ადამიანის ეკოლოგია

ამინდი, კლიმატი და სათბურის ეფექტი

***ადეიშვილი თ., ****ბერძენიშვილი. ნ., *ნავერიანი თ., **ადეიშვილი მ., ***ჟვიტიაშვილი თ., ***ჯიქია მ.**
* საქართველოს ეკოლოგიური მეცნიერებათა აკადემია
** ბერლინის სამედიცინო ცენტრი
*** აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
****თელავის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

აბსტრაქტი. *კლიმატის ანთროპოგენური ცვლილების პრობლემა დიდი ხანია არსებობს დიდი რაოდენობის სპეციალისტთა თუ საშუალო განათლების ადამიანთა მოსაზრებებში. ის მოწყვეტილი აღმოჩნდა გარემოს თბური დაბინძურების აშკარა პრობლემისაგან. ყოველდღიური ცხოვრებაში ადამიანები მსჯელობს ამინდზე და არა კლიმატზე, თუ ისინი მჭიდრო ურთიერთობაში და ურთიერთკავშირში იმოფებიან. სწორედ ამ საკითხის დეტალურ განხილვას ეხება მოცემული ნაშრომი.*

კლიმატის წარმომქნელ ფაქტორებს, ე.ი. კლიმატურ სისტემაზე და მის მდგომარეობაზე ზემოქმედების განმსაზღვრელ პროცესებსა და მექანიზმებს ყოფენ ორ ჯგუფად. პირველს ეკუთვნის გარეგანი ფაქტორები, რომლებიც გარედან უზრუნველყოფენ კლიმატურ სისტემაზე ენერგეტიკულ ზემოქმედებებს. შინაგანი კლიმატწარმომქმნელი ფაქტორები ადგენენ მეორე ჯგუფს. ეს ფაქტორები ხასიათდებიან უკუკავშირების სიუხვით, რომლებიც თავის მხრივ, განსაზღვრავენ თვით კლიმატური სისტემის თვისებებსა და მასზე ანთროპოგენური ზემოქმედების შედეგებს. რამდენადაც ადამიანი წარმოადგენს ბიოსფეროს განუყოფელ ნაწილს, აქედან გამომდინარე, ის ახდენს ამა თუ იმ ზემოქმედებებს იმ უკუკავშირებზე, რომლებიც სუფევს კლიმატოეკოლოგიურ სისტემაში.

ბიოსფეროში მიმდინარე მზის ენერგიის დისიპაცია, რაღაც კუთხით გვაგონებს თავისუფალ ბაზარს. თითოეულ პროცესში გამოიყენება იმდენი ენერგია, რამდენის უფლებასაც გვაძლევენ მილიონობით წლების განმავლობაში ჩამოყალიბებული ურთიერთობები. ენერგიის ის რაოდენობა, რომელსაც კაცობრიობა მოიხმარს მთელი თავისი საჭიროებების

დასაკმაყოფილებლად მზის ბრუნვით განპირობებული ნაკადის 0,1 ვარიაციის ტოლია. შეიძლება გაკეთდეს უფრო ძლიერი მტკიცებულებაც: ენერგომოხმარება კაცობრიობის მიერ უახლოეს მომავალში ვერ მიაღწევს სიდიდეს, რომელიც მზის აქტიურობის მაქსიმუმში და მინიმუმში მისი გამოსხივების ნაკადების სხვაობის ტოლია [1].

ჩავწეროთ აუცილებელი განსაზღვრებები. ამინდი - ეს არის ატმოსფეროს მდგომარეობა განსზღვრულ ადგილას დროის ამა თუ იმ კონკრეტულ მომენტში. ის შეიძლება იცვლეობდეს ყოველ საათში, მაგალითად, დილით იყოს ნისლი, სადილისათვის ჭექა-ქუხილი დაიწყოს, ხოლო საღამოს მოიწმინდოს და ცა კრიალა გახდეს.

ეკოლოგიისათვის (ბიოსფეროსთვის) ყველაზე არსებით პარამეტრებს, გარდა მზის გამოსხივებისა, წარმაოდგენს: სინოტივე, ნალექები, ტემპერატურა, ატმოსფეროს შედგენილობა და მდგომარეობა, წნევა, ღრუბლის საფარი და ქარი (სიჩქარე და მიმართულება).

კლიმატი წარმაოდგენს ატმოსფეროს მდგომარეობას (ამინდს) განსაზღვრულ ადგილას, რომელიც გასაშუალოებულია 30-40 წლის პერიოდში, ანუ ატმოსფერული პარამეტრების აჯამვას ამ დროის განმავლობაში. ლაპარაკია იმ პარამეტრებზე, რომლებიც დროის მოკლე შუალედში განსაზღვრავენ ამინდს. კლიმატი მოიცავს, არა მარტო კლიმატური პარამეტრების საშუალო მნიშვნელობებს, რომლებიც ჭარბობენ სხვადასხვა დროში, არამედ მათ ექსტრემალური დიაპაზონებს, ცვალებადობასა და სიხშირეს სხვადასხვა მოვლენების განხილვისას. კლიმატური პარამეტრების მნიშვნელობები, ან ინდექსები, მინიშნებული უნდა იყოს იმ წელთან ერთად, რომელსაც ისინი მიეკუთვნებიან.

