

დ. არველაძე

ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

უკ 581.143

### მრავალწლიანი კულტურების მოსავლის ფორმირების მათემატიკური მოდელირება

აკადემიკოსმა ქსენია ბახტაძემ შექმნა თეორია, რომლის მიხედვითაც ჩაის ბუჩქის ყლორტწარმოქმნის საერთო რიტმში შეიძლება აღნიშნული ყოფილიყო ზრდის ორი, მეტნაკლებად თვალსაჩინოდ გამოხატული, პერიოდი: გაზაფხულის-მაისში და ზაფხულის-ივლის-აგვისტოში. ზრდის ამ პერიოდების შემდეგ ადგილი აქვს გარკვეულ შესვენებებს: ზაფხულში (ივნისში) მოკლე ხნით და ზამთარში (ნოემბრიდან მარტის შუა რიცხვებამდე) ე.წ. ზამთრის შესვენება (ბახტაძე 1971). ამ თეორიამ ივნისის დეპრესიის შესახებ საკმაოდ ფართო გავრცელება და აღიარება მოიპოვა, მაგრამ, პრაქტიკულად, არავის არ უჩვენებია ჩაის ფოთლის მოსავლის ასეთი დინამიკა სავსეგეტაციო პერიოდში. თუ ჩაის ფოთლის მოსავლის საშუალომრავალწლიურ დინამიკას დავაკვირდებით, აღმოჩნდება, რომ არცერთ მრუდს ჩავარდნა არა აქვს ივნისის თვეში, პირიქით, ყველა ნაკვეთზე მოსავალი ივნისში გაცილებით მეტია, ვიდრე მაისში. როგორც ჩანს, ზოგიერთი ავტორი სწორედ ამ საფუძველზე არ ეთანხმებოდა ჩაისა და სუბტროპიკული კულტურების სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის მიერ წამოყენებულ თეორიას (ხამზაევი, 1950). 1970 წელს მე ობინისკიდან ჩავედი ჩაქვში და შევხვდი ქსენია ბახტაძეს. ის მოხუცი იყო, მე კი ახალგაზრდა, თანაც მიხვდა, რომ შემემლო გამოთვლითი ტექნიკის გამოყენებით დამემუშავებინა დიდძალი მასალა, რის გამოც მომცა საკუთარი შრომით ათეული წლების მანძილზე დაგროვილი უნიკალური ექსპერიმენტალური მონაცემები-ეს იყო დიდი სიზუსტითა და შეუპოვრობით მოპოვებული შედეგები. მე ეს მონაცემები ობინისკში წავიღე და დავიწყე შრომა. მაშინ ახალგაზრდა გახლდით და დღე და ღამე ვასწორებდი. თვიურს და დეკადურს კი არა და ყოველდღიურ მონაცემებს ვაანალიზებდი. რამდენიმე თვეში აღმოჩნდა, რომ ჩაის ფოთლის მოსავლის დინამიკაში არსებობს არა მარტო ივნისის “ჩავარდნა”, არამედ, უფრო მეტიც, აშკარა გახდა ჩაის ბუჩქის ყლორტწარმოქმნის ტალღური ბუნება. კრეფის სეზონის განმავლობაში რიტმულად იცვლებიან ჩაის ყლორტის საშუალო ნაზრდი, მოსაკრეფად შემოსული ყლორტების რაოდენობა და ჩაის ფოთლის მოსავალი. აღმოჩნდა, რომ ამ მოვლენას ადგილი აქვს აჭარაში, გურიაში, აფხაზეთში და იმერეთში. ჩაის მოსავლის დინამიკის რიტმულობა შეიმჩნევა ინდოეთში, მალაიზიაში, ცეილონზე და სხვ.

