

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი

ქიმიის დეპარტამენტი

გურანდა ავეოფაშვილი

დისერტაცია თემაზე:

**ტექნოგენურად დაბინძურებულ ნიადაგებზე მძიმე ლითონთა
ფიტომიგრაცია**

წარმოდგენილი დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
ქიმიაში

სადოქტორო პროგრამის ხელმძღვანელი:

ქიმიის მეცნიერებათა დოქტორი,
საქართველოს მეცნიერებათა
ეროვნული აკადემიის აკადემიკოსი

შოთა სამსონია

სამეცნიერო ხელმძღვანელები:

ქიმიის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი

რამაზ გახოკიძე

ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი

ალექსანდრე ღონღაძე

ფილოსოფიის მეცნიერებათა დოქტორი

გარი მილსი

თბილისი

2018

Ivane Javakhishvili Tbilisi State University

Faculty of Exact and Natural Sciences
Chemistry Department

Guranda Avkopashvili

Phytomigration of Heavy Metals on Technologically Contaminated Soils

Thesis

Submitted for the Degree of PhD in Chemistry

Coordinator of Doctoral Program:

Doctor of Chemical Sciences,
Academician of Georgian National
Academy of Sciences

Shota Samsonia

Scientific Supervisors:

Doctor of Chemical Sciences

Ramaz Gakhokidze

Doctor of Physical and Mathematical Sciences

Alexander Gongadze

Doctor of Philosophy

Gary Mills

Tbilisi

2018

ანოტაცია

გარემოს დაცვის საკითხებიდან ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანია დაბინძურებული ნიადაგების რემედიაცია. მსოფლიოში ნიადაგების 12%-ია დეგრადირებული, რომელიც მთლიანობაში 2 მილიონ ჰექტარს აჭარბებს. მძიმე ლითონებით დაბინძურებული ნიადაგების გაწმენდა დღით-დღე აქტუალური ხდება ისეთი თანამედროვე ტექნოლოგიით, როგორცაა ფიტორემედიაცია. მეთოდი ექსპრესულია და გააჩნია საუკეთესო პოტენციალი დამაბინძურებლების გასაწმენდად რიგი მიზეზების გამო: ა) ახლოსაა ზედაპირთან; ბ) შესწევს შეუქცევადობის უნარი; გ) არ უქმნის რისკს ადამიანის ჯანმრთელობასა და გარემოს; დ) ფარავს დიდ ზედაპირებს. ამავე დროს, ეკოლოგიურად უსაფრთხოა და არაა ძვირად ღირებული.

წინამდებარე კვლევის მიზანი იყო გამოგვევლინა საქართველოს დაბინძურებული რაიონები და შეგვესწავლა ამ ნიადაგებში მძიმე ლითონთა ფიტომიგრაცია სხვადასხვა მცენარეების მაგალითზე. პირველადაა გამოკვლეული 76 ელემენტის შემცველობა ბოლნისის, დმანისის, ჭიათურის, ზესტაფონის და ოზურგეთის რაიონებში, გამოვლენილია მძიმე ლითონებით დაბინძურებული ნიადაგები, რაც გამოწვეულია ინდუსტრიული და კარიერული ქარხნების ზემოქმედებით. ბოლნისის რაიონის მაგალითზე შესწავლილია ნიადაგების ფიტორემედიაცია. ამავე რეგიონის სოფლებში მიმდინარეობდა მრავალწლიანი მონიტორინგი ნიადაგებზე, მდინარის წყლებზე და საკვებ პროდუქციაზე.

ფიტორემედიაციული ბიოტექნოლოგიის შემუშავება ბოლნისის რაიონში სავსე პირობებში მიმდინარეობდა ორი მიმართულებით: ა) თანამედროვე ტიპის ბიოსტიმულატორებით ნიადაგების მძიმე ლითონებისაგან გაწმენდა; ბ) იგივე სტიმულატორების გამოყენებით მცენარეში მძიმე ლითონთა აკუმულაციის შემცირება. ფიტორემედიაციული კვლევისას მცენარეების დათესვა განხორციელდა, როგორც სავსე პირობებში, ასევე სავეგეტაციო ჭურჭლებში. შესწავლილი მონაცემების მიხედვით დადგინდა, რომ შაქრის ჭარხალში ბიოსტიმულატორი ბიორაგი აფერხებს დაბინძურებული ნიადაგიდან კადმიუმის ფიტოშეღწევადობას.

შექმნილია დაბინძურებული ნიადაგის ფიტორემედიაციის ახალი ბიოტექნოლოგია ბოლნისის რაიონის მაგალითზე, რაც მნიშვნელოვანია როგორც სამეცნიერო, ტექნოლოგიური და ინოვაციური, ასევე ეკონომიური, ეკოლოგიური და სოციალური თვალსაზრისით.

Abstract

One of the most important environmental issues is the remediation of polluted soils. About 12% of the world's soil is degraded, which covers over 2 million hectares. One of the most innovative soil remediation methods from heavy metals is phytoremediation method. This method is one of the most effective methods that has the best potential to clean contaminants because: a) It is close to the surface; b) It has ability to be irreversible; c) Creates a minimum risk for human health and the environment; d) It covers large surfaces. At the same time, it is not very expensive and is "friendly" technology for the environment.

The purpose of this study was to identify contaminated areas in Georgia and to study phytomigration of heavy metals in soils on the basis of different plant species. For the first time in Bolnisi, Dmanisi, Chiatura, Zestafoni and Ozurgeti regions of Georgia, 76 elements were identified in soils (it should be noted that the full spectrum of elements in the soil of Georgia was not previously determined). Pollution of soils with heavy metals are caused by the impact of industrial and mining processes. On the example of the Bolnisi district, soil phytoremediation methods were studied. Monitoring on the soils, river waters and food products have been conducted during many years in the villages of this region.

The study of phytoremediation biotechnology, carried out under field conditions in Bolnisi district, had two directions: a) Purification of contaminated soils from heavy metals using modern bio-stimulants; b) Reducing the accumulation of heavy metals in plants using the same stimulants. During the phytoremediation process plants were sown both in field conditions and in test-tubes. According to the study Bioragi reduces an absorption of heavy metals in the sugar beets.

The new phytoremediation biotechnology is created on the example of Bolnisi district, which is important as scientific, technological and innovative as well as economical, ecological and social terms.

შინაარსი

შესავალი.....	6
თავი 1. ლიტერატურული მიმოხილვა.....	10
1.1. ნიადაგების ფიტორემედიაცია, ფიტოსტაბილიზაცია	10
1.2. ფიტოსტიმულაცია	11
1.3. ფიტოექსტრაქცია	11
1.4. მცენარეში მინერალური ნივთიერებების შთანთქმა და დაგროვება	13
1.5. წყლის გადაადგილება მცენარეში.....	15
1.6. მიკრო ელემენტები: ნიადაგის ქიმია, პრინციპები და პროცესები	16
1.7. ნიადაგის ბიოლოგიურად მყარ ფაზაში მძიმე ლითონების ხელმისაწვდომობა	17
1.8. მცენარის რეაგირება მძიმე ლითონებზე	19
1.9. მძიმე ლითონებით დაბინძურებული ნიადაგების ფიტორემედიაცია	19
1.10. პრაქტიკული ფოტოექსტრაქციის საჭიროება ჰიპერაკუმულატორი მცენარეების გამოყენებით	22
1.11. დაბინძურებული ნიადაგების კადმიუმისგან გაწმენდა და საკვები პროდუქციის დაცვა	23
1.12. ნიადაგიდან ტყვიის ფიტოექსტრაქცია.....	25
1.13. ნიადაგიდან დარიშხანის ფიტოექსტრაქცია.....	26
1.14. ნიადაგში არსებული სხვა ელემენტების ფიტოექსტრაქცია	29
თავი 2. შედეგები და მათი განსჯა.....	31
2.1. ექსპერიმენტული ნაწილი.....	31
2.2. ბოლნისის რაიონი	33
2.3. გავრცელებული ნიადაგის ტიპები.....	34
2.4. საბადოს ზოგადი დახასიათება.....	37
2.5. აბულბუქის კარიერი	37
2.6. საწარმოო ჩამდინარე წყლები.....	39
2.7. ბოლნისის რაიონის ჰიდროგრაფიული ქსელი	39
2.8. საწარმოო პროცესების შედეგად წარმოქმნილი რთული ეკოლოგიური ფონი ბოლნისის რაიონში	40
2.9. ბოლნისის რაიონის ეკომონიტორინგი.....	42
2.10. ბოლნისის რაიონის საწარმოო ტერიტორიის მიმდებარე სოფლებში სასოფლო-სამეურნეო პროდუქციის ეკომონიტორინგი.....	52
2.11. დმანისის რაიონი.....	55
2.12. დმანისის რაიონის ნიადაგების ეკომონიტორინგი მძიმე ლითონების შემცველობაზე.....	56
2.13. დასავლეთ საქართველოს რაიონებში ეკოლოგიური მდგომარეობა	61
2.14. ჭიათურის რაიონი	62
2.15. ზესტაფონის რაიონი	66
2.16. ოზურგეთის რაიონი	68
2.17. ბოლნისის რაიონის დაბინძურებული ნიადაგების ფიტორემედიაცია	70
2.18. ფიტორემედიაციული ასპექტები 2012 წლის მონაცემებზე დაყრდნობით.....	76
2.19. ფიტორემედიაციული ასპექტები 2013 წლის მონაცემებზე დაყრდნობით.....	79
2.20. ფიტორემედიაციული ასპექტები 2015 წლის მონაცემებზე დაყრდნობით.....	97
დასკვნები.....	119
გამოყენებული ლიტერატურა.....	120

შესავალი

აქტუალობა. საქართველოს ტექნოგენურად დაბინძურებული ნიადაგების მძიმე ლითონებისგან გაწმენდა მეტად აქტუალურ პრობლემად გვევლინება. ფიტორემედიაციული მეთოდი წარმოადგენს გარკვეული სახეობის მცენარეებით მსხვილი საწარმოო ქარხნების მიმდებარე ნიადაგების გაწმენდას იაფი და მომგებიანი ტექნოლოგიით, ასეთი საწარმოებია: ოქროს, სპილენძის, ქვანახშირის, მანგანუმის და სხვა წიაღისეულის მომპოვებელი ქარხნები, რომლებიც მნიშვნელოვნად აბინძურებენ ნიადაგებს, როგორც სიღრმეში, ასევე ზედაპირზე.

ფიტოტექნოლოგია ფართოდ გამოიყენება ნიადაგის ისეთი დამაბინძურებლების გაწმენდის მიზნით, როგორებიცაა: მძიმე ლითონები, პესტიციდები, ნავთობი, ქლორიდები, სხვადასხვა შენაერთები და რადიონუკლიდები. ფიტორემედიაციის დანერგვა საქართველოს დაბინძურებულ რეგიონებში ძალზედ აქტუალური საკითხია ჩვენი ქვეყნის განვითარებისთვის. კვლევის პროცესში გამოკვლეული იქნა მძიმე ლითონთა შემცველობა სხვადასხვა რაიონის ნიადაგებში, ზედაპირულ წყლებში, ადგილობრივი და უცხოური ჯიშის მცენარეებში. მოხდა საპილოტე საცდელი მეურნეობის მოწყობა, სადაც შესწავლილი იქნა სხვადასხვა ჯიშის მცენარეების უნარი მძიმე ლითონების ფიტომიგრაციის კუთხით.

სასარგებლო წიაღისეულის ინტენსიური ამოღება იმდენად აბინძურებს გარემოს, რომ მის გარშემო არსებულ ნიადაგებზე მოყვანილი კვების პროდუქტები ხშირ შემთხვევაში ძალზე მავნებელია ადამიანის ორგანიზმისათვის. გარემოს ქიმიური დამაბინძურებლებიდან ყველაზე საშიშია მძიმე ლითონები და რადიონუკლიდები, მათი მაღალი კონცენტრაციები საფრთხეს წარმოადგენს იმ თვალსაზრისით, რომ ცოცხალი ორგანიზმის ბიოქიმიურ ციკლში ჩართვისას ძნელად გამოიდევენებიან ორგანიზმიდან და იწვევენ პათოლოგიურ ცვლილებებს. საქართველოში არსებული საბადოებიდან, ამ თვალსაზრისით ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესია კაზრეთის RMG-ის (ყოფილი “მადნეულის”) საბადო, რომელიც მდებარეობს ბოლნისის რაიონში. მადნეულის სპილენძშემცველი სულფიდური საბადო, რომელიც ღია კარიერული წესით მუშავდება და გარემოს ტოქსიკური ლითონებით ინტენსიურ დაბინძურებას იწვევს. საყდრის-ყაჩაღიანის საბადო მდებარეობს სოფელ ბალიჭიდან 1 კმ-ში. 2 კმ-შია დმანისის ყველაზე ახლოს მდებარე სოფელი დიდი დმანისი. აღნიშნული გარემოება ძალზედ დიდ დარტყმას აყენებს ამ სოფლების ეკოსისტემას და მდინარე მამავერას. დაბინძურებულ ნიადაგზე მოყვანილი პროდუქტები საფრთხეს უქმნიან ადამიანის ჯანმრთელობას, რაც იმას ნიშნავს, რომ ეს ნიადაგი პრაქტიკულად გამოუსადეგარია სოფლის მეურნეობისთვის.

ამდენად მნიშვნელოვანია ისეთი ბიოტექნოლოგიის შემუშავება, რომლის მეშვეობითაც საქართველოში დაბინძურებულ ნიადაგებზე შესაძლებელი გახდება ეკოლოგიურად სუფთა და საერთაშორისო ბაზრისთვის სრულფასოვანი საკვები პროდუქციის წარმოება. მაგალითად, ბოლნისის რაიონის გეოგრაფიული ადგილ-მდებარეობა საუკეთესოა სოფლის მეურნეობის აღორძინების თვალსაზრისით, რადგან წელიწადში შესაძლოა სამჯერ მოვიყვანოთ მოსავალი ერთსა და იმავე სასოფლო სამეურნეო სავარგულზე, მაგრამ აქ, ნიადაგების მძიმე ლითონებით დაბინძურება ძალიან მაღალია, ხოლო მოყვანილი კვების პროდუქტები ადგილობრივ, თუ საერთაშო-

რისო ბაზარზე საწარმოებლად ნაკლებად კონკურენტუნარიანია და დიდ საფრთხეს უქმნის ადამიანთა ჯანმრთელობას.

თუმცა მხოლოდ ბოლნისის რაიონი არაა დაბინძურებული, დაბინძურებული ნიადაგების ფონი მრავლადაა საქართველოში, ასეთი ადგილებია: ჭიათურის რაიონი, სადაც მიმდინარეობს მანგანუმის მოპოვება; ზესტაფონის რაიონი, სადაც ფეროშენადნობის ქარხნის მუშაობის შედეგად ბინძურდება მდინარე ყვირილა და სასოფლო სამეურნეო სავარგულები; ამბროლაურის რაიონი, სადაც საბჭოთა კავშირის დროს მიმდინარეობდა დარიშხანის გადამუშავება (მიუხედავად იმისა, რომ დღესდღეობით ეს ქარხანა დახურულია, მომავალ თაობებს მაინც რჩებათ დაბინძურებული ნიადაგები); ოზურგეთის რაიონის სოფელი ანასეული, სადაც რადიაქტიული ნარჩენების ლაქაა. ზემოთ ხსენებული რაიონების ნიადაგებზე ადგილობრივი მოსახლეობა ეწევა სასოფლო სამეურნეო საქმიანობას, მოჰყავთ მოსავალი და იყენებენ საკვებად, მისდევენ მეცხოველეობას და ბევრმა მათგანმა არც კი იცის, რა საფრთხეს წარმოადგენს მძიმე ლითონები და რადიონუკლიდები მათი ორგანიზმის ჯანმრთელობისთვის.

ფიტორემედიაციული კვლევები საზღვარგარეთ 1970-იანი წლებიდან დაიწყო. დღესდღეობით უამრავი კვლევაა ჩატარებული ამ ტექნოლოგიის გაუმჯობესების კუთხით. გერმანიაში, საფრანგეთში, ინგლისში, ჩინეთში, იაპონიაში, თურქეთში და სხვა წამყვან ქვეყნებში არაერთი მეცნიერთა ჯგუფი იკვლევს ნიადაგის გაწმენდას ფიტორემედიაციის გამოყენებით. ჩვენს მეზობელ რუსეთში ამ საკითხებზე მომუშავეთა ჯგუფს ფრონტასიევა ხელმძღვანელობს, რომლის თაოსნობით 2013 წელს გამოკვლეული იქნა მცენარეების მიერ მძიმე ლითონების შთანთქმა ბიოაქტივატორის ბიორაგის გამოყენებით. ამ კვლევასთან დაკავშირებით 2014 წელს სტატია გამოქვეყნდა მ. ფრონტასიევასა და რ. გახოკიძის თანაავტორობით აგროქიმიის რუსულ გამოცემაში. აშშ-ში ფიტორემედიაციული მეცნიერებების სულის ჩამდგმელები გახლავთ დომი ადრიანო, ჯონ სიემენი, გარი მილსი და ა.შ., რომლებიც მსოფლიოში წამყვან სპეციალისტებად ითვლებიან და არაერთი წიგნის, თუ სამეცნიერო პუბლიკაციის ავტორები არიან.

2014 წელს მქონდა შესაძლებლობა სავანა რივერის ეკოლოგიურ ლაბორატორიაში (ჯორჯიის უნივერსიტეტი) ოთხი თვე მემუშავა უცხოელ კოლეგებთან ერთად და მიმელო მათგან მნიშვნელოვანი ცოდნა-გამოცდილება ამ მიმართულებით. დღეისათვის მსოფლიოში დაახლოებით 400 სახეობაზე მეტი მცენარეა გამოკვლეული, რომელთაც შესწევთ ნიადაგიდან მძიმე ლითონების შთანთქმის უნარი. კვლევების შედეგად დასტურდება, რომ არსებობენ ჰიპერაკუმულატორი მცენარეები, რომლებსაც ნიადაგიდან შეუძლიათ სხვადასხვა ლითონის შებოჭვა. აღნიშნული მეთოდის სიიფისა და ეკოლოგიური უსაფრთხოების გამო მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში იყენებენ გაწმენდის ამ მეთოდს.

საქართველოში 2010 წელს ჩატარდა გერმანელი (თ. ჰანაუერი, პ. ფელიქს-ჰენინგსენი, დ. სტეფენსი) და ქართველი (ლ. მაჭავარიანი, თ. ურუშაძე, ბ. კალანდაძე, ე. ნარიმანიძე) მეცნიერების ერთობლივი კვლევა, რომელიც მიზნად ისახავდა ბოლნისის რაიონის სოფლების ნიადაგებში, სასმელ წყალში და საკვებ პროდუქტებში მძიმე ლითონების შესწავლას. მათ ამ კვლევის შესახებ არაერთი შრომა აქვთ გამოქვეყნებული ადგილობრივ და უცხოურ სამეცნიერო ჟურნალებში. რაც შეეხება ფიტორემედიაციის შესწავლას საქართველოს დაბინძურებულ ნიადაგებზე არიან მეცნიერთა ჯგუფები (გ.

ხასიტაშვილი., მ. გოგებაშვილი., ნ. ივანიშვილი და სხვა), რომელთაც აქვთ გარკვეული კვლევები ამ კუთხით.

კვლევის მიზანს წარმოადგენდა დაგვედგინა საქართველოში ტექნოგენურად დაბინძურებული ნიადაგები და ამ ნიადაგებში შემავალი ქიმიური ელემენტების კონცენტრაციული რაოდენობა. ტექნოგენურად დაბინძურებული ნიადაგების გამოვლენისას კი შეგვესწავლა მძიმე ლითონების ფიტომიგრაციის მექანიზმი და შესაძლებლობები. კვლევა მიზნად ისახავდა სხვადასხვა ჯიშის მცენარეების გამოყენებას ფიტორემედიაციის მიზნით.

სამეცნიერო სიახლე და ნაშრომის თეორიული და პრაქტიკული ღირებულება. 2010-2017 წლებში კვლევები ჩატარებული გვაქვს ბოლნისის რაიონის სოფლებში. 2010 წლიდან კი ბოლნისის რაიონის ნიადაგებში, ადგილობრივი წარმოშობის სასოფლო-სამეურნეო პროდუქციაში და მდინარის წყლებში მიმდინარეობდა მძიმე ლითონების (Cu, Zn, Cd) შესწავლა დინამიკაში. 2012-2013 წლებში სოფელ ბალიჭში, რატევანში და წულრულაშენში მოხდა შაქრის ჭარხლის დათესვა მძიმე ლითონთა ფიტომიგრაციის შესწავლის მიზნით. ამავე წლებში გამოკვლეული იქნა ადგილობრივი ჯიშის მწვანე ამარანდა და ნაცარქათამა.

2014-2015 წლებში **პირველად** გამოკვლეული დმანისის, ბოლნისის, ჭიათურის, ზესტაფონის და ოზურგეთის რაიონის სოფლების ნიადაგებში Li, Be, B, Na, Mg, Al, Si, P, K, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th და U ლითონების შემცველობა ამერიკის შეერთებულ შტატებში. სადისერტაციო კვლევის ფარგლებში პირველად მოეწყო ბოლნისის რაიონის სოფელ ბალიჭში საპილოტე მეურნეობა, სადაც მოხდა შაქრის ჭარხლის, წითელი ჭარხლის, მწვანე ამარანდას, წითელი ამარანდას, ოქროსფერთავიანი ამარანდას, ნაცარქათამას, ხორბლის, რეჰანის, კამის, მხესუმზირის და კარტოფილის დათესვა. ზემოთ ჩამოთვლილი მცენარეები საკონტროლოსთან ერთად დამუშავდა ბიოაქტივატორ ბიორაგში და ლინგოკუმატში, რათა გამოგვეკვლია მცენარის ჰიპერაკუმულაციური თვისების გააქტიურება ან შემცირება. მცენარეების აღებული სინჯები გაანალიზდა სამხრეთ ფლორიდის უნივერსიტეტში (აშშ).

ამერიკის შეერთებულ შტატებში ჩატარდა ნიადაგების და მცენარეების სინჯებში მძიმე ლითონთა შემცველობის შესწავლა ინდუქციურად შეწყვილებული პლაზმური მას სპექტროფოტომეტრის გამოყენებით (ICP-MS).

2017 წელს ჩატარებული კვლევის მიზანი იყო ბოლნისის და დმანისის რაიონის სოფლების ნიადაგებში მძიმე ლითონთა შესწავლა. კვლევის ფარგლებში შესწავლილია 18 სოფლის ნიადაგი (ნახიდური, მწყნეთი, ფოლადაური, ქვემო ბოლნისი, რატევანი, მუშევანი, ტანძია, დარბაზი, ფოცხვერიანი, აკაურთა, კაზრეთი, აბულბუქი, ბალიჭი, გომარეთი, განთიადი, ვარდისუბანი, მამიშლო, პატარა დმანისი). სასოფლო სამეურნეო ნიადაგის სინჯებში გამოკვლეულ იქნა სპილენძის, თუთიის, მანგანუმის, კადმიუმის, ტყვიის და ქრომის შემცველობა. ამ კვლევის ფარგლებში გაირკვა, რომ ოქროსა და სპილენძის მომპოვებელი საწარმოს ინტენსიური ზემოქმედებით გარემოში მოიმატა კადმიუმის და ტყვიის კონცენტრაციამ 2014 წელთან შედარებით, აღმოჩნდა ასევე, რომ მოიმატა კადმიუმის კონცენტრაციამ ბოლნისისა და დმანისის რაიონის ზემოთ აღნიშნული სოფლების ნიადაგებში, ტყვიის კონცენტრაცია კი აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას.