ადამიანთა საცხოვრისის პირობებთან დაკავშირებული მოვლენები ყოველთვის იპყრობდნენ მათ ყურადღებას. ინფორმაციის ყველაზე მეტი რაოდენობა არის იმ ადგილებში, სადაც ქრონიკებს ადგენდნენ მყისვე ხდომილების შემდეგ და მათი შინაარსი მისაწვდომი იყო ადამიანებისათვის. მაგალითად, ევროპაში XI-XIII საუკუნეებში დროის იმ მნიშვნელოვანი ინტერვალის განმავლობაში ადგილი ჰქონდა დათბობას, რომელსაც თან მოჰყვა მზის მაღალი ლაქათწარმოქმნის პროცესები და აქტიურობები. ეს პერიოდი ევროპის ისტორიაში შევიდა როგორც მცირე კლიმატური ოპტიმუმი. რაღაცათი ეს პერიოდი თანამედროვე დათბობის ანალოგიური იყო [2].

შუა საუკუნეებში ევროპაში დაიწყო ეკონომიური აღმასვლა, რომელმაც დასაბამი მისცა აღორძინებას. ეს პერიოდი უფრო ადრე დაიწყო ამიერკავკასიაში (საქართველოში) და შუა აზიაში. იმ პერიოდში ზვრები გაშენდა შოტლანდიაში, გრენლანდია გახდა „მწვანე ზონა“ და იქ დასახლდნენ ვიკინგები. რამდენიმე საუკუნის შემდეგ მომხდარი ტემპერატურის საყოველთაო დაცემის შესახებ მნიშვნელოვნად მეტია ცნობილი და მას უწოდებენ მცირე გამყინვარების პერიოდის ცივ ფაზას, როცა მყინვარებმა მოიცვა მთელი მსოფლიოს მნიშვნელოვანი ნაწილი.

კაცობრიობა ყოველთვის ვითარდებოდა თბილ პერიოდში და სირთულეები ჰქონდა ცივში [3]. XXI საუკუნის დასაწყისში დარეგისტირებული ტემპერატურის მატება მრავალ ლოკალური ადგილას სულაც არ წარმოაგენდა ანომალურ მოვლენას დედამიწის ცხოვრებაში. დედამიწაზე კლიმატი ყოველთვის იცვლებოდა და ჩვენი პლანეტა თითქმის მთელი უკანასკნელი ათასწლეულის განმავლობაში განიცდიდა გლობალური დათბობას, რასაც მოსდევდა ძლიერი აცივებები. კლიმატი დედამიწის არც ერთ ადგილას არ ყოფილა არასო-

დეს სტაბილური.

კაცობრიობის პროგრესი განუწყვეტლივაა დაკავშირებული მეცნიერების განვითარებასთან. კლიმატთან დაკავშირებულ პრობლემებს სწავლობს მეცნიერება - **კლიმატოლოგია**. მეცნიერება კლიმატოლოგია ჩამოყალიბებულია, ხოლო კლიმატის თეორია არ არსებობს ჯერაც. კლიმატოლოგია დაკვირვებითი მეცნიერებაა. სხვა დაკვირვებითი მეცნიერებების (გეოგრაფია, ასტრონომია, გეოლოგია და სხვ.) მსგავსად მას აქვს კვლევის თითქმის იგივე მეთოდები და კანონები. თავისი ბუნებით უნიკალური ობიექტი არ შეიძლება იმართებოდეს „თავისი“ სპეციფიკური კანონებით. კლიმატურ ეკოლოგური სისტემა - უნიკალურია. ეს არის ყველაზე რთული სისტემა, რაც კი კაცობრიობისთვისაა ცნობილი. მაგრამ ეს არაა ყველაფერი. მოცემული სისტემა - თვითორგანიზაციის მაგალითია და ის იმყოფება უწყვეტად ცვალებად გარემოში.

კლიმატოლოგიაში, ისე როგორც ნებისმიერ დაკვირვებით მეცნიერებაში, ყველაფრის საფუძველი დაკვირვებებია. კორექტული, საპასუხისმგებლო, ურთიერთშემმოწმებელი მოდელირებები, თავისი სტანდარტული მხარეებით არ არსებობს.

ისე, როგორც თვითორგანიზაციის შესწავლის შემთხვევაში ეს გახლავთ კომპიუტერული მოდელირების მოქმედების არე. ის ხელსაყრელ შემთხვევაში ისეთი ინფორმაციის მიღების საშუალებას იძლევა, რომელიც განისაზღვრება იმით, რამდენ დამოუკიდებელ პარამეტრს შეიცავს მოცემული მოდელი და რამდენი უკუაგდო მან.

არსებობს ყოველგვარი მოდელირების პარამეტრთა მთელი რიგი წყაროები. მაგალითად, პროგრამაში GEOS-4 ესაა ფარდობითი ტერმინები, ტემპერატურები (ჰაერის მინიმალური, მაქსიმალური და საშუალო დღე-ღამური დანამვის წერტილი), ზედაპირული წნევები მიიღება ან ეთანადებიან დედამიწის ზედაპირის გლობალური დაკვირვებების მონაცემებს (აშშ ეკოინფორმაციის ეროვნული ცენტრი (NCEI).

არსებითია კითხვა: თუ კლიმატოლოგია დაკვირვებითი მენციერებაა, მაშინ მასალების (ფაქტების) რა მოცულობა გააჩნია მას და როგორ იყენებს ის ამ ფაქტს? როგორ მიმდინაეობს გრძელვადიანი აჯამვა და მონაცემთა გასაშუალება? ეს ჯერ-ჯეროობით მცირედ გაშუქებული პროცედურებია.