აქტიური პერიოდების პასიურით შეცვლის მიზეზად ბახტაძე ჩაის მცენარის ბიოლოგიურ თავისებურებებს მიიჩნევს. მ. დარასელიას აზრით, მოსავლის შემცირება ივნისის თვეში არაა გამოწვეული საკვები ელემენტების ნაკლებობით ან ამინდის პირობებით. თუმცა მ. ხამზაევი (ხამზაევი, 1950) აღნიშნავს, რომ იმ წლებში, როცა ტარდებოდა დარასელიასა და ბახტაძის დაკვირვებები, ივნისის დეპრესია სწორედ ამინდის პირობებით იყო გამოწვეული. ბახტაძისა და კრასნოვისაგან განსხვავებით პოკროვსკი (პოკროვსკი, 1936) და ალი-ზადე (ალი-ზადე, 1959, 1964) თვლიდნენ, რომ ჩაის მცენარის შესვენების პერიოდი იძულებითია და ფარდობითი. ალი-ზადემ კრეფის სეზონში მცენარის ორგანოებში ვერ აღმოაჩინა ნუკლეინის მჟავების ცვლაში გადახრები და, ამ საფუძველზე, დაასკვნა, რომ ტენით უზრუნველყოფის პირობებში ჩაის ბუჩქს არ აქვს ზაფხულის შესვენება.

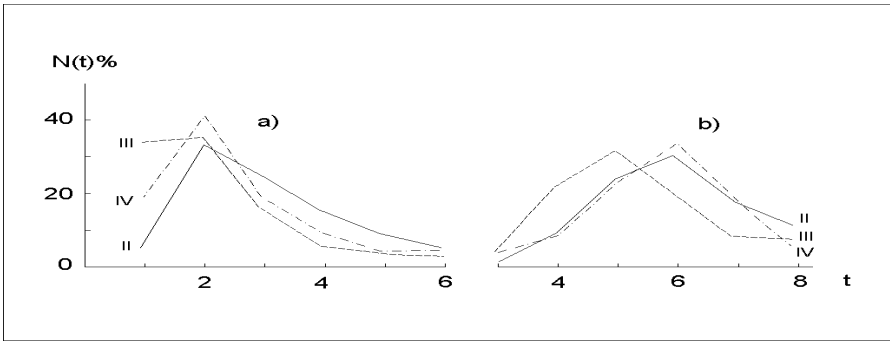
საზღვარგარეთელ ავტორთა უმრავლესობას ეჭვი არ ეპარება ჩაის მოსავლიანობის დინამიკის რიტმულობაში, მაგრამ ერთხმად აღნიშნავენ, რომ ამ ციკლების სიგრძე უცნობ ფაქტორებზეა დამოკიდებული (ლაიკოვი, 1960, პორტსმუტი, 1957, ვიგტი და ბარუა, 1955).

საკმაოდ მალე დავამტკიცე, რომ ჩაის მოსავლის აღნიშნული რიტმულობა არაა დამოკიდებული ჰაერის ტემპერატურაზე, ნალექებზე, ჰაერის ტენიანობაზე, მზის ნათების ხანგრძლივობასა და ნიადაგის ტენიანობაზე, მაგრამ მივხვდი, რომ ყლორტწარმოქმნის ტალღური ბუნების შესწავლისა და შესაბამისი მოდელის შესაქმნელად აუცილებელია დიდი რაოდენობის ბიომეტრული ინფორმაციის დამუშავება (არველაძე, 1998).

ნახ.1-ზე წარმოდგენილია ყლორტების ხილვადი ზრდის დაწყებისა და მოსაკრეფად შემოსვლის ექსპერიმენტალური ფუნქციები. ა-ზე ნაჩვენებია  $\varphi(t)$  ფუნქცია, რომელიც გამოხატავს ზრდადი ყლორტების დამოკიდებულებას დროზე, რომლის ათვლა წარმოებს წინა რიგის ყლორტების მოკრეფიდან. სურათის ბ-ნაწილზე აგებულია  $\psi(t)$  ფუნქცია, რომელიც გამოხატავს მოსაკრეფად შემოსული ყლორტების რაოდენობის დამოკიდებულებას დროზე, რომელიც აითვლება ხილვადი ზრდის დაწყებიდან. ორივე შემთხვევაში დრო  $t$  პენტადებშია გამოხატული.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, ყოველი შემდეგი რიგის ყლორტები ზრდას იწყებენ არაერთდროულად, სხვადასხვა დროის გასვლის შემდეგ წინა რიგის ყლორტების მოკრეფიდან. ერთი და იმავე რიგის ყლორტების მოსაკრეფად შემოსვლაც არაერთდროულად ხდება.