ფიტორემედიაციის შემოთავაზებული მეთოდის **თეორიულ მნიშვნელობას** განაპირობებს ის, რომ **პირველად** არის შემუშავებული ბიოტექნოლოგია, რომელიც გამოიყენება ისეთი ნიადაგების გასაწმენდად, სადაც მავნე ქიმიური აგენტების მრავალფეროვანი სპექტრია წარმოდგენილი. საქართველოში სამრეწველო დაბინძურებით გამოწვეული რაიონები მრავლადაა, ესენია: ბოლნისი, დმანისი, რუსთავი, გარდაბანი, თბილისი, კასპი, ჭიათურა, ზესტაფონი, ტყიბული, ამბროლაური, ცაგერი, ოზურგეთი და ა.შ. მნიშვნელოვანია ასეთ ადგილებში გატარდეს ფიტორემედიაციის პრაქტიკული სამუშაოები და გაწმენდილ იქნას ამ ტერიტორიებზე დაბინძურების ცხელი კერები.

ფიტორემედიაციის შემოთავაზებული მეთოდის **პრაქტიკული მნიშვნელობა** მდგომარეობს იმაში, რომ ფიტორემედიაციის გზით ფერმერებს შესაძლებლობა აქვთ გაწმინდონ დაბინძურებული ნიადაგები და მოიყვანონ ასეთ რაიონებში უსაფრთხო პროდუქცია, ასეთი პრაქტიკა საზღვარგარეთ დამკვიდრებულია და პრაქტიკაში გამოიყენება.

შედეგების გამოქვეყნება. დისერტაციის შედეგები გამოქვეყნდა სამ სამეცნიერო სტატიაში, მათგან ერთი ტომსონის სამეცნიერო ბაზაში არსებულ იმპაქტ-ფაქტორიან ჟურნალში. დანარჩენი პუბლიკაციები კი გამოქვეყნდა ადგილობრივ და საერთაშორისო რეფერირებად ჟურნალებში:

1. Guranda Avkopashvili., Marika Avkopashvili., Alexander Gongadze., Ramaz Gakhokidze. 2017. ECO-Monitoing of Georgia's Contaminated Soil and Water with Heavy Metals. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. 2017, Vol. 12, No. 2, p. 595-604.
2. Guranda Avkopashvili., Marika Avkopashvili., Alexander Gongadze., Manana Tsulukidze., Evgenia Shengelia. 2017. Determination of Cu, Zn and Cd in Soil, Water and Food Products in the Vicinity of RMG Gold and Copper Mine, Kazreti, Georgia. Annals of Agrarian Science. p. 1-4.
3. Lasha Asanidze., Guranda Avkopashvili., Kukuri Tsikarishvili., Zaza Lezhava., Nino Chikhradze., Marika Avkopashvili., Zurab samkharadze., Giorgi Chartolani. 2017. Geocological Monitoring of Karst Water in Georgia, Caucasus (Case Study of Racha Limestone Massif), **Open Journal of Geology.** ISSN Online: 2161-7589, ISSN Print: 2161-7570).

მიღებული მონაცემები მოხსენდა ოთხ ადგილობრივ და 3 საერთაშორისო კონფერენციას.

ნაშრომი განთავსებულია 124 გვერდზე. იგი შედგება შესავლის 4 გვერდისგან, ლიტერატურული მიმოხილვის 21 გვერდისგან (თავი 1), შედეგები და განსჯის 88 გვერდისგან (თავი 2), დასკვნის 1 გვერდისგან, გამოყენებული ლიტერატურის 68 დასახელებისგან. ნაშრომი მოიცავს 6 ცხრილს და 104 ნახაზს, ნუმერაცია ზემოთ ჩამოთვლილ თავებში ერთიანია.

თავი 1. ლიტერატურული მიმოხილვა
1.1. ნიადაგების ფიტორემედიაცია, ფიტოსტაბილიზაცია

ფიტოსტაბილიზაცია არის პროცესი, რომლის დროსაც მცენარეები ტოლერანტულები არიან დამაბინძურებელი მეტალების მიმართ. ამ შემთხვევაში მცირდება დამაბინძურებელი მეტალების მოძრაობა, რის შედეგადაც სამომავლოდ გარემოს დეგრადაციის რისკის მინიმუმამდე დაყვანა ხდება, რაც შესაძლოა დაბინძურებული მიწისქვეშა წყლებისა და აეროზოლების მიერ იყოს გამოწვეული. მცენარეების ზრდა აძლიერებს გაწმენდის სტაბილიზაციის ეფექტს [1] [2]. ლითონ-ტოლერანტ მცენარეებს შეუძლიათ დამაბინძურებლების მოძრავი ფორმა გარდაქმნან უძრავ ფორმაში, ფესვების მიერ აბსორბციის საშუალებით, რაც ამცირებს დამაბინძურებლების გადაადგილებას საკვებ პროდუქტებში და მიწისქვეშა წყლებში [3] [4]. სტაბილიზაცია შეიძლება მოხდეს:

- ფესვის ზონა. ფესვების მიერ ცილების გამონთავისუფლება ხდება რიზოსფეროში, რაც განსაზღვრავს დამაბინძურებლების დალექვას.
- უჯრედის კედლები. ცილები დაკავშირებულია ფესვის უჯრედის კედლებთან, რაც დამაბინძურებლების სტაბილიზაციის შესაძლებლობას იძლევა, ფესვის უჯრედის გარეთ. ეს გარემოება დამაბინძურებლებს ხელს უშლის გადამოძრავდნენ მცენარის შიგნით, რასაც ბარიერული ეფექტი ქვია;
- ფესვის უჯრედები. ცილები წარმოდგენილია ფესვის მემბრანებში, რაც აძლიერებს დამაბინძურებლების ტრანსპორტს უჯრედში, სადაც ვაკუოლებში ხდება მათი შებოჭვა [5].

ხავსები და ბუჩქოვანი მცენარეები უფრო მეტად აკმაყოფილებენ ფიტოსტაბილიზაციის მოთხოვნებს, ვიდრე ბალახოვანი მცენარეები [6]. სხვადასხვა სორბციული გზებით ხდება ლითონების გადაადგილება მცენარეების ორგანიზმებში. ისეთი დეკორატიული მცენარეები, როგორებიცაა დაფნა (*laurus nobilis*), იაპონური ყველის ხე (*pittosporum tobira*), ოლეანდრა (*nerium oleander*) ახდენენ ეფექტურად ლითონების სტაბილიზაციას. ერთლებნიანი მარცვლოვანი მცენარეებიდან, როგორც ველური ჯიში ასევე კულტივირებული სიმინდი (*zea mays*) და ჰერკულესი (*avena sativa*) არის უფრო ეფექტური გამოსაყენებელი ამ ტექნოლოგიისათვის ვიდრე ორლებნიანი მცენარეების წარმომადგენლები [7].

რიზოფიტრაცია არის პროცესი რომლის დროსაც მცენარის ფესვის მიერ ხდება შეწოვა და დალექვა კონცენტრირებული მძიმე ლითონების დაბინძურებული ჩამდინარე წყლების ნაკადებიდან. ამ პროცესს ძირითადად საუკეთესო პრაქტიკული გამოიყენება აქვს ჭაობებიდან დარიშხანის და სხვა ლითონების ამოღების თვალსაზრისით [8].

1.2. ფიტოსტიმულაცია

ეს ტექნოლოგია წარმოადგენს სტიმულაციას მიკრობების და სოკოების საშუალებით შემცირდეს კანცეროგენური დამაბინძურებლების ზემოქმედება. ეს პროცესი მიმდინარეობს რიზოსფეროში მცენარის მიერ (ექსუდატი) წვრილი უჯრედოვანი მილაკების და ფერმენტების გამოყენებით. ფესვის უჯრედული მილაკები, რომლებიც უზრუნველყოფენ სითხის გადაადგილებას (ორგანული მჟავები, სპირტები, შაქარი) აქვთ სტიმულაციური ეფექტი რაც უზრუნველყოფს მიკრობების აქტიურობას, ამრიგად იზრდება ბიოდეგრადაციის სიმძლავრე ბაქტერიებისა და სოკოების გამოყენებით [9].

ფიტოსტიმულაცია არის სიმბიოზური (სხვადასხვა სახეობის ორი ორგანიზმის თანაცხოვრება, რაც სასარგებლოა თითოეული მათგანისათვის) კავშირი მცენარესა და ნიადაგის მიკროორგანიზმებს შორის. მიკროორგანიზმების მიერ საკვები ნივთიერებების შეწოვა ხელს უწყობს, ნიადაგის გაუვნებელყოფას და ფესვის განვითარებას [10].

1.3. ფიტოექსტრაქცია

კვლევების შედეგად რამდენიმე მცენარე მკვრივად დამაბინძურებლების მძიმე ლითონების და რადიონუკლიდების შეთვისების და მასში დაგროვების შესაძლებლობა [11]. ეს პროცესი მიმდინარეობს მცენარის იმ ორგანოების მეშვეობით, რომლებიც ჰაერთან არიან შეხებაში (ფოთლები, ყვავილები, ხის ტოტები მერქანი და ა.შ.) [12], ამ მიზეზთა გამო მათ ჰიპერაკუმულატორი (გადაჭარბებულად დამგროვებელი) მცენარეები ეწოდებათ. ფონოლოგიური ციკლის ბოლოს (როდესაც ლითონების სორბცია არის დასახული) შესაძლებელია მცენარეების მოსავლის აღება და ამოღებული დამაბინძურებლების გაწმენდა [13].

ჰიპერაკუმულატორ მცენარეებს შეუძლიათ ნიადაგიდან დამაბინძურებელი ლითონი 500-ჯერ მეტი რაოდენობით ამოიღონ, ვიდრე ამას ჩვეულებრივი არაკუმულატორი მცენარეები აკეთებენ. ჰიპერაკუმულატორ მცენარეებს შეუძლიათ შეითვისონ მეტი, ვიდრე 10 მგ/კგ ვერცხლისწყალი, 100 მგ/კგ კადმიუმი, 1000 მგ/კგ სპილენძი, ქრომი, ტყვია და 10000 მგ/კგ თუთია [14] [15] [16].

ცნობილია 400-ზე მეტი სახეობის ჰიპერაკუმულატორი მცენარე, რომელნიც გაერთიანებულნი არიან 45 ოჯახში. აქედან ყველაზე მეტს წარმოადგენს ჯვაროსანთა ოჯახის (*brassicaceae*) მცენარეები. ყველა მცენარე არ უზრუნველყოფს მთლიანად მძიმე ლითონების ათვისებას. ზოგიერთი მცენარე ითვისებს მხოლოდ ერთ ელემენტს, ზოგი კი რამდენიმეს ერთად. მაგალითად ელემენტ თალიუმს არ მოეძებნება ჯერ-ჯერობით ისეთი მცენარე, რომელიც მას აითვისებს დიდი რაოდენობით, მაგრამ კარგად არის 2001

წლიდან შესწავლილი დარიშხანის შემთვისებელი მცენარეები, რომლებიც ძირითადად გვიმრის (*pterix vittata*) სახეობას მიეკთვნება [17].

ძირითადად არის ლითონების ჩამონათვალი (Cu, Cd, Zn, Ni, Pb, Se), რომლებიც ადვილად შეიწოვებიან მცენარის მიერ და არიან ლითონები (As, Co, Cr, Mn, Fe, U), რომლის შეწოვაც გართულებულია.

ფიტოექსტრაქცია ძირითადად დამყარებულია რამოდენიმე ფაქტორზე:

- ბუნებრივი და ხელოვნურად გამოწვეული დამაბინძურებლების ექსტრაქცია, რომელიც ემყარება ჟანგვა-აღდგენით პროცესებს, ნაერთთა ბმებს და ბიომეღწევადობას;
- ნიადაგის და დანალექი მყარი მასის ქიმიურ-ფიზიკური შემადგენლობა (pH, სტრუქტურა, კათიონის მოცულობითი გაცვლა და ა.შ.);
- მცენარის მორფოლოგიურ და ფიზიოლოგიურ აგებულებაზე (ფესვის მდგომარეობა, შეთვისების მოცულობა, ლითონების სინერგიზმზე (თანამშრომლობა, ხელის შეწყობა), ანტაგონიზმი (შეურიგებელი წინააღმდეგობა, ინტერესთა დაპირისპირება და ა.შ.) [18].

არსებობს ბიოლოგიური ათვისების კოეფიციენტი, რომელიც წარმოადგენს მცენარისა და ლითონის შეფარდებას ნიადაგსა და ლითონთან. ამოღებული დამაბინძურებლების მთლიანი შემცველობის შედეგების დადგენა შესაძლებელია, მცენარის მოსავლის ბიომასის ნამრავლით მცენარის მიერ ამოღებული ელემენტის კონცენტრაციაზე [19].

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, მძიმე ლითონების აბსორბციის და ტრანსპორტირების ერთ-ერთ საშუალებას ფესვები და მცენარის გარეთა ნაწილები (რომლებიც ჰაერთან შეხებაშია) წარმოადგენენ. შესაძლებელია რამდენჯერმე მოხდეს მცენარეების დათესვა და მოსავლის აღება მანამ, სანამ ნიადაგში მძიმე ლითონების კონცენტრაციის დონე არ გახდება სასურველი. ეს ტექნოლოგია თავისი ეკონომიური პერსპექტივით ძალზედ დიდ იტრერესს იწვევს ისეთ ქვეყნებში, როგორცაა: ა.შ.შ., კანადა, ავსტრალია და სხვა. რათქმა უნდა კომპანიები, რომლებიც ინდუსტრიულ საქმიანობას ეწევიან, ხშირად იყენებენ მცენარეებით გაწმენდის ტექნოლოგიებს მისი სიახვის, ეფექტურობის და ნაკლები სირთულეების გამო. ყველაზე მეტი ექსპერიმენტების ჩატარება დაიწყო 1996 წლიდან. ამ დროიდან მოყოლებული მეცნიერები ცდილობდნენ შეერჩიათ ისეთი ჰიპერაკუმულატორი მცენარე, რომელიც იმუშავებდა თუთია-კადმიუმის ელემენტების ამოღებაზე. ხოლო გენეტიკური ინჟინერიის განვითარების შემდეგ მეცნიერებმა შექმნეს ისეთი მცენარეები, რომლებსაც აქვთ დიდი ბიომასა და შეუძლიათ ამ ელემენტების დიდი რაოდენობით შეთვისება ნიადაგიდან [20].

1.4. მცენარეში მინერალური ნივთიერებების შთანთქმა და დაგროვება

მინერალურ ნივთიერებათა ჭარბმა რაოდენობამ მცენარეზე შეიძლება მოახდინოს ტოქსიკური ზემოქმედება, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც ერთი რომელიმე ელემენტია ჭარბი რაოდენობით და არა მთელი კომპლექსი. ბუნებაში ასეთი რამ ხდება დამლაშებულ ნიადაგებზე, თაბაშირის შემცველ ნიადაგებზე, რუდერალურ ადგილებში. განსაკუთრებით მძიმე მეტალების შემცველ ნიადაგებზე და კარიერების სიახლოვეს სადაც დიდი რაოდენობითაა Zn, Pb, Cr, Ni, Co, Cu და სხვა. მცენარეთა ცოტა სახეობაა შეგუებული ასეთ პირობებს. შეგუების ეს მექანიზმებია ჭარბი რაოდენობის ელემენტების მხოლოდ მცირე რაოდენობის შეთვისება, შეთვისების შემდეგ ჭარბი ელემენტების განეიტრალება მათი დალექვის, ან უჯრედის წვენში იზოლაციის გზით. ამასთან არის ისეთი სახეობები მცენარეებისა, რომლებიც ამჟღავნებენ ძლიერ მდგრადობას მძიმე ელემენტების მიმართ. ამიტომ მძიმე ლითონების შემცველი ნიადაგების ინდიკატორი მცენარეებიც სხვადასხვაა [21].

მძიმე ლითონები მაინც ახდენენ ზეგავლენას გარემოზე, ადამიანსა და ცოცხალ ორგანიზმებზე, ასე მაგალითად ეს ელემენტებია: კადმიუმი, ქრომი, კობალტი, სპილენძი, ოქრო, ტყვია, მანგანუმი, ვერცხლისწყალი, მოლიბდენი, ნიკელი, პალადიუმი, პლატინა, რადიუმი, ვერცხლი, თალიუმი, კალა, ვანადიუმი, და თუთია. სხვა მძიმე ელემენტებიდან გამოირჩევიან მეტალოიდები: ბორი, დარიშხანი და სტიბიუმი; არამეტალებისგან: სელენი; აქტინოიდებიდან: ურანი; ჰალოგენებიდან: იოდი და ფტორი.

მძიმე ლითონებს ზოგჯერ მოიხსენიებენ, როგორც ტოქსიკურს და ტრას მეტალებს (კვალის სახით არსებული ლითონები), მძიმე და ტოქსიკური ლითონების ჯგუფში შედარებით ნაკლები ელემენტები ერთიანდებიან, ხოლო ტრას ლითონების ჯგუფი მნიშვნელოვნად დიდია. ტრას ჯგუფში გაერთიანებული ზოგიერთი ელემენტი კი არ წარმოადგენს ცოცხალი ორგანიზმებისათვის საშიშროებას. ამ ჯგუფიდან შეიძლება გამოიყოს შვიდი ელემენტი, რომელიც აუცილებელია ნიადაგის, მცენარის, ადამიანის და ცოცხალი ორგანიზმების ნორმალური ზრდა განვითარებისათვის, ეს ელემენტებია: რკინა, მანგანუმი, ქლორი, თუთია, ბორი, სპილენძი და მოლიბდენი. მცენარის ზრდა განვითარება, რომ ნორმალურად მიმდინარეობდეს, ამისთვის აუცილებელია ნიადაგში რკინისა და ქლორის შემცველობა, რომელიც არ უნდა აჭარბებდეს ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციას [22].

მძიმე ლითონები შეიძლება ბუნებრივად იყოს ნიადაგის შემცველობაში. უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ ნიადაგში მათ დაგროვებას ხელს უწყობს ბუნებრივი და ანთროპოგენური ფაქტორები. ძირითადად ბუნებრივი ფაქტორებიდან აღსანიშნავია ამინდის ზემოქმედება, ვულკანების ამოფრქვევა, ტყის საფარის გადაწვა და ბიოგენური წყაროები. ანთროპოგენური ფაქტორებიდან აღსანიშნავია:

- ბუნებრივი მინერალებისა და რესურსების საბადოების გადამუშავება (მაგ. ნახშირი, ნავთობი, ფერადი ლითონები და ა.შ.), გამამდიდრებელი და ლითონთა შენადნობების დამამზადებელი ქარხნები, ცემენტის წარმოება, სასუქის დამამზადებელი ქარხნები, ნარჩენების დაწვა და ნედლი ხის დაწვა;

- მიწის გამოყენება საკანალიზაციო ნარჩენების, ცხოველების ნაკელის და სხვა ორგანული ნარჩენების გამოყენება სასოფლო სამეურნეო საქმიანობაში;

- მიწის განკარგვა საწარმოო ნარჩენებისა და სხვადასხვა თანამდევი პროდუქტების, მათ შორის ინდუსტრიული ქაღალდის ნარჩენები, ქვანახშირის ნაცარი, ხის ნახშირი (რომელიც ადვილად გადაიტანება ქარის მიერ);

- სასუქების, კირის და პესტიციდების გამოყენება სასოფლო სამეურნეო დანიშნულებისათვის [23].

მსოფლიო მასშტაბით ატმოსფეროში მავნე ნივთიერებების გამოყოფა 1980 წლიდან დაახლოებით 50-დან 80 %-მდე გაიზარდა, რომელიც საბოლოო ჯამში ნიადაგში ილექება. ევროპის განვითარებული ქვეყნები და შეერთებული შტატები აქტიურად მუშაობენ ატმოსფეროში მავნე ნივთიერებების გამოყოფის შემცირებაზე, ამ მუშაობისა და კვლევების შედეგად ვერცხლისწყლის, კადმიუმის და ტყვიის გამოყოფა საშუალოდ 10-ჯერ შემცირდა 1970-იან წლებთან შედარებით. მავნე ემისიებიდან ყველაზე საშიშია დარიშხანი, კადმიუმი, ვერცხლისწყალი და ტყვია. დარიშხანი ძირითადად სასმელი წყლის საშუალებით ხვდება ორგანიზმში და იწვევს კანის ძლიერ დაავადებებს, ვერცხლის წყალი საკვების საშუალებით, ძირითადად თევზებშია აღმოჩენილი მეთილ ვერცხლისწყლის სახით, რომელიც ყველაზე საშიში ნივთიერებაა. კადმიუმი ძირითადად საკვების მეშვეობით ხვდება ორგანიზმში, ნიადაგში მისი შემცველობისას საკვები მცენარეები დიდი რაოდენობით ითვისებენ კადმიუმს [24].

კადმიუმი ითვლება ყველაზე ძლიერ კანცეროგენად (მომწამვლელად), ორგანიზმში მისი მოხვედრისას ძნელად გამოიდევენება და იწვევს მწვავე თირკმელების ფუნქციის დარღვევას. ასე მაგალითად ნიადაგში როდესაც კადმიუმის შემცველობა მაღალია ბრინჯი დიდი რაოდენობით და უფრო სწრაფად იგროვებს ამ ელემენტს, ვიდრე რკინას თუთიას და კალციუმს, საბოლოო ჯამში კი ადამიანის ორგანიზმში მოხვედრისას თორმეტგოჯა ნაწლავის მიერ შთაინთქმება ეს ელემენტი, იწვევს ორგანიზმის გამოფიტვას და ჯამრთელობისათვის არასასურველ შედეგებს [25].

ამავე დროს უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ მიკროელემენტების ნაკლებობა ნიადაგში აფერხებს მცენარის ზრდა განვითარებას. Co, Cu, I, Fe, Mn, Se და Zn ნიადაგში ამ ელემენტების ნაკლებობის გამო მცენარე ძალიან მცირე რაოდენობით ითვისებს ამ მიკრო ელემენტებს რაც საბოლოო ჯამში პირუტყვზე აისახება, რადგან ისინი ვერ იღებენ სათანადო მიკრო ელემენტებს მცენარეების საშუალებით [26].

1.5. წყლის გადაადგილება მცენარეში

მცენარეთა უჯრედები შედგებიან ელემენტარული ნაწილაკებისაგან (პროტონების, ელექტრონების, ნეიტრონების, ფოტონების); ბიოელემენტების (წყლის, ორგანოგენების); იონების; მიკროელემენტების და მოლეკულურ სტრუქტურული ერთეულებისაგან (ნახშირბადი, ცხიმები, ცილები, ფოსფატები, 20 ამინომჟავა და 5 ნუკლეინური ფუძე). უჯრედის სტრუქტურებს შორის მეტალები განაწილებულია შემდეგნაირად: რიბოსომები; ბირთვი; ქლოროპლასტები; მიტოქონდრიები; ვაკუოლები; უჯრედის კედელი [27].

მეტალებისა და მეტალოიდების განსაზღვრული კონცენტრაციის გადაჭარბება ტოქსიკურად და ანტიტოქსიკურად მოქმედებს ცოცხალ ქსოვილებსა და ორგანიზმზე. მიკრო და ულტრა მიკროელემენტები შედიან ხელატების შედგენილობაში და მონაწილეობას ღებულობენ მცენარეში მიმდინარე ნივთიერებათა ცვლაში. ხელატები-ციკლური შედგენილობის შიდა კომპლექსური ორგანული ნაერთებია, რომლებიც თავის მოლეკულაში შეიცავენ რომელიმე მეტალის იონს და მონაწილეობენ რგოლის წარმოქმნაში. ხელატის წარმოქმნა ხელს უწყობს ლითონების მოძრაობას მცენარეთა სხეულში მონაწილეობას ღებულობენ ელემენტების გადატანაში კატალიზურად აქტიურ ცილებს შორის.