მსოფლიოს მეტეოსადგურთა რაოდენობა და მათი განლაგება განისაზღვრება ქვეყნების მოთხოვნებისამებრ. მათი მუშაობის პროტოკოლი - ეს, პირველ რიგში მათი მესაკუთრის პრეროგატივაა. NCEI-ის მონაცემებით 2004 წლის მსოფლიოში იყო 2704 სერტიფიცირებული მეტეოროლოგიური სადგური, რომლებიც სარგებლობდნენ ერთნაირი სტანდარტებით ინფორმაციის მიღების დროს. ცხადია, რომ მათი უმეტესობა იმყოფებოდა მაქსიმალური ანთროპოგენურად განპირობებული ენერგოგამოყოფისა მოსახლეობის დიდი სიმკვრივის მქონე ზონებში. მაშინ, როცა დაიწყო CO_2-ის ანთროპოგენური ემისიასთან დაკავშირებული კომპანია, სერტიფიცირებულ მეტეოსადგურთა რაოდენობა გაცილებით ნაკლები იყო.

ბუნებისმეტყველების განვითარებაში მიღებულმა პროგრესმა **ჟ. ფური** 1834 წელს მიიყვანა იმის გაზრებამდე, რომ თუ ჩვენს პლანეტას არ ექნებოდა ატმოსფერო მაშინ მისი საშუალო ტემპერატურა იქნება მნიშვნელოვნად დაბალი, ვიდრე დაკვირვებით იყო მიღებული. პლანეტის ტემპერატურის მომატების ეფექტი ატმოსფეროს არსებობის შემთხვევაში

წოდებული იქნა სათბურის ეფექტად [4]. შემდგომში 1853 წელს **დ. ტინდელმა** უჩვენა, რომ აირები შთანთქავენ ატმოსფეროში დედამიწის თბურ გამოსხივებას და პასუხისმგებელნი არიან სათბურის ეფეტქზე. მან გამოთქვა ჰიპოთეზა რომ წარსულში გამყინვარება, ხოლო მომავალში ყინულის უზარმაზარი მასების ლღვობა დაკავშირებულია სათბურის ეფექტის გაძლიერებასთან, რაც განპირობებული იყო ატმოსფეროში CO_2-ის შემცველობის ცვლილებასთან.

გაიმართა მეცნიერული დისკუსია. 1886 წელს შვედმა **ს. არენიუსმა** მარტივ სტაციონარულ და წონასწორულ „დედამიწა + ატმოსფეროს“ მოდელში უჩვენა, რომ ატმოსფეროს შედგენილობის ცვლილებას შეუძლია მყინვართა წარმოშობა და დნობა.

გაჩნდა კამათი, რომელშიც **კ. ანგსტრემი,** ამტკიცებდა, რომ არენიუსის დაკსვნები მცდარი იყო, რადგანაც „სათბურის ეფექტი, ატმოსფეროს ახლანდელი შედგენილობის დროს, უკვე გაჯერებულია და ნახშირორჟანგის რაოდენობის რყევას არ შეუძლია მნიშვნელოვანი ცვლილებების გამოწვევა“.

არენიუსის იდეები შემდეგ აიტაცა **გ. კალენდერმა.** ატმოსფეროს ფენები, რომლებმაც მთლიანად ან ნაწილობრივ შთანთქა მოსული გამოსხივება, თბება და თვითონ ხდებიან გამოსხივების წყაროები ზემდგომი ფენებისათვის. მან შემოიტანა ეფექტის „ფენობრივი“ განხილვა და უჩვენა, რომ სათბურის აირის დამატებამ უნდა განაპირობოს ჯამური შთანთქმის გარკვეული ზრდა ამ აირის ზოლების მაქსიმუმის უბანში. შევნიშნოთ, რომ იმ პეროდში არ ყოფლა არც სისტემური ანალიზი და არც წარმოდგენები თვითორგანიზაციის შესახებ.

1949 წელს დაიბეჭდა **გ. კალენდერის** ნაშრომი „შეუძლია ნახშირბადის ორჟანგს კლიმატზე გავლენა?“, („Can carbon dioxide influence climate?“) ის თვლიდა, რომ ტემპერატურის მცირე მატებამ შეიძლება გააუმჯობესოს ჩრდილო ნახევარსფეროს კლიმატი და ხელი შეუწყოს ბოსტნეულისა და ხილის მოყვანის რეგიონების გაფართოებას. ის დამწუხრდა როცა 1950 წელს მის მიერ აღიარებული დათბობა მოულოდნელად აციების ტალღამ შეცვალა, თუმცა ნახშირორჟანგის აირის კონცენტრაცია განაგრძობდა ზრდას.

ამ რიგში უნდა დავასახელოთ **ჩ. კლიწგი,** რომელმაც კალიფორნიის უნივესიტეტის სკრიპ-პსის სახელობის ოკეანოგრაფიის ინსტიტუტში მუშაობის პერიოდში 1958 წ. დიწყო CO_2-ის ატმოსფერული კონცენტრაციის რეგულარული გაზომვები სამხრეთ პოლუსზე და ჰავაის კუნძულებზე მან, თანამშრომლებთან ერთად შეისწავლა ნახშირორჟანგის სეზონური და წლიური ცვლილებები.

ამ სამუშაოებმა აშკარა სტიმული მისცა მოლეკულური სპექტროსკოპიისა და გამოსხივების ნივთიერებასთან ურთიერთქმედების განვითარებას. გაჩნდა წარმოდგენები „გამჭირვალობის ფანჯრების“ შესახებ. სათბურის ეფექტმა მისი წინასწარმეტყველებიდან 100 წლის შემდეგ **დ. ტინდალის** დახმარებით შეიძინა გარკვეული ბაზარი [5]. ყველა სიმეტრიული ორატომიანი მოლეკულა, მაგალითად, N_2, O_2 და H_2 არაქტიურია შთნთქმის ინფრაწითელ უბანში და ისე როგორც ინერტულ აირებს, არანაირი წვლილი შეაქვთ სათბურის ეფექტში. აქტიურია მხოლოდ სამი ატომის შემცველი მოლეკულები (წყლის ორთქლი და ნახშირორჟანგი) და ასევე არასიმეტრიული ორატომიანები.