ერთი და იმავე რიგის ყლორტების მოსაკრეფად შემოსვლა შეიძლება წარმოდგენილი იქნას ხილვადი ზრდის დაწყების ფუნქციის უშუალო გათვალისწინების გარეშე. საშუალოდ, დასავლეთ საქართველოს პირობებში დაახლოებით ცხრა პენტადის განმავლობაში შემოდის საკრეფად ერთიდაიგივე რიგის ყლორტები.

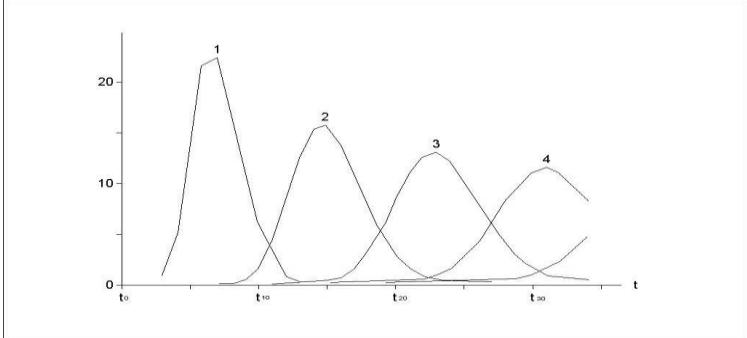


ნახ. 1 ყლორტების ხილვადი ზრდის დაწყების და მოსაკრეფად შემოსვლის ფუნქციები: ა – ხილვადი ზრდის დაწყების ფუნქცია  $\varphi(t)$ ; ბ – ყლორტების მოსაკრეფად შემოსვლის ფუნქცია  $\Psi(t)$ .

ერთი რიგის ყლორტების მოსაკრეფად შემოსვლის პროცესი შეიძლება აპროქსიმირებული იქნას  $F_t = F_{max} / (1 + e^{-at})$  ლოგისტიკური მრუდით, სადაც  $F_t$  არის რაოდენობა ერთი რიგის ყლორტებისა, რომლებიც  $t$  დროისათვის მომწიფდნენ მოსაკრეფად;  $F_{max}$ -ერთი რიგის ყლორტების მაქსიმალური რაოდენობა პროცენტებში (100%);  $a$  და  $b$  პარამეტრები განსაზღვრავენ ინტეგრალური მრუდის დახრას, სიმრუდეს და გადაღუნვის წერტილს;  $t$ -დრო (პენტადებში), რომელიც გავიდა ყლორტების კრეფის დაწყებიდან.

სწორედ ამის შემდეგ იწყება ყველაზე მთავარი: როგორ აღვწეროთ ყლორტწარმოქმნის დინამიკა სავეგეტაციო პერიოდის განმავლობაში ამ ფუნქციების საშუალებით. გითხრათ სიმართლე, ძალიან გამიჭირდა, ადამიანები, რომლებიც ამ საკითხებით არ იყვნენ დაკავებული, ვერაფერს მეუბნებოდნენ. საჭირო გახდა ახალი ბიომეტრული პროცესის მათემატიკური აღწერა. საბოლოოდ, რა თქმა უნდა, მე თვითონ შევქმენი ყლორტწარმოქმნის პროცესის მათემატიკური მოდელი.

აღნიშნული პროცესის კომპიუტერზე გამოთვლის შედეგები ნაჩვენებია ნახ. 2-ზე.