უჯრედის მიერ ნივთიერებათა შთანთქმა შედარებით ამორჩევითია მხოლოდ განსაზღვრული ნივთიერებები განიცდიან დესორბციასა და გამოიდევნიან უჯრედიდან გარემოში. ასეთი ამორჩევითობა ცოცხალი მატერიის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი თვისებაა, რომელიც წარმოიშვა და დამკვიდრდა სიცოცხლის განვითარების პერიოდებში. ფოთლის კულტურა სორბციული თვისებები მსგავსია კათიონცვლის. დადგინდა, რომ არაფესვური გამოკვლევებისას ნივთიერებები საკმაოდ სწრაფად და იოლად შეაღწევენ ფოთლის უჯრედებში. ისიც დადგინდა, რომ ფოთლებში ნივთიერებები აღწევენ არა ბაგეების არამედ კუტიკულების გავლით.

მცენარე შედგება სხვადასხვა ორგანოებისაგან, რომლებიც ასრულებენ სხვადასხვა ფუნქციას, ვინაიდან ფოთლებში ხდება ორგანულ ნივთიერებათა სინთეზი. წყალი და მინერალური ნივთიერებები ფოთლებისაკენ მოძრაობენ ქვემოდან ზემოთ. ფესვები საჭიროებენ ორგანულ ნივთიერებებს სუნთქვისა და ზრდის პროცესის წარმართვისთვის. მკვებავი ნივთიერებები მოძრაობენ ფოთლებიდან ფესვებისაკენ. ყვავილი, ნაყოფი და მზარდი ნაწილი წარმოადგენენ ორგანულ ნივთიერებათა მომხმარებლებს. სასიცოცხლო ციკლში ჩართულ ორგანულ ნივთიერებათა ნაწილი გადაინახება მარაგად. ყოველივე ეს კი საჭიროებს მცენარეში წყლისა და მასში გახსნილი ნივთიერებების მოძრაობას. ეს ხდება ორი გზით დიფუზიითა და მიმართული გადაადგილებით. ხე მცენარეებში წყალი და მასში გახსნილი მინერალური ნივთიერებები მოძრაობს ფესვებიდან ფოთლებისაკენ, ხოლო ორგანული ნივთიერებები ყვავილებისა და ნაყოფისაკენ [27] [28].

1.6. მიკრო ელემენტები: ნიადაგის ქიმია, პრინციპები და პროცესები

რამდენიმე მიკრო ელემენტის შემცველობა ბუნებრივად არის ნიადაგში ჩამოყალიბებული. მათი დაბალი კონცენტრაციაც კი მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ბიოლოგიურ პროცესებსა და ცოცხალი ორგანიზმების არსებობაში. როგორც წინა თავში ავლნიშნეთ მიკრო და მაკრო ელემენტების ნიადაგში ხელოვნურად მოხვედრის მრავალი გზა არსებობს ესენია: გადახსნილი ღია კარიერები, სასუქების წარმოება და მათი ჭარბი შეტანა ნიადაგში, კირქვული მასალები და მათი გადამამუშავებელი საწარმოები, საკანალიზაციო ნარჩენები, ნაკელი, პესტიციდები, ნახშირის გადამამუშავება, ლითონთა შენადნობების დამამზადებელი საამქროები, საწარმოო და ტრანსპორტის ფუნქციონირების შედეგად გამოყოფილი მავნე ნივთიერებების შემცველი გამონაბოლქვი (მავნე ემისიები). სამრეწველო ქვეყნებში ლითონების და მავნე ემისიების გავრცელების ყველაზე დიდი მარაგი დაბინძურებულ ატმოსფერულ ჰაერს გააჩნია [29].

მიკრო და მაკრო ელემენტების ჭარბი შემცველობა გარდაიქმნება ტოქსიკურად და ამის არა ერთი მაგალითი არსებობს ჩვენი უახლოესი წარსულიდან. თუ გავიხსენებთ 1950 წელს იაპონიაში მინამატას რეგიონში, ქიმიური საწარმოს გაუმართაობის გამო მდინარის წყალში დიდი რაოდენობით მოხვდა მეთილვერცხლისწყალი, რამაც გამოიწვია უამრავი სახის დაავადება, ძირითადად ამ დაავადებებით მეთევზეები და მათი ოჯახები იყვნენ დაავადებულები, რადგან ეს ნივთიერება მდინარის თევზებში და მოლუსკებში დიდი რაოდენობით იყო დაგროვილი. ეს დაავადებები კი „მინამატას დაავადების“ სახელით არის ცნობილი. ხოლო ამავე წელს ისევ იაპონიაში ოლონდ ამჯერად ტოიამას რეგიონში მოხდა დიდი რაოდენობით კადმიუმის ჩაჟონვა ნიადაგსა თუ წყალში. რამაც სავალალო შედეგი გამოიწვია ამ რეგიონის მოსახლეობისათვის, რის გამოც ადამიანებს განუვითარდათ ძვლის დაშლა, დაავადებულები საშინელ ტკივილს იტანდნენ, რასაც არავითარი წამალი არ უყურებდათ. ეს დაავადება „იტაი-იტაის“ სახელით არის ცნობილი, რისი თარგმანიც ქართულად ჟღერს, როგორც „მტკივა-მტკივა“.

ლითონების გამოტუტვა და მცენარის მიერ მათი ათვისება ძირითადად დამოკიდებულია ნიადაგის მთლიან შემცველობაზე. მათი აქტიური გადამოდრავება დამოკიდებულია ფიზიკო-ქიმიურ ფორმაზე და ადგილობრივ გარემოს მდგომარეობაზე. მნიშვნელოვანია ისიც რომ ტოიამას (იაპონია) ბრინჯის ბაღებში კადმიუმის საშუალო შემცველობა ნიადაგში შეადგენდა 5 მგ/კგ, მაშინ როდესაც შიფამში (ინგლისი) და სტოლბერგში (გერმანია) ამავე ლითონის შემცველობა 50-150 მგ/კგ შეადგენდა. ამ რეგიონების ნიადაგები პარადოქსულად განსხვავდებოდა ერთმანეთისაგან, ტოიამას ნიადაგის pH ძალზედ დაბალი იყო, რის გამოც მცენარეები ძალზედ დიდი რაოდენობით ითვისებდნენ ნიადაგიდან კადმიუმს, ხოლო შიფამში და სტოლბერგში ნიადაგის pH ნეიტრალური იყო, ამიტომაც ბოსტნეული შეზღუდული რაოდენობით ითვისებდა კადმიუმს. ლითონების მიგრაციასა და ათვისებას უამრავი

ფაქტორი გააჩნია, თითოეული რეგიონის ნიადაგებისათვის შეიძლება სხვადასხვა გასაღები იყოს მორგებული, რომელიც მხოლოდ გარკვეული რეგიონისთვისაა დამახასიათებელი. ამ გასაღების მოსაძებნად კი საჭიროა ნიადაგების ფიზიკო-ქიმიური მახასიათებლების სრული შესწავლა [30].

ამგვარად ნიადაგის ხსნარებში და მიწისქვეშა წყალში ლითონები ძირითადად წარმოქმნიან სუსპენზიებს და კოლოიდებს. ნიადაგის ხსნარის ფაზაში გვხვდება შემდეგი სახის ნაერთები:

- თავისუფალი იონები;
- არაორგანული ნაერთები;
- ორგანული ნაერთები;
- სუსპენზიური კოლოიდური ნაერთები.

ნიადაგის შემცველი მყარი ფაზა შედგება ქვემოთ ჩამოთვლილი ნაერთებისაგან:

- ზედაპირზე მიმდინარე ნივთიერებათა ცვლის შედეგად წარმოქმნილი ნაერთები;
- ორგანული ნივთიერებების კომპლექსი;
- ადსორბციული და აბსორბციული რკინისა და მანგანუმის ჰიდრატირებული ოქსიდები;
- ადსორბციული და აბსორბციული კარბონატები;
- უხსნადი კარბონატები, ფოსფატები და სულფატები;
- მინერალების სტრუქტურული კომპონენტები.

ნიადაგში ძირითადად გვხვდება იონები ერთმანეთის მსგავსი ჰიდრატირებული კათიონების სახით. როგორც წესი ამ კათიონებს გარშემო შემორტყმული აქვთ ექვსი წყლის მოლეკულა და ქმნიან ოქტაედრს. ასე მაგალითად ნიადაგში თუთიის იონები შემდეგი სახით არსებობს $Zn(H_2O)_6^{2+}$ მაგრამ ხმარებაში გავრცელებულია Zn^{2+} -ის ჩაწერა, სადაც ჰიდრატირებული წყალი იგულისხმება [31].

სორბცია (მაგარი სხეულის ან სითხის მიერ ნივთიერების შთანთქმა გარემოდან). და დესორბცია (სორბციის საპირისპირო პროცესი).

1.7. ნიადაგის ბიოლოგიურად მყარ ფაზაში მძიმე ლითონების ხელმისაწვდომობა

გარემოში მცენარის მიერ მძიმე ლითონების შეთვისება დამოკიდებულია დინამიური წონასწორობის საფუძველზე, რომელიც წარმოადგენს სორბციას-დესორბციას, დალექვას-გახსნას, ჟანგვა-აღდგენას, მცენარის აბსორბციას და ორგანული ნივთიერებების მინერალიზაციას ნიადაგის მყარი და თხევადი ფაზის მეშვეობით. მძიმე ლითონების ტრანსპორტირება დინამიკური და ინტერაქტიული პროცესების დროს საუკეთესოდ წარმოჩინდება მასის ბალანსის მოდელის საშუალებით და

კონკრეტულ ადგილობრივ მდგომარეობაზე, როგორცაა მთლიანი ელემენტების კონცენტრაცია, ნიადაგის pH, ნიადაგის ორგანული შემადგენლობა და ნიადაგის სტრუქტურა. მცენარისათვის მძიმე ლითონების კონცენტრაცია და ნიადაგში pH უფრო მნიშვნელოვანია ვიდრე ორგანული ნივთიერებების შემცველობა და ნიადაგის სტრუქტურა [32].

როგორც ჩანს ელემენტებს გააჩნიათ მათთვის დამახასიათებელი ქიმიური ბარიერი, ამიტომ შერჩევითობის პოტენციალის გამოც შეზღუდულია ნიადაგიდან მცენარეში ტოქსიკური ელემენტების გადაცემა. მცენარეს გააჩნია დაბალი შთანთქმის უნარი ქრომის და ტყვიის მიმართ, შედარებით მაღალი კი კადმიუმის, სპილენძის ნიკელის და თუთიის მიმართ. ქრომი და ტყვია ძირითადად განიცდის დაგროვებას მცენარის ფესვებში, ხოლო ფოთლებში, ხილსა და თესლში შედარებით ნაკლებად გვხვდება. მცენარეში ტოქსიკური ლითონების შთანთქმა შემდეგნაირად იზრდება $Pb < Cr < Hg < Cu < Ni < Zn < Cd < Mo < Tl$. მცენარე ასევე კარგად ითვისებს კადმიუმს, სპილენძს, ნიკელს და თუთიას ნიადაგის ბიოლოგიურად მყარი ფაზიდან [33] [34].

ბიოლოგიურად მყარ ფაზაში ტოქსიკური ლითონების ქიმიური ფორმაცია და მათი შეღწევადობა მცენარეში შესაძლებელია შეიცვალოს ნიადაგში არსებული წყლის აორთქლებისა და კომპოსტირების პროცესების მეშვეობით. არსებობს ზოგადი წესი, რომელიც გულისხმობს შემდეგს საკანალიზაციო და საწარმოო ჩამდინარე წყლები ბიოლოგიურად მყარ ფაზაში წარმოქმნის მთელ რიგ ტოქსიკურ ელემენტთა კომპლექსურ ფორმებს, ნიადაგის გამოყენებისას კი მათი შეღწევადობა მცენარეში მკაცრად ლიმიტირებულია. ორგანული ნივთიერებების შემცველობა და რკინის, მანგანუმის და ალუმინის ჰიდროქსიდები ზრდიან ნიადაგის ბიოლოგიურად მყარ შემადგენელ ნაწილში მძიმე ლითონების სორბციის პროცესს. უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ არაორგანული მინერალებიც დიდ წვლილს ასრულებენ იგივე პროცესში, მათ მნიშვნელოვანი როლი უჭირავთ ლითონების ზღვრულად განსაზღვრულ ფიტომეღწევადობაზე, ვიდრე ორგანული ნივთიერებების შემცველობას ნიადაგში [35].

უნდა აღინიშნოს, რომ ნიადაგში არსებულ ბიოლოგიურად მყარ ფაზაში შთანთქმულ მძიმე ლითონებს შეუძლიათ კარგად გადამოდრავება. რაც განაპირობებს მცენარის მიერ მათ შთანთქმასა და დაგროვებას. თუ განვიხილავთ კადმიუმს დავინახავთ, რომ მცენარეში მისი შეღწევადობა იზრდება საგრძნობლად მაშინ რა დროსაც ნიადაგში მცირდება ორგანული კარბონატების შემცველობა [36] [37].

მცენარეში მიკრო და მაკრო ელემენტების შეღწევადობა დამოკიდებულია ნიადაგში ელემენტების ბუნებრივ შემცველობაზე, თესლის სახეობაზე, ნიადაგის და ბიოლოგიურად მყარი ფაზის შემადგენლობაზე, ასევე ფიტომესაძლებლობაზე, მაგრამ გასათვალისწინებელია ის გარემოება, რომ დაბალი ფიტომეღწევადობა არ შეიძლება გარანტიად ჩავთვალოთ უსაფრთხო საკვები პროდუქციის წარმოების თვალსაზრისით [38].

1.8. მცენარის რეაგირება მძიმე ლითონებზე

ჰიპოთეზურად მძიმე ლითონების კონცენტრაციას ნიადაგში მცენარის ზრდა განვითარებისთვის განსხვავებული შედეგები მოაქვს, თუ ლითონებით დატვირთვა არ არის შეზღუდული. იმ ბარიერის მეშვეობით, რომლის მოქმედებითაც მცენარე ლიმიტირებულად იღებს ლითონებს. ამ მხრივ მცენარეების სახეობების მიერ მძიმე ლითონების ამოღება შესაძლებელია იყოს ბარიერულიც კი როცა მთლიანი ელემენტების შემადგენლობა ნიადაგის ბიოლოგიურად მყარ ფაზაში წარმოდგენილია საგანგაშოდ მაღალი შემცველობით. ფიზიოლოგიური მექანიზმის მიხედვით მცენარეს მიწის ზემოთ მყოფი ორგანოების ქსოვილების მეშვეობით შეუძლია რეგულარულად, როგორც ამოიღოს მძიმე ლითონები, ასევე დაბლოკოს და მათი ტრანსლოკაცია მოახდინოს. მცენარეს მექანიზმის მიხედვით შეუძლია შეამციროს მძიმე ლითონების ამოღება, როცა მათი შემცველობა ნიადაგში მაღალია, რაც მოიცავს ლიმიტირებულ გადაადგილებას ფესვიდან ღეროსა და ფოთლებისკენ, პასუხისმგებლობა ამ დროს მოდის გადამტანი სისტემის ინტენსივობაზე, რაც განაპირობებს ელემენტების ტრანსპორტირებას ფესვისა და მისგან გვერდის ავლის მეშვეობით.

მცენარის ქსოვილის მიერ გადაჭარბებული რაოდენობით მიკროელემენტების გამოყენება იწვევს მოკლე ვადით ნიადაგის pH გაზრდას, იზრდება განზავება და იონების მონაწილეობის ეფექტი. ნიადაგის ზედა ფენებიდან მცენარე ფესვის მეშვეობით იღებს სხვადასხვა სახის ელემენტებსა და საკვებ ნივთიერებებს, შემდეგ მათ ანაწილებს მცენარის სხვადასხვა უჯრედებში მოკლე დროით. ჭარხალში, სტაფილოსა და ქერში კადმიუმი-თუთიის ათვისება იზრდება ნიადაგში ამ ელემენტების შემცველობის პროპორციულად [39].

1.9. მძიმე ლითონებით დაბინძურებული ნიადაგის ფიტორემედიაცია

ფიტორემედიაცია მოიცავს სხვადასხვა სახეობის მცენარის გამოყენებას, რათა შემცირდეს ნიადაგის დაბინძურებით გამოწვეული უარყოფითი რისკები გაწმენდის ამ მეთოდის საშუალებით. ნიადაგში არსებული ელემენტების კავშირი მიმართულია ფიტოექსტრაქციისაკენ, ფიტოარასტაბილურობისკენ და ფიტოსტაბილურობისკენ. ფიტოექსტრაქცია მოიცავს მცენარეების გაზრდას და მათი მოსავლის აღებას, ხოლო გამოყენებული მცენარის ორგანიზმში დიდი რაოდენობით აკუმულირდება მძიმე ლითონები, რაც დაბინძურებული ნიადაგის გაწმენდის საშუალებას იძლევა. ფიტოარასტაბილურობისას გამოიყენება მცენარეები და ნიადაგის მიკრობები (ბაქტერიები), რომ მოახდინოს ნიადაგში მძიმე ლითონების (მაგ. Se, Hg და ა.შ.) ტრანსფორმაცია არასტაბილურ ფორმებად. ფიტოსტაბილურობისას გამოიყენება ნიადაგში ცვლილებების შეტანა, რომელიც იწვევს მეტალების ქიმიურ ფორმაციის

შეცვლას, რაც აძლევს მათ ნაკლებ ფიტომელწევადობის ან ბიომელწევადობის უნარს. მცენარეების გამოყენება ეროზიის წინააღმდეგ საბრძოლველი პრევენციაა და ფართო გაგებით საწინდარია მდგრადი ეკოსისტემის დასაცავად, რაც აგრეთვე ფიტოსტაბილურობის ნაწილიცაა. ეს თანამედროვე მიდგომები განიხილება, როგორც „მწვანე“ ტექნოლოგიები, გადამუშავების დაბალი ფასით და სასოფლო სამეურნეო პრაქტიკაში დამკვიდრებით [40].

ყველაზე დიდი წინსვლა რაც კი შეიგრძნობა ბოლო ოცი წლის განმავლობაში არის ის, რომ ფიტორემედიაციის გაგება ნელ-ნელა იხვეწება, ვითარდება და დედამიწის ფართო მასშტაბებზე ვრცელდება. რადგანაც ფიტოექსტრაქციის ეფექტურობა დამოკიდებულია ლითონების შთანთქმაზე და მთელი წლის განმავლობაში მოწეულ მცენარის ბიომასაზე. იშვიათია მცენარე, რომლის ორგანოებიც ლითონების ჰიპერაკუმულაციით (ლითონების გაძლიერებული შეწოვით) ხასიათდება, მცენარის ასეთი თვისება კი განსაკუთრებით ღირებულია ფიტორემედიაციისას. სიტყვა ჰიპერაკუმულაცია ენაში პირველად 1977 წელს დამკვიდრდა, ხოლო ფიტოექსტრაქცია 1983 წელს. პირველი კვლევების მიხედვით შემოთავაზებული იყო სხვადასხვა სახეობები, რომლებიც მშრალ წონაზე გადათვლით, თუთიას და მანგანუმს დაახლოებით 10 000 მგ/კგ- მდე ითვისებდნენ; ნიკელს, კობალტს, ტყვიას და დარიშხანს კი 1000 მგ/კგ-მდე; ხოლო კადმიუმს 100 მგ/კგ-მდე. ასეთ მცენარეებს მეცნიერებმა ჰიპერაკუმულატორი მცენარეები უწოდეს. რა თქმა უნდა ასეთი მცენარეების მიერ შეთვისებული ლითონების კონცენტრაციები საშუალოდ 100-ჯერ უფრო მაღალია, ვიდრე ჩვეულებრივ მცენარის სახეობებში [41].

მეცნიერების მიზანი გახდა შეისწავლონ ლითონთა რა მაქსიმალური კონცენტრაციის შეთვისების შესაძლებლობა შესწევს მცენარეს. ამ კვლევების განხორციელებისას მეცნიერები უამრავ სირთულეებს აწყდებიან განსაკუთრებით მაშინ, თუ კვლევები სავეგეტაციო ჭურჭლებში არ მიმდინარეობს და საკვლევ ტერიტორიაზე ხორციელდება. თუ ავიღებთ ელემენტ ნიკელს და გადავხედავთ მასზე ჩატარებულ კვლევებს ვნახავთ, რომ მაქსიმალური რეკორდული დონე რაც მკვლევარების მიერ არის დაფიქსირებული მცენარის მშრალ მასაზე გადათვლით შეადგენს 1000 მგ/კგ-ს.

კვლევების დროს დიდი მნიშვნელობა აქვს, როგორ გარემოში იზრდება მცენარე სავეგეტაციო ჭურჭლებში სადაც ხელოვნურად არის ნიადაგი შეტანილი და რომელსაც დამატებული აქვს ბუნებრივი საკვები ნივთიერებები, თუ ბუნებრივ გარემოში სადაც უამრავი ფაქტორი მოქმედებს ჰიპერაკუმულატორ მცენარეებზე, როგორებიცაა ნიადაგის შემადგენლობა მისი ტიპები და სხვა, ასევე დიდი მნიშვნელობა აქვს ბუნებრივ გარემოში ელემენტთა ნაკრებით დაბინძურებულ ნიადაგებში ფიტორემედიაციულ კვლევების ჩატარებას და მათ განხორციელებას. ბევრი კვლევა აჩვენებს, რომ კადმიუმის ჰიპერაკუმულაციის განხილვა ცალკე განყენებულად უაზრობას წარმოადგენს, რადგან ნიადაგში გენეტიკურად კადმიუმის კონცენტრაცია 100-ჯერ ნაკლებია თუთიის შემცველობაზე.

თუთიის მეშვეობით კადმიუმის ათვისების შემცირება ფიტოექსტრაქციის პრაქტიკის ერთ-ერთი გზაა. თუ მოსავლის მომცემი მცენარე 25%-ით ამცირებს თუთიას (500 მგ/კგ-ზე) ნიადაგში, მაშინ კადმიუმის შემცველობა საშუალოდ შეადგენს 5 მგ/კგ-ს, ეს კვლევა ჩატარებულია ბუნებრივ გარემოში სადაც ნიადაგი დაბინძურებული იყო ელემენტთა მრავალი სახეობით. ამიტომ ძალზედ განსხვავებულია სავეგეტაციო ჭურჭლებში ჩატარებული კვლევებისაგან, სადაც მეცნიერებმა დაადგინეს, რომ მცენარე 100 მგ/კგ კადმიუმს ითვისებს [42].

ფიტოექსტრაქცია მთლიანად აკმაყოფილებს დაბინძურებული ტერიტორიის გაწმენდის მოთხოვნებს, მიმდინარე პროცესებითაც და ფასის ეფექტურობითაც. ფიტორემედიაციული ტექნოლოგიების დანერგვით გარემოში მცირდება ადამიანისა და ბუნების მიმართ მოქმედი უარყოფითი რისკ ფაქტორები. ფიტორემედიაციის დროს ფინანსები ძირითადად იხარჯება მოსავლის დათესვასა და აღებაში, რისთვისაც ძალზედ ნაკლები თანხაა საჭირო ვიდრე ნიადაგის (ჩვეულებრივი) კლასიკური გაწმენდის მეთოდების გამოყენებისას [43].