წყალი, ინფრაწითელი (იწ) გამოსხივბის ეფექტური შთანთქმელია. წყლის მოლეკუ-

ლის სამივე რხევა აქტიურია იწ სპექტრში. აიროვან ფაზაში ეს განაპირობებს სამ ინტენსიურ რხევით - ბრუნვით შთანთქმით ზოლს შუა ინფრაწითელ უბანში. მაგრამ მხოლოდ ერთია იქ, სადაც დედამიწის გამოსხივების ინტენსიურობა არსებითია - 5÷8 მკმ. ორი დანარჩენი - მხოლოდ უბნის ბოლოშია (კუდშია) (2,5÷ 3 მკმ). წყლის შთანთქმითი ხაზები მოიცავს 25 მკმ-დან ყველაზე დაბალი სიხშირის უბნებს, სადაც დედამიწის გამოსხივება ასევე საკმაოდ ინტენსიურია. მას ჯერ კიდევ აქვს ორი რხევითი - ბრუნვითი ზოლი შუა იწ უბანში. ერთი მათგანი შედარებით სუსტია და ~ 15 მკმ უბანში თითქმის ხვდება დედამიწის გამოსხივების მაქსიმუმს.

განსაკუთრებული წვლილი სათბურის ეფექტში შეაქვს CO_2-ს. ის არის წრფივი ცენტროსიმეტრიული მოლეკულა, რომელსაც არ გააჩნია მუდმივი დიპოლური მომენტი და სუფთა ბრუნვითი სპექტრი [6]. ამიტომ CO_2 არ შთანთქავს შორეულ იფნრაწითელ უბანში. ორატომიანი N_2 და O_2 მოლეკულებისაგან განსხვავებით, რომელთაც მხოლოდ ერთი რხევა აქვთ, CO_2 მოლეკულებს გააჩნია სამი რხევა, რომელთაგან ორს თან მოსდევს სიმეტრიიდან გადახრა და დიპოლური მომენტის გაჩენა. ზემოთ ჩამოთვლილი შთანთქმის ზოლები, რომლებიც მიეკუთვნებიან წყლისა და CO_2-ის მოლეკულებს დღეისათვის თითქმის სრულად განსაზღვრავენ ატმოსფერულ შთანთქმას შუა და შორეულ ინფრაწითელ უბნებში 25÷1000 მკმ უბანში. გარდა H_2O და CO_2 მოლეულებისა სათბურის აირების ასხმა შეიცავს სხვა აირებსაც (ცხრილი1). მეცნიერული კუთხით ეს იწვევს გარკვეულ განცვიფრებას. არსებობს მრავალი ფაქტორი, რომლებიც გავლენას ახდენენ ინფრაწითელი გამოსხივების კოსმოსში გაბნევაზე. ყველა ისინი მნისვნელოვანია. ასეთი ინფორმაციისათვის გარკვეული განსაზღვრული მნიშვნელობის (წონის) მისანიჭებლად, შემოღებული იქნა დამატებითი პარამეტრი - გლობალური დათბობის პოტენციალი (Global warming potential, GWP). ეს იმის შეფასების ზომაა, მოცემული სათბურის აირის მოლეკულა რამდენად უწყობს ხელს გლობალურ დათბობას, ვიდრე CO_2 მოლეკულა.

ცხრილში ჩამოთვლილი ნივთირების GWP-ს დიდი მნიშვნელობა ნიველირდება ატმოსფეროში მათი მცირე შემცველობით. GWP გამოითვლება განსაზღვრული დროითი ინტერვალისათვის და ის უნდა ვუჩვენოთ ყოველთვის GWP-ს ციტირებისას. წყლის ორთქლისათვის გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ინფრაწითელ გამოსხივებაზე გავლენას. მისი GWP არ გამოთვლება, რამდენადაც ატმოსფეროში წყლის კონცენტრაცია ცვალებდია.

ცხრილი 1. სათბურის ზოგიერთი აირის სიცოცხლის ხანგრძლივობა ატმოსფეროში და გლობალური დათბობის პოტენციალის GWP კოეფიციენტი შეტანილია კიოტოს ოქმში.

სათბურის აირი	ქიმიური ფორმულა	არსებობის დრო, წელი	გლობალური დათბობის პოტენციალი პერიდებისათვის		
			20 წელი	100 წელი	1000 წელი
ნახშირბადის დიოქსიდი	CO_2	ცვლადი მნიშვნელო-	1	1	1

		ბა			
მეთანი	CH_4	12	72	26	7.6
აზოტის ოქსიდი	N_2O	114	289	298	153
HFC - 23	CHF_3	270	12 000	14 800	12 200
გოგირდის ჰექსოფტორიდი	SF_6	3200	16 300	22 80	32 600
ტეტრაფტორიმეთანი	Cf_4	50000	5210	7390	11 200

ადრე ჩვენ ვლაპარაკობდით აეროზოლებზე. ისინი, ახდენენ კლიმატზე გავლენას. ცვლიან ალბედოს და ეწინააღმდეგებიან მზის გამოსხივების გავლას. ატმოსფეროს გამჭირვალობის ცვლილება შეიძლება გამოიწვიოს სხვადასხვა ქიმიური და აეროზოლური შედგენილობების ცვლილებებმა. მათ შეუძლია ტემპერატურის შემცირებაც.

