

საქართველოს სახელმწიფო სასოფლო-სამეურნეო უნივერსიტეტი

მუხიგულაშვილი გიორგი

**არიდულ ზონაში მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესის
დინამიკა წყალუზრუნველყოფის ფონზე**

ტექნიკურ მეცნიერებათა კანდიდატის
სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად წარმოდგენილი

დ ი ს ე რ ტ ა ც ი ა

06.01.02 _ სასოფლო-სამეურნეო მელიორაცია (ტექნიკური)

სამეცნიერო ხელმძღვანელები

ედუარდ კუხალაშვილი

ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი.

ნოდარ მოდებაძე

ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი, დოცენტი.

თბილისი

2006 წ.

შ ი ნ ა ა რ ს ი

შესავალი.

თავი I. სასოფლო-სამეურნეო კულტურათა მოსავლიანობის პროგნოზირების შეფასების თანამედროვე მეთოდების ანალიზი.

- 1.1 საქართველოში სასოფლო-სამეურნეო კულტურათა განაწილების არსებული მეთოდების ანალიზი.
- 1.2 მცენარე, როგორც სამართავი ობიექტი და მოსავლიანობის შეფასების არსებული მოდელების ანალიზი.
- 1.3 წყლის გავლენა მოსავლიანობის დინამიკაზე და მისი შეფასების არსებული მეთოდები.

თავი II. მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესზე ფაქტორთა როლი მოსავლიანობის ჩამოყალიბებაში და მათი გავლენის ანალიზი.

- 2.1 მცენარეთა წყლის რეჟიმი.
- 2.2 მცენარეთა სითბური რეჟიმი წყალუზრუნველყოფის გათვალისწინებით.
- 2.3 მცენარეთა კვებითი რეჟიმი.
- 2.4 კლიმატური და ლანდშაფტური პირობების როლი მოსავლიანობის ჩამოყალიბებაში.

თავი III. მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესის მათემატიკური მოდელის დამუშავება წყალუზრუნველყოფის ფონზე.

- 3.1 მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესის მათემატიკური მოდელის შერჩევა და კონსტრუირება.
- 3.2 მათემატიკურ მოდელში შემავალი კოეფიციენტების დადგენის მეთოდიკა.

- 3.3 ძირითადი სტრატეგიული კულტურებისათვის შერჩეული მათემატიკური მოდელი ადაპტირება და მასში შემაჯავლი კოეფიციენტების შეფასება.

თავი IV. სასოფლო-სამეურნეო წარმოება და ეკოლოგიური მდგრადობის პირობები.

- 4.1 სასოფლო-სამეურნეო წარმოება, როგორც გარემოს ეკოლოგიური ცვლილების განმსაზღვრელი მახასიათებელი.
- 4.2 მემცენარეობის ნეგატიური გავლენა ეკოლოგიურ წონასწორობაზე.
- 4.3 სასოფლო-სამეურნეო წარმოების ოპტიმალური ვარიანტები.

დასკვნები.

გამოყენებული ლიტერატურა.

შესავალი

თემის აქტუალობა: სასოფლო-სამეურნეო კულტურების ზრდა-განვითარების და მოსავლის ფორმირებაში გადაწყვეტ როლს ასრულებს ტენიანობის, სითბოს, საკვების, სინათლის და აირუზრუნველყოფის ფაქტორები. ამ ფაქტორებიდან არიდულ ზონებში განსაკუთრებული როლი ენიჭება წყალუზრუნველყოფის ფაქტორს, სწორედ ამის გამო წყლის რეგულირებისათვის და მისი ოპტიმიზაციისათვის აუცილებელია ბუნებრივ-ტექნიკური საირიგაციო სისტემების ისეთნაირად ფუნქციონირება, რომ მიხწეულ იქნას არსებული წყლის რესურსების რაციონალური გამოყენება, რაც თავის მხრივ გამოიწვევს ისეთი უარყოფითი შეუქცევადი პროცესების წარმოშობას როგორცაა დაჭაობება-დამლაშება, ნიადაგური საფარის ეროზია და ა.შ. ამასთან ერთად აუცილებელი ხდება მოსავლიანობის პროგნოზისტულ გაანგარიშებებში ასახვა პოვოს ისეთმა უარყოფითმა ზემოქმედებებმა, როგორცაა უარყოფითი მეტეოროლოგიური ფაქტორები, სეტყვა, ქარი, წაყინვა და სხვა. არა მხოლოდ ნეგატიური ფაქტორების წარმოდგენილი სპექტრის, არამედ პოზიტიურისაც კი დასაშვები აუცილებელი ნორმებიდან გადახრა ხშირად მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესის შეწყვეტის, გარემოს დაჭუჭყიანების, კოროზიის მდგრადობის რღვევის და სხვა ნეგატიური გამოვლინებების მიზეზი ხდება. ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე პროცესის წარმოდგენა-გააზრება ერთიან კონტექსტში ძალზე რთულია, მასში მოქმედი ურთიერთშეკავშირებული ფაქტორთა სპექტრის გამო და აუცილებელია მცენარის ზრდა-განვითარების ინტეგრაციული მახასიათებლის (მოსავალი) ფორმირების დინამიკაზე მოქმედი ფაქტორების გავლენის (როგორც დადებითი ისე უარყოფითის) დიფერენცირებული შესწავლა. წარმოდგენილი სურათი საჭიროებს ისეთი სრულყოფილი მოდელის შერჩევას და პროცესთან ადაპტაციას, რომლის საფუძველზე შესაძლებელი გახდება მელიორაციული ღონისძიებების დაგეგმვა და სწორად შერჩევა.

კვლევის მიზანი: სადისერტაციო ნაშრომი მიზნად ისახავს სხვადასხვა გეოგრაფიულ და ნიადაგურ პირობებში განლაგებული სოფლის მეურნეობის

სავარგულთა პოტენციურ შესაძლებლობების, კერძოდ პროგნოზირებული მოსავლის დონის გარანტიის უზრუნველყოფის მეცნიერული საფუძვლების შექმნას, სარწყავი წყლისა და საკვები ნივთიერებების ეფექტურად გამოყენების პირობებში. კერძოდ დამუშავებული უნდა იქნას სხვადასხვა კულტურათა მოსავლიანობის პროგნოზირების მეთოდიკა. მცენარეთა დაგეგმილი მოსავლიანობის უზრუნველსაყოფად აგებული იქნას მათემატიკური მოდელი, რომლის საფუძველზე განხორციელდება მისი ზრდა-განვითარების პროცესის განმაპირობებელი პოზიტიური და ნეგატიური ფაქტორების რაოდენობრივი შეფასება.

კვლევის ძირითად ამოცანას წარმოადგენს:

- მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესის არსებული მასალების ანალიზის საფუძველზე შესარჩევ მოდელში გასათვალისწინებელი პოზიტიური და ნეგატიური ფაქტორების ღირსება _ ნაკლოვანებების გამოყოფა და შესწავლა;
- გარკვეული გეოგრაფიული, კლიმატური, ნიადაგობრივი პირობების გათვალისწინებით სარწყავი წყლის და საკვები ნივთიერების რაოდენობრივი გამოყენების ეფექტურობის შეფასება სასოფლო სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობის პროგნოზირებულ სიდიდეზე;
- სასოფლო სამეურნეო კულტურების ზრდა-განვითარების პროცესზე მოქმედი ცალკეული ფაქტორების დინამიკის დიფერენცირებული შესწავლა;
- თეორიული გზით კულტურათა ზრდა-განვითარების პროცესზე მათემატიკური მოდელის ადაპტაცია;
- მათემატიკურ მოდელში შემავალი კოეფიციენტების დადგენა ისეთი სტრატეგიული კულტურებისათვის როგორცაა საშემოდგომო ხორბალი, სიმინდი, იონჯა, ვენახი;
- შერჩეული მოდელით საპროექტო კულტურათა ქცევის შეფასება და სასურველი რეჟიმით მისი მართვა ვეგეტაციის მთელ პერიოდში;
- სასოფლო სამეურნეო პროდუქტის წარმოების გარემოზე ზემოქმედების შესწავლა, გამოწვეული ზარალის პროგნოზი და აღმოფხვრის ღონისძიებები ნეგატიური ფაქტორების გათვალისწინებით.

კვლევის ობიექტი: სასოფლო სამეურნეო კულტურათა სხვადასხვა სახეები, მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესზე მოქმედი პოზიტიური და ნეგატიური ფაქტორები, მცენარეთა მოსავლიანობა.

მეცნიერული სიახლე: ჩატარებული კვლევის შედეგად მიღებულია:

- სასოფლო სამეურნეო კულტურათა ზრდა-განვითარების პროცესის პროგნოზირების მეთოდების ღირსება-ნაკლოვანი მხარეების ანალიზის საფუძველზე გამოვლენილია ძირითადი განმსაზღვრელი ნეგატიური და პოზიტიური ფაქტორები, დადგენილია მათი მოსავლის სიდიდეზე მოქმედების ინტენსივობის ზღვრები;
- გამოვლენილია მელიორაციაში წყლის რესურსების გამოყენების და მისი დეფიციტის შევსების შესაძლებლობა კულტურათა სახეების ცვლილების საფუძველზე;
- დამუშავებულია სასოფლო-სამეურნეო სავარგულთა მოსავლიანობის ფორმირების განმსაზღვრელი პრინციპულად ახალი მათემატიკური მოდელი;
- მოცემულია საპროექტო კულტურათა ქცევის დინამიკა მისი განვითარების ნებისმიერ ფაზაში და დასახულია მისი მართვის ღონისძიებების გზები;
- დადგენილია სასოფლო სამეურნეო წარმოების გარემოს ეკოსისტემებზე ნეგატიური ზემოქმედების ზღვრები;
- შემოთავაზებულია ნეგატიური ფაქტორებით გამოწვეული მოსავლიანობის ზარალის სიდიდის დამოკიდებულება მათ ინტენსივობასთან კავშირში.

ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა. მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესის დინამიკის შემოთავაზებული მოდელი საშუალებას იძლევა არიდულ ზონებში უფრო ზუსტი პროგნოზი გაუკეთდეს ირიგაციულ წყლის ხარჯებს, სასუქების რესურსებს გარემოს ტემპერატურული რეჟიმისგან დამოკიდებულებით და სასოფლო სამეურნეო კულტურათა მოსავლიანობას. საპროექტო კულტურათა ქცევის პროგნოზის საფუძველზე შესაძლებელია მცენარის ზრდა-განვითარების მართვის ღონისძიებების დასახვა, ნეგატიური მოვლენებისგან კულტურათა დაცვა გარემოს ეკოსისტემების ნეგატიური ზემოქმედებისაგან დამცავი ღონისძიებების სახეების შერჩევა.

ნაშრომის აპრობაცია. სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი დებულებები მოხსენებული იყო: ახალგაზრდა მეცნიერთა და ასპირანტთა სამეცნიერო

კონფერენციებზე ქ. თბილისი, 2001-2002 წ.წ. საქართველოს სახელმწიფო აგრარული უნივერსიტეტის სასოფლო სამეურნეო ჰიდროტექნიკური მელიორაციის და ჰიდროტექნიკის და საინჟინრო ეკონომიკის კათედრების გაფართოებულ სხდომებზე 2003-2004 წ.წ.

პუბლიკაცია: სადისერტაციო ნაშრომის ცალკეულმა თეორიული და პრაქტიკული ხასიათის საკითხებმა ასახვა ჰპოვა ოთხ სამეცნიერო შრომაში.

ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლისაგან, ოთხი თავისაგან, ძირითადი დასკვნებისა და გამოყენებული ლიტერატურისაგან. იგი მოიცავს ნაბეჭდ გვერდს, რომელშიც შედის 18 ნახაზი და 10 ცხრილი, გამოყენებულია 120 დასახელების ლიტერატურა.

1. სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობის პროგნოზირების შეფასების თანამედროვე მეთოდების ანალიზი

სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობა ფორმირდება დიდი რაოდენობის გარე და შიგა (ბიოლოგიური) ფაქტორების რთული ურთიერთქმედების შედეგად. ბიოლოგიური (შიგა) ფაქტორებიდან უნდა აღინიშნოს მცენარის გენეტიკური ბუნება, მათი ჯიშობრივი ხასიათი (რომლებიც განსაზღვრავენ პოტენციალურ მოსავლიანობას), ჩაწოლისადმი მდგრადობა, ყინვაგამძლეობა, გვალვაგამძლეობა და სხვა. ყველა ეს ფაქტორები მხედველობაში უნდა იქნენ მიღებული მართვადი ფაქტორების ანგარიშისას. ამასთან, მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ ის ფაქტი, რომ მცენარის ზრდა-განვითარების პირობები სხვადასხვა მცენარისათვის სხვადასხვაა და ზოგჯერ ურთიერთსაწინააღმდეგოც. მაგალითად, ვენახი, ჩაი და სხვა მრავალწლიანი კულტურები, ყოველწლიური გასხვლის გარეშე არ იძლევიან სრულფასოვან მოსავალს, ხოლო სიმინდი, ხორბალი, ლობიო და სხვა ერთწლიანი კულტურები შეკრეჭვით კარგავენ თითქმის პოტენციალური მოსავლიანობის ნახევარს (გააჩნია რა პერიოდში მოხდება შეკრეჭვა); ვენახისა და ჩაის რამოდენიმე წლის განმავლობაში გაუსხლავად დატოვება, მცენარის დეგრადაციას და გაველურებას, ხოლო მძიმე სხვლა რამდენიმე წლით მოუსავლიანს ხდის მათ.

გარე ფაქტორებიდან ყველაზე ქმედითი ზემოქმედებით ხასიათდება ფოტოსინთეზურად აქტიური რადიაცია (ფარ), სითბო და სინათლე, ნიადაგის ნაყოფიერება და წყალი. ამ ფაქტორებიდან პირველი სამი – ფარ, ჰაერის ტემპერატურა და სინათლე დიდ მასშტაბებში უმართავი ფაქტორებია. ე.ი. მათ რეგულირებაში ადამიანის ჩარევას ჯერ-ჯერობით დიდი შედეგები არ აქვს. ორი უკანასკნელი ფაქტორი რეგულირებადია, ე.ი. მათი მართვა შესაძლებელია თუ კი ხელთ გვაქვს თეორიულად დასაბუთებული და პრაქტიკულად გამართლებული ხერხები მათი ანგარიშისა და ფაქტორთა შესაბამისად, რომელთა მართვა შეუძლებელია. მოყვანილ ფაქტორთა შორის, აუცილებელია გავითვალისწინოთ ისეთი “ნეგატიური” (გარე) ფაქტორები, რომლებიც ხელს უშლიან მცენარის ნორმალურ ზრდა-განვითარებას და გარკვეულ რეჟიმში მთლიანად წყვეტენ პროცესს. ფაქტორთა ამ ჯგუფს, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, მიეკუთვნება სეტყვა, ქარები, ნიადაგის ეროზია.

მოსავლის ფორმირების პროცესში და საერთოდ, მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესში, შიგა და გარე ფაქტორების ზეგავლენასთან ერთად, საჭირო და აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნეს ანთროპოგენული ფაქტორები, რომლებიც გულისხმობენ აგროტექნიკური ღონისძიებების კომპლექსს. მცენარის თვისებების შეცვლას მიზანსწრაფულად, ახალი ჯიშების გამოყვანის გზით, მათ შერჩევას კლიმატური და ნიადაგობრივი პირობების მიხედვით და ა.შ. იმის გამო, რომ ზემოთ მოყვანილი ფაქტორების გათვალისწინება ხდება ვიზუალურად, ანდა ინტუიტურად, გავაკეთოთ რაიმე საფუძვლიანი დასკვნა ძალიან ძნელია და პრაქტიკულად შეუძლებელი (მიუხედავად იმისა, რომ ზოგჯერ ინტუიცია და პიროვნების როლი უდაოდ დიდია და ყოველთვის ექნება დიდი მნიშვნელობა ნებისმიერ დონეზე მოწყობილი სისტემისათვის და ანგარიშის მეთოდებისათვის. გარდა ამისა, ის დინამიური მეთოდები, რომლებიც არსებობენ, მიუხედავად მათი სისრულისა, საკმაოდ რთული გამოსაყენებელია პრაქტიკულად, რადგანაც შეიცავენ ისეთ პარამეტრებს, რომელთა პრაქტიკულად დადგენა თითქმის შეუძლებელია, თუნდაც მიახლოებით. ამის მაგალითს წარმოადგენს ცნობილი სიროტენკოს, გალიამინის და სხვათა მოდელები, რომლებიც შეიცავენ მცენარის ფოთლის ზედაპირის, ფესვთა სისტემის ზედაპირის ფართს და სხვა. რომლებთანაცაა დაკავშირებული ფოტოსინთეზის და

საკვებ ნივთიერებათა შეწოვა-გადაადგილების პროცესი). ყოველივე ამის გამო, აუცილებელი ხდება ისეთი მათემატიკური მოდელების შექმნა, რომლებიც საშუალებას მოგვცემს, გავითვალისწინოთ ყველა ის სასიცოცხლოდ აუცილებელი ფაქტორი, რომელთა პრაქტიკული შეფასება მცენარის დაღუპვის გარეშე შესაძლებელი და იმავე სიზუსტით, როგორი სიზუსტითაც გვსურს მივიღოთ პროგნოზირებადი პროცესის შედეგი, თუ ისინი არ ეწინააღმდეგებიან მოდელის კომპლექტურობის პრინციპს (მოდელი უნდა იყოს რაც შეიძლება მარტივი და იძლეოდეს რაც შეიძლება მეტი ინფორმაცია).

რადგან მოსავლის ფორმირების პროცესის მათემატიკურ მოდელირებას აქვს გამოკვეთილი მიზნობრივი მიმართულება, მოდელში გათვალისწინებული (შეყვანილი) უნდა იქნეს მხოლოდ განსაზღვრული ფაქტორები, რომლებიც უშუალო გავლენას ახდენენ მოდელის ფაზური კოორდინატების ცვლილებაზე. იმის გამო, რომ მოდელის შექმნა მიზნად ისახავს მისი ანალიზის შედეგების გამოყენებას ისეთი ამოცანების გადასაჭრელად, როგორცაა წყლის რესურსებისა და ქიმრესურსების ოპტიმალური ხარჯვა, მოცემულ ეტაპზე ვთვლით მიზანშეწონილად, გათვალისწინებული იქნას მოსავლიანობის განმსაზღვრელი ისეთი ფაქტორები, როგორცაა ფარ-ი, ჰაერის ტემპერატურა, წყლის და კვების რეჟიმი, ქარი, ეროზია, სეტყვა. დანარჩენი ფაქტორების გავლენა გათვალისწინებულია კოეფიციენტებში, როგორც გასაშუალებელი სიდიდეები. ასეთი მიდგომა გამართლებულია როგორც პრაქტიკული თვალსაზრისით, ასევე მათემატიკური მოდელების აგების საერთო პრინციპებიდან გამომდინარე.

მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესის სირთულის გამო, მოდელები და მისი შედეგების რეალიზაცია, დამყარებული მკაცრ მათემატიკურ გადაწყვეტაზე, აპრობირებული ძირითად კულტურებზე სხვადასხვა კლიმატურ და ნიადაგობრივ პირობებში, დღეისათვის არ არსებობს, რაც საკმაოდ ართულებს ფაქტორების მართვის შესაძლებლობას.

1.1 საქართველოს სასოფლო-სამეურნეო კულტურათა განაწილების არსებული მეთოდების ანალიზი

საქართველოს რელიეფური მახასიათებლები, სადაც ტერიტორიის თითქმის 76% მარალმთაგორიანია, განაპირობებს იმ ფაქტს, რომ იგი ევროპაში ერთ-ერთი მცირემიწიანი სახელმწიფოა, რაც თავის მხრივ, ზღუდავს სასოფლო-სამეურნეო წარმოების მასშტაბებს და სოფლის მეურნეობის განვითარების ხასიათს საბოლოო ანგარიშში. თუმცა იგი მაინც იყო და რჩება აგრარულ ქვეყნად. კლიმატის, ნიადაგობრივი პირობების და ტემპერატურული რეჟიმის დიდი სახესხვაობის გამო, საქართველოს აღმოსავლეთ და დასავლეთ რეგიონებში წამყვანი სასოფლო-სამეურნეო კულტურები მკვეთრად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან: დასავლეთ საქართველოში ძირითადი დარგებია მეციტრუსეობა (შავი ზღვის სანაპირო ზოლი), მეჩაიეობა, მესიმინდეობა, ხოლო აღმოსავლეთ ნაწილში მევენახეობა, მეხილეობა, მებაღეობა და მესაქონლეობა. უფრო ნათელი და კონკრეტული წარმოდგენის მიზნით, ქვემოთ მოგვყავს ფართობების განაწილების ცხრილი წარმოების ხასიათისა და კუთვნილების მიხედვით. (ცხრ. 1.1.).

ნათესი ფართობები, კულტურების მიხედვით, მოცემულია ცხრილში 1.2., ხოლო სასოფლო-სამეურნეო წარმოების დინამიკა 1987 წლის მონაცემების მიხედვით – ცხრილში 1.3. /43/

საქართველოს მთლიანი მიწის ფონდი და მათი განაწილება განკუთვნიების მხრივ 1987 წლის მონაცემებით (ათასი, ჰა)

ცხრილი 1.1

მიწების დასახელება	საერთო ფართი	ყველა სავარგულე (სახნავი, ნასვენ, ბაღები, ვენახი, სათიბე, სამოვრები)	მათ შორის		
			სახნავი	სათესი	სამოვრები
1	2	3	4	5	6
მიწები მთლიანად საქართველოს საზღვრებს გარეთ არსებული მიწების ჩათვლით.	7272,3	3268,7	790,5	171,5	1962
მიწები სასოფლო-სამეურნეო საწარმოების მფლობ. ქვეშ.	4630,0	3174,1	782,9	161,9	1890

მეურნეობების მიწები სულ	2344,8	1510,9	338,7	49,7	952,7
მათ შორის: საზოგად. სარგებლ. ქვეშ არსებული მიწები (გრძელვადიანი, სახელმწ. მიწის მარაგის და სატყეო ორგანიზაციების მიწების ჩათვლით)	2240,2	1414,9	292,2	48,8	952,7
მეურნეობების საკარმიდამო მიწები	93,5	85,2	40,8	0-7	-
მეურნეობების მიწები მოსამსახურეთა სარგებლობის ქვეშ	11,1	10,8	5,7	0,2	-
სას.-სამ. საწარმოების მიწები (გრძელვადიანი სარგებ., სახელმწიფ. მარაგის და სატყეო ორგანიზ. მიწები)	2022,1	1451,4	369,7	103,4	850,3
სამეურნეობათა შორისო სასოფლო-სამეურნეო ორგანიზაციების და დაწესებულებების მიწები.	165,3	121,7	25,4	7,2	87,0
მუშებისა და მოსამსახურეების საკუთრებაში არსებული მიწები	97,8	90,1	47,1	1,6	-
სახელმწიფო მიწის მარაგი და სატყეო ორგანიზაციები	2336,1	76,0	2,5	7,6	62,1
სხვა მიწათმოსარგებლენი	306,2	18,6	5,1	2,0	10-1

სათესი ფართობები ყველა კატეგორიის მეურნეობაში (ათასი, ჰა)

ცხრილი 1.2

დასახელება	1940	1970	1980	1985	1987
1	2	3	4	5	6
მთლიანი სათესი ფართი	895,7	736,6	739,3	730,1	741,5
ყველა მარცვლოვანი კულტურების სათესი ფართი	748,4	385,5	317,0	272,7	269,3
საშემოდგომო მარცვლოვნები	232,8	126,9	114,4	80,2	85,2
მათ შორის: ხორბალი					
ქერი	24,5	29,7	33,4	24,7	27,6
საგაზაფხულო მარცვლოვნები	486,3	230,0	166,9	166,9	155,4
ხორბალი	39,5	3,1	0,4	0,7	1,3
ქერი	69,1	24,5	17,8	18,6	15,5
სიმინდი სამარცვლე	355,3	184,0	125,3	117,6	111,9
პარკოსნები	13,3	7,9	13,9	19,3	16,2
ტექნიკური კულტურები	51,6	39,5	48,2	39,1	37,2
მათ შორის: შაქრის ჭარხალი	5,5	3,9	3,6	1,3	1,4
მზესუმზირა	15,5	17,2	12,5	12,1	9,8
თამბაქო	20,9	12,4	11,3	10,7	10,4
კარტოფილი და ბოსტნეული	43,1	57,1	76,2	76,7	78,0
მათ შორის: კარტოფილი	24,6	24,6	33,9	31,6	31,0

ბოსტნეული	14,4	29,5	35,4	37,5	39,3
საკვები კულტურები	52,6	251,1	297,9	341,6	357,1
მათ შორის: მრავალწლიანი ბალახები	18,8	61,9	95,2	110,1	127,8
ერთწლიანი ბალახები	26,8	89,1	120,6	149,8	146,9
სასილოსე სიმინდი	–	86,7	66,2	67,8	63,2
საკვები ძირხვენები	1,5	5,7	6,2	5,3	6,3
სუფთა პარის ფართობები	–	–	2,5	2,2	3,2
ხილი (ციტრუსების გარდა)	84,2	152,0	155,7	142,6	131,7
ვენახი	69,8	117,8	146,8	128,0	119,2
ციტრუსი	24,6	16,3	20,7	26,1	27,3
ჩაი	49,6	64,8	66,8	67,1	67,3
კოლექტიური ბაღები	–	–	3,6	5,4	5,9

ცალკეული კულტურების ჯამური მოსავალი და მოსავლიანობა საწარმოებში
(1987 წლის მონაცემებით)

ცხრილი 1.3.

წლები	ჯამური მოსავალი, 1000 ტონა						მოსავლიანობა, ც/ჰა					
	მარცვლეული	შაქრის ჭარხალი	კართოფილი	ბოსტნეული	ხილი	ყურძენი	მარცვლეული	შაქრის ჭარხალი	კართოფილი	ბოსტნეული	ხილი	ყურძენი
1970	113.7	107.2	58.3	112.2	60.3	108.0	15.7	339.0	123.0	84.0	51.5	49.9
1975	129.1	120.4	94.5	151.3	59.8	137.7	18.6	388.0	113.0	99.0	22.5	52.8
1980	114.9	94.1	138.9	189.8	118.4	272.8	19.5	338.0	106.0	124.0	35.0	69.6
1985	129.1	49.3	159.9	250.4	142.6	286.7	22.6	434.0	124.0	146.0	44.8	60.2
1986	143.6	47.1	160.8	291.2	144.1	243.5	25.8	390.0	127.7	149.0	46.5	51.9
1987	149.20	46.0	146.4	251.3	148.3	227.8	24.0	375.0	114.0	134.0	48.7	50.8

1.2. და 1.3. ცხრილების ანალიზი გვიჩვენებს, მრომ 1940 წელთან შედარებით, მარცვლეულის ქვეშ არსებული ფართობები მკვეთრად შემცირდა. ასე, მაგალითად: 1940 წელს საშემოდგომო ხორბალი დათესილი იყო 232,8 ათას ჰექტარზე, ხოლო საგაზაფხულო – 39,5 ათას ჰექტარზე; 1987 წლისთვის კი საშემოდგომო ხორბალი დათესილი იყო 85,2 ათას ჰექტარზე, ხოლო საგაზაფხულო – 1,3 ათას ჰექტარზე. ე.ი. საშემოდგომო ხორბლის ქვეშ ფართობები შემცირდა თითქმის სამჯერ, ხოლო საგაზაფხულო ხორბლის ქვეშ – 30-ჯერ. მიუხედავად იმისა, რომ აღნიშნული პერიოდის განმავლობაში საშემოდგომო ხორბლის მოსავლიანობა გაიზარდა 15,7-დან 25,8ც/ჰა-მდე, ჯამური მოსავალი საგრძნობლად შემცირდა. 1940 წლის მონაცემებით ჯამურმა მოსავალმა შეადგინა 3654,96 ათასი ცენტნერი (საშემოდგომო ხორბალი) და 620,15 ათასი ცენტნერი (საგაზაფხულო ხორბალი), ე.ი. წლიურმა მოსავალმა ხორბლისთვის, შეადგინა 427,5 ათასი ტონა. ანალოგიური ანგარიშით, 1987 წლისთვის წლიური მოსავალია 149,2 ათასი ტონა. მაშასადამე, მოსავალი შემცირდა დაახლოებით ოცდაათჯერ როგორც 1.2. ცხრილიდან ჩანს, მარცვლეულის ქვეშ ფართობების შემცირება ხდებოდა ხილისა და ვენახის ქვეშ ფართობების გაზრდის ხარჯზე. ამასთან, ვენახი და ხილი ძირითადად შენდებოდა სარწყავ ფართობებზე, ხორბალი კი შეიძლება დათესილიყო გაუსარწყავებელ (ურწყავ) ფართობებზე. ე.ი. ხორბლის ქვეშ არსებული ფართობების ნაწილი დაიკავა საძოვრებმა და საკვებმა ბალახებმა.

დღევანდელი პირობებიდან გამომდინარე, პირველი რიგის ამოცანად მიგვაჩნია მარცვლეულის წარმოების გადაუდებელი გაზრდა და პირველ რიგში ხორბლის წარმოების მკვეთრი გაზრდა მოკლე დროში. ეს პრობლემა რეალიზაციის მხრივ არაა რთული და არ მოითხოვს დიდ ვადებს და კაპიტალდაბანდებებს, პირიქით, ამ პროგრამის განხორციელება გამოიწვევს საჭირო რესურსების შემცირებას და პირველ რიგში – წყლის რესურსების საგრძნობ დაზოგვას. დასმული ამოცანის გადაჭრა მოითხოვს უარის თქმას ისეთი მონოკულტურების წარმოების ზრდაზე, როგორცაა ვენახი და ხილი, უფრო მეტიც, ამ ფართობების შემცირების ხარჯზე, უნდა მოხდეს მარცვლეულის ქვეშ ფართობების გაზრდა.

რამდენი მარცვლეული უნდა აწარმოოს რესპუბლიკამ, რომ მოსახლეობა დაკმაყოფილდეს პურ-პროდუქტებით და როგორია პოტენციალური შესაძლებლობები

ამ პრობლემის რეალიზაციისა? 1987 წლის მონაცემებით, თითოეულ მოსახლეზე დაიხარჯა წელიწადში 188 კგ პური და პურპროდუქტები. ე.ი. მოსახლეობის დასაკმაყოფილებლად საჭიროა $5\,443\,000 \times 0.188 = 1\,023\,284$ ტონა, თუ მივიღებთ მარცვლეულის საშუალო მოსავლიანობად 2,5 ტ/ჰა (ცხრ.1.3.) აღმოჩნდება, რომ ამ პრობლემის რეალიზაციისათვის საჭირო იქნება 409,32 ათასი ჰა. 1940 წელს მარცვლეულს დაკავებული ჰქონდა: ხორბალი – 271,3 ათასი ჰა. სიმინდი – 355,3 ათასი ჰა. ე.ი. მარცვლეულს ეკავა 626,6 ათასი ჰა. ამავე ცხრილიდან ჩანს, რომ დღეისათვის საქართველოში არის 790 ათასი ჰა სახნავ-სათესი, ე.ი. დასმული ამოცანის გადასაჭრელად, საჭიროა ამ ფართობის 50% დაკავებულ იქნეს მარცვლეულით. ეს ამოცანა ადვილად გადასაჭრელი არაა, მაგრამ პრაქტიკულად შესაძლებელია იმ შემთხვევაშიც კი, თუ არ შევამცირებთ ფართობებს მრავალწლიანი ნარგავების ქვეშ, რაც აუცილებლად მიგვაჩნია, რადგანაც 119,2 ათასი ჰა ვენახის მოვლა (ცხრ. 1.2.) სათანადო დონეზე საქართველოს არ შეუძლია (ამის დამადასტურებელია ის ფაქტი, რომ ყურძნის საშუალო მოსავლიანობა საქართველოში კატასტროფულად დაბალია და უდრის 60 ც/ჰა, რაც ძირითადად მოუვლელობის მიზეზია). ანალოგიური სურათია მეხილეობაშიც.

თუ გავითვალისწინებთ იმ ფაქტს, რომ მარცვლეულის ძირითად რაიონებში: დედოფლის წყარო, სიღნაღი, ყვარელი, თელავი, ახმეტა, საგარეჯო, გურჯაანი, მცხეთა, გორი, ხაშური, მარტვილი, ლანჩხუთი და სხვა. მარცვლეულის მოსავლიანობა შეიძლება იყოს გაცილებით უფრო მაღალი, ვიდრე 25 ც/ჰა. კერძოდ, შეიძლება მიღწეული იქნეს ხორბლის მოსავლიანობა 40-45 ც/ჰა და სიმინდის – 55-60 ც/ჰა. აღმოჩნდება, რომ პრობლემის რეალიზაციისთვის საჭირო იქნება მარცვლეულს დაეთმოს დაახლოებით 230 ათასი ჰექტარი, რაც შეადგენს მთელი ნათესი ფართობების დაახლოებით 26%, ე.ი. მიღწეული უნდა იქნეს 1940 წლის დონე. როგორც ვხედავთ, ამოცანა არც ისე რთული გადასაჭრელია, როგორც ეს პირველი ვიზუალური შეფასებით ჩანს.

რამ გამოიწვია ის სიტუაცია ხორბლის მიმართ, რომელიც დღესაა ჩვენს რესპუბლიკაში? ეს საკითხი იმდენად პრობლემატურია, რომ კიდევ გვინდა დავუბრუნდეთ მის ანალიზს. თუ გავაანალიზებთ სასოფლო-სამეურნეო წარმოების დინამიკას გასული წლების განმავლობაში, ადვილად დავრწმუნდებით, რომ ხილის, ვენახისა და ჩაის კულტურების ქვეშ ფართობების ზრდა ხდებოდა არა რესპუბლიკის

ინტერესებიდან, არამედ იმპერიის ინტერესებიდან გამომდინარე, რის გამოც, საქართველოში სოფლის მეურნეობის განვითარებამ მიიღო ცალმხრივი ხასიათი. – წარიმართა ხილის, ყურძნისა და ჩაის წარმოების ზრდისკენ. ე.ი. ინერგებოდა მონოკულტურიზმი ისევე, როგორც შუა აზიის რესპუბლიკებში ბამბა და სხვა, რამაც გამოიწვია სასიცოცხლოდ აუცილებელი კულტურების დეგრადაცია და რესპუბლიკები ამით გახდნენ პირდაპირ დამოკიდებული რუსეთზე.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, საქართველოში მარცვლეულის წარმოების ზრდა იძულებითია, მაგრამ ამავე დროს აუცილებელი და დროებითი ღონისძიება. აღნიშნული ღონისძიება აუცილებელია, რათა რესპუბლიკა გამოვიდეს კრიზისიდან, (ცნობილია, რომ სოფლის მეურნეობის გარდაქმნა და შემობრუნება, თუ გნებავთ 180°-ით, შეიძლება ძალიან მოკლე დროში და კერძოდ, ერთ-ორ სეზონში, რაც სხვა ნებისმიერ დარგში წარმოუდგენელია). და განავითაროს თავისი ეკონომიური დამოკიდებულებები სხვა ქვეყნებთან. ამ ურთიერთობათა სტაბილიზაციის შემდეგ და რესპუბლიკის შიგნით, ეკონომიური მდგომარეობის ნორმალიზაციის შემთხვევაში, მარცვლეულის წარმოებაში მიღწეული დონე შეიძლება აღმოჩნდეს ეკონომიურად არახელსაყრელი. ამ ეტაპზე შესაძლებელია შემცირდეს მარცვლეულის წარმოება და გაიზარდოს სხვა, უფრო ეკონომიურად ხელსაყრელი კულტურების წარმოება. ამ ეტაპზე შეიცვლება მთლიანად აგრარული პოლიტიკა, რადგანაც სხვა სახელმწიფოებთან დამყარებული ნორმალური ურთიერთობები გამორიცხავენ შიშს გარე ბლოკადისას.

ზემოთ გაანალიზებული პროგრამის რეალიზაცია მოითხოვს წყლის, მიწის და ქიმიკატების რაციონალური გამოყენების ხერხების ძიებას, რომელიც ისედაც აუცილებელია სასოფლო-სამეურნეო პროდუქტების წარმოების მაღალი და სტაბილური დონის მისაღწევად და ამასთან, შექმნილი ეკოლოგიური სიტუაციების გამოსაჯანსაღებლად. ამ სერიოზული და აუცილებელი ამოცანის გადაჭრას ეძღვნება მოც. ნაშრომი, რომელშიც მოცემულია მცდელობა, გარკვეულ დონეზე გადაიჭრას ის კომპლექსური ამოცანა, რომელიც უზრუნველყოფს, დაცული იქნეს რესპუბლიკის ბუნებრივი სიმდიდრე – წყალი, მიწა და გარემო.

1.2. მცენარე, როგორც სამართავი ობიექტი და მოსავლიანობის შეფასების არსებული მოდელების ანალიზი

ჯერ კიდევ ჩვენს წელთაღრიცხვამდე, საზოგადოების განვითარების ადრეულ ეტაპზე ადამიანმა შეამჩნია, რომ სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მაღალი მოსავლიანობის მისაღწევად, აუცილებელია შეირჩეს ადგილი, სადაც საკმარაოდენობითაა წყალი და ნიადაგი ნაყოფიერია, ესე იგი, მოხდეს მცენარის ზრდა-განვითარების აუცილებელი ფაქტორების – ტენისა და საკვების რეგულირება. ძველ ეგვიპტეში მოსავალი მოჰყავდათ ნილოსის ნაპირებზე და ზაფხულის ცხელ პერიოდში, ოწინარებით ამოჰქონდათ წყალი ნილოსიდან, რათა მოერწყათ ნათესები, ხოლო ნილოსის ლამით ამდიდრებდნენ ფართობებს. იცოდნენ, რომ ლამის გარეშე ნიადაგის ნაყოფიერება ეცემოდა და ძნელი იყო სტაბილური მოსავლის მიღება. მაშინ, ადამიანმა არ იცოდა ანგარიში, თუ რამდენი წყალი უნდა მიეწოდებინა ფართობზე, რათა მიეღო წინასწარ დაგეგმილი მოსავალი, მაგრამ ინტუიციისა და გამოცდილების საფუძველზე, ამ ამოცანას საკმაოდ იოლად წყვეტდა. დროთა განმავლობაში დაგროვილი გამოცდილების საფუძველზე, ადამიანს გამოუმუშავდა მათემატიკური აზროვნების უნარი და დაიწყო მოსალოდნელი შედეგის პროგნოზირება. საქართველოში სარწყავი სისტემები გამოჩნდა მეთერთმეტე საუკუნეში – თამარ მეფის დროს. არსებული მონაცემების მიხედვით, ამ დროს ირწყევბოდა საქართველოს დაახლოებით 53 ათასი ჰა. ეს კი მიგვანიშნებს იმაზე, რომ ამ დროისათვის საქართველოში არსებობდა საინჟინრო ნაგებობების ანგარიშების მეთოდები და საჭირო წყლის რაოდენობის განსაზღვრის ხერხები, ე.ი. უნდა ვივარაუდოთ, რომ მორწყვას საქართველოში უფრო ადრეც მისდევდნენ.

ინფორმაციის ნაკლებობისა და ადამიანის არასაკმარისი ცოდნის დონის გამო, სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობის პროგნოზირებისათვის იყენებდნენ მარტივ დეტერმინირებულ სისტემებს, რომლებიც დაფუძნებულნი იყვნენ “შავი ყუთის” პრინციპზე. ამ ტიპის მოდელების უმარტივესი სახე შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგნაირად /18, 52, 53/.

$$y = \sum_{i=1}^n a_i x_i + a_0 \quad i=1,2,\dots,n, \quad (1.1)$$

სადაც: y – მოსავლიანობა, ან დაგროვილი ბიომასა საანგარიშო პერიოდის ბოლოსათვის; a_i – რეგრესიის კოეფიციენტი; x_i – გარე ფაქტორების გასაშუალებული სიდიდეა სავეგეტაციო პერიოდში.

ამ ტიპის მოდელებს მიეკუთვნება ლისოგოროვის მოდელი, რომელიც შედგენილია სიმინდისათვის (ვირ-156) რძისებრი სიმწიფის პერიოდამდე, ე.ი. მწვანე მასისათვის /46/;

$$y = 658,62 + 2,872x_1 + 95,64x_2 + 15,58 x_3 \quad (1.2)$$

სადაც: x_1 – ხნულის სიღრმეა; x_2 – სასუქის ნორმალური დოზა (ნორმალურ დოზად მიღებულია 20 ტ/ჰა ნაკელი+N₈₀P₈₀); x_3 – ნიადაგის თესვისწინა სინოტივეა პროცენტებში უმაღლესი წყალტევადობიდან. ეს მოდელი, თავისი სტრუქტურით, ძალიან მარტივია, მაგრამ იძლევა ძალიან მცირე და არაზუსტ ინფორმაციას მცენარის მდგომარეობის შესახებ. მთავარი უარყოფითი მხარე ამ და ამ ტიპის მოდელებისა ისაა, რომ ისინი უწყვეტ პროცესს (მცენარის ზრდა-განვითარება უწყვეტი ბიოლოგიური პროცესია) აღწერენ წყვეტადი ფუნქციით, რაც არ იძლევა რეალურ სურათს. ასე, მაგალითად, თუ დავუშვებთ, რომ $x_1=0$, $x_2=0$ და $x_3=0$ განტოლებით გამოდის, რომ შედეგი გარკვეულ სიდიდეს უდრის, რაც გაურკვეველია, რადგანაც თუ ნიადაგი მოხნული არ არის, ე.ი. მასში თესლი არ არის ჩადებული და ნიადაგი აბსოლუტურად მშრალია, გამორიცხულია მცენარის განვითარება.

სტატისტიკურ-დეტერმინებული მოდელების რიცხვს ეკუთვნის ე. გალიამინის ადრეული მოდელიც. რომელშიც გათვალისწინებულია მცენარის რეაგირება ზოგიერთ ფაქტორებზე /23/ და მთელი ვეგეტაციის განვითარების ფაზების მიხედვით და მთელი ვეგეტაციის განვითარების ფაზების მიხედვით დაყოფილია ინტერვალებად.

$$y = y_k(\bar{x}_\xi), \quad \xi = \overline{1, N}; \quad 0 \leq \bar{x}_\xi \leq 1; \quad 0 \leq y_k \leq 1; \quad (1.3)$$

სადაც: y_k – ბიომასის ნამატია; k – ინტერვალის ნომერი; \bar{x}_ξ – გარე ფაქტორების ვექტორია.

ბაიერის მოდელი ითვალისწინებს გარკვეულ ფაქტორებს შორის ურთიერთდამოკიდებულებას და აქვს შემდეგი სახე /115/;

$$y = \sum_{t=0}^m \Pi V_t \quad t = \overline{1,3} \quad (1.4)$$

სადაც: V_t – გარემოს გარე ფაქტორების X_t -ს ფუნქციაა, რომელთაგან აღსანიშნავია: ჰაერის მინიმალური და მაქსიმალური ტემპერატურა; ნიადაგის სინოტივე; მზისმიერი ჯამური რადიაცია, ფაქტიური ჯამური აორთქლების ფარდობა პოტენციალურთან. ეს მოდელი წინა მოდელების ანალოგიურია და იგივე სირთულეებს ქმნის პრაქტიკულად გამოყენებისას.

ი.ჩერკასოვი გვთავაზობს, რომ სიმინდის მოსავლიანობა განისაზღვროს ნათესის ფოტოსინთეზური პოტენციალით, რომელიც განისაზღვრება დამოკიდებულებებით /100/;

$$\Phi\Pi = \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)T_1 + (\lambda_2 + \lambda_3)T_2 + (\lambda_3 + \lambda_4)T_3 + \dots + \lambda_n}{2} \quad (1.5)$$

სადაც: λ_1 – ფოთლის ზედაპირის ფართია საანგარიშო პერიოდის დასაწყისში, ხოლო λ_n – პერიოდის ბოლოს T_n .

როგორც ვხედავთ, აქაც ისეთი ფაქტორია შეყვანილი (ფოთლის ზედაპირის ფართი), რომლის გაზომვაც უმრავლესი კულტურებისთვის პრაქტიკულად შეუძლებელია, თუმცა ფოტოსინთეზი მთლიანად მასზეა დამოკიდებული. თ.თურმანიძე ყურძნის მოსავალს ნალექებისგან დამოკიდებულებით აღწერს ფუნქციით /84/:

$$y = axe^{-bx} ; \quad (1.6)$$

სადაც a, b – კოეფიციენტებია; x – ნალექების რაოდენობა. ავტორს გამოყვანილი აქვს ოთხი განტოლება სხვადასხვა ყურძნის ჯიშისთვის.

კლიმოვის მოდელი ისეა შედგენილი, რომ კულტურის მოსავლიანობის დამოკიდებულება ერთ-ერთი ფაქტორისაგან აღწერილია ხარისხოვანი ფუნქციების ნამრავლით იმავე არგუმენტთან, რომელიც ასრულებს ზრდა-განვითარების იმიტაციას /47/;

$$y = A \prod_i (x_i^{b_i - c_i x_i}) \quad (1.7)$$

სადაც b_i და c_i – კოეფიციენტებია; A – კონსტანტაა, რომელიც აწესრიგებს არგუმენტის განზომილებას და აქვს შემდეგი სახე:

$$A = \frac{y_{\max}}{\prod_i (\hat{x}^{bi} \cdot e^{-c_i \hat{x}_i})} \quad (1.8)$$

სადაც: y_{\max} – მაქსიმალური პოტენციალური მოსავლიანობაა მოცემულ ბუნებრივ-კლიმატურ პირობებში და რომელიც იანგარიშება საშუალო დღე-ღამური, ფოტოსინთეზურად აქტიური რადიაციის მიხედვით; x_i – i -ური არგუმენტის ბიოლოგიურად ოპტიმალური მნიშვნელობაა.

როგორც ცნობილია, დინამიური პროცესები (მცენარის ზრდა-განვითარება სწორედ დინამიური პროცესია) უფრო ზუსტად აღიწერება დინამიური ანუ დიფერენციალური მოდელებით (განტოლებებით). დიფერენციალური განტოლებებით შედგენილი მათემატიკური მოდელები სტატისტიკური მოდელებისაგან განსხვავებით, იმ უპირატესობით ხასიათდება, რომ ისინი საშუალებას იძლევა გამოსავალი პარამეტრები განისაზღვროს დროის ნებისმიერი მომენტისათვის, ე.ი. პროცესის ნებისმიერ ეტაპზე დაწყებიდან დამთავრებამდე. რაც შეეხება დინამიური მოდელების სირთულეს, ეს პრობლემა თანამედროვე ეტაპზე მოხსნილია, რადგან გამოთვლითი ტექნიკა საშუალებას იძლევა ანგარიშები ჩატარდეს თითქმის ნებისმიერი სირთულის ამოცანის დროს.

მოსავლის ფორმირების პროცესის ანალიზისათვის დინამიურ მოდელებს, თუგინდ მათი გამარტივებული ფორმირების დროსაც კი, საერთო თეორიული მნიშვნელობის გარდა, აქვთ დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობაც. განსაკუთრებით საძიებო და საპროექტო სამუშაოების შესრულებისას, რადგანაც ინტუიციური წარმოდგენების ნაცვლად, ისინი საშუალებას იძლევიან, თავისი ფიზიკური არსის გამო, მიღებული იქნეს მათემატიკური დამოკიდებულებები და სათანადო კრიტერიუმები, შედეგების ეფექტიანობისას არჩეულ სტრატეგიაში, არჩეულ იქნას, ყველაზე ეფექტიანი და მისაღები გზა პრობლემის გადაჭრისა და მისი რეალიზაციის სფეროში.

სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლის ფორმირების დინამიური მოდელები იქმნებოდა სტატისტიკური მოდელების პარალელურად და გარკვეულ შემთხვევებში ხდებოდა მათი შერწყმა ბლოკების სახით. თანამედროვე ეტაპზე დინამიური მოდელები წარმოდგენილია დიდი კონსტრუქციული სახესხვაობებით,

სხვადასხვაგვარი დეტალიზაციით დაწყებული ყველა ფაქტორის გათვალისწინებით და დამთავრებული მხოლოდ ერთი ფაქტორით.