ნახ.2. მოსაკრეფად შემოსული ყლორტების რაოდენობა ავეგეტაციო პერიოდში: 1-მოდელით გამოთვლილი  $N(t)$ ; 2-აპროქსიმაცია  $N(t).N$

ემპირიული მრუდი  $N(t)$  შეიძლება აპროქსიმირებული იქნას მილევადი რხევის განტოლებით  $\hat{N}(t) = A_0 e^{\alpha t} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) + A_0$ , სადაც  $\hat{N}(t)$  მოსაკრეფად შემოსული ყლორტების გამოთვლილი რაოდენობაა,  $t$ -დრო;  $NA_0$ ,  $\alpha$ ,  $\omega$ ,  $\varphi_0$ -ემპირიული პარამეტრებია, რომლებიც განსაზღვრული იქნა  $k$  ხარისხის ფუნქციის მინიმუმის შედეგად  $K = \sum_{t=0}^n \{N(t) - [A_0 e^{\alpha t} \sin(\omega t + \varphi_0) + A_0]\}^2$ . პარამეტრების განსაზღვრავად გამოყენებული იქნა როზენბროკის (როზენბროკი, 1966) მეთოდი.

შექმნილი მოდელების მიხედვით ჩატარებულმა გამოთვლებმა გვიჩვენეს, რომ ისინი ყლორტწარმოქმნის პროცესებს ადეკვატურად აღწერენ და თვალსაჩინოდ წარმოადგენენ ჩაის მოსავლის დინამიკის ტალღურ ბუნებას კრეფის სეზონში.

ამრიგად, ჩაის ბუჩქის ყლორტების ზრდის პროცესის ზოგადი ბიოლოგიური კანონზომიერებების საფუძველზე შემუშავებული იქნა ყლორტწარმოქმნის ნახევრადემპირიული მათემატიკური მოდელი, რომელიც მოსავლის ფორმირების პროცესს აღადგენს სავეგეტაციო პერიოდის განმავლობაში (მოდელის პარამეტრია  $t$ -დრო).

მოდელის პირველ ვარიანტში გამოყენებულია ჩაის ყლორტების ზრდის დაწყებისა და მოსაკრეფად შემოსვლის  $\varphi(t)$  და  $\psi(t)$  ფუნქციები, რომელთა ყოველი კრეფის შემდეგ განმეორებითა და ერთმანეთზე ზედდებით ფორმირდება მოკრეფილი ყლორტების რაოდენობის  $N(t)$ -ს ტალღური ბუნება.

მოდელის მეორე ვარიანტი ეყრდნობა ერთი რიგის ყლორტების მომწიფების  $F(t)$  ფუნქციას და მოსავლის დინამიკას წარმოადგენს კრეფების მიხედვით სავეგეტაციო პერიოდის განმავლობაში (კრეფების სიღრმისა და სიხშირის გათვალისწინებით).

მოდელის მესამე ვარიანტში, რომელსაც საფუძველად უდევს ყლორტის ზრდის კანონზომიერება, მატრიცული თეორიის ელემენტების გამოყენებით გამოითვლება ჩაის ყლორტის საშუალო ნაზრდის დინამიკა სავეგეტაციო პერიოდში.

რა მოგვცა, საბოლოოდ, პროცესის მათემატიკურმა მოდელმა? უპირველეს ყოვლისა, პასუხი გავეცით კითხვას აქვს თუ არა ჩაის მოსავლის დინამიკას სავეგეტაციო პერიოდში ტალღური ბუნება? მეორე და მთავარი ისაა, რომ ეს პროცესი აღმოჩნდა ბიოაგროტექნიკური ბუნების: მცენარის ზრდის კანონზომიერებას თან ერთვის აგროტექნიკური პროცესი-კრეფა. ყოველივე ეს წარმოშობს ტალღურ დინამიკას. გარდა ამისა, უკვე საშუალება გვქმნება შევისწავლოთ სხვა ფაქტორების წვლილი, კერძოდ, ამინდის გავლენა ჩაის ბუჩქის მოსავლიანობაზე. თუ მოსავალს განვიხილავთ მთელი სეზონის განმავლობაში, მაშინ ბიოაგროტექნიკური ბუნება იმდენად არევეს მოსავლის დინამიკას, რომ თითქმის შეუძლებელი ხდება ამინდის გავლენის შეფასება. ამჯერად კი, ეს მოდელი საშუალებას იძლევა გავათავისუფლოთ ჩაის მონაცემები ტალღური ბუნებისაგან და დარჩენილი ნაწილი დავუკავშიროთ ამინდს.