ჩ. კლინგის პუბლიკაციიდან [7] 60 წლის შემდეგ კლიმატის დარგში შესრულებული სამუშაოების რაოდენობა მუდმივად მატულობს. სპეციალისტები აანალიზირებდნენ სხვადასხვა ამინდურ მოვლენებს (ანომალური ტემპერატურები, ნალექები და შტორმები) და ოკეანური დინებების ატმოსფეროს ქიმიური შედგენილობების კლიმატზე გავლენებს. ეს მონაცემები მოწმობენ მასზე, რომ დედამიწის კლიმატი პრაქტიკულად იცვლებოდა გეოლოგიური ეპოქიდან დაწყებული თითქმის ყველა დროით მასშტაბში.

დიდ ყურაღებას უყოფდნენ აეროზოლებს, რომლებიც, როგორც აღმოჩნდა, საგრძნობლად ამცირებდა გლობალურ ტემპერატურას. ერთობ დიდია მოღრუბლულობის როლი. ღრუბლების საფარის $\sim$ 3%-ით შემცირება საკმარისია იმისათვის, დედამიწის ზედაპირის ტემპერატურა $\sim$ 0,5K-ით ამაღლებულიყო. ეს კი იმის ექვივალენტურია, რაც განპირობებულია სათბურის უკანასკნელი ასწლეულში კონცენტრაციების მომატებით.

რაც შეეხება CO_2-ის კონცენტრაციას, მიუხედავად ტყეებისა და დიდი სახნავ-სათესი ტერიტორიების განადგუებისა, ბუნებას გააჩნია ნახშირბადის ბალანსის შენარჩუნების რეზერვები. CO_2-ის შემცველობის მარეგულირებელი ბიოგეოქიმიური სისტემის ფუქნციონირების მაგალითად შეიძლება მოვიტანოთ ატმოსფეროში მისი დაგროვების სიჩქარის მკვეთრი შემცირება, რომელიც მოჰყვა 1991 წელს **პინატუბოს** ვულკანის გიგანტურ ამოფრქვევას ფილიპინის კუნძულებზე. ამოფრქვევას მოჰყვა წყნარი ოკეანის უდიდესი ფართობის ვულკანური ფერფლით „გამტვერიანება“, რომელშიც შემავალმა რკინამ გამოიწვია „პლანქტონის ფერისცვალება“. ამან თავის მხრივ მიგვიყვანა ატმოსფეროდან CO_2-ის მკვეთრ მოხმარებამდე. უფრო მეტიც, ასეთი „ყვავილობითი ფერისცვლება“ გრძელდებოდა დიმეთილსულფიდის ემისიით, აეროზოლების წარმოშობით და ამრიგად, ატმოსფეროს ქვედა ფენების პირდაპირი გაცივებით. ასევე შეიძლება ითქვას: არ არსებობს იმის მტკიცების საფუძველი, რომ კლიმატოეკოლოგიურ სისტემაზე ანთროპოგენური ურთიერთქმედების სხვა არხები ახდნენ ნაკლებ ზემოქმედებას, ვიდრე CO_2-ის კონცენტრაციის

ცვლილება. ეს მიეკუთვნება ალბედოზე, ოზონის შემცველობაზე, აეროზოლებზე მოქმედ ფაქტორებს. მაგრამ ყველა მათი კორექტული ანალიზი მომავლის საქმეა.

ჯერ-ჯერობით შეგვიძლია წარმოვადგინოთ კლიმატის ცვლილების მომხრეთა შემდეგი ენერგეტიკული შეფასებები, რომლებიც მიღებული იყო სათბურის აირების კონცენტრაციების ზრდის დაშვებით. პინატუბოს ვულკანის ამოფრქვევის შემდეგ სამხრეთ ნახევარსფეროში ორ წელზე მეტ ხანს გაგრძელებულ მნიშვნელოვან აცივებაში დიდი წვლილი შეიტანეს სულფატური ბიომასების წვის შედეგად წარმოშობილმა აეროზოლებმა.

ცნობილია მთელი რიგი გმოკვლევებისა ატმოსფეროში CO_2-ის კონცენტრაციის პალეოკლიმატური აღდგენის მიხედვით, რითაც ირკვვა, რომ განვლილი მილიარდი წლის განმავლობაში ნახშირორჟანგის სიმკვრივე მნიშვნელოვნად შეიცვალა, ხოლო კლიმატს პირნციპული ცვალებადობა არ განუცდია.

როგორც 1. სურათიდან ჩანს, როცა უკანასკნელი 4 ათასი წლის წინათ CO_2-ის კონცენტრაცია შეადგენდა ~ 280 მლნ-ს და დაახლოებით იყო მუდმივი, კლიმატი ხასიათდებოდა საკმაოდ მკვეთრი ტემპერატურული ცვლილებებით. უკანასკნელი გამყინვარების პერიოდის ბოლო ეტაპი ხასიათდებოდა ტერმპერატურის ~ 4K-ით მატებით. თუ ავიღებთ 250 ათასი წლის პიეროდს, მაშინ შევამჩნევთ CO_2-ის შემცველობისა და ტერმპერატურის სინქრონულ ცვალებადობას.

დღეისათვის მეცნიერთა ნაწილი ფიქრობს, რომ სწორედ CO_2-ის შემცველობა გარკვეულწილად მოსდევდა ტერმპერატურის ცვლილებებს. მაგრამ, ცალსახა რაოდენობრივი თანხმობა მოდელირების შედეგებთან არ შეიმჩნევა [8].