ფლინისა და მასგრევის მოდელს შემოაქვს პოტენციალური ზრდის განსაზღვრა, რომელსაც საფუძვლად უდევს სტრესის მომენტი, ე.ი. ჩადებულია აზრი, რომ როდესაც ნელდება ჯამური აორთქლება ნიადაგის სინოტივის დაცემის შედეგად, მცენარის ზრდა ჩერდება და იწყება მაშინ, როცა ნიადაგის სინოტივე გახდება კრიტიკულზე მეტი. მასის დაგროვების ფუნქციას აქვს სახე /93/;

$$y = \sum_{i=1}^n y_i \quad i = \overline{1, N} \quad (1.9)$$

სადაც: y_i – ბიომასაა დროის i -ურ მონაკვეთზე, უნდა აღინიშნოს, რომ მასის დაგროვების შეწყვეტას აქვს სხვანაირი ხასიათი. იგი დამოკიდებულია შეწყვეტის ხანგრძლივობაზე, მცენარის განვითარების ფაზაზე და ამდენად, ერთგვაროვანი მსჯელობა ერთი და იგივე დროით შეწყვეტაზე, სხვადასხვა ფაზებში არალოგიკურია და რაც მთავარია, შედეგი აბსოლუტურად განსხვავებული შეიძლება იყოს. ანალოგიური მოდელია შემოთავაზებული ვ.შუმაკოვი მიერ /101/;

მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესის მოდელირებისათვის ა.კლიმოვი იყენებს s -ტიპის მრუდის აპროქსიმაციას;

$$\frac{dy}{d\tau} = K(x_i)\tau^\beta \cdot \exp(-\varepsilon\tau); \quad i = \overline{1, n} \quad (1.10)$$

სადაც: y – მშრალი ბიომასის წონაა, $k(x_i)$ – კოეფიციენტია, რომელიც დამოკიდებულია გარემოს პირობებზე x_i ; β ; ε – მუდმივია.

ბიომასის დაგროვების დინამიურ მოდელთა რიცხვს ეკუთვნის ა.სტოლიაროვის მოდელი, რომელიც დამყარებულია ცნობილ რობერტსონის განტოლებაზე და აქვს შემდეგი სახე /82/:

$$\frac{dy}{d\tau} = Ky(a - y); \quad (1.11)$$

სადაც: y – დაგროვილი ბიომასაა; τ – დროის პარამეტრი; k – გარემოს პირობებზე დამოკიდებული კოეფიციენტია; a – კონსტანტაა, რომელიც შეესაბამება უკიდურეს მნიშვნელობას, რომელსაც შეიძლება მიაღწიოს ბიომასამ, როცა $k=1$.

სამხრეთის ჰიდროტექნიკისა და მელიორაციის სამეცნიერო კვლევითი ინსტიტუტის (iuJniigim) თანამშრომლების მიერ /102/ შედგენილია მოდელი, რომელიც აღწერს სიმინდის, ხორბლის და იონჯის ზრდა-განვითარების პროცესს. მოდელში ბიომასის დაგროვების პროცესი ერთეულ ფართზე აღიწერება შემდეგი სახის განტოლებათა სისტემით:

$$\left. \begin{aligned} y_0(\tau+1) &= y_0(\tau) + \Delta y_0(\tau) \\ y_1(\tau+1) &= y_0(\tau) + \Delta y_1(\tau) \end{aligned} \right\} \Delta y_i(\tau) = \begin{cases} u[V(\tau)]y_1(\tau); \\ 0,05\Delta y_0; \tau \leq T_m \\ -0,025; \tau > T_m \end{cases} \quad (1.12)$$

სადაც: τ – ვეგეტაციური პერიოდის ნომერია; y_0 – ფოთლის ზედაპირის ერთეულის ფოტოსინთეზის მშრალი პროდუქტია; T_m – დაქუჩუჩობის სავარაუდო თარიღი: $V=[y_i, i=1,7]$; V ვექტორის კომპონენტებად y_1 -ის გარდა ითვლება y_2 – ჯამური მზისმიერი რადიაცია ჰორიზონტალურ ზედაპირზე (კალ/სმ², დღე-ღამე); y_3 – საშუალო დღე-ღამური ჰაერის ტემპერატურაა ცელსიუსის შკალით; y_4 – ჰაერის ტენიანობის დეფიციტი (მ.ზარი); y_5 – 0-0,5 მ-ის ნიადაგის ფენაში მცენარისათვის მისაწვდომი აზოტის შედგენილობა (კგ/ჰა); y_6 – 0-0,5 მ ნიადაგის ფენაში მცენარისათვის მისაწვდომი ფოსფორის შედგენილობა (კგ/ჰა); y_7 – აქტიური ტენის მარაგია ნიადაგის ნახევარმეტრიან ფენაში /52/.

მარცვლეული კულტურების მოსავლის ფორმირების ე.გალიამინისეული მოდელი წარმოადგენს ბლოკურ სისტემას, რომელიც იძლევა ბიომასის დაგროვების ანგარიშის საშუალებას გარემო ფაქტორებთან დამოკიდებულებით. მათემატიკური მოდელი შეიცავს რამდენიმე ქვესისტემას და აქვს შემდეგი სახე /23/, /25/.

$$\begin{aligned} M^*(\tau+1) &= M^*(\tau) + a^* \sum_{j=1}^e m_j + \sum_{i=1}^{n-1} b_i \hat{M}_i(\tau) \\ \hat{M}(\tau+1) &= (1 - b_i - V_i) \hat{M}_i(\tau) + a_i \sum_{j=1}^e m_j \\ M_i(\tau+1) &= (1 - \omega_i) M_i(\tau) + a_i \sum_{j=1}^e m_j - b_i \hat{M}_i(\tau) \end{aligned} \quad (1.13)$$

$$L_j(\tau+1) = (1 - g_i) L_i(\tau) + \beta_j \sum_{j=1}^e m_j$$

$$i \in J, \quad |J| = n, \quad j \in J, \quad |J| = e, \quad J \in L$$

$$a^* + \sum_{j=1}^{n-1} a_j = 1 \quad (a^*; a_i; \beta_i; b_i; V_i; g_i; \omega_i) \geq 0$$

$$\Delta V_i = v_i \hat{M}_i \Delta \tau$$

სადაც: M^* – სამეურნეოდ სასარგებლო ორგანოს მშრალი ბიომასის წონა; τ – დროის პარამეტრი; $a^* = \Delta \mu^* / \Delta \mu$ – პროდუქტიულობის პარამეტრია, რომელიც ახასიათებს ახლად წარმოქმნილი ასიმილიატების განაწილებას ორგანოებში (ზრდის ფუნქცია პირველად შემოდებული იყო ი.როსის მიერ); m_i – მშრალი ბიომასის ნამატია; i -ურ ორგანოში, ერთეულ დროში; $b_i = \Delta B_i / \Delta \tau$; \hat{M}_i^{-1} – პროდუქტიულობის პარამეტრია, რომელიც ახასიათებს ადრე წარმოქმნილი ასიმილიატების გადაადგილებას; M_i – i -ური ორგანოს მშრალი მასის წონა; a_i, v_i, ω_i, g_i – პროდუქტიულობის პარამეტრია, რომელიც დროის ცხადი ფუნქციებია; M_i – მშრალი ბიომასის ნამატია i -ურ ორგანოში, L_i – i -ური ასიმილაციური აპარატის ფართობი.

(1.13) სისტემაში შემავალ განტოლებათა რიცხვი დამოკიდებულია მცენარის სახეობაზე და მათ ხასიათზე. აღნიშნულ განტოლებათა სისტემა, პრინციპში, საშუალებას იძლევა, მცენარის მშრალი ბიომას განისაზღვროს იმ შემთხვევისათვის, თუ ცნობილია ზრდის ფუნქცია. ხშირად ზრდის ფუნქციის დადგენა ყოველთვის ვერ ხერხდება, ან ხერხდება დიდი ცდომილებით და ვერ აკმაყოფილებენ მოსავლიანობის პროგნოზირების მოთხოვნილ სიზუსტეს (განსაკუთრებით, როცა მოსავლიანობა ახლოსაა მის ბიოლოგიურ ზღვართან), ზრდის ფუნქციის დადგენის სირთულესთან, რაც თავის მხრივ, დაკავშირებულია ასიმილაციური აპარატის ფართობის დადგენასთან. მისი მნიშვნელობის დადგენა ძლზედ რთულია ახლად წარმოქმნილ ასიმილიატებში და მკვდარ ასიმილიატებში.

ზოგიერთი მკვლევარი ბიომასის მატებასა და საერთოდ, მცენარის ზრდა-განვითარებას უკავშირებენ მცენარის ტანში წყლისა და საკვები ელემენტების გადაადგილებას. ასეთი პროცესის მოდელირებისათვის კი იყენებენ ცნობილ ჰიდრაულიკურ მოდელს – სითხის მოძრაობა კაპილარებში ან გრუნტში /27,56,94/. ან კიდევ მოდელს, რომლებიც დამყარებულია ცნობილ არაგაჯერებულ ტენგადატანის ზღვრულ ამოცანებზე /16/. ამ ტიპის მოდელების კლასიკურ მაგალითს წარმოადგენს მ.ხუბლარიანის მოდელი, რომელსაც აქვს შემდეგი სახე /94/.

$$r \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K \frac{\partial p}{\partial x} - \rho g K + a^{-2} \frac{\partial^2 p}{\partial t \partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial T}{\partial x} \right) \right] + f_1$$

$$V = -\frac{K}{M} \left(\frac{\partial p}{\partial x} - \rho g \right)$$

$$q = \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(r_1 \frac{\partial p}{\partial x} - e v \frac{\partial T}{\partial x} \right) + f_2 \quad (1.14)$$

$$\frac{\partial(Wc)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_c \frac{\partial c}{\partial x} \right) - v \frac{\partial c}{\partial t} + f_2$$

$$N = b_1 + b_2$$

სადაც: $\partial b_1 / \partial t = -\beta(ab_1 - m_0 c)$; $\partial b_2 / \partial t = \gamma(c_m - c)b_2^2$; p – წნევაა, T – ტემპერატურა, C – მარილების კონცენტრაცია ხსნარში, $r = \frac{\partial W}{\partial t}$; N – მარილების კონცენტრაცია მკვრივ ფორმაში; q – გრენტის მოცულობითი სითბოტევადობა; f_1 – ნიადაგის ტენის შეწოვის ინტენსივობა; f_2 – სითბოს კერა; f_3 – საკვებ ნივთიერებათა შთანთქმის ინტენსივობა; K, D_T – ტენისა და სითბოგამტარობის კოეფიციენტებია შესაბამისად: $e v \frac{\partial T}{\partial x}$ – შეიძლება გათვალისწინებული იქნეს როცა $e=1$ ან გამოტოვებული როცა $e=0$.

ო. სიროტენკო აგროცენოზის პროდუქტიულ პროცესს აღწერს დიფერენციალური განტოლებათა სისტემით. /79/:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{LG}{\varepsilon(1-h_k)} \int_{\tau_B}^{\tau_3} \overline{\Phi}(J, E, T) d\tau - \frac{h_0}{1+h_k} \varphi_T M$$

$$\frac{dm_p}{dt} = \begin{cases} \alpha p(\omega) \frac{dm}{dt}, \\ \frac{LG}{\varepsilon} [\alpha p(\omega) h_k] \int_{\tau_B}^{\tau_3} \overline{\Phi}_L(E, \bar{J}, T) d\tau - h_0 m p \end{cases}$$

$$\text{როცა } \frac{dM}{dt} \geq 0; \quad \frac{dM}{dt} < 0$$

სადაც: M – მთლიანი მშრალი ბიომასა; m_p – მცენარის ორგანოს მშრალი ბიომასა; LG – ფოტოსინთეზირებადი ზედაპირის ფართობი; ε – გაზცვლის კოეფიციენტი; h_0, h_R – სუნთქვის კოეფიციენტებია, τ_B, τ_3 – მზის ამოსვლისა და ჩასვლის

დროა; $\bar{\Phi}_L$ – ფოტოსინთეზის ინტენსივობა; \bar{J} – ფოთლის მიერ შთანთქმული რადიაციის ინტენსივობა; E – ჯამური აორთქლება; T – ტემპერატურა; φ_T – სუნთქვის ტემპერატურული კოეფიციენტი; $ap(\omega)$ – ზრდის ფუნქცია; ω – ეფექტური ტემპერატურათა ჯამია (ბიოლოგიური დრო); W – ტენმარაგია ნიადაგში; d – წყლის ორთქლის დრეკადობის კოეფიციენტი; R – ნალექების სიდიდე; F – ტენცვლა ნიადაგის ქვედა ფენებთან; $\bar{\theta}_z$ – ნიადაგში ფესვთა განვითარების ზონის საშუალო სინოტივე კონტურზე; θ_h – ნიადაგის სინოტივე ფესვთა განვითარების ზონის ქვემოთ; Z – ფესვების გავრცელების სიღრმე; ρ_r – ფესვის მასის სიმკვრივე; m_r – ფესვების მშრალი ბიომასა.

როგორც სისტემიდან (1.15) ჩანს, მოდელი საკმაოდ სრულყოფილია, მაგრამ იგი შეიცავს ბევრ ისეთ პარამეტერს, რომლის დადგენა მცენარის ვეგეტაციის პერიოდში ხშირად შეუძლებელია, ან მისი დადგენის სიზუსტე ვერ აკმაყოფილებს მოდელის აგების პრინციპებს და მისი პრაქტიკული გამოყენების შესაძლებლობა ძალზე შეზღუდულია.

წყლის რეჟიმის მიკრომოდელირების ოპტიმიზაცია ფესვთა სისტემის ზონაში ჯერჯერობით არაა სათანადოდ შესწავლილი /15, 36, 48, 57/.

ლ. სტროსნაიდერი, ისევე როგორც მ. ხუმლარიანი, დარსის კანონზე და უწყვეტობის განტოლებაზე დაყრდნობით ბიომასის მატებას ნიადაგის ტენის მოძრაობას უკავშირებს. /69/.

$$q = -K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial Z} + 1 \right), \quad (1.16)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \frac{\partial q}{\partial Z} - S$$

სადაც: θ – მოცულობითი სინოტივე; t – დრო; S – დროის ერთეულში ფესვების მიერ შთანთქმული წყლის მოცულობა.

ნ. მოდებაძე თავის მოდელს აგებს ცნობილ ლიბიხის პრინციპზე, რომელიც ითვალისწინებს იმ ფაქტორებს, რომელიც აუცილებელია ბიომასის წარმოქმნისათვის და ამასთანავე, თუ ერთ-ერთი პარამეტრიც ნულის ტოლია მცენარე იღუპება. მოდელი წარმოდგენილია დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის სახით /59/.

$$\begin{cases} \frac{dy}{d\tau} = \frac{\alpha\chi}{T} (W - W^*) \left(1 - \frac{W}{W^*}\right) y \frac{\bar{t}}{t^* - t_*} \bar{Q} - \frac{\chi}{T} y^3, \dots \\ \frac{dw}{d\tau} = -\frac{\beta}{T} y + \frac{\gamma\delta}{T} \sum W_i \frac{\bar{Q}}{Q_*} \cdot \frac{\bar{t}}{t^* - t_*} \end{cases} \quad (1.17)$$

სადაც: y – ნებისმიერი კულტურის მოსავლიანობა; τ – დროის ცვლადი პარამეტრია; χ – წყლის მოცულობითი წონა; T – დროის მაკრომასშტაბია (დეკადა, წელი, სეზონი, სავეგეტაციო პერიოდი); W – ნიადაგისათვის აუცილებელი ტენი; W^*, W^* – ტენის ზედა და ქვედა ზღვარია, რომლის გარეთაც მცენარე იწყებს ჭკნობას, ზედმეტი ტენის ან ტენის დეფიციტის გამო. შესაბამისად; \bar{t} – საშუალო დღე-ღამური ტემპერატურათა ჯამია სავეგეტაციო პერიოდში; t^*, t_* – შესაბამისად ტემპერატურის ზედა და ქვედა ზღვარია, რომლის გარეთაც მცენარე იწყებს ჭკნობას; \bar{Q} – მინერალური სასუქების რაოდენობა; $\sum W_i$ – ჯამური წყლის რაოდენობაა ზედაპირული ჩამონადენის, ფილტრირებული და აორთქლებული წყლის გამოკლებით; $\alpha, \beta, \chi, \delta$ – უგანზომილებო კოეფიციენტებია, რომლებიც წარმოადგენენ ტემპერატურის, ტრანსპირაციის და ა.შ. ფუნქციას.

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, შეიძლება დავასკავნათ, რომ დღეისათვის არ არსებობს ერთიანი აზრი და მიდგომა, რომლებიც უპასუხებენ მოდელირების ყველა პრინციპებს, მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესისათვის, რის გამოც მოსავლიანობის პროგნოზირების მეთოდებიც არაა დახვეწილი იმ დონეზე, რომ პრაქტიკაში მათი გამოყენება შეიძლებოდეს დიდი რისკის გარეშე.

1.3 წყლის გავლენა მოსავლიანობის დინამიკაზე და მისი შეფასების არსებული მეთოდები

ცოცხალი ორგანიზმების და მათ შორის მცენარეს ზრდა-განვითარების წყლის გარეშე შეუძლებელია. ამაზე მიუთითებს ის ფაქტიც, რომ ცოცხალი უჯრედის წონის უმეტეს ნაწილს წყალი წარმოადგენს და ზოგიერთ ცოცხალ ორგანიზმებში მისი მნიშვნელობა 90%-ს შეადგენს. სენტ-ეკუიუპერი წყლის როლს ასე აფასებდა: “წყალო! შენ მარტო აუცილებელი კი არ ხარ სიცოცხლისათვის, შენ თვითონ სიცოცხლე ხარ”. ხშირ შემთხვევაში ორგანიზმების წყლით უზრუნველყოფა ბუნებრივ პირობებში ვერ

ხერხდება და აუცილებელი ხდება მისი ხელოვნური გზით რეგულირება. სარწყავ ფართობებზე წყლით რეგულირების მიზნით იგება წყალსაცავები, გაყავთ მიმყვანი არხები და აწყობენ მარეგულირებელ ნაგებობებს.

წყალი, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, უპირველესი ფაქტორია მცენარის ზრდა-განვითარების და მოსავლის ჩამოყალიბების პროცესში.

წყალი მონაწილეობს ფოტოსინთეზის პროცესში, საკვები ელემენტების გადატანის პროცესში მცენარის ტანში, ახდენს თერმორეგულაციას მის შიგნით და ა.შ. სასოფლო-სამეურნეო კულტურების წყალუზრუნველყოფის პრობლემის გადაჭრა წარმოადგენს რთულ ამოცანას და საჭიროებს რიგი პრობლემების გათვალისწინებას, რადგანაც იგი დაკავშირებულია იმ გარემოს პირობებზე, რომელშიდაც მას უხდება ცხოვრება, იმ ფიზიოლოგიურ პროცესებზე, რომელიც მიმდინარეობს მცენარეში, ნიადაგის მახასიათებლებზე და სხვა. აღნიშნული პრობლემის სირთულემ და აუცილებლობამ ბევრ მეცნიერს გაუღვიძა სურვილი შეემუშავებინა ისეთი მეთოდი რომლის შედეგად განხორციელდებოდა ამ პრობლემის თუნდაც მიახლოებითი გადაჭრა.

დღევანდელი პირობებისათვის მცენარის ტენუზრუნველყოფის შეფასებას ახდენენ სავეგეტაციო პერიოდში ფართობზე მოსული ნალექების შედარებით ამ რეგიონისათვის და ამ კულტურისათვის წყალმოთხოვნილების დონესთან. თუ მოსული ნალექების დონე აღმოჩნდა მცენარის წყალმოთხოვნილებაზე ნაკლები ისახება სარწყავი სისტემის მოწყობის აუცილებლობა.

მცენარის წყალმოთხოვნილებას დიდი რაოდენობის ემპირიული და თეორიული საანგარიშო დამოკიდებულებები მიეძღვნა დაწყებული ა.მ. ალპატიევიდან დამთავრებული დღევანდელი ამ დარგში მომუშავე მეცნიერებით. მეცნიერების მიერ დამუშავებული მეთოდები ხშირად ძირეულად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. ასე მაგალითად: ალპატიევი ძირითად ელემენტად მცენარის წყალმოთხოვნილების დადგენის პროცესში იღებს წყლის ორთქლის დრეკადობის დეფიციტს, მეორე ელემენტად აღებული აქვს ე.წ. აორთქლების ბიოლოგიური კოეფიციენტი [7].

ა. როდესაც მცენარის მიმართებაში ნიადაგის ტენს ყოფს ხუთ კატეგორიად:

1. აბსოლუტურად აუთვისებელი ტენი (ე.წ. ნიადაგის მკვდარი მარაგი), რომელიც დაახლოებით ეთანადება მყარად შეკავშირებული წყლის მაქსიმალურ შემადგენლობას.
2. საკმაოდ ძნელად მისაწვდომი ტენი. ეს არის ფხვიერად შეკავშირებული წყლის ნაწილი მკვდარი მარაგიდან ჭკნობის სინოტივემდე, რომლის დროსაც მცენარე განიცდის ტენის მძაფრ დეფიციტს.
3. პირობითად ძნელად მისაწვდომი ტენი. ეს სიდიდე იმყოფება ჭკნობის სინოტივესა და კაპილარული გაწყვეტის სინოტივეს შორის. ეს ტენის ის კატეგორიაა, რომლის დროსაც ჩამოკიდებული ტენი, აორთქლების პროცესში კარგავს გადაადგილების თვისებას ასაორთქლებელი ზედაპირისაკენ.
4. სასუალოდ მისაწვდომი ტენი ხასიათდება გადაადგილებით და მოთავსებულია კაპილარული გაწყვეტის სინოტივესა და მინდვრის (უმცირესი) წყალტევადობას შორის. უმცირესი წყალტევადობა არის აბსოლუტური წყალტევადობა. მინდვრის წყალტევადობა თიხნარი ნიადაგებისათვის საშუალოდ ტოლია 170-190 მმ, ქვიშნარებისთვის 160-180 მმ და ქვიშისათვის 80-120 მმ პროდუქტიული ტენისა ნიადაგის 1მ-იან ფენაში.
5. ადვილად მისაწვდომი ტენი მდებარეობს უმცირეს წყალტევადობასა და სრულ წყალტევადობას შორის. ეს უკანასკნელი წარმოადგენს ტენის იმ მაქსიმალურ სიდიდეს, რომელიც შეუძლია დაიკაოს ნიადაგმა მისი ფორების სრული შევსებისას. ტენის ეს დონე ხასიათდება გადაადგილების მაქსიმალური შესაძლებლობით, მაგრამ ამ დროს შეზღუდულია ნიადაგში ჟანგბადის გადაადგილება.

ნიადაგის ტენის ზემოთ მოყვანილი მთლიანი სპექტრი გაერთიანებულია ორ ძირითად ჯგუფში. 1-2 კატეგორია მიეკუთვნება არაპროდუქტიულ კატეგორიას, ხოლო 3-5 ტენის პროდუქტიულ კატეგორიას, რომლის ქვედა საზღვარს წარმოადგენს ჭკნობის სინოტივე (წერტილი). ბუნებრივია მცენარის ოპტიმალური ტენი დევს ჭკნობის წერტილი ზემოთ.

იმის და მიხედვით, თუ რა გრუნტებთან გვაქვს საქმე და რომელ კულტურასთან ნიადაგის ტენის ცვალებადობის დინამიკა სხვადასხვანაირია. ასე მაგალითად: ვაზი დ.

ტაბიძის მონაცემებით კარგად გრძნობს მინდვრის ზღვრული წყალტევადობიდან 40-80%-ის დროს; ო. ცუცუნაშვილის მიხედვით სიმინდი თავს კარგად გრძნობს 80%; გ. ლგოვის მიხედვით ხორბალი თავს კარგად გრძნობს 78% (რწყვა იწყება 60%); იგივე მონაცემები აქვს კ. შუმაკოვს და ბ. შუმაკოვს [83, 96, 52, 98, 99].

რა თქმა უნდა მცენარისათვის ოპტიმალური ტენის დაცვა პრაქტიკულად შეუძლებელია, მაგრამ მისი ქვედა და ზედა ზღვარს შორის რეგულირება შესაძლებელია თუ რეგიონს გააჩნია საკმაო წყლის რესურსები, კარგად მოწყობილი სარწყავი ქსელი და რწყვის ტექნიკის მაღალი ტექნოლოგია.

ნიადაგის ტენის რეჟიმის დეტალურმა შესწავლამ მეცნიერებს საშუალება მისცა გამოეკვლინათ პროდუქტიული ტენის წლიური რეჟიმის 4 ძირითადი ტიპი: 1) გაწყლოვანების ტიპი, 2) კაპიტალური გატენიანების ტიპი, 3) სრული საგაზაფხული გაჟღენთვის ტიპი და 4) სუსტი საგაზაფხულო გაჟღენთვის ტიპი [104].

პირველი ტიპი ხასიათდება მცენარის ფესვთა განვითარების ზონაში დიდი რაოდენობით ადვილად მისაწვდომი წყლის არსებობით. ამასთან ზამთრის პერიოდში ხდება წყლის მოზიდვა გრუნტის წყლებიდან, რომლებიც განლაგებული არიან ახლოს. გაზაფხულზე დაგროვილი, ზედმეტი წყალი გადის მინდვრის ფარგლებს გარეთ.

მეორე ტიპი პირველიდან განსხვავდება იმით, რომ გრუნტის წყლები ფესვთა განვითარების ზონამდე აღწევენ მხოლოდ სავეგეტაციო პერიოდის ცალკეულ პერიოდებში. წყლის ძირითად პერიოდში მიმდინარეობს კაპიტალური შემოდინება ფესვთა განვითარების ზონაში.

მესამე ტიპი განპირობებულია გრუნტის წყლების დიდი სიღრმით, იოლად მისაწვდომი წყალი ამ შემთხვევაში არსებობს მხოლოდ გაზაფხულზე თოვლის დნობის პერიოდში.

მეოთხე ტიპი ხასიათდება იმით, რომ გრუნტის წყლების დიდ სიღრმეებზე განლაგებისას წლის მთელ პერიოდში, თოვლის დნობის პერიოდის გარდა, ნიადაგი მოკლებულია ადვილად მისაწვდომ ტენს.

მცენარის წყალუზრუნველყოფას ნიადაგის წყალმარაგის მიხედვით ჩვეულებრივად აფასებენ ნიადაგში არსებული წყლის მარაგის შედარებით უმცირეს წყალტევადობასთან. ამ სიდიდის შედარებით წყალმოთხოვნილებასთან ნიადაგში

გაზაფხულზე არსებულ ტენს საორიენტაციოდ აფასებენ ასე: 180-160 მმ – კარგი; 160-130 მმ – დამაკმაყოფილებელი; 130-80 მმ – არასაკმარისი; 80-50 მმ – ცუდი (ლაპარაკია 1 მ-იან ნიადაგის ფენაზე).

მცენარის წყლის ბალანსი შეიძლება შეფასებული იქნეს მინდვრის წყლის ბალანსის დახმარებით. მინდვრის წყლის ბალანსის ქვეშ გულისხმობენ სხვაობას შემოსული და დახარჯული წყლის ოდენობით მცენარის ფესვთა სისტემის განვითარების ზონაში ვეგეტაციის გარკვეულ შუალედში მინდვრის სრული წყლის ბალანსი ა.ა. როდეს მიხედვით გამოისახება ასე [104].

$$W_0 + X + q_{FP} + q_K - E_n + E_T + W_1 + \Delta W + q_n, \quad (1.18)$$

სადაც W_0 – წყლის მარაგია ფესვთა სისტემის განვითარების ზონაში საწყის პერიოდში; W_1 – ტენის მარაგია ნიადაგში საანგარიშო პერიოდში; X – ნალექის სიდიდეა; q_{FP} – ტენია, რომელიც შემოდის გრუნტის წყლებიდან; q_K – ორთქლის კონდენსაციაა; E_n – აორთქლებაა ნიადაგის ზედაპირიდან; E_T – ტრანსპორაციაა; q_n – ზედაპირული ჩამონადენია; ΔW – ნიადაგის ტენმარაგის ცვლილებაა.

თუ წყლის დანახარჯი აღემატება მის შემოდინებას, მცენარე განიცდის წყლის ნაკლებობას. თუ წყლის შემოდინება აღემატება მის ხარჯვით ნაწილს იქმნება ტენის სიჭარბე და მცენარის სუნთქვა ფერხდება.

მინდვრის წყლის ბალანსი შეიძლება გამოისახოს ასეც [59]:

$$\sum W_i = Q_{FP} + Q_{AT} - (Q_{\text{ფ}} + Q_{CT} + Q_E) \quad (1.19)$$

სადაც $\sum W_i$ – ნებისმიერი ნიადაგის პროდუქტიული ტენია; Q_{FP} – ირიგაციული ხარჯია ფართობის ერთეულზე; Q_{AT} – ატმოსფერული ნალექების ჩამონადენია; $Q_{\text{ფ}}$ – ინფირტრაციის ხარჯია; Q_{CT} – ზედაპირული ჩამონადენია; Q_E – ნიადაგის ზედაპირიდან აორთქლებაა.

თუ (1.19)-ის მარჯვენა მხარე აღმოჩნდა მცენარის წყალმოთხოვნილებაზე ნაკლები აუცილებელი ხდება მორწყვა და წყლის დეფიციტის შევსება.

ცნობილი მეცნიერი მ.ი. ბუდიკო მცენარის მოთხოვნილებას წყალზე აიგივებს აორთქლებასთან, ე.ი. აორთქლების პოტენციურ შესაძლებლობასთან. მან დაადგინა, რომ აორთქლებადობა პროპორციულია წყლის ორთქლის დეფიციტისა, რომელიც

ნაანგარიშებია ასაორთქლებელი ზედაპირის ტემპერატურის მიხედვით. აქედან გამომდინარე შემოთავაზებულია საანგარიშო ფორმულა:

$$E_0 = \rho D(q_s - q) \quad (1.20)$$

სადაც ρ - ჰაერის სიმკვრივეა; D - ტურბულენტური დიფუზიის ინტეგრალური კოეფიციენტი; q_s - ხვედრითი სინოტივეა წყლის ორთქლით გაჯერებული ჰაერისა, რომელიც ნაანგარიშებია ასაორთქლებელი ზედაპირის ტემპერატურით; q - ჰაერის ხვედრითი სინოტივეა დაკვირვების მონაცემებით.

ს.ი. ხარჩენკომ მცენარის წყალუზრუნველყოფის ანგარიშის მეთოდიკა დაამყარა წყლისა და სითბოს ბალანსის განტოლებათა ერთდროულ ამოხსნაზე. მცენარის წყალმოთხოვნილება მან გამოსახა ასე:

$$E_{on} = \frac{\beta(R_0 - P_0)}{Z\gamma} \omega_{huB} \quad (1.21)$$

სადაც R_0 - მინდვრის რადიაციული ბალანსია; P_0 - სითბოს ნაკადია ნიადაგში; Z - აორთქლების ფარული სითბო; ω_{huB} - ტენის მარაგია ნიადაგის საანგარიშო ფენაში უმცირესი წყალტევადობისას; γ - სხვაობაა უმცირეს წყალტევადობისა და ჰუნობის სინოტივესთან; β - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ფოტოცენოზის ბიოლოგიურ ხასიათს და ქმედითი ზედაპირის მდგომარეობას.

მცენარის წყალუზრუნველყოფა შეიძლება შეფასებული იქნეს მცენარის ფესვთა სისტემის განვითარების ზონაში წყლის ბალანსის შეფარდებით ოპტიმალურ წყალმოთხოვნილებასთან:

$$\eta = \frac{X + (\omega_{hn} - \omega_{hk}) + I_n - I_{ნობ}}{E_{on}} \quad (1.22)$$

სადაც X - ნალექების სიდიდეა; ω_{hn} , ω_{hk} - მეტრიან ნიადაგის ფენაში საწყისი და საბოლოო ტენმარაგია; K_n - მცენარის ფესვთა განვითარების ზონის ქვემოდან ტენის ნაკადია; I_n - ტენის ინფილტრაციაა; $I_{ნობ}$ - ზედაპირული ჩამონადენია.

ყოველივე ზემოთ მოყვანილი და კიდევ უამრავი მასალა მიგვანიშნებს იმაზე, რომ მცენარის ზრდა-განვითარება წყლის მარაგის გარეშე გამორიცხებულია. იმისათვის, რომ მიღწეული იქნეს სასოფლო-სამეურნეო კულტურების წარმოების მაღალი ეფექტიანობა აუცილებელია განხორციელდეს მინდვრის წყლის ბალანსის მართვა მცენარის ბიოლოგიური მოთხოვნილების შესაბამისად.

ზემოთ მოყვანილ წყლის ბალანსის მართვას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება არიდულ ზონაში, სადაც მცენარის ოპტიმალური წყლის ბალანსი ბუნებრივ პირობებში არ ყალიბდება და მოითხოვს მის ხელოვნურ შევსებას. ხელოვნური შევსებისათვის აუცილებელი ხდება სააკუმულაციო წყალსაცავების შექმნა და სარწყავი სისტემების ოპტიმალური მოწყობა.

როგორც ცნობილია მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესში მონაწილეობას ღებულობს უამრავი გარე და შიგა ფაქტორები, მაგრამ მათ შორის წყალს, როგორც ერთ-ერთ აუცილებელ ელემენტს პრიორიტეტული მნიშვნელობა ენიჭება. ეს პრიორიტეტი მაღლდება იმითაც, რომ იგი მართვადი ფაქტორია და ემორჩილება ადამიანის აზრსა და გონებას. აქედან გამომდინარე მცენარის ზრდა განვითარების პროცესის მათემატიკური მოდელირებისას ყველა დანარჩენი ფაქტორის გათვალისწინება უნდა მოხდეს წყალუზრუნველყოფის პოტენციური შესაძლებლობის ფონზე. წყლის რესურსები თითქმის ყველა სოფლის მეურნეობის პროდუქტების მწარმოებელ ქვეყანაში შეზღუდულია და განიცდის მის დეფიციტს წლის გარკვეულ პერიოდში მაინც. ამ პერიოდში მცენარის წყლის რესურსით არა ოპტიმალურმა უზრუნველყოფამ შეიძლება უარყოფითად გადაწყვიტოს მოსავლის ბედი. ამიტომაც არსებობს გამოთქმა “სოფლის მეურნეობა ყოველთვის სარისკოა”. იმისათვის, რომ მოიხსნას ანდა თუნდაც შემცირდეს რისკი ყოველი ქვეყანა ვალდებულია გარისკოს და ააშენოს ირიგაციული წყალსაცავები და ტექნიკურად მაღალ დონეზე აღჭურვილი სარწყავი სისტემები, მოახდინოს ფასიანი წყალმომარაგება და ზუსტი წყალადრიცხვა.

თავი II. მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესზე ფაქტორთა როლი მოსავლიანობის ჩამოყალიბებაში და მათი გავლენის ანალიზი

2.1. მცენარეთა წყლის რეჟიმი

ნებისმიერი ცოცხალი ორგანიზმის და მათ შორის მცენარის (ცოცხალია ყველა ორგანიზმი, რომელიც წარმოიშობა, იზრდება, კვდება და ტოვებს შთამომავლობას), განვითარება დიდი რაოდენობის გარე და შიგა ფაქტორების ურთიერთქმედების ფონზე

ხდება. აქვე უნდა შევნიშნოთ, რომ ეს ფაქტორები იცვლებიან დროში და სივრცეში მთელი პროცესის მანძილზე. მცენარის განვითარება არაა ზრდის ექვივალენტური. განსაზღვრა “განვითარება” შეეხება მცენარის ფიზიოლოგიურ ასაკს და მის მორფოლოგიურ სახეობას მაშინ, როდესაც განსაზღვრა “ზრდა” გამოხატავს, უპირველეს ყოვლისა, ბიომასის მატებას (ზრდას). მცენარის განვითარება არ შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც უბრალოდ დაბერების პროცესი, რადგანაც ტემპერატურას და სხვა გარე ფაქტორებს, შეუძლიათ შესამჩნევად დააჩქარონ ან შეანელონ ეს პროცესი. შედარებით მარტივია დეტერმინანტული მცენარეების ზრდა-განვითარების პროცესის მოდელირება, ე.ი. იმ მცენარეებისა, რომელთა ტანი ბოლოვდება ყვავილთა თაიგულით. მათი განვითარება მიმდინარეობს გარკვეული შაბლონით: თავიდან ფორმირდება თითქმის ერთნაირი რაოდენობის ფოთლები, რის შედეგადაც მცენარე გადადის ყვავილობის ფაზაში და იწყება თესლის ფორმირება. პროცესის ასეთი აღწერილობა ძალიან ახლოსაა გრადუსოიდალურ კონცეფციასთან, რომელიც ფართოდ გამოიყენება მცენარეთა ფიზიოლოგიაში /123/, მაგრამ ტემპერატურა არაა ერთადერთი გარე ფაქტორთაგანი, რომელიც გავლენას ახდენს განვითარების სიჩქარეზე. განვითარების სიჩქარეზე დიდ გავლენას ახდენს დღის ხანგრძლივობა. ანგუსმა, თანაავტორებთან ერთად, /114/ დიდი მოცულობის ექსპერიმენტალური მასალის ანალიზის საფუძველზე დაამტკიცა ეს ფაქტი. ბრემანმა /116/ აჩვენა, თუ როგორ მოქმედებს დღის ხანგრძლივობა ვეგეტაციური პერიოდის ხანგრძლივობაზე ზოგიერთი ერთწლიანი ბალახების მაგალითზე. არსებობს ერთობლივი აზრი იმის შესახებ, რომ მაღალი ტემპერატურა აჩქარებს მცენარის განვითარებას მაშინ, როდესაც გრძელი დღის სინათლე აჩქარებს განვითარების ტემპს გრძელი დღის მცენარეებში და ანელებს მას მოკლე დღის მცენარეებში.

ანალოგიურად შეიძლება განვიხილოთ არადეტერმინანტული მცენარეების განვითარება. ამ შემთხვევაში ვეგეტირებული ორგანოების ზრდა გრძელდება ნაყოფის ფორმირების პარალელურად დროის იმ პერიოდში, რომლის ხანგრძლივობა გენეტიკურად არ პროგრამირდება და დამოკიდებულია გარემო პირობებზე. უწყვეტად ზრდადი მცენარეებისათვის (მაგ. შაქრის ჭარხალი) ჩნდება განვითარების ფაზის დადგენის პრობლემა, რადგანაც ამ მცენარეს არ გააჩნია ყვავილობის ფიქსირებული

პერიოდი. ზოგიერთ შემთხვევაში, სასარგებლოა ვიცოდეთ, როგორაა განაწილებული ბიომასა ასაკში ან განვითარების ფაზებში: მაგალითად, როდის უნდა გავითვალისწინოთ ზრდის პოტენციალი ახალი ორგანოებისათვის ან ახალი ნაყარისათვის – გათიზვის შემდეგ. ახალგაზრდა მერისტემატიკურ ქსოვილს ახასიათებს გაცილებით დიდი ზრდის პოტენციალი, ვიდრე ძველ ქსოვილს და ა.შ.

არსებობს ასიმილატების განაწილების მექანიზმი, რომელიც იმსახურებს განსაკუთრებულ ყურადღებას. ეს არის ურთიერთდამოკიდებულება ფესვებისა და ყლორტების ზრდას შორის. ფუნქციონალური ბალანსის /117/ კონცეფციის თანახმად, ყლორტები საჭიროებენ ფესვების გარკვეულ რაოდენობას, რომლებიც ყლორტებს ამარაგებენ წყლით და საკვებით, ხოლო თვითონ არ შეუძლიათ შეიწოვონ საჭირო რაოდენობის წყალი. ყლორტების ზრდის შენელების და გამოუყენებელი რეზერვების არსებობის შედეგად, მათი დონე იწყებს ზრდას, რაც სტიმულს აძლევს ფესვებს უფრო ინტენსიური ზრდისას. ასე გრძელდება მანამ სანამ არ დამყარდება წონასწორობა ფესვებსა და ყლორტებს შორის. ამ ბალანსის გამო, ფესვები ძირითადად იზრდებიან დღე, ხოლო ყლორტები კი ღამით.

ხორბლის განვითარებისათვის დამახასიათებელია სხვადასხვა ფაზების თანამიმდევრული მონაცვლეობა, რომლებიც ქმნიან ამ კულტურის ზრდის სპეციფიკურ სურათს. გამოიყოფა სამი ძირითადი ფაზა: აღმოცენება, ვეგეტაციური ზრდა და რეპროდუქტიული ზრდა.

აღმონაცენის გამოჩენის შემდეგ, ახალგაზრდა მცენარეები იწყებენ დამოკიდებულებას საკუთარი ნახშირბადისა და აზოტის ასიმილაციისაგან. დასაწყისში, მცენარის ზრდა შეზღუდულია ფოტოსინთეზურად აქტიური ორგანოების სიდიდით და საკვები ნივთიერებების შეწოვის უნარით. ამის გარდა, რადიაციის შთანთქმის გასაუმჯობესებლად, დიდი მნიშვნელობა აქვს ფოთლის ზომას. საწყის ეტაპზე, სასოფლო-სამეურნეო კულტურების უმრავლესობაში, ფოთლის ზედაპირი იზრდება ექსპონენციალურად, რადგანაც ამ ეტაპზე ერთდროულად იზრდება ფოთლების რიცხვი და მათი ზომები.

მარცვლოვნებში და ბალახებში დაბუჩქვა იწვევს ფოთლების ზედაპირის ფართობის ზრდას, სხვა მცენარეებში ეს ეტაპი მჟღავნდება ყლორტების დატოტვის

დროს. ფოთლების ზედაპირის მაქსიმალური ფართი მცენარეებში შეიმჩნება მაშინ, როდესაც ფოთლების დაბერების ინტენსივობა გაუტოლდება ახალი ფოთლების წარმოქმნის ინტენსივობას. დიდ წილ სასოფლო-სამეურნეო კულტურებს შეკრული ფოთლები შეუძლიათ იქონიონ ორ და მეტ თვეს. ასეთი რეპროდუქტიული კულტურები, მაგალითად მარცვლოვნები და სიმინდი, ფოთლების ზრდას წყვეტენ ყვავილობის წინ. ამ ფაზის შემდეგ, იწყება ფოთლების ზედაპირის ფართობის თანდათანობითი და სათანადოდ ფოტოსინთეზური აქტივობის შემცირება. ყოველივე ამის მიზეზს წარმოადგენს ფოთლების დაბერება და კვდომა, რომელიც იწყება ქვედა იარუსიდან. ფოთლების კვდომის სიჩქარე დამოკიდებულია გარემო სამყაროს ფაქტორებზე (ტემპერატურა, სინოტივე, კვება და ა.შ.) და დაავადებების ან მავნე ორგანიზმების არსებობაზე.

მინერალური ნივთიერებების მიწოდება მცენარეში ლიმიტირებულია რიგი ფაქტორებისაგან. მცენარეები ფოთლებიდან ღებულობენ 95%-ზე მეტ ნახშირმჟავა გაზს, შეუძლიათ შეითვისონ არაფესვისმიერი კვების გზით, წყლის ხსნარებიდან ნაცრის ელემენტები, გოგირდი, აზოტი და სხვა.

საკვები ელემენტებით უზრუნველყოფის დონის ცვლილება მცენარეში იწვევს მრავალრიცხოვან საპასუხო რეაქციას. კერძოდ, ერთ-ერთი ელემენტის საჭიროების შემთხვევაში მცენარის დაცვითი რეაქცია შეიძლება გამოვლენილი იქნეს სხვა ელემენტების შთონქმის შემცირებაში; რომელიმე ელემენტის გადამეტებული სიჭარბე, როდესაც მცენარეს ჯერ კიდევ არ ემუქრება სიკვდილი, იწვევს სხვა ელემენტების შთონქმის მკვეთრ შემცირებას. რომელიმე ელემენტის სიჭარბე შეიძლება უვნებელყოფილ იქნეს სხვა ელემენტების შეტანით ნიადაგში, რაც იწვევს ნეიტრალიზაციის რეაქციას, ე.ი. მოქმედებს ცნობილი ჰიპენის პარადოქსი: “ერთი ფაქტორის შემცირება იწვევს მეორე ფაქტორზე მოთხოვნილების ზრდას”.

მცენარის ნორმალურ ზრდა-განვითარებაზე და მასში საკვებ ნივთიერებათა მოძრაობაზე დიდ გავლენას ახდენს ნიადაგში არსებული ტენი. ნიადაგის ტენის გავლენა მცენარეში საკვებ ნივთიერებათა გადაადგილებაზე, განპირობებულია შემდეგი ფიზიოლოგიური და ფიზიკური ფაქტორებით:

- მცენარის საერთო ფიზიოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესებით, რადგანაც ქსოვილის ნორმალური გაწყლოვანება აუმჯობესებს ფოტოსინთეზის პროცესს, ცილების ბიოსინთეზისა და სხვა ნივთიერებათა ცვლის პროცესს, რომლებიც ბევრად განსაზღვრავენ მცენარის მიერ საკვებ ნივთიერებათა შთანთქმის უნარს;
- ფესვების განვითარებით და განლაგებით, ნიადაგში ტენის ნორმალური შემცველობის დროს და ამის გამო საერთო შთანთქმითი თვისებების გაზრდით;
- წყლის უნივერსალობით, როგორც დიფუზიის გარემო ნიადაგობრივი ხსნარიდან და ნიადაგის შთანთქმითი კომპლექსიდან მცენარის ფესვების ბეწვებთან.

ამ ფაქტორებითაა დაკავშირებული ტენის დადებითი გავლენა მცენარეში მაკრო და მიკრო ელემენტების გადაადგილებაზე.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავალი ფორმირდება დიდი რაოდენობის გარე სამყაროსა და ბიოლოგიურ ფაქტორთა რთული ურთიერთ-ზემოქმედების შედეგად. გარემოს ფაქტორთა შორის, წინა პლანზე დგას ისეთი ფაქტორები, როგორცაა ფოტოსინთეზურად აქტიური რადიაცია (ფარ), სითბო და სინათლე, ნიადაგის ნაყოფიერება და წყალი. სამი პირველი ამ ფაქტორთაგან (ფარ, ჰაერის ტემპერატურა და სინათლე) გლობალურ მასშტაბებში არარეგულირებადი ფაქტორებია, ე.ი. მათი მართვა ადამიანს ჯერ-ჯერობით გლობალური მასშტაბით არ შეუძლია. ორი უკანასკნელი ფაქტორი (საკვები ნივთიერებები და ნიადაგის ტენი) რეგულირებადია. ეს უკანასკნელი ორი ფაქტორი ადამიანს შეუძლია მართოს თუ კი ხელთ აქვს თეორიულად დასაბუთებული და პრაქტიკულად საიმედო ხერხები მათი გაანგარიშებისა სხვა არარეგულირებადი ფაქტორების მიხედვით. ბიოლოგიურ ფაქტორთა შორის აღნიშვნის ღირსია მცენარის გენეტიკური ბუნება, ჯიშობრივი თვისებები, ჩაწოლისადმი მდგრადობა, ყინვაგამძლეობა, გვალვაგამძლეობა და ა.შ., რომლებიც თავის მხრივ, განსაზღვრავენ კულტურის მოსავლიანობას, ხოლო ზოგიერთ კონკრეტულ შემთხვევაში განსაკუთრებული როლიც კი აქვს. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ბიოლოგიურ ფაქტორთა უმრავლესობა ექვემდებარება მართვად პროცესს, ე.ი. ადამიანს შეუძლია ჯიშთა შეჯვარებით, შეცვალოს მცენარის ბიოლოგიური თვისებები თავისი ინტერესების მიხედვით.

მცენარის მოსავლის ფორმირების პროცესში, გარე და ბიოლოგიური ფაქტორების გვერდით, ყურადღების ღირსია ანთროპოგენული ფაქტორებიც, რომლებშიც იგულისხმება აგროტექნიკური ღონისძიებების კომპლექსი, მცენარის ბიოლოგიური ხასიათის მიზანდასახული შეცვლა ახალი ჯიშების გამოყვანის გზით და ჯიშთა შერჩევით იმისდა მიხედვით, თუ როგორია კონკრეტული ობიექტის კლიმატური და გეოგრაფიული პირობები. დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ე.წ. ნეგატიურ ფაქტორებს (ქარი, სეტყვა, ეროზია) ნათესის ქცევის, ზრდა-განვითარების და მოსავლის ფორმირების პროცესში. მათ გარკვეულ მნიშვნელობას შეუძლია ფუჭად აქციოს მთელი სეზონის შრომა. აქედან გამომდინარე, მათი გათვალისწინება მოდელში, თუნდ იმ ფორმით, რომელიც ჩვენ გვაქვს, უნდა ჩაითვალოს პროგრესულ ნაბიჯად.