ზოგიერთი მეცნიერი და მკვლევარი ცდილობს ისეთი ფიტოტექნოლოგიები შეისწავლოს, რომელიც იქნება დაბალ ღირებულები და მოგებასაც მოუტანს ბიზნესის განვითარების კუთხით. ასე მაგალითად: ტირიფის გამოყენებით შესაძლებელია ენერგეტიკული პლანტაციების მოშენება, რომელიც კადმიუმის საუკეთესო ამომღებია და ამ ელემენტით დაბინძურებულ ნიადაგებზე მისი მოშენება ერთობ ხელსაყრელია. ფიტორემედიაციის ნაკლები ფასის მოდელები ზოგჯერ მისაღებია ფერმერებისათვის. ამერიკაში, ევროპის მრავალ ქვეყანაში, იაპონიაში და ჩინეთში ბევრ ფერმერს აწუხებს მათ ფერმერულ ტერიტორიაზე კადმიუმის მაღალი შემცველობის დონე. ასეთ ადგილებში წარმოებულ ხილ-ბოსტნეულში იკრძალება კადმიუმის მაღალი კონცენტრაციის შემცველობა, ამიტომ ფერმერებს თვითონ უწევთ მეცნიერებთან ერთად იზრუნონ ისეთი ტექნოლოგიის დანერგვაზე, რომელიც შეამცირებს კადმიუმის დონეს მათსავე სამეურნეო ნაკვეთებში. უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ მთავრობებს არ შესწევთ უნარი ყველა ფერმერს გადაუხადონ თანხა მათი ნაკვეთების სხვადასხვა დამაბინძურებლებისაგან გასაწმენდად.

ფიტოექსტრაქციის ტექნოლოგია ძირითადად ნიკელის ამოღებაზეა ფას ეფექტური. მცენარეების დაწვით იღებენ ნიკელის შემცველ ნაცარს, რომელიც შეუძლიათ გამოიყენონ სილიკატებისა და სხვა პროდუქციის დასამზადებლად. სხვა ლითონების ამოღებისთვის მცენარისა და ნაცრის ბიომასის გამოყენება ხშირ შემთხვევაში არამდგრადია. ასე მაგალითად კადმიუმის ფიტოექსტრაქციას აქვს უარყოფითი მხარე, თანხა რომელიც საჭიროა კადმიუმისა და თუთიის ამოღებისათვის ზოგჯერ აღემატება წინასწარ გამოთვლილ ციფრებს, მსგავსადაა საქმე ტყვისა და დარიშხანის შემთხვევაში. რაც შეეხება ფიტოექსტრაქციული ბიომასის გამოყენებას იგი არ წარმოადგენს რთულ საქმეს [44].

ერნესტის განმარტებით სიტყვა „ჰიპერი“ ფიტოექსტრაქციაში ჰიპერაკუმულაციის გამოყენებისას სწორად არის ხაზგასმული. ბევრი ვინც ატარებს კვლევებს ჰიპერაკუმულაციაზე არ ითვალისწინებს ნიადაგში არსებულ ქიმიურ ლითონთა კომპლექსებს და რთულ პოლივალენტურ კათიონების გადაადგილებას მცენარის მემბრანებში. თითქმის შეუძლებელია შედეგის მიღწევა ტყვიის, ქრომის, სპილენძის და სხვა მნიშვნელოვანი მძიმე ლითონების ფიტოექსტრაქციისას, რადგან ისინი ნიადაგში არიან მეტისმეტად უხსნადნი ან დაგროვილია (შენახულია) მცენარის ფესვებში. ხელოვნურად ხელატური აგენტების დამატება, იმ მიზნით, რომ გაიზარდოს ფიტოექსტრაქცია არასოდეს წარმოადგენდა კარგ იდეას, რადგან ეს ნივთიერებები იწვევენ მძიმე ლითონების გამოტუტვას მიწისქვეშა წყლებში და წარმოადგენს ძვირად ღირებულ მეთოდს. გამომდინარე აქედან ბევრი ლითონის მიმართ ფიტოსტაბილურობის შესაძლებლობა უფრო მაღალია ვიდრე ფიტოექსტრაქციის [45] [46].

ნიკელითა და თუთიით დაბინძურებული ნიადაგი არის მზად მცენარეების საშუალებით მოხდეს მისი დაუყოვნებლივ გაწმენდა, რაც შესაძლებელია კარბონატულ და განოყიერებულ ნიადაგებში. ფიტოექსტრაქციისას მცენარეები უნდა გამოირჩემოდნენ ლითონების მიმართ მაღალი ტოლერანტურობით და შთანთქმის მაღალი კონცენტრაციით. რადგან მწვანე ტექნოლოგიის არაჩვეულებრივი პოტენციალი მიიღწევა ნიადაგის გაწმენდით. მრავალი კვლევის შედეგად განვითარდა მეტალების ჰიპერაკუმულატორი სახეობების გენეტიკა, და ფიტოექსტრაქციის ბიოლოგიური და ბიოქიმიური მიდგომები. გარკვეული პერიოდის მანძილზე მეცნიერები ფიტოექსტრაქციის გასაზრდელად აქტიურად იყენებდნენ ხელატურ ნივთიერებებს, რაც მიწისქვეშა წყლებზე უარყოფითად აისახება [47].

მრავალი გამოქვეყნებული ნაშრომები იყო პრაქტიკისათვის გამოუსადეგარი, რადგან მეცნიერები არ იცნობდნენ დაბინძურებული ნიადაგის ტერიტორიებს და კვლევები ლაბორატორიულ პირობებში ტარდებოდა. ასე მაგალითად ხელატური ნივთიერებების დამატების გარეშე *Brassica juncea*-ს არასოდეს ჰქონია ფიტოექსტრაქციისათვის პრაქტიკული გამოყენება. ეს სახეობა არ არის ლითონების მიმართ ტოლერანტი, ხელატების დახმარების გარეშე მას არ შეუძლია ამოიღოს დაბინძურებული ნიადაგიდან ტყვია და სხვა ელემენტები [48].

1.10. პრაქტიკული ფიტოექსტრაქციის საჭიროება ჰიპერაკუმულატორი მცენარეების გამოყენებით

ნიადაგს, რომელსაც სჭირდება ლითონებისგან ფიტორემედიაცია ხშირ შემთხვევაში ჩატარებული შრომა უნაყოფოა ან კიდევ მცენარეების ძალზედ მწირი რაოდენობაა, რომლებიც ლითონების მიმართ ტოლერანტობით გამოირჩევიან.

ფიტორემედიაციისას ყოველთვის უნდა შეირჩეს ისეთი მცენარეები, რომლებიც ჰიპერ აკუმულაციით გამოირჩევიან და აკმაყოფილებენ თითქმის ყველა მოთხოვნილებას. მნიშვნელოვანია წინასწარ იყოს საპილოტე კვლევები ჩატარებული იმ ტერიტორიებზე სადაც იგეგმება ფიტორემედიაცია. ისიც გასათვალისწინებელია, რომ სასოფლო სამეურნეო კულტურების ზოგიერთი სახეობა არ გამოირჩევა ლითონების მიმართ ტოლერანტობით, რის გამოც დაბინძურებული ნიადაგებიდან ლითონების ამოღება გარკვეული სახეობების მცენარეებით არ წარმოადგენს მაღალ გამოსავლიან პროცესს. ხოლო ჰიპერ აკუმულატორ მცენარეებს შეუძლიათ 1 კგ-ზე მეტი ნიკელის ამოღება 1 ჰა ფართობის ტერიტორიიდან, ფილანტუს სერპენტილუსს (*Phyllanthus serpens*) შეუძლია 38100 მგ/კგ ნიკელი ამოიღოს მშრალ წონაზე გადაანგარიშებით. აღსანიშნავია ისიც, რომ ჰიპერაკუმულატორი მცენარეები ყველა ლითონის მიმართ არ იჩენენ ტოლერანტულ ხასიათს. სასოფლო სამეურნეო კულტურული მცენარეები თუთიას უფრო დიდი რაოდენობით ითვისებენ ვიდრე ნიკელს, ხოლო 200-ჯერ უფრო მეტი რაოდენობით, ვიდრე კადმიუმს. მაგრამ თუ მცენარე არ ხასიათდება თუთიის მიმართ მეგობრული დამოკიდებულებით ამ შემთხვევაში კადმიუმის ფიტოექსტრაქციაც ძალზედ გაძნელებულია [49] [50].

1.11. დაბინძურებული ნიადაგის კადმიუმისგან გაწმენდა და საკვები პროდუქციის დაცვა

იაპონიაში, ჩინეთსა და ტაილანდში ფართოდ არის გავრცელებული თუთიით, ტყვიით და კადმიუმით დაბინძურებული ნიადაგები, სადაც ინტენსიურად მოჰყავთ ბრინჯი, რაც იწვევს ადამიანების კადმიუმით დაავადებას. რემედიაციული ტექნოლოგიების გამოყენების გარეშე ბრინჯის მოყვანა ასეთ ტერიტორიებზე, იწვევს საკვები პროდუქციის ძლიერ დაბინძურებას. იაპონიაში ჯინზუს მდინარის ხეობაში დაბინძურებული ნიადაგების რემედიაციისას გამოიყენეს შემდეგი მეთოდი, რაც გულისხმობდა ნიადაგის ზედაპირიდან დაბინძურებული ფენის მოხსნას და ახალი ნიადაგით ჩანაცვლებას, რომლის ფასმაც 1 ჰექტარზე 2.5 მილიონი ამერიკული დოლარი შეადგინა. ნიადაგის ინვერსია შესაძლოა იყოს წარმატებული ბრინჯისთვის, რადგან ბრინჯის მცენარე კადმიუმს ითვისებს ნიადაგის ზედაპირიდან. თუმცა იგივე მეთოდი არ არის მიზანშეწონილი სხვა კულტურული მცენარეებისთვის. ბრინჯში კადმიუმის შემცველობის მაქსიმალური ზღვარი 0.4 მგ/კგ შეადგენს, როცა ნიადაგი შეიცავს 1.5 მგ/კგ კადმიუმს. კადმიუმით დაბინძურებული ბრინჯისგან ადამიანი უფრო ადვილად ითვისებს ამ მძიმე ელემენტს ვიდრე სხვა რომელიმე მცენარისგან. კადმიუმის ამოღება ასევე მჭიდრო კავშირშია თუთიასთან, ამ უკანასკნელის ტრანპორტირებით კი მარცვლეულში იზრდება კადმიუმის შეღწევადობა. ბრინჯის დიეტა ადამიანის ორგანიზმში ხელს უწყობს კადმიუმის აბსორბციას (შეთვისება) [6] [24].

მსგავსად ბრინჯისა, თამბაქოც ეფექტურად ითვისებს კადმიუმს. მჟავე ნიადაგებში კადმიუმით დაბინძურების დაბალი მაჩვენებლის შემთხვევაშიც კი მაღალია თამბაქოს მიერ ამ ელემენტის აკუმულაცია. მწველების მიერ თამბაქოდან კადმიუმის შეთვისება ფილტვებსა და თირკმელებში სწრაფი ტემპებით მიმდინარეობს, რაც ზრდის კადმიუმით დაავადების რისკებს [9] [16] [40].

კადმიუმით დაბინძურებული ნიადაგების გასაწმენდად ფიტორემედიაცია არის საუკეთესო მეთოდი, რომელიც ამცირებს დაბინძურებით გამოწვეულ უარყოფით რისკ-ფაქტორებს. კადმიუმის მაქსიმალური ფიტოექსტრაქცია მიმდინარეობს, მაშინ როდესაც ნიადაგის pH მერყეობს 5.5-დან 5.7-მდე. ნიადაგის pH-ის გარდა კადმიუმის ამოღებას აგრეთვე ზრდის ნიადაგში არსებული ქლორიდები. ზოგიერთი მცენარის სახეობისთვის კადმიუმი ადვილად ხელმისაწვდომია, ზოგიერთისთვის კი არალაბილურ ფორმებს წარმოადგენს. კადმიუმის აკუმულაციის შესაძლებლობას მცენარეების გენოტიპები განსაზღვრავენ, რაზეც პასუხისმგებელნი არიან ორგანული ამინომჟავები. ძნელია კვლევების წარმოება ნიადაგიდან კადმიუმის ამოღების განსაზღვრის თვალსაზრისით. დიფუზიის ზღვარს წარმოადგენს ყველა შესაძლებლობა, რომელიც განსაზღვრავს ნიადაგიდან ლიმიტირებულ ამოღებას. შექმნილი მოდელები, რომლებიც ასახავენ ფესვის მიერ ელემენტთა იონების ამოღებას, მხოლოდ ახალგაზრდა ფესვებში მოიცავენ პოლივალენტური კათიონების აბსორბცია-ტრანსლოკაციას, რადგან ახალგაზრდა ფესვი წარმოადგენს ძლიერ კრიტიკულ წერტილს მაღალი აკუმულაციისთვის. მაგრამ ნიადაგიდან კადმიუმის ჰიპერაკუმულაციის მექანიზმი ბოლომდე არ არის გარკვეული [49].

კვლევების განვითარებისა და სრულყოფის შედეგად მეცნიერებმა დაადგინეს მცენარის რამდენიმე სახეობა, რომლებიც საუკეთესო შედეგს იძლევიან კადმიუმის ფიტოექსტრაქციისას. ამ მცენარეებიდან რამდენიმე მათგანი საუკეთესო თვისებებს ავლენს ისეთ ნიადაგებში, სადაც ბრინჯი მოჰყავთ. ტაილანდში დაბინძურებულ ნიადაგებზე რამდენიმე მცენარე იყო გამოცდილი, რომლებმაც ეფექტურად ამოიღეს კადმიუმი. თუმცა კლიმატური პირობები მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს მცენარის ზრდა-განვითარებაზე. მუსონური წვიმები და ასევე გვალვები დიდ ზიანს აყენებენ მცენარის პირველად განვითარებას. მკვლევარებმა ასევე დაადგინეს, რომ ბრინჯის გამოყენებით ნიადაგის გაწმენდისათვის დაახლოებით 2 წელია საჭირო. აგრეთვე აღნიშნული მეთოდი საუკეთესო აღმოჩნდა იმ ნიადაგებისათვის, სადაც კადმიუმის კონცენტრაცია 1.63 მგ/კგ, ხოლო თუთიის 137 მგ/კგ შეადგენს. ასეთ პირობებში კადმიუმის ფიტოექსტრაქციამ 1 ჰექტარზე 883 გრამი შეადგინა. ბრინჯის მარცვალში კადმიუმის შემცველობა დაახლოებით 1.02-დან 0.42 მგ/კგ-მდე მერყეობს [51] [52].

წარმოდგენილი მეთოდის შემთხვევაში გამოყენებული იყო „როკოლუკოკუ“-ს ბრინჯის სახეობა. მეცნიერებმა კვლევების შედეგად დაადგინეს, რომ ივლისის თვეში მცენარე შეიცავდა 0.42 მგ/კგ კადმიუმს. მაგრამ ოქტომბრის თვეში, როდესაც ნიადაგი გამოშრა და მცენარემ დაისრულა ყვავილობა, მასში კადმიუმის შემცველობამ 70 მგ/კგ-ს

მიაღწია. ეს ფაქტი კიდევ ერთხელ ადასტურებს, რომ ნიადაგის გამოშრობით კადმიუმის აკუმულაცია ბრინჯში იზრდება, რაც იძლევა წარმატებული ექსტრაქციის საშუალებას. იაპონელი მეცნიერი მურაკამი გვიჩვენებს მსგავს კვლევებს სოიოს მაგალითზე, რადგან იაპონიაში მოყვანილ ბრინჯში კადმიუმის შემცველობა 1 მგ/კგ-ს აჭარბებდა, ხოლო სტანდარტებით მოთხოვნილი მაქსიმალური დასაშვები ნორმა 0.4 მგ/კგ-ს შეადგენდა. მურაკამის კვლევების მიხედვით იაპონიაში დაახლოებით 40 000 ჰექტარი დაბინძურებული ნიადაგია, სადაც ბრინჯის წარმოებას ეწევიან. ამიტომ იაპონია ითხოვს ასეთი ნიადაგების კადმიუმისგან გაწმენდას. აგრეთვე მცენარე კარამბოლა აღმოჩნდა საუკეთესო აკუმულაციური თვისებების მქონე, რომელიც დიდი რაოდენობით ითვისებს კადმიუმს ღეროებში, ფოთლებსა და ნაყოფში. მას გააჩნია დიდი ბიომასა და სწრაფად იზრდება. მკვლევარების აზრით ფიტოექსტრაქციისას კარამბოლას გამოყენება ძალზედ შედეგიანია [53].

დაბინძურებული ნიადაგიდან კადმიუმის ამოღების საუკეთესო ფიტორემედიაციული ტექნოლოგიების გამოყენება გავრცელებულია ისეთ ადგილებში, სადაც თუთიით და კადმიუმით დაბინძურება 100-ჯერ აჭარბებს ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციას. ეს ტექნოლოგიები მოიცავენ ნიადაგის pH-ის მენეჯმენტს და მცენარეული კულტურების განვითარებას. კადმიუმის გაწმენდის თვალსაზრისით ფართო გამოყენება ჰპოვა ზემოთ ჩამოთვლილმა მეთოდებმა, რის შედეგადაც მცენარეების ბიომასისაგან ხდება ბიოენერჯის წარმოება. მნიშვნელოვანია ის ფაქტიც, რომ მთავრობები მოითხოვენ დაბინძურებული ნიადაგების გაწმენდას კადმიუმისგან, რაც ხელს უწყობს გაწმენდითი ტექნოლოგიების პრაქტიკაში დანერგვასა და გამოყენებას.

1.12. ნიადაგიდან ტყვიის ფიტოექსტრაქცია

არსებული კვლევების მიხედვით *B. juncea*-ს სხვადასხვა გენოტიპების მიერ ტყვიის შთანთქმა დაახლოებით 1%-ს შეადგენს. ეს კვლევები ჩატარებული იყო თიხნარ ნიადაგებში, სადაც თუთიის, სულფატების და სხვა საკვები ნივთიერებების ნაკლებობაა. ამ შემთხვევაში მცენარეების ზოგიერთმა სახეობამ აჩვენა ტყვიის ამოღების მაღალი მაჩვენებელი, რაც ფიტოექსტრაქციისთვის საუკეთესო შედეგი იყო. რუდგერის უნივერსიტეტის მკვლევარებმა გამოსცადეს ზოგიერთი მცენარე ტყვიის აკუმულაციაზე.

კვლევებმა აჩვენა, რომ მცენარეების მიერ ტყვიის ამოღება მიმდინარეობდა ნელი ტემპით, მაგრამ ხელატური აგენტების დამატებით იზრდებოდა დაბინძურებული ნიადაგიდან ტყვიის ფიტოექსტრაქცია. თუმცა კვლევებმა ცხადყო, რომ ხელატების გამოყენება გამოტუტავს ტყვიასა და სხვა მეტალებს მიწისქვეშა წყლებში და იწვევს მათ დაბინძურებას. მრავალი კვლევაა ჩატარებული ტყვიის ფიტოექსტრაქციაზე, რომლის

დროსაც იყენებდნენ მცენარეთა სხვადასხვა სახეობებს და ხელატურ ნაერთებს, მაგრამ მათგან არცერთში არ არის წარმოდგენილი ფასის ეფექტურობა და გარემოს მიმართ მეგობრული დამოკიდებულება [54].

ნიადაგებში, სადაც მაღალია ფოსფორისა და სხვა სასუქების შემცველობა, მცენარეებს შესწევთ უნარი მოახდინონ ტყვიის მაღალი ტრანსლოკაცია. ფოსფორი იწვევს ტყვიის ფორმაციას მცენარის ფესვში, როგორც ტყვიის ფოსფოროვანი ნაერთი. მცენარეები ფესვისა და მასზე არსებული მიკრობების საშუალებით იწვევენ ტყვიის ფორმაციას და ხდიან მას მცენარისათვის ნაკლებ შეღწევადს. მცენარეების მიერ ტყვიის ამოღება მერყეობს 10 მგ/კგ-დან 1000 მგ/კგ-მდე. ხელატური აგენტების დამატებით ნიადაგის ხსნარებში იზრდება ტყვიისა და სხვადასხვა ლითონების შემცველობა, რაც აძლევს მცენარეს საშუალებას აითვისონ დიდი რაოდენობით ლითონები. ასევე ეს ნივთიერებები მცენარეს მაღალი ბიომასის წარმოებაში უწყობენ ხელს. ბევრ დაბინძურებულ ნიადაგში ფართოდაა წარმოდგენილი სხვადასხვა ლითონები, ხოლო ხელატების გამოყენებით იზრდება ნიადაგში თუთიის, სპილენძის და სხვა იონების ხნადი ფორმები, ამიტომ ასეთი აგენტების შერჩევას დიდი სირფთხილეა საჭირო, რადგან წინასწარ უნდა ვიცოდეთ ნიადაგში რომელი ლითონია გახსნილი და რა რაოდენობით განიცდიან ისინი დისოციაციას [55].

მცენარე *B. juncea* ჩვეულებრივ განვითარებას იწყებს შემოდგომა-ზამთრის პერიოდიდან და ყვავილობს გაზაფხულზე. თუ მცენარე ზრდა-განვითარებას დაიწყებს გაზაფხულიდან, მას გააჩნია საკმაოდ ლიმიტირებული ბიომასა და ტყვიის ათვისების პოტენციური ტრანსპორტირება. მკვლევარების უმეტესობა მიიჩნევს, რომ ხელატების გამოყენება ფიტოექსტრაქციისას იწვევს კანცეროგენური ლითონების გამოტუტვას, რაც ძალზედ საზიანოა ცოცხალი ორგანიზმებისა და გარემოსათვის. ხელატების კვლევა იმის შესახებ, რომ რომელიმე მათგანი წარმოადგენდა გარემოსადმი უფრო ტორელანტურ ხასიათს, უარყოფითი შედეგით დასრულდა. მეცნიერები მიიჩნევდნენ, რომ პოლიამინო კარბონატული მჟავა შედარებით მეგობრული იყო გარემოსათვის, თუმცა კვლევებმა აჩვენეს, რომ ამ აგენტის ბიოდეგრადაცია და ლითონების გამოტუტვა ისეთივე პრობლემას წარმოადგენდა, როგორც სხვა ხელატური აგენტების შემთხვევაში. უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ ასეთი მეთოდების გამოყენებისას ფიტორემედიაციის ფასი იმატებს თითოეულ ჰექტარზე, რაც მის გამოყენებას არამომგებიანს ხდის [39] [56].

1.13. ნიადაგიდან დარიშხანის ფიტოექსტრაქცია

ნიადაგში დარიშხანის გადაჭარბებული რაოდენობა ყველაზე დიდ დარტყმას აყენებს ბავშვების ჯანმრთელობას და სხვა ასაკის წარმომადგენლებსაც. დარიშხანით დაბინძურებულ ნიადაგზე ამ ლითონს ყველაზე მეტად შეითვისებს ბრინჯი. ეს უკანასკნელი კი ადამიანის საკვები რაციონის განუყოფელი ნაწილია. ამერიკის

შეერთებული შტატების გარემოს დაცვის სააგენტომ დაიანგარიშა ინდიკატორები, რომლის საფუძველზეც დაასკვნა, რომ ნიადაგში დარიშხანის მაქსიმალური ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია შეიძლება იყოს 4.3 მგ/კგ. ამ ლითონის სიცოცხლის ხანგრძლივობა ძირითადად კანცეროგენურ რისკს წარმოადგენს ცოცხალი ორგანიზმებისათვის. მაგრამ ზოგიერთ შემთხვევაში არ არის გამართლებული ამერიკის გარემოს დაცვის სააგენტოს მიერ წარმოდგენილი ზღვარი, რადგან დარიშხანის მავნე კონცენტრაცია ზოგიერთ ნიადაგში 2 მგ/კგ-ს შეადგენს ზოგან კი 12 მგ/კგ-ს. ურბანულ დასახლებებში და მის მიმდებარე ტერიტორიებზე იმდენად არის გაზრდილი ნიადაგში დარიშხანის შემცველობა, რომ ხშირ შემთხვევაში 20 მგ/კგ-ს აჭარბებს. პირველი მსოფლიო ომის დროს ამერიკის შეერთებული შტატების დედაქალაქ ვაშინგტონში დარიშხანის დაბინძურებამ საგრძნობლად მოიმატა ქალაქისა და მისი შემოგარენის ტერიტორიაზე, რამაც 40 მგ/კგ-ს გადააჭარბა. ეს ძალზედ მაღალ მაჩვენებელს წარმოადგენდა ადგილობრივი ნიადაგისათვის. ამ ნიადაგების გასაწმენდად გამოიყენეს გათხრებისა და ფიტოექსტრაქციის კომბინირებული მეთოდი. ეს მეთოდი ფიტოექსტრაქციის წინამორბედაა. მას შემდეგ მნიშვნელოვნად დაიხვეწა და ეკონომიურად უფრო მომგებიანი გახდა მისი გამოყენება. გაწმენდის მიზანია შემცირდეს დარიშხანის დონე ნიადაგის ზედაპირზე და უარყოფითი რისკფაქტორები ბავშვებსა და ადამიანებზე. ფიტორემედიაციის გამოყენებისას რამდენიმე წელია საჭირო, რომ შემცირდეს დარიშხანის დონე ნიადაგში [54].