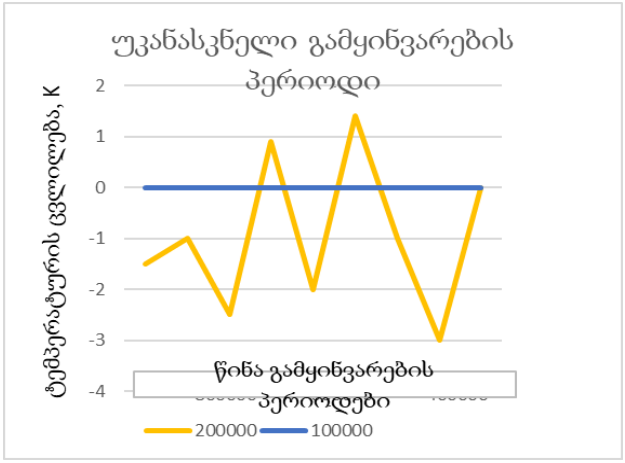
არსებით მომენტს, კლიმატის შესაძლო ცვლილების ყველა მოსაზრებაში, წარმოადგენს კლიმატოეკოლოგიური სისტემის მგრძნობელობა მზის რადიაციისა და სათბურის აირების კონცენტრაციების ცვლილებებთან. არსებობს სხვადასხვა შეფასებები, რომლებიც საშუალოდ დაიყვანება შემდეგზე: მზის მუდმივას 1%-ით მომატება იწვევს ზედაპირული ტემპერატურის ~ 2K-ით ზრდას. რაც შეეხება სათბურის აირებს, ყველაზე რთული პროგრამები, გამოყენებული კლიმატის ცვლილებების საერთაშორისო კომიტეტის მიერ (Intergovemental Panel in climate change - IPCC) მოდელირების განხორციელების დროს. ეს მუშაობა გაეროს ეგიდით ანხორციელებდა სათბურის აირების ემისიურ როლს აეროზოლების წვლილის გათვალისწინებით. 2100 წლისათვის მიღებლი იქნა ~2K-ით დათბობა და მსოფლიო ოკეანის დონის ~50 სანტიმეტრით ამაღლება.

დავუშვათ, რომ დედამიწის კლიმატოეკოლოგიურ სისტემაზე ანთროპოლოგიური ზემოქმედება უბრალოდ არ არსებობს. მიუხედავად ამისა, კლიმატის ცვლილებას მაინც ექნება ადგილი ბუნებრივი მიზეზების შედეგად. მაგრამ, იქნება თუ არა უმჯობესი კაცობრიობისათვის იმის გამო, რომ ის არ არის დამნაშავე, მაგალითად, გვალვებში? დიდი ალბათობით შეიძლება ვამტკიცოთ, რომ სულ ერთია „მაღალი“ მოსაზრებიდან გამომდინარე, პოლიტიკოსები, ეკონომისტები ან სოციოლოგები ეცდებიან ყველაფერი გამოყენონ საკუთარი მიზნებისათვის.

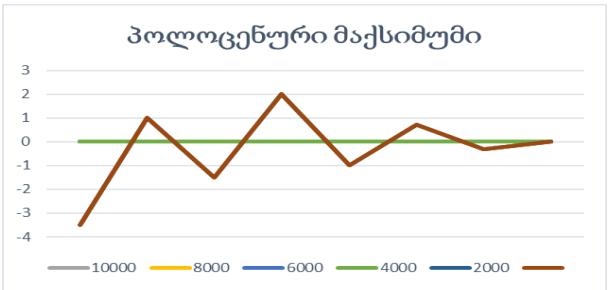
შეიძლება ითქვას, რომ ჯერ არა მარტო რაოდენობრივად არაა განსზღვრული კლიმატზე ზემოქმედი ყველა ფაქტორი, არამედ თვით ზოგიერთი მათგანის არსებობაც არა-

საკმარისადაა განსაზღვრული, რათა ზუსტად იქნას ნაწინასწარმეტყველები კლიმატური ცვლილებები. განუსაზღვრელობის მიზეზს წარმოადგენს თვითრეგულირების მაღალი ხარისხის დედამიწის კლიმატოეკოლოგურ სისტემაში და დაკვირვებითი მონაცემების უკმარისობა. ჩვენ აქ ვხედავთ სითბოს, წყლის, ჰაერის, ატმოსფერული ტენის უზარმაზარ ნაკადებს და გიგანტური ბიოლოგურ აქტიურობას. ამავდროულად სისტემა უეჭველად ფარავს თვითორგანიაციის მექანიზმების დეტალებს, რომლებიც მცირეა დარეგისტრირებულ ნაკადებთან შედარებით, მაგრამ არსებითია ტრენდების განსაზღვრისათვის. პროგრესი თვითორგანიზაციის თეორიაში და სინერგეტიკაში ხელს შეუწყობს შემდგომ პროგრესს.