რამდენადაც სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლის ფორმირების პროცესის მათემატიკურ მოდელირებას აქვს გამოკვეთილი მიზნობრივი მიმართულება, იმდენად მოდელში გათვალისწინებული უნდა იქნენ სასიცოცხლოდ აუცილებელი და შეუცვლელი ფაქტორები, რომლებიც მოდელის ფიზიკურ კოორდინატებზე ახდენენ ყველაზე მნიშვნელოვან გავლენას, დანარჩენი ფაქტორები გათვალისწინებულ უნდა იქნენ შეზღუდვებისა და კოეფიციენტების სახით.

მიწათმოქმედების მრავალსაუკუნოვანმა პრაქტიკამ, არაერთი შემთხვევა იცის მოსავლიანობის შემცირების ან მისი მთლიანად განადგურებისა ისეთი სტიქიური მოვლენების შედეგად, როგორცაა სეტყვა, წყალდიდობა, მტვრის ქარბუქები, მშრალი ქარები, ნიადაგის დამლაშება, ქარისა და წყლისმიერი ეროზია და სხვა. უკანასკნელი ამ მოვლენებიდან გამოუსწორებელ ზარალს აყენებს არა მარტო ერთი სეზონის მოსავალს, არამედ თვით ნიადაგს სამუდამოდ, რომ ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორების გათვალისწინება ერთის მხრივ, მოდელს აქცევს სრულყოფად (წარმოდგენით), მაგრამ მეორეს მხრივ ხდის მას იმდენად მოუქნელად, რომ მისი შედეგების პრაქტიკულად გამოყენება თითქმის შეუძლებელია, ჩვენ კი ვწყვეტთ პრაქტიკულ, ინჟინრულ ამოცანას.

იმის გამო, რომ მოსავლის ფორმირების მათემატიკური მოდელირება ხდება პრაქტიკული ამოცანის გადაჭრის მიზნით (წყლის, მიწის და ქიმრესურსების რაციონალურად გამოყენების მიზნით), მოდელის შექმნა ემყარება მათემატიკური მოდელირების საერთო პრინციპებს (მოდელის სიმარტივე და მაქსიმალური

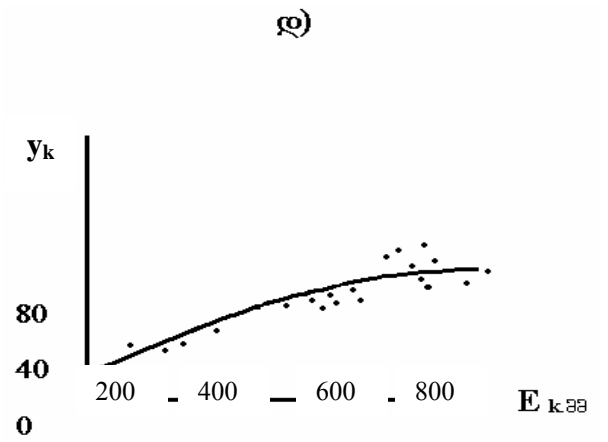
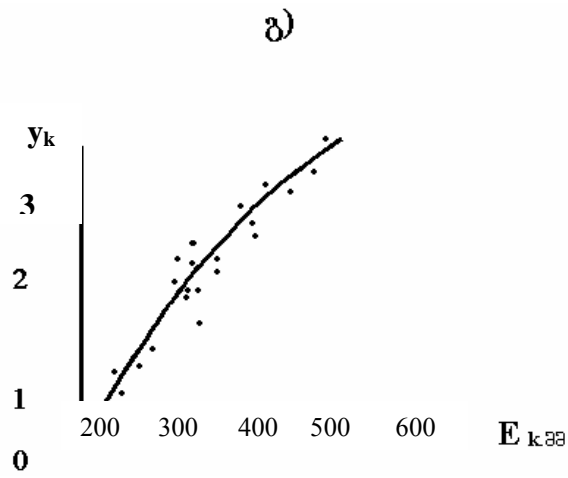
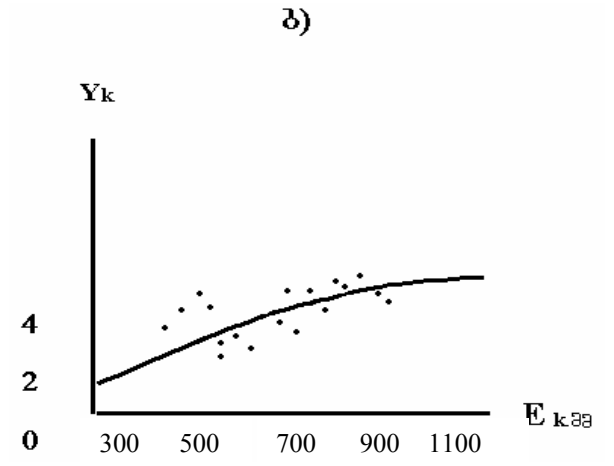
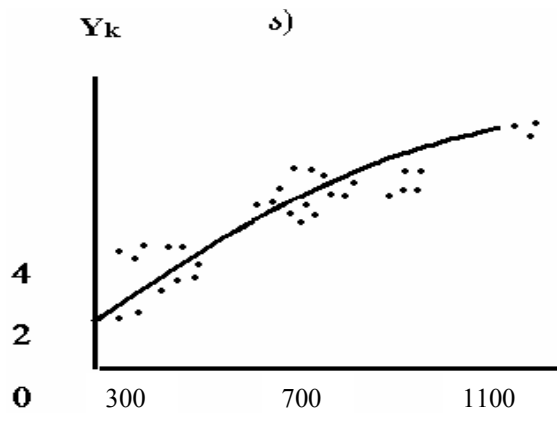
ინფორმაციის შესაძლებლობა), რაც გარკვეულად გვზღუდავს და ამიტომაც, მოდელში შეგვყავს მხოლოდ ის ფაქტორები, რომელთა გარეშეც მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესი არ მიმდინარეობს, ე.ი. მოდელის შექმნას საფუძვლად უდევს ცნობილი – ლიბიხის პრინციპი /121/, რომლის თანახმადაც, ცოცხალი უჯრედის წარმოშობა და განვითარება ხდება მხოლოდ გარკვეულ პირობებში, გარკვეული ფაქტორების მონაწილეობით, რომელთაგან თუგინდ ერთიც რომ გამოირიცხოს, უჯრედი არ წარმოიქმნება. ასეთ ფაქტორებად მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესში გვევლინება ჰაერის ტემპერატურა (სითბო), ნიადაგის სინოტივე (წყალი), საკვები ნივთიერებები, ნიადაგი და სინათლე. მართლაც, ამ ფაქტორებიდან ერთის ამოგდებაც, მცენარის ზრდა-განვითარებას გამორიცხავს. ჩამოთვლილი ფაქტორებიდან სინათლით დედამიწის ის ზედაპირი, სადაც სასოფლო-სამეურნეო წარმოება მიდის გლობალურ მასშტაბებში და ინტენსიურად, თითქმის ერთნაირადაა უზრუნველყოფილი და ამდენად მისი ცვლილება ვერ იმოქმედებს მოდელის ფიზიკურ კოორდინატებზე, ხოლო ნიადაგის გარეშე, გლობალურ მასშტაბებში, სასოფლო წარმოება გამორიცხულია (სხვა ნიადაგის ნაყოფიერება და სინათლის დღე-ღამური ცვალებადობა). ყოველივე ამის გამო, მოდელში მათი გათვალისწინება, როგორც ცვლადი სიდიდეები, ფაზურ კოორდინატებზე ვერ იმოქმედებენ და არც არის აუცილებელი (მათი ზეგავლენა პროცესზე გათვალისწინებული უნდა იქნას კოეფიციენტებში).

მაშასადამე, გვრჩება სამი ძირითადი პოზიტიური ფაქტორი: ნიადაგის ტენი (წყლის რეჟიმი), საკვები ელემენტები (კვების რეჟიმი), ჰაერის ტემპერატურა (თერმული რეჟიმი) და ნეგატიური ფაქტორები: ქარი, სეტყვა და ეროზია, რომლებიც იცვლებიან დროში. ქვემოთ მოგვყავს ყველა ჩამოთვლილი ფაქტორების ანალიზი და მათი ზემოქმედების ხასიათი მცენარის ზრდა-განვითარებაზე.

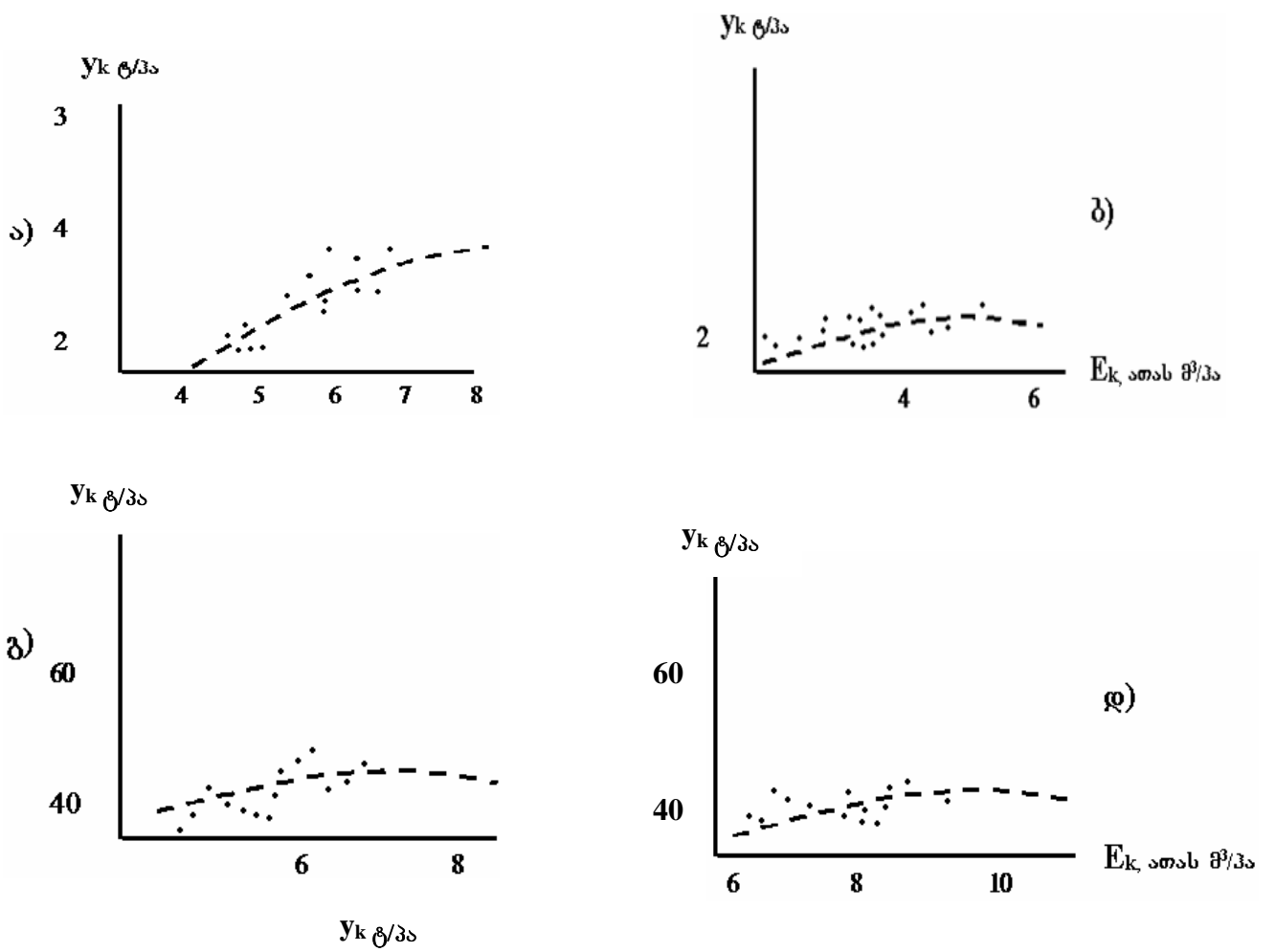
მცენარის ზრდა-განვითარების მათემატიკური მოდელირების ზემოთ მიღებული პრინციპის თანახმად, წყლის რეჟიმი მიღებულია ერთ-ერთ ძირითად და მოსავლიანობის განმსაზღვრელ ფაქტორად. ნიადაგის ტენს მცენარეში გადააქვს საკვები ნივთიერებები, აწესრიგებს თერმო-რეგულაციას, მონაწილეობას იღებს ფოტოსინთეზის პროცესში და როგორც ძირითადი რეაგენტი, ზემოქმედებას ახდენს ჰაერის ნიადაგისპირა ფენის ტენიანობაზე და ა.შ. მიუხედავად ასეთი სასიცოცხლო

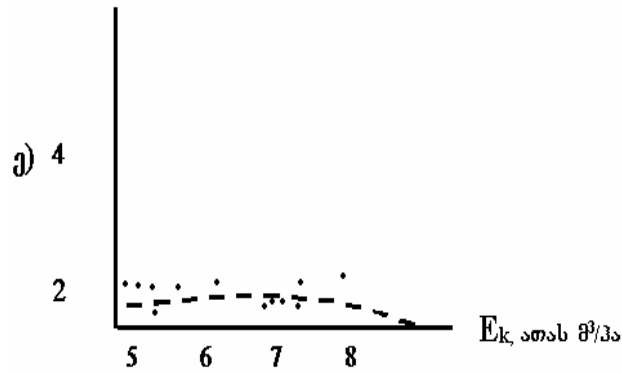
მნიშვნელობისა, წყლის არსებობას ნიადაგში აქვს თავისი ზედა და ქვედა ზღვარი, რომელთა გარეთაც მას ზიანი მოაქვს და უფრო მეტიც, ხდება გარემოს გაჭუჭყიანების გადამტან მექანიზმად. გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ პრაქტიკულად ყველა კულტურას აქვს წყალმოთხოვნილების ზედა ზღვარი (გამონაკლისია რამოდენიმე კულტურა და ისიც განვითარების გარკვეულ ფაზაში). ამ ზღვრის ზემოთ წყალუზრუნველყოფა მკვეთრად აუარესებს მცენარის სუნთქვის პროცესს და შესაბამისად ზრდა-განვითარების პირობებს /7, 40, 59/. ამის გარდა, მოსავლიანობის დამოკიდებულება წყალუზრუნველყოფაზე ირიგაციის გზით, იცვლება წლიდან წლამდე, მინდვრიდან მინდვრამდე, რამდენადაც მოსავლიანობის სიდიდე დაკავშირებულია ნიადაგის ნაყოფიერებაზე, მატეოროლოგიურ პირობებზე და ა.შ. უფრო მეტიც გარემოს ფიქსირებული პირობების დროს და წყლის რესურსების დეფიციტის შემთხვევაში, მოსავლიანობაზე არსებით გავლენას ახდენს რწყვის რეჟიმი, ე.ი. რწყვის ნორმა და ვადები. ამის გამო, აუცილებელი ხდება დადგენილ იქნეს, წყლის ის ოპტიმალური რაოდენობა ცალკეული კულტურისათვის, რომლის დროსაც ზარალი იქნება მინიმუმის ახლოს (ეკოლოგიური, ეკონომიური და სხვა).

სხვადასხვა ავტორების მიერ, სხვადასხვა პერიოდში იყო მცდელობა, ექსპერიმენტალურად დაედგინათ სხვადასხვა კულტურების მოსავლიანობის დამოკიდებულება წყალუზრუნველყოფის, ან ჯამური აორთქლებისგან განსახილველი კლიმატური პირობებისათვის. მაგალითის სახით, შეიძლება გამოვიყვანოთ ზოგიერთი მკვლევარების შედეგები /8, 21, 84, 58, 90/ (სურ 2.1; 2.2; 2.3; 2.4; 2.5;)

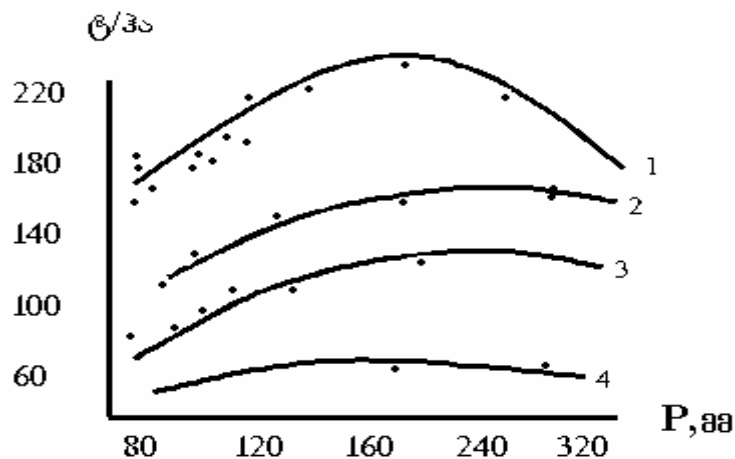


სურ. 2.1. $y_k = (E_k)$ ტ/პა დამოკიდებულების გრაფიკი სხვადასხვა კულტურისათვის საქართველოს პირობებში: ა) _სიმინდი; ბ) _იონჯა; გ) _საშემოდგომო ხორბალი; დ) _შაქრის ჭარხალი.

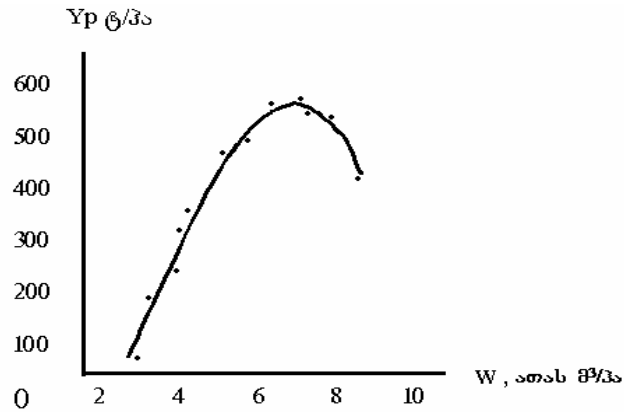




სურ.2.2. $y_k = (E_k)$ ტ/ჰა დამოკიდებულების გრაფიკი სხვადასხვა კულტურისათვის სომხეთის პირობებში: ა) –საშემოდგომო ხორბალი; ბ) –თამბაქო; გ) –პამიდორი; დ) –ვენახი; ე) –ბამბა.

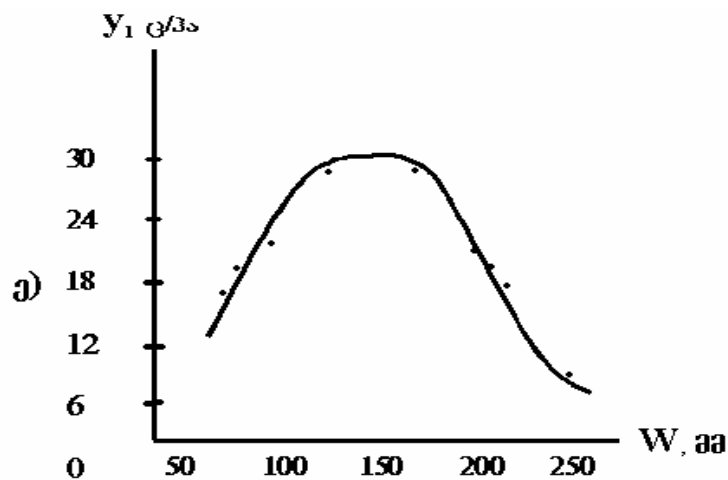


სურ.2.3. მტევნის საშუალო მასის და ნალექებს შორის დამოკიდებულების გრაფიკი ყურძნისათვის: 1 _ დიდი მტევნებიანი ჯიშები (ჩინური, გორული, მწვანე, რქაწითელი); 2 _ საშუალო მტევნებიანი ჯიშები (საფერავი, ციცქა, ცოლიკაური); 3 _ მცირე მტევნებიანი ჯიშები (ალიგოტე, პინო, ფრანი); 4 _ ძლიერ მცირე მტევნებიანი ჯიშები (კაბერნე, სოვინიანი, შარდონე).



სურ.2.4. $y = f(\omega)$ დამოკიდებულების გრაფიკი შაქრის ჭარხლისათვის თელეთის პირობებში.

როგორც მოყვანილი გრაფიკიდან ჩანს, ფუნქცია $y = f(E)$ ან ფუნქცია $y = f(\omega)$ ყოველთვის ამოზნექილია, ე.ი. აქვს ერთი ექსტრემუმის წერტილი, რომელშიაც მოსავლიანობა აღწევს მაქსიმუმს. ექსტრემუმის წერტილი შეესაბამება ბიოლოგიურად ოპტიმალურ წყლის ნორმას. უნდა აღინიშნოს, რომ ექსტრემუმის წერტილში არსებული წყლის საჭირო რაოდენობის დაცვა, (ბიოლოგიურად ოპტიმალური ნორმა) უმრავლეს შემთხვევაში, ეკონომიური თვალსაზრისით, არახელსაყრელია. ეს იმით აიხსნება, რომ ექსტრემუმის წერტილთან ახლო არეში მოსავლიანობის დამოკიდებულება წყალუზრუნველყოფაზე თითქმის არაა.



სურ.2.5. $y = f(\omega)$ დამოკიდებულების გრაფიკი ხორბლის ჯიშისათვის “მექსიკური”.

ე.ი. ამ არეში რწყვის ნორმის გაზრდა თუ კლება, თითქმის არ ცვლის მოსავლიანობის დონეს და აქედან გამომდინარე, ამ რეჟიმში რწყვის განხორციელება არაა მიზანშეწონილი, განსაკუთრებით იმ რეგიონებში, სადაც წყლის რესურსების დეფიციტი იგრძნობა.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ნებისმიერი ცოცხალი ორგანიზმის ცხოველმყოფელობა მჭიდროდაა დაკავშირებული წყალთან. მცენარეები ძლიერ მგრძობიარენი არიან წყლის რეჟიმის ცვალებადობისადმი. ფესვების წყლით რეგულარული მიწოდების დარღვევის შემთხვევაში, წარმოიშობა წყლის დეფიციტი. მცირდება ტრანსპირაციის ინტენსივობა, რის შედეგადაც მცირდება აორთქლებაზე დახარჯული მზის ენერგია, რაც თავის მხრივ, იწვევს ფიზიოლოგიური პროცესების დარღვევას, მუხრუჭდება ზრდა, იზღუდება ფოტოსინთეზი და ა.შ. /61, 62/

რწყვის რეჟიმს ამუშავებენ მცენარის წყალზე საერთო მოთხოვნილების გათვალისწინებით, ე.ი. ჯამური წყალმოთხოვნილების გათვალისწინებით, რომელიც შედგება ორი ძირითადი ნაწილისაგან – ტრანსპირაცია და ნიადაგის ზედაპირიდან აორთქლება. ნიადაგის ზედაპირიდან აორთქლებაზე მოქმედებენ მხოლოდ გარემო ფაქტორები – ჰაერის ტემპერატურა, ჰაერის სინოტივე, ქარის სიჩქარე, ნიადაგის კაპილარობა, გრუნტის წყლის დონე და ა.შ. ტრანსპირაცია განპირობებულია გარე და შიგა ფაქტორების ურთიერთქმედებით – ნიადაგობრივი, თერმული, კვებითი, სუნთქვითი და ა.შ. რეჟიმებით. ჯამური აორთქლებიდან ტრანსპირაციის გამოყოფა ანალიზურად ძლიერ რთულია. მათი თანაფარდობა დამოკიდებულია ბევრ, როგორც შიგა, ასევე გარე ფაქტორებზე: მცენარის თავისებურება, მისი მწვანე მასის განვითარება, განვითარების ფაზა, ვეგეტაციური პერიოდის ხანგრძლივობა, განვითარების ვადები, აღმოცენების პერიოდი, რაიონის კლიმატური მახასიათებლები და მრავალი სხვა. ყოველივე ამის გამო, ჯამური წყალმოთხოვნილება განისაზღვრება არა დანაწევრებულად, არამედ როგორც ერთი მთლიანი, რითაც საკმაოდ მარტივდება ანგარიშები (თუმცა ცდით შეიძლება გამოყოფილი იქნეს ტრანსპირაციული ნაწილი ჯამური აორთქლებიდან, რასაც ვაჩვენებთ ქვემოთ მე-3 თავში).

ბევრი მკვლევარი ჯამურ აორთქლებას (წყალმოთხოვნილებას) გამოსახავს აორთქლებადობით. მსოფლიო სტანდარტების მიხედვით აორთქლებადობას (პოტენციალური ევაპოტრანსპირაცია) განსაზღვრავენ სტანდარტული სარწყავი კულტურისათვის – იონჯისათვის, მცენარის დგომის სიმაღლით არანაკლებ 0,3-0,5 მ. იმ პირობით, რომ წყლის მოდინება არაა შეზღუდული მცენარის ფესვებიდან. თანამედროვე ეტაპზე არ შეგვიძლია ვამტკიცოთ, რომ ეს პრობლემა გადაჭრილია საბოლოოდ. ეს დასკვნა გამოდის შემდეგი მოსაზრებიდან: ჯამურ აორთქლებაზე გავლენას ახდენს უამრავი რაოდენობის ფაქტორები, რომელთა გათვალისწინება ან ძლიერ რთულია, ან შეუძლებელიც კი. ამიტომ, არცერთი მეთოდი არ ითვალისწინებს ყველა ფაქტორს და აქედან გამომდინარე, ყოველ მეთოდს აქვს თავისი ცდომილება ამა თუ იმ ოდენობით.

2.2. მცენარის სითბური რეჟიმი წყალუზრუნველყოფის გათვალისწინებით

მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესში ერთ-ერთ სერიოზულ და აუცილებელ ფაქტორს, ისევე, როგორც ნებისმიერი ცოცხალი ორგანიზმისათვის, წარმოადგენს გარემოს სითბური რეჟიმი, რომელიც მცენარეს ამარაგებს იმ ენერგიით, რომელიც ფაქტიურად მართავს ფოტოსინთეზს ორგანული ნივთიერებების წარმოქმნის პროცესში. მცენარის ნებისმიერი ცხოველთმყოფელობითი გამოვლინება მიმდინარეობს გარკვეული ტემპერატურული რეჟიმის პირობებში. აქედან გამომდინარე, სასოფლო-სამეურნეო კულტურებისათვის შექმნილი უნდა იქნეს ოპტიმალური ფოტოკლიმატი, რომელიც შეესაბამება ამ ჯიშის, სახეობის მოთხოვნებს. ასეთი თერმული რეჟიმის შექმნა, გლობალურ მასშტაბებში, ჯერჯერობით პრაქტიკულად შეუძლებელია, რის გამოც, ვთვლით, რომ ტემპერატურული რეჟიმი ეკუთვნის არარეგულირებად, უმართავ ფაქტორს.

მაღალი ტემპერატურული რეჟიმის უარყოფითი გავლენის მოხსნა მცენარის ნორმალური განვითარების პროცესში შესაძლებელია მხოლოდ წყლის რეჟიმის რეგულირებით. რაც მეტია ნათესში ტემპერატურული რეჟიმი, მით მეტი

მოთხოვნილება უჩნდება მცენარეს წყალზე, რათა მოხდეს მცენარის უჯრედების გაგრილება და ფოტოსინთეზის ნორმალური სვლა. აქედან გამომდინარე, კიდევ ერთჯელ ვრწმუნდებით, რომ წყალს მცენარისათვის უპირველესი სასიცოცხლო მნიშვნელობა აქვს. იმის მიხედვით, თუ როგორია მცენარის უზრუნველყოფა წყლის რეჟიმით განისაზღვრება საბოლოო შედეგიც, მოსავლიანობის დონე. წყლის ასეთი გადამწყვეტი მნიშვნელობისა მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესში, როგორც ზემოთ ავლნიშინეთ, მასაც გააჩნია ზედა ზღვარი, რის ზემოთაც მისი გავლენა პროცესზე უარყოფითი გამოვლინებითაა აღქმული. ისევე, როგორც წყლის რეჟიმს, თერმულ რეჟიმსაც გააჩნია თავისი მაქსიმუმი და მინიმუმი, რომელთა ქვემოთ და ზემოთ მცენარე თავს გრძნობს არანორმალურად და იწყება მისი ზრდა-განვითარების დამუხრუჭება, დგება შეჭკნობის პერიოდი. ცნობილია, რომ მზისმიერი რადიაცია გავლენას ახდენს მცენარის ზრდის პროცესზე, მის ფორმაზე, ფოთლების განლაგებასა და აღნაგობაზე, ფოთლების ფერზე და ქიმიურ შემადგენლობაზე, ორგანოების ფორმაზე, მოსავლის ჩამოყალიბებაზე, ვეგეტაციის ხანგრძლივობაზე, გვალვისადმი მდგრადობაზე, ყინვაგამძლეობაზე, ჩაწოლისადმი წინააღმდეგობის უნარზე და სხვა. ასევე, ცნობილია, რომ ყოველი აგროტექნიკური თუ მელიორაციული ღონისძიება (ნიადაგის დამუშავება, დგომის სიხშირე, რწყვა, შხამქიმიკატების შეტანა და ა.შ.) მიმდინარეობს რადიაციული, თერმული და წყლის ბალანსის ბუნებრივი ცვალებადობის დროს. ნიადაგის სითბური ბალანსის ცვალებადობა მორწყვისას განისაზღვრება, როგორც ნიადაგის ზედაპირიდან აორთქლების ცვალებადობა მორწყვის შემდეგ. მაღალი ტემპერატურული რეჟიმის პერიოდისათვის, მორწყვის შედეგად, ნიადაგის თერმული რეჟიმი ეცემა, ხოლო ცივ პერიოდში, პირიქით (ღამის საათები, გვიან შემოდგომით ან ადრე გაზაფხულზე), რადგანაც წყლის თბოტევადობა მეტია ნიადაგის თბოტევადობაზე და ამიტომ იგი მეტხანს ინარჩუნებს შექმნილ ტემპერატურას. მცენარის ზრდა-განვითარებაზე გავლენას ახდენს მზის სინათლის ხანგრძლივობა, მზისმიერი რადიაციის ინტენსივობა და მისი სპექტრალური შემადგენლობა. მცენარეები სხვადასხვანაირად რეაგირებენ დღისა და ღამის ხანგრძლივობაზე, ჰაერის და ნიადაგის ტემპერატურაზე, მის რხევაზე. მცენარეში მიმდინარე პროცესებზე გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს მზისმიერი რადიაციის

სპექტრის იმ ნაწილს, რომელიც მოთავსებულია 0,40-0,70 მკმ სიგრძის ტალღებს შორის, რომელსაც უწოდებენ ფოტოსინთეზურად აქტიურ რადიაციას (ფარ) /23, 58/

იმისათვის, რომ რადიაციული, თერმული და წყლის პარამეტრების ცვალებადობა ატარებდეს მიზანდასახულ ხასიათს და მიეყვადეთ სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობის მაღალ დონემდე, აუცილებელია მათი რეგულირება ხდებოდეს მეცნიერულად დასაბუთებული და პრაქტიკულად საიმედო მეთოდებით. ამ სახის კვლევები ტარდებოდა ჯერ კიდევ წინა ასწლეულში, მაგრამ სერიოზული მიმდინარეობა ამ კვლევებმა მიიღეს მ.ბუდიკოსა, თ.დავითაიას და სხვათა შრომებში /14, 28/. რომლებშიც წინა პლანზე წამოწეულია საკითხი სასოფლო-სამეურნეო მინდვრების კლიმატის რეგულირების შესახებ, დასახულია ამ პრობლემის შემდგომი განვითარების მიმართულებები.

მცენარე მზის ენერჯიას იყენებს მთელი თავისი მოღვაწეობის განმავლობაში. მზის რადიაცია ზემოქმედებას ახდენს ჯერ კიდევ დათესილ, გაუღვივებელ თესლზე, ათბობს რა მის გარშემო არსებულ ნიადაგს. აღმოცენების პირველი დღიდანვე, მცენარე მზის ენერჯიის ხარჯზე იწყებს ბიომასის დაგროვებას. ამის გარდა, მცენარე თავისი საკვების საგრძნობ ნაწილს იღებს ჰაერიდან, შთანთქავს რა იქედან ნახშირმჟავა გაზს, რომელიც ასიმილაციას განიცდის სინათლის მეშვეობით და გარდაიქმნება ორგანულ ნივთიერებად. მცენარეში ორგანული ნივთიერებების დაგროვება დიდ წილადაა დამოკიდებული მზის სინათლის ინტენსივობასა და დღის ხანგრძლივობაზე. მცენარის რეაქციას დღის სინათლის ხანგრძლივობაზე დღე-ღამის განმავლობაში, უწოდებენ მცენარის ფოტოპერიოდიზმს. დღის საათებში, მზის რადიაციის ზრდასთან ერთად, იზრდება ფოტოსინთეზის ინტენსივობა, აღწევს მაქსიმუმს 12 საათისათვის, შემდეგ ეცემა და მზის ჩასვლისთვის დადის ნულზე.

იმისდა მიხედვით, თუ როგორია რეაქცია სინათლის მიმართ, მცენარეები იყოფიან სამ ძირითად ჯგუფად: გრძელი დღის, მოკლე დღის და ნეიტრალური მცენარეები. პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება ხორბალი, ქერი, სელი, წიწიბურა, სალათა, ჭვავი და სხვა., მეორე ჯგუფს მიეკუთვნება სიმინდი, კანაფი, ბამბა, სოია და სხვა., მესამე ჯგუფს მიეკუთვნება პარკოსნები, მახორკა, მზესუმზირა და სხვა.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, მცენარეები ძლიერ მგრძობიარენი არიან მზის მცხუნვარებისადმი. სითბოს, როგორც სიჭარბე, ასევე დეფიციტი, უარყოფითად მოქმედებს მცენარის ზრდის პროცესზე. მზის გამოსხივების მაღალი ინტენსივობა იწვევს ქლოროფილის დაშლას, რის შედეგადაც ფოთლები ყვითლდება და ჭკნება, ხოლო დაბალი ინტენსივობა იწვევს ორგანულ ნივთიერებების წარმოშობის შენელებას და ისევე იწყება ფოთლებისა და სხვა ვეგეტაციური ორგანოების ჭკნობა.

ზოგიერთი მცენარეები ისეთ რეაგირებას ამჟღავნებენ მზის გამოსხივებისადმი, რომ თავის სავეგეტაციო ორგანოებს მიმართავენ მზის სხივებისადმი, ე.ი. დილით ისინი მიმართული არიან აღმოსავლეთით, ხოლო საღამოთი – დასავლეთით და ღამის პერიოდში ისევე ბრუნდებიან საწყის მდგომარეობაში. საერთო ხასიათისაა მზესუმზირა, იონჯა, ბამბა და სხვა. ზოგიერთი ე.წ. კომპოსტური მცენარეები, თავის ფოთლებს აყენებენ მერიდიანის ირიბად, რათა მზის ინტენსიური გამოსხივების დროს, რაც შეიძლება ნაკლები ენერგია დაეცეს მათ ზედაპირზე. ასეთი მცენარეების რიცხვს მიეკუთვნება სურნელოვანი თამბაქო, მათიოლა, რომელთა ყვავილები დღისით იხურებიან და იხსნებიან მაშინ, როცა მზე ჩასვლას იწყებს.

მცენარის ორგანოების ქიმ. შემადგენლობა დიდადაა დამოკიდებული იმაზე, თუ როგორი ხანგრძლივობით ეცემა მათზე მზის სხივი. კარგად განათებული და მზის მხარეს მიმართული მცენარის ნაყოფი უფრო ტკბილია, და ფერიც განსხვავებული აქვს, ვიდრე ჩრდილში მყოფი ნაყოფი. მზის სინათლეზე მოყვანილი კარტოფილი უფრო მეტ სახამებელს შეიცავს, ვიდრე ჩრდილში მოყვანილი. მზის მხარეს მიმართული ფერდობების ყურძენი უფრო მეტი ბარაქიანობით ხასიათდება, ვიდრე ჩრდილოეთით მიმართული ფერდობებისა. ბალახები უფრო ყუათიანია მზისკენ მიმართულ ფერდობებზე, ვიდრე ტყეში, ჩრდილოეთით მიმართულ ფერდობებზე. მაგ. თივა, გაზრდილი მზის მიმართ ორიენტირებულ ფერდობებზე, შეიცავს 8,7% ცილას, ხოლო ჩრდილში გაზრდილი კი – 5,3%. 1882 წელს ა.სტრებუტმა დაადგინა, რომ სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობა დიდადაა დამოკიდებული იმაზე, თუ როგორი ორიენტაციითაა განლაგებული რიგები მზის სხივების მიმართ. თუ რიგები მიმართულია ჩრდილოეთიდან სამხრეთით, მზის სხივები დილით და საღამოთი ეცემიან ვეგეტაციურ ორგანოებს ირიბად და მცენარე კარგად ნათდება, რის გამოც

იქმნება მცენარის ფოთლებისათვის მუშაობის ხელსაყრელი პირობები. მცენარის ნაყოფის (თესლის) აღმოცენებისა და ქერქის განვითარებისათვის, აუცილებელია სითბო და ტენი. უზრუნველყოფის მიზნით, თესვა უნდა ჩატარდეს მაშინ, როცა ნიადაგს გააჩნია გარკვეული ტემპერატურა, რომელიც სხვადასხვა მცენარისათვის სხვადასხვაა. (ცხრილი 12.3) /103/

ყველა მცენარეს გააჩნია თავისი განვითარების მაქსიმალური, მინიმალური და ოპტიმალური ტემპერატურა. მაგ: განვითარების ოპტიმალური ტემპერატურა ქერისათვის ტოლია 20°C ხორბლისათვის – 25°, თამბაქოსათვის – 28°, სიმინდისათვის – 32-35°, კიტრისათვის – 33-36° და ა.შ. მცენარეთა უმრავლესობისათვის საკმარისი სინათლისა და ტენის შემთხვევაში, ხელსაყრელი ჰაერის ტემპერატურა მერყეობს 15-30°-შორის. ხშირ შემთხვევაში აზოტისა და ფოსფორის მოძრაობისათვის მარცვლოვანი კულტურების ოპტიმალურ ტემპერატურად ითვლება 23 – 25°, მაგრამ იმისათვის, რომ მოხდეს ცილების მაქსიმალური დაგროვება, საჭიროა 35° ტემპერატურა. როგორც ჩანს, ნიადაგის ხელსაყრელი სინოტივის შემთხვევაში, ტემპერატურის ზრდა აძლიერებს აზოტის მობილიზაციას, რაც ვლინდება აზოტის მოთხოვნილებისა და ცილოვანი ნივთიერებების წარმოშობის ინტენსივობის ზრდაში.

დიდი ხანია შემჩნეულია, რომ ხორბალში ცილების დიდი შემცველობაა სამხრეთ-აღმოსავლეთ ქვეყნებში ჩრდილო-დასავლეთთან შედარებით.

**თესლის გაღვივებისათვის აუცილებელი მინიმალური ტემპერატურა
ზოგიერთი მცენარისათვის.**

ცხრილი 2.3.

კულტურა	ტემპერატურა 0°	კულტურა	ტემპერატურა 0°
მარცვლოვნები		ზეთოვანი და ნარკ.	
სამ. ხირბალი	1-2	ყაყაჩო	2-3
ჭვავი	1-2	მზესუმზირა	3-5

ქერი	1-2	თამბაქო	10-12
საგაზ. ხორბალი	1-2	აბუსალათინი	10-12
შვრია	1-2	ზეთოვან-ბოჭკოვანი	
წიწიბურა	3-5	სელი	3-5
ფეტვი	8-10	კანაფი	6-8
სიმინდი	8-10	ბამბა	10-12
ბრინჯი	12-14	ძირხვენები	
პარკოსნები		თალგამი	1-2
ბარდა	1-2	ბოლოკი	2-3
ცერცველა	1-2	ტუნეფსი	2-3
ოსპი	1-2	მიწამხალა	3-4
სოია	8-10	სტაფილო	3-4
ლობიო	10-12	ჭარხალი	6-8
ხორგო	10-12	კართოფილი	7-8
ბოსტნეული		მრავალწ. ბალახები	
ხახვი	2-4	სამყურა	1-2
კომბოსტო	12-14	იონჯა	5-6
კიტრი	13-15		
პომიდორი	14-16		
ბადრიჯანი	15-16		

ანალოგიური სიტუაცია შეიმჩნევა აღმოსავლეთ-დასავლეთ საქართველოს შორის. სამხრეთის კულტურები სოია, ლობიო, ბამბა და სხვა უფრო კარგად შთანთქავენ საკვებ ნივთიერებებს 30-35°, ტემპერატურის დროს. ასევე ცნობილია, რომ მცენარის ზრდა-განვითარებისათვის, უფრო ხელსაყრელია ნიადაგის ტემპერატურა დაბალი იყოს ჰაერის ტემპერატურაზე, მაგრამ ტემპერატურათა შორის სხვაობა არ უნდა იყოს დიდი.

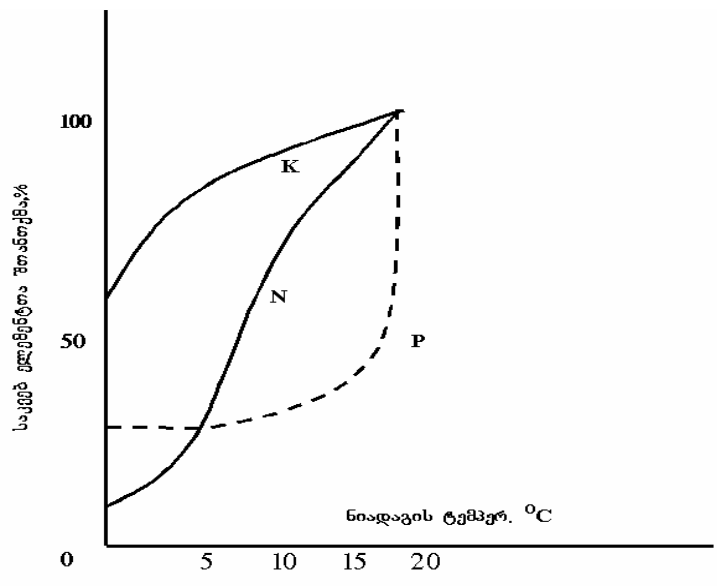
რეპროდუქტიული ორგანოების ფორმირება მიმდინარეობს შემდეგ მინიმალურ ტემპერატურებზე: კანაფი, ბარდა _ 10 _ 12°; წიწიბურა _ სიმინდი, ფეტვი _ 12 _ 15° ბრინჯი, ბამბა _ 13 _ 20°.

ტემპერატურა მოქმედებს არა მარტო თესლის აღმოცენებაზე და აღმონაცენის განვითარებაზე, არამედ მცენარეში საკვებ ნივთიერებათა მოძრაობაზე. დადგენილია, რომ ამონიუმის აზოტის ასათვისებლად, უფრო დაბალი ტემპერატურაა საჭირო, ვიდრე ნეიტრალური აზოტისათვის და ა.შ.

ხორბლის აღმონაცენში თითქმის არ ეცემა კალიუმის შეწონვა ტემპერატურის დაცენისას 5-7°-მდე, მაგრამ ძლიერ მცირდება ფესვებით აზოტის, ფოსფორის, კალიუმისა და გოგირდის შთანთქმა.

ყოველი სახეობისა და ჯიშებისათვის შეიმჩნევა სხვადასხვა ტემპერატურა, რომლის დროსაც ხდება ამა თუ იმ ელემენტის ინტენსიური შთანთქმა (სურ. 2.7) ტემპერატურის დაცემისას, 10-11°-მდე ძნელდება ფოსფორის შეწოვა მცენარეში. აზოტის და ნიტრატების შეწოვა უარესდება ტემპერატურის 5-6°-მდე დაცემისას. ამ დროს უარესდება კალიუმის ათვისებაც. საერთოდ, ტემპერატურის 5-6°-მდე დაცემისას, მცენარეებში უარესდება საკვებ ნივთიერებათა შეღწევა, რაც გასათვალისწინებელია ცივი რეგიონების პირობებში. დაბალი ტემპერატურა ამუხრუჭებს აზოტის მინერალური შენაერთების ჩართვას სინთეზურ პროცესებში. თვლიან, რომ 10°-ზე დაბალი ტემპერატურა უარყოფითად მოქმედებს ფესვების მიერ მინერალური ელემენტების შეწოვაზე. ასეთივე პროცესები მიმდინარეობს ტემპერატურის 40°-ზე ზემოთ აწევის შემთხვევაშიც, ამ შემთხვევაში, როგორც ჩანს, მარილების შთანთქმის შემცირება გამოწვეულია ფერმენტული სისტემის ინაქტივაციის გამო, რომლებიც მონაწილეობას იღებენ იონების შეთვისებაში. დაბალ ტემპერატურაზე მცენარეში

მინერალური ელემენტების შეღწევა ეცემა მინიმუმამდე, ქიმიური რეაქციის სიჩქარის შემცირების გამო და ამ ტემპერატურების ზეგავლენით მშთანთქავ აპარატზე.



სურ. 2.6. გარემოს ტემპერატურის გავლენა მცენარეში საკვებ ელემენტების შეღწევაზე (5-ში 20°-ის დროს შთანთქმასთან შედარებით).

როგორც სურ. 2.6-დან ჩანს, მინიმალური ელემენტების შთანთქმის ინტენსივობის ხასიათი ფრიად განსხვავდება ერთმანეთისაგან ტემპერატურის ცვალებადობის მიხედვით. აზოტის შთანთქმა დაბალ ტემპერატურაზე (0-10°) საკმაოდ ინტენსიურად მიმდინარეობს, ვიდრე კალიუმისა და ფოსფორისა. ეს უკანასკნელი კი ამ ტემპერატურაზე თითქმის უძრავია, ხოლო 10°-ის შემდეგ იწყება ფოსფორის ინტენსიური შთანთქმა. ეს ხასიათი გასათვალისწინებელია ნიადაგში სასუქების შეტანის დროს.

ვ.კუზნეცოვმა, გამოკვლევების შედეგად აჩვენა, რომ საშემოდგომო ქერის ფესვების მაქსიმალური ზრდა (4 სმ დღე-ღამეში) მიმდინარეობს მაშინ, როდესაც ნიადაგის ტემპერატურა აღწევს 14°. ტემპერატურის 0°-ზე ქვემოთ დაცემისა და 30°-ზე ზემოთ აწევის შემთხვევაში კი ფესვების ზრდა წყდება. ვ.კუზნეცოვის მონაცემები უნდა ჩაითვალოს პირობითად, რადგანაც ისინი არ ითვალისწინებენ ნიადაგის სინოტივს, რომელსაც შეუძლია გადაადგილოს კრიტიკული წერტილების მნიშვნელობები. ცივ ნიადაგებში, მიუხედავად ნორმალური სინოტივისა და საკვები ნივთიერებებით მომარაგებისა, მცენარის მოღვაწეობა იმდენად ნელდება, რომ იგი იწყებს შიმშილს. ეს

მოვლენა იმით აიხსნება, რომ დაბალ ტემპერატურებზე ნიადაგში არაა ენერგია, რომელსაც შეუძლია გადაიტანოს წყალი და მასთან ერთად, საკვები ნივთიერებები. ასეთ შემთხვევაში, ნიადაგში, საჭიროა შეტანილი იქნეს სტიმულატორები. სტიმულატორების როლი შეუძლიათ შეასრულონ ისეთმა სასუქებმა, რომლებიც დაშლის პროცესში გამოყოფენ სითბოს (ბიოსითბოს). ასეთი სასუქების მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ არაკონდიციური ნაკელი.

ტემპერატურის ზრდასთან ერთად, გარკვეულ ფარგლებში, ასიმილაციის გაზრდის ხარჯზე, იზრდება ბიომასის წარმოქმნის სიჩქარე, რომელიც გრძელდება 35-40-მდე. ამის შემდეგ, სუნთქვაზე დახარჯული ნივთიერებების რაოდენობა ხდება მეტი, ვიდრე მათი მიწოდება ასიმილაციის გზით და იწყება პროცესის შენელება. გარკვეული ტემპერატურების შემდეგ, ძლიერდება მიკროორგანიზმების მოქმედება, რაც უარყოფითად მოქმედებს მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესზე.

სხვადასხვა მცენარე, ვეგეტაციური პერიოდის განმავლობაში, საჭიროებს სითბოს სხვადასხვა რაოდენობას. საშუალო დღე-ღამური ტემპერატურათა ჯამი, რომელიც აუცილებელია სასოფლო-სამეურნეო კულტურების ნორმალური ზრდა-განვითარებისათვის, მერყეობს საკმაოდ დიდ ფარგლებში (900-დან 2000-მდე, ცხრ. 2.4).

მზის ენერგიის მნიშვნელობაზე მცენარისათვის, მეტყველებს თვით მათი კონსტრუქცია. მცენარე თავის ტოტებსა ფოთლებს ისე ალაგებს, რომ მათ მინიმალურად გადაფარონ ერთმანეთი, რის გამოც მრავალწლიანი ნარგავების შიგა ტოტები არ ვითარდებიან და კვდებიან ვადაზე უფრო ადრე.