მცენარე გვიმრა, როგორც დარიშხანის ჰიპერაკუმულატორი აღმოაჩინა იაპონელმა მეცნიერმა მამ. მან უამრავი მცენარის სახეობა შეისწავლა, რომლებიც იზრდებოდნენ დარიშხანით დაბინძურებულ ნიადაგზე. საბოლოოდ კი ეს ტექნოლოგია განავითარა მას შემდეგ, რაც შეისწავლა დარიშხანის ყველა შესაძლო ფორმაცია, რომლებსაც იგი ქმნიდა ნიადაგში, სასუქების და ნიადაგის pH მიხედვით. ფიტოექსტრაქციის სწორად წარმართვისათვის აუცილებელია სწორი მენეჯმენტის წარმოება. ამ კვლევებისას გამოიკვეთა საინტერესო გარემოება, ფოსფოროვანი სასუქები და ფოსფოროვანი ხსნარები ზღუდავენ სხვადასხვა მცენარეში დარიშხანის შთანთქმას, ხოლო მცენარე გვიმრაში *P.vitatta* იგივე სასუქების ზემოქმედებით არ იზღუდება დარიშხანის ამოღება. სხვადასხვა კვლევების განვითარებით მეცნიერებმა აღმოაჩინეს, რომ გვიმრის რამდენიმე სახეობა და გენოტიპი დარიშხანის მიმართ წარმოადგენს განსაკუთრებულად ჰიპერაკუმულატორს. სამხრეთ ჩინეთში სხვადასხვა ტერიტორიაზე შეაგროვეს დარიშხანის შემცველი მცენარე გვიმრა, რის შედეგადაც აღმოჩნდა, რომ გვიმრის ერთ სახეობას გააჩნია გენოტიპების ფართო წარმომადგენლები, ხოლო უფრო მომგებიანია მათი კულტივირება და ჯიშის გაუმჯობესება [56].

რიზობაქტერია ახდენს ეფექტს რიზოსფეროში გაზრდილ გვიმრის მცენარეზე. ამ ბაქტერიის ზემოქმედებით ნიადაგიდან მცენარეში (ღეროებში, ფითლებში, ყვავილებში და ა.შ) იზრდება დარიშხანის შეთვისება. მაგრამ ეს პროცესი არ ხორციელდება სტერილურ და სასუქებით გაჯერებულ ნიადაგებში.

წარმოდგენილი გვიმრის მაღალი ბიომასა ტოლერანტულ დამოკიდებულებაშია დარიშხანის აკუმულაციასთან, რადგან დარიშხანს იგროვებს ვაკუოლებში ან ფიტოხელატები უკავშირდება ბმებით იმ უჯრედებს სადაც დარიშხანია. მაგრამ ბოლომდე არ არის გარკვეული დარიშხანისა და ფიტოხელატური ნაერთების ბმების სახეობები. თუმცა ფესვის მიერ შეთვისებული არსენატები და არსენიტები დომინირებენ მცენარის ფოთლებში. ასევე დადგენილია, რომ ქსილემის გზების საშუალებით დარიშხანი დიდი რაოდენობით გადაადგილდება ფესვებისაკენ. გვიმრებში დარიშხანის კონცენტრაცია უფრო დიდია ახალგაზრდა მცენარეში, ვიდრე მის ხნიერ წარმომადგენელში, სადაც ამ ლითონის დაგროვება ხდება ეპიდერმიულ უჯრედულ ვაკუოლებში, მსგავსად სხვადასხვა ლითონების ჰიპერაკუმულატორი მცენარეებისა.

გვიმრა ცუდად ეგუება ცივ გარემო პირობებს, რაც დიდ პრობლემას წარმოადგენს ცივ ადგილებში დარიშხანით დაბინძურებული ნიადაგების ამ მცენარით გაწმენდისას. მეცნიერების ზოგიერთი ნაწილი მიიჩნევს რომ გვიმრის თესლში ტრანსგენების შეყვანა მნიშვნელოვნად გადაჭრის დაბინძურებული ნიადაგიდან დარიშხანის ამოღებასა და გაწმენდას. მეცნიერმა დანკერმა აღმოაჩინა, რომ ტრანსგენულ გვიმრის სხვადასხვა სახეობაში არსენატ რედუქტაზა და γ -გლუტამილ-ციტეინი სინთეზირებას განიცდიდნენ, რაც მიუთითებს მცენარის მაღალ ტოლერანტობას დარიშხანის მიმართ.

სასმელი წყლისათვის დარიშხანი წარმოადგენს პოტენციურ რისკს. სასმელ წყალში მკაცრად არის ლიმიტირებული დარიშხანის შემცველობა. მინერალური წყლების მეწარმეები ცდილობენ გამონახონ გზა რომლის საშუალებითაც მნიშვნელოვნად შეამცირებენ წარმოებულ პროდუქციაში დარიშხანის შემცველობას. ქიმიური მეთოდებით მისი მოცილება ძალზედ ძვირი ჯდება, ამიტომ მეცნიერებმა გამოიყენეს ფიტო ექსტრაქცია, რომლის შემდეგაც სასმელ წყალში დარიშხანის შემცველობა <2 მკგ/ლ, ხოლო ამერიკაში დარიშხანის ზღვარი სასმელ წყალში შეადგენს 10-15 მკგ/ლ.

მეტალის შენადნობი ქარხნები დიდი რაოდენობით დარიშხანს გამოყოფენ გარემოში, რის გამოც ჯერ კიდევ ბევრ ქვეყანაში არ არის მოთხოვნილი ლიმიტი გამოყოფილ მავნე ემისიებზე. ასეთი ნიადაგების ფიტორემედიაცია საკმაოდ ეკონომიური და გარემოსადმი მეგობრული ხასიათით ვლინდება. დარიშხანი დამოკიდებულებას ამყარებს რკინასთან. მეცნიერმა ბიაკმა აღმოაჩინა, რომ ახალგაზრდა ღორების საკვები, რომელიც შეიცავდა დარიშხანს, მას თუ დავუმატებდით რკინას დარიშხანი აღარ შეიწოვებოდა ორგანიზმის მიერ, ხოლო ეს აღმოჩენა მეცნიერებმა განავითარეს ნიადაგში დარიშხანის შესაბოჭად, რათა შეემცირებინათ საკვებ პროდუქციაში ამ ლითონის კონცენტრაცია. ბანგლადეშის ნიადაგებზე, სადაც აწარმოებენ ბრინჯის სხვადასხვა სახის მარცვლეულს, ძლიერ დაბინძურებულია დარიშხანით. ეს ტერიტორია საჭიროებს გაწმენდითი სახის ღონისძიებებს, რათა მომავალში აცილებული იყოს ბავშვებისა და ადამიანის ჯანმრთელობაზე უარყოფითად

მოქმედი რისკ ფაქტორები. მსგავსი პრობლემა არის სამხრეთ ინგლისში, სადაც ტიტანის ყოფილი საწარმოს მიმდებარე ტერიტორიაზე დარიშხანის ძლიერი დაბინძურებაა, ამიტომ მთავრობამ მიიღო გადაწყვეტილება, რომ სასწრაფოდ იქნას ფიტორემედიაციული სამუშაოები ჩატარებული ამ ტერიტორიაზე [57].

1.14. ნიადაგში არსებული სხვა ელემენტების ფიტოექსტრაქცია

თალიუმი (Tl). ნიადაგში არსებული სხვადასხვა ლითონებიდან განვიხილოთ თალიუმი. ეს ელემენტი ზეგავლენას ახდენს ადამიანების ჯანმრთელობაზე, იგი ძირითადად ვრცელდება ტყვიასთან ერთად ტყვიის შენადნობი და სხვადასხვა ქარხნებიდან. კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ ასეთ ტერიტორიებზე გაზრდილი ბოსტნეულის ნაყოფი შეითვისებს თალიუმს. მწვანე კომპოსტო შეითვისებს ყველაზე მაღალ თალიუმის კონცენტრაციას, ვიდრე სხვა დანარჩენი ბოსტნეული. ამ ლითონის ყველაზე ძლიერი ჰიპერაკუმულატორი მცენარეა *Iberis intermedia*, რომელიც თალიუმს იგროვებს ვაკუოლურ უჯრედებში.

ცეზიუმი (Cs). ცეზიუმის რადიონუკლიდი ყველაზე დიდი საფრთხის გამომწვევი ელემენტია, რომელიც ურანის ატომის დაშლის შედეგად გამონთავისუფლდება (^{137}Cs) სახით. კარგად არის შესწავლილი ნიადაგის თიხნარ ფორმებში ცეზიუმის ფიქსაცია და კალიუმთან ერთად მცენარის მიერ ამოღების მექანიზმი. მრავალი მცენარის სახეობაა, რომელიც ცეზიუმს ნიადაგიდან ითვისებს, მაგრამ კონკრეტულად არ არის ბოლომდე გამოკვლეული ერთი კონკრეტული სახეობა, რომელიც ავლენს ცეზიუმის მიმართ ჰიპერაკუმულატორის თვისებას. მეცნიერთა გარკვეული ჯგუფის მიერ გამოკვლეული იყო მრავალი მცენარის სახეობა, მათგან მხოლოდ სახელად ღორის სარეველამ დააგროვა ღეროსა და ფოთლებში ცეზიუმის ყველაზე დიდი კონცენტრაცია. ეს სახეობა ფესვსა და სხვა ორგანოებში დიდი რაოდენობით იგროვებს ამ ლითონს, რაც საუკეთესოს ხდის მის გამყენებას ფიტოექსტრაქციისათვის. ცეზიუმისაგან ნიადაგების გაწმენდის პერიოდი შედარებით ხანგრძლივია, რაც დამოკიდებულია დაბინძურების ხარისხზე. მეცნიერმა დუშენკოვმა ჩერნობილის ახლოს დაიწყო მზესუმზირისა და *B. juncea*-ს საშუალებით რადიაციული ცეზიუმით დაბინძურებული ნიადაგების ფიტორემედიაცია. კვლევას საფუძვლად ედო ბელარუსიელი მეცნიერების კვლევა, რომლის მიხედვითაც ამ მცენარეებისგან გამოხდილი ზეთისგან ამზადებდნენ ბიოდიზელს დასაც მძიმე ლითონთა კონცენტრაციები არ გადადიოდა მცენარის თესლსა და შესაბამისად ზეთში, მაგრამ რადიაციული ცეზიუმის შემთხვევაში კვლევებმა განსხვავებული შედეგები აჩვენეს. Cs^{137} დიდი რაოდენობით გროვდება მცენარის თესლსა და სხვადასხვა ორგანოებში, ამიტომ რადიონუკლიდებით დაბინძურებული თესლიდან მიიღება ძლიერ რადიაციული ზეთი და ბიოსაწვავი. ასეთი ტექნოლოგიების განხორციელება ზოგჯერ რისკს ბადებს, რადგან ადამიანები

სრულიად დამოკიდებულები არიან ზეთისა და ბიოდიზელის მწარმოებლებზე და მათ არ იციან მწარმოებელი სინამდვილეში რას სთავაზობს მათ. ასეთ პროცესში კი ყველაფერი მწარმოებლის კეთილ სურვილსა და პატიოსნებაზეა დამოკიდებული [34].

ურანი (U). ურანის ფიტორემედიაციას აქვს რამოდენიმე მიმართულება: პირველი-მცენარეების ფესვები გამოიყენება, როგორც მიწისქვეშა წყლებიდან ამ ლითონის ამომღები, ასეთ პროცესს კი რიზოფილტრაცია ეწოდება. კვლევებში გამოყენებული იყო მცენარე ალფა-ალფა, რომელიც წმენდდა ურანით დაბინძურებულ ჭის წყალს. ეს მეთოდი წარმოადგენს ეფექტურ საშუალებას მიწისქვეშა წყლების ურანისგან გასაწმენდად და რაც ყველაზე მთავარია ტრადიციული მეთოდების მსგავსად არ წარმოადგენს ძვირად ღირებულს. ბუნებრივად მცენარის ფესვების მიერ ურანის შეთვისება წარმოადგენს ძალზედ ნელ პროცესს. ნიადაგში ციტრატების დამატებით იზრდება ურანის ხსნადობა და შესაძლებელს ხდის მცენარის მიერ მის ათვისებას, მაგრამ ეს მეთოდი ძალზედ ძვირად ღირებული სიამოვნებაა, რაც ამ ტექნოლოგიის კომერციალიზაციას ეჭვის ქვეშ აყენებს. ციტრატის გამოყენებას ერთი დადებითი მხარე აქვს იგი ადვილად ბიოდეგრადირებადია, რაც ურანის გამოტუტვის შედეგად შედარებით ნაკლებ ზიანს აყენებს გარემოს, ვიდრე ეს იყო სხვა ხელატური აგენტების შემთხვევაში.

მოლიბდენი (Mo) და ვოლფრამი (W). ამ ელემენტების აკუმულაცია იწვევს, როგორც ფიტო ასევე ცხოველების ტოქსიკურობას, ამიტომ მათგან ნიადაგის გაწმენდა აუცილებელია. პარკოსნების გარკვეული სახეობები დიდი რაოდენობით ითვისებენ მოლიბდენის კონცენტრაციას, ვიდრე ბალახის მრავალი სახეობა. მაგრამ პარკოსნების მიერ ამოღებული მოლიბდენის კონცენტრაცია არ არის საკმარისი იმისათვის, რომ ეფექტურად განხორციელდეს პარკოსნების გამოყენება ფიტოექსტრაქციისათვის.

ფოსფოროვანი სასუქების გამოყენებით ფიტორემედიაციის პროცესი შედარებით იზრდება. მცენარეები რომლებიც მოლიბდენს ითვისებენ ცხოველებისათვის წარმოადგენენ უარყოფითი რისკ ფაქტორების პოტენციურ მატარებლებს. ფიტორემედიაციის კუთხით, არც თუ ისე ბევრი კვლევაა ჩატარებული დაბინძურებული ნიადაგიდან ვოლფრამისა და მოლიბდენის გაწმენდის თაობაზე [58].

თავი 2. შედეგები და მათი განსჯა

2.1. ექსპერიმენტული ნაწილი

2010 წლიდან ბოლნისის რაიონის სოფლებში ყოველწლიურად დინამიკაში მიმდინარეობდა ნიადაგებში, ადგილობრივი წარმოშობის სასოფლო-სამეურნეო პროდუქციაში და მდინარის წყლებში მძიმე ლითონების (Cu, Zn, Cd) შესწავლა. 2012-2013 წლებში სოფელ ბალიჭში, რატევანში და წულრულაშენში მოხდა შაქრის ჭარხლის დათესვა მძიმე ლითონთა ფიტომიგრაციის შესწავლის მიზნით. ამავე წლებში გამოკვლეული იქნა ადგილობრივი ჯიშის მწვანე ამარანდა და ნაცარქათამა. 2014 წელს კი ბოლნისის, დმანისის, ჭიათურის, ზესტაფონის და ოზურგეთის რაიონების სოფლებიდან მოხდა ნიადაგის სინჯების შეგროვება და ამერიკის შეერთებულ შტატებში ჩემი სტაჟირების დროს გამოკვლეულ იქნა ლითონთა სრული სპექტრი (76 ელემენტი) ინდუქციურად შეწყვილებულ პლაზმურ მას სპექტრომეტრის დახმარებით. ამ კვლევის შედეგად მნიშვნელოვანი საკითხები გამოიკვეთა, რისი ცოდნის საშუალებაც არ გვქონდა წინა წლებში.

2015 წელს მოეწყო სოფელ ბალიჭში საცდელი მეურნეობა, სადაც მოხდა ადგილობრივი და უცხოური ჯიშის მცენარეების დათესვა ამ რეგიონში ნიადაგის მძიმე ლითონებისგან გაწმენდის მიზნით. 2015 წელს სინჯები შეგროვდა და მათი გამოკვლევა განხორციელდა ინდუქციურად შეწყვილებულ პლაზმურ მას სპექტრომეტრზე ამერიკის შეერთებულ შტატებში. 2017 წელს მწვანე პოლიტიკური სამეცნიერო პლატფორმის დაფინანსებითა და მხარდაჭერით ჩვენს მიერ შესწავლილ იქნა ბოლნისისა და დმანისის რეგიონების სოფლებში სასოფლო სამეურნეო სავარგულების ნიადაგებში მძიმე ლითონთა (Cu, Zn, Mn, Cd, Pb) შემცველობა. გამოიყო 42 სასინჯე არეალი, რამაც მოიცვა ბოლნისისა და დმანისის რაიონის 21 სოფელი, რის საფუძველზეც წარმართა ნიადაგის სინჯის აღების პროცესი. განისაზღვრა მისი ქიმიური შემადგენლობა. ნიადაგებში მძიმე ლითონების რაოდენობა გამოკვლეული იქნა ივანე ჯავახიშვილის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ელფეთერ ანდრონიკაშვილის ფიზიკის ინსტიტუტში ატომურ აბსორბციული სპექტრომეტრის (აას) გამოყენებით. ბოლნისის რაიონში მდინარე მამავერასა და კაზრეთულას წყლებში მძიმე ლითონების განსაზღვრისას კვლევა განხორციელდა 2010 და 2011 წლებში.

ამ მონაცემების საფუძველზე შედგენილ იქნა ნიადაგის მძიმე ლითონებით შესაძლო ინდუსტრიული დაბინძურების რუკა თანამედროვე GIS საინფორმაციო სისტემების გამოყენებით. დამაბინძურებლების განსაზღვრის საიმედოობაში დიდ როლს ასრულებს სინჯის შერჩევა, მომზადება და ანალიტიკური პროცედურები. თანამედროვე ხელსაწყოები კი როგორებიცაა: ატომურ აბსორბციული სპექტრომეტრი, ატომურ ემისიური სპექტრომეტრი, მას სპექტრომეტრი და X-ray ფლუორესცენციური სპექტრომეტრი იძლევიან იმის საშუალებას, რომ ნიმუშში გაიზომოს მძიმე ლითონები.

ჩვენი კვლევის ფარგლებში გამოყენებულ იქნა ატომურ აბსორბციული სპექტრომეტრი. ამ ხელსაწყოებიდან ატომურ აბსორბციული სპექტროსკოპის ემპირიული ლიმიტი საანალიზო ხსნარში ტყვიის განსაზღვრისას შეადგენს 0,5- დან 0,1 მკგ/ლ-მდე. ეს მეთოდი ამავე დროულად სიიაფით გამოირჩევა. ინდუქციური მას სპექტრომეტრი თანამედროვე და უახლესი ხელსაწყოა რომელსაც შეუძლია ძალიან მაღალი სპექტრის ხაზი მოგვცეს, რომელიც მერყეობს 10^5 -დან 10^6 -ის ფარგლებში და

თითოეულ სინჯის განსაზღვრას ანდომებს დაახლოებით 3 წუთი. ეს მეთოდი საკმაოდ ძვირადღირებულია რადგან გამოიყენება მაღალი ხარისხის არგონის გაზი. რედგენო (X-ray) ფლუორესცენციური სპექტრომეტრი სხვა მეთოდებთან შედარებით დაბალი მგრძნობიარობისაა, რაც მერყეობს 10 მგ/კგ-ის ფარგლებში. თუმცა ეს მეთოდი შეიძლება გამოიყენებულ იქნეს მისი სიიფისა და სისწრაფის გამო. საქართველოში არსებული ხელსაწყოებიდან და მეთოდებიდან მძიმე ლითონების განსაზღვრის საკითხებში მოწინავეა ატომურ აბსორბციული სპექტროფოტომეტრი, ამიტომ საქართველოში განხორციელებული კვლევის ფარგლებში არჩევანი გაკეთდა ამ ხელსაწყოსა და მეთოდზე. ხელსაწყო მძიმე ლითონების განსაზღვრისას არ საჭიროებს გარკვეულ სპეციფიკას საანალიზოდ მომზადებულ ნიადაგისა და წყლის ნიმუშების განსაზღვრისას.

ნიადაგიდან სინჯების აღება მოხდა მეტალის უქანგავი სპეციალური სინჯის ასაღები მოწყობილობით (AMS Soil Step Probes). თითოეული სასინჯე არეალის ფართობი განისაზღვრა 1000 მ² - ით, თითოეული არეალის 5 წერტილიდან აღებულ იქნა სინჯები, როგორც ნიადაგის ზედაპირზე (0-5 სმ) ისე მის სიღრმეში (30-35 სმ). აღებული სინჯებიდან მომზადდა თითოეული არეალის საშუალო სინჯი. სინჯები მოთავსდა სპეციალურ პოლიეთილენის ჩანთებში. შემდეგ განხორციელდა ნიადაგების გამოშრობა, დაფქვა და გაცრა. საანალიზოდ მომზადებულ ნიადაგის სინჯებს ჩაუტარდა მინერალიზაცია, აზოტმჟავას მეშვეობით, ნიადაგების მინერალიზაციის დასრულების შემდეგ ხსნარში განისაზღვრა მძიმე ლითონები ატომურ ადსორბციულ სპექტროფოტომეტრზე. ნიადაგის სინჯების აღება განხორციელდა EPA-ს (United States Environmental Protection Agency) მეთოდოლოგიის მიხედვით.

მდინარიდან წყლის სინჯების აღება მოხდა სპეციალური სინჯის ასაღები ტოლჩით. სინჯი მოთავსდა 1000 მლ მოცულობის პოლიეთილენის ბოთლებში, რომელიც წინასწარ გაირეცხა დისტილირებული წყლით. სინჯი შემჟავდა განზავებული აზოტმჟავას ხსნარით. მოხდა სინჯის ბოთლების დალუქვა და შენახვა. სინჯების აღების დასრულებისთანავე ნიმუშები გადატანილ იქნა ლაბორატორიაში, სადაც მოხდა სინჯის გაცხელება და აორთქლება 50 მლ-მდე, შემდეგ კი გაიფილტრა და განსაზღვრულ იქნა მძიმე ლითონთა კონცენტრაცია ატომურ აბსორბციულ სპექტროფოტომეტრზე.

ატომურ-აბსორბციული სპექტროფოტომეტრია (აას) ანალიზის ფიზიკური მეთოდი დამყარებულია მეტალთა ატომების თვისებებზე შთანთქმას ძირითად (არააღზნებულ) მდგომარეობაში გარკვეული სიგრძის ტალღის სინათლე, რომელსაც ისინი ასხივებენ აღზნებულ მდგომარეობაში. ალში მოხვედრისას ხსნარში არსებული მეტალთა იონები გადადიან ატომურ მდგომარეობაში. წარმოიქმნება აეროზოლი. ამ დროს განსაზღვრავი მეტალები ერთმანეთს ხელს არ უშლიან. საძიებელი მეტალის შესაბამისი სპექტრალური ნათურიდან სინათლე გაივლის ალს, ატომური ღრუბელი განათდება ატომები შთანთქავენ გამოსხივების ნაწილს. დამოკიდებულება შთანთქმული ატომების კონცენტრაციას და სინათლის სხივის შთანთქმის უნარიანობას შორის გამოისახება ლამბერტ-ბუგერ-ბეერის კანონით: $A=Lg(1/T)=Lg(I_0/I)$, სადაც T არის ალის გამტარობა, I_0/I -არის დაცემული და გასული გამოსხივების ინტენსივობა. A- შთანთქმული სხივის სიდიდე.