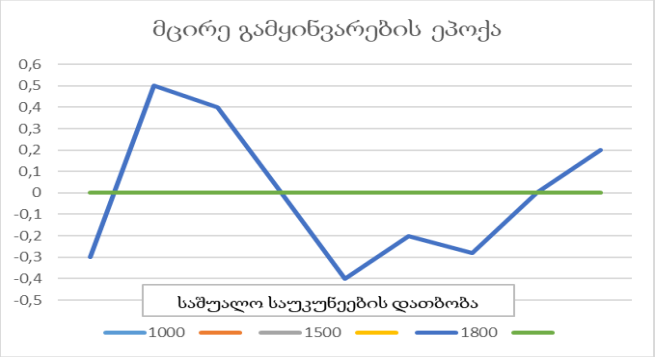
სხვადასხვა ფაქტორთა სიუხვეს და მათ შორის ქაოსურ ურთიერეთქმედებას მივყავართ კლიმატის არაერთმნიშვნელობასთან. ერთი და იგივე გარეგანი პირობების დროს შეიძლება არსებობდეს კლიმატის რამდენიმე ტიპი. კლიმატის ზუსტი თეორიის არარსებობა ცალსახად მიუთითებს მასზე, რომ ნებისმიერი მოდელირება ეს არ გახლავთ ვინმეს შეხედულებებისა და პრობლემის გარკვევის ასახვაზე მეტი. სამწუხაროდ ეს არ არის ყველაფერი. ამოცანა იმდენად მრავალპარამეტრულია, რომ შედეგების კრებადობის პრობლემა და მათი საიმედოობა ნებისმიერ შემთხვევაში ბადებს ეჭვებს. ბოლოს, დაკვირვებითი მეცნიერების საკვანძო საკითხი: როგორიცაა გამოყენებული პარამეტრების მიღების საიმედოობა და სიზუსტე. მაგალითად: 1. დამოკიდებულებების მიბმის დროს სამწუხაროდ, პასუხი, როგორც წესი არაა.



ა.



ბ.



გ.

სურათი 1. ტერმპერატურის ცვლილება უკანასკნელი მილიონი წლის განმავლობაში. ხაზი შუა გრაფიკზე XX საუკუნის მახლობელი პირობებია.

ა. დამოკიდებულება უკანასკნელი მილიონი წლისათვის;

ბ. უკანასკნელი 10 ათსი წლისათვის;

გ. უკანასკნელი ათასწლეულისათვის.

რაც შეეხება დროით ასპექტებს, გლობალური ეკოლოგიური პრობლემის რაკურსში ძირითად ინტერსს წარმოადგენს რამდენიმე ათასწლეულის განმავლობაში მიმდინარე ხდომილებები. ზოგიერთი თეორიის თანახმად, შინაგანი ფაქტორები, როგორიცაა ატმოსფერული და ოკეანური ცირკულაციების ურთიერთქმედება პოლარულ ყინულებთან, შეიძლება იწვევდეს არა მარტო ამინდის ხანმოკლე რყევებს, არამედ ისეთ შეშფოთებებს, რომლებიც გრძელდებიან 10 ათასი წლის განმავლობაში. გარდა შინაგანი ფაქტორებისა, გარკვეულ გავლენას კლიმატზე ახდენს გარე ფაქტორთა სამი ჯგუფი:

I. გრავიტაციული ურთიერთქმედებასთან დაკავშირებული ფაქტორები;

II. მზის აქტიურობასთან დაკავშირებული ფაქტორები;

III. კომეტებთან ან ასტეროიდულ შეჯახებებთან დაკავშირებული არსებითი ცვლილებების შემთხვევითი ფაქტორები.

პირველ ჯგუფთან დაკავშირებული ფაქტორები ყველაზე კარგადაა შესწავლილი. ისინი დაკავშირებულია პარამეტრების ცვლილებებთან, რომლებიც ახასიათებენ მზის გარშემო დედამიწის მოძრაობას და მის ბრუნვას. მიუხედავად იმისა, რომ პლანეტების მასები გაცილებით ნაკლებია მზის მასაზე, განსაზღვრულ პირობებში ისინი მნიშვნელოვნად აშფოთებენ დედამიწის ორბიტას და მის ორბიტულ მოძრაობას.

ჯერ-ერთი ყოველ ას წელიწადში ერთხელ იცვლება ექსცენტრისიტეტი დედამიწის ორბიტაზე. შეიძლება არსებობდეს ექსცენტრისიტეტის ცვლილების უფრო ხანგრძლივი პეროდი (~400 ათსი წელი). ამას მივყავართ დედამიწიდან მზემდე მანძილის ცვლილეებამდე. მცირე ექსცენტრისიტეტის დროს (~0,017) ორბიტის მნიშვნელობები აფელიუმში და პერიჰელიუმში უმნიშვნელოდ განსხვავდებიან. მაქსიმალური ექსცენტრისიტეტის დროს (~0,0658) პერიჰელიუმში მოდის მნიშვნელოვნად დიდი ენერგია, ვიდრე აფელიუმში.

მეორე, წელიწადის დროების ცვლილება განისაზღვრება დედამიწის ბრუნვის ღერძის ეკლიპტიკისადმი დახრით. მზის სისტემების პლანეტების შეშფოთებები იწვევს ამ დახრის ცვლილებას, ე.ი. დახრის კუთხის რხევებს, რომლებიც იწვევს ტროპიკების განედებისა და პოლარული წრეების ~2,5 გრადუსით ცვლილებებს.

მესამე, კლიმატისათვის მნიშვნელოვანია გრავიტაციული შეშფოთება, რაც განაპირობებს დედამიწის ღერძის პრეცესიას ეკლიპტიკის პერპენდიკულარის მიმართ. პრეცესიის პერიოდს შეადგენს 26 ათასი წელი. დედამიწის ღერძის პრეცესიის დროს ზამთრისა და ზაფხულის მზის მდებარეობები იცვლიან ადგილს ერთმანეთის მიმართ. პეროდი, რომლის განმავლობაშიც ხდება ორბიტის პერიჰელიუმისა და ზამთრის ბუნიაობის წერტილების ერთი და იგივე მდებაეობის განმეორება შეადგენს ~2,5 ათას წელს. ჩვენ ვხედავთ, რომ ამ ორბიტალური შეშფოთებების პერიოდები მნიშვნელოვნად მოკლეა ჩვენი პლანეტის განვითარების გეოლოგიურ პერიოდებზე. ყველაფერმა ამან საშუალება მოგვცა შექმნილიყო დედამიწის კლიმატის ცვალებადობის თეორია, რომელიც ახსნიდა გამყინვარების პერიოდების წარმოშობის მიზეზებს.