ზოგიერთი მცენარის სითბოს მოთხოვნილება ვეგეტაციის პერიოდში.

ცხრილი 2.4.

მცენარის დასახელება	საშუალო დღე-ღამური ტემპერატურათა ჯამი 10°-ის ზემოთ, რომელიც აუცილებელია მცენარის მომწიფებისთვის, ან ტექნიკური მომწიფებისათვის
იაროვიზირებული ხორბალი (ლიუტესენც 062)	1300
წიწიბურა	1200-1500
ბოჭკოვანი სელი	1100
სიმინდი	1500-2000
საადრეო კარტოფილი	900-1000
კიტრი	1500

ჭარხალი, სტაფილო	1200-1500
პამიდორი	1150

ზოგიერთი გამოკვლევების თანახმად /23/, მაჩვენებლის სახით, რომელიც ახასიათებს ნათესის ტემპერატურულ რეჟიმს, მცენარის ზრდა-განვითარების მოდელში მიღებულია ჰაერის საშუალო დღე-ღამური ტემპერატურა ნათესის შიგნით. მისი გავლენა ბიომასის დაგროვების პროცესზე, გათვალისწინებულია დამოკიდებულებით:

$$u(t) = \left(\frac{t - \underline{t}}{t_0 - \underline{t}} \right)^\alpha \cdot \left(\frac{\bar{t} - t}{\bar{t} - t_0} \right)^{-\alpha \frac{\bar{t} - t_0}{t_0 - \underline{t}}} \quad (2.21)$$

სადაც: \underline{t} – ტემპერატურის ქვედა ზღვარია მოცემული სახეობისათვის; t_0 – ბიოლოგიურად ოპტიმალური ტემპერატურაა; \bar{t} – ტემპერატურის ზედა ზღვარია მოცემული სახეობისათვის; t – ფაქტიური ტემპერატურაა.

როგორც ავტორები ამტკიცებენ, საშუალო დღე-ღამური ტემპერატურა უფრო კარგ კორელაციაშია მცენარის ტემპერატურასთან და შესაბამისად, უფრო ზუსტი ანგარიშის საშუალებას იძლევა, ვიდრე ტემპერატურა, გაზომილი სტანდარტულ 2 მ-ის სიმაღლეზე, ავტორები ეძებენ კავშირს საშუალო დღე-ღამურ ტემპერატურასა (ნათესის შიგნით) და საშუალო დღე-ღამურ ტემპერატურას შორის 2 მ-ის სიმაღლეზე. ამ კავშირების დადგენისას, მხედველობაშია მისაღები ფაქტი, რომ სარწყავ ფართობებზე შეიმჩნევა ე/წ ოაზისური ეფექტი, რომლის არსიც იმაში მდგომარეობს, რომ ნათესის შიგნით ტემპერატურის t_m გადახრა ტემპერატურიდან 2 მ-ის სიმაღლეზე. t , დამოკიდებულია როგორც x_m -ისაგან, ისევე ნიადაგის სინოტივისაგან ω . ამ ეფექტის გასათვალისწინებლად, შემოაქვთ ტემპერატურული შესწორება.

$$t_m - t = \Delta(\omega, t_m), \quad (2.22)$$

სადაც: $\Delta(\omega, t_m)$ – ტემპერატურული შესწორებაა, რომელიც დამოკიდებულია ნიადაგის სინოტივეზე და საშუალო დღე-ღამურ ტემპერატურაზე 2 მ-ის სიმაღლეზე. ჩატარებული კვლევების თანახმად /78/, სიდიდე $\Delta(\omega, t_m)$ იცვლება 0-2°-ის ზღვრებში. ამასთან, ამის შემდეგ, რაც საშუალო დღე-ღამური ტემპერატურა ჯიხურში მიაღწევს 20°, მისი სიდიდე ხდება მხოლოდ ნიადაგის სინოტივის ფუნქციად. ექსპერიმენტალური მონაცემების აპროქსიმაციას აქვს შემდეგი სახე:

$$\Delta(\omega, t_m) = \begin{cases} 0, \\ 0,5(t_m - 12) \ln 1,83\omega, \\ 4 \ln 1,83\omega \end{cases} \quad (2.23)$$

$$\begin{array}{ll} t_m \leq 12^\circ c & \omega < \underline{\omega} \\ \frac{12^\circ c \leq t_m \leq 20^\circ c}{t_m > 20^\circ c} & \underline{\omega} \leq \omega \leq \bar{\omega} \\ & \omega < \omega < \bar{\omega} \end{array}$$

სადაც $\underline{\omega}$ და $\bar{\omega}$ – შესაბამისად მდგრადი ჰკნობისა და უმცირესი სინოტივია.

ფარ-ის მოსვლის განსასაზღვრავად, ხშირად იყენებენ ანგარიშის არაპირდაპირ მეთოდს პირდაპირი და გაბნეული რადიაციის მონაცემების საფუძველზე /49, 89/;

$$Q_{FAR} = 0,43S' + 0,57D, \quad (2.24)$$

სადაც S' მზის პირდაპირი რადიაციაა ჰორიზონტალურ ზედაპირზე, კალ/სმ²წთ; D – გაბნეული რადიაციაა, კალ/სმ²წთ. მზის რადიაციის ჩაქრობა ნათესში აღიწერება შემდეგი დამოკიდებულებით /17/.

$$Q_n = Q_e \frac{G_1 \lambda(h)}{\sinh^*} \quad (2.25)$$

სადაც $\lambda(h)$ – ფოტოელემენტების გაჩრდილული ნაწილის საერთო ფართია, რომელიც მოთავსებულია ფენის ნებისმიერ სისქეში $0 \leq h \leq H$; G_1 – ემპირიული კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია მცენარის სახეობაზე; h^* – მზის სიმაღლეა.

ფარ-ის ინტენსივობა Q შეიძლება გაანგარიშებული იქნეს დამოკიდებულებით /13/:

$$Q = (1 - CN) \frac{C_\phi S_0 \sinh^*}{1 + \Psi / \sinh^*} \quad (2.26)$$

სადაც: S_0 – მზის მუდმივია და ტოლია 19კალ/სმ²წთ; C_ϕ – ფარ-ის კოეფიციენტი, რომელიც რიცხობრივად უდრის ჯამური რადიაციის ნაწილს, $C_\phi = 0,5$; ϕ – კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია წლის დროზე, ადგილის განედზე და ქვესაგები ზედაპირის ხასიათზე; N – ღრუბლიანობის საშუალო დღიური ბალია; C – ემპირიული კოეფიციენტი, რომელიც წარმოადგენს ადგილის განედის ფუნქციას; h^* – მზის სიმაღლეა და იანგარიშება დამოკიდებულებით:

$$\sinh^* = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \Theta \quad (2.27)$$

სადაც: φ – ადგილის განედია; δ – მზის დახრის კუთხეა; Θ – მზის საათობრივი კუთხეა. δ -ს საანგარიშოდ იყენებენ დამოკიდებულებას:

$$\delta = 0,408 \sin[(x - 21)/57,4] \quad (2.28)$$

სადაც: x – მოცემულ წელიწადში საანგარიშო დღის რიგითი ნომერია და აითვლება პირველი მარტიდან, რომლისთვისაც $x = 1$.

/43/ ნაშრომში მოყვანილი კვლევების თანახმად, რადიაციული ბალანსი ვენახში B_k^x , განისაზღვრება ნ. გოისის სქემით ვენახისათვის /85/.

$$B_k = Q - h_k \quad (2.29)$$

$$B_k^* = B_{k,0}^* (1 - \beta) + B_{k\Pi\beta}^* \quad (2.30)$$

სადაც: $B_{k,0}^*$ – ნიადაგის განათებული ნაწილის რადიაციული ბალანსია; Q – მზის ჯამური რადიაციაა; R_k – არეკლილი რადიაციაა; β – ნიადაგის ზედაპირის დაჩრდილვის ხარისხია; $B_{k\Pi\beta}^*$ – დაჩრდილული ნიადაგის რადიაციული ბალანსია. (2.30)-ში შემავალი $B_{k,0}^*$ სიდიდე იანგარიშება ფორმულით:

$$B_{k,0}^* = Q_0^* - R_k^* \quad (2.31)$$

სადაც: Q_0^* – ნიადაგის განათებულ ნაწილზე მოსული ჯამური რადიაციის სიდიდეა; B_k^* – ნიადაგიდან არეკლილი რადიაციაა, ხოლო

$$B_{k\Pi\beta}^* = D_n^* (1 - A_k^*) + \beta \quad (2.32)$$

სადაც: D_n^* – ნიადაგის ზედაპირზე მოსული გაბნეული რადიაციაა; A_k^* – ნიადაგის ზედაპირის ალბედოა.

მცენარის მიერ შთანთქმული რადიაციული ბალანსი იანგარიშება გამოსახულებით:

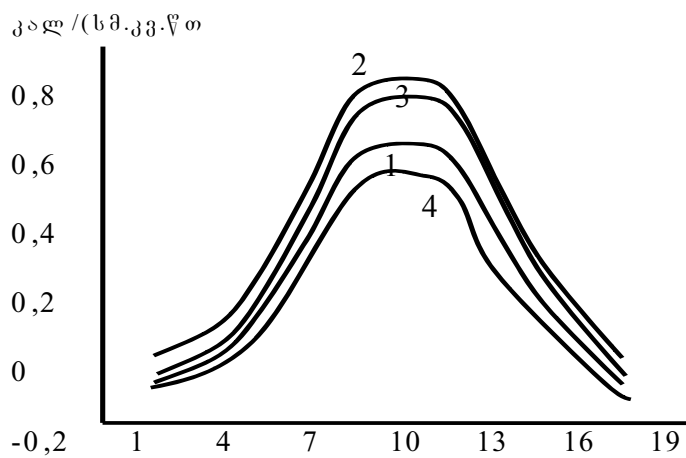
$$\Delta B_k = (Q - R_k) - (Q_0^* - R_k^*) (1 - \beta) + D_n^* (1 - A_k^*) \beta \quad (2.33)$$

კვლევების შედეგად მიღებული იქნა გარკვეული დასკვნები. კერძოდ: რადიაციული ბალანსის ყველა ელემენტი ცვალებადია დროში იმისდა მიხედვით, თუ როგორია მზის სიმაღლე და ბიომასის ნამატი. თუ ვიმსჯელებთ ამ დასკვნების მიხედვით, ვენახის მთელი ვეგეტაციის პერიოდში შარ-ის სიდიდე შეადგენს 2,5-4,0 მილიარდ კკალ/ჰა. ეს შედეგი კარგად ეთანხმება ნიჩიპოროვიჩის მიერ მიღებულ

შედეგებს, რომლის თანახმადაც აღნიშნულ შარ-ის სიდიდეს შეესაბამება 250 ც/ჰა ბიოლოგიური მოსავალი /64, 65/.

როგორც კვლევებმა აჩვენეს, სითბური ბალანსის შედეგები იცვლებიან დროში ნიადაგის ტენის, განვითარების ფაზის და ბიომასის სიდიდესთან დამოკიდებულებით. ამ ცვალებადობიდან გამომდინარე, სითბური ბალანსის შემადგენლები სხვადასხვა კულტურებისათვის თითქმის ერთნაირია.

ნიადაგის სითბური ბალანსის ძირითად ნაწილს_რადიაციულ ბალანსს_აქვს მკვეთრად გამოხატული დღე-ღამური და სეზონური ცვალებადობის ფორმა.



სურ. 2.7. რადიაციული ბალანსის დღე-ღამური ცვალებადობა (სვლა) ვენახში ვეგეტაციის სხვადასხვა ფაზაში: 1_კვირტების გახსნის ფაზა, 2_ყვავილობა; 3_ნაყოფის ზრდის პერიოდი; 4_ნაყოფის დამწიფების პერიოდი.

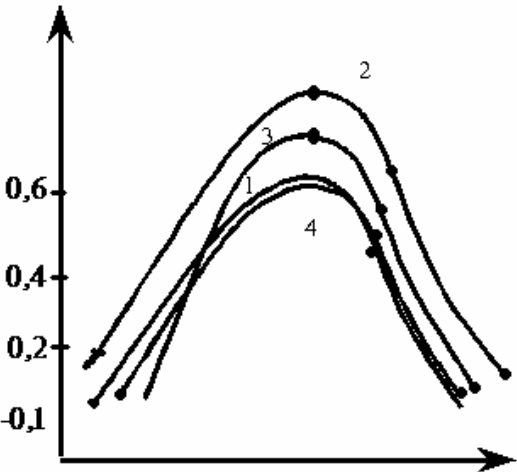
როგორც მოყვანილი გრაფიკიდან (სურ. 2.7) ჩანს, დღე-ღამურ სვლაში ყველა პერიოდისათვის რადიაციული ბალანსი მაქსიმუმს აღწევს 12 საათსა და 30 წუთზე, ე.ი. მზის მაქსიმალური სიმაღლის დროს, რადგანაც ამ პერიოდში მზის სხივები მართობულთან ყველაზე ახლოსაა.

თბური ბალანსის ერთ-ერთ მთავარ შემადგენელს წარმოადგენს ენერგიის კარგვა აორთქლებაზე. ეს იმით აიხსნება, რომ აორთქლების ფარული სითბო იმყოფება მჭიდრო კავშირში ჯამურ აორთქლებასთან E. ამის გარდა, როგორც ცნობილია, ბიომასის წარმოქმნისას, ფოტოსინთეზი ითხოვს ენერგიის გარკვეულ რაოდენობას /58/.

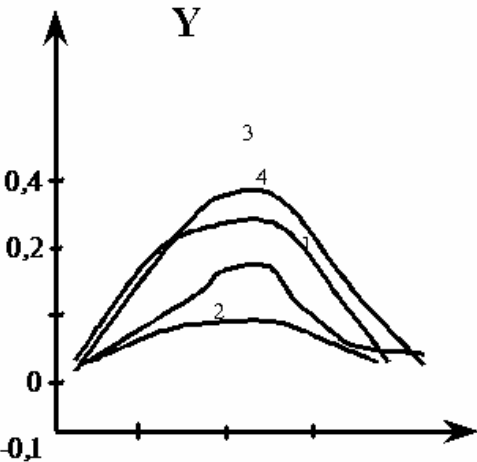
აორთქლებაზე ენერჯის ხარჯვას აქვს სუფთა დღე-ღამური სვლის საათი. იგი იზრდება დღიდან შუადღემდე და მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს 12 სთ. და 30 წუთზე, ხოლო შემდგომ, მზის ზენიტიდან გადახრასთან ერთად ეცემა ნულოვან მნიშვნელობამდე. ასეთი კანონზომიერება კარგად შეიმჩნევა სურ. 2.8-ზე მოყვანილ

კაღ/(სმ².წთ)

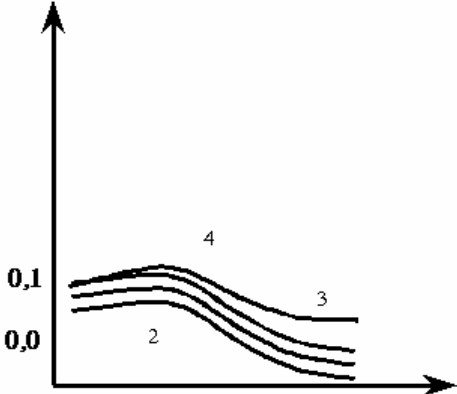
LE



Y



გრაფიკზე, სადაც მაგალითის სახით, მოცემულია თბური ბალანსის მდგენელების დღე-ღამური სვლა ვენახის სხვადასხვა ვეგეტაციის ფაზებში /58/.



სურ. 2.8. თბური ბალანსის დღე-ღამური სვლა ვენახში განვითარების სხვადასხვა პერიოდისათვის 1_კვირტების გახსნის ფაზა, 2_ყვავილობა; 3_ნაყოფის ზრდის პერიოდი; 4_ნაყოფის დამწიფების პერიოდი.

ტემპერატურული მრუდის მიხედვით, მცენარეები შეიძლება დაიყონ სამ ძირითად ტიპებად: ტროპიკული წარმოშობის მცენარეები, რომლებიც ვითარდებიან თითქმის მუდმივი ტემპერატურის პირობებში მთელი წლის განმავლობაში; ზომიერი სარტყლის ორწლიანი და საშემოდგომო მცენარეები, რომლებიც ვითარდებიან შემოდგომით დაბალ ტემპერატურზე, ხოლო გამოზამთრების შემდეგ გაზაფხულზე, ავითარებენ ზრდას მაღალ ტემპერატურაზე, ვითარდებიან შემოდგომით დაბალ ტემპერატურაზე. პირველ ტიპს მიეკუთვნება ჩაი, ლიმონი, მანდარინი, ფორთოხალი, ტუნგო, ბანანი და სხვა. მეორე ჯგუფს – საშემოდგომო ხორბალი, ზოგიერთი ბოსტნეული (ობრახუში, პრასი, კომბოსტო, ბოლოკი და სხვა), მრავალწლიანი ბალახები, და სხვა. მესამე ჯგუფს კი ძირითადად ერთწლიანი კულტურები, ისეთები როგორცაა სიმინდი, იაროვიზირებული ხორბალი, სოია, პამიდორი, ბრინჯი, სალათა და სხვა.

უნდა აღინიშნოს, რომ ზემოთ დახასიათებული ფაქტორი (წყლის რეჟიმი, კვების რეჟიმი, თერმული რეჟიმი) სასიცოცხლოდ აუცილებელია ყოველი ცოცხალი ორგანიზმისათვის და მათ შორის, მცენარისათვის, მაგრამ მაქსიმალური ეფექტი მიიღწევა ამ ფაქტორთა გარკვეული ფარდობის შემთხვევაში და ამასთან რეჟიმის უწყვეტობის პირობებში.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ჩვენს მიერ დახასიათებულ ფაქტორებს გარდა, მცენარის ზრდა-განვითარებზე გარკვეულ გავლენას ახდენს სხვა ფაქტორებიც და კერძოდ სინათლე, ქარი, სეტყვა, მტვრის ქარბუქი, ნიადაგის რეაქცია, თავსხმა წვიმები, გვალვა და სხვა, მაგრამ მათი გათვალისწინება მოდელში, როგორც ცვლადი სიდიდეები, ისე ართულებს სისტემის ანალიზს, რომ უფრო მიზანშეწონილია პრაქტიკული და თეორიული თვალსაზრისით. ისინი გათვალისწინებული იქნენ შეზღუდვების სახით, ან მუდმივი კოეფიციენტების შეყვანით მოდელში.

მცენარის განვითარება და მინერალური ელემენტების შთანთქმა უშუალო კავშირში იმყოფებიან ერთმანეთთან.

ფოტოსინთეზის პროცესში, მცენარეები ითვისებენ სინათლის ენერჯიას და იწყებენ ენერგეტიკული გაცვლის ციკლი გარე სამყაროსთან. მცენარეები მინერალური კვების ელემენტების შთანთქმას იწყებენ მზის პირველი სხივების დაცემისთანავე.

დაჩრდილვის შემთხვევაში (ან ის ორგანოები, რომლებიც დაჩრდილულია სხვა ორგანოების მიერ), ეცემა არა მარტო ფოტოსინთეზის ინტენსივობა, არამედ, საკვები ნივთიერებების შთანთქმაც ფესვების მიერ. მცენარის მოთავსება დიდი ხნის განმავლობაში, სიბნელეში, იწვევს საკვები ნივთიერებების მოძრაობის მთლიან შეწყვეტას. ეს ფაქტი აიხსნება იმით, რომ ფოტოსინთეზის პროცესში, მცენარეში გროვდება ორგანული ნივთიერებები, რომლებიც ემსახურებიან სუნთქვის პროცესს. მცენარეები სინათლეში ვითარდებიან, მაგრამ მათი შეფერილობა არ არის მწვანე, არამედ ყვითელი, ე.ი. არ მიმდინარეობს ქლოროფილის წარმოქმნის პროცესი, რომელსაც შემდეგში მივყავართ ნივთიერებათა ცვლის შეწყვეტამდე და მცენარე კვდება. მაშასადამე, სინათლის გავლენა ნივთიერებათა შთანთქმაზე, ვლინდება იმაში, რომ ფოტოსინთეზის პროცესში მცენარეები ქმნიან ნივთიერებებს, რომლებიც აუცილებელი არიან შთანთქმული იონების შემდგომ მეტაბოლურ რეაქციებში და ენერგეტიკული მასალის მარაგის შექმნისათვის.

ძლიერი ქარები იწვევენ მცენარის ჩაწოლას, ფოთლების დანაწევრებას (დაცრეცას), ყვავილების ცვენას, ღეროების გადატეხვას, აორთქლების ინტენსივობის ზრდას (რითაც იფიტება ნიადაგი), ნიადაგის კარგვას (ქარისმიერი ეროზია) და სხვა. ქარის ზეგავლენის ხარისხი მცენარეზე დამოკიდებულია მის სიჩქარეზე და ერთი მიმართულებით ქროლვის ხანგრძლივობაზე. დაბალი სიჩქარის ქარებს მოაქვთ, როგორც ზიანი, ასევე სარგებლობაც. ისინი განაპირობებენ განახლებული და გატენიანებული ჰაერის მასების გადაადგილებას და პირიქით, მშრალი და გავარვარებული მასების გადმოტანას ნათესში. ქარების გარეშე არ მიმდინარეობს ღრუბლების მოძრაობა, ე.ი. არ წარმოიშობა ნალექები ხმელეთზე და ა.შ.

მტვრის ქარები იწვევენ მცენარეში სუნთქვის შეწყვეტას, ფოტოსინთეზის შესუსტებას, რომელთა ზეგავლენით, მცენარეები კნინდებიან და ბოლოს კვდებიან.

სეტყვა ერთ-ერთი საშიში სტიქიური მოვლენაა, რომელსაც შეუძლია (დამოკიდებულია სეტყვის ინტენსივობაზე) რამოდენიმე წლით გამოიყვანოს მწყობრიდან მრავალწლიანი ნარგავები და მთლიანად გაანადგურონ ერთწლიანი ნათესების მოსავალი. არსებობს რამდენიმე საშუალება, რომლებიც ასუსტებენ ან მთლიანად ხსნიან სეტყვის საშიშროებას. ამ ღონისძიებების რიცხვს მიეკუთვნება

ბადეებით გადარეცხვა, სეტყვამზიდი ღრუბლების დაშლა სასოფლო-სამეურნეო წარმოება სხვა, მაგრამ მათი ეფექტი ჯერ-ჯერობით დიდი არაა. ზოგჯერ ეს ღონისძიებები უარყოფით ეფექტსაც კი იწვევენ. მაგ, ნეილონის ბადეები ამცირებენ რადიაციის ინტენსივობას, ქმნიან არახელსაყრელ მიკროკლიმატს ნარგავში, ამცირებენ ჰაერის მასების გადაადგილებას და სხვა.

ნიადაგის რეაქცია დიდ გავლენას ახდენს მცენარის ნორმალურ ზრდა-განვითარებაზე. მას (მჟავიანობა, ტუტეიანობა) დიდი ფიზიოლოგიური მნიშვნელობა აქვს ყველა ზრდადი ორგანიზმისათვის და დამოკიდებულია ნიადაგის ხსნარში H^+ და OH^- იონების თანაფარდობაზე. გარემოს რეაქციას გამოსახვენ წყალბადის იონების კონცენტრაციით უარყოფითი ლოგარითმის სახით 10-დან და აღნიშნავენ PH.

ნიადაგის რეაქცია გავლენას ახდენს მიკროორგანიზმებზე, ნიადაგში მიმდინარე ქიმიურ და ბიოლოგიურ პროცესებზე, ნიადაგში შეტანილ სასუქებზე, ხოლო თვით სასუქები ხეგავლენას ახდენენ ნიადაგის ხსნარის რეაქციაზე, აძლიერებენ ან ასუსტებენ ნიადაგის მჟავიანობას ან ტუტეიანობას. ბუნებრივ პირობებში, ნიადაგის ხსნარის რეაქცია მერყობს 3-დან (ტორფიანი ნიადაგები) 10-მდე (მლაშე ნიადაგები), მაგრამ უმეტეს შემთხვევაში, იგი არ ცილდება 4-8-ის ზღვარს. თუტე რეაქცია ახასიათებს მშრალი სტეპების ნიადაგებს, უდაბნოს ან ნახევრად უდაბნოს ნიადაგებს. შავმიწა და წაბლა ნიადაგებისათვის რეაქცია ტოლია 7,5, რუხი ნიადაგებისათვის 8,5-მდე, მლაშე ნიადაგებისათვის 9 და მეტი.

ჩვეულებრივი და მძლავრი შავმიწა ნიადაგების რეაქცია, ახლოსაა ნეიტრალურთან (PH 6,5_7). გამოფიტული შავმიწა და ტყის რუხი ნიადაგები ხასითდებიან სუსტი მჟავე რეაქციით (PH 5,5_6,5), ხოლო ნაცრისფერი და ზოგიერთი ტორფიანი ნიადაგები მჟავე, ან ძლიერ მჟავე რეაქციით (PH 4_5). ანსხვავებენ აქტუალურ და პოტენციურ მჟავიანობას, რომლებიც თავის მხრივ, იყოფა ჰიდროლიტურ და გაცვლით სახეებად. აქტუალური მჟავიანობა არის ნიადაგის ხსნარის მჟავიანობა, რომელიც განპირობებულია H^+ იონების გაზრდილი კონცენტრაციით OOH^- ის იონებთან შედარებით. პოტენციური მჟავიანობა (ფარული) განპირობებულია წყალბადის იონების არსებობით, ან ალუმინის იონებით შთანთქმულ მდგომარეობაში.

ნიადაგის მონერალური ფრაქციის გაცვლითი მქავიანობა, განპირობებულია წყალბადით და მარილში გარდამავალი ალუმინით. იგი დამახასიათებელია წითელმიწა ნაცრისფერი ნიადაგებისათვის. ჰიდროლიტური მქავიანობა მქლავნდება ჰიდროლიტური ტუტე მარილებით. იგი შეიცავს წყალბადის შტანთემული იონების ნაკლებად მოძრავ ნაწილს, რომლებიც ძნელად ენაცვლებიან ნიადაგის ხსნარის კათიონებს.

თავსხმა წვიმები წარმოადგენენ შემთხვევით მოვლენას, ისევე, როგორც სეტყვა და შეუძლიათ მოიტანონ დიდი ზარალი_ტბორავენ ფართობებს, იწვევენ ძლიერ ეროზიას და სხვა ხანგრძლივი დატბორვების შედეგად, წყდება მცენარის სუნთქვა აერაციის უქონლობის გამო და ა.შ.

ადრე მოყინვებიც შემთხვევითი პროცესია და ხშირ შემთხვევაში იწვევენ ერთწლიანი კულტურების გადათესვის აუცილებლობას, ცემენ მოსავლიანობის დონეს მრავალწლიან ნარგავებში, აფერხებენ ზრდის პროცესს და ა.შ. ისინი განსაკუთრებით საშიშია იმ კულტურებისათვის, რომლებიც ვეგეტაციას იწყებენ ადრე გაზაფხულზე.

გვალვა იწვევს მცენარის ჭკნობას ტენის დეფიციტის გამო, რომლის დროსაც ნაკლებად ეფექტურია დღის რწყვები. ასეთ შემთხვევებში, აუცილებელია ჩატარდეს ღამის რწყვები, როდესაც ნიადაგის ტემპერატურა უახლოვდება წყლის ტემპერატურას და მცენარე ადვილად ითვისებს მას (ღამის რწყვები სამხრეთ ზონაში ყოველთვის ეფექტურია, ვიდრე დღის რწყვები.) გვალვები ხშირად მოსავლიანობას ამცირებენ 20-25%-ით (დამოკიდებულია მის ხანგრძლივობაზე), რაც საკმაოდ საშიშია იმის გამო, რომ ამ პერიოდში შეუძლებელია ფართობების გადათესვა (გვალვები ძირითადად ივლის-აგვისტოშია).

მაშასადამე, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მცენარის ზრდა-განვითარებაზე გავლენას ახდენენ დიდი რაოდენობის შიგა და გარე ფაქტორები, რომელთა სრულად გათვალისწინება მოდელში, პრაქტიკულად შეუძლებელიცაა და არც არის მიზანშეწონილი. ამის გამო, დინამიურ მოდელში შეგვყავს მხოლოდ ის ფაქტორები, რომლებიც აუცილებელია მცენარის ზრდა-განვითარებისათვის და რომელთაგან ერთ-ერთის უგულვებელყოფა გამორიცხავს მცენარის განვითარების შესაძლებლობას.

2.3 მცენარეთა კვებითი რეჟიმი

ჩვენი პლანეტის ცოცხალი სამყარო ძირითადად შედგება 20-23 ქიმიური ელემენტისაგან, რომელთაგანაც ძირითად ელემენტებად მიჩნეულია ექვსი: ნახშირბადი, წყალბადი, ჟანგბადი, აზოტი, გოგირდი და ფოსფორი. რიგით მათ შემდეგ მოდიან კალიუმი, ნატრიუმი, ლითიუმი, კალციუმი, მაგნიუმი ბარიუმი, რკინა, ნიკელი, სპილენძი, თუთია, ალუმინი, სილიციუმი, ქლორი, იოდი, ბორი და ფტორი /5/.

ზემოთ მოყვანილი და კიდევ სხვა ელემენტების “აგურების“ კომბინაციისგან, ბუნებამ შექმნა ცხოველთა და მცენარეთა სამყაროს ვეებერთელა სახესხვაობები – მილიონნახევარზე მეტი ცოცხალი სამყაროს სახესხვაობები, რომელთაგან დაახლოებით მესამედს შეადგენს, მცენარეული სამყარო და ერთ მილიონამდე ცხოველთა სამყარო.

მცენარეები ცხოველებისაგან ძირითადად იმით განსხვავდებიან, რომ მათი ქსოვილი შეიცავს სასწაულმოქმედ ნივთიერება ქლოროფილს, რომელსაც გააჩნია მზის სხივების შთანთქმის უნარი და უნარი, გარდაქმნას არაორგანული ნივთიერებები ორგანულ ნივთიერებებად. ყოველივე ეს ხდება მზის ენერჯის ხარჯზე.

ფიზიკოსებმა დაადგინეს, რომ სინათლის სხივის მთელი სპექტრიდან, ყველაზე მეტი ენერჯია გააჩნია წითელ სხივს. წითელი ფერი ყველაზე მეტად შთანთქმება მწვანე ფერის ნივთიერებებისაგან, ე.ი. ქლოროფილის ფერი ბუნებამ თითქოს სპეციალურად შექმნა მწვანე ფერის, რათა მაქსიმალურად შტაენტქა მზის ენერჯია. ასევე, ცნობილია, რომ ექვსი მოლეკულა ნახშირორჟანგი და ექვსი მოლეკულა წყალი ქმნიან ერთ მოლეკულა შაქარს (გლუკოზას) და ექვს მოლეკულა ჟანგბადს. ასეთი გარდაქმნების პროცესს უწოდებენ ფოტოსინთეზს. ამ ოპერაციის შემდეგ, მცენარეებს შაქარი გადაჰყავთ სხვადასხვა ორგანულ მჟავებში, უერთებენ აზოტს და ნიადაგიდან მოპოვებულ სხვა ელემენტებს და თავიანთ უჯრედებში ქმნიან ცილებისა და ცხიმების ძირითად განმასხვავებელ ნიშანს წარმოადგენს აგრეთვე მათი გადაადგილების უნარი ბუნებაში.

წყლისა და თერმული რეჟიმის გვერდით, მცენარის კვებითი რეჟიმი შედის ფაქტორთა იმ სამეულში, რომელიც აკმაყოფილებს ცნობილ ლიბიხის პრინციპს, ე.ი. საკვები ნივთიერებების გარეშე, ისევე, როგორც ცხოველთა სამყარო, მცენარის ზრდა-

განვითარებაც გამორიცხულია და შესაბამისად, მოსავალსაც ვერ იძლევა, აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ უმრავლეს შემთხვევაში, ნიადაგების ნაყოფიერება ვერ აკმაყოფილებს სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოთხოვნილებას საკვებ ელემენტებზე და ამის გამო, მაღალი მოსავლიანობის მისაღწევად, აუცილებელი ხდება არსებული დეფიციტის ხელოვნური შევსება, რათა მირჩეულ იქნას მცენარის დაბალანსებული და მდგრადი კვებითი რეჟიმი. ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, ისმება ამოცანა მინერალური ელემენტებისა, წყალუზრუნველყოფას, და ტემპერატურულ რეჟიმებს შორის ურთიერთგავლენის შესწავლის შესახებ, ნიადაგობრივი და კლიმატური პირობების გათვალისწინებით. მიუხედავად იმისა, რომ მცენარის კვებითი რეჟიმი მიეკუთვნება მართვად ფაქტორთა რიცხვს მისი რეგულირება და მცენარის ბიოლოგიურ მოთხოვნილების დონეზე დაყენება დამოკიდებულია წყლის რეჟიმის დინამიკაზე. თუ მცენარის კვებითი რეჟიმი დაყენებულია ბიოლოგიურ მოთხოვნილების დონეზე და შეიმჩნევა წყლის დეფიციტი, მცენარე იწყებს ჭკნობას და ზრდის პროცესი იზღუდება. ე.ი. მცენარის კვებითი რეჟიმის მართვა უშუალოდაა დამოკიდებული წყალუზრუნველყოფის დონეზე. თუ მცენარის წყალუზრუნველყოფა შეესაბამება მის ბიოლოგიურ მოთხოვნილებას მცენარის კვებითი რეჟიმის ჩაყენება ბიოლოგიურ მოთხოვნილების რეჟიმში შესაძლებელია და ეფექტიც მაქსიმალური.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე ერთჯერ კიდევ ვრწმუნდებით, რომ მცენარისათვის წყალუზრუნველყოფა გადამჭრელია და მისი დომინანტური მნიშვნელობა სადაო არაა.

მიუხედავად მკვლევართა დიდი მცდელობისა, მონახულიყო ზემოთ მოყვანილ ფაქტორთა და მინერალურ კვებას შორის საიმედი კავშირი, დიდი ეფექტი არ მოჰყვა, ე.ი. დღეისათვის მინერალური და ორგანული სასუქების გამოყენების ეფექტიანობა საკმაოდ დაბალია /43/. ასეთი მდგომარეობა აიხსნება იმით, რომ ნიადაგის ნაყოფიერების დეტალური ანალიზისა და ამის საფუძველზე, სასუქების დოზების დადგენის დროს, არასრულყოფილად არის გათვალისწინებული ამინდის პირობები, რწყვის რეჟიმი და სხვა. ეს ერთჯერ კიდევ მიგვანიშნებს იმაზე, რომ მცენარის ზრდა-განვითარების არმწერ მოდელში წყლისა და სითბოს ფაქტორების გვერდით, აუცილებლად უნდა იყვეს მინერალური კვების ფაქტორი.

მინერალური კვება ერთ-ერთი მმართველი ფაქტორია, რომლის რეგულირებას არსებული კლიმატური, ნიადაგობრივი და წყალუზრუნველყოფის ფაქტორებთან დამოკიდებულებით, შეუძლია მიზანსწრაფულად მართოს მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესი სა საბოლოო ჯამში, იძლევა საშუალებას, მიღწეული იქნეს კონკრეტული კულტურის მარალი და სტაბილური მოსავალი. სასოფლო-სამეურნეო წარმოების პრაქტიკაში, უფრო ბალანსირებული კვების რეჟიმი მიიღწევა სასუქების გამოყენებით და სხვა დანამატებთან (კირი, თაბაშირი, ნახერხი, ქვიშა, ცეოლიტი და სხვა), ნიადაგის ხასიათიდან გამომდინარე.

სუამრავი ცდების საფუძველზე დადგენილია, რომ მცენარის უჯრედში შედის არაცოცხალი ბუნების თითქმის ყველა ელემენტი. ვერნადსკის მონაცემებით, მცენარის უჯრედში აღმოჩენილია იშვიათი და რადიაქტიული ნივთიერებები, ანუ ისეთი ელემენტები, რომელთა გამოვლენა ანალიზის საფუძველზე შეუძლებელია.

მცენარეში შემავალი ყველა ელემენტი შეიძლება გაიყოს სამ ძირითად ჯგუფად: /45/

- მაკროელემენტები – 10-დან 10⁻²⁰%. ორგანოგენების გარდა (ჟანგბადი, წყალბადი, ნახშირბადი, აზოტი, ფოსფორი), მათ მიეკუთვნებიან ტალიუმი, კალიუმი, კალციუმი, გოგირდი, მაგნიუმი, ნატრიუმი, ალუმინი და სხვა;
- მიკროელემენტები – 10⁻⁶-დან 10⁻¹²⁰%. მათ მიეკუთვნებიან გერმანიუმი, ტყვია, ოქრო, რადიუმი, ვერცხლი და სხვა.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, მცენარე თავისი განვითარების მთელ მანძილზე მოითხოვს თითქმის ყველა ქიმ. ელემენტს და ყოველივე მათგანს თავისი დანიშნულება აქვს. ზოგი ზრდის ელემენტია, ზოგი ფერის, ზოგი ფორმის და ა.შ. ბუნებრივია, ყველა ნიადაგი არ შეიძლება შეიცავდეს აღნიშნულ ელემენტებს და ამასთან, საჭირო რაოდენობით. ამიტომ ხდება აუცილებელი მცენარის ხელოვნური გამოკვება.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, სასუქები ძირითადად იყოფა ორ ჯგუფად მინერალური და ორგანული. ორგანული სასუქები, იმის გამო, რომ შეიცავენ მცენარისათვის თითქმის ყველა საჭირო ელემენტს, უნივერსალურები არიან, მაგრამ მათი რესურსები საკმაოდ შეზღუდულია. გარდა ამისა, ორგანული სასუქები ძირითადი

ელემენტების მცირე პროცენტული შემადგენლობით ხასიათდებიან. მაგ: ნიკელი შეიცავს საშუალოდ 0,5% აზოტს, 0,25% ფოსფორს, 0,6% კალციუმს და ა.შ. ქიმიური წარმოება უშვებს სასუქებს, რომელშიც ეს ელემენტები ათჯერ მეტია, მაგრამ ეკოლოგიურად უფრო საშიში არიან. სასუქში შეიძლება იყოს ერთი, ან რამდენიმე ელემენტი ერთდროულად. თუ სასუქში შედის ერთი ერთი ელემენტი, მას უწოდებენ მარტივს, ხოლო თუ სასუქში შედის ორი ან მეტი ელემენტი – კომპლექსურს. სასუქს, რომელშიაც შედის აზოტი, ფოსფორი და კალიუმი, უწოდებენ სრულ სასუქს.

ზემოთ მოყვანილი მოკლე ანალიზიდან, შეიძლება გამოვიტანოთ დასკვნა, რომ ყველაზე ეფექტურია, ნიადაგში შევიტანოთ მინერალური და ორგანული სასუქები ერთდროულად. ამ შემთხვევაში მინერალური სასუქების ნორმა შეიძლება შემცირდეს დაახლოებით 30%-ით.

მინერალური ელემენტები მცენარეში უფრო აქტიურად შედიან ნიადაგის ხსნარში საკვები ნივთიერებების კონცენტრაციების გარკვეულ დონეზე. საკვები ნივთიერებების იონები უფრო კარგად აითვისებენ ზომიერად გაზრდილი კონცენტრაციების დროს, ხოლო წყალს ფესვთა სისტემა უფრო კარგად შთანთქავს ნიადაგის გაუნაყოფიერებელი ზონიდან. ეს პროცესი გასათვალისწინებელია სასუქების ლოკალური და კეროვანი შეტანის დროს.

მცენარეები განსაკუთრებით მგრძობიარენი არიან საკვები ხსნარის ზედმეტ კონცენტრაციაზე განვითარების პირველ სტადიაში. ზოგიერთი მცენარე ისე მგრძობიარეა გაზრდილ კონცენტრაციაზე, რომ იგი ილუპება კიდევ.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მაღალი და სტაბილური მოსავლის მისაღებად, აუცილებელია მცენარის უზრუნველყოფა მინერალური კვების ელემენტებით. ამასთან დაკავშირებით, სასუქების დოზები ისეთი უნდა იყოს, რომ ერთის მხრივ, საშუალებას იძლეოდნენ, ამდლდეს სასურველ დონემდე ნიადაგის ნაყოფიერება და შეიქმნას მცენარისათვის აუცილებელი კვების რეჟიმი, მეორის მხრივ კი გამორიცხული იყოს სასუქების არამწარმოებლურად კარგვა და ამის საფუძველზე, გამორიცხული იქნას მათი ნეგატიური გავლენა გარემოზე. აქედან გამომდინარე, სასუქების დოზები დადგენილ უნდა იქნას დაგეგმილი მოსავლიანობის

მიხედვით ცალკეული კულტურისათვის, ცალკეული მინდვრისათვის, ე.ი. ყოველ მინდორს თავისი ტექნოლოგია სჭირდება.

თანამედროვე ეტაპზე არსებობს რამოდენიმე მეთოდი სასუქების დოზების ანგარიშისა /45, 73, 104/. სოფლის მეურნეობის პროდუქტების მწარმოებელთა შორის ყველაზე მეტი ავტორიტეტით სარგებლობს მეთოდი, რომელიც დამყარებულია ნიადაგის დიაგნოსტიკურ მაჩვენებლებზე და რომელიც ითვალისწინებს ნიადაგში არსებულ მოძრავ ელემენტთა რაოდენობას, მათ ოპტიმალურ ნორმამდე მიყვანის მიზნით.

იმისათვის, რომ ამ მეთოდით გაანგარიშებული იქნეს სასუქების დოზები, აუცილებელია, ვიცოდეთ საწყისი მონაცემები ნიადაგში მოძრავ ფარმაში არსებული ელემენტების რაოდენობის შესახებ, მათი ოპტიმალური რაოდენობა დაგეგმილი მოსავლიანობისათვის და ამ ფორმების ცვლა ნიადაგში ყოველი შეტანილი 100 კგ სასუქისაგან /58, 73/.

ამ მეთოდის მიხედვით, ფოსფორის დოზები იანგარიშება ფორმულით:

$$D_{P_{2O_5}, კგ/ჰა} = \frac{P_{OПТ} - P_{ИСХ}}{K_1} \cdot 100 \quad (2.34)$$

სადაც $P_{OПТ}$ – მოძრავი ფოსფორის ოპტიმალური მნიშვნელობა ნიადაგში გაზაფხულზე, მგ/კგ; $P_{ИСХ}$ – საწყისი (ფაქტიური) მნიშვნელობა მოძრავი ფოსფორისა ნიადაგში შემოდგომით, მგ/კგ; K_1 – მოძრავი ფოსფორის ზრდა ნიადაგში, გამოწვეული 100კგ/ჰა. P_{2O_5} შეტანით შემოდგომით შემდეგი წლის გაზაფხულამდე, მგ/კგ (2.34)-ში შემავალი სიდიდეები გამოსახულია P_{2O_5} -ში და დგინდება 0.30 სმ-იანი ფენისათვის.

მოძრავი ფოსფორის გაზრდა ოპტიმალური მნიშვნელობიდან 55-60 მგ/კგ მდე, არ იწვევს მოსავლიანობის მატებას, ხოლო მისი შემდგომი ზრდა კი იწვევს უარყოფით ეფექტს. აქედან გამომდინარე, ნიადაგში ოპტიმალურ ნორმაზე მეტი ფოსფორის შეტანა არამიზანშეწონილია.

ფოსფოროვანი სასუქის დოზა (D_{ϕ}) იანგარიშება ფორმულით:

$$D_{\phi, კგ/ჰა} = \frac{D_{P_{2O_5}} \cdot 100}{C_y} \quad (2.35)$$

სადაც C_y – P_{2O_5} -ის შემადგენლობაა ფოსფოროვან სასუქში. მოძრავი ფოსფორის შემადგენლობა ნიადაგში მოსავლის აღების შემდეგ, ($P_n - P_{2O_5}$) იანგარიშება ფორმულით:

$$P_{n,მგ/კგ} = P_{ИСХ} - \frac{P_2O_5 - B}{100} \cdot K_2 \quad (2.36)$$

სადაც P_2O_5 – ფოსფორის დოზაა, შეტანილი პირველი კულტურის ქვეშ, კგ/ჰა; B – მცენარის მიერ გამოტანილი P_2O_5 -ია, კგ/ჰა; K_2 -მოძრავი ფოსფორის ზრდაა ყოველ შეტანილ 100კგ/ჰა ფოსფორის სასუქიდან, კგ/ჰა.

მცენარის მიერ ნიადაგიდან ფოსფორის გამოტანის უნარს ადგენენ ძირითადი მოსავლის სიდიდის მიხედვით მოსავლის ერთეულზე გადაანგარიშებით, როგორც ძირითად მოსავალზე, ასევე დამხმარე პროდუქტზე. (მაგ. სიმინდისათვის მარცვალზე და ჩალაზე). ფოსფორის გამოტანას ძირითადი პროდუქციის მიერ, ავარირებენ დაგეგმილი მოსავლიანობის სიდიდის მიხედვით, ნიადაგში ფაქტიურად არსებული ფოსფორის გათვალისწინებით (წინა კულტურის აღების შემდეგ დარჩენილი ფოსფორის გათვალისწინებით).

იმ შემთხვევაში, თუ წინა კულტურის დროს ნიადაგში შეტანილი იყო დიდი რაოდენობით ფოსფორის სასუქი და საანგარიშო კულტურის მოყვანის პერიოდში, იგი არ შეუტანიათ ნიადაგში, მოძრავი ფოსფორის შემადგენლობას ამ კულტურის აღების შემდეგ, ანგარიშობენ დამოკიდებულებით:

$$P_{II} = P_{ИСХ} - \frac{B}{100} \cdot K_2 \quad (2.37)$$

აზოტოვანი სასუქების ოპტიმალური დოზების საანგარიშოდ, იყენებენ იგივე მეთოდს – ნიტრატული აზოტის მიყვანა ნიადაგში ოპტიმალურ მნიშვნელობამდე.

აზოტის დოზა იანგარიშება ფორმულით:

$$D_{n,კგ/ჰა} = \frac{N_{ОПТ} - N_{ИСХ}}{K} \cdot 100 \quad (2.38)$$

სადაც $N_{ОПТ}$ -ნიტრატული აზოტის ოპტიმალური რაოდენობაა ნიადაგის 0-100 სმ-იან ფენაში გაზაფხულზე, კგ/ჰა; $N_{ИСХ}$ - ნიტრატული აზოტის რაოდენობაა ნიადაგში წინა კულტურის აღების შემდეგ, კგ/ჰა; K – ნიტრატული აზოტის ზრდაა ნიადაგში ყოველი შეტანილი 100კგ სასუქის შედეგად, რომელიც შეტანილი იყო ნაწილ-ნაწილად ტოლი ულუფებით, კგ/ჰა.

აზოტოვანი სასუქის დოზა იანგარიშება დამოკიდებულებით:

$$D_{ay, \text{კვ/ზა}} = \frac{D_n \cdot 100}{C_y} \quad (2.39)$$

ვითვალისწინებთ რა ნიტრატული აზოტის შემადგენლობის დინამიურობას ნიადაგში, შეტანილი აზოტის დონე უნდა იქნეს შემოწმებული შესაძლებლობის მიხედვით – გაზაფხულზე, მცენარის განვითარების პირველ ფაზებში.

კალიუმთან სასუქების ანგარიში მიმდინარეობს აზოტოვანი სასუქების ანალოგიურად.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ნიადაგში შეგვაქვს ნიკელი, მინერალური სასუქების დოზები უნდა გადაანგარიშდეს.

ნიკელის დოზები, რომელიც შეტანილი უნდა იქნეს ნიადაგის ქვეშ, იმისდამხედვით, თუ როგორია მისი გახრწნის დონე (სიმწიფე), მოსაყვანი კულტურის ხასიათი, ნიადაგობრივი და კლიმატური პირობები, მერყეობს 20-დან 50ტ-მდე ჰექტარზე. ნაკლებად დამწიფებული და დიდი დოზები ნაკელისა – გამოიყენება ცივი სარტყელის ზონაში, რადგანაც ახალი ნაკელი უფრო თერმულია (მხურვალა). მშრალ და მაღალი თერმული რეჟიმის ზონებში გამოიყენება დამწვარი (დამწიფებული) ნაკელი და შედარებით ნაკლები დოზებით.

როგორც ვხედავთ, მცენარის კვებითი რეჟიმი აუცილებლად მოითხოვს მართვას, რათა მიღებული იქნეს სასურველი შედეგი და არ დავაჭუჭყიანოთ გარემო.