შემდეგ სხივი მოხვდება მონოქრომატორში, დეტექტორში. დეტექტორში მოხდება სინათლის იმ ენერჯიის გაზომვა რომელიც შთანთქა ატომებმა ალში.

სინათლის შთანთქმის ინტენსივობა დამოკიდებულია ალში არსებული თავისუფალი არა აღზნებული ატომების რიცხვზე ძირითად მდგომარეობაში. საბოლოო ჯამში ატომურ აბსორბციული სპექტროფოტომეტრით შეგვიძლია მივიღოთ საანალიზაციო ხსნარში ტყვიის განსაზღვრის ლიმიტი 0,5- დან 0,1 მკგ/ლ-მდე.

გაზომვის პროცესი

ხელსაწყოს ჩართვის შემდეგ ატომიზაციის სასურველი მეთოდის შერჩევა შესაძლებელია კომპიუტერის WinLab32 პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით (ატომიზატორის დაყენება და იუსტირება ავტომატურად მოხდება). აუცილებელია ასევე საჭირო ნათურების დაყენება.

ნიადაგში მძიმე ლითონთა ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციები და ნორმები საქართველოს კანონმდებლობის მიხედვით - საქართველოს კანონმდებლობით ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია (ზდკ) სპილენძისთვის (Cu) შეადგენს 132 მგ/კგ, მანგანუმისთვის (Mn) 500 მგ/კგ, კადმიუმისთვის (Cd) 0,5-დან 2 მგ/კგ-მდე, ტყვიისთვის (Pb) 32 მგ/კგ, ხოლო თუთიისთვის (Zn) 300 მგ/კგ.

ზედაპირულ წყალში მძიმე ლითონთა ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციები და ნორმები საქართველოს კანონმდებლობის მიხედვით - საქართველოს კანონმდებლობით ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია (ზდკ) სპილენძისთვის (Cu) შეადგენს 1 მგ/ლ, მანგანუმისთვის (Mn) 0.1 მგ/ლ, კადმიუმისთვის (Cd) 0.001 მგ/ლ, ტყვიისთვის (Pb) 0,03 მგ/ლ, თუთიისთვის (Zn) 1 მგ/ლ, რკინისთვის (Fe) 0.3 მგ/ლ, ნიკელისთვის (Ni) 0.1 მგ/ლ, კობალტისთვის (Co) 0.1 მგ/ლ.

2.2. ბოლნისის რაიონი

ბოლნისის მუნიციპალიტეტი მდებარეობს საქართველოს სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში, რომლის ფართობია 804.2 კმ². მას აღმოსავლეთით ესაზღვრება მარნეულის, დასავლეთით-დმანისის, ხოლო ჩრდილოეთით-თეთრიწყაროს მუნიციპალიტეტი, სამხრეთი საზღვარი კი საქართველო-სომხეთის სახელმწიფო საზღვარს ემთხვევა [59].

დაბა კაზრეთის ადგილმდებარეობა და კლიმატი

კაზრეთის ხეობა მდებარეობს საქართველოს სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში, ბოლნისისა და დმანისის რაიონების საზღვარზე, მდინარე მაშავერას ხეობაში. ვახუშტი ბატონიშვილის აღწერილობის მიხედვით „ხეობა კაზრეთისა სამხრეთიდან მოერთვის მაშავერას, გამომდინარე ლოქისა, ესეცა ეგრეთვე ვითარცა ხეობა ბალიჭისა, რომელიც არს ვენახოვანი, ხილიანი და ყოვლითა ნაყოფიერი“. მართლაც, რბილი ჰავით, წყლების, ლითონების საბადოების, ტყეების, სავარგულების, სამოვრებისა და ვენახების სიუხვით კაზრეთის ხეობა ადამიანის საცხოვრებლად მეტად ხელსაყრელია. დაბა კაზრეთი ზღვის დონიდან 680-1300 მ სიმაღლეზე მდებარეობს. ის ქალაქ ბოლნისიდან დაშორებულია 18 კმ-ით, ხოლო ქალაქ თბილისიდან 80 კმ-ით. პირდაპირი მანძილი კაზრეთიდან თბილისამდე 47 კმ-ია, შავი ზღვის სანაპირომდე 240 კმ-ია. აღმოსავლეთ

საზღვრამდე 21 კმ-ია. ბოლნისის რაიონში მდებარეობს ერთი ქალაქი ბოლნისი, ერთი დაბა კაზრეთი და 45 სოფელი.

კაზრეთის კლიმატი ზოგადი ნიშნების მიხედვით მშრალი სუბტროპიკული და სტეპური ჰავის ტიპს მიეკუთვნება. ზომიერად ცივი ზამთრით და ცხელი ზაფხულით. ნალექების რაოდენობის წლიური ჯამი საშუალოდ 500-550 მმ-ის ფარგლებშია. კაზრეთის ტერიტორიაზე ქარის სიჩქარე საშუალოდ წელიწადში 2 მ/წმ-ია. გაბატონებულია როგორც დასავლეთის, ისე აღმოსავლეთის მიმართულების ქარები. დღე-ღამის განმავლობაში ქარის მიმართულება განიცდის ცვალებადობას. დღისით ძირითადად გაბატონებულია აღმოსავლეთის და სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულების ქარები, ღამით კი-დასავლეთის.

ოქროსა და სპილენძის საწარმოს მიმდებარე ტერიტორიაზე უყინვო პერიოდის უდიდესი ხანგრძლივობაა 256 დღე. ხოლო უმცირესი 178 დღე. აღნიშნულ ტერიტორიაზე გაზაფხულის უკანასკნელ ყინვათა შეწყვეტის საშუალო თარიღია 10 აპრილი, ხოლო შემოდგომით პირველ ყინვათა დადგომის საშუალო თარიღი 10 ნოემბერი.

კაზრეთის ტერიტორიაზე ჰაერის საშუალო თვიური ტემპერატურები: იანვარი 0-2°C, აპრილი 8-10°C, ივლისი 22-24°C, ოქტომბერი 11-13°C. ჰაერის ტემპერატურის წლიური აბსოლუტური მინიმუმია-მინუს 12-14°C, ხოლო წლიური აბსოლუტური მაქსიმუმი-პლუს 34-36°C. ჰაერის ტემპერატურის წლიური ამპლიტუდა კი 20-22°C შეადგენს. ტემპერატურის აბსოლუტური მინიმუმია-მინუს 24°C (ბოლო 60 წლის მონაცემებით). აბსოლუტური მაქსიმუმია +39°C (ბოლო 60 წლის მონაცემებით) [60].

2.3. გავრცელებული ნიადაგის ტიპები

მუნიციპალიტეტის ტერიტორიაზე გავრცელებულია ნიადაგების შემდეგი ძირითადი ტიპები: ყავისფერი, ყავისფერი გამოტუტული, ყავისფერი კარბონატული, ღია ყავისფერი, მდელოს რუხი ყავისფერი, ალუვიური კარბონატული, ნეშომპალა კარბონატული, ყომრალი-შავი, ძლიერ ჩამორეცხილი ნიადაგები და ქანების გაშიშვლებები. განვიხილოთ თითოეული მათგანი ცალ-ცალკე:

ყავისფერი ნიადაგები-ყავისფერი ნიადაგები გავრცელებულია აღმოსავლეთ საქართველოში სუბტროპიკული ტყე-სტეპის ზონაში, ძირითადად ზღვის დონიდან 500-900 მეტრის ფარგლებში. მათი ქვედა საზღვარი ესაზღვრება მდელოს ყავისფერ, რუხ ყავისფერ და ბარის შავმიწებს, ხოლო ზედა ყომრალ ნიადაგებს.

ყავისფერი ნიადაგები ხასიათდებიან კარგად გამოხატული ჰუმუსოვანი ჰორიზონტით, მუქი მორუხო-ყავისფერი შეფერილობით, კომპოვანი სტრუქტურით, მძიმე მექანიკური შედგენილობით, მძლავრი მეტამორფული ჰორიზონტით, კომპოვან-კაკლოვანი სტრუქტურით და თიხა მექანიკური შედგენილობით. ყავისფერი ნიადაგები

ხასიათდებიან სუსტ-ტუტე ან ნეიტრალური რეაქციით. ჰუმუსის შემცველობა დაბალია ან საშუალო. ხანგრძლივი მშრალი და ცხელი პერიოდის არსებობა განაპირობებს ორგანული ნივთიერებების პოლიმერიზაციასა და დამარაგებას. ყავისფერი ნიადაგები განსხვავდებიან რუხი-ყავისფერი ნიადაგებისაგან უფრო ღია შეფერილობით, ჰუმუსის მეტი შემცველობით, მძლავრი ჰუმუსიანი ჰორიზონტით, ტუტიანობის ნაკლები მაჩვენებლებით, რკინის სხვადასხვა ფორმების ნაკლები შემცველობით. ყავისფერი ნიადაგები მაღალი ნაყოფიერებით ხასიათდებიან და შავმიწებთან ერთად საქართველოს ყველაზე ნაყოფიერ ნიადაგებს მიეკუთვნებიან. თავისი აგრონომიული თვისებებით ყავისფერი ნიადაგები ერთ-ერთ საუკეთესო ნიადაგებად ითვლებიან ვაზისა და ხეხილის კულტურებისათვის. ამ ნიადაგებზე გაშენებულია ხარისხოვანი ღვინოების მომცემი ვენახები, ხეხილის ბაღები, რომლებიც გამოირჩევიან მაღალი პროდუქტიულობით და ნაყოფის ხარისხით. გარდა ამისა, მოჰყავთ ხორბალი, ქერი, სიმინდი, შაქრის ჭარხალი და სხვა.

რუხი-ყავისფერი ნიადაგები-ამ ტიპის ნიადაგები გავრცელებულია მარნეულის ვაკის უკიდურეს დასავლეთ ნაწილში, ძირითადად მდ. ხრამის მარცხენა მხარეზე, აგრეთვე მარნეულის მუნიციპალიტეტის ტერიტორიიდან ბოლნისის მუნიციპალიტეტისაკენ გამავალი რკინიგზის გასწვრივ. აღნიშნული ნიადაგები ზედაპირიდან კარბონატულია, სუსტად ჰუმუსიანი, მძიმე მექანიკური შემადგენლობით და ალუვიური ჰორიზონტების გათიხების მაღალი მაჩვენებლებით, ნიადაგები მცენარის საკვები ელემენტებით საშუალოდ არის უზრუნველყოფილი, ახასიათებს სუსტი ბიცობიანობა, მცირე რაოდენობით შეიცავს წყალში ხსნად სულფატურ მარილებს.

ყავისფერი ნიადაგები-მუნიციპალიტეტის ტერიტორიაზე ყავისფერი ნიადაგები გავრცელებულია ზდ. 500-900 მ სიმაღლემდე. ძირითად კარბონატულ ქანებზე. ხასიათდება კარგად ჩამოყალიბებული პროფილით, მძიმე თიხნარი შედგენილობისაა, ახასიათებს კარგი აგრონომიული თვისებები, რის გამოც მნიშვნელოვან სამიწათმოქმედო ობიექტს წარმოადგენს, ფართოდ არის გამოყენებული მებაღეობის, მებოსტნეობის, მევენახეობის განვითარების მიზნით და მარცვლეული კულტურების წარმოებისათვის. ყავისფერი ნიადაგები სხვადასხვა დაქანების კალთებზე შედარებით ადვილად ექვემდებარება ეროზიული პროცესების გავლენას.

მდელოს ყავისფერი ნიადაგები-ამ ტიპის ნიადაგების გავრცელების არეალი ძირითადად ყავისფერი ნიადაგების გავრცელების არეალის თანხვედრილია. ყავისფერ ნიადაგებთან ერთად გვხვდება ძირითადად ვაკეზედაპირიან რელიეფზე, მაგრამ ეს ორი ტიპის ნიადაგი ერთიმეორისაგან საკმოდ მკვეთრად განსხვავდება. მდელოს ყავისფერი ნიადაგები ერთგვაროვანი პროფილით ხასიათდება, მდიდარია თიხის ფრაქციით, სუსტად კარბონატულია. ბოლნისის მუნიციპალიტეტის ტერიტორიაზე ამ ნიადაგებით დაკავებული ფართობები ძირითადად გამოიყენება ერთწლიანი და მრავალწლიანი სასოფლო-სამეურნეო კულტურების წარმოებისათვის.

ყომრალი ნიადაგები-მუნიციპალიტეტის საზღვრებში ყომრალი ნიადაგები ზ.დ. 900-1000 მ-დან 1800-1900 მ სიმაღლემდეა გავრცლებული-ფართოფოთლოვანი ტყის ქვეშ. მიწათმოქმედების დანიშნულების თვალსაზრისით ყომრალი ნიადაგები ძირითადად წინამთების ზოლშია გამოყენებული, ზ.დ. საშუალოდ 900-1300 მ სიმაღლემდე. უფრო მაღლა, ნატყევარი ტერიტორიები საძოვრებად და სათიბებად არის გამოყენებული. ყომრალი ნიადაგები ხასიათდებიან გაეწრების მკაფიოდ გამოხატული პროცესებით, უმეტეს შემთხვევაში ხირხატანია-მძიმე თიხნარი შედგენილობით, გამოირჩევა საშუალო ჰუმუსიანობით და სხვადასხვა სიღრმით. ყომრალი ნიადაგები ნაკლებად მდგრადია ეროზიის მიმართ, ამიტომ ტყის საფარის გაჩეხვის შემთხვევაში ადვილად ექვემდებარება ეროზიას, მითუმეტეს, რომ ბოლნისის მუნიციპალიტეტის საზღვრებში ფართოფოთლოვანი ტყეები ყომრალი ნიადაგებით ძირითადად დახრილ ფერდობებზეა გავრცელებული.

მთა-ტყე-მდელოს ნიადაგები-ამ ტიპის ნიადაგები გავრცელებულია ძირითადად ლოქის ქედის სუბალპურ სარტყელში – სუბალპური მეჩხერი ტყის, მდელო-ბუჩქნარების და მდელოების ქვეშ. ამ ნიადაგებს ახასიათებს საკმაოდ მაღალი რაოდენობით ჰუმუსის შემცველობა, რომელიც ნიადაგის მთელ პროფილშია განაწილებული, ხირხატანობის და გაკორდების საკმაოდ მაღალი ხარისხი. მთა-ტყე-მდელოს ნიადაგების სამეურნეო ღირებულება მათ საფარზე განვითარებული ბალახ-მცენარეულობის საძოვრებსა და სათიბებად გამოყენებაში გამოიხატება. იმის გამო, რომ ამჟამად სრულიად იგნორირებულია პირუტყვის დატვირთვის დასაშვები ზღვრული ნორმები აშკარად სახეზეა საძოვრების გამწირების პროცესი, რაც პირველყოვლისა ნიადაგის ეროზიის თანდათანობით გაძლიერებაში გამოიხატება.

ნეშომპალა-კარბონატული ნიადაგები-ამ ტიპის ნიადაგები ძირითადად კარბონატებით მდიდარ ქანებზე და ტყით დაფარულ მთიან რელიეფზეა გავრცელებული, ჰუმუსით საკმაოდ მდიდარია შეიცავს კარბონატებს. ნეშომპალა-კარბონატული ნიადაგები გამოიყენება, როგორც მიწათმოქმედებაში, ასევე საძოვრებად და სათიბებად.

ალუვიური ნიადაგები-ალუვიურ ნიადაგებს ბოლნისის მუნიციპალიტეტის ტერიტორიაზე ნაკლები გავრცელება აქვს და ძირითადად მდ. ხრამის, მაშავერას და მათი შენაკადების ჭალებში და ნაწილობრივ ჭალისზედა პირველი ტერასის (4-8 მ) სუსტად დახრილ რელიეფზე გვხვდება. მუნიციპალიტეტის ტერიტორიაზე ალუვიური ნიადაგები ყველგან კარბონატულია, საშუალო ოდენობით შეიცავს ჰუმუსს, გამოირჩევა შრეობრიობით. ამ ნიადაგების ძირითადი ნაწილი ათვისებულია მიწათმოქმედებაში.

მუნიციპალიტეტის საზღვრებში გავრცელებული ნიადაგების მნიშვნელოვანი ნაწილი ამჟამად სხვადასხვა ინტენსივობით განიცდის დეგრადაციას, ძირითადად ანთროპოგენური ფაქტორის გავლენით. ნიადაგების დეგრადაციის პროცესი უპირველეს ყოვლისა მჟღავნდება მათი ფიზიკურ-მექანიკური, ქიმიური და მიკრობიოლოგიური თვისებების გაუარესებაში და შესაბამისად, ნაყოფიერების დაქვეითებაში [61].

2.4. საბადოს ზოგადი დახასიათება

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ კაზრეთში ორი მოქმედი საწარმოა-RMG Gold და RMG Copper. 1975 წელს როდესაც მადნეულის საწარმომ დაიწყო ფუნქციონირება აწარმოებდა მხოლოდ სპილენძის კონცენტრატს, ხოლო ოქროს შემცველ მადანს ასაწყოებდა, ეს გრძელდებოდა 1994 წლამდე ვიდრე ავსტრალიურმა კომპანიამ არ დაიწყო დასაწყოებელი მადნიდან ოქროს გამოტუტვა ციანიდის ხსნარით. 1997 წლის 2 აპრილს კი ჩამოსხმული იქნა პირველი ოქროს ზოდი. ორივე საწარმო „ოქროც“ და „სპილენძიც“ ახორციელებს ერთი და იგივე საბადოს დამუშავებას. საწყის ეტაპზე აქ არსებულ გეოლოგთა ჯგუფის მიერ ხდება ოქროსა და სპილენძის შემცველი ქანების შესწავლა, თუ ოქროს ძარღვი აღმოჩნდა ქანებში ეს მადანი მუშავდება კომპანია არ-ემ-ჯი ოქროს საწარმოს მიერ და ანალოგიურად, თუ სპილენძის შემცველი ქანები აღმოჩნდა მას ამუშავებს არ-ემ-ჯი სპილენძი. რადგანაც ძველი საბადოს ტერიტორიაზე ოქროს მარაგი გამოილია 2009 წლიდან დაიწყო ახალი საბადოს, აბულბუქის გახსნა და დღეს უკვე აქტიურად ხდება ახალი საბადოს ათვისება, აქ ზედაპირულ ქანებში ოქროს დიდი რაოდენობით შემცველობაა, ამიტომაც მის დამუშავებას ჯერჯერობით კომპანია „არ-ემ-ჯი ოქრო“ ახორციელებს, ხოლო შემდეგ როცა სიღრმეში ადგილი ექნება სპილენძის შემცველობას მის დამუშავებას კომპანია „არ-ემ-ჯი სპილენძი“ განახორციელებს.

უნდა აღინიშნოს, რომ ახალი საბადოს, აბულბუქის წიაღში ნავარაუდევია ოქროსა და სპილენძის საკმაოდ დიდი შემცველობები. მისი დამუშავება კომპანიის მესვეურებს საკმაოდ დიდ სარგებელს და მოგებას მოუტანს, ხოლო აქ მცხოვრებ მოსახლეობას კი უფრო მეტი საფრთხე და საშიშროება ემუქრებათ, რადგანაც იგი ბევრად ახლოს (2 კმ-ში) მდებარეობს დასახლებულ პუნქტებთან, ვიდრე ძველი საბადო. მასზე მიმდინარე ბურღვა-აფეთქებითი სამუშაოების შედეგად დიდი ოდენობით მტვერი აიტყორცნება ჰაერში, სხვადასხვა მძიმე მეტალების შემცველობასთან ერთად, რომელიც პირდაპირ ეფინება სოფელი ბალიჭის ტერიტორიებს, ასევე აქ გავრცელებული აღმოსავლეთის ქარების მეშვეობით გადაიტანება დმანისის ტერიტორიაზე. ამ სოფლის მაცხოვრებლებისთვის მოსული ტალახიანი წვიმები გასაკვირი აღარ არის, მიზეზი კი ყველასათვის ნათელია [62].

2.5. აბულბუქის კარიერი

აბულბუქის საბადო მდებარეობს მდინარე მაშავერას მარცხენა სანაპიროზე. ბოლნისი-დმანისი-სომხეთის დამაკავშირებელ სატრანსპორტო გზატკეცილთან. აბულბუქის მადნის დამუშავება 2008-2009 წლიდან დაიწყო და დღემდე უწყვეტი რეჟიმით მიმდინარეობს. ადგილზე განთავსებულია მადნის სამსხვრევი

მოწყობილობები და გამოსატუტი მოედნები. მადნის გადაზიდვა ფაბრიკაში მიმდინარეობს გადამზიდი ავტომობილებით, რომლებიც იწვევენ შემოვლითი გზებისა და დაბა კაზრეთის გაქუჩიანებას და დამატებითი მტვრის წარმოქმნას (ნახ. 1, 2, 3).



ნახაზი 1. აბულბუქის საბადოს აფეთქება, 2010 წ.



ნახაზი 2. ბოლნისი-დმანისის საავტომობილო გზის მონაკვეთი. საწარმოს მანქანა, რომელიც იწვევს გზებისა და მიმდებარე ტერიტორიების ამტვერებას.



ნახაზი 3. საყდრისის საბადოს აფეთქების შედეგად წარმოქმნილი დამაბინძურებელ ნივთიერებათა შემცველი აეროზოლი, 2015 წ.

2.6. საწარმოო ჩამდინარე წყლები

ბუნებრივი წყალსატევების ყველაზე მნიშვნელოვანი დამაბინძურებელია ისეთი დარგების საწარმოთა ჩამდინარე წყლები როგორცაა: ქიმიური, ნავთობგადამამუშავებელი, ცელულოზა-ქაღალდის, საფეიქრო, მეტალურგიული, მადანმომპოვებელი და ა.შ.

წყალსატევებში შესაძლებელია 3 ძირითადი სახეობის საწარმოო ჩამდინარე წყლების მოხვედრა: საწარმოო (ტექნიკურ პროცესებში გამოყენებული), სამეურნეო-ფეკალური (ადამიანის ტრადიციული და საწარმოო შენობების სანიტარული კვანძებიდან, იატაკების გარეცხვისაგან და ა.შ.) და ატმოსფერული (ობიექტის ტერიტორიაზე თოვლის დნობისა და სანიაღვრე).

საწარმოო ჩამდინარე წყლების შედგენილობა სხვადასხვა წარმოებებში ცხადია იცვლება და გარდა ტრადიციული გაბინძურებისა შეიცავენ ისეთ სპეციფიკურ მინარევებს, რომლებიც ხშირად ხასიათდებიან მაღალი კონცენტრაციით, ტოქსიკურობით, აგრესიულობით და ა.შ. საწარმოო ჩამდინარე წყლები დაბინძურებულ ნივთიერებათა კონცენტრაციის მიხედვით შეიძლება იყოს მაღალკონცენტრირებული და ნაკლებკონცენტრირებული, ხოლო რაც შეეხება ჩამდინარე წყლების აგრესიულობის ხარისხს აქ განასხვავებენ აგრესიულ და ძლიერ აგრესიულ წყლებს.

ჩამდინარე წყლების რაოდენობა დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე კერძოდ საწარმოში გამოყენებულ ნედლეულის ხარისხზე და რაოდენობაზე ტექნოლოგიურ პროცესზე, მოწყობილობა დანადგარებზე, ნახმარი წყლის ბრუნვით-საცირკულაციო სისტემებში გამოყენების პოტენციალზე და ა.შ. [39].

