსებობას დედამიწაზე, მაგნიტური ველი იცავს მას კ.ს. საშიშ გამოსხივებისაგან. მაგრამ არ იცავს ვარსკვლავთაშორის ღრუბლებისაგან. არსებობს მოსაზრება, რომ სწორედ ამ ღრუბელში დედამიწის გავლისას მასზე ხდება გლობალური კატაკლიზმები. რადიოიზოტოპების შესწავლა სხვადასხვა სიღრმეებზე ანტარკტიკაში და გრენლანდიაში იძლევა ინფორმაციას კ.ს. ინტენსივობაზე მილიონი წლის უკან. ცნობილია, რომ არსებობდა ყველა ცოცხალი ორგანიზმის გადაშენების რამოდენიმე პერიოდი. შესაძლოა ეს უკავშირდება კ.ს. ძლიერ გამოსხივებას, რომელმაც ატმოსფეროში გამოიწვია ძლიერი იონიზაცია და შეიქმნა მკვრივი ღრუბლიანი საფარი, რამაც გამოიწვია კლიმატის მკვეთრი კატასტროფული ცვლილება [13].

დასკვნები

ამრიგად, კოსმოსური სხივების კვლევებს გადამწყვეთი მნიშვნელობა აქვთ დედამიწის კლიმატის ცვლილებების შესწავლის და პროგნოზირებისათვის.

ბოლო ოცწლეულში ამ მიმართულებით შემდეგი მიღწევები იყო მიღებული:

- იონების ბალანსის განტოლებას აქვს წრფივი სახე, რაც დიდი მნიშვნელობა აქვს კლიმატის მოდელირებისას;
- ელჭექების წარმოქმნა-განვითარება კ.ს. ზემოქმედების შედეგია;
- კ.ს. ხელს უწყობენ ღრუბლიანობის განვითარებას. ღრუბლის აეროზოლებს ქმნიან ბიოგენური აირები, რომლებსაც გამოყოფენ ხეები და კ.ს. მათი წარმოქმნის სიჩქარეს 100ჯერ ზრდის;
- ოზონის მოლეკულები იშლება დამუხტული ნაწილაკების იონებთან შეჯახებისას და არა ქლორშენაერთების ქიმიური რეაქციებისას. მნიშვნელოვან როლს ამ პროცესში თამაშობს სტრატოსფეროს დინამიკა;

- გეომანტიური დიპოლური მომენტის და გ.კ.ს., ურთიერთქმედებას შესაძლო მნიშვნელოვანი როლი აქვს დედამიწის დაბალ განედებზე ნალექების მოსვლაში სხვადასხვა რეგიონებში. გ.კ.ს. სხვადასხვანაირად ეკრანირდება დაბალ და მაღალ განედებზე, ანუ მათ გავლენას გააჩნია რეგიონალური დამოკიდებულება;
- გამოვლინდა კოსმოგენური ნუკლიდების შესწავლის დიდი მნიშვნელობა, როგორც კ.ს. ინტენსივობის დროითი ვარიაციებზე ინფორმაციის მთავარ წყაროსი. კოსმოსური სხივების შესწავლა-კვლევის ისტორია საკმაოდ მოკლეა. ამიტომ ბევრი რამ გამოუცნობია. კვლევის სივრცე ძალიან ფართოა.

ავტორები მადლობას უხდებიან მ. ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ატმოსფეროს ფიზიკის განყოფილების გამგეს ბატონ ავთო ამირანაშვილს კონსულტაციისათვის.

ლიტერატურა

1. Мирошниченко Л.И. Космические лучи. // Большая Российская Энциклопедия.
2. Стожков Ю.И., Базилевская Г.А. Космические лучи в атмосфере Земли. // Вестник МГУ, сер. 3, «Физ.астрон.», 2010, №4, с.5
3. Стожков Ю.И. Космические лучи в атмосфере Земли. // Интернет журнал «Ломоносов», <http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1158223&uri=index.htm>
4. მკურნალიძე ი. ელქეების შესწავლის მოკლე ისტორია და თანამედროვე მდგომარეობა. // საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის სამეცნიერო რეფერირებადი შრომათა კრებული. №127, თბილისი, 2019
5. Ермаков В.И., Стожков Ю.И. Роль космических лучей в образовании молний. //ФИАН, краткие сообщения по физике № 9, 2003, с.43-50
6. Крымский Г. Ф. Космические лучи и погода. // Наука и техника в Якутии, 1(8), 2005.
7. Svensmark H. Cosmoclimatology; a new theory emerge. // Astron. Geophys., 2007, 48 ISSUe1.1.1.18- 1.24 doc 10.1111/j 1468-4004, 2007. 48118.x
8. Anna Lopes. CERN Accelerating science. From cosmic rays to clouds. 10 October, 2019. <https://phys.org/news/2019-10-cloud-effect-cosmic-rays-clouds.html>
9. Lu Q.B. New theory and Predictions on the Ozone Hole and Climate Change. // World Scientific Publishing Co., 2015, 285 pp.
10. Беликов Ю.Е., Николайшвили С. Ш., Репин А.Ю. Особенности разрушения озона на заряженных частицах в полярной стратосфере. // электр журнал «Гелиогеофизические исследования» вып.18, 2018, 1-8
11. Дергачев В.А., Васильев С.С., Распопов О.М., Юнгер Х. Геомагнитное поле, космические лучи и климат Земли. Связь изменений. //31-ая ВККЛ, Москва МГУ, 2010, ГЕО/ГЕО 3.
12. Yang S., Odah H., Shaw J. Variations in the geomagnetic dipole moment over the last 12000 years. // Geophysical Journal International, 2000, Vol.140, pp. 158-162.
13. Кузнецова Т. Погода в Галактике. // Российская газета- Неделя- Сибирь, №62(7625), 25.07.2018.

COSMIC RAYS AND THEIR INFLUENCE ON THE EARTH'S ATMOSPHERE (CONTEMPORARY ACHIEVEMENTS)

Mkurnalidze I., Kapanadze N.

Summary: in the work the basic results of studies of the influence of the cosmic rays on the earth's atmosphere, executed in the recent decades, are presented.

Key words: cosmic rays, earth's atmosphere.