2.4 კლიმატური და ლანდშაფტური პირობების როლი

მოსავლიანობის ჩამოყალიბებაში

ზემოთ აღწერილ ფაქტორთა გვერდით მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესში დიდი როლი მიუძღვის კლიმატურ და ლანდშაფტურ პირობებს. ამ ფაქტორთა გავლენა მცენარის ქცევაზე ძირითადად უარყოფითია და გარკვეულ რეჟიმში მომაკვდინებელიც. ამ ფაქტორებს მიეკუთვნება სეტყვა, ქარები და ლანდშაფტი, რომლითაც განპირობებულია ნიადაგის ეროზია, ნაყოფიერი ფენის წარეცხვა და სამუდამოდ დაკარგვა. აღნიშნულ ფაქტორთაგან თუ ერთი მაინც მაქსიმალურ რეჟიმშია, მცენარე იღუპება და მოსავლიანობაც მინიმალურია.

სეტყვა ის ნალექია, რომელიც წარმოიშობა ჰაერის ზედა ფენებში სინოტივის კონდენსირების შედეგად – მყარ ფორმაში. მისი ზემოქმედება ნებისმიერი ინტენსივობის დროს უარყოფითად მოქმედებს ნათესებზე, დაბალი ინტენსივობის დროს, მექანიკური ზემოქმედება არაა იმდენად საშიში, რამდენადაც ჰაერის ტემპერატურის მკვეთრი დაცემა, რომელსაც ერთწლიანი კულტურების უმრავლესობა ვერ იტანს. სეტყვის დიდი ინტენსივობა, როდესაც იგი აღემატება 2მმ/წთ-ში სიდიდეს, იწვევს მცენარის ახალგაზრდა ამონაყარის მექანიკურ დაზიანებას. ხოლო 3-4 მმ/წთ-ის ზემოთ – ნათესების სრულ განადგურებას. სეტყვის წარმოშობა დაკავშირებულია ჰაერის ძლიერ აღმავალ დენებთან, რომელიც ფორმირდება და გვევლინება ელ-ჭექის ხასიათის ღრუბლებიდან.

სეტყვა სოფლის მეურნეობას დიდ ზიანს აყენებს. იგი განსაკუთრებით საშიშია მცენარეების ყვავილობისა და ნაყოფების მომწიფების პერიოდში, როცა მათ არ შეუძლიათ, აღადგინონ დაზიანებული ორგანოები და მოგვცენ მოსავალი. მეხილეობისა და მევენახეობის რაიონებისათვის სეტყვას დიდი ზიანი მოაქვს. მაგალითად, საქართველოს მევენახეობის რაიონებში (თელავი, ყვარელი, საგარეჯო, სიღნაღი, დედოფლისწყარო, ახმეტა, გურჯაანი), ყველაზე მეტი სეტყვიანობის შემთხვევა აღინიშნება მაის-ივნისში. შედარებით მაქსიმუმი მოდის მაისის თვეში. მაგალითად მოგვყავს თელავის რაიონი – ცხრილი 12.5.

როგორც ცხრ.2.5. და სურ.2.10.-დან ჩანს, 1985 წლის 24 აპრილს თელავში 2 წუთის განმავლობაში მოვიდა 36,7 მმ ნალექი სეტყვის სახით. ამასთან, სეტყვის მარცვლების ზედაპირი უსწორ-მასწორო იყო, რომელმაც 100%-ით გაანადგურა ხორბლის ნათესები, დააზიანა ვაზის ძველი რქაც კი. 1982 წელს, ამავე რაიონში, 29 აპრილს 15 წუთის განმავლობაში მოვიდა 47,6 მმ ნალექი სეტყვის სახით, რომელმაც მთლიანად გაანადგურა ერთწლიანი ნათესები და ძლიერ დააზიანა მრავალწლიანი ნარგავები. 1974 წლის 21 ივნისს 4 წუთში მოვიდა 40,2 მმ, რომელმაც მთლიანად მოსპოვა ვაზი ასობით ჰექტარზე. დაზიანება იმდენად დიდი იყო, რომ რიგ ფართობებზე ვაზს ჩაუტარდა მძიმე სხვა. ანალოგიური სურათი გვაქვს დედოფლის წყაროსა და საგარეჯოს რაიონში ცალკეულ წლებში ცხრ.2.6. და 2.7. დედოფლის წყაროში 1992 წლის 21 ივნისს, 15 წუთში მოვიდა 68,5 მმ ნალექი სეტყვის სახით, რომელმაც თითქმის 100%

მოსპო ხორბლის ნათესები და ვაზი ასეულ ჰექტარზე. საგარეჯოში 1982 წლის 5 ივლისს 4 წუთის განმავლობაში მოვიდა 72,8 მმ ნალექი სეტყვის სახით, რომელმაც 100% მოსპო ერთწლიანი კულტურები და დაამტვრია ვაზის ამონაყრები, ამას თან დაემთხვა საკმაოდ დიდი ქარი 23 მ/წმ სიჩქარით, რამაც ხელი შეუწყო სეტყვის გამანადგურებელ მოქმედებას.

მოყვანილი ცხრილებიდან ჩანს, რომ ხშირ შემთხვევაში, სეტყვას თან ახლავს ქარიც, რითაც უფრო მძიმდება სიტუაცია.

მაგალითის სახით სურ. 2.10; 2.11; 2.12; მოგვყავს გრაფიკები, სადაც წლების მიხედვით მოყვანილია სეტყვის ინტენსივობები. ასეთი ცხრილების და გრაფიკების ერთროული მოყვანა დაგვჭირდა იმისათვის, რომ სეტყვის ნეგატიური ზემოქმედების გამოსახვა არის მის ინტენსივობაში, რადგანაც როგორც დაკვირვების მასალები გვიჩვენებს, ძლიერი სეტყვა ხშირად დროის მოკლე მონაკვეთში მოდის 3-5 წუთი. ამ დროს, უფრო მეტად, ვაზის დაზიანება მოსალოდნელია კვირტების გახსნის პერიოდში და ყვავილობის დასაწყისში, დაახლოებით 40-60%-მდე.

ადამიანის მიერ ამინდის მოვლენებზე აქტიური ზემოქმედების ისტორია შორეულ წარსულში იწყება, ხოლო ღრუბლებზე ზემოქმედების მეცნიერული გამოკვლევები საბჭოთა კავშირში და საზღვარგარეთ – 30-იან წლებს განეკუთვნება. საქართველოში 1961 წელს პირველად შეიქმნა სეტყვასთან ორგანიზებული ბრძოლის სამსახური, რომელსაც ალაზნის ველზე სასოფლო-სამეურნეო კულტურების სეტყვისაგან დაცვის ფუნქცია დაევალა.

ამჟამად სასოფლო-სამეურნეო კულტურების საწარმოო დაცვა მრავალ რესპუბლიკაში (რსფსრ, უკრაინა, უზბეკეთი, ტაჯიკეთი, საქართველო, სომხეთი, აზერბაიჯანი, მოლდავეთი) ასიათასობით ჰექტარზე წარმოებს. თ.ი. ბართიაშვილი აღნიშნავს, რომ სეტყვის წინააღმდეგ ჩატარებული ღონისძიებების შედეგად, მისგან მიყენებული ზარალი შეიძლება საშუალოდ 70%-მდე შემცირდეს და ეკონომიურმა ეფექტმა მილიონობით მანეთი შეადგინოს.

საქართველოში სეტყვის საწინააღმდეგო ბრძოლის ღონისძიებები ტარდება განსაკუთრებულ სეტყვასაშიშ რაიონებში (ახმეტა, თელავი, საგარეჯო,

გურჯაანი, წითელი წყარო, სიღნაღი, ლაგოდეხი, ყვარელი, მარნეული, ტეთრი წყარო, დმანისი, ბოლნისი) ათასობით ჰექტარ ფართობზე.

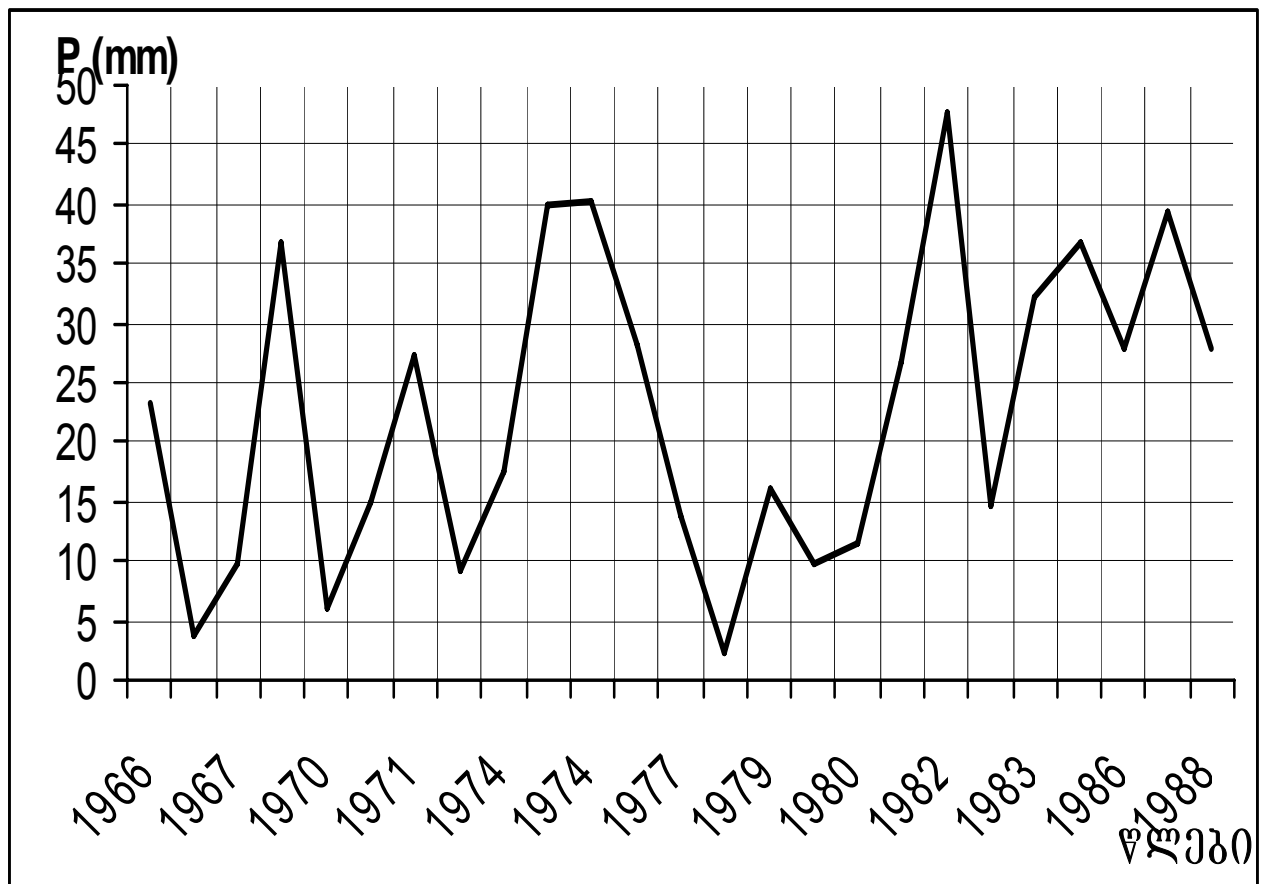
უკანასკნელ წლებში, სეტყვასთან ბრძოლას აწარმოებენ ღრუბლებში სეტყვის წარმოქმნის პროცესებზე უშუალოდ ზემოქმედების გზით, სეტყვის ღრუბლებზე ხელოვნური ზემოქმედების მეთოდის საფუძველს წარმოადგენს მსხვილი სეტყვის წარმოქმნის პროცესის შეჩერება. ამ მიზნით, სეტყვის ღრუბლების მოგროვების რამდენიმე წუთის (15-20 წ) შემდეგ, მათ ესვრიან სპეციალურ საკეტებს ან ქვემეხის ჭურვებს, რომლებსაც შეაქვთ ღრუბლებში სეტყვის თავიდან აცილების სათანადო რეაგენტები. სეტყვის საწინააღმდეგო ბრძოლის საშუალებას წარმოადგენს სეტყვის წარმოქმნელი ღრუბლების განდევნა-დაშლა საარტილერიო ჭურვებით და კაპრონის ბადეებით ნათესის გადახურვა. ასეთი ბადეებით იტალიაში დაცულია ათასობით ჰექტარი ვენახი. ეს ღონისძიებები რთული განსახორციელებელია და ნაკლებეფექტურია, თუმცა დადეს-დღეობით სხვა უფრო ეფექტური საშუალება არ არსებობს.

ნალექების დინამიკა (სეტყვის სახით) თელავის რაიონში

ცხრ. № 2.5

წელი	თვე და რიცხვი	დრო საათებში	ნალექები მმ-ში	ქარი	
				საშუალო	მაქსიმალ.
1966	5 აგვისტო	9-15წთ. ფარგლები	23,2		
1967	3 ივნისი	21-27	3,6		
1967	24 სექტემბერი	4-8	9,8		
1968	17 აგვისტო	9-15	36,8		
1969	—	—	—		
1970	8 აპრილი	4-8	6,0		
1970	14 მაისი	9-15	15,0		
1971	21 მაისი	9-15	27,2		
1972	4 ივნისი	9-15	9,1		
1973	—	—	—		
1974	16 ივნისი	21-27	17,6		
1974	24 ივნისი	16-20	40,0		

1974	21 ივნისი	4-8	40,2		
1974	26 ივნისი	4-8	28,1		
1975	—	—	—		
1976	—	—	—		
1977	13 აპრილი	10,33-10,35	13,8	2,5	14
1978	—	—	—	—	—
1979	10 აპრილი	15,20-15,23	2,2	2,0	9
1979	2 ივნისი	17,15-17,23	16,0	1,8	17
1979	14 ოქტომბერი	15,37-15,45	9,7	1,4	8
1980	5 აპრილი	16,27-16,35	11,6	1,8	12
1981	15 მაისი	16,15-16,30	26,8	1,9	14
1982	29 აპრილი	18,05-18,20	47,6	0,9	4
1983	28 ივლისი	16,40-16,43	14,7	2,0	9
1983	19 სექტემბერი	16,35-16,40	32,2	1,6	8
1984	—	—	—	—	—
1985	24 აპრილი	15,04-15,06	36,7	1,0	7
1986	2 მაისი	15,47-15,50	27,8	2,1	10
1987	19 მაისი	21,15-21,30	39,4	1,6	6
1988	6 ივნისი	21,17-21,30	27,9	1,1	2
1989	—	—	—	—	—
1990	—	—	—	—	—

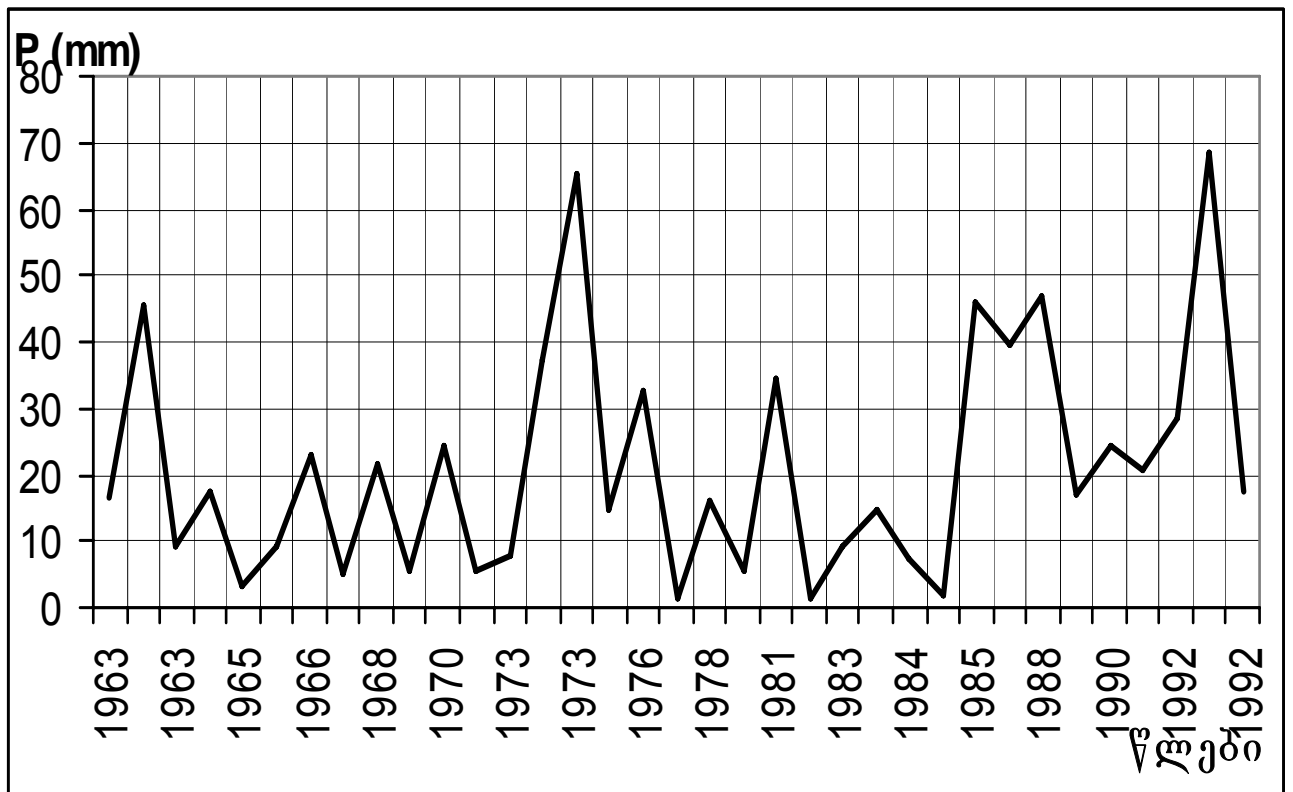


ნალექების დინამიკა (სეტყვის სახით) დედოფლისწყაროს რაიონში

ცხრ.№2.6

წელი	თვე და რიცხვი	დრო საათებში	ნალექები მმ-ში	ქარი	
				საშუალო	მაქსიმალ.
1963	20 აპრილი	16-20 ფარგლებში	16,6		
1963	1 მაისი	16-20	45,6		
1963	19 მაისი	4-8	9,4		
1963	21 სექტემბერი	16-20	17,3		
1964	—	—	—		
1965	6 ივნისი	4-8	3,3		
1965	7 ივნისი	9-15	9,0		
1966	14 მაისი	16-20	22,9		
1966	29 მაისი	4-8	5,0		
1967	—	—	—		
1968	18 ივნისი	9-15	21,4		
1969	1 ივლისი	9-15	5,3		
1970	7 მაისი	9-15	24,2		
1970	19 მაისი	4-8	5,4		
1971	—	—	—		
1972	—	—	—		
1973	18 აპრილი	4-8	7,8		
1973	30 აპრილი	33-39	37,3		
1973	8 ივნისი	21-27	65,1		
1974	—	—	—		
1975	—	—	—		
1976	22 აპრილი	9-15	14,8		
1976	6 ივნისი	21-27	32,5		
1977	8 მაისი	15,45-15,50	1,4	0,8	8

1978	28 მაისი	14,00-14,05	16,1	0,8	6
1979	---	---	---	---	---
1980	---	---	---	---	---
1981	8 მაისი	17,30-17,40	5,7	2,0	20
1981	25 ივნისი	21,10-21,20	34,4	0,3	14
1981	8 აგვისტო	14,05-14,10	1,2	0,5	6
1982	---	---	---	---	---
1983	20 სექტემბერი	12,35-12,40	9,1	7,0	20
1984	10 აპრილი	17,00-17,10	14,9	1,5	7
1984	17 აპრილი	14,00-14,15	7,5	0,0	0
1985	26 აპრილი	17,00-17,05	1,9	0,8	6
1985	27 მაისი	20,00-20,15	46,2	0,0	10
1986	27 ივლისი	14,15-14,35	39,7	0,3	10
1987	---	---	---	---	---
1988	25 მაისი	00,05-00,10	47,1	2,4	14
1989	---	---	---	---	---
1990	16 აპრილი	14,05-14,10	17,2	0,3	4
1990	20 მაისი	16,15-16,20	24,2	0,9	5
1991	14 აპრილი	18,10-18,15	20,5	0,3	4
1992	15 მაისი	16,50-17,10	28,7	1,0	6
1992	21 ივნისი	16,10-16,25	68,5	0,3	4
1992	27 ივნისი	18,30-18,35	17,7	0,5	4

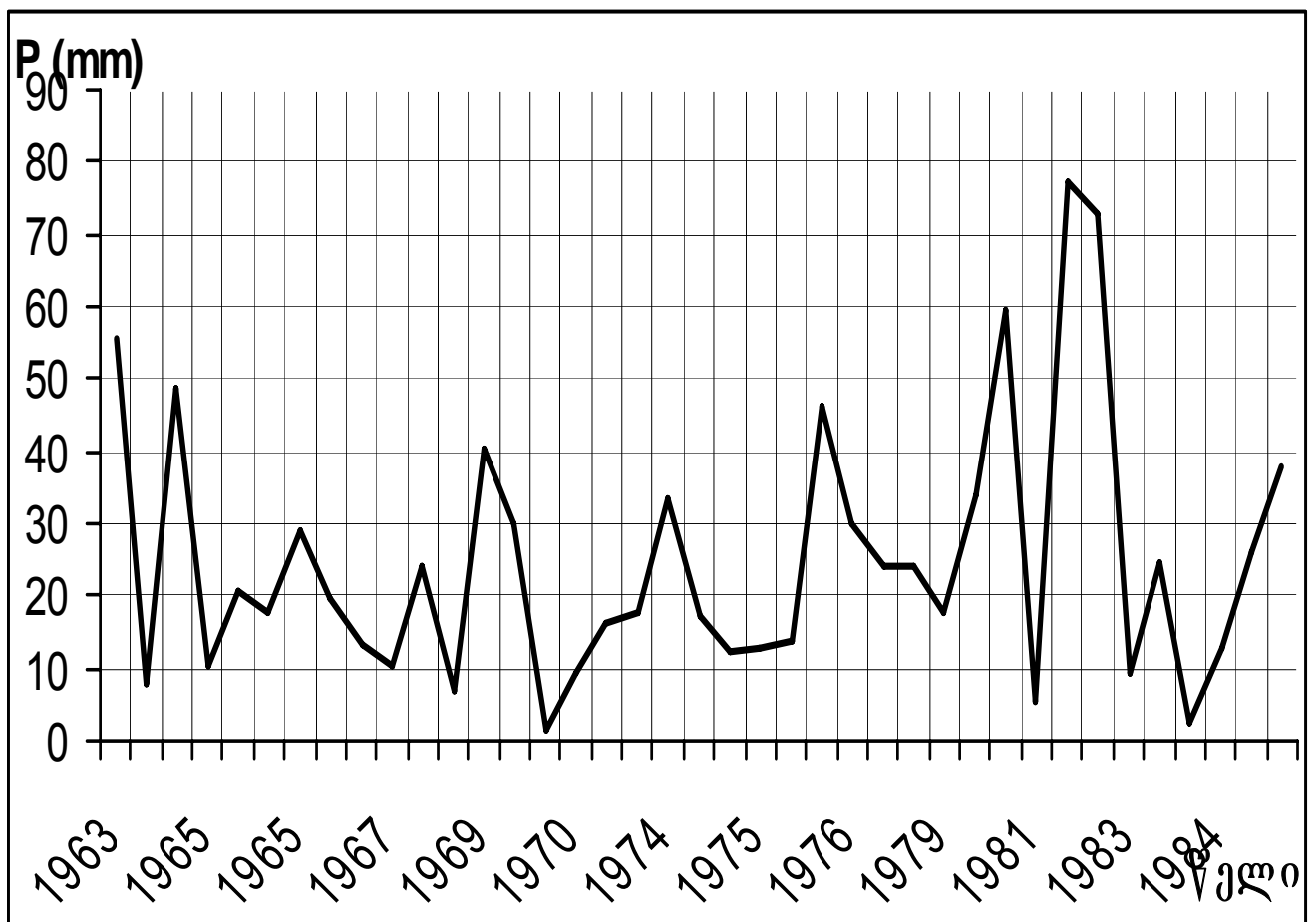


ნალექების დინამიკა (სეტყვის სახით) საგარეჯოს რაიონში

ცხრ.№ 2.7

წელი	თვე და რიცხვი	დრო საათებში	ნალექები მმ-ში	ქარი	
				საშ.	მაქს.
1963	8 ივნისი	9-15 ფარგლებში	55,4		
1964	29 აპრილი	4-8	7,7		
1964	10 ივნისი	28-32	48,7		
1965	2 აპრილი	21-27	10,2		
1965	7 ივნისი	4-8	20,5		
1965	13 ივნისი	4-8	17,5		
1965	10 ივლისი	16-20	29,2		
1966	29 აგვისტო	4-8	19,9		
1967	30 აპრილი	1-3	13,3		
1967	3 ივნისი	4-8	10,3		
1967	23 სექტემბერი	4-8	24,1		
1968	1 სექტემბერი	16-20	6,8		
1969	4 აპრილი	9-15	40,2		
1969	6 მაისი	9-15	30,2		
1969	22 სექტემბერი	1-3	1,5		
1970	19 მაისი	1-3	9,4		
1972	21 ივნისი	4-8	16,0		
1973	30 მაისი	9-15	17,7		
1974	15 სექტემბერი	9-15	33,6		
1975	22 აპრილი	16-20	17,3		
1975	9 მაისი	9-15	12,1		
1975	17 მაისი	9-15	12,8		
1976	14 მაისი	9-15	13,9		
1976	27 მაისი	16-20	46,3		
1976	12 ივნისი	1-3	30,1		
1977	13 აპრილი	09,52-09,55	24,3	1,6	12
1977	17 მაისი	15,25-15,27	24,0	1,6	8
1978	—	—	—	—	—

1979	27 აპრილი	19,30-19,41	17,8	1,4	8
1980	1 აგვისტო	19,16-19,31	33,8	1,3	9
1981	10 მაისი	17,01-17,08	59,5	1,5	12
1981	15 ივნისი	16,17-16,21	5,6	1,8	14
1981	9 აგვისტო	18,01-18,21	77,4	1,1	14
1982	5 ივლისი	19,31-19,35	72,8	1,8	23
1983	1 მაისი	14,49-14,58	9,4	1,9	12
1983	28 მაისი	13,44-13,55	24,5	1,9	23
1983	28 ივლისი	19,04-19,09	2,7	2,8	17
1984	22 აპრილი	14,43-14,47	12,6	1,6	14
1985	24 აპრილი	15,15-15,24	26,0	0,9	10
1986	—	—	—	—	—
1987	4 ივნისი	15,02-15,18	37,7	1,4	11
1988	—	—	—	—	—



ტემპერატურათა სხვაობა ეკვატორსა და პოლუსებს შორის, რომელიც აპირობებს ამ მხარეებში ცვალებად ატმოსფერულ წნევებს, სახელდობრ, პოლუსებზე უდიდესს, ხოლო ეკვატორზე – უმცირესს, ძირითადი მიზეზია ატმოსფეროს დიდი მასშტაბით ცირკულაციისა. გარდა ამისა, ატმოსფეროში წნევა ცვალებადობს არა მხოლოდ ჰორიზონტალური, არამედ ვერტიკალური მიმართულებითაც. ამასთან დაკავშირებით, ჰაერის მასების გადაადგილება შეიძლება მოხდეს ვერტიკალურად, როგორც აღმავალი, ისე დაღმავალი მიმართულებით. ამ დროს წარმოიშობა კონვექტური დენები.

საერთოდ, ფიზიკიდან ცნობილია, რომ ჰაერის მასები მოძრაობენ მაღალი წნევის არედან დაბალი წნევის არესკენ და იგი მიმდინარეობს მანამ, სანამ მათ შორის თანაბარი ატმოსფერული წნევა არ დამყარდება.

ქარი, ეს არის ჰაერის მასების მოძრაობა დედამიწის ზედაპირის მიმართ. იგი წარმოიშობა ატმოსფერული წნევების არათანაბარი განაწილებით დედამიწის ზედაპირზე და ხასიათდება სიჩქარით და მიმართულებით. სიჩქარე იზომება სპეციალური ხელსაწყოებით და გამოისახება მასების გადაადგილების სიჩქარით – დროის ერთეულში (მ/წმ). ღარის ზემოქმედება ნათესზე ძირითადად ნეგატიურია, მისი სიჩქარის გარკვეული სიდიდის შემდეგ. ქარის დაბალი სიჩქარეები, ხშირ შემთხვევაში, სასარგებლოა ნათესებისათვის თუ ისინი ქრიან დაბალი სიჩქარით (1-5 მ/წმ) უფრო ნოტიო რეგიონებიდან; მათი საშუალებით გადაადგილდება ღრუბლები, რომლებიც წარმოადგენენ სინოტივის გადატანის და ამის შედეგად, ნალექების (წვიმა) წარმოშობის ერთადერთ საშუალებას. ქარის სიჩქარის ზრდა იწვევს მცენარის ტანის მდგრადობის რღვევას და მის სრულ დაკარგვას. ისინი იწვევენ ნიადაგის ეროზიას

(ქარისმიერი ეროზია), რის შედეგადაც სამუდამოდ და დაუბრუნებლად იკარგება ნიადაგის ნაყოფიერი ფენა; ხანგრძლივი ქარის ქროლა ერთი და იგივე მიმართულებით იწვევს ნიადაგის გამოშრობას და მცენარის ჭკნობას, მაგალითისათვის, ცხრილში 2,5; 2,6; 2,7; მოგვყავს ქარის მაქსიმალური და საშუალო სიდიდეები საქართველოს ზოგიერთი რაიონებისათვის, რომელშიც ნათლად ჩანს, რომ სეტყვას თითქმის თან ერთვის გარკვეული, ზოგჯერ დიდი სიჩქარის ქარები, რომლებიც აღწევენ 20-23 მ/წმ და მეტსაც. ეს სიჩქარეები კი ახლოსაა ქარებთან, რომელსაც ბოფორტის შკალის მიხედვით, შეესაბამება “შტორმი” (ცხრ 12,8).შტორმის დროს იწყება ნაგებობათა ნგრევები, სახურავების

მოშლა, მცირე ტანიანი და ძველი ხეების მოთხრა, ნიადაგის ინტენსიური ეროზია. ასეთი ქარები იწვევენ ნათესების აღგვას და ხშირ შემთხვევაში, გვიხდება ნათესების მეორედ განახლება. მაგალითად, 1982 წლის 5 ივნისს, საგარეჯოში, ძლიერ სეტყვასთან ერთად, ქარის სიჩქარემ მიაღწია 22 მ/წმ სიდიდეს, ასეთივე ქარები იყო ამ რეგიონში 1983 წლის 28 მაისს, რომელმაც თითქმის მთლიანად გაანადგურა ერთწლიანი ნათესები ასობით ჰექტარზე.

საქართველოს ზოგ რაიონებში (ქუთაისი, საგარეჯო, მარნეული, გარდაბანი), თითქმის სულ ქრის ქარი და ხშირად ისეთი სიჩქარით, რომ ზიანდება ნაგებობები, ნათესები.

დიდი მნიშვნელობა აქვს ქარის ქროლვის პერიოდს. დიდი დროით ქარის ქროლვას შეუძლია მთლიანად წარიტაცოს ნიადაგის ნაყოფიერი ფენა მასზე არსებული ნარგავებით.

ქარის ნეგატიური ზემოქმედებისგან დაცვის ერთ-ერთ ეფექტურ საშუალებას წარმოადგენს მინდორსაცავი ტყის ზოლების გაშენება, რომელთა შორის მანძილი განისაზღვრება გაბატონებული ქარების სიჩქარით და შენელება – ამ ქარების მიმართულების მართობულად.

ქარის ზემოქმედების ხასიათი ბოფორტის შკალით

ბოფორტის ბალი	ქარის სიჩქარე	ქარის მახასიათებელი	ქარის ზემოქმედება
1	2	3	4
0	0	შტილი	ქარის სრული არყოფნა. კვამლი ბუხრის ყელიდან აღიმართება ვერტიკალურად
1	0,9	წყნარი	კვამლი ბუხრის ყელიდან ოდნავ იხრება გვერდზე
2	2,4	მსუბუქი	ჰაერის მოძრაობა იგრძნობა ადამიანის სახეზე, ირხევინ ფოთლები.
3	4,4	სუსტი	მცენარის ფოთლები ირხევინ მუდმივად, ხეების წვრილი ტოტები ირხევინ
4	6,7	ზომიერი	ქარი იტაცებს მტვერს, ქაღალდის ნაკუწებს, მოყავს მოძრაობაში ხის წვრილი ტოტები.

5	9,3	ცოცხალი	ირხევა წვრილტანინი ხეები
6	12,3	ძლიერი	ირხევა ხის მსხვილი ტოტები
7	15,6	მაგარი	ირხევა ხის ტანი, ქარის საწინააღმდეგოდ სიარული ჭირს
8	18,9	ძალიან მაგარი	ქარი ამხვრევს, ხის ტოტებს, ქარის წინააღმდეგ სიარული შეუძლებელია.
9	22,6	შტორმი	მცირე ნგრევები, ქარი იტაცებს სახურავებს
10	26,4	ძლიერი შტორმი	შესამჩნევი ნგრევები, თხრის ხეებს
11	30,5	ხისტი შტორმი	დიდი ნგრევები
12	34,8	ურაგანი	გამაცარიელებელი მოქმედება.

ქარის ნეგატიური მოვლენების (ეროზია) საწინააღმდეგო ბრძოლის საშუალებები შემოთავაზებულია რიგი მეცნიერების და მათ შორის, ჩვენი თანამემამულის ვ.ნადირაშვილის მიერ, რომელმაც შემოგვთავაზა ქარსაცავი ტყის ზოლებს შორის მანძილის თეორიული ანგარიშის ორიგინალური მეთოდი /66/.

თუ ვიმსჯელებთ ცხრილი 2.8-ის მიხედვით, ქარი სიჩქარით 15 მ/წმ და მეტი, უკვე საშიშია ერთწლიანი ნარგავებისათვის, განსაკუთრებით იმ კულტურებისათვის, რომელთა სიხშირეც მინდორში მცირეა (სიმინდი, მზესუმზირა), ხოლო 20 მ/წმ-ის ზემოთ კი თითქმის ყველა ერთწლიანი ნარგავებისა და ვენახისათვის, განსაკუთრებით იმ ფაზაში, როდესაც ყალიბდება ტანი, ამონაყარი.

ეროზია – არის ნიადაგის ფენის დაშლის პროცესი წყლის ნაკადით ან ქარით. ამასთან, იშლება ნიადაგის უფრო ნაყოფიერი ზედა ფენა. ამ ფენის დაშლა მიმდინარეობს სწრაფად. მის აღსადგენად კი საჭიროა საუკუნეები. 18სმ სისქის ნიადაგის წარმოსაქმნელად, ბუნება ხარჯავს არანაკლებ 1400-7000 წელიწადს. ნიადაგწარმოქმნა მიმდინარეობს დაახლოებით 0,5-2 სმ სიჩქარით 100 წელიწადში. ასეთი ფენის დაშლა ეროზიით შეიძლება მოხდეს ერთი წლის განმავლობაში, ზოგჯერ ერთი ნიაღვრით, ან მტვრიანი ქარბუქით.

მარცვლოვანი კულტურების მოსავლიანობა ეროზირებულ ნიადაგებზე 3-4 ჯერ დაბალია, ვიდრე ეროზიით დაუშლელ ფართობებზე. გადარეცხილი ფართობები ხშირად ჭაობდება, 1 ჰა ფართობიდან 8ტ შავმიწა ნიადაგის სახნავი ფენის, ან 14ტ ტყის რუხი ნიადაგის, ან 20ტ კორდიანი ეწერი ნიადაგის სახნავი ფენის ეროზიისას, იკარგება

იმდენი აზოტი და ფოსფორი, რამდენიც აუცილებელია ამ ნიადაგებზე ინტენსიურ თესლბრუნვაში საშუალო მოსავლის მისაღებად.

ერთი საუკუნის განმავლობაში, ეროზიის შედეგად, მთელი მსოფლიოს სახნავ-სათესი მიწებიდან გამოითიშა 23%. ეს განიცადა განსაკუთრებით აშშ-მ, სადაც ამჟამ ტერიტორიის 48% განიცდის აქტიურ ეროზიას.

ეროზიასთან ბრძოლის მეცნიერების ფუძემდებელი ჰ.ბენეტი (1975) წერდა. “ამ ახალი ქვეყნის თეთრკანიანმა მფლობელებმა თავიანთ “ველური სივრცეების დაპყრობაში” და დასავლეთის დამორჩილებაში, დაამყარეს ნგრევის და

გაჩანაგების თავზარდამცემი რეკორდი, ნიადაგი გადაირეცხა ზედაპირული ნაკადით, ხრამებით დაისერა მანამდე მდიდარი მიწები.” ამის შედეგად, ქვეყნის დასავლეთით, წარმოიშვა ე.წ. ამერიკის დიდი მტვრიანი ქვაბი, სადაც შავ ქარბუქებს ნიადაგი გადააქვთ უტყეო ფართობებიდან მტვრის სახით _ ოკეანეში. “დიდი ველების” მიერ დაკავებული 156 მილიონი ჰა და კიდევ 56 მილიონი ჰა ვარგისია მხოლოდ ბალახის სათესად. ნიადაგის ეროზია განსაკუთრებით დამანგრეველია ველებისა და ტყე-ველების ზონებში, ასევე ტყეების ზონაში, კარპატებიდან სამხრეთ ურალის ველამდე და კიდევ იქით.

ჩვეულებრივ განასხვავებენ ნორმალურსა და დაჩქარებულ, დამანგრეველ ეროზიას.

ნორმალური ეროზია მიმდინარეობს იმ რაიონებში, რომელთა ზედაპირი დაფარულია ბუნებრივი მცენარეულობით, რაც არ შეცვლილა ადამიანის სამეურნეო საქმიანობით. არასწორი ხვნით, გადაჭარბებული ძოვებით. ტყეების ჭრითა და მორთრევით. დაჩქარებული ეროზია მიმდინარეობს დანაწევრებულ რელიეფიან, ან ქვიშნარ ნიადაგებთან და სათანადო კლიმატურ ნიადაგურ-გეოლოგიურ რაიონებში, სადაც ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიებათა გამოუყენებლად, განვითარდა დაჩქარებული, დამანგრეველი ეროზიული პროცესები.

განასხვავებენ ქარისმიერსა და წყლისმიერ ეროზიას.

ქარისმიერი ეროზია მიმდინარეობს ნიადაგის ნაწილაკების ინტენსიური გადაადგილებით მიწის ზედაპირზე. იგი მიმდინარეობს წელიწადის ყოველ დროსა და ყოველგვარი ძალის ქარის მოქმედებით (15-20 მ/წმ) გაზაფხულზე, როდესაც ნიადაგი

გაფხვიერებულია და ჯერ კიდევ არ არის დაფარული მცენარეულობით. ქარის მოქმედება სუსტია ტენიან ნიადაგზე. ამიტომ, ქარის მიერ ეროზიას განიცდიან მშრალი ოლქების ნიადაგები [67].

ნიადაგის ადგილობრივი ქარისმიერი ეროზია მიმდინარეობს ნელა და თანდათანობით შლის ნიადაგს. ეს უფრო ხშირად წარმოიშობა ფერდობებზე, სადაც ქარი მოქმედებს მტვრიანი, ანუ შავი ქარბუქი წარმოიშობა ძლიერი ქარების დროს, როდესაც ნიადაგის წვრილი ნაწილაკები გადაიტანება ატაცებულ მდგომარეობაში. ეს მეორდება ყოველ 3-5, 10-20 წელიწადში. მოიცავს დიდ ფართობებს და მოკლე დროში (1-2 დღეში) ხვეტავს ნიადაგს 1-2, ზოგჯერ 5-25 სმ სიღრმეზე და ანადგურებს ნათესებს.

გამოყოფენ მაღლივ, ადგილობრივ ეროზიას, იგი წარმოიშობა ძლიერი ქარების – გრიგალის დროს, როდესაც ქარი მიწის მტვერს მაღალი სვეტის სახით ახვეტს და დაბლივ ადგილობრივ ეროზიას, როდესაც ქარი აიტაცებს, მიწის ნაწილაკებს 1,5მ სიმაღლემდე. დაბლივი, ადგილობრივი, ეროზია თავისი მოქმედებით, ანადგურებს სასოფლო-სამეურნეო კულტურებს.

წყლისმიერი ეროზია შეიძლება იყოს სიბრტყითი და ხაზობრივი. სიბრტყითი ეროზია არის ნიადაგის ჩამორეცხვა ნიაღვრების, ან ნადნობი წყლის ნაკადით. მიკრორელიეფის უსწორმასწორობა ხელს უწყობს ატმოსფერული წყლების კონცენტრაციას, რომელიც ჩამოედინება რა ნიადაგის ზედაპირზე, ნაკადულებად წარმოშობს ჩამონადებს, მოხვნის შედეგად, ნიადაგის ასეთი ზედაპირი სწორდება, მაგრამ სახნავი ფენა მცირდება [68,70].

განსაკუთრებით საშიშია ნიადაგის ეროზია მთებში, სადაც შიშველი ფერდობები ხელს უწყობენ დამანგრეველი ღვარცოფის წარმოშობას. მათი წარმოქმნის მთავარი მიზეზია ტყის არასწორი ჭრა, ფერდობების გასწვრივ შემდგომი მორ-თრევით, რის შედეგადაც იგლიჯება მცენარეული საფარი. ასევე, პირუტყვის უზომო მოვება და თოვლის ზვავები.

მდინარის ნაპირებიდან გადასვლით გამოწვეული ეროზიული ჩამორეცხვა, შეიძლება მოხდეს ადამიანის გავლენის გარეშეც, ამიტომ მდინარეთა ნაპირების, წყალსაცავებისა და არხების ნაპირების დამაგრება აუცილებელია.

შემუშავებულია ნიადაგის ქარისმიერი და წყლისმიერი ეროზიისაგან დაცვის განსაკუთრებული ღონისძიებანი. ქარისმიერი ეროზიის გავრცელების რაიონებში, აუცილებელია ნიადაგდამცველი თესლბრუნვის შემოღება, ზოლებრივად განლაგებული ნათესებით და ანეულებით კულისების შექმნა, ძლიერ ეროზირებული მიწების დაკორდება, ბუფერული ზოლების შექმნა. მრავალწლიანი ბალახებით თოვლის შეკავება, ქვიშრობის დამაგრება და გატყევა, მინდორსაცავი ტყის ზოლების გაშენება, აგრეთვე, ნიადაგის გადმოუბრუნებლად მიწის დამუშავება, ნაწვერალის ზედაპირზე დატოვებით. ეს ღონისძიებები უმთავრესად უნდა ტარდებოდეს ყაზახეთის, აღმოსავლეთ და დასავლეთ ციმბირის, ვოლგისპირეთისა და უკრაინის ცალკეულ რაიონებში.

წყლისმიერი ეროზიის გავრცელების რაიონებში აუცილებელია ნიადაგის დამუშავება და სასოფლო-სამეურნეო კულტურების თესვა ფერდობის გარდიგარდმო, კონტურული ხვნა, სახნავი ფენის გაღრმავება და წყლის ზედაპირული დინების შემამცირებელი ნიადაგის დამუშავების სხვა ხერხები. ნიადაგდამცველი თესლბრუნვები, სასოფლო-სამეურნეო კულტურების ზოლური განლაგება, მკვეთრი დაქანების ფერდობების დაკორდება, მინდორსაცავი ტყის ზოლების გაშენება, ხე-ხრამების, ქვიშების, მდინარეების ნაპირებისა და წყალსაცავების გატყევა, ეროზიის საწინააღმდეგო ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მოწყობა.

ეროზიასთან ბრძოლის სამუშაოებს, ჩვეულებრივ, წინ უძღვის ტერიტორიის ეროზიის საწინააღმდეგო ორგანიზაცია. ამასთან, გამოიყოფა სხვადასხვა ხარისხის ეროზირებული ფართობები და მათზე პროექტირება საორგანიზაციო-სამეურნეო აგროტექნიკურ, სატყეო-სამელიორაციო და ჰიდროტექნიკურ ღონისძიებათა კომპლექსი. ნაძნობი წყლისა და ნიაღვრების ზედაპირული დინების რეგულაციის, ნიადაგის ეროზიისა და ასევე გვალვების წინააღმდეგ ბრძოლის ყველაზე მარტივი და ეფექტური აგროტექნიკური ღონისძიებაა ხვნა, კულტივაცია და მწკრივად თესვა, ან დარგვა ფერდობების გარდიგარდმო. ამასთან, ყოველი ხნული, ყველა მცენარე, ეწინააღმდეგება წყლის დინებას, მნიშვნელოვნად ამცირებს ნიადაგის ჩამორეცხვას და ადიდებს ტენის მარაგს მასში.

მატყეო-სამელიორაციო ღონისძიებანი, სხვებთან კომპლექსში, საიმედოდ იცავენ ნიადაგს ეროზიისაგან და ამცირებენ გვალვების უარყოფით გავლენას მინდორსაცავი ტყის ზოლებისა და დაცვითი ტყის გაშენებაზე. ჩვენს ქვეყანაში დაგროვილია დიდი გამოცდილება, ისინი ამცირებენ თოვლის გადახვეტასა და ნიადაგის გაყინვის სიღრმეს მტვრიანი ქარბუქის გავრცელების რაიონებში და ქვიშრობ ნიადაგებზე. ტყის ზოლები იცავენ ზოლთაშორის ფართობებს ქარისმიერი ეროზიისაგან, ხოლო აღმონაცენს დაზიანებისაგან, ხვნისა და ქვიშით დაფარვისაგან.

ჰიდროტექნიკური ღონისძიებანი ნიადაგის ეროზიასთან ბრძოლის საერთო სისტემის შემადგენელი ნაწილია. მინდვრებზე ეწყობა მიწის მუდმივი ზვინულები ფართო ფუძით, დახნული ტერასები, მიწისა და წნულის საგუბრები.

ხრამების დასამაგრებლად, იყენებენ თხრილებისა და ზვინულების სისიტემას, რაც ეწყობა ხრამის, ან მკვეთრი დაქანების ფერდობის თავში. ხევისა და ხევისპირა ზოლების გატყევებასთან შეხამებული ეს მეთოდი, ერთ-ერთი ყველაზე უფრო ხელმისაწვდომი და საიმედოა.

ზოგჯერ ხრამის გასამაგრებლად იყენებენ რკინა-ბეტონის ასაწყობ ღარებს, სწრაფსადინარებს. მათ ამზადებენ ცალკეული რგოლებისგან და თანმიმდევრობით აწყობენ ქვემოდან ზემოთ – აღმართისკენ. ღარები შეთანაწყობილი უნდა იყოს ფსკერის ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებთან, რომლებიც იცავენ ხრამის ფსკერს ჩარეცხვისაგან და ხელს უწყობენ ეროზიის პროდუქტების დაგროვებას ტყის ზრდის პირობების გასაუმჯობესებლად.

ფსკერის ნაგებობებია საგუბრები, ცოცხალი ტირიფის წნულები და წინაღობები ადგილობრივი ქვისგან.

ღოგორც ზემოთ მოყვანილი ანალიზიდან ჩანს, როგორც წყლისმიერ, ასევე ქარისმიერ ეროზიას დიდი ზიანი შეუძლია მიაყენოს სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებს და განსაკუთრებით ერთწლიან ნარგავებს. ამდენად, მოსავლიანობის პროგნოზირების მეთოდის დამუშავებისას, აუცილებელია ამ ბუნებრივი სენის გათვალისწინება, რაც ჩვენს მიერაა განხორციელებული.

თავი III. მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესის

მათემატიკური მოდელის დამუშავება წყალუზრუნველყოფის ფონზე

3.1. მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესის მათემატიკური მოდელის შერჩევა და კონსტრუირება

თანამედროვე მეცნიერების განვითარების პირობებში მნიშვნელოვანი ყურადღება ეთმობა საკითხებს, რომლებიც მართვას ეხება. ამ მიდგომის აუცილებლობა განპირობებულია რიგი მიზეზებით, რომელთა შორის, უპირველეს ყოვლისა აღსანიშნავია ტექნოლოგიური პროცესების სწრაფი განვითარება და გართულება, ჩატარებული ღონისძიებების მასშტაბებისა და ღირებულების ინტენსიური ზრდა, ავტომატიზაციისა და ტელემექანიზაციის ფართო შემოსვლა წარმოებაში და სხვა. ყოველივე ამის გათვალისწინებით აუცილებელია მოხდეს რთული და მიზანდასახული პროცესების დეტალური ანალიზი, რათა შესაძლებელი გახდესადამიანის სასარგებლოდ პროცესზე მოქმედი ფაქტორების მიზანდასახული მართვა. ამ სფეროში კვლევის ძირითადი მიზანია, ისეთი მეთოდების მოძებნა, რომლებიც გააუმჯობესებენ პროცესის შედეგს, ან დაგეგმილი ოპერაციის მსვლელობას. ამ მიზნის მისაღწევად, წარმოებს ადრე ჩატარებული ოპერაციების ანალიზი, დგინდება ფაქტები, ხდება თეორიების დამუშავება, რომლებიც ხსნიან ამ ფაქტებს და ბოლოს, ფაქტები და თეორია გამოიყენება მომავალი ოპერაციის მსვლელობის პროგნოზირებისათვის, შედეგების გაუმჯობესებისათვის, საჭირო ღონისძიებების გამომჟღავნებისათვის და ა.შ. ყოველივე ეს პროცედურა იწერება მათემატიკურ ენაზე, ე.ი. ხდება პროცესის მათემატიკური მოდელირება.