2.7. ბოლნისის რაიონის ჰიდროგრაფიული ქსელი

ჰიდროგრაფიული ქსელი მთლიანად მდ. მაშავერას წყალშემკრები აუზის შუა და ქვემო ნაწილებით არის წარმოდგენილი. მდ. ხრამი მუნიციპალიტეტის უკიდურესი ჩრდილო კიდის გასწვრივ ვიწრო და ღრმა კანიონში გაედინება და თავისი შენაკადებით თითქმის მთლიანად თეთრიწყაროს და მარნეულის მუნიციპალიტეტების ჰიდროგრაფიული ქსელის საზღვრებში თავსდება. ბოლნისის მუნიციპალიტეტის ტერიტორიაზე მდ. მაშავერა და მისი შენაკადები: ბოლნისის წყალი, მოშევანი, ტალავრისწყალი და სხვა ტიპური მთის მდინარეებია, ალაგ-ალაგ ჭორომებიანი და ჩანჩქერიანი მონაკვეთებით.

მძიმე ლითონების შემცველობის მხრივ ნიადაგების ეკოგეოქიმიური მდგომარეობის ფაქტორივი მასალების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ კაზრეთის მადნიან ზონაში გავრცელებული ნიადაგების ერთი ან რამდენიმე ტოქსიკური მიკროკომპონენტით გაჭუჭყიანებაში შეიმჩნევა გარკვეული კანონზომიერებები.

ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებზე 3-ჯერ და უფრო მეტად მაღალი შემცველობის ნიადაგები უმთავრესად გავრცელებულია მადნეულის სამთო-მომპოვებელი კარიერის გარემომცველ ტერიტორიაზე, მდინარეების კაზრეთულას და ფოლადაურის წყალშუეთში. აქ ძირითადად წარმოდგენილია ერთდროულად ოთხი, ხუთი და ექვსი მიკროკომპონენტით გაჭუჭყიანებული ფართობები. საკმაოდ ინტენსიური გაჭუჭყიანება შეინიშნება აგრეთვე მდ. მაშავერას ხეობის მარცხენა ნაპირის გასწვრივ.

დადგენილია, რომ ამჟამად მუნიციპალიტეტის ტერიტორიის გარკვეულ ნაწილზე ნიადაგები საშუალოდ გაჭუჭყიანებულ კატეგორიას მიეკუთვნება, მაგრამ აუცილებლად გასათვალისწინებელია, რომ ნათლად შეიმჩნევა ამ მდგომარეობის გაუარესების ტენდენცია, რისი ძირითადი მიზეზიც უნდა ვეძიოთ მდ. მაშავერას და მისი შენაკადების ინტენსიურად გაჭუჭყიანებული წყლების ფართოდ გამოყენებაში სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების მოსარწყავად. კიდევ უფრო კრიტიკულ მდგომარეობაშია კაზრეთის მიდამოების ჰიდროგრაფიული ქსელი, მისი მთავარი საწყლო არტერიის მდ. მაშავერას ჩათვლით, მდინარეების გაჭუჭყიანების უმთავრესი მიზეზი მათ ხეობებში განთავსებული ფუჭი ქანების სანაყაროებიდან მდინარეებში ჩამდინარე წყლებია [63].

2.8. საწარმოო პროცესების შედეგად წარმოქმნილი რთული ეკოლოგიური ფონი ბოლნისის რაიონში

საბადოს დამუშავება, როგორც ავლნიშნეთ მიმდინარეობს ღია კარიერული წესით. ქვემოთ მოცემულ სურათზე ნაჩვენებია კარიერის ღია წესით დამუშავების შედეგად წარმოქმნილი ანთროპოგენური გამიშვლებები (ნახ. 4).



ნახაზი 4. მადნის დამუშავების შედეგად წარმოქმნილი ანთროპოგენური გამიშვლებები.

საბადოს დამუშავების ეს მეთოდი ძალიან იაფი და მომგებიანია, მაგრამ იგი მეტად მძიმე დაღს ასვამს გარემოს, წარმოიქმნება ასეულობით კუბური მეტრის ჩალრმავეები, დროთა განმავლობაში კლიმატური პირობების შედეგად მათში წარმოიქმნება გუბები, სადაც სულფიდები იჟანგება ატმოსფერული ჟანგბადის შედეგად და გუბებში გროვდება მძიმე ლითონების წყალში ხსნადი სულფატები. ეს წყლები მდიდარია ისეთი მძიმე ლითონების იონებით, როგორცაა: Cu, Zn, Fe, Cd, Mn, Co, Ni და სხვა. მჟავა შემცველი წყლები გადაიტუმბება კარიერის მიმდებარე ტერიტორიაზე ე.წ. დამბაში სადაც ხდება მისი დაგროვება და შემდეგ მადნეულის ფაბრიკაში მისი გაწმენდა. ცემენტაციის გზით, მძიმე ლითონების შემცველი წყლებიდან ხდება სპილენძის ამოღება, ხოლო რაც შეეხება დანარჩენ ლითონებს მათი ამოღება არ მიმდინარეობს. სპილენძ გამოცლილი და Zn, Cd, Ni, Fe შემცველი კარიერული წყლები ჩაედინება მდ. კაზრეთულაში და იწვევს მის ქიმიურ დაბინძურებას მძიმე ლითონებით, მადნის ნარჩენებით, თიხებით, წიდით, pH-ის შეცვლით და სხვა (ნახ. 5). შეცვლილია ფიზიკური თვისებები (ფერი, სუნი და გემო).



ნახაზი 5. დაბინძურებული მდინარე კაზრეთულა.

მჟავაშემცველი კარიერული წყლები აბინძურებს არა მარტო მიწისქვეშა არამედ მიწისზედა წყლებს, კერძოდ, მდინარეებს: კაზრეთულას და მაშავერას.

უნდა აღინიშნოს, რომ მადნეულის საბადო მდინარეთა გარემოცვაშია მოქცეული. სამხერთით მდინარე ფოლადაური, ჩრდილოეთით მაშავერა, დასავლეთით მდინარე კაზრეთულა ჩამოედინება. მდ. მაშავერაში ჩაედინება მდ. კაზრეთულა, რომელსაც ტოქსიკური ნაერთების დიდი შემცველობა გააჩნია. მდ. მაშავერა კი თავის მხრივ უერთდება მდინარე ხრამს. მდინარე კაზრეთულა ბინძურდება არამარტო საწარმოო ტექნიკური წყლების ჩადინებით, არამედ წვიმებისა და თოვლის დნობის შედეგად წარმოქმნილი წყლებით. ამ დროს ჩამოირეცხება ნაგავსაყრელები და საწარმოს

მიმდებარე ტერიტორია, ხოლო ეს წყლები ხვდებიან მდინარეში. რის შედეგადაც ხდება ამ პატარა მდინარის დაბინძურება ისევ და ისევ მძიმე ლითონებით.

მაშავერა ბოლნისის რაიონის ძირითადი სარწყავი ობიექტია. ამ წყლით ირწყვება შემდეგი სოფლების სავარგულები: რატევის, ბოლნისის, რაჭისუბანის, მწყნეთის, ხიდისყურის, ნახიდურის და სხვა. შესაბამისად აბინძურებს ამ სოფლების ნიადაგებს. აქ მოწეულ კვების პროდუქტებს კი მოიხმარენ არამარტო ადგილობრივები, არამედ გადის სარეალიზაციოდ: ბოლნისის, თბილისის, დმანისის, რუსთავის და საქართველოს სხვა რაიონებში [64].

დღეს-დღეობით საწარმოს ინტენსიური აფეთქების შედეგად ჰაერში გამოიყოფა მომწამლავი აეროზოლები, რომლებიც გაიფანტება ეკოსისტემაში და ხდება მათი დალექვა გარემოში. სურათებზე ნაჩვენებია გარემოში მავნე აეროზოლების გამოყოფა და მათი დალექვა. მძიმე მეტალების შემცველი აეროზოლები ძირითადად ილექებიან ნიადაგებში. მათი განაწილება მცენარეებსა და ცოცხალ ორგანიზმებში კი ნიადაგიდან ხდება. ატმოსფერული ჰაერის ძირითადი დამაბინძურებელი მავნე ნივთიერებებია: არაორგანული მტვერი (მძიმე მეტალების შემცველი), ნახშირჟანგი, აზოტის ოქსიდები, გოგირდის დიოქსიდი, ჭვარტლი, ნახშირწყალბადები, გოგირდწყალბადი, ნახშირორჟანგი (როგორც სათბური ეფექტის მქონე აირი), რკინისა და მანგანუმის ოქსიდები და აიროვანი ფტორიდები.

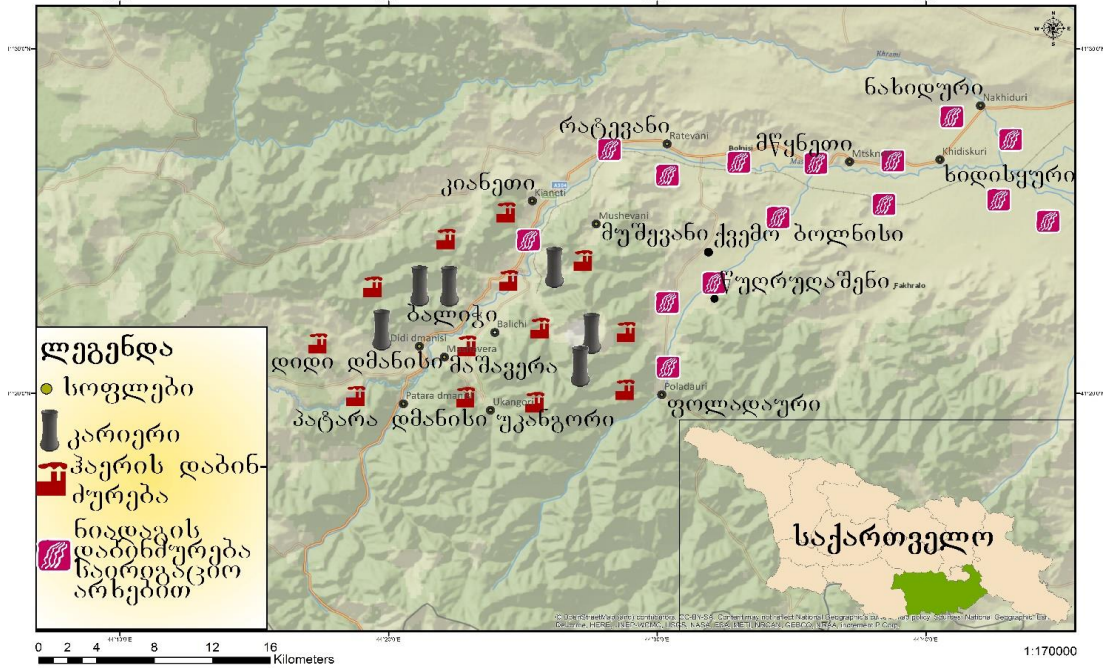
საწარმოში ნარჩენების ძირითად მასას წარმოადგენს ტექნოლოგიური ნარჩენები: 1. ფუჭი ქანები, რომლებიც წარმოიქმნებიან მადნის მოპოვებისას. 2. თხევადი ნარჩენები (კუდები), რომლებიც წარმოიქმნებიან გამამდიდრებელ საამქროში მადნის გადამუშავებისას. ფუჭი ქანები განლაგებულია კარიერის მახლობლად მდებარე ოთხ ნაგავსაყრელზე, ხოლო თხევადი ნარჩენები სატუმბი დანადგარების საშუალებით მიემართება კუდსაცავში. კუდსაცავს უკავია 70 ჰა ფართობი და დალექილია 30 მილიონი ტონა გამამდიდრების ნარჩენი მასა. კუდებში ლითონების შემცველობა დაახლოებით 5.9 %-ს შეადგენს [65] [66].

2.9. ბოლნისის რაიონის ეკომონიტორინგი

ჩვენი კვლევის მიზანს წარმოადგენდა სამხრეთ-აღმოსავლეთ საქართველოს გარკვეულ უბნებში დაბინძურებული ნიადაგების და მდინარეთა წყლის მონიტორინგი.

კვლევის შედეგების მიხედვით გეოინფორმაციული სისტემების გამოყენებით შევადგინეთ საკვლევი ტერიტორიის რუკა, რომელზედაც დატანილია დაბინძურებული არეალები სამხრეთ-აღმოსავლეთ საქართველოში (ნახ. 6).

მიმე ლითონებით დაბინძურებული ნიადაგები ძვემო ქართლში



ნახაზი 6. რუკაზე წარმოდგენილია მიმე ლითონებით დაბინძურებული არეალები.

მოცემულ რუკაზე ნათლად ჩანს ატმოსფერული ჰაერით და მდინარის წყლით დაბინძურებული ნიადაგების გავრცელების მასშტაბები.

ჩვენმა კვლევებმა აჩვენა, რომ საბადოს მიმდებარე სოფლებში, რომლებიც სასოფლო სამეურნეო საქმიანობისათვის ინტენსიურად იყენებენ მიმე ლითონების შემცველ მდინარის წყალს, დიდია ნიადაგის დაბინძურების ხარისხი. კვლევის შედეგები კარგად ასახავს მდინარე მაშავერასა და კაზრეთულას დაბინძურების ხარისხს თუთიით, კადმიუმით და რკინით. რაც შეეხება სპილენძს, მდინარის წყალში მისი შემცველობა შედარებით ნაკლებია და ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციას არ აღემატება, რადგან სპილენძის გადამამუშავებელი საწარმო ჩამდინარე წყლებს წმენდს სპილენძისაგან რკინის ფხვნილის გამოყენებით (ცემენტაციის მეთოდი), (ცხრილი 1, 2).

ცხრილი 1. მიმე ლითონების შემცველობა მდინარე მაშავერას, კაზრეთულას და საწარმოო ჩამდინარე წყლებში. 2010 წელი.

მდინარის სახელწოდება	Cu მგ/კგ	Zn მგ/კგ	Cd მგ/კგ	Fe მგ/კგ
მდ. მაშავერა მდ. კაზრეთულას შეერთებამდე 50 მ-ით ზევით	0.01	0.04	0.004	0.12
მდ. კაზრეთულა ფაბრიკის დამბის წყლის შეერთებამდე	1.4	510.2	13.2	1.1
ფაბრიკის დამბის წყალი, მდ. კაზრეთულას შეერთებამდე	1.6	3.5	0.2	17.3

დამბისა და მდ. კაზრეთულას შეერთებიდან 50 მ-ში	1.1	324.4	9.8	9.0
სოფ. რატევანთან მდ. მაშავერას წყალი.	1.6	26.6	0.3	18.2
მწყნეთის სარწყავი არხის წყალი	0.3	1.7	0.05	0.6
სოფ. ნახიდურის სარწყავი არხიდან აღებული წყალი	0.04	0.2	0.01	0.4

ცხრილი 2. მძიმე ლითონების შემცველობა, მდინარე მაშავერას, კაზრეთულასა და საწარმოო ჩამდინარე წყლებში. 2011 წელი.

მდინარის დასახელება	Cu მგ/კგ	Zn მგ/კგ	Cd მგ/კგ
გაუწმენდავი დამბის წყალი	537.3	5010.0	23.65
გაწმენდილი დამბის წყალი	165.3	4460.8	2.0
მდ. კაზრეთულა დამბის წყლის შეერთების შემდეგ	1.04	15.18	1.49
მდ.მაშავერა მდ. კაზრეთულას შეერთებამდე 500 მ-ით ზევით, სოფ. ბალიჭის სარწყავი წყალი	0.006	0.19	0.11
მდ. მაშავერა მდ. კაზრეთულას შეერთებიდან 100 მეტრში	0.65	6.54	0.47

მოყვანილი მონაცემებიდან ნათლად ჩანს, რომ მდინარე კაზრეთულა ძლიერ ბინძურდება საწარმოდან ჩამდინარე წყლებით, რომლებიც დიდი რაოდენობით შეიცავენ მძიმე ლითონებს, როგორცაა კადმიუმი და თუთია. საწარმოო ჩამდინარე წყლებს აქვთ pH-ის დაბალი შემცველობა, რომელიც საშუალოდ 2-დან 3-მდე მერყეობს.

ჩვენი კვლევის შედეგებით ირკვევა, რომ დამბის წყალი (რომლის გაწმენდაც ხდება ცენემტაციის მეთოდით) სრულად არ იწმინდება მძიმე ლითონებისგან. დამაბინძურებლების შემცველი დამბის წყალი უერთდება მდინარე კაზრეთულას, რაც იწვევს ამ უკანასკნელის კიდევ უფრო დაბინძურებას.

მდ. მაშავერასთან შეერთებისას ხდება მდ. კაზრეთულას განზავება რის გამოც მდინარე მაშავერაში თუთიის და კადმიუმის დონეები აღემატება დასაშვებ ნორმას, მაგრამ კაზრეთულასთან შედარებით დაბალია ეს მონაცემები.

საკვლევ რაიონში, ჩვენ აგრეთვე შევისწავლეთ საირიგაციო სისტემის წყლის დაბინძურების ხარისხი. წყლის ნიმუშების აღება მოხდა შემდეგ სოფლებში: რატევანი, ნახიდური და მწყნეთი. კვლევის შედეგებმა აჩვენა, რომ ნიმუშებში მძიმე ლითონების

(Cu, Zn, Cd) კონცენტრაცია აჭარბებს ზღვრულად დასაშვებ ნორმას. თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ ამ შემთხვევაში ნიმუშების აღება მოხდა ერთჯერადად.

მდინარის წყლებზე და საწარმოო ჩამდინარე წყლებზე მონიტორინგი ტარდებოდა 2010-2011 წლებში და ამ მონაცემების მიხედვით ჩვენ შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ საწარმო დიდ ზიანს აყენებს რაიონის ჰიდროგრაფიულ ქსელს. თუმცა არ შეგვიძლია ვიმსჯელოთ, თუ როგორია დაბინძურების სურათი მთელი წლის განმავლობაში და ნიადაგების დაბინძურების თვალსაზრისით რა ნაწილი მოდის საირიგაციო სისტემაზე.

მდინარეში დამაბინძურებლების კონცენტრაცია ყოველთვის ერთნაირი არ არის, რადგან ჩამდინარე წყლების მოცულობა ყოველთვის განსხვავებულია. ამიტომ ეს პროცესი უკონტროლოა და ძნელია კორელაციური კავშირების დადგენა. ასევე ამ პროცესს სეზონურობაც ახასიათებს (შემოდგომასა და გაზაფხულზე უხვი ატმოსფერული ნალექების პერიოდში დიდი მოცულობის წყალი ჩაედინება მდინარეში) და შეუძლებელია წყლის ხარჯის ზუსტად გამოთვლა, რადგან ფერდობების ჩამორეცხვის შედეგად დაბინძურებული წყლები დიდი რაოდენობით ერევა მდინარე მამავერასა და კაზრეთულაში.

ასევე შესაძლებლობა გვაქვს, რომ განვიხილოთ ნიადაგის მონიტორინგის შედეგად მიღებული მონაცემები. ბოლნისის რაიონის სოფლებში ნიადაგის მონიტორინგი ტარდებოდა 2010, 2012, 2013 და 2014 წლების განმავლობაში (ცხრილი 3, 4, 5).

ცხრილი 3. სოფ. რატევანის ნიადაგში სპილენძის, თუთიის და კადმიუმის შემცველობა, 2010 წ.

სოფლის დასახელება	pH	თარიღი	Cu მგ/კგ	Zn მგ/კგ	Cd მგ/კგ
სოფელი რატევანი, ნიადაგი 0-10 სმ-დან	-	19.07.10	1840	5610.0	121.5
სოფელი რატევანი, ნიადაგი 30-35 სმ-დან	-	19.07.10	806.0	224.7	12.1
სოფელი რატევანი, ნიადაგი 0-10 სმ-დან	7.90	19.10.10	511.3	5420.0	68.7
სოფელი რატევანი, ნიადაგი 30-35 სმ-დან	7.81	19.10.10	2050.0	499.0	100.3

ცხრილი 4. სოფელ ნახიდურის ნიადაგებში სპილენძის, თუთიის და კადმიუმის შემცველობა, 2010 წელი.

სოფლის დასახელება	pH	თარიღი	Cu მგ/კგ	Zn მგ/კგ	Cd მგ/კგ
სოფელი ნახიდური, ნიადაგი 0-10 სმ-დან	5,46	19.05.10	231.8	3770.0	34.6
სოფელი ნახიდური, ნიადაგი 30-35 სმ-დან	6,00	19.05.10	285.4	404.0	41.5
სოფელი ნახიდური, ნიადაგი 0-10 სმ-დან	5.29	19.10.10	46.3	165.9	<
სოფელი ნახიდური, ნიადაგი 30-35 სმ-დან	6,40	19.10.10	72.0	217.0	<

ცხრილი 5. სოფელ ბალიჭის ნიადაგებში მძიმე ლითონების შემცველობა, 2010 წელი.

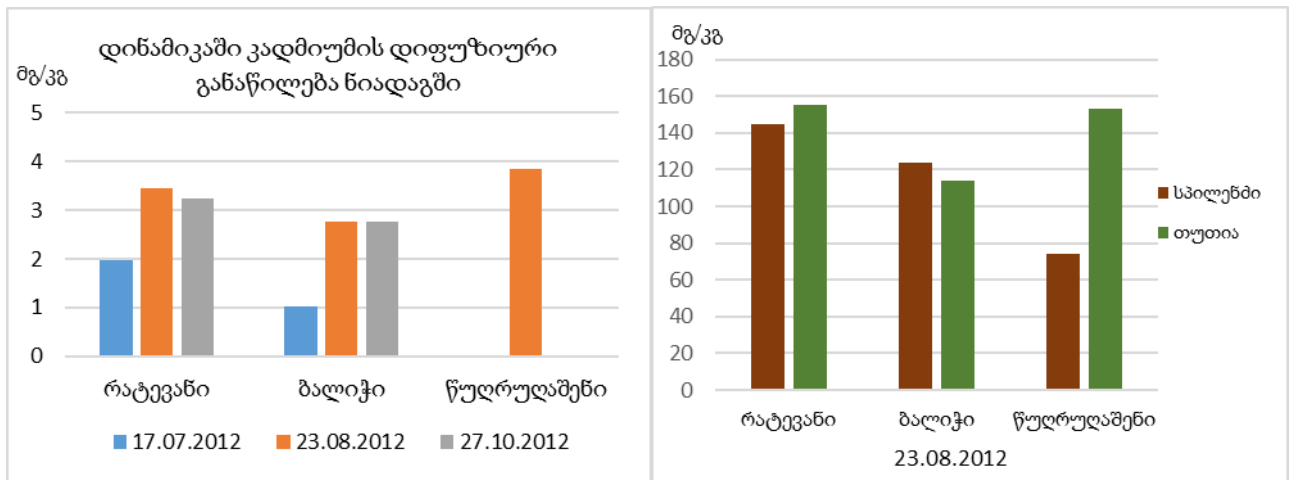
სოფლის დასახელება	თარიღი	pH	Cu მგ/კგ	Zn მგ/კგ	Cd მგ/კგ
1. სოფელი ბალიჭი, ნიადაგი 0-10 სმ-დან	19.05.10	6.29	97.0	159.1	43.8
2. სოფელი ბალიჭი, ნიადაგი 30-35 სმ-დან	19.05.10	7.23	49.5	140.3	20.0

2010 წლის მონაცემების მიხედვით, თუ ვიმსჯელებთ დავინახავთ, რომ სამივე სოფელში დაბინძურება ზღვრულად დასაშვებ ნორმებს აღემატება. სოფელ რატევანში სპილენძის შემცველობა გაზრდილია ზღვრულად დასაშვებ ნორმასთან შედარებით საშუალოდ 1300 %-ით. თუთიისა 979 %-ით, კადმიუმის კი 3760 %-ით. სოფელ ნახიდურში სპილენძი 143 %-ით, თუთია 379 %-ით, კადმიუმი 1875 %-ით. სოფელ ბალიჭში კი მხოლოდ კადმიუმი აღემატება ზღვრულად დასაშვებ ნორმებს 1575 %-ით. სოფელ რატევანსა და ნახიდურის ნიადაგებში ძალზედ მაღალია მძიმე ლითონთა შემცველობა ამ წლის მონაცემების მიხედვით, თავისი შემადგენლობით უახლოვდება კიდევ მადან შემცველ ნიადაგებს. ამ სოფლებში ასეთი დიდი დაბინძურება პირველ რიგში განპირობებულია იმით, რომ სასოფლო სამეურნეო ნიადაგები ინტენსიურად ირწყვებოდა ძალზედ დაბინძურებული მდინარე მაშავერას წყლით. მორწყვის შედეგად წყალში არსებული მძიმე ლითონები აკუმულირდებიან ნიადაგში, რის გამოც იცვლება ნიადაგის სტრუქტურა და pH-ის შემცველობა.