ასეთ რეგრესიულ მოდელს “კლიმატი-ჩაის მოსავალი” აქვს სახე

$$Q_i = \exp[c_1(a_1T_i + a_2T_i^2) + c_2(b_1R_i + b_2R_i^2) + c_0],$$

სადაც  $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2, c_0$  კოეფიციენტებია, რომელთა განსაზღვრა ხდება უმცირეს კვადრატთა მეთოდით. კორელაციის კოეფიციენტი ამ მოდელით გამოთვლილსა და ფაქტიურ მოსავლებს შორის  $r=0.95$ . აღმოჩნდა, რომ ჰაერის საშუალოდეკადური ტემპერატურის გაზრდისას იზრდება შესაბამისი კრეფის მოსავალი. დასავლეთ საქართველოს პირობებში არ გვხვდება თვიური ტემპერატურის მაღალი მნიშვნელობები, რომლებიც შეამცირებენ მოსავალს. მოსავლის ნალექებთან კავშირიც არაწრფივია.

კუბაზე მუშაობისას ჩემს განკარგულებაში აღმოჩნდა კუბის 150 წერტილში 50 წლიანი მონაცემები-შაქრის ლერწამში შაქრიანობის შემცველობა და ბიომასა. ამ მასალაზე ბევრი კარგი შედეგი იქნა მიღებული, მაგრამ ამჟამად მინდა მხოლოდ ერთი მომენტი გავიხსენო.

შაქრის ლერწმის შაქრიანობის მრავალწლიური დეკადური მონაცემების ანალიზის შედეგად ცხადი გახდა, რომ ნოემბრის თვიდან შაქრიანობა თანდათან იზრდება და მომდევნო წლის მარტის ბოლოს- აპრილის დასაწყისში აღწევს მაქსიმუმს, რის შემდეგაც იწყებს საკმაოდ სწრაფ შემცირებას და ივლისის თვეში მინიმუმამდე ეცემა. შაქრიანობის კუბისათვის გასაშუალოებული მრუდი  $\alpha(t_k)$  (შაქრიანობის მნიშვნელობები გამოსახულია მისი მაქსიმალური მნიშვნელობის ნაწილებში. დეკადების მიხედვით  $t_k=1$  მიმდინარე წლის სექტემბრის პირველი დეკადაა, ხოლო  $t_k=36$  მომდევნო წლის აგვისტოს ბოლო დეკადა) გამოხატავს კლიმატის ეფექტს შაქრიანობის დინამიკაში და მისი დამაკმაყოფილებელი აპროქსიმაცია ასე გამოიყურება

$$\alpha(t_k) = 0.5/1 + \exp(4.777 - 0.444t_k) \cdot 1/1 + \exp(-15.85)(1 + 0.58t_k),$$

სადაც  $e$  არის ნატურალური ლოგარითმის ფუძე. ამ გამოსახულებაში კოეფიციენტები განსაზღვრულია  $b$ . როზენბროკის მიხედვით.

შაქრის საერთო რაოდენობა  $C$  დამოკიდებულია საშუალო საჰექტარო ბიომასის  $\bar{m}$ , საშუალო შაქრიანობის  $\bar{c}$  და შაქრის ლერწმით დაკავებული საერთო ფართობის  $S$  სიდიდეზე  $C = \bar{m} \cdot \bar{c} \cdot S$ . ამ ფორმულაში  $\bar{m} \cdot S = M$  წარმოადგენს ლერწმის ლერობის ჯამურ ბიომასას, რომელიც აღებულია  $S$  ფართობიდან. აქედან გამომდინარე,