ჩვენი ცოდნა, ნებისმიერი პროცესისადმი, ყოველთვის შეფარდებითია, რის გამოც პროცესის მათემატიკური მოდელი სრულყოფილად ვერ აღწერს მიმდინარე პროცესს. ამის გამო, პროცესის აღმწერი მოდელი არასდროს არაა მისი ზუსტი ასლი, არამედ წარმოადგენს მისი ძირითადი მხარეების ფიქსირებას ქალაქდზე და გონებაში. რამდენადაც რეალურ პროცესში უსასრულოდ დიდი რაოდენობის კავშირებია, გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება ისეთი კავშირების გათვალისწინებას, რომლებიც

განაპირობებენ დასახული მიზნის მიღწევას, რომელი ინტერესებისთვისაც ხდება თვით მოდელირება /2,40,42,49,50/.

მათემატიკური მოდელის აგება წარმოადგენს ყველა შემდგომი ანალიზის საფუძველს. ეს პროცესი წარმოადგენს ცენტრალურ ეტაპს მომავალ კვლევაში. აგებული მოდელის ხარისხზე (დონეზე) მთლიანადაა დამოკიდებული შემდგომი ანალიზის ბედი. მოდელის აგება არაფორმალური პროცედურაა და რა თქმა უნდა, დიდადაა დამოკიდებული მკვლევარზე, მის გამოცდილებაზე, ტალანტზე, რის გამოც ვამბობთ, რომ მოდელირების პროცესს აქვს ფენომენოლოგიური საფუძველი. მოდელმა საკმარისად სრულად და სწორად უნდა ასახოს მოვლენა, მაგრამ ეს საკმარისი არაა. იგი უნდა იყოს გამოსაყენებლად მოსახერხებელი. ამიტომ, მოდელის დეტალიზების ხარისხი, მისი წარმოდგენის ფორმა, განისაზღვრება კვლევის მიზნებით და ამდენად, უშუალოდაა დამოკიდებული მკვლევარზე, მის ერუდიციაზე დასამოდელელებელი პროცესის სფეროში.

მათემატიკური მოდელების აგების საერთო კანონი არ არსებობს. ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში, დასახული მიზნიდან და ოპერაციის მიმართულებიდან გამომდინარე, მოდელი იგება პროცესის მიმდინარეობის კანონზომიერების შესაბამისად, ე.ი. პროცესის ფიზიკურ არსზე დაყრდნობით და ამდენად, ყოველი მკვლევარი თავისებურად აგებს მას.

მოდელისადმი წაყენებული მოთხოვნები ურთიერთსაწინააღმდეგოც კია. ერთის მხრივ, მოდელი უნდა იყოს საკმაოდ სრული, ე.ი. მასში გათვალისწინებული უნდა იყოს პროცესში მონაწილე ყველა ფაქტორი, მეორეს მხრივ, კი მოდელი უნდა იყოს საკმაოდ მარტივი, რათა შესაძლებელი გახდეს, მიღებული იქნას ადვილად აღსაქმელი კავშირების დამოკიდებულებები სხვადასხვა ფაქტორებს შორის. ყოველივე ამის გამო, მოდელის აგების ოპტიმალური ვარიანტის არჩევა მოითხოვს ღრმა ცოდნას არა მარტო და არც იმდენად მათემატიკისას, რამდენადაც მოვლენის არსის სრულ აღქმას, პროცესში შემავალი პარამეტრების ურთიერთგავლენის და დამოკიდებულებების (კავშირების) ცოდნას და გათავისებვას.

თავისი აგებულების მიხედვით, მათემატიკური მოდელები იყოფა ორ ჯგუფად: ანალიზური და სტატისტიკური.

პირველი ჯგუფის მოდელებისათვის დამახასიათებელია პარამეტრებს შორის ანალიზური დამოკიდებულებების დადგენა, რომელიც ჩაწერილია ალგებრული განტოლებების ჩვეულებრივი დიფერენციალური განტოლებების სისტემის და ა.შ. სახით.

შტატისტიკური მოდელების მეთოდი გამოიყენება მაშინ, როდესაც ოპერაციაში ურთიერთგადაჯაჭვულია ძალიან დიდი რაოდენობის ფაქტორები. ამ შემთხვევაში, ოპერაციის განვითარების პროცესი თავისი თანმხლები შემთხვევითობებით, თითქმის “კოპირდება” გამოთვლით მანქანაზე და გარკვეული ოპერაციების შემდეგ, დგინდება საბოლოო შედეგი. ყოველ შემთხვევაში, როცა პროცესის მსვლელობაში ერთვება რომელიმე შემთხვევითი ფაქტორი, მისი გავლენის გათვალისწინება ხდება “გათამაშების” საშუალებით, კენჭის ყრის მსგავსად. ასეთი ოპერაციის რამდენიმეჯერ განმეორებით, შეიძლება მიღწეული იქნას სასურველი შედეგი სიზუსტის ნებისმიერი დონით. ანალიზის მეთოდი (სტატისტიკური) უფრო შედეგიანია მაშინ, როცა ხელთა გვაქვს დიდი რაოდენობის, ხასიათით ერთგვაროვანი, დაკვირვების მასალები.

ოპერაციის საძიებელი მიზნის საბოლოო შედეგის საიმედოობა არსებული საშუალებებით, დამოკიდებულია არჩეული სტრატეგიის სისწორეზე, ე.ი. იმ ფაქტორების შერჩევაზე, რომლებსაც მივიღებთ ძირითად ფაქტორებად პროცესში და შევიყვანთ მოდელში. ამასთან ერთად, უნდა გავითვალისწინოთ ის ფაქტიც, რომ ოპერაციის შედეგი შეიძლება იყოს დამოკიდებული იმ ფაქტორზეც, რომელიც მოდელში გარკვეული ანალიზის საფუძველზე არ შეგვყავს. მაგ: მოსავლიანობის ფორმირების მათემატიკურ მოდელში არ შეგვყავს სეტყვა, მაშინ, როდესაც ძლიერ სეტყვას შეუძლია მთლიანად ნულზე დაიყვანოს არა მარტო მოსავლიანობა, არამედ თვით სიცოცხლისუნარიანობაც. (მხედველობაშია მრავალწლიანი ნარგავები), ამ შემთხვევაში ამ ფაქტორების გასაშუალებული მნიშვნელობა (გავლენა) მოდელში შეგვყავს კოეფიციენტების სახით, ან ვითვალისწინებთ შეზღუდვებში.

იმ გარემოებიდან გამომდინარე, რომ ჩვენს ამოცანას წარმოადგენს, შევქმნათ მოდელი, რომელიც საშუალებას მოგვცემს, განვახორციელოთ მცენარის ზრდა-განვითარების მართვა, მომავალ მოდელს წარეყენება გარკვეული მოთხოვნები და

კერძოდ (ავტორი ამ მოთხოვნათა სისრულეზე და აბსოლუტურობაზე პრეტენზიას ვერ განაცხადებს):

1. მოსავლის ფორმირების პროცესი უსაზღვროდ რთულია, რის გამოც ოპერაციის ჩამტარებელმა მხარემ, მხედველობაში უნდა მიიღოს სირთულის ზღვარიც და სიმარტივის ზღვარიც, რომელიც უზრუნველყოფს მისი რეალური გამოყენების შესაძლებლობას მიღებული გადაწყვეტილებების რეალიზაციის დროს, როგორც დროის პოზიციიდან, ასევე ეკონომიურობის და სიზუსტის პოზიციებიდან გამომდინარე (აგრომელიორაციული ღონისძიებების ჩატარების ვადები და ხანგრძლივობა);
2. მოდელის აგება და მისი შემდგომი ანალიზი ემყარება შერჩევის პრინციპს და თავის მხრივ აყალიბებენ ახალ პრინციპებს, ე.ი. იმ კანონებს, რომელთა ფარგლებიდანაც პროცესს გამოსვლა არ შეუძლია. ცოცხალი მატერიის დონეზე, მოძრაობის პრინციპების არჩევა სამართლიანია არაცოცხალი მატერიისათვის და პირიქით, დიდი ხნის განმავლობაში იყო დისკუსიის საგანი მეცნიერთა შორის (განსაკუთრებით დიდი დავა იყო თერმოდინამიკის II კანონის გარშემო). ეს საკითხი გადაწყვეტილი იქნა ჩვენი საუკუნის 30-იან წლებში ლ.ბერტალანფის მიერ, რომელმაც პირველმა აჩვენა, რომ ცოცხალი არსებები წარმოადგენენ ღია სისტემებს, რაც იმას ნიშნავს, რომ მათ არ შეუძლიათ არსებობა ნივთიერებათა ცვლის და ენერჯიის გარეშე გარემოდან /116/, ამიტომ, აქაც მოდელირების პროცესი იწყება შენახვის და მუდმივობის კანონის მათემატიკურად ჩაწერიდან. დავუშვათ, მაგალითად, საუბარი მიდის რომელიმე ბიოლოგიურ მაკროსისტემაზე. მასში მიმდინარე პროცესების ძირითადი შინაარსი, ბიოლოგიურ სახეობათა ჯგუფების არსებობა. ასეთი სისტემების სისტემატიზირებული დინამიკის შესწავლა, პირველად დაიწყო იტალიელმა მათემატიკოსმა ვ.ვოლტერმა /20/. ასეთი სისტემების დამახასიათებელია საკვების მოთხოვნილების პროცესი, ე.ი. ნივთიერებათა და ენერჯიათა შენახვის კანონი უნდა იყოს გამოსახული ტროფიკული კავშირების ტერმინებით;
3. მეორეს მხრივ, მოდელის სირთულე გარკვეულ თანაფარდობაში უნდა იყოს დასამოდელებელი ობიექტის სირთულესთან. საქმე იმაშია, რომ მოდელის

სტრუქტურამ უნდა გაითვალისწინოს ობიექტის ღირსშესანიშნავი თვისებები და მათი ურთიერთქმედება გარემოსთან, რის გარეშეც ობიექტის ქცევის მოდელი ვერ ასახავს რეალურად პროცესს, რის გამოც, შეუძლებელი ხდება მოდელის შედეგების გამოყენება მართვის ამოცანის გადასაწყვეტად;

4. მოდელი არ უნდა იყოს სისტემის ფაქტიური აგებულების აღწერა. იგი უნდა წარმოადგენდეს პროცესის იმიტაციას შესაძლებლობების ფარგლებში;
5. შესასწავლი ობიექტი – მცენარის ზრდა-განვითარება – წარმოადგენს ურთიერთქმედების რთულ სისტემას, რის გამოც მისი მოდელირება და ანალიზი უნდა ემყარებოდეს სისტემური ანალიზის კანონებს.

მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესის კვლევა (მოდელირება) ემყარება ბიოლოგიურ კანონებს, რომელთაგან უნდა აღვნიშნოთ შემდეგი:

1. ფაქტორთა ერთფასოვნების (ან შეუცვლელობის) კანონი. ამ კანონის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ მცენარის ზრდა-განვითარებისათვის აუცილებელი არცერთი ფაქტორი არ შეიძლება იქნეს შეცვლილი სხვა ფაქტორით. ასე, მაგალითად, სინათლე არ შეიძლება შეცვლილი იქნეს სითბოთი, სითბო ტენით და ა.შ. ყველა ისინი აუცილებელია მცენარის განვითარებისათვის;
2. ფაქტორთა არაერთფასოვნების კანონი. ამ კანონის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ გარემოს სხვადასხვა ფაქტორი მცენარეზე სხვადასხვანაირ გავლენას ახდენს. ყველა ეს ფაქტორები, შეიძლება გაიყოს ძირითად და მეორეხარისხოვან ფაქტორებად. ძირითადი ფაქტორებია: სინათლე, სითბო, ტენი და საკვები ელემენტები, რომელთა გარეშე მცენარე არ ვითარდება. ისინი პირდაპირ ზეგავლენას ახდენენ მცენარეზე. მეორეხარისხოვანი ფაქტორები თამაშობენ დამხმარე როლს და კორექტირებას უწევენ ძირითადი ფაქტორების ზეგავლენას. მეორეხარისხოვან ფაქტორებს მიეკუთვნებიან: ქარი, ნისლი, სეტყვა, ღრუბლიანობა და ა.შ. ისინი აძლიერებენ, ან ასუსტებენ ძირითადი ფაქტორების გავლენას. ასე, მაგალითად: ქარი არბილებს მოყინვების მოქმედებას, ღრუბლიანობა ღამით ამცირებს ნიადაგის გაცივებას და სხვა. ძირითადი ფაქტორები მცენარეზე გავლენას ახდენენ მთელ სავეგეტაციო პერიოდში და

მთელ ტერიტორიაზე მაშინ, როცა დამხმარე ფაქტორები მხოლოდ გარკვეულ პერიოდში და ტერიტორიის გარკვეულ ნაწილზე ვრცელდება.

3. მინიმუმის კანონი (ან ლიმიტირებადი ფაქტორი). ამ კანონის თანახმად, ერთნაირი ოპტიმალური პირობების დროს მოსავლიანობის დონე განისაზღვრება იმ ფაქტორით, რომელიც მინიმალურია. მაგ: მშრალ რეგიონებში მალიმიტირებელ ფაქტორად გვევლინება ტენის რაოდენობა ნიადაგში, რადგანაც, ამ პირობებში, მცენარე განიცდის ტენის მძლავრ დეფიციტს და მასზე დამოკიდებული მოსავლის ბედი.
4. ოპტიმუმის კანონი (ან ფაქტორების ერთობლივი მოქმედების კანონი). ამ კანონის თანახმად, მცენარის მაქსიმალური პროდუქტიულობა მიიღწევა მაშინ, როდესაც ყველა ფაქტორი ოპტიმალურ რეჟიმში ირხევა.
5. თესლცვლის კანონი (ან თესლბრუნვა). ამ კანონის თანახმად, კულტურები უნდა ითესებოდეს მორიგეობით. (გარკვეული მონაცვლეობით), რომელიც უზრუნველყოფს მაღალი და სტაბილური მოსავლის მიღებას, იმასთან შედარებით, როცა კულტურა მუდმივად ითესება (მონოკულტურა). მონოკულტურა ფიტავს ნიადაგს გარკვეული ელემენტებისაგან და ამცირებს მოსავლიანობას.
6. კრიტიკული პერიოდების კანონი. ამ კანონის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ მცენარის მოთხოვნილება გარკვეულ პერიოდებში, გარკვეული ფაქტორებისადმი განსხვავებულია (ტემპერატურისადმი, სინოტივისადმი, რადიაციისადმი და ა.შ.).
7. ფოტოპერიოდულობის რეაქციის კანონი (ან ფიზიოლოგიური საათების კანონი). ამ კანონის თანახმად, მცენარე რეაგირებს დღისა და ღამის ხანგრძლივობაზე. იგი ანელებს, ან აჩქარებს თავის განვითარებას დღის ხანგრძლივობის ცვალებადობის მიხედვით.

ყოველივე ზემოთ მოხსენებულიდან გამომდინარე, მოდელის კონსტრუირება ხელოვნებაა, რომელიც დამოკიდებულია პიროვნების შესაძლებლობაზე, მის ერუდიციაზე, დახელოვნებაზე და ა.შ.

რეალური მოძრაობის შერჩევის ის პრინციპები, რომლებიც დამახასიათებელია არაცოცხალი მატერიისათვის, არასაკმარისია იმისათვის, რომ შევაფასოთ ცოცხალ

მატერიაში მიმდინარე პროცესების შინაარსი. ცოცხალი ორგანიზმების ფუნქციონირებისას, მოძრაობის შერჩევა (რა თქმა უნდა, არაცოცხალი მატერიის კანონებით), რომლებიც არ წარმოადგენენ ენერჯის, ან მასის შენახვის კანონის შედეგს, განისაზღვრება არაცოცხალ სამყაროში პროცესების მიმდინარეობით. აქ სიტუაცია რთულდება იმით, რომ ცოცხალი მატერიისათვის დამახასიათებელია მიზანდასახული ქმედებები, რის გამოც შეუძლებელია ავხსნათ მათში მიმდინარე პროცესები უკუკავშირების გარეშე. ცოცხალი ორგანიზმი მისი წრაფვის, შეინარჩუნოს სტაბილური მდგომარეობა. ეს იმას ნიშნავს, რომ განსხვავებული გარემოს პირობებში, ორგანიზმი უნდა მოიქცეს ისე, რომ მისი მდგომარეობა არ გამოვიდეს პარამეტრების იმ არედან, რომელიც უზრუნველყოფს არსებობის გაგრძელების შესაძლებლობას. ნებისმიერ ცოცხალ ორგანიზმს აქვს ისეთი ხასიათი, რომელიც საშუალებას აძლევს მას, შეაფასოს თავისი მდგომარეობა გემეოსტეზისის საზღვრების მიმართ. მაშასადამე, მიიღებს რა იგი ინფორმაციას გარემო პირობებისას, თავის მოქმედებას იწყებს იმისდა მიხედვით, თუ როგორია ამ ინფორმაციის ხასიათი, ეს კი ნიშნავს იმას, რომ ცოცხალი ორგანიზმის მოქმედება ირჩევა სრულიად გარკვეული ხერხით – უკუკავშირის დახმარებით. ეს კავშირიან ალიზურად შეიძლება ასე ჩაიწეროს:

$$U = F(x) \quad (3.1)$$

სადაც U - მოქმედებისადმი შესაძლებლობის ვექტორია; X - ვექტორია იმ შესაძლებლობისა, რომელიც საშუალებას იძლევა, შეაფასდეს მისი მდგომარეობა გემეოსტეზისის საზღვრების მიმართ. ამ შემთხვევაში, ცოცხალ ორგანიზმს შეუძლია შეცვალოს თავისი მდგომარეობა გემეოსტეზისის არის საზღვრებისადმი. ამის გარდა, ორგანიზმს გარკვეულ პირობებში, შეუძლია შეიცვალოს თვით გარემოს მახასიათებლები. ამ მდგომარეობას ზოგჯერ სწორად ვერ აღიქვამენ და ტერმინი “უკუკავშირი” სისტემურ ანალიზში ხშირად გამოიყენება იმ კავშირებისთვისაც, რომლებიც შეიძლება გამოყვანილი იქნან შენახვის კანონიდან (არ ემორჩილებიან ამ კანონებს), რადგანაც მათ შორის კავშირი არ არსებობს.

ბიოლოგიური სისტემები ეკუთვნიან რეფლექსური ტიპის მართვით კლასს. ტერმინი “რეფლექსური”, ხაზს უსვამს მართვითი ფუნქციის დამოკიდებულების

სიმარტივეს ინფორმაციის მიმართ (რეფლექტორი აღზნებისაგან). ეს ტერმინი მეცნიერებაში შემოიტანეს ბიოლოგებმა და უპირველეს ყოვლისა, ი.პავლოვის სკოლამ.

ნებისმიერი ოპერაციის და მათ შორის მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესის მართვა, შეიცავს სამ ძირითად და აუცილებელ მიმართულებას, რომელთაგან მხოლოდ ერთია დაკავშირებული მათემატიკური აპარატის ტრადიციულ გამოყენებასთან. ეს სამი მიმართულება შეესაბამება შემდეგ სამ ეტაპს (ეს ეტაპები ყოველთვის თან ახლავენ კვლევას):

1. მოდელის აგება, ე.ი. შესასწავლი პროცესის ან მოვლენის ფორმალიზება. იგი დაიყვანება პროცესის (მოვლენის) მათემატიკურ აღწერაზე, ე.ი. პროცესის მათემატიკურ ენაზე ჩაწერაზე. კვლევის ამ ეტაპზე მსჯელობა მიმდინარეობს მოდელის აგებაზე და არა ოპერაციის ანალიზზე. ასეთი მიდგომა გამომდინარეობს იქიდან, რომ ერთი და იგივე მოდელით შეიძლება გაანალიზებული და შესწავლილი იქნეს სხვადასხვა ოპერაციებით.
2. ოპერაციის აღწერა-ამოცანის დასმა. მკვლევარი, ამ ეტაპზე, ახდენს ოპერაციის მიზნის ფორმულირებას. ოპერაციის კვლევა ითვალისწინებს აუცილებელ ანალიზის ჩატარებას, ოპტიმიზაციის ამოცანას და შეზღუდვების ფორმულირებას, ე.ი. მიზნობრივი ამოცანის დასმას.
3. წამოქრილი ოპტიმიზაციური ამოცანის გადაჭრა. ესაა დამაგვირგვინებელი ეტაპი და ეკუთვნის მათემატიკურ სფეროს, თუნცა პირველი ორი ეტაპის შესრულება არ შეიძლება მათემატიკის გარკვეული დონის გარეშე.

რადგანაც იგი მოითხოვს გარკვეულ მათემატიკურ მეთოდებს და კანონზომიერებებს. კვლევების სრულყოფილი დამთავრება მოითხოვს მის ყველა ეტაპზე რიგი არაფორმალიზებული შეხედულებების გამოყენებას, რის გამოც მიღებული შედეგების შემოწმება, მისი შესაბამისობა დასმულ მიზანთან, ხდება თეორიის სერიოზულ პრობლემად. უადგილო არ იქნება, გავიხსენოთ ამ საკითხთან დაკავშირებით გამოჩენილი მეცნიერის და მოღვაწის ა. ლიაპუნოვის მოსაზრება, რომელიც თვლიდა, რომ აუცილებელია ნებისმიერი ერთჯერ დასმული ფიზიკური

ამოცანის შემდგომში სუფთა მათემატიკურ ამოცანად დასმა, რომელიც გულისხმობს ნებისმიერი არაფორმალურიზებული მოსაზრების გამორიცხვას. ე.ი. განიხილება სუფთა მათემატიკური ამოცანა. შაუბედუროდ, ასეთი მიდგომა ყოველთვის არაა შესაძლებელი და განსაკუთრებით ისეთი პროცესების კვლევა, როგორცაა მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესი.

ჩვენს მიერ კონსტრუირებული იქნა მსხვილმასშტაბიანი (უხეში) მოდელი, რომელიც აღწერს სასოფლო-სამეურნეო პროდუქციის წარმოების დინამიკას, კერძოდ, მარცვლეული კულტურების პროდუქციის წარმოებას სავარგულების წყალუზრუნველყოფისა და საკვები ნივთიერებებით უზრუნველყოფასთან დამოკიდებულებით, როგორც ეს საერთოდაა მიღებული ოპერაციის კვლევების მეთოდებში. მოდელის აგება შესრულებულია საკმაოდ დიდი სქემატიზაციით, ნიადაგის წყალუზრუნველყოფის და საკვები ელემენტებით უზრუნველყოფის გამოყოფით, რომელსაც უნდა უზრუნველყოფდეს, მისი დეფიციტის შემთხვევაში, ორიგაციული სისტემა და ქიმ-რესურსების მარაგი.

იგულისხმება, რომ მთავარი ფაქტორები, რომლებიც განსაზღვრავენ მოსავლიანობას, მაგალითად მარცვლეული კულტურებისას – ფარ, ჰაერის დადებითი ტემპერატურათა ჯამი, ნიადაგის მოხვნის ხარისხი და საკვებ ნივთიერებათა შემცველობა და ა.შ. აკმაყოფილებენ ნორმით გათვალისწინებულ მოთხოვნებს, ე.ი. მათი უზრუნველყოფა ხდება ბუნებრივი პირობებითა და აგროტექნიკური ღონისძიებებით. ხოლო საჭიროა ტენითა და საკვები ელემენტებით უზრუნველყოფა, რომლებიც, თავის მხრივ, დამოკიდებულია მეტეოროლოგიურ და ნიადაგობრივ პირობებზე, შეიძლება ვარირებული იქნეს ფართო დიაპაზონში და ნალექების დეფიციტის, ან საკვები ელემენტების ნაკლებობის შემთხვევაში აღდგენილი იქნენ სარწყავი წყლითა და ქიმიური მელიორაციით. ე.ი. სასუქებით.

ორიგაციული სისტემის დაბალი მქც-ისა და არასასურველი მეტეოროლოგიური პირობების შემთხვევაში, ნიადაგის ტენის დეფიციტის გამო, მოსალოდნელია მოსავლიანობის დაცემა და რის შედეგადაც წარმოიშობა საკვების დეფიციტი, რაც უდაოდ გამოიწვევს მოსახლეობის მატერიალური უზრუნველყოფის დაქვეითებას.

მაშასადამე, განიხილება ტროფიკული ჯაჭვი, რომელიც წყდება ადამიანზე. ნათელია, რომ ეს ჯაჭვი შეიძლება კიდევ გაგვეგრძელებინა, თუ მასში ჩავრთავდით მოსახლეობის რაოდენობას, რომელიც ცხოვრობს საანგარიშო რეგიონში, მაგრამ ამ კვანძის ჩართვა მკვეთრად ართულებს მთელ მოდელს, რადგანაც მოითხოვს პროდუქციის ერთი რეგიონიდან მეორეში გადაადინების, მიგრაციის სოციალური საკითხის განხილვას და ა.შ., რომლებიც თან სდევს წარმოების პროცესს, ე.ი. პრობლემა გადადის სოციალურ-ეკონომიური და გამოდის მელიორაციული პრობლემატიკის ჩარჩოებიდან. /92/

სამყარო მილიონობით წლების ევოლუციური პროცესის შედეგად ჩამოყალიბდა დღევანდელი სახით. იგი, პირობითად, შეიძლება გავყოთ ორ ქვესამყაროდ ცოცხალი და არაცოცხალი სამყარო. თავისი ბუნებით ცოცხალი სამყაროს წარმომადგენლები იბადებიან, იზრდებიან და კვდებიან. ამ ნიშნით ისინი ერთმანეთს გვანან, მაგრამ შიგა ბუნებით ისინი ერთიმეორისაგან განსხვავდებიან დიამეტრალურად. ცოცხალი სამყაროს უდაბლეს საფეხურს წარმოადგენს მცენარეული სამყარო. მცენარეები წარმოიშობიან, იზრდებიან და კვდებიან. მათ არ შეუძლიათ არც გადაადგილება და არც მეტყველება, თუმცა, თავისი ხასიათით, ცოცხალ სამყაროს განეკუთვნებიან. იკვებებიან ნიადაგიდან და ჰაერიდან. მეორე საფეხურს წარმოადგენს ცხოველთა სამყარო, რომლის წარმომადგენლებიც, ისევე, როგორც წინა სამყაროს წარმომადგენლები, იბადებიან, იზრდებიან და კვდებიან, მაგრამ განსხვავდებიან მათგან იმით, რომ გადაადგილდებიან და ერთმანეთს უკავშირდებიან, რაც მათ საშუალებას აძლევთ, შეარჩიონ თავიანთთვის შესაფერისი საბინადრო ადგილი, ეძიონ საკვები და ადგილსამყოფელი, თუმცადა ამას ისინი ინსტიქტურად აკეთებენ და არავითარი წინასწარდასახული გეგმა არ აქვთ, რადგანაც არ აქვთ აზროვნების უნარი. სამყაროს გვირგვინს წარმოადგენს ადამიანი, რომელიც, ისევე, როგორც წინა ორო სამყაროს წარმომადგენლები, იბადებიან, იზრდებიან და კვდებიან და განსხვავდებიან მათგან იმით, რომ შეუძლიათ მეტყველება და აზროვნება. ე.ი. შეუძლიათ იცხოვრონ წინასწარ დაგეგმილი გზით. ადამიანი თავისი არსებობისათვის გამოიყენებს წინა ორ ქვესამყაროს და გარდაქმნის მათ თავის სასარგებლოდ. ადამიანის არსებობის საფუძველს, ცხოველთა სამყაროსთან ერთად, წარმოადგენს მცენარეული და მთელი

არაცოცხალი სამყარო. იგი მცენარულ სამყაროს გამოიყენებს თავისი ცხოვრების თითქმის ყველა სფეროში და ამიტომაც, ეს ნაშრომი ეძღვნება მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესის ანალიზს, პროცესის დინამიკის მათემატიკურ მოდელირებას. ხელისშემშლელი და ხელისშემწყობი ფაქტორების ანალიზს და მათ გათვალისწინებას პროცესის მართვაში.

მცენარის ზრდა-განვითარების, ისევე, როგორც მისი ცალკეული უჯრედის წარმოქმნის და სიცოცხლის პროცესის მიმდინარეობს უამრავი გარე და შიგა ფაქტორების ურთიერთქმედების შედეგად, რომელთაგან შეიძლება გამოვყოთ ე.წ. ძირითადი ფაქტორები, რომელთა გარეშე უჯრედის წარმოქმნა და ამის შედეგად, ბიომასის წარმოქმნა არ ხდება.

მცენარის განვითარებაზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორები შეიძლება, გავყოთ ორ ჯგუფად. პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება ფაქტორები, რომლებიც ხელს უწყობენ მცენარის ნორმალურ ზრდა-განვითარებას, ხოლო ამ ჯგუფის ძირითად ფაქტორებს წარმოადგენენ ის ფაქტორები, რომლებიც გადამწყვეტ როლს თამაშობენ პროცესის წარმართვაში და რომელთა ხასიათი ისეთია, რომ თუ მათგან ერთიც კი ამოვარდა რეჟიმიდან, პროცესი წყდება. ე.ი. ისინი ექვემდებარებიან ცნობილ ლიბიხის პრინციპს. [121] აღნიშნული ფაქტორების რიცხვს, ჩვენს მიერ, მიკუთვნებულია ნიადაგის ტენი, სითბო (ჰაერის ტემპერატურა), ნიადაგში არსებული საკვები ელემენტები და სინათლე. მართლაც, ამ ოთხეულიდან ნებისმიერის ამოვარდნა, იწვევს პროცესის შეწყვეტას და შემდეგში მცენარის დაღუპვას. ასე, მაგალითად: როგორი კარგი წყლის, კვებითი რეჟიმი და სინათლაც არ უნდა იყოს, თუ ტემპერატურული რეჟიმი არაა შესატყვისი, მცენარე არ განვითარდება. აღნიშნული სიტუაციის მაგალითს წარმოადგენს ანტარქტიდა, გრენლანდია და სხვა. სადაც კულტურულ მცენარეებს ბუნებრივ პირობებში და დაბალი ტემპერატურის გამო, არსებობა არ შეუძლიათ. მიუხედავად იმისა, რომ წყალი და საკვები ელემენტები საკმაოა. ასევე შეიძლება ვიმსგელოთ ამ ჯგუფის ნებისმიერ ფაქტორზე. ფაქტორთა ამ ჯგუფს ვუწოდებთ "პოზიტიურს".

მეორე ჯგუფს მიეკუთვნებიან ის ფაქტორები, რომლებიც ხელს უშლიან მცენარის ნორმალურ ზრდა-განვითარებას, აფერხებენ მას, ან გარკვეულ დონეზე წყვეტენ პროცესს. ფაქტორთა ამ ჯგუფს ჩვენს მიერ მიკუთვნებულია სეტყვა,

გრიგალური ქარები და ეროზია. ამ ჯგუფის ფაქტორთა ხასიათი ისეთია, რომ თუ ერთ-ერთი მათგანი იმ რიგისაა, რომელიც მთლიანად ანადგურებს ნათესს. შედეგად ვლუბულობთ ნულოვან მოსავალს. ე.ი. ისინიც განეკუთვნებიან ცნობილ ლიბიხის ფაქტორთა რიგს. ამასთან, მათი ნულოვანი მნიშვნელობისას, მოსავლიანობა აღწევს პოტენციურ მაქსიმუმს. ფაქტორთა ამ ჯგუფს ვუწოდებთ "ნეგატიურს".

უნდა აღვნიშნოთ, რომ ჩამოთვლილი, როგორც პოზიტიური, ასევე ნეგატიური ფაქტორებიდან, მთლიანად მართვადაა ნიადაგის ტენი და საკვები ელემენტებით უზრუნველყოფა, ნაწილობრივ მართვადაა, გლობალურ მასშტაბებში, ეროზია და სეტყვა, უმართავია ტემპერატურა და ქარის სიჩქარე, თუმცა ქარის სიჩქარის გავლენა, ნაწილობრივ შეიძლება შესუსტდეს ქარსაცავი ზოლების მოწყობით. როგორც ზემოთ მოყბანილი ანალიზი გვიჩვენებს, ამ ფაქტორთა ურთიერთ ზედდება და ნათესზე გავლება, საკმაოდ რთული და ძნელად აღსაქმელი პროცესია, მაგრამ მათი მიახლოებითი წარმოდგენა აღნიშნული პროცესის მიმდინარეობის პროცესში შესაძლებელია და დამოკიდებულია ჩვენს ინტუიციასა და გამოცდილებაზე, ხოლო მისი სიახლოვე რეალურთან, გამოვლინდება პრაქტიკული ანგარიშების დროს.

როგორც ზემოთ ვთქვით, ჩვენს მიერ შერჩეული ფაქტორები განეკუთვნებიან ლიბიხის ფაქტორთა რიგებს, რაც იმაზე მიგვანიშნებს, რომ ეს ფაქტორები უნდა იყოს წარმოდგენილი ნამრავლით. სხვა ნებისმიერ ვარიანტში, ძირითადი პირობა იმისა, რომ ერთის განულება ფუნქციის განულებას იწვევდეს, გამორიცხულია. არც ჯამი, არც ხარისხი, არც შეფარდება, არც ლოგარითმი, ამ პირობას ვერ დააკმაყოფილებს.

ფაქტორთა ზემოთმოყვანილი ანალიზიდან გამომდინარე, როგორც პოზიტიური, ასევე ნეგატიური ფაქტორები, წარმოდგენილი უნდა იყვნენ ნამრავლის სახით. ამასთან, პოზიტიური ფაქტორები უნდა იყვნენ მრიცხველში, ხოლო ნეგატიური მნიშვნელში. მაშასადამე, პროცესის მათემატიკური მოდელი ჩაწერილი უნდა იყოს შემდეგი სახით:

$$y = \frac{W^\alpha \cdot Q^\beta \cdot t^\gamma}{S^* \cdot P^* \cdot E^*} \cdot e^{\frac{\tau}{T}} \quad (3:3)$$

$$\frac{S^* - S}{S^*} \cdot \frac{P^* - P}{P^*} \cdot \frac{E^* - E}{E^*}$$

სადაც: y_სასოფლო-სამეურნეო კულტურის მოსავლიანობაა (ც/ჰა); W_ნიადაგის ტენია (მ³/ჰა); Q_ნიადაგში არსებული ჯამური საკვები ელემენტებია (ც/ჰა); t_სამუალო

დღე-ღამური ტემპერატურათა ჯამია მთელ სავეგეტაციო პერიოდში (Σ); S^* -სეტყვის ინტენსივობა, რომლის დროსაც ნათესი მთლიანად ნადგურდება; $S \leq S^*$ -სეტყვის ფაქტიური ინტენსივობა; P^* -ეროზიის ინტენსივობის ის დონეა, რომლის დროსაც მთლიანად წაირეცხება ნიადაგის ის ნაწილი, რომელიც მცენარის ფესვთა სისტემას უკავია; $P \leq P^*$ -ეროზიის ფაქტიური მნიშვნელობა; E^* -გრიგალური ქარების ის მნიშვნელობა, რომლის დროსაც მთლიანად აღიგავება ფართობიდან დათესილი თესლი და ჩაწვება ნათესი; $E \leq E^*$ - გრიგალური ქარების ფაქტიური მნიშვნელობა; e -ნეპერის რიცხვია; τ - დროის მიმდინარე კოორდინატია; T - ვეგეტაციური პერიოდის ხანგრძლივობა (მოსავლის აღებისას $\tau = T$); $\alpha \beta \gamma$ -ხარისხის მაჩვენებელია.

ჩამოყალიბებული (3:3) მოდელიდან თვალნათლივ ჩანს ის პრინციპი, რომლის დაცვითაც აგებულია იგი. მართლაც, თუ (3:3) გამოსახულების მრიცხველში ერთ-ერთი პარამეტრი ნოლის ტოლია $y = 0$; თუ მნიშვნელში მყოფი პარამეტრიდან ერთ-ერთი მისი ზედა ზღვრის ტოლია, მაგალითად $S = S^*$, ან $E = E^*$, ან $P = P^*$, $y = 0$; თუ $S = 0$ ან $P = 0$ ან $E = 0$, $yY = y_{\max}$; რაც მეტია S ან E ან P , მით ნაკლებია y და ა.შ. ესე იგი, მოდელი შეესატყვისება მასში ჩადებულ პრინციპს. [121]

3.2. მათემატიკურ მოდელში შემავალი კოეფიციენტების დადგენის მეთოდიკა.

ჩვენს მიერ ჩამოყალიბებული (3:3) მათემატიკური მოდელი, რომელიც აღწერს ნებისმიერი კულტურის ზრდა-განვითარების პროცესს, მისი დათესვიდან მოსავლის აღებამდე, ისეა კონსტრუირებული, რომ შეგვიძლია ანალიზი გავუკეთოთ ნათესს, მისი დათესვიდან აღებამდე დროის ნებისმიერ შუალედში. ამის საშუალებას გვაძლევს მასში შემავალი დროის ფაქტორი $\tau \leq T$ თუ $\tau = 0$, ე.ი თუ განვიხილავთ თესვის პერიოდს, გამოსახულება (3:3) მოგვცემს საანგარიშო კულტურის თესლის ნორმას ჰექტარზე; თუ დავუშვებთ, რომ $\tau = T$ ე.ი. განვიხილავთ იმ პერიოდს, როდესაც სავეგეტაციო პერიოდი დამთავრდა, მივიღებთ საანგარიშო კულტურის მოსავლიანობას და ა.შ.

ნებისმიერი τ -სათვის შეგვიძლია შევაფასოთ საჭირო სარწყავი წყლის რაოდენობა ნიადაგში და საკვები ელემენტების შემცველობა.

ჩამოყალიბებულ (3:3) მათემატიკურ მოდელში პარამეტრთა და ხარისხის მაჩვენებელთა ასეთი განლაგება მცირე უხერხულობას იწვევს, მაგრამ ეს უხერხულობა დაძლევადია მათემატიკურად.

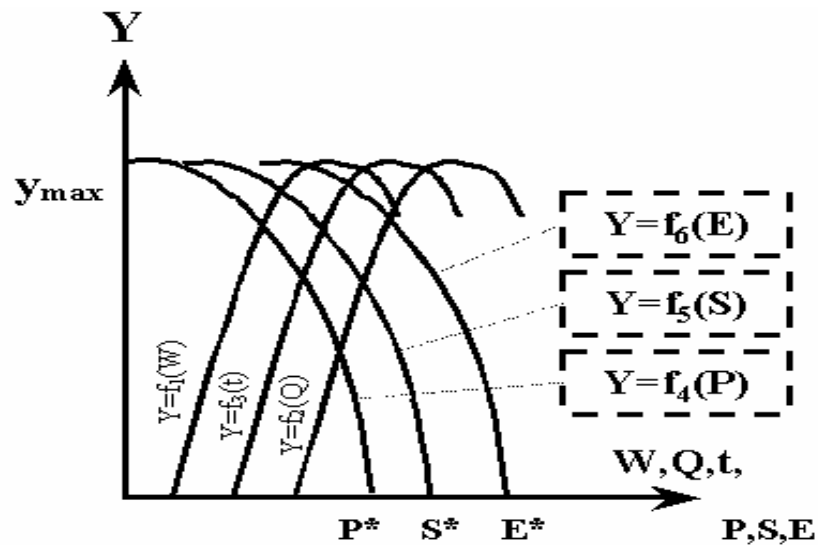
იმისათვის, რომ ჩამოყალიბებული მოდელი (3:3) მივიყვანოთ პრაქტიკულად გამოსაყენებელ ფორმამდე, აუცილებელია, დავადგინოთ მასში შემავალი $\alpha \beta \gamma$ -ხარისხის მაჩვენებლების რიცხვითი მნიშვნელობების საანგარიშო გამოსახულებები, რომლებიც წარმოადგენენ ცალკეული კულტურის მახასიათებელ კოეფიციენტებს.

აღნიშნული პროცედურის ჩასატარებლად (3:3) გამოსახულებას მივცეთ შემდეგი სახე:

$$Y = W^\alpha \cdot Q^\beta \cdot t^\gamma \cdot e^{-\frac{\tau}{T}} \cdot \frac{(S^* - S) \cdot (P^* - P) \cdot (E^* - E)}{S^* \cdot P^* \cdot E^*} \quad (3:4)$$

როგორც (3:4)-დან ჩანს, ფუნქცია წარმოადგენს ექსპონენტას, რომელიც ზრდადია პარამეტრთა გარკვეულ 0-ისაგან განსხვავებულ მნიშვნელობებზე და კლებადია მათი გარკვეული მნიშვნელობის შემდეგ, რაც შეესაბამება რეალურ სურათს.

[58] (სურ.3:1)



$y = f(W, Q, t, S, P, E, \tau)$ ფუნქციის გრაფიკული გამოსახულება.

Y_მოსავლიანობა; W_ნიადაგის ტენი; Q_ნიადაგში არსებული საკვები ელემენტები; t_საშუალო დღე-ღამური ტემპერატურათა ჯამი სავეგეტაციო პერიოდში; P_ეროზიის ინტენსივობა ES_სეტყვის ინტენსივობა; E_ქარების სიჩქარე; PP',S',E'_ეროზიის ინტენსივობის; სეტყვის ინტენსივობის და ქარის სიჩქარის ის ზედა საზღვრებია,რომელზედაც ნათესი მთლიანად ნადგურდება.

როგორც სურათი (3:1)-დან ჩანს. ქარის,ეროზიის და სეტყვის გავლენა მათი მცირე ინტენსივობების დროს, შეუმჩნეველია და მოსავლიანობის სიდიდეზე პრაქტიკულად გავლენას ახდენს. მათი გარკვეული მნიშვნელობების $P \rightarrow P^*$, $S \rightarrow S^*$, $E \rightarrow E^*$ დროს უარყოფითი ეფექტი მკვეთრად იზრდება. ამ ფაქტორთა ასეთი თვისების გამო, მრუდებს $y = f_4(P)$, $y = f_5(S)$, $y = f_6(E)$ ამოზნექილი ექსპონენტების სახე აქვს. იმ წერტილებში, სადაც $y = f_1(W)$; $y = f_2(Q)$; და $y = f_3(t)$ მაქსიმუმს აღწევს. უარყოფით (ნეგატიურ) ფაქტორთა ზემოქმედების ხარისხი პრაქტიკულად ნულია.

იმისათვის, რომ (3:4) გამოსახულებიდან დადგინდეს α , β , γ ,_ს მნიშვნელობების საანგარიშო გამოსახულებები, მას უნდა მივცეთ ლოგარითმული სახე:

$$\lg y = \alpha \lg W + \beta \lg Q + \gamma \lg t - \frac{\tau}{T} \lg e + \lg \left(1 - \frac{S}{S^*}\right) + \lg \left(1 - \frac{P}{P^*}\right) + \lg \left(1 - \frac{E}{E^*}\right) \quad (3:5)$$

მიღებულ (3:5) განტოლებაში გვაქვს სამი α , β , γ , უცნობი, რომელთა განსაზღვრისათვის საჭიროა სამი განტოლება, რისთვისაც აუცილებელია W, Q, t _პარამეტრების სამი დისკრეტული მნიშვნელობა; W_1, W_2, W_3 ; Q_1, Q_2, Q_3 ; t_1, t_2, t_3 ; მაშინ (3:5) განტოლებათა სისტემა გადაიწერება შემდეგი ფორმით:

$$\lg y_1 = \alpha \lg W_1 + \beta \lg Q_1 + \gamma \lg t_1 - A \quad (3:6)$$

$$\lg y_2 = \alpha \lg W_2 + \beta \lg Q_2 + \gamma \lg t_1 - A \quad (3:7)$$

$$\lg y_3 = \alpha \lg W_3 + \beta \lg Q_3 + \gamma \lg t_3 - A \quad (3:8)$$

სადაც:

$$A = \left[\frac{\tau}{T} \lg e + \lg \left(1 - \frac{S}{S^*} \right) + \lg \left(1 - \frac{P}{P^*} \right) + \lg \left(1 - \frac{E}{E^*} \right) \right] \quad (3:9)$$

(3:6)-დან განვსაზღვროთ α და შევიტანოთ (3:7) და (3:8)-ში:

$$\alpha = \frac{\lg y_1 - \beta \lg Q_1 - \gamma \lg t_1 + A}{\lg W_1} \quad (3:10)$$

შესაბამისად (3:7) და (3:8) მიიღებს სახეს:

$$\lg y_2 = \frac{\lg y_1 - \beta \lg Q_1 - \gamma \lg t_1 + A}{\lg W_1} \cdot \lg W_2 + \beta \lg Q_2 + \gamma \lg t_2 - A \quad (3:11)$$

$$\lg y_3 = \frac{\lg y_1 - \beta \lg Q_1 - \gamma \lg t_1 + A}{\lg W_1} \cdot \lg W_3 + \beta \lg Q_3 + \gamma \lg t_3 - A \quad (3:12)$$

თუ (3:11)-დან განვსაზღვრავთ β -ს.

$$\beta = \frac{\lg y_2 \cdot \lg W_1 - \lg W_2 (\lg y_1 - \gamma \lg t_1 + A) - \gamma \lg t_2 \cdot \lg W_1 + A \cdot \lg W_1}{\lg Q_2 \cdot \lg W_1 - \lg Q_1 \cdot \lg W_2} \quad (3:13)$$

და შევიტანთ (3:12)-ში ვიპოვიოთ γ -ს.

$$\gamma = \frac{B(d + A_m) + C(f + A_n)}{B_n - cK}, \quad (3:14)$$

სადაც

$$B = \lg Q_2 \cdot \lg W_1 - \lg Q_1 \cdot \lg W_2;$$

$$f = \lg y_2 \cdot \lg W_1 - \lg y_1 \cdot \lg W_2;$$

$$h = \lg t_3 \cdot \lg W_1 - \lg t_1 \cdot \lg W_3;$$

$$K = \lg t_1 \cdot \lg W_2 - \lg t_2 \cdot \lg W_1;$$

$$c = \lg Q_1 \cdot \lg W_3 - \lg Q_3 \cdot \lg W_1;$$

$$m = \lg W_1 - \lg W_3;$$

$$d = \lg y_3 \cdot \lg W_1 - \lg y_1 \cdot \lg W_3;$$

$$n = \lg W_1 - \lg W_2;$$

მაშასადამე, საძიებელი სამივე α , β , γ , უცნობი განსაზღვრულია და შეიძლება მათი რიცხვითი მნიშვნელობების დადგენა ნებისმიერი კულტურისათვის, თუ ხელთა გვაქვს W (სარწყავი წყლის), Q (საკვები ელემენტების – სასუქების სახით) და t (საშუალო დღე-ღამური ტემპერატურათა ჯამი მთელ სავეგეტაციო პერიოდში) სამი დისკრეტული მნიშვნელობანი საველე ცდების შედეგად და შესაბამისი.

მაშასადამე, ჩვენს მიერ მიღებული (3:10), (3:13) და (3:14) გამოსახულებები, საშუალებას გვაძლევენ, ჩვენმა კონსტრუირებულმა მოდულმა მიიღოს პრაქტიკულად გამოსაყენებელი ფორმა. აღნიშნული კოეფიციენტების α , β , γ -ს რიცხვითი მნიშვნელობების დასადგენად, საჭიროა სამი დისკრეტული მონაცემი $y = f(W, t, Q)$

დამოკიდებულებისა ცალკეული კულტურისათვის ცალ-ცალკე. (ანგარიში ზოგიერთ სტრატეგიულ კულტურაზე მოყვანილია ქვემოთ).

იმისათვის, რომ მივალწიოთ დაგეგმილი მოსავლის დონეს, არაა საკმარისი საჭირო წყლისა და სხვა პარამეტრების დადგენა. საკმაოდ მნიშვნელოვანია მათი და მათ შორის წყლის მიწოდების წესი. ე.ი. რწყვის რეჟიმის შერჩევა-დადგენა.