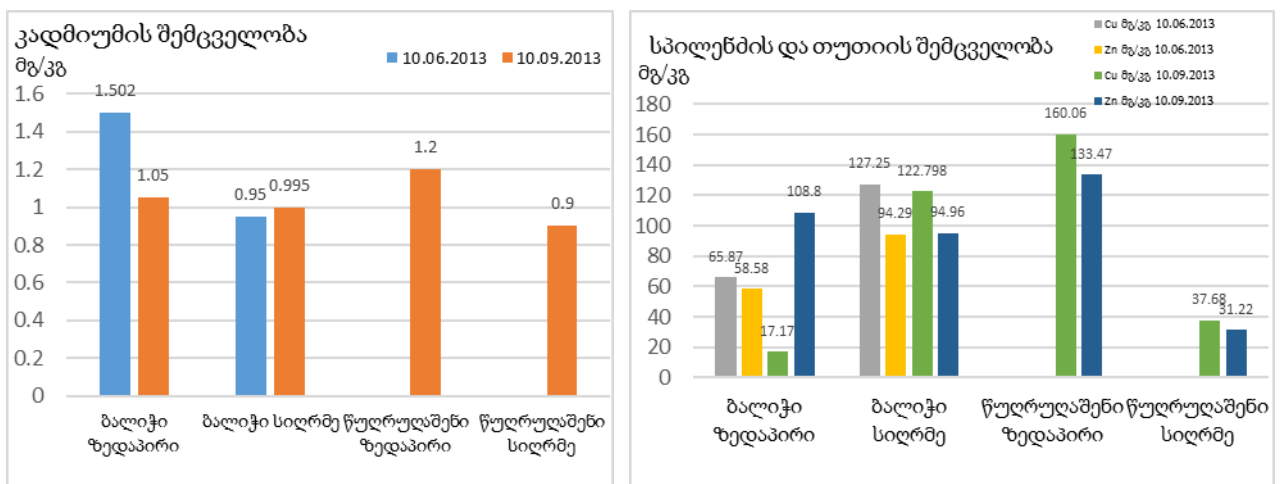
დამაბინძურებელთა უმეტესობა ნიადაგში წარმოქმნის ხსნად ფორმებს და ადვილად გადაიტანება მცენარეებსა და ცოცხალ ორგანიზმებში. გამომდინარე იქიდან,

რომ სოფელ ბალიჭში სარწყავად გამოიყენება მდინარის სუფთა წყალი (იხ. ცხრილი 2), გამოვრიცხავთ იმის შესაძლებლობას, რომ ნიადაგების დაბინძურება წყლიდან მომდინარეობდეს. ამ სოფელში ნიადაგების დაბინძურება ძირითადად საწარმოო მტვრის ნაწილაკების ნიადაგში აბსორბციის შედეგია.

2012-2013 წლებში დაბინძურებული ნიადაგების მონიტორინგი განხორციელდა ბოლნისის რაიონის 3 სოფელში (ბალიჭი, რატევანი და წულრულაშენი). კვლევები ძირითადად ტარდებოდა ზაფხულსა და შემოდგომაზე (ნახ. 7, 8).



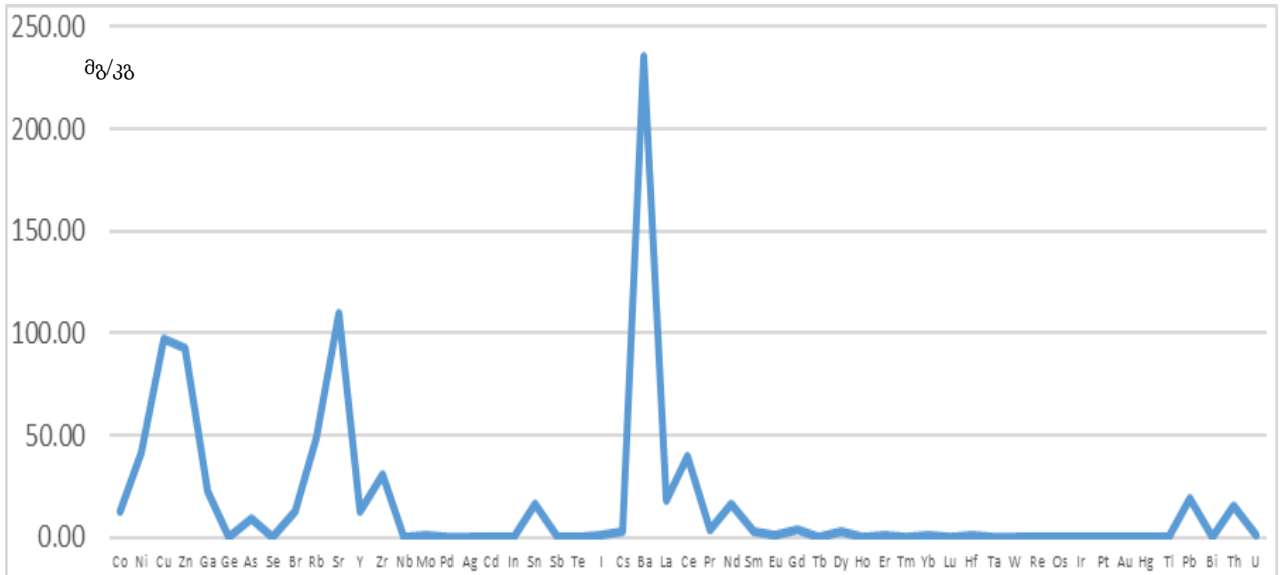
ნახაზი 7. სოფლების: რატევანის, ბალიჭისა და წულრულაშენის ნიადაგებში მძიმე ლითონების შემცველობა. კვლევები ჩატარდა 2012 წლის ივლისში, აგვისტოსა და ოქტომბერში.



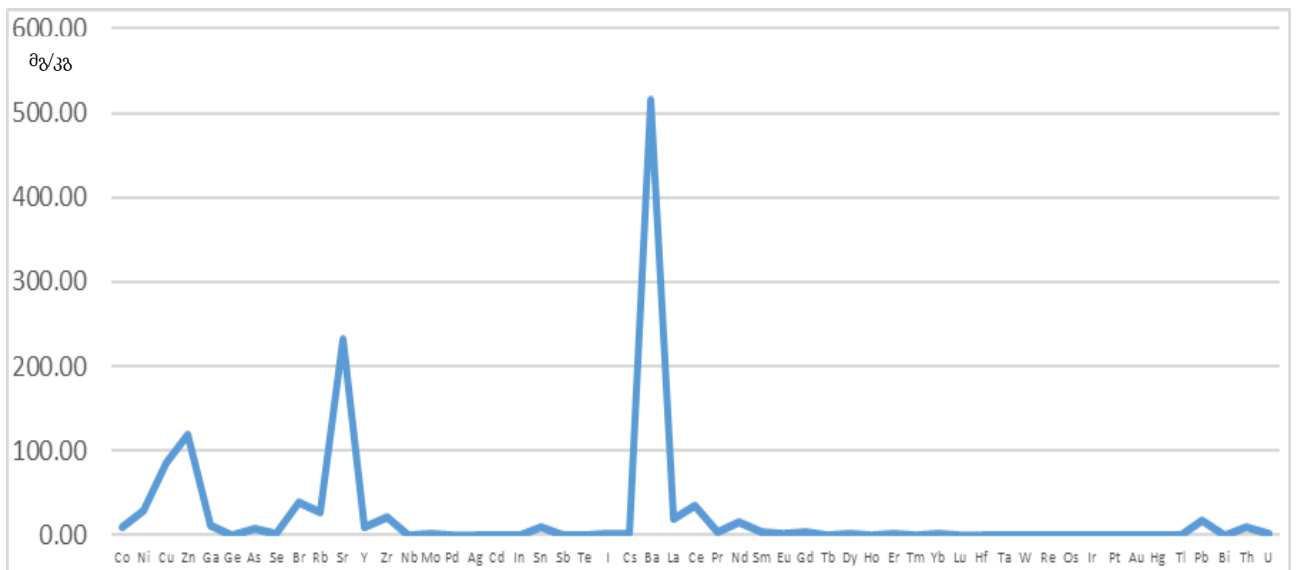
ნახაზი 8. სოფელ ბალიჭისა და წულრულაშენის ნიადაგებში მძიმე ლითონების (Cd, Cu, Zn) შემცველობა. კვლევები ჩატარდა 2013 წლის ივნისსა და სექტემბერში.

2012 წლის მონაცემებით, ზემოთ აღნიშნულ სოფლებში კადმიუმის შემცველობა აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას, მაგრამ 2010 წელთან შედარებით საგრძნობლად არის დაკლებული. რაც შეეხება სპილენძს და თუთიას მათი შემცველობა არ აღემატება ზღვრულად დასაშვებ ნორმებს. იგივე შეიძლება ითქვას 2013 წელზეც. ლითონების კლება განპირობებულია პირველ რიგში იმით, რომ ამ პერიოდში საწარმო

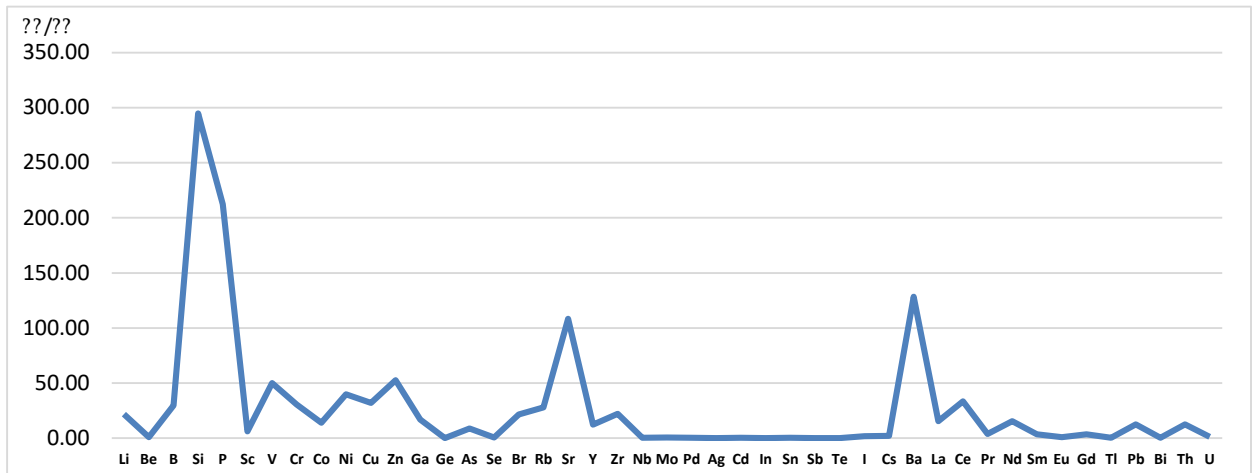
ფაქტიურად გაჩერებული იყო გარკვეული დაძვებითი სამუშაოების გამო, რომლის საქმიანობა მხოლოდ ფუჭი ქანების დამუშავებით შემოიფარგლებოდა (ნახ. 9, 10, 11, 12, 13).



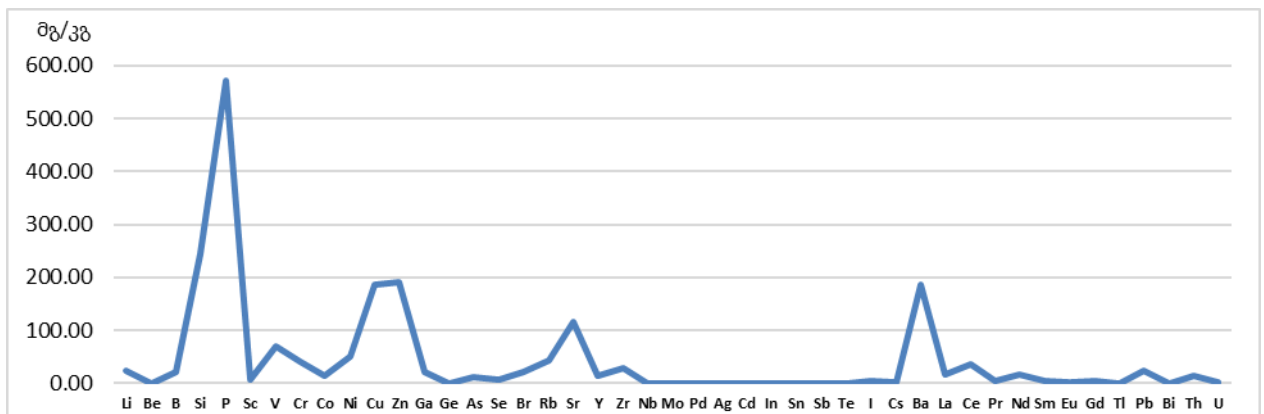
ნახაზი 9. სოფელი ბალიჭი, ნიადაგში ელემენტთა შემცველობის სპექტრი, 2014 წელი.



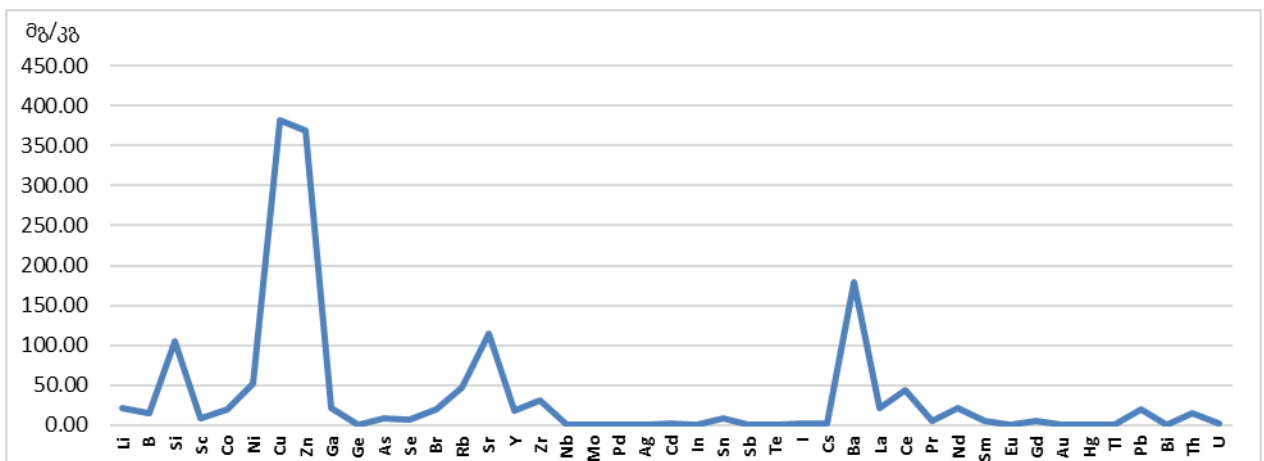
ნახაზი 10. საყდრისი, ნიადაგში ელემენტების შემცველობის სპექტრი, 2014 წელი.



ნახაზი 11. სოფ. წულრულაშენი, ნიადაგში ელემენტების შემცველობის სპექტრი, 2014 წელი.



ნახაზი 12. სოფ. რატევანი, ნიადაგში ელემენტების შემცველობის სპექტრი, 2014 წელი.



ნახაზი 13. სოფ. ნახიდური, ნიადაგში ელემენტების შემცველი სპექტრი, 2014 წ.

ზემოთმოყვანილი მონაცემების მეშვეობით საშუალება გვქვდა დავინახოთ ამა თუ იმ სოფლის ნიადაგებში მძიმე ლითონთა სრული შემცველობა. მონაცემები ცხადყოფს, რომ საბადოს მიმდებარე სოფლებში კადმიუმით დაბინძურება ნაკლებია წინა წლებთან შედარებით. ამ კვლევის შედეგების უნიკალურობა იმაში მდგომარეობს,

რომ 2014 წლამდე საქართველოში არ იყო ნიადაგში 76 ელემენტის შემცველობის სრული კვლევა ჩატარებული. ამ მონაცემების საფუძველზე გამოირკვა, რომ ნიადაგები ბინძურდება მეტალური სტრონციუმით, ცეზიუმით, დარიშხანით, ვოლფრამით, ნიკელით, რადიუმით, რუბიდიუმით და ა.შ. ხოლო 2014 წლის ბოლოდან ინტენსიურად დაიწყო საწარმომ ახალი კარიერების (საყდრისი) ათვისება, რის გამოც რეგიონში კვლავ იჩინა თავი მწვავე ეკოლოგიურმა პრობლემებმა. ნიადაგშიც დაიწყო მძიმე ლითონების კონცენტრაციის გაზრდა, რომელიც ჩვენი აზრით საწარმოს ინტენსიური მუშაობით იყო განპირობებული

მტვერი ატმოსფეროში მარტო აფეთქების შედეგად არ ხვდება. საწარმო ფუჭ ქანებს ინტენსიურად იყენებს დაზიანებული გზების რეაბილიტაციისათვის. აგრეთვე ამ გზებზე გადაადგილდებიან სატვირთო მანქანები, რომლებსაც გადააქვთ მადანი ღია მდგომარეობაში, რაც გარკვეულწილად იწვევს ატმოსფეროს დაბინძურებას.

ზემოთ წარმოდგენილი სურათებიდან (ნახ. 1, 2, 3) ნათლად ჩანს რაოდენ დიდია აფეთქების შედეგად ატმოსფეროში გამოყოფილი მტვრის მოცულობა. ხშირად აფეთქების დროს გამოიყენება დიდი მუხტი, რაც დიდი რაოდენობით მტვრის ნაწილაკების გამოტყორცნას იწვევს ატმოსფეროში. მტვრის ნაწილაკები გაბატონებული ქარების მეშვეობით გადაიტანება დიდ მანძილზე (დაახლოებით 30 კმ) და მათი აბსორბცია ხდება ნიადაგში. ჰაერში მტვრის შემცველობა საბადოს მიმდებარე ტერიტორიებზე განსაკუთრებით დიდია ზაფხულის პერიოდში

ოქროსა და სპილენძის მომპოვებელი საწარმო უწყვეტი რეჟიმით მუშაობს და საწარმოდან მტვრის გამოყოფის სიხშირე დამოკიდებულია აფეთქებების ინტენსიობაზე (საშუალოდ 20-ჯერ აფეთქებენ თვეში). მტვერი დიდი რაოდენობით შეიცავს სხვადასხვა სახის მავნე ნივთიერებებს, მათ შორის მძიმე ლითონებსაც, რომლებიც ჰაერში შეწონილ მდგომარეობაში იმყოფებიან. ატმოსფეროდან, ცოცხალ ორგანიზმებში სასუნთქი გზებით და კანზე შეხებით მოხვედრილი დამაბინძურებლები, იწვევენ ჯანმრთელობის გაუარესებას.

RMG ჯგუფის საწარმოო საქმიანობის შედეგად ბინძურდება არა მარტო ატმოსფერო, არამედ ჰიდროსფერო და რიზოსფერო. საწარმოს ტერიტორიაზე დიდ მასშტაბებზეა წარმოდგენილი გადახსნილი კარიერები, კუდასცავები და ნაგავსაყრელები, რომლებსაც არ გააჩნიათ არანაირი სადრენაჟო სისტემა. უხვი ატმოსფერული ნალექების მოსვლის დროს გადახსნილი ზედაპირებიდან ინტენსიურად ჩამოირეცხება მადანი და ფუჭი ქანები, რომლებიც ჩაიტანება მდინარეებსა და მცირე ნაკადებში.

პრობლემას წარმოადგენს ასევე მოძველებული კუდასცავი, რომელიც წყალუხვობის დროს ვერ იტევს შესაბამისი მოცულობის წყლის მარაგს და ხდება მდინარე მამავერასა და კაზრეთულაში მათი ჩაშვება. ასევე ბინძურდება მიწისქვეშა წყლები და წყაროები, ზოგიერთ მათგანს კი ადგილობრივი მოსახლეობა სასმელად მოიხმარს.

ჩამდინარე წყლებით დაბინძურებული მდინარე კაზრეთულა უერთდება მდინარე მაშავერას, რომელსაც ადგილობრივი მოსახლეობა იყენებს სასოფლო სამეურნეო მიზნებისათვის (ნახ. 14).



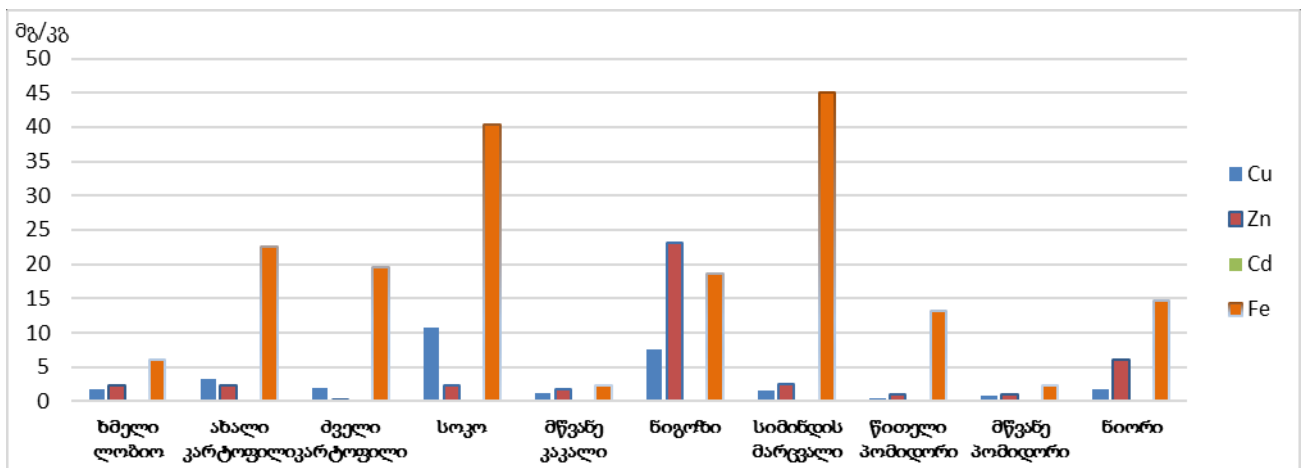
ნახაზი 14. ფოტოზე ასახულია მდინარე კაზრეთულასა და მაშავერას შეერთების ადგილი.

საწარმოს საქმიანობის შედეგად ატმოსფეროს და ჰიდროსფეროს დაბინძურება, თავის მხრივ იწვევს მესამე კომპონენტის-რიზოსფეროს დაბინძურებას, ამ უკანასკნელში დამაბინძურებლები ხანგრძლივი დროით დომინირებენ, რადგან გაძნელებულია დამაბინძურებლების გარდაქმნა ისეთ ნივთიერებებად, რომლებიც უვნებელი იქნება მცენარეებისა და ცოცხალი ორგანიზმებისათვის.