$C = M \cdot \bar{c}$ . თუ  $\mu$  არის აგროსამრეწველო კომპლექსების საშუალო, სამეურნეო სიმძლავრე, საფრის (შაქრის ლერწმის აღების პერიოდი) ხანგრძლივობა  $T_z$  შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით  $T_z = M/\mu$ .  $\mu$ -ს

სტაბილურობის შემთხვევაში ლერწმის აღება და დამუშავება თანაბრად მიმდინარეობს დროში, რის გამოც  $\bar{c}$  განისაზღვრება როგორც საფრის მანძილზე გასაშუალოებული სიდიდე  $\bar{c} = \frac{c_{\max}}{t_k - t_H} \int_{t_H}^{t_k} \alpha(t) dt$ , სადაც  $t_H$  და  $t_k$

საფრის დაწყებისა და დამთავრების თარიღებია.

ამ ფორმულიდან კარგად ჩანს, რომ საშუალო შაქრიანობა საფრის განმავლობაში  $\bar{c}$  უშუალო კავშირშია საფრის დაწყებისა და დამთავრების თარიღებთან და, აქედან გამომდინარე, საფრის ხანგრძლივობასთან  $T=t_k-t_H$ .

საშუალოდ, კუბაზე, სამოციან წლებამდე საფრა მიმდინარეობდა სამი თვის მანძილზე (თებერვალი-აპრილი), სამოციანი წლებიდან კი მისი ხანგრძლივობა დაახლოებით თვენახევრით გაიზარდა (იანვარი-მაისი); საფრის პერიოდის ასეთი გახანგრძლივების შედეგად საშუალო შაქრიანობა შემცირდება

$$\Delta \bar{c} = \frac{c_{\max}}{9} \int_9^{18} \alpha(t) dt - \frac{c_{\max}}{14} \int_6^{20} \alpha(t) dt = 0.978c_{\max} - 0.938c_{\max} = 0.04c_{\max} \text{ კუბაზე, } \text{ყოველწლიურად,}$$

დაახლოებით, 50-60 მილიონი ტონა შაქრის ლერწამი გადამუშავდება და მისი მაქსიმალური შაქრიანობა, საშუალოდ,  $c_{\max} = 12.50\%$  შეადგენს. ამ შემთხვევაში  $\bar{c}$  შემცირდება  $\Delta \bar{c} = 0.50\%$ -ით. შაქარზე გაანგარიშებით ეს სოლიდური სიდიდეა და ქვეყნის მასშტაბებით 250-300 ათას ტონა სუფთა შაქარს ნიშნავს.

ამრიგად, მათემატიკური მოდელირება წარმოადგენს კვლევის მნიშვნელოვან ინსტრუმენტს, რომელიც საშუალებას გვაძლევს შევისწავლოთ პროცესის ფიზიკურ-მათემატიკური მხარე და, რაც მთავარია, მასში მონაწილე ცალკეული ფაქტორების სრული ეფექტი შევაფასოთ

#### ლიტერატურა-REFERENCES -ЛИТЕРАТУРА

1. Арвеладзе Г.А., 1998. Полуэмпирическая математическая модель формирования урожая чая. Метеорология и гидрология, №7, с.105-113.
2. Бахтадзе К.Е., 1971. Биологические основы культуры чая. Мецниереба, Тбилиси.
3. Хамзаев В.Н., 1950. К вопросу о причинах снижения в июне урожайности чайного куста. Труды ГрузНИИГиМ, вып. 4, 1956.
4. Покровский В.Н., Мерабян С.Г., 1936. Фотопериодизм и вегетация чайного растения. Сов. субтропики, №11, с.37-55.
5. Али-Заде М.А., 1959. К вопросу о периоде покоя листосборного чайного куста. Рост растений. Изд-во Львовского университета.
6. Али-Заде М.А., 1964. Физиология чайного куста. Баку. Изд-во АН АзССР.
7. Laycock D.H., 1960. A progress report on the first six years of a pruning experiment with Nyasaland tea. Trop. Agr., Vol. 37, №2, p. 125-134.
8. Portsmouth G.B., 1957. Factors effecting shoot production in tea when grown as a plantation. Crop.11. The influence of climatic conditions and age front pruning flush shoot production tea Quarterly, 28, p.16-24.
9. Wight W. and Barua D.N., 1955. The nature of dormancy in the tea plant. J. Exper. Bot., Vol.,6, №16, p.1-5.
10. Rosenbrock N.H., 1966. An automatic method for finding the greatest or least value of a function. The Computer Journal, Vol.3, p.175.