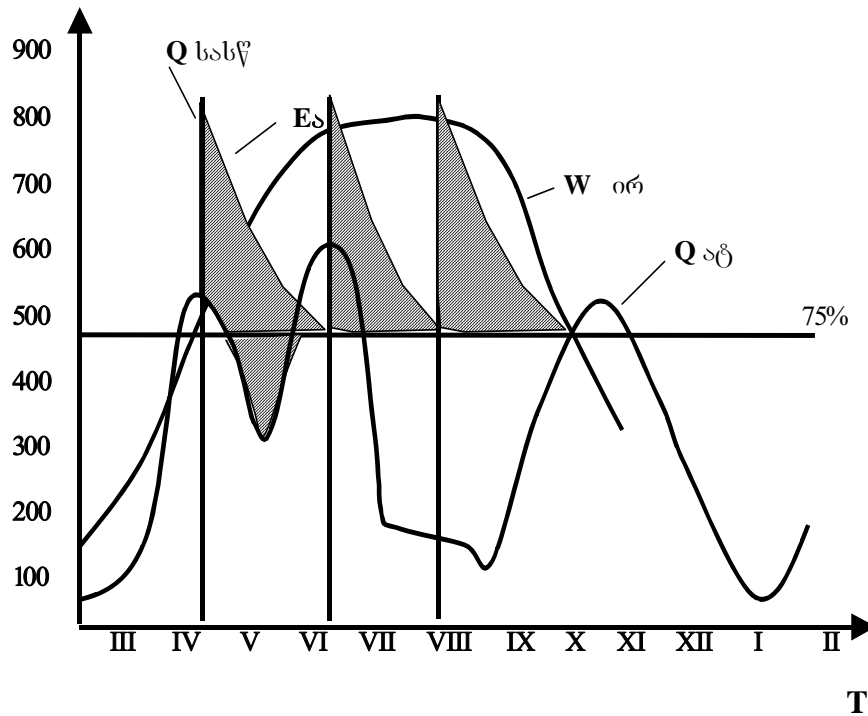
რწყვის რეჟიმის დადგენისათვის, ჩვენს მიერ რეკომენდებულია გრაფიკული წესი, რომლის არსი მდგომარეობს შემდეგში.

ჩვენს მიერ დამუშავებული მოდელი (3:3), საშუალებას იძლევა, დადგინდეს წლის ის მოცულობა, რომელიც უზრუნველყოფს დაგეგმილი მოსავლიანობის მიღწევას. მის განაწილებას დროში უწყვეტად, მაგრამ, პრაქტიკულად, წყლის ასეთი უწყვეტი მიწოდება შეუძლებელი, ამიტომ ვიქცევით ასე:

გრაფიკზე გაგვაქვს ნაანგარიშევი წყლის განაწილების მრუდი და ნალექების დინამიკა სავეგეტაციო პერიოდში.

Q სარწ

$P, \text{მ}^3/\text{კა}$



სურ.3.2 რწყვის რეჟიმი სიმინდისათვის მარნეულის რაიონისათვის.

სადაც $Q_{\text{სარწყ}}$ – რწყვის ნორმაა; $W_{\text{ირ}}$ – ფორმულა (1)-ით ნაანგარიშევი ირიგაციული წყლის მოცულობა; $Q_{\text{ატ}}$ – ატმოსფერული ნალექების მოცულობა; $E_{\text{ა}}$ – აორთქლების დეპრესიის მრუდია; T – დრო.

ამის შემდეგ, ვირჩევთ რწყვათა რიცხვს, ვანაწილებთ მას სავეგეტაციო პერიოდში, ვადგენთ არსებული ნიადაგის წყლის გაცემის კანონს, ვირჩევთ ნიადაგის წყლით უზრუნველყოფის დონეს (ჩვენს შემთხვევაში აღებულია 75%-იანი უზრუნველყოფა ППВВ-დან), დასმული რწყვის ვადების და სიდიდის მიხედვით, ვადგენთ ნიადაგის მიერ წყლის გაცემის გრაფიკს. სადაც ეს გრაფიკი გადაკვეთს უზრუნველყოფის დონეს, იქ ვსვამთ მეორე მორწყვის ვადას და სიდიდეს და ა.შ. იგივე წესით, ვადგენთ შემდგომი რწყვის ვადას და ნორმას.

ზემოთ მოყვანილი მეთოდი შეიძლება გავავრცელოთ ორჯერად, ოთხჯერად და ა.შ. რწყვების შემთხვევაში.

ასეთი რწყვის რეჟიმი, საშუალებას გვაძლევს, რაც შეიძლება მაქსიმალურად მივუახლოვდეთ წყალუზრუნველყოფის იდეალურ სახეს, რომელსაც გვაძლევს ჩვენს

მიერ დამუშავებული მოდელი (1). ზემოთ მოყვანილი ლოგიკიდან გამომდინარე, რაც მეტია რწყვათა სიხშირე, მით მეტია წყალუზრუნველყოფის ხარისხი და პირიქით. იგულისხმება, რომ ყოველ რწყვათა სიხშირეს, შეესაბამება თავისი სარწყავი ნორმა.

ჩვენს მიერ დამუშავებული რწყვის რეჟიმის გრაფიკი აგებულია სიმინდის შემთხვევისათვის მარნეულის პირობებში.

3.3. ძირითადი სტრატეგიული კულტურებისათვის შერჩეული მათემატიკური მოდელის ადაპტირება და მასში შემავალი კოეფიციენტების შეფასება

იმისათვის, რომ (3.10), (3.13), (3.14)- ის მიხედვით ვიანგარიშოთ α , β , γ , ხარისხის მაჩვენებლების რიცხვითი მნიშვნელობები, საჭიროა სამი დისკრეტული მნიშვნელობა ფუნქციონალური კავშირისა $y = f(W, t, Q, P, S, E)$ ცალკეული კულტურისათვის.

ჩვენს მიერ მოპოვებულ, სხვა ავტორთა, სასისტემო სამმართველოებში და მეტეოროლოგიურ ინსტიტუტში არსებული მონაცემების მიხედვით, შედგენილია ასეთი მონაცემთა ცხრილი სიმინდისათვის, საშემოდგომო ხორბლისათვის, იონჯისათვის და ვენახისათვის (ცხ. 13.1).

α , β , γ , კოეფიციენტების საანგარიშო კრებითი მონაცემები

ცხრილი № 3.1

კულტურების დასახელება	პარამეტრები	ვარიანტები		
		I	II	III
1	2	3	4	5
იონჯა	γ,ც/ჰა	566	500	466
	W,მ ³ /ჰა	3860	3200	2200
	Q,ც/ჰა	3,4	3,2	3,0
	t ^{°c}	2000	1700	1500
	S,მმ/წთ	0,01	0,07	0,15
	S',მმ/წთ	1,7	1,7	1,7
	P,ტ/ჰა	1,0	2,0	9,0
	P',ტ/ჰა	25	25	25
	E,მ/წმ	7,0	10,0	0,8
	E',მ/წმ	35	35	35
ვენახი	γ,ც/ჰა	92	88	96
	W,მ ³ /ჰა	4817	4406	4880
	Q,ც/ჰა	3,4	3,25	3,5
	t ^{°c}	1700	1500	2000
	S,მმ/წთ	0,01	0,03	0,008
	S',მმ/წთ	0,8	0,8	0,8
	P,ტ/ჰა	0,2	0,3	0,1
	P',ტ/ჰა	45	45	45
	E,მ/წმ	6,0	1,0	4,0
	E',მ/წმ	38	38	38
სიმინდი (მარცვლად)	γ,ც/ჰა	45	38	36
	W,მ ³ /ჰა	3500	3000	2800
	Q,ც/ჰა	3,2	3,0	2,9
	t ^{°c}	1900	1700	1600
	S,მმ/წთ	0,01	0,04	0,05
	S',მმ/წთ	1,5	1,5	1,5
	P,ტ/ჰა	0,5	0,7	0,85
	P',ტ/ჰა	20	20	20
	E,მ/წმ	2,4	4,4	0,8
	E',მ/წმ	32	32	32
საშემოდგომო ხორბალი	γ,ც/ჰა	15	20	35
	W,მ ³ /ჰა	4000	3800	2500
	Q,ც/ჰა	3,6	3,2	3,25
	t ^{°c}	1500	1700	2000
	S,მმ/წთ	4,0	1,8	0,4
	S',მმ/წთ	22	22	22
	P,ტ/ჰა	2,8	2,0	0,2
	P',ტ/ჰა	18	18	18
	E,მ/წმ	11,0	8,4	3,0
	E',მ/წმ	30	30	30

ანალიზთა მეთოდის გამოყენებით და მიღებული მასალების საფუძველზე, შედგენილ იქნა განტოლება, რომელთა საშუალებითაც განისაზღვრა α , β და γ ,

კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობები ცხრილი 3,1-ში მოყვანილი კულტურებისათვის. დისერტაციაში მოგვყავს აღნიშნული კოეფიციენტების (ხარისხის მაჩვენებლების) ანგარიში საშემოდგომო ხორბლის მაგალითზე.

წინასწარ ვანგარიშობთ პარამეტრებს:

$$n = \lg W_1 - \lg W_2 = \lg(4000 : 3800) = 0,02$$

$$m = \lg W_1 - \lg W_3 = \lg(4000 : 2500) = 0,204$$

$$K = \lg t_1 \cdot \lg W_2 - \lg t_2 \cdot \lg W_1 = \lg 1500 \cdot \lg 3800 - \lg 1700 \cdot \lg 4000 = 11,38 - 11,63 = 0,25$$

$$f = \lg y_2 \cdot \lg W_1 - \lg y_1 \cdot \lg W_2 = \lg 20 \cdot \lg 4000 - \lg 15 \cdot \lg 3800 = 4,69 - 4,22 = 0,47$$

$$d = \lg y_3 \cdot \lg W_1 - \lg y_1 \cdot \lg W_3 = \lg 35 \cdot \lg 4000 - \lg 15 \cdot \lg 2500 = 5,55 - 4,01 = 1,54$$

$$c = \lg Q_1 \cdot \lg W_3 - \lg Q_3 \cdot \lg W_1 = \lg 3,6 \cdot \lg 2500 - \lg 3,25 \cdot \lg 4000 = 1,93 - 1,84 = 0,09$$

$$B = \lg Q_2 \cdot \lg W_1 - \lg Q_1 \cdot \lg W_2 = \lg 3,2 \cdot \lg 4000 - \lg 3,6 \cdot \lg 3800 = 1,82 - 1,99 = -0,17$$

$$h = \lg t_3 \cdot \lg W_1 - \lg t_1 \cdot \lg W_3 = \lg 2000 \cdot \lg 4000 - \lg 1500 \cdot \lg 2500 = 11,89 - 10,81 = 1,08$$

$$A = \left[\frac{\tau}{T} \lg e + \lg \left(1 - \frac{S}{S^*} \right) + \lg \left(1 - \frac{P}{P^*} \right) + \lg \left(1 - \frac{E}{E^*} \right) \right] =$$

$$\left[11 \lg 2,718 - \lg \left(1 - \frac{4,0}{22} \right) - \lg \left(1 - \frac{2,8}{18} \right) + \lg \left(1 - \frac{11,0}{30} \right) \right] = 0,434 + 0,087 + 0,073 + 0,198 = 0,792$$

ამის შემდეგ ვანგარიშობთ ხარისხის მაჩვენებელ γ -ს.

$$\gamma = \frac{B(d + A_m) + C(f + A_n)}{B_n - cK} = \frac{-0,17(1,54 + 0,792 \cdot 0,204) + 0,09(0,47 + 0,792 \cdot 0,02)}{-0,17 \cdot 0,02 - 0,09 \cdot (-0,25)} = \frac{-0,25}{0,02} = -12,5$$

γ -ს მიღებულ მნიშვნელობას ვსვამთ β -ს საანგარიშო ფორმულაში:

$$\beta = \frac{\lg y_2 \cdot \lg W_1 - \lg W_2 (\lg y_1 - \gamma \lg t_1 + A) - \gamma \lg t_2 \cdot \lg W_1 + A \cdot \lg W_1}{\lg Q_2 \cdot \lg W_1 - \lg Q_1 \cdot \lg W_2} =$$

$$= \frac{\lg 20 \cdot \lg 4000 - \lg 3800 (\lg 15 + 12,5 \lg 1500 + 0,792) + 12,5 \lg 1700 \cdot \lg 4000 + 0,792 \cdot \lg 4000}{\lg 3,2 \cdot \lg 4000 - \lg 3,6 \cdot \lg 3800} =$$

$$= \frac{4,686 - 149,19 + 148,302}{1,82 - 2,005} = \frac{3,798}{-0,185} = -20,53$$

ებლა უკვე ვანგარიშობთ α -ს.

$$\alpha = \frac{\lg y_1 - \beta \lg Q_1 - \gamma \lg t_1 + A}{\lg W_1} = \frac{\lg 15 + 20,53 \lg 3,6 + 12,5 \lg 1500 + 0,792}{\lg 4000} =$$

$$= \frac{1,18 + 11,42 + 39,701 + 0,792}{3,602} \approx 15,3$$

α , β , γ , ხარისხის მაჩვენებლებს ანალოგიურად ვანგარიშობთ იონჯისათვის, სიმინდისათვის, ვენახისათვის. მიღებული მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილში 3.2.

α , β , γ , ხარისხის მაჩვენებლების მნიშვნელობები

კულტურის დასახელება	α	β	γ
საშემოდგომო ხორბალი	15,3	-20,53	-12,5
სიმინდი	4,435	-0,924	-4
იონჯა	-5,329	0,82	6,66
ვენახი	-0,635	-3,694	2,1

ჩავატაროთ ანგარიში კონკრეტულ მაგალითზე. მიღებული კოეფიციენტების შემოწმების მიზნით, გვაქვს: $y=15$ ც/ჰა, ამ დროს ფაქტორთა მნიშვნელობებია: $W=4000$ მ³/ჰა; $Q=3,6$ ც/ჰა; $t=1500$ °c; $S=4,0$ მმ/წთ; $S^*=22$ მმ/წთ; $P=2,8$ ტ/ჰა; $P^*=18$ ტ/ჰა; $E=11,0$ მ/წმ; $E^*=30$ მ/წმ. $\tau=T$ (სავეგეტაციო პერიოდი დამთავრდა).

ჩავსვათ მიღებული მონაცემები საანგარიშო მოდელში (3:3), მივიღებთ:

$$y = \frac{W^\alpha \cdot Q^\beta \cdot t^\gamma}{\frac{S^*}{S^* - S} \cdot \frac{P^*}{P^* - P} \cdot \frac{E^*}{E^* - E}} \cdot e^{-\frac{\tau}{T}} = \frac{4000^{15,31} \cdot 3,6^{-20,53} \cdot 1500^{-12,5}}{\frac{22}{22-4} \cdot \frac{18}{18-2,8} \cdot \frac{30}{30-11}} \cdot 2,718^{-1} = 27,2 \text{ ც/ჰა}$$

ჩვენს შემთხვევაში გვექნებოდა მოსავლიანობის დონე $y=15$ ც/ჰა, ე.ი. თითქმის იგივე, რაც ჩვენი განტოლებათა ნაანგარიშები, სხვაობა შეადგენს $\approx 1\%$ -ს, რაც რბილად, რომ ვთქვათ, მეტად მცირეა.

ყოველივე ზემოთ მოყვანილიდან გამომდინარე, შეიძლება ითქვას, რომ ჩვენს მიერ დამუშავებული (3:3) მოდელი საკმაოდ ზუსტად აღწერს პროცესს.

თავი IV. სასოფლო-სამეურნეო წარმოება და ეკოლოგიური მდგრადობის პირობები

4.1. სასოფლო-სამეურნეო წარმოება, როგორც გარემოს ეკოლოგიური ცვლილებების განმსაზღვრელი მახასიათებელი

ადამიანის ნებისმიერი მოღვაწეობა, როგორც ინტელექტუალური აზროვნების შედეგი, გარკვეულად ახდენს ზემოქმედებას საუკუნეებით ჩამოყალიბებულ და ფორმირებულ ეკოლოგიურ სისტემებზე, ე.ი. გარემო სამყაროზე, რომელშიაც უხდება ცხოვრება და შრომა თვით ამ სისტემის ერთ-ერთ ძირითად შემოქმედს, ადამიანს. ადამიანის ბუნებრივ პროცესში ჩართვის დონისაგან დამოკიდებულებით, ირღვევა საუკუნოვანი კავშირები და ურთიერთზემოქმედების პროცესები დედამიწის ზედაპირის შემხებ ჰაერის ფენასი, დედამიწის ქერქის ქვეშ და კოსმოსურ სივრცეშიც კი.

ამ ბოლო ათწლეულის პერიოდში, მკვეთრად გაიზარდა დაინტერესება პრობლემებისადმი, რომლებიც დაკავშირებულია ეკონომიურ განვითარებასთან, მოსახლეობის ზრდასთან და შედეგებისადმი, გამოწვეული გარემო სამყაროზე ანთროპოგენულ ზემოქმედებისგან. მეცნიერთა გარკვეული ნაწილი, ცდილობდა ეჩვენებინა, რომ ბევრი მექანიზმები და ძალები, მოქმედებენ, რა ერთიმეორეზე, იწვევენ შედეგებს, რომელთა ნაწილი აღიქმება ადამიანის მიერ, ხოლო ნაწილი, კი, გარკვეული მიზეზებისა და გარემოებების გამო, არ აღიქმება. დღეს ბევრს ესმის, რომ ურთიერთქმედებები ერთი მთლიანის შიგნით უფრო სერიოზული და საინტერესოა, ვიდრე მის ცალკეულ ნაწილებს შიგნით მომხდარი პროცესების ჯამი, ე.ი. კავშირები მის ცალკეულ ნაწილებს შორის არაა მარტივი და სწორხაზოვანი.

ამ მიმართულებით კვლევების განვითარება დაიწყო მხილოდ ეგრეთწოდებული "ენერგეტიკული კრიზისის" შემდეგ, რომელიც დაფიქსირდა 1970 წელს. მსოფლიო /63/ სისტემა, დროთა განმავლობაში, წააწყდა ახალ სირთულეებს. სისტემის ელემენტების ურთიერთქმედება განსაზღვრავს ზრდას, სიტუაციების

ცვლილებას და სისტემის შიგნით დაძაბულობას. მსოფლიო სისტემაში დაძაბულობის ცხად გამოვლენას წარმოადგენს მოსახლეობის ზრდა იმ შემთხვევაში, როდესაც მისი ტემპი უსწრებს ეკონომიური მდგომარეობის წინსვლის ტემპს, რომელიც იწვევს გაჭუჭყიანების მკვეთრ ძზრდას და მოსახლეობის ფენებს შორის, ეკონომიური მდგომარეობის დონეთა შორის შეფარდების ზრდას. ამ სიტუაციიდან გამოსვლის ერთ-ერთ რეალურ გზას წარმოადგენს შობადობის შეზღუდვის ჭკვიანური პოლიტიკა (მაგალითად ისეთი, როგორიც ჩატარდა ჩინეთში), მაგრამ ასეთი პოლიტიკა შედეგს იძლევა გარკვეული პერიოდის შემდეგ. (იგულისხმება დადებითი შედეგი). თანამედროვე ეტაპზე უფრო და უფრო ჯდება შემეცნებაში ის ფაქტი, რომ ყოველი მცდელობა, რომელიც მიმართულია სტრესული მდგომარეობის შესუსტებისკენ, ჩვენს სოციალურ სისტემაში, ხშირად გამოიყენება რეტროსპექტულად, ე.ი. იზღუდება მხოლოდ სიმპტომები და ძირითადი მიზეზები შეუხებლად რჩება. საქმე იმაშია, რომ მოსახლეობის ზრდის ტემპის დადგენა, გარემო სამყაროს გაჭუჭყიანების ტემპი და ეკონომიური უთანაბრობის სიმპტომებზე, ან მიზეზებზე ზემოქმედება გამოიწვევს თუ არა სიტუაციის უკეთესი მიმართულებით განვითარებას, თუ სტრესის მიზეზები უნდა ვეძებოთ სხვა რამეში.

მსოფლიო სისტემის ელემენტებს შორის კავშირები სულ უფრო და უფრო მჭიდროვდება. ერთ სექტორზე ზემოქმედებამ შეიძლება გამოიწვიოს სხვა სექტორში პროცესის ცვლილება. ჩვენ თუ გვსურს, ვიყოთ დარწმუნებული იმაში, რომ ჩვენი მოქმედება გამოიწვევს სიტუაციის გაუმჯობესებას, მაშინ საჭიროა გავარკვიოთ კავშირები, რომელთა საშუალებითაც ძირითადი ფაქტორები პლანეტარულ მასშტაბში ურთიერთმოქმედებენ ერთიმეორეზე, ე.ი. გაცნობიერებული უნდა იქნეს ურთიერთმოქმედების მექანიზმი.

მსოფლიოს უმეტესი ნაწილი ისწრაფვის კვების პროდუქტებისა და ინდუსტრიის უწყვეტი ზრდისაკენ. მიმდინარეობს ნასვენნი მიწების ათვისება, იჩეხება ტყეები, შენდება ახალი ირიგაციული სისტემები, შრება ჭარბტენიანი ნიადაგები, გამოჰყავთ მაღალპროდუქტიული სასოფლო-სამეურნეო კულტურათა ჯიშები და სხვა, მაგრამ მიუხედავად ამისა, კვების პროდუქტების დაფიციტი მაინც იგრძნობა მთელი მსოფლიოს მასშტაბით. ინდუსტრიული სამყარო პრობლემის გადაწყვეტას ხედავს

ტექნოლოგიების განვითარებაში. ასეთმა მიდგომამ მსოფლიოს განვითარების ერთ ერთ ეტაპზე ითამაშა თავისი როლი, როდესაც ტექნოლოგიების სრულყოფამ გამოიწვია მოსახლეობის ზრდა. ამ დროს ბუნებრივი რესურსები ექსპლუატაციაში შედიოდა უფრო მაღალი ტემპებით, ვიდრე მოსახლეობის ზრდის ტემპი, მაგრამ როგორც ჯ. ფორესტერის კვლევებმა 15 ცლის განმავლობაში, დაწყებული 1970 წლიდან (1970 წელი იქნა მიჩნეული "ენერგეტიკული კრიზისის" დასაწყისად) გვიჩვენებს, რომ პრობლემის ტექნოლოგიური გზით გადაწყვეტა, სულ უფრო და უფრო არაეფექტური ხდება. მას შემდეგ, რაც მყარდება ტექნოლოგიის გარკვეული დონე, იწყება ბუნებრივი რესურსების გამოფიტვა, იწყება გაჭუჭყიანების კრიზისი, ცხოვრების ხარისხის დაცემა, ეკოლოგიური სიტუაციების გაუარესება და ა.შ. აქედან გამომდინარე, ადამიანის მოღვაწეობა, როგორც ჩანს, ისე უნდა იქნეს მიმართული, რომ არ მოხდეს თვით ადამიანის განადგურების, გადაშენების ტენდენციების ჩასახვა. ეს, პირველ რიგში, ეხება საკვები პროდუქტების წარმოებას, რადგანაც იგი ადამიანთან უშუალო ფიზიოლოგიურ კონტაქტშია, ე.ი. პრობლემა მაინც იკეტება სოფლის მეურნეობის წარმოების ციკლით, თუმცა ამ პროცესში დიდ როლს თამაშობს მძიმე მეტალურგიაც, რადგანაც გარემოს გაჭუჭყიანების და ეკოლოგიური წონასწორობის რღვევის ერთერთ ძირითად წყაროს, სოფლის მეურნეობის შემდეგ, წარმოადგენს მძიმე ინდუსტრიის ტექნოლოგიური პროცესების ნარჩენები. ეს პრობლემა მკვეთრად იგრძნობა დღეს მსხვილ ინდუსტრიულ ცენტრებში და მიმდებარე ტერიტორიებზე. (საკმარისია გავიხსენოთ ზესტაფონის, რუსთავის, კასპის, ჭიათურის და სხვათა მაგალითები, სადაც ტექნოლოგიური პროცესების შედეგად, მთლიანად იცვალა სახე თვით ბუნებამ, რომ არაფერი ვთქვათ ადამიანის ჯანმრთელობაზე).

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, მოსახლეობის ზრდა და საკვებ პროდუქტებზე მზარდი მოთხოვნილება, გვაიძულებს, ავითვისოთ ახალი მიწები, დავამუშავოთ ახალი ტექნოლოგიები, შევექმნათ ახალი მაღალპროდუქტიული მინერალური სასუქები, რომლებიც საშუალებას მოგვცემენ, გავზარდოთ სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობა და მესაქონლეობის კომპლექსების პროდუქტიულობა, მაგრამ ადამიანის ნებისმიერ ჩარევას ბუნებრივ პროცესებში, რომლებიც ჩვენგან დამოუკიდებლად მიმდინარეობენ მსოფლიო სისტემაში, მოსახლეობის ცხოვრების დონის ამაღლების

მიზნით, მიყვავართ ეკოლოგიური სისტემების მდგრადობის რღვევისაკენ. იმისათვის, რომ თუნდ უხეშ მიახლოებაში შევაგსოთ "ადამიანი-ბუნება"-ის ურთიერთზემოქმედების შედეგები, აუცილებელია გაანალიზებული იქნეს თვით პროცესი, ე.ი. მონახული უნდა იყოს სტრესული მდგომარეობის მიზეზი.

თუ გავანალიზებთ სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოყვანის პროცესს და სასოფლო-სამეურნეო პროდუქციის წარმოებას, ადვილად შევამჩნევთ შემდეგ ძირითად მოვლენებს, რომლებიც თან ახლავენ ამ პროცესს და მის ეტაპებს: ნიადაგის მოხვნისა და გაფხვიერების შედეგად, იქნება წყლისმიერი და ქარისმიერიეროზიის ზელშემწყობი პირობები, რასაც მიყვავართ ნიადაგის პროდუქტიული ფენის დაუბრუნებელ კარგვამდე. შედარებით რთულდება საკითხი იმ ნიადაგების მოხვნის შედეგად, რომლებიც შეიცავენ დიდი რაოდენობით მძიმე და თხიერი ნარჩენების სახით, ხვდებიან რა ჰაერში, წყალში თუ ნიადაგში, ქმნიან კრიტიკულ სიტუაციებს, რომლის დროსაც ორგანიზმების ადაპტაციური შესაძლებლობები არაა საკმარისი და იღუპებიან, რის შედეგადაც ირღვევა საუკუნეებით ჩამოყალიბებული წონასწორული მდგომარეობები. უნდა მიექცეს ყურადღება იმასაც, რომ ამ ბოლო პერიოდში გახშირდა ანთროპოგენული ანომალიები – მჟავე წვიმები, რომლებიც გოგირდისა და აზოტის გარდა, შეიცავენ თუთიას და დარიშხანს.

თესვის წინ თესლი მუშავდება ნივთიერებებით, რომლებიც ზრდიან მათი აღმოცენების უნარს, ამდიდრებენ დანაკარგებს, გამოწვეულს მღრღნელების, ფრინველების მიერ და სხვა. ასე დამუშავებული თესლი შეიცავს დიდი რაოდენობით მძიმე მეტალების იონებს, რომელთაწილი დროთა განმავლობაში ხვდება ატმოსფეროში, ხოლო ნაწილი, სარწყავ წყალთან ერთად ხვდება ნიადაგში და აჭუჭყიანებენ მათ. ამ ნივთიერებათა ერთი ნაწილი ხვდება ნაყოფში, რომელსაც იყენებს ადამიანი, ან სასოფლო-სამეურნეო პირუტყვი, რომლებიც მათ ნაწილს ისევ უკან აბრუნებენ ნიადაგში და ჰაერში, ე.ი. გაჭუჭყიანების ციკლი მოხდება წლების განმავლობაში და ადამიანის მცდელობის მეშვეობით, მიიღოს რაც შეიძლება მეტი მოსავალი, ძლიერდება და შესამჩნევი ხდება არასპეციალისტისათვისაც კი.

სასოფლო-სამეურნეო ფართობების მორწყვა აუცილებელი პირობაა მცენარის ნორმალური ზრდა-განვითარებისათვის თითქმის ყველა რეგიონში და მაღალი

მოსავლიანობის მიღწევისათვის. სახელდობრ, სარწყავი წყლითა და ატმოსფერული ნალექების ჩამონადენით, ნიადაგში გადაიტანება ყველა მავნე ელემენტები, აჭუჭყიანებენ მას და არღვევენ საუკუნეებით ჩამოყალიბებულ ეკოლოგიურ წონასწორობას. ეს ნეგატიური გამოვლინებები ძლიერდება მაშინ, როცა ირღვევა რწყვის ნორმები და ვადები. მცენარის უჯრედების მიერ, წყალთან ერთად, ტრანსპირაციის მექანიზმით შეიწოვება ყველა მავნე ნივთიერებები. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ მცენარეში მოხვედრილი მავნე ელემენტების რაოდენობა დამოკიდებულია ხსნართა კონცენტრაციაზე. მაღალი კონცენტრაციის დროს მცენარეს არ შეუძლია მათი მთლიანი ათვისება და ამის გამო, ამ ელემენტთა ნაწილი რჩება ნაყოფში, გადაუმუშავებელი ფორმით. ასეთ გადაუმუშავებელ ფორმაში მყოფი აზოტის შემჩნევა ადვილად შეიძლება საზამთროში, პამიდოროში (ნაყოფში ჩანს მოყვითალო, შედარებით გამკვრივებული ორგანოები თაიგულის სახით). წყლის არანორმატიული მიწოდება მცენარისათვის პირდაპირი ნეგატიური ზემოქმედების გარდა, ახდენს ნიადაგის ეროზიას, რომელიც იწვევს ნაყოფიერი ფენის ჩამოყალიბებას, სჭირდება რამოდენიმე ათეული წელი. რწყვის ნორმების დარღვევა ეროზიის გარდა, იწვევს ნიადაგის დამლაშებას და დაჭაობებას, რის შედეგადაც იგი ხდება ნაკლებად, ან სრულიად უნაყოფო. დამლაშებული და დაჭაობებული მიწების გაკულტურება ჯდება გაცილებით ძვირი, ვიდრე ახალი ყამირი მიწების ათვისება. გარდა იმისა, რომ დაჭაობება იწვევს ნიადაგის ნაყოფიერების დაცემას, იგი ქმნის მალარიის წყაროს, დაავადებების ბუდეს, რომლებიც უარყოფითად მოქმედებენ ადამიანის ჯანმრთელობაზე.

ყოველივე ზემოთმოხსენებულის გარდა, ფართობზე არანორმირებული წყლის მიწოდება და აქედან გამომდინარე, მტკნარი წყლის არამომჭირნედ ხარჯვა, იწვევს მდინარეთა აუზების ეკოლოგიური სიტუაციების გაუარესებას. მათი გაწყლოვანების შემცირების ნიადაგზე, ნადგურდება ფლორა და ფაუნა, ქრება მცენარეული საფარი და ვითარდება ინტენსიური ეროზია ხეობებში (როგორც წყლისმიერი, ისევე ქარისმიერი, ქიმიური და მექანიკური).

მცენარეთა დამუშავება სახვადასხვა ხსნარებით (განსაკუთრებით მრავალწლიანი ნარგავების), იწვევს დიდი რაოდენობით მძიმე მეტალების ნარჩევების წარმოშობას (სპილენძი, ვერცხლი, თუთია, გოგირდი და სხვა), რომლებიც ხვდებიან

ნიადაგში, ჰაერში და თვით ნაყოფის ზედაპირზეც რჩებიან, ხოლო დროთა განმავლობაში, ატმოსფერული ნალექებისა და სარწყავი წყლის მეშვეობით, ხვდებიან მდინარეთა აუზებში და წყლისსაცავებში. ანალოგიური სურათი გვაქვს ჰერბიციდების, პესტიციდების და სხვა შხამქიმიკატების გამოყენებისას, ე.ი. გამოდის, რომ მცენარის ზედმეტი მოვლა თითქოს და იწვევს ადამიანის ცხოვრების ხარისხის დაცემას, მაგრამ თუ გავაანალიზებთ ამ პროცესს უფრო ღრმად, დავინახავთ, რომ სურათის შეცვლა შეიძლება უმტკივნეულოდ, კერძოდ, თუ მკაცრად დავიცავთ დადგენილ ნორმებსა და ვადებს, აღნიშნული ნარჩენების შემცირება შეიძლება 70-80%-ით. ნორმების დაცვა უზრუნველყოფს ქიმიკატების სრულ დაშლას და მათ ნეიტრალიზაციას, ხოლო ვადების დაცვა კი მცენარის მიერ ქიმიკატების სრულ შეთვისებას. მაგალითისათვის საკმარისი იქნება, მოვიყვანოთ შემდეგი ფაქტი: ვაზის შეწამვლა ბორდოს ხსნარით წვიმის წინ, იწვევს მის სრულ ჩამორეცხვას, ნიადაგში ჩასვლას და ა.შ. ხოლო მცენარე რჩება ამ სასიცოცხლოდ აუცილებელი ოპერაციის გარეშე, ე.ი. გვაქვს ორმხრივი ზარალი. დიდი დოზითა და მაღალი კონცენტრაციის ხსნარით შეწამვლის შემთხვევაში, ზიანდება მცენარის ნორჩი ორგანოები, იღვრება დიდი რაოდენობით ხსნარი ნიადაგში და ა.შ. ღაც იწვევს ნეგატიურ მოვლენებს.

სასუქები (საკვები ნივთიერებები) შედიან ჩვენს მიერ დადგენილ იმ ფაქტორთა რიცხვში, რომლებიც განსაზღვრავენ მცენარის ზრდა-განვითარების ნორმალურ მსვლელობას, რადგანას საკვების გარეშე, არც ერთ ბიოლოგიურ ორგანოს სიცოცხლის უნარი არა აქვს, მაგრამ სასუქებს სარგებლობასთან ერთად, შეუძლიათ ზიანიც მოგვიტანონ, რომელიც მით მეტია, რაც მეტია დადგენილი დროებიდან გადახრა. ამასთან, სხვადასხვა ხარისხი და ხასიათი.

მაკროსასუქებიდან მათი გამოყვანის შემთხვევაში, გარემოს გაჭუჭყიანების საქმეში, ყველაზე მეტ საშიშროებას ქმნის აზოტოვანი სასუქების გამოყენება. ნიტრატების გარემოს გაჭუჭყიანების შემთხვევაში, გარემოს გაჭუჭყიანების საქმეში, ყველაზე მეტ საშიშროებას ქმნის მესაქონლეობის კომპლექსები, რომელთა ნარჩენების იზოლაცია-ნეიტრალიზაცია ჯერ-ჯერობით პრაქტიკულად შეუძლებელია. ამ მხრივ, ყველაზე რთულ სიტუაციებს ქმნის მეფრინველეობის ფერმები. მაღალი ტოქსიკურობითა და კონცეროგენული თვისებებით ხასიათდება კალიუმის ნაერთები.

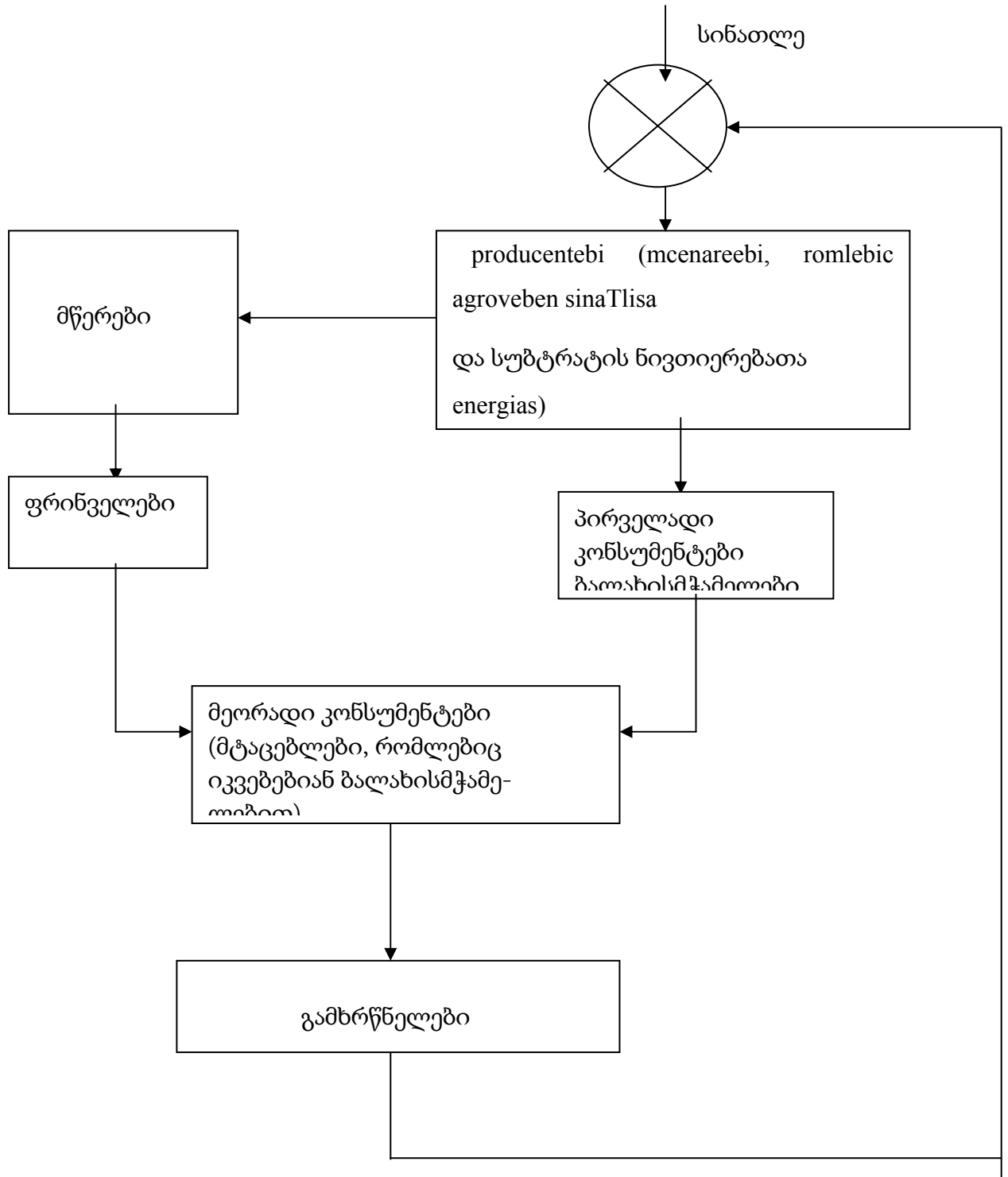
კალიუმი ნიადაგში და შემდეგ წყალსაცავებში და მდინარეთა აუზებში, შეიძლება მოხვდეს ნიადაგში ფოსფოროვანი სასუქების შეტანის შედეგად. კალიუმს ახასიათებს სწრაფად გადასვლის უნარი ნიადაგიდან მცენარეში. ფოსფატები, კალიუმის გარდა, შეიცავენ დარიშხანს, ფტორს, ურანს, სელენს. ასეთი სასუქების ყოველი ტონის შეტანის შედეგად, ნიადაგში ხვდება დაახლოებით 160კგ ფტორი.რიგი ავტორების მონაცემებით, მარტივი სუპერფოსფატი შეიცავს 17მგ/კგ სპილენძს, 95 მგ/კგ თუთიას, 300მგ/კგ AS; ფოსფორის ფხვნილში შედის 18მგ/კგ ტყვია, 1,6მგ/კგ კადმიუმი და ა.შ.

სამრეწველო წარმოების ნარჩენების, ქალაქების ნაგვის, ჩამონადენი წყლების ნალექების და თხიერი ნაკელის სასუქებად გამოყენების შემთხვევაში, იზრდება საშიშროება ნიადაგში ისეთი ნივთიერებების დაგროვებისა, რომლებიც ტოქსიკურია მცენარეებისთვის, ცხოველებისთვის და ადამიანებისთვისაც. მნიშვნელოვნად იზრდება სპილენძის კონცენტრაცია ნიადაგში, ვენახის ბორდოს ხსნარით შეწამვლის შედეგად, რაც იწვევს გარემოს გაჭუჭყიანებას, მცენარეთა ფოთლების შეფერილობის ცვალებადობას და ა.შ.

მამასადამე, მცენარის ზრდა-განვითარების მთელ პროცესს თან ახლავს გარემოს გაჭუჭყიანების ფაქტორები, ღომელთა მასალები ბოლოს ხვდება მდინარეთა აუზებში და მათი მეშვეობით, ზღვებსა და ოკეანეებში, საიდანაც ისევ უკან ბრუნდება დედამიწაზე. ნივთიერებათა ასეთი ბრუნვის ციკლი მოცემულია სურ 4.1-ზე სქემატურად.

წყალსაცავებისა და წყალსატევების გაჭუჭყიანების ქვეშ, გულისხმობენ მათი ეკონომიური მნიშვნელობის გაუარესებას და ბიოსფერული ფუნქციის მოშლას მათში მომწამლავ ნივთიერებათა ანთროპოგენული ჩადინების შედეგად, რომელთა უდიდესი ნაწილი მოდის სოფლის მეურნეობაზე და გადამამუშავებელ მრეწველობაზე. დამაჭუჭყიანებელი ნივთიერებების ეკოლოგიური ზემოქმედება ვლინდება ორგანულ, პოპულაციურ, ბიოცენოტიკურ და ეკოსისტემურ დონეებზე. ნივთიერებათა ციკლური ბრუნვის შედეგად, დაჭუჭყიანება წყალსატევებიდან უკან ბრუნდება დედამიწაზე – წვიმის , ქარის გავლენით და თვით ადამიანის ჩარევით, რომელიც იყენებს საკვებად თვით წყალსაცავებისა და წყალსატევების პროდუქტებს. ნაწილი ამ ნივთიერებებისა,

ილექტრა ოკეანეებისა და ზღვების ფსკერზე და თანდათანობით დევნის იქიდან ყოველგვარ სიცოცხლისუნარიანს, ე.ი. აქცევს მათ "მკვდარ" სამყაროდ.

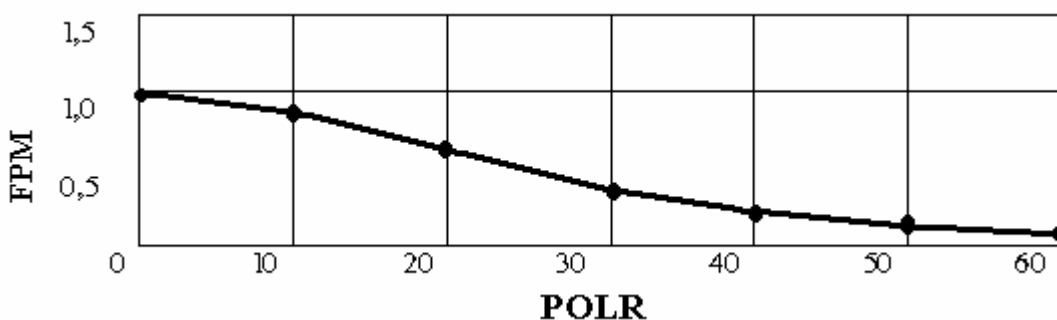


სურ. 4.1 მიწისზედა ეკოსისტემის ძირითად კომპონენტთა შორის ენერჯისა და მასების ნაკადის მოძრაობის სქემა.

4.2. მემცენარეობის ნეგატიური გავლენა ეკოლოგიურ წონასწორობაზე

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, გარემოს დაჭუჭყიანების ტემპები მთლიანადაა დამოკიდებული სახალხო მეურნეობის განვითარების ტემპების ზრდაზე და მათ შორის, საკვები პროდუქტების წარმოების ტემპების ზრდაზეც. ამასთან, ადგილი აქვს შებრუნებულ პროცესსაც, ე.ი. კვების პროდუქტების წარმოების ტემპები დამოკიდებულია დაჭუჭყიანების დონეზე. მაშასადამე, ეს ორი პროცესი ურთიერთმარეგულირებადია. თვალნათლივია, რომ გარემოს დაჭუჭყიანება გავლენას ახდენს სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობაზე და მის ხარისხზე, მსოფლიო ოკეანეში თევზის მარაგზე, მესაქონლეობის პროდუქტიულობაზე და საბოლოო ჯამში, ადამიანის ჯანმრთელობაზე და გონებრივ განვითარებაზეც კი.

მსგავსი ანალიზი გააკეთა ჯ. ფორესტერმა 15 წლის კვლევების შედეგად, რომელიც გრაფიკულად მოცემულია სურ 4.2-ზე /63/ გრაფიკზე FPM-კვების პროდუქტების წარმოების დამოკიდებულების თანამამრავლია გაჭუჭყიანების დამოკიდებულებით; POLR-შეფარდებითი გაჭუჭყიანებაა. როგორც მოყვანილი გრაფიკიდან ჩანს, თუ ფარდობითი გაჭუჭყიანება გაიზრდება 25-ჯერ 1970 წელთან შედარებით, კვების პროდუქტების წარმოება შემცირდება ორჯერ (გრაფიკზე ამ მომენტს შეესაბამება 0,5)



სურ.4.2. კვების პროდუქტების წარმოების დამოკიდებულება გაჭუჭყიანების დონისგან ჯ. ფორესტერის მიხედვით.

გაჭუჭყიანების მაღალი დონეებისათვის, სმწუხაროდ არ გაგვაჩნია ფაქტები კვების პროდუქტების წარმოების დაცემისა, მაგრამ შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ ამ

შემთხვევაში ალბათ არასასურველი მიმართულებით შეიცვლება ამინდი, ფოტოსინთეზის პროცესი, ტენწარმოქმნის პროცესი, ე.ი. დაიწყება კატასტროფისწინა სიტუაციის ფორმირება (კრიზისული მდგომარეობა), მაგალითად თუ გაჭუჭყიანება გაიზრდება 50-ჯერ, კვების პროდუქტების წარმოება მცირდება 3-ჯერ (სურ 4.2.), ე.ი. დაიწყება ინტენსიური შიმშილი და ეპიდემია, რაც ალბათ რეალურია თუ კი გაჭუჭყიანების ტემპები დარჩება ისეთი, როგორც დღესაა. საგულისხმოა, რომ ასეთ სიტუაციებში შეიცვლება სხვა ფაქტორებიც, ისეთები, როგორცაა კლიმატი, ამინდი, ნიადაგის პროდუქტიულობა, ადამიანის მოღვაწეობის ხარისხი და ა.შ. ასეთი ფაქტების მტკიცება ძალიან ძნელია, მაგრამ არის წინაპირობა იმისა, რომ გარემო სამყაროში პროცესების დინამიკა უნდა წავიდეს ამ კანონით.

აქვე უნდა აღვნიშნოთ ის ფაქტორიც, რომ გაჭუჭყიანების პროდუქტების დაგროვებასთან ერთად, მიმდინარეობს მათი გახრწნის პროცესიც. როგორც აშშ-ის მცენარეთა კვლევებმა აჩვენეს, წელიწადში იხრწნება გაჭუჭყიანების პროდუქტების დაახლოებით 60% იმ პირობით, თუ შეწყდება გაჭუჭყიანების პროდუქტების შემდგომი დაგროვება, მაგრამ ყველა პროდუქტს აქვს დაშლის თავისი ვადები და კანონი, ზოგი მოკლე დროში იშლება და ნეიტრალიზდება, ზოგი კი უფრო დიდ დროს ანდომებს ამ პროცესს. ცნობილია ის ფაქტიც, რომ როდესაც გაჭუჭყიანების დონე იზრდება, დაშლის დროც დიდდება. გაჭუჭყიანების დაბალ დონეებზე მოქმედებას იწყებს კუმულაციური ეფექტი, რომელიც ამუხრუჭებს დაშლის ბუნებრივ პროცესს.