ამრიგად ჩვენ დეტალურად გავაანალიზეთ კლიმატის გლობალური ცვლილებების პრობლემები, რომლებიც ძირითადად დაკავშირებულია მზის გამოსხივების, ატმოსფეროს და დედამიწის ზედაპირის ურთიერთქმედებასთან, ამ გამოსხივებების ენერგიის შემდგომი გარდაქმნით. ამის შედეგია სათბურის ეფექტი, რომლის სიდიდე ~33K-ის ტოლია.

ლიტერატურა:

1. ადეიშვილი თ. ასტროფიზიკის საფუძვლები. ქუთაისი, 2015;
2. Будыко М. И. Глобальная экология. Москва, 1977;
3. ადეიშვილი თ. და სხვ. საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა მოკლე ისტორია, ტ. I, 2026.;
4. Фуры Ж. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: в 86 т. СПБ;
5. Tyndal John. Natural philosopher [↗] //Сайт Лондонского королевского общества (Engl.);
6. Michael E. Mann, Henrik Selin. Global Warming. Britanica.com არქივირებულია 20.08.2008.
7. Charles D. Keeling Biography. Архивная копья [↗] от 16.11.2017 На Way bank Machine;
8. Lindsey R. Climate and Earth’s Budget. NASA Langley Research Gender SSAI/NASA Langley, 2009.
9. Determination of atmospheric air pollution in the Tbilisi agglomeration using moss bioindicators. N. Berdzenishvili. ʔyɣrW̃fŋʰ, 52
10. SOME RESULTS OF THE STUDY OF THE NUMBER OF DAYS WITH FOG PER YEAR IN GEORGIA IN 1993-2022, N. Jamrishvili, M. Pipia, N. Beglarashvili, N. Berdzenishvili, L Kartvelishvili, Reliability: Theory & Applications 20 (SI 9 (87)), 542-550
11. შავი ზღვის რეგიონის მოკლე გეოეკოლოგიური მიმოხილვა და გაეროსა და ევროკავშირის მიერ ჩატარებული ღონისძიებები, T. Adeishvili, N. Berdzenishvili, International Scientific Conference “Modern Problems of Ecology”. Kutaisi
12. Climate Change And Extreme Temperatures, N Berdzenishvili, International Scientific Conference “Modern Problems of Ecology”, Kutaisi 2018.

Weather, Climate and Greenhouse Effects

T. Adeishvili, N.Berdzenishvili., N. Naveriani, M. Adeishivli, T. Zhvitiashvili, M. Jikia

SUMMARY

The paper discusses the problems of global climate warming, which are mainly related to the interaction of solar radiation, the atmosphere and the Earth’s surface. The result is the greenhouse effect, the value of which is approximately equal to 33 kelvins.

თბური დაბინძურება და კლიმატის გლობალური ცვლილებები

ადეიშვილი თ., ადეიშვილი თორ., ბერძენიშვილი ნ., ჩხიროძე დ., ცქიფურიშვილი თ.
საქართველოს ეკოლოგიურ მეცნიერებათა აკადემია
თელავის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

აბსტრაქტი. *მზის პირველადი ენერგიის განმსაზღვრელი როლი ბიოსფეროს წარმოშობაში ასე თუ ისე განხილული იყო ეკოლოგიური პრობლემებისადმი მიძღვნილი მონოგრაფიებში. მრავალ პრობლემათა შორის იქ განიხილებოდა საკითხები, რომლებიც წარმოიქმნებოდნენ დედამიწის კლიმატზე და ამინდზე ადამიანის თბური ზემოქმედების შედეგად.*

გლობალური ეკოლოგიური აზრით, დროთა განმავლობაში სულ უფრო აქტუალური გახდა ის, რომ თანამედროვე პოლისებმა და სამრეწველო აგლომერატებმა შეიძლება იარსებონ მხოლოდ ისეთი ენერგიების ნაკადების ხარჯზე, რომლებიც მნიშვნელოვნად მეტია მათზე, რომლებსაც ადგილი ექნებოდა თუ მათ ადგილებზე განლაგდებოდა დედამიწის ბუნებრივი, ან მცირედ შეშფოთებული, ეკოსისტემები. სწორედ ეს პრობლემებია დასმული ამ ნაშრომში.

ექსტრემალურად დიდი ენერგოგამოყოფითა და, აქედან გამომდინარე, გარემოს მაღალი ტემპერატურების მქონე ტერიტორიების გაჩენა ხელს უწყობს ზოგიერთ ქვეყანაში ერთ სულ მოსახლეზე უზარმაზარ ენერგომოხმარებას. მაგალითად, **ი. ოდუმის** თანახმად [1], ადამიანის ორგანიზმის ფუნქციონირებისათვის აუცილებელია საკვები, რომლის ენერგეტიკული ექვივალენტი ტოლია $E \approx 133$ ვატი $\sim 10^6$ კკალ/წელიწადში. მისი მონაცემებით გასული საუკუნის 80-იანი წლების დასაწყისისთვის აშშ-ს ერთი მოქალაქე საოჯახო მეურნეობისათვის საშუალოდ ხარჯავდა გაცილებით მეტ ენერგიას, ვიდრე $E_{საკვები}$-ის მნიშვნელობაა. იმავე პერიოდში ინდოეთისა და პაკისტანის ერთ სულ მოსახლეზე ენერგე-