უკ 581.143

**მრავალწლიანი კულტურების მოსავლის ფორმირების მათემატიკური მოდელირება.** /დ.არველაძე/. ჰმი-ს შრომათა კრებული. -2007.-ტ.111 -გვ.152-159. ქართ.; რუხ. ქართ., ინგლ., რუს.

შემუშავებულია ჩაის ბუჩქის ყლორტწარმოქმნის ნახევრადემპირიული მათემატიკური მოდელი, რომელიც საშუალებას იძლევა აღვადგინოთ ყლორტების მოსაკრეფად შემოსვლა და ავხსნათ ჩაის მოსავლის ტალღისებური დინამიკის მიზეზი სავსებით პერიოდის განმავლობაში. მოდელი გამოიყენება მოსავლის ამინდის ფაქტორებთან ფორმალური კავშირის წარმოსადგენად. აგებულია ჩაის მოსავლის მეტეოროლოგიურ ფაქტორებზე დამოკიდებულების რეგრესიული მოდელი.

შაქრის ლერწამში შაქრიანობის დინამიკის ანალიზის საფუძველზე აგებულია საფრის განმავლობაში შაქრის შემოსვლის მოდელი, რომელიც, გამოყენების შემთხვევაში, იძლევა დამატებით 250-300 ათას ტონა სუფთა შაქარს ყოველწლიურად.

ნაჩვენებია, რომ მათემატიკური მოდელირება წარმოადგენს კვლევის მნიშვნელოვან ინსტრუმენტს, რომელიც საშუალებას გვაძლევს შევისწავლოთ პროცესის ფიზიკურ-მათემატიკური მხარე და, რაც მთავარია, შევაფასოთ მასში მონაწილე ცალკეული ფაქტორების სრული ეფექტი.

UDC 581.143

**Matematikal Modeling of Perennisl Crop Formation.** /G. Arveladze/ Transactions of the Georgian Institute of Hydrometeorology. 2007. -v.111,-p.152-159.-Georg.-Summ. Georg., Ing., Russ.

A semi-empirical mathematical model of tea shoot production is developed. The model reproduces the growth of tea shoots and explains the cause of the wave-type dynamics of tea yield during the vegetative period. It is used for a formal representation of the correlation between weather and tea yield. The regression model of the dependence of tea yield on meteorological factors is developed.

On the basis of data analysis a model is developed describing the accumulation of sugar in the sugar-cane during the safra period, which makes it possible to get extra 250-300 thousand tonnes of pure sugar annually.  
It is shown that mathematical modelling is a mighty tool of research that allows to examine the physical and mathematical aspects of the process and, that is most important, to assess total effect of separate factors taking part in it.

УДК 581.143

**Математическое моделирование формирования урожая многолетних культур.** /Г.А. Арвеладзе/ сб. Трудов Института Гидрометеорологии Грузиию –2007.-т.111- с-152-159, -Груз. рез. Груз., Англ., Русск.,

Разработана полуэмпирическая математическая модель побегообразования чайного куста, которая позволяет восстановить временной ход поступления побегов к сбору и объяснить причину волнообразной динамики урожая чая в течение вегетационного периода. Она используется для формального представления связи урожая с погодными условиями. Построена регрессионная модель зависимости урожая чая от метеорологических факторов.

На основе анализа данных построена модель поступления сахара в сахарный тростник в течение сафры, которая даёт возможность получения дополнительно 250-300 тысяч тонн чистого сахара ежегодно.

Показано, что математическое моделирование представляет собой значительный инструмент исследования, который позволяет изучить физико-математические стороны процесса и, что главное, оценить полный эффект участвующих в нем отдельных факторов.