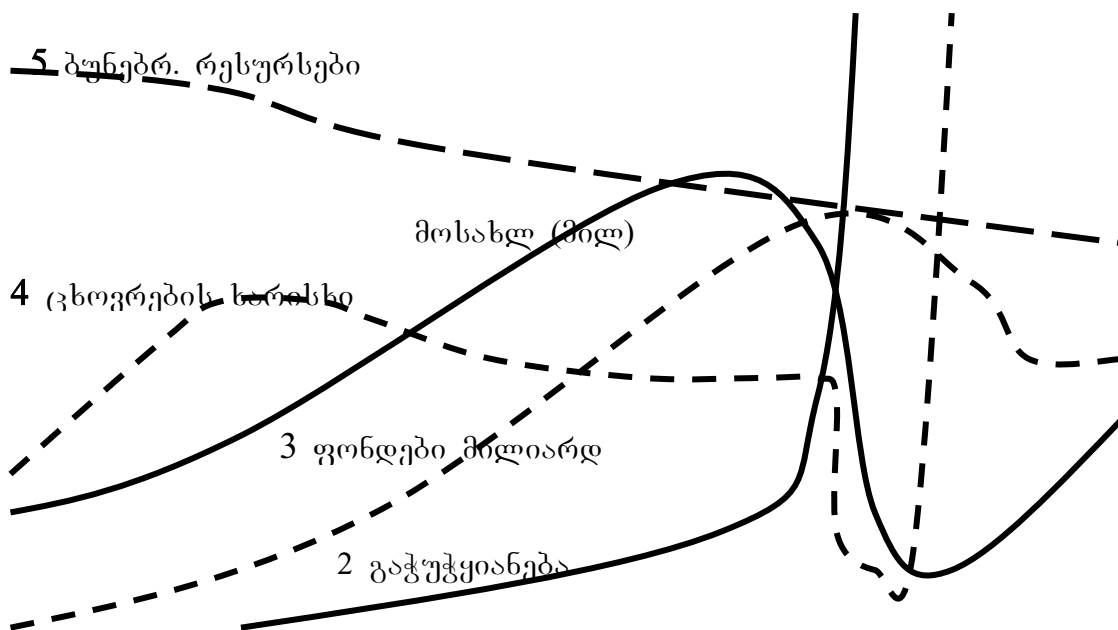
სურ 4.3.-ზე მოცემულია გაჭუჭყიანების პროდუქტების დაშლის დროის დამოკიდებულება ფარდობითი გაჭუჭყიანების დონეზე, სადაც POLAT-გაჭუჭყიანების პროდუქტების დაშლის დროა (წლებში); POLR-ფარდობითი გაჭუჭყიანებაა. გრაფიკზე ერთეული ფარდობითი გაჭუჭყიანება POLR, შეესაბამება გარემოს მდგომარეობას 1970 წლისათვის. როგორც ამ გრაფიკიდან ჩანს, მასზე ასახულია ჰიპოტეტური სიტუაცია, რომლის შედეგად, არსებული გაჭუჭყიანების ორი მესამედის საშლის დრო იზრდება შემდეგი კანონზომიერებით: 5-ჯერ (5 წლამდე), როცა გაჭუჭყიანების დონე იცვლება 20-ჯერ 1970 წელთან შედარებით; 10-ჯერ, როცა გაჭუჭყიანება იცვლება 40-ჯერ; 20-ჯერ, როცა გაჭუჭყიანება იცვლება 60-ჯერ და ა.შ. ასეთი მოვლენები აშშ-ში უკვე დაფიქსირებულია, საიდანაც მეცნიერებს გამოაქვთ დასკვნა, რომ ასეთ სიტუაციებში

იქმნება შებრუნებული პროცესი. ამის მაგალითად ამერიკელები თვლიან ტბა ერის მდგომარეობას, რომლის აღდგენაც პრაქტიკულად შეუძლებელია, რადგანაც იგი მოითხოვს ისეთ კაპიტალდაბანდებებს და ძალისხმევას, რომელიც აშშ-ს არ შეუძლია გაიღოს. აქედან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ თუ ასეთ ეკონომიურად ძლიერ სახელმწიფოს არ ძალუძს გაიღოს თანხები მიღწეული ღონის გაჭუჭყიანების აღსადგენად, რა მოხდება შვენს ქვეყანაში თუ ასეთ სიტუაციებთან გვექნება საქმე. ამან უნდა დაგვაფიქროს ყველა და დღესვე უნდა იქნეს მიღებული ღონისძიებები, რათა ჩვენს უნიკალურ წყალსატევებში არ მოხდეს ანალოგიური ფაქტი.

აღუდგენელი გაჭუჭყიანების ფაქტის არსებობა და წყლის რესურსების გამოფიტვა (ტბა ერის მაგალითზე, სურ 4.3. და სხვა) ერთ-ერთი საგანგაშო სიმპტომია კაცობრიობისათვის. საუბედუროდ, მსგავსი მაგალითები დღეისათვის ბევრია: ბაიკალის ტბის კატასტროფული მდგომარეობა, შავიზღვის ქვედა ფენებში (200 მ-ის ქვემოთ) გოგირდმჟავა მარილების დიდი კონცენტრაცია და სხვა. ყოველივე ეს ლაპარაკობს იმაზე, რომ დღესვე უნდა დაიწყოს ფიქრი და ლაპარაკი პრაქტიკულ ღონისძიებებზე იმ მიმართულებით, რომ შეჩერდეს არსებული წყალსაცავებისა და წყალსატევების შემდგომი გაჭუჭყიანების ზრდა.

როგორც ზემოთ მოყვანილი ფაქტებიდან ჩანს, ბუნებრივი რესურსების შემცირება დაამუხრუჭებს კვების პროდუქტების ეხსპონენციალურ ზრდას და შესაბამისად მოსახლეობის ცხოვრების ღონის ზრდის შენელებას და დაქვეითებას.

იმის გამო, რომ ბუნებრივი რესურსების გამოყენება (მათ შორის წყლის, მიწის, მინერალური სასუქების და სხვა.) წარმოებს უწყვეტად, მზარდი ტემპებით და პროცესი შეუბრუნებადია, ცხადია, რომ დადგება მომენტი, რომლის შემდეგაც დაიწყება რესურსების მარაგის შემცირება, რომელიც გამოიწვევს არა მარტო პროდუქტების წარმოების დაცემას, არამედ მთელი ეკოსისტემის წონასწორობის რღვევას, მსოფლიო კრიზისს.

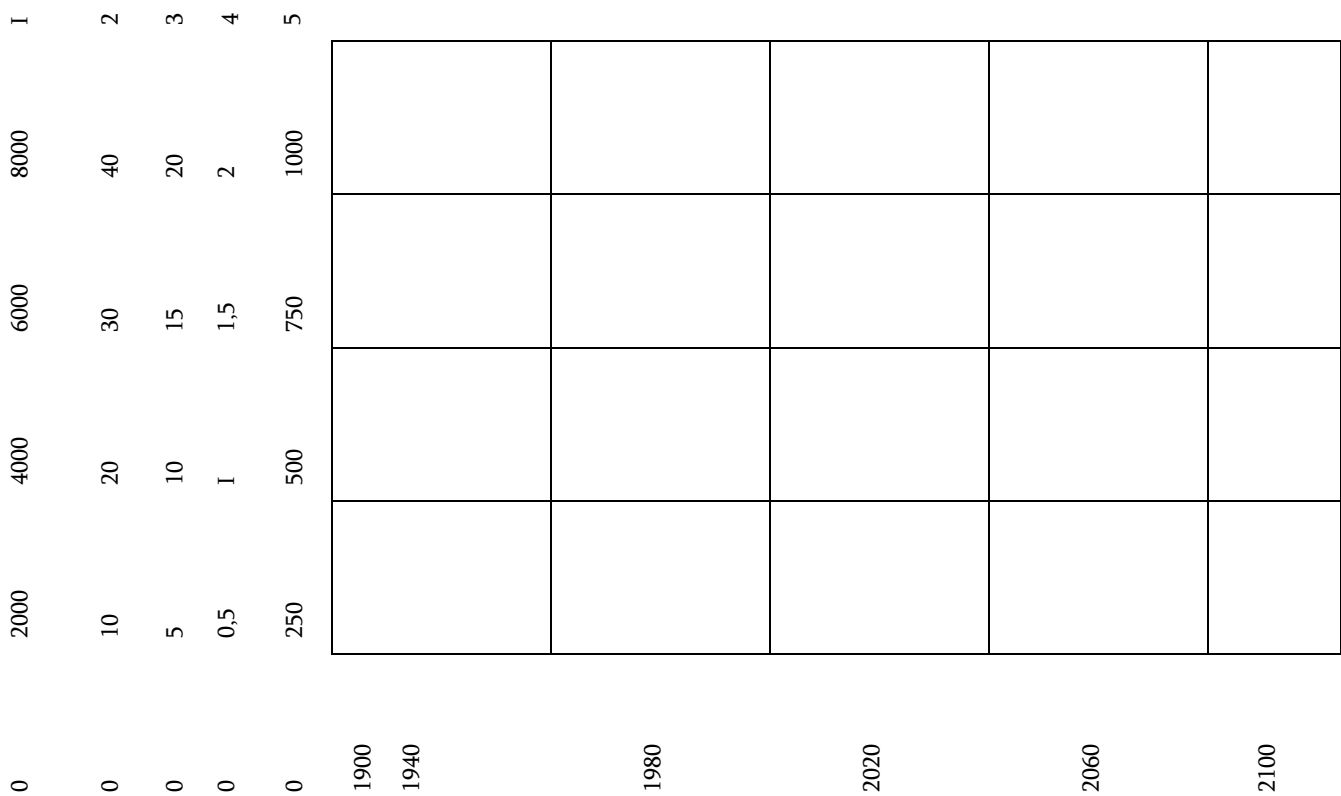


სურ. 4.3. გაჭუჭყიანების პროდუქტების დაშლის დროის დამოკიდებულება შეფარდებით გაჭუჭყიანებაზე ჯ. ფორესტერის მიხედვით.

თუ დავუშვებთ, რომ მოხდება ბუნებრივ რესურსებზე მოთხოვნილების შემცირება, მაშინ უნდა შეიზღუდოს სისტემის განვითარების რომელიმე ფაქტი, ან იგი მთლიანად უნდა იქნეს უარყოფილი. ირკვევა, რომ თუ ბუნებრივი რესურსები აღარ შეზღუდავს წარმოების ზრდას, მაშინ სისტემაში ჩნდება მეორე ფაქტორი, რომელიც შეაფერხებს მას. ასეთ ფაქტორად გვევლინება გაჭუჭყიანების განვითარებული კრიზისი, რომელიც წარმოიქმნება მაშინ, როდესაც არც ერთი სხვა ფაქტორები არ ხლუდავენ წარმოების ზრდას იმ დონემდე, რომელ დონემდეც ზღუდავს მას გაჭუჭყიანება.

ასეთი ანალიზის შედეგები უფრო თვალნათლივია გრაფიკიდან, რომელიც დაამუშავა ჯ. ფორესტერმა მსოფლიო სისტემაში მიმდინარე პროცესების ანალიზის საფუზველზე (სურ. 4.4.)

სურ. 4.4.-დან ჩანს, რომ გაჭუჭყიანება იზრდება ორმოცჯერ 1970 წელთან შედარებით. გრაფიკიდან მკვეთრად ჩანს, თო რას იწვევს მოსახლეობის შემდგომი ზრდა, მაგრამ ამ ფაქტორთა ექსტრემუმი დგება არა ერთდროულად. ასე, მაგალითად, ცხოვრების ხარისხის ექსტრემუმი წინ უსწრებს მოსახლეობის და ფონდების ექსტრემუმს, ხოლო უკანასკნელი კი ჩამორჩება მოსახლეობის ზრდის ექსტრემუმს ბუნებრივი რესურსების გამოყენების ერთი და იგივე ტემპების დროს.



სურ 4.4. ბუნებრივი რესურსების გამოყენების ტემპების და გაჭუჭყიანების კრიზისის შორის დამოკიდებულების გარაფიკი.

მოსახლეობის ზრდა გრძელდება მანამ, სანამ გაჭუჭყიანების ზრდის სიჩქარე არ გაასწრებს გაჭუჭყიანების პროდუქტების დაშლის სიჩქარეს. გაჭუჭყიანება მკვეთრად იზრდება გაწმენდის (ნეიტრალიზაციის) ბუნებრივი მექანიზმის გადატვირთვის შემთხვევაში. გაჭუჭყიანების ზრდა გრძელდება მანამ, სანამ არ დაითრგუნება პროცესები, რომლებიც იწვევენ გაჭუჭყიანებას. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ გაჭუჭყიანების სიჩქარის კლება იწყება მას შემდეგ, რაც დაიწყება მოსახლეობის რაოდენობის ზემ და კაპიტალდაბანდებების შემცირება. პროცესი გაგრძელდება მანამ, სანამ გაჭუჭყიანების წარმოქმნის ტემპები არ ჩამორჩება მისი დაშლის ტემპებს (გრაფიკის მარჯვენა მხარე). თუ ამ გრაფიკს კარგად დავაკვირდებით, დავინახავთ, რომ მოსახლეობის ზრდის სიჩქარე წინ უსწრებს გაჭუჭყიანების ზრდის სიჩქარეს და გარკვეულ ეტაპზე, თანაბრდება. ასე, მაგალითად: მოსახლეობის ზრდის ტემპები 2005 წლისათვის და გაჭუჭყიანების ზრდის ტემპები 2020 წლისათვის თითქმის ერთნაირია, ე.ი. წინსწრება შეადგენს 15 წელიწადს. ასეთივე მომენტი შეიმჩნევა 1905 და 1990 წელში, ხოლო 1980 წელში კი შეიმჩნევა ბუნებრივი რესურსების გამოყენების შემცირებული ტემპის სტაბილიზაცია. თუ დავუშვებთ, რომ ამ დონეზე მოხდებოდა რესურსების გამოყენების ტემპების გაყინვა, მივიღებდით გაჭუჭყიანების ტემპების შემცირებას. მოც. გრაფიკის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თანამედროვე ეტაპზე, ე.ი. 90-იანი წლებისათვის გვაქვს კრიზისის წინა მდგომარეობა, რომელიც თავის ექსტრემუმს აღწევს სადაც 2030-2035 წლებში (მხედველობაში გვაქვს ის მომენტი, როცა გაჭუჭყიანების ტემპები იქნება შენარჩუნებული და ბუნებრივი რესურსების გამოყენების ტემპები არ იქნება შეჩერებული). ასეთ სიტუაციაში, ეკოლოგიური სისტემები იწყებენ შლას, რაც მოასწავებს კატასტროფას. რაც შეეხება დღევანდელ სიტუაციას, ეკოლოგიური სისტემები ინარჩუნებენ მდგრადობას, მაგრამ გააჩნიათ ტენდენცია მდგრადობის დაკარგვისა. ეს სიტუაცია უნდა იქნეს გათვალისწინებული ადამიანის მოღვაწეობის ყველა სფეროში და პირველ რიგში, სოფლის მეურნეობაში, ენერგეტიკაში და მსუბუქ მრეწველობაში.

მიუხედავად იმისა, რომ ჩვენს პირობებში სასოფლო-სამეურნეო პროდუქტების წარმოების დონე დაბალია, რომელიც ძირითადად გამოწვეულია ნათესების დაბალი მოსავლიანობით, ბუნებრივი რესურსების გამოყენების დონე და ტემპები (წლის

რესურსები, მინერალური რესურსები) არაფრით ჩამორჩება განვითარებული ქვეყნების დონეს და ტემპებს. ასე, მაგალითად: საშემოდგომო ხორბლის საშუალო რესპუბლიკური მოსავლიანობა არ აღემატება 22-25ც/ჰა, 2200მ³/ჰა სარწყავი წყლისა და 400 კგ/ჰა მინერალური სასუქების ხარჯვის დროს. ანალოგიურ პირობებში მოწინავე ქვეყნები ღებულობენ არანაკლებ 40ც/ჰა მოსავალს საშუალოდ, ხოლო ზოგირთ ქვეყნებში (ინგლისი, კანადა და სხვა) – 60-70ც/ჰა. 1984 წელს ყოფილ გდრ-ში 72 ჰექტარზე მიღებული იყო საშემოდგომო ხორბლის 101,3ც/ჰა მოსავალი; 1982 წელს ინგლისში მიღებული იქნა საშემოდგომო ხორბლის 156,5ც/ჰა მოსავალი. სიმინდის მოსავლიანობის მსოფლიო რეკორდი აღწევს 222ც/ჰა, ბრინჯის-145ც/ჰა, მაშინ, როდესაც კლიმატური და ნიადაგობრივი პირობები საქართველოში არაფრით ჩამოვარდება ზემოთ მოყვანილი ქვეყნების პირობებს. ასეთი ჩამორჩენის მიზეზი უნდა ვეძებოთ მიწათმოქმედების დაბალ კულტურაში, დაბალი დონის ტექნოლოგიებში, სარწყავი წყლისა და სასუქების შეტანის ნორმების და ვადების დარღვევაში, მოსავლის აღების დროს დიდი დანაკარგების არსებობაში (ზოგჯერ ეს დანაკარგები აღწევს 30%) ე.ი. ძირითად მიზეზს წარმოადგენს არასწორი აგრარული პოლიტიკა და აგრარული რეფორმის გატარებაში არსებული ნაკლოვანებები, დაინტერესების დაბალი დონე, რომლებსაც საბოლოო ჯამში, მიყვავართ ეკოსისტემების სრულ რღვევამდე გაჭუჭყიანების მაღალი დონის გამო.

მაშასადამე, სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობის დონისკენ მისწრაფება, რწყვის ნორმებისა და ქიმიკატების ნორმების ზრდის ბაზაზე, არ წარმოადგენს პრობლემის გადაწყვეტის სწორ გზას და ყოველთვის მიგვიყვანს ბუნებრივი რესურსების გამოფიტვამდე, გაჭუჭყიანების ტემპების მდგრადობის ხელოვნურად რღვევის პირობების შექმნამდე, რომელ სისტემის ერთ-ერთ ძირითად წევრსაც წაემოვადგენთ თვით ჩვენ. შესაბამისად, დგება ამოცანა, თავიდან ავიცილოთ ის ნეგატიური გამოვლინებები, რომლებიც თან სდევს სასოფლო-სამეურნეო პროდუქტების წარმოების პროცესს.

4.3. სასოფლო-სამეურნეო წარმოების ოპტიმალური ვარიანტები

როგორც ცნობილია, ნებისმიერ საწარმოო პროცესს თან ახლავს ნარჩენები, რომლებიც წარმოადგენენ გარემოს დაჭუჭყიანების ძირითად მიზეზს. ამ ასპექტში არც სასოფლო სამეურნეო წარმოების კომპლექსი და კერძოდ, მემცენარეობა და მეცხოველეობა წარმოადგენს გამონაკლისს. აქვე გვინდა აღვნიშნოთ, რომ ისეთ სრულყოფილ აპარატს, როგორცაა ადამიანისა და ცხოველების ორგანიზმი, სისხლის მიმოქცევის და ჟანგბადით მომარაგების პროცესში, გააჩნია ნარჩენები, რომლებიც ორგანიზმიდან გამოიყოფა სპეციალური ორგანოებით ოფლისა და ცხიმების სახით.

სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლის ფორმირების პროცესში წარმოშობილი ნარჩენები უარყოფითად მოქმედებენ გარემო სამყაროზე. ეს ნარჩენები ძირითადად წარმოიქმნებიან წყლისა და სასუქების და შხამ-ქიმიკატების გამოყენების შედეგად. ამას ემატება ნავთობპროდუქტების ნარჩენები, რომლებიც ნიადაგში ხვდებიან მინდვრების დამუშავებისა და მოსავლის აღების პროცესში. ამასთან, რაც მეტია დანახარჯები ნავთობპროდუქტებისა და რაც ნაკლებია ტექნოლოგიური პროცესების სრულყოფა, მით მეტია ნარჩენების მოცულობა ფართობის ერთეულზე.

როგორც მე-3 თავში ვაჩვენეთ, მოსავლის ფორმირების დინამიური მოდელის ამონახსნი, საშუალებას იძლევა, გაკეთდეს მოსალოდნელი მოსავლიანობის პროგნოზი, იმისდა მიხედვით, თუ როგორია საანგარიშო ობიექტის ტემპერატურული რეჟიმი, წყალუზრუნველყოფა და საკვები ნივთიერებებით (PNK-ის სახით) მომარაგება, მაგრამ აქ არაფერი იყო ნათქვამი იმ უარყოფით (ნეგატიურ) გამოვლინებებზე, რომლებიც თან ახლავენ ამ ფაქტორთა ზემოქმედებას გარემოზე. ეს გასაგებიცაა, იმდენად, რამდენადაც პროცესის მათემატიკური მოდელირების დროს, მხედველობაშია ის სიტუაცია, რომელიც შეესაბამება უნარჩენო წარმოებას, ე.ი. იგულისხმება, რომ წყალი, სასუქები და შხამქიმიკატები ნიადაგში შედის იმ რაოდენობით, იმდაგვარად, რომ ისინი სრული 100%-ით აითვისებიან მცენარისაგან და ხმარდება ბიომასის წარმოქმნას, მოსავლის ფორმირებას. ამასთან, ბიომასის წარმოქმნის პროცესის მსვლელობა დამოკიდებულია კულტურის სახეობაზე, ნიადაგის ფიზიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებზე, რომლებზეცაა დამოკიდებული მიწოდებული წყლის რაოდენობა და ამ წყლიდან

სასარგებლოდ დახარჯული ნაწილის რაოდენობა. ამიტომ, მოდელის ანალიზის დროს, იყო ნათქვამი, რომ უნდა იყოს გამოყენებული ზომები, რათა მინიმუმამდე იყოს დაყვანილი წყლის ხარჯი, რომელიც ცდება მცენარის ფესვთა განვითარების ზონას და იკარგება არამწარმოებლურ ზედაპირულ ჩამონადენზე, როგორც საშუალება იმ ნეგატიური მოვლენების შემცირებისა, რომლებიც თან ახლავან რწყვის პროცესს და საერთოდ მელიორაციას.

სასოფლო წარმოების პრაქტიკაში ყველაფერი ისე არ არის, როგორც ესაა გათვალისწინებული პროცესის მოდელირებაში. შხამქიმიკატებისა და სასუქების ნაწილი შორდებიან მცენარის გავლენის სფეროს და შემდგომ გამოდიან ზედაპირზე გრუნტის წყლებთან ერთად. ამიტომაცაა მათი ძირითადი აკუმულაცია მცენარეთა ხეობებში და წყალსაცავებში. მათი ერთი ნაწილი ორთქლდება და აჭუჭყიანებს ატმოსფეროს, ხოლო ერთი ნაწილი (შედარებით მცირე), ხვდება თვით მოსავალში. სასოფლო წარმოების ზრდასთან ერთად, ნარჩენების ასეთი რაოდენობა მკვეთრად იზრდება და დგება მომენტი, რომელსაც უწოდებენ “კრიტიკულ მდგომარეობას”, რომლის შემდგომაც იწყება სასოფლო წარმოების ტემპების დაცემა, ბუნებრივი რესურსების გამოფიტვა, გარემოს გაჭუჭყიანების მკვეთრი ზრდა და ბოლოს ეცემა მოსავლიანობის დონე და ხარისხი.

ჩვენს მიერ მიღებული დამოკიდებულებების მიხედვით ჩატარებული ანგარიშების შედეგებმა, საშუალება მოგვცეს, აგვეგო სიტუაციების პროგნოზირების გრაფიკი (სურ. 4.5) გრაფიკის ასაგებად, გარდა ზემოთ მოყვანილი შედეგებისა, გამოყენებული იქნა ექსპერტული შეფასებები შხამქიმიკატების გამოყენების შესახებ და ზოგიერთი კონკრეტული მონაცემები ჯ. ფორესტერის კვლევებისა. თუ ანალიზს გავყვებით, დავინახავთ, რომ რაც მეტია მინდვრის წყალურუნველყოფა, მით ნაკლებია მარილების კონცენტრაცია ფილტრატში, მით უფრო კარგი პირობებია მცენარის მიერ საკვები ნივთიერებების ათვისებისა და მით ნაკლებია გარემოს გაჭუჭყიანების ხარისხი (იხ. მრუდი $S=f(W)$, (სურ 4.5); რაც მეტია საანგარიშო კულტურის მოსავლიანობა, მით ნაკლებია ნივთიერებათა ნარჩენები, როგორც თვით მოსავალში, ასევე ნიადაგში და შესაბამისად, მით ნაკლებია გარემოს გაჭუჭყიანების ხარისხი (დონე) (იხ. მრუდი $S=f(W)$, (სურ 4.5); რაც მეტია შხამქიმიკატების და სასუქების გამოყენების დოზები, მით მეტია

ნარჩენები და შესაბამისად, გაჭუჭყიანების ხარისხი (იხ. მრუდი $S=f(AX)$) და $S=f(Q)$, (სურ 4.5); გრაფიკის აბცისთა ღერძზე გადაზომილია გარემოს ჯერადი გაჭუჭყიანება, გამოწვეული ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორებისაგან. ამასთან, შედარების სიბრტყედ აღებულია 1970 წელი, როცა $S=1,0$.

როგორც გრაფიკიდან ჩანს, ირიგაციული ხარჯის ნულოვანი მნიშვნელობის დროს, საშემოდგომო ხორბლის მოსავლიანობა ტოლია 15 ც/ჰა, რომელსაც შეესაბამება $Q=0$ და $AX=0$.

ჩატარებული ანგარიშების მიხედვით, საშემოდგომო ხორბლის მაქსიმალური მოსავლიანობის დონე მიიღწევა მაშინ, როდესაც $AX=5,0$ კგ/ჰა; $Q=3,2$ ც/ჰა (მხედველობაშია მიღებული, რომ მოცემულ პირობებში ნიადაგში არსებული საკვები ელემენტები PNK-ზე გადაყვანით შეადგენენ 2- 2,5 ც/ჰა, ე.ი. ამ წერტილს გრაფიკზე შეესაბამება ($Q=5,2 - 5,7$ ც/ჰა) ფიქსირებული შხამქიმიკატების (AX) და სასუქების (Q) დროს მოსავლიანობა და გარემოს გაჭუჭყიანება ძირითადად დამოკიდებულია წყალუზრუნველყოფაზე. ამასთან, რაც მეტია წყალუზრუნველყოფა, მით ნაკლებია გაჭუჭყიანების დონე. ასე, მაგალითად: (სურ. 4.5, მრუდი $S=f(W)$), როცა $W=425$ მმ/ჰა, საშემოდგომო ხორბლის მოსავლიანობა ტოლია 42,5 ც/ჰა, ხოლო გაჭუჭყიანება იზრდება 2,2-ჯერ, როცა $W=350$ მმ/ჰა, $y=35$ ც/ჰა და გაჭუჭყიანება იზრდება 3,3-ჯერ და ა.შ., მაგრამ საშემოდგომო ხორბალი მოსავლიანობის მაქსიმუმს აღწევს $\Sigma W = 500$ მმ/ჰა-ს დროს და უდრის 50 ც/ჰა ($\Sigma W = 500$ მმ/ჰა = 5000 მ³/ჰა შედგება $W_{up}=300$ მმ/ჰა და $W_{goxg}=200$ მმ/ჰა ნაწილებისაგან სავეგეტაციო პერიოდში). ამ წერტილში ჯამური გაჭუჭყიანება იზრდება 1,8-ჯერ, ე.ი. $S_1=f(y)$ შეესაბამება გაჭუჭყიანების ზრდას 3,3-ჯერ, $S_2=f(y)$ -ს შეესაბამება გაჭუჭყიანების ზრდას 2,5-ჯერ, ხოლო $S_3=f(y)$ -ს შეესაბამება გაჭუჭყიანება 1,8-ჯერ. მაშასადამე, თუ დამუშავებული გრაფიკის მიხედვით ვიმსჯელებთ, აღმოსავლეთ საქართველოს პირობებში (გრაფიკი აგებულია კახეთის ზონისათვის), საშემოდგომო ხორბლის შემთხვევაში, ოპტიმალურ ნორმებს წარმოადგენს $AX = 5$ კგ/ჰა, $Q=6,3 - 3,0 = 3,3$ ც/ჰა, $W_{up}=500-200=300$ მმ/ჰა, რომლის დროს მოსავლიანობა $y=50$ ც/ჰა. თუ იქნება შესაძლებლობა გაჭუჭყიანების დონის უფრო მეტად გაზრდისა, რაც ობიექტის ფაქტობრივ მდგომარეობაზეა დამოკიდებული,

შესაძლებელია, გაიზარდოს სასუქებისა და შხამქიმიკატების დოზები (სათანადოდ უნდა გაიზარდოს წყალურუნველოფა) და შესაბამისად გავზარდოთ მოსავლიანობაც.

**სურ. 4.5 სასოფლო-სამეურნეო პროდუქციის წარმოების დამოკიდებულების
გრაფიკი გარემოს გაჭუჭყიანებასთან.**

ყოველივე ზემოთ მოყვანილიდან გამომდინარე, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ საქართველოს პირობებში, არსებული გაჭუჭყიანების დონიდან გამომდინარე, როგორც ხარისხობრივი, ასევე რაოდენობრივი შეფასებით, საშემოდგომო ხორბლის ოპტიმალურ მოსავლიანობას წარმოადგენს 50 ც/ჰა, იმ რესურსების ხარჯვის დონეზე, რაც თანამედროვე ეტაპზე გვაქვს.

ძირითადი დასკვნები და რეკომენდაციები

სადისერტაციო ნაშრომი წარმოდგენილი კვლევების საფუძველზე გაკეთებულია შემდეგი დასკვნები:

1. მოცემულია მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესის მათემატიკური მოდელირებისა და მოსავლიანობის პროგნოზირების არსებული მეთოდების კრიტიკული ანალიზი, რის საფუძველზეც გამოვლენილია მათი დადებითი და უარყოფითი მხარეები, სასოფლო-სამეურნეო წარმოებაში ბუნებრივი რესურსების გამოყენების თვალსაზრისით.

2. საქართველოს წყლისა და მ იწის რესურსების შეფასებისა და სასოფლო-სამეურნეო წარმოების დინამიკის მრავალწლიანი მონაცემების ანალიზის საფუძველზე დადგენილია არიდულ ზონაში წყლის რესურსების გამოყენების პოტენციური შესაძლებლობანი, სავარგულების ფართობების გაზრდის მიზნით.

3. დასაბუთებულია მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესის დინამიური მოდელის უპირატესობა სტატიკურ მოდელთან შედარებით.

4. სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობაზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორების (პოზიტიური და ნეგატიური) გათვალისწინებით დამუშავებულია პრინციპულად ახალი მათემატიკური დინამიური მოდელი.

5. ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მათემატიკური მოდელი უზრუნველყოფს ისეთი ფუნქციონალური დამოკიდებულებების მიღებას, რომლებიც საშუალებას იძლევიან სარწყავი წყლის და მინერალური სასუქების რეზერვების პროგნოზირებისათვის აღებულ რეგიონში ნალექებისა და ბონიტეტის რხევის პირობებში უზრუნველყოფილი იქნას მოსავლიანობის დაგეგმილი დონე.

6. დამუშავებული მათემატიკური მოდელი განეკუთვნება რა მოქნილ დინამიურ მოდელთა რიცხვს, საშუალებას იძლევა არიდულ ზონაში დავადგინოთ საპროექტო

კულტურის წყალუზრუნველყოფა, სავეგეტაციო პერიოდის ნებისმიერ ეტაპზე მცენარის განვითარების შესაბამის ფაზაში.

7. ამ მოდელის გამოყენებით სასოფლო-სამეურნეო პროდუქტების წარმოების პროცესის დეტალური ანალიზის საფუძველზე გამოვლენილია რიგი ისეთი ფაქტორებისა, რომლებიც ნეგატიურად მოქმედებენ აგრო-ეკო სისტემის მდგრადობაზე. რაც საშუალებას იძლევა შემუშავებული იქნას აგრო და ჰიდრომელიორაციულ ღონისძიებათა კომპლექსი, მათი თავიდან აცილების მიზნით.

8. სტატისტიკური მონაცემების დამუშავების გზით განსაზღვრულია მათემატიკური მოდელის ვარიაციული კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობანი ძირითადი სტრატეგიული კულტურებისათვის, რითაც მიხწეულია შემოთავაზებული მოდელის პრაქტიკული რეალიზაცია.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Аерамов С. К., Бабушкин В. Д. Методы расчета притока Воды к буровым скважинам. М.: Госэнергоиздат, 1955 с. 384.
2. Абчук В.А. и др. Справочник по исследованию операций. М.: Воениздат. 1979 с. 368.
3. Аверьянов С. Ф. Зависимость водопроницаемости почво-грунтов от содержания в них воздуха. Докл. АН СССР, 69, №2, 1949, с. 141-144.
4. Агрест А. Е. и др. Автоматизированная система управления водным хозяйством. Журн. «Гидротехника и мелиорация» №8, 1969, с. 29-33.
5. Акумушкин И.И. Занимательная биология. Тбилиси, Мецниереба, 1991 с. 287.
6. Андерсон Дж. М. Экология и наука об окружающей среде: биосфера, экосистемы, человек. Л.: Гидрометиздат, 1985 с. 168.
7. Алпатиев А. М. Влагооборот культурных растений. Л.: Гидрометиздат. 1954 с. 248.
8. Баграмян Г.А. Об эффективности использования ограниченных водных ресурсов на орошение. Журн. «Гидротехника и мелиорация». 1970 №2, с. 24-30.
9. Басович И. Б. О влиянии волнения на фильтрацию под гидротехническими сооружениями. Изд. АН. СССР. Механика жидкости и газа. №5. 1974, с. 161-164.
10. Бочкарев. Я.В. и др. Основы автоматики и автоматизация производственных процессов в гидромелиорации. М.: Колос, 1969. с. 392.
11. Будаговский А.И. Испарение почвенной влаги. М.: Наука, 1964. с. 244.
12. Бобохидзе Ш.С. Гидравлическая автоматизация водораспределения на оросительных системах. М.: Колос. 1973 с. 247.
13. Берлянд Т.Г. Распределение солнечной радиации на континентах. Л.: Гидрометиздат. 1961 с. 227.

14. Будыко М.И. Климат и жизнь. Л.: Гидрометиздат. 1971 с. 470.
15. Бутковский А.Г. Методы управления системами распределенными параметрами. М., 1975 с. 668.
16. Берия и др. Физико-математические основы фильтрации. М.: Мир. 1971 с. 452.
17. Будаговский А.И. Испарение почвенной влаги. М.: Наука. 1964. с. 244.
18. Владимиров Л.А. Средний годовой сток Грузии. Изд. АН. Груз. ССР. Тбилиси с. 122.
19. Войнич-Сяноженский Т.Г. К гидравлическому анализу величины дождевого поводочного стока. Труды ВОДГЭО. Гидродинамика поверхностного стока и прогнозы качества воды. М. 1962 с. 38-42.
20. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. М.: Наука. 1978 с. 274.
21. Воропаев Г.В. Совершенствование эксплуатации и техническая реконструкция орошительных систем. Автореферат докторской диссертации. М. 1971 с. 60.
22. Водные ресурсы и водный баланс территории СССР. Л.: Сидрометиздат. 1967. с. 200.
23. Галямин В.П. Оптимизация оперативного распределении водных ресурсов в орошении. Л.: Гидрометиздат. 1981 с. 272.
24. Ганкин М.В. Автоматизация и телемеханизация мелиоративных систем. М.: Колос. 1965. с. 137.
25. Голованов А.И. Оптимизация режимов орошения черноземов. Журн. «Почвоведение» №6 М.: Наука 1993 с. 79-84.
26. Дояренко А. Р. Занимательная агрономия. М.: Сельхозизд. 1963 с. 183.
27. Дубровский З.М. Математическая модель оптимального управления влажностью в корнеобитаемом зоне растения Сб. научн. трудов. вопросы управления комплексом факторов жизни растения. ВНИИГИМ. М. 1978 с. 27-41.
28. Давитая Ф.Ф. Исследование климатов винограда в СССР и обоснование их практического использования. М. Л.: Гидрометиздат. 1952 с. 304.
29. Ефимов В.Н. и др. Система применения удобрений. М.: Колос. 1984. с. 272.
30. Железняков Г.В. Гидрометрия. М.: Колос. 1984. с. 326.
31. Израельсон. О. Теория и практика прригации. М.: ИЛ, 1956. с. 145.
32. Камке Э. Справочник по обикновенным дифференциальным уравнениям. М.: Наука. 1976. с. 575.

33. Картвелишвили И.А. Неустановившиеся открытые потоки, Л.: Гидрометиздат. 1968. с. 128.
34. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. М.: Энергия. 1972. с. 312.
35. Космодемьянский Л.А. Курс теоретической механики, часть II. М.: Посвещение. 1966. с. 425.
36. Константинов А.Р. Испарение в природе. Л.: Гидрометиздат. 1968 с. 532.
37. Константинов А.Р. и др. Применение сплайнов и методы остаточных отклонений в гидрометеорологии. Л.: Гидрометиздат. 1983 с. 184.
38. Костяков А. Н. Основы мелиорации. М.: Сельхозгиз. 1960 с. 622.
39. Костяков А.Н. и др. Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод. М. АН. СССР. 1956 с. 452.
40. Кобаков М.М. и др. Влагообеспеченность и урожай. Вопросы водного хозяйства, Фрунзе. 1972 с. 29-36.
41. Крючков В.В. и др. Международная программа по биоиндикации антропогенного загрязнения природной среды. Журн. «Экология». №2. Наука. 1990 с. 90-94.
42. Кривовяз С.М. Расчет полива по бороздам. Журн. «Гидромеханика и мелиорация». №1. 1961. с. 21-25.
43. Кулик М.С. Погода и минеральные удобрения. Л.: Гидрометиздат. 1966 с. 139.
44. Коровин А.И., Коровина О.Н. Погода, огород и сад любителя, Ленинград, Гидрометеиздат. 1990.
45. Лебедев С.И. Физиология растений. М.: Колос. 1982 с. 463.
46. Лисогоров С. Д. Регулирование факторов минимума при управлении продукционными процессами у сельскохозяйственных растений. В хн. Принципы управления продукционными процессами в агроэкосистемах. М.: Наука. 1976. с 20-29.
47. Листопад Г.Е. и др. Программирование урожая (сушность метода). Труды Волгоградского СХИ. 1975. Т. 60 с. 367.
48. Лодженская О.А. и др. Линейные и квазилинейные управления параболического типа. М.: 1967 с. 268.
49. Лопухин Е. А. Приближенный метод учета распределения суммарной радиаций среди хлопчатника. Труды Ташкентского ГМО. Вып. 5(6). 1951. с. 78-81.
50. Львович М.И. Вода и жизнь М.: Мысль. 1986. с. 254.
51. Льгов Г.К. Биологическое обоснование поливного режима сельхозкультур в предгорьях Северного Кавказа. Сб. «Биологические основы» М. 1966.

52. Маккавеев В.М. Теория гидродинамических процессов с большим гашением энергии. Труды 20-го всесоюзного гидрологического съезда в 1928. Л., 1930. с. 78-82.
53. Марков Е.С. Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации. М.: Колос. 1981. с. 376.
54. Мирцхулава Ц. Е. Разлив русел и методика оценки их устойчивости. М.: Колос. 1967 с. 179.
55. Мирцхулава Ц. Е. Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии. М.: Колос. 1970 с. 211.
56. Мигунова Г.И. и др. Численное решение задачи переноса влаги, тепла и солей в почве. Сб. Научн трудов, вопросы управления комплексом факторов жизни растений. М.: 1978 с. 76-82.
57. Моделирование водносолевого режима почвогрунтов с использованием ЭВМ. М.: Наука. 1976 с. 123.
58. Модебадзе Н.Л. и др. О прогнозировании урожайности сельскохозяйственных культур. Изд-во Тбилисского университета. Тбилиси, 1988 с. 122.
59. Модебадзе Н.Л. Выбор оптимального варианта влагоподачи почвы для сельхозкультур. Техническая информация Груз. НИИНТИ. сельское хозяйство. №31. Тбилиси 1981 с.7
60. Модебадзе Н.Л. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. с. 487.
61. Мамбетназаров Б. С. Гидромодульное районирование и режим орошения культур хлопкового севооборота Каракалпакской АССР. Автореф. докторск. диссерт. Ташкент. 1990. с. 38.
62. Мехтизаде. Р.М. Физиология бегарного винограда. Изд. АН. Аз. ССР. Баку. 1965. с. 214.
63. Народное хозяйство Груз ССР в 1987 году. Статистический ежегодник. изд. Сабч. Сакартвело. Тбилиси 1988, с. 310.
64. Нурматов Н.Б. Технология орошения сельскохозяйственных культур на склоновых землях Таджикской ССР. Автореферат докторской диссертации. М.: 1990 с. 28.
65. Надирашвили В.С. Оценка вероятности безотказной работы поливной борозды с учетом допустимых норм эрозии. Сб. научн. тр. Груз НИИГИМ. Тбилиси 1987. с. 85-89.

66. Надирашвили В.С. Исследования методов прогноза ветровой эрозии почв на мелиорруемых землях и мероприятия по борьбе с ней. Автореферат канд. диссертации. Баку – 1979. с. 24.
67. Натишвили О.Г. О переносе твердых взвешенных частиц турбулентных русловым потоком. Труды Груз НИИГИМ. вып. 23. Тбилиси 1965. с. 18-24.
68. Ольгаренко В.И. Рациональное водопользование и реконструкция внутрихозяйственной сети на оросительных системах Северного Кавказа. Автореферат докторской диссертации. М. 1992. с. 52.
69. Пеннинг де Фриза Ф. В. Т. и др. Моделирование роста и продуктивности сельскохозяйственных культур. Перевод из Английского. Л.: Гидрометиздат. 1986. с. 320.
70. Петров Г.А. Движение жидкости о изменение расхода вдоль пути. М.Л.,: Строиздат. 1951.
71. Пискунов И.С. Дифференциальные и интегральные исчисления. М.: Наука. 1968. с. 551.
72. Пикуш Я. В. Методы и приборы гидрометрии. А.: Гидрометиздат. 1967. с. 321.
73. Программирование технологии возделывания сельскохозяйственных культур на орошаемых землях Северного Кавказа. Ростовское книжное изд., 1985. с. 119.
74. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. IX Закавказье и Дагистан. вып. I, под редакции Г.Н, Хмаладзе. Л.: Гидрометиздат. 1969 с. 321.
75. Руруа Г.Б. Вододелительные устройства оросительных систем Грузии в условиях бурного течения. Автореф. канд. дисс. Тбилиси 1959. с. 62.
76. Свирежев Ю. М. и др. Устойчивость биологических сообществ. М.: Наука. 1978. с. 352.
77. Свирежев Ю.М. и др. Основы математической генетики. М.: Наука 1982. с. 510.
78. Сиптиц С.О. Вопросы режимов орошения сельскохозяйственных культур в условиях дефицита водных ресурсов. Автореф. канд. дисс. М. 1977. с. 24.
79. Сиротенко О.Д. Многомерный регрессионный анализ как метод исследования связи урожая сельскохозяйственных культур с гидрометеорологическими факторами. Журн. «Метеорология и гидрология». №12 1969. с. 68-87.
80. Соломония О. Г. Основы проектирования оптимальной схемы ирригационной системы методом математического программирования. Автореферат докторской диссертации. М.: 1968. с. 43.

81. Соколов В. Е. и др. Международная программа по биоиндикации антропогенного загрязнения природной среды. Журн. «Экология» №2 Наука 1990. с. 90-94.
82. Столяров А.И. Некоторые вопросы оптимизации водораспределения на орошаемых землях. Автореф. канд. дисс. М.: 1976. с. 25.
83. Табидзе Д. И. Продвижение промышленной культуры винограда в новые горные районы Груз. ССР, изд. АН СССР, Москва 1957 г.
84. Турманидзе Т.И. Климат и урожай винограда. Л.: Гидрометиздат. 1981. с. 224.
85. Турманидзе Т.И. и др. Некоторые количественные характеристики рационального режима виноградника. Труды Зак. НИИГИМ вып. 49(55), 1973. с. 40-53.
86. Тугуши Г.Е. Новые исследования по теории наземного полива. Труды СХИ. 1972. с. 32-36.
87. Тугуши Г.Е. К вопросу теории и техники поверхностного орошения. Автореф. докт. дисс. Тбилиси. 1973. с. 51.
88. Тугуши Г.Е. К вопросу теории и техники поверхностного орошения. Автореф. докт. дисс. Тбилиси. 1971. с. 498.
89. Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирования урожая . Л.: Гидрометиздат. 1977. с. 200.
90. Уланова Е.С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы. Л.: Гидрометиздат. 1975. с. 302.
91. Угрехелидзе Ш.В. Перспективные нормы орошения сельскохозяйственных культур. Труды Груз НИИГИМ, вып. 25. Тбилиси 1967. с. 24-27.
92. Форестер Дж. Мировая динамика. М.: Наука. 1978. с. 167
93. Флин Дж. и др. Разработка и анализ математических соотношений для расчета режимов орошения. ВНИИТИ. перевод №80277 19-м. 1970. с.26
94. Хубларян М.Г. О моделировании переноса влаги и питательных веществ в системе почва-растение. Сб. Научн. трудов, вопросы управления комплексной факторов жизни растений. М. 1978 с. 65-76.
95. Хортон Р.Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. Изд. инст-та. Лит. М. 1948. с. 148.
96. Цуцунашвили О. Режим орошения поживной кукурузы в условиях Гардабанского района Труды института полеводства, т. 8. Тбилиси 1948.
97. Шумакова К.П. «Зерновые культуры» Орошение земледелия. М. 1962.
98. Шумаков Б.А. Орошаемое земледелие. М. Сельхозгаз. 1968.

99. Чितिшвили Г.Ш. К вопросу минимизации потребления воды при самотечном поливе с учетом допустимых норм эрозии. Сборник научных трудов Груз НИИГИМ, Тбилиси. 1988. с. 165-171.
100. Черкасов А.А. Мелиорация и сельскохозяйственное водоснабжение. М.: Сельхозгиз. 1958. с. 158.
101. Шумаков Б.Б. и др. Математическое моделирование программирования урожая на орошаемых землях. Вестник СХ наук №6 1977. с. 115-122.
102. Шумаков Б.А. и др. Особенности комплексной автоматизации оросительных систем при культуре риса с затоплением. Сб. трудов Юж НИИГИМ. Вып VIII, Новочеркасск, 1963. с. 39-44.
103. Шулигин А.М. Агрометеорология и агроклиматология. Л.: Гидрометиздат. 1978. с. 200.
104. Шатилов И.С. и др. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая. М.: Гидрометиздат. 1980. с. 32.
105. Ягодин Б.А. Агрохимия. М.: Агропромиздат, 1989. с. 655.
106. Ярцев В.Н. Эксплуатационная гидрометрия. М.: Сельхозгаз. 1951. с. 359.
107. კუხალაშვილი ე., მოდებაძე ნ.ლ., მუხიგულაშვილი გ.შ. – მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესის მათემატიკური მოდელირების პრინციპები. აგრარული მეცნიერებების პრობლემები, სამეცნიერო შრომათა კრებული, ტომი XXIX, თბილისი 2004 წ., გვ 126-128.
108. მოდებაძე ნ. დ. სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლის ფორმირების მათემატიკური მოდელის დამუშავება. საიუბილეო სამეცნიერო შრომების კრებული, მიძღვნილი ინსტიტუტის დაარსების 70 წლისთავისადმი. წყალთა მეურნეობისა და საინჟინრო ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები. თბილისი. 1999 წ.
109. მოდებაძე ნ. ლ. მუხიგულაშვილი გ. შ. – მცენარის ზრდა-განვითარების პროცესის მათემატიკური მოდელირება. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე. 166, 13. თბილისი 2002. გვ. 605-608.
110. მოდებაძე ნ. ლ. მუხიგულაშვილი გ. შ. – ამინდის გავლენა სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობაზე. წყალეკოლოგიის კვლევითი ინსტიტუტი., შრომები. თბილისი 2003 წ. გვ 101-103.

111. მუხიგულაშვილი გ. შ. – რწყვის რეჟიმის დადგენა გრაფიკული წესით. აგრარული მეცნიერების პრობლემები. სამეცნიერო შრომათა კრებული. ტ. XXV. თბილისი 2003. გვ. 132-133.
112. Angus I.F. Mackenzie D.N... Plasié devolopment in Field crops. 11. Thermal and photoperiodic responses spring whest-Field Crops Res.4, 1981. p. 269-283.
113. Baier W. Crop-Weether analisis model. I. Sammari – Int, Biometer. 1973, vol. 17. №4. p. 313.
114. Breman H. Cisse A.M. Fasture dinamics and forage availability in the Sohél-Israel I. Of Bot. 1979. vol. 28. p. 227.
115. Brouwer R. – Some aspects of the eguilibram tween overground and ungerground plontparts. Tarbock institut voor biologisch en Seheikundig anderzoek (IBS). 1963. p. 31-39
116. Bertalanffy L. Teoretische Biologie. B. 1932. p. 192.
117. Izuno F. Infiltration Under Surge Irrigation – Fransactions of the ASAE, 1985, 28. p.517-521.
118. Liebig I. – Die Grundesatze der Agricultur – Chemic- Brunswick. 1985.
119. Hesketh I. D. Elmore, I.W. Iones. Predicting flovering and subsequen leand expansion –in: Predicting photosynthesis for ecosistem models – CRC Press. Boca Raton. Florida. USA. 1980. vol. 2. p. 123-131.
120. Pimentel, D., Terhune E. S. .. Land der radation effects no food and energy recoures. 1976. Science 194. p. 149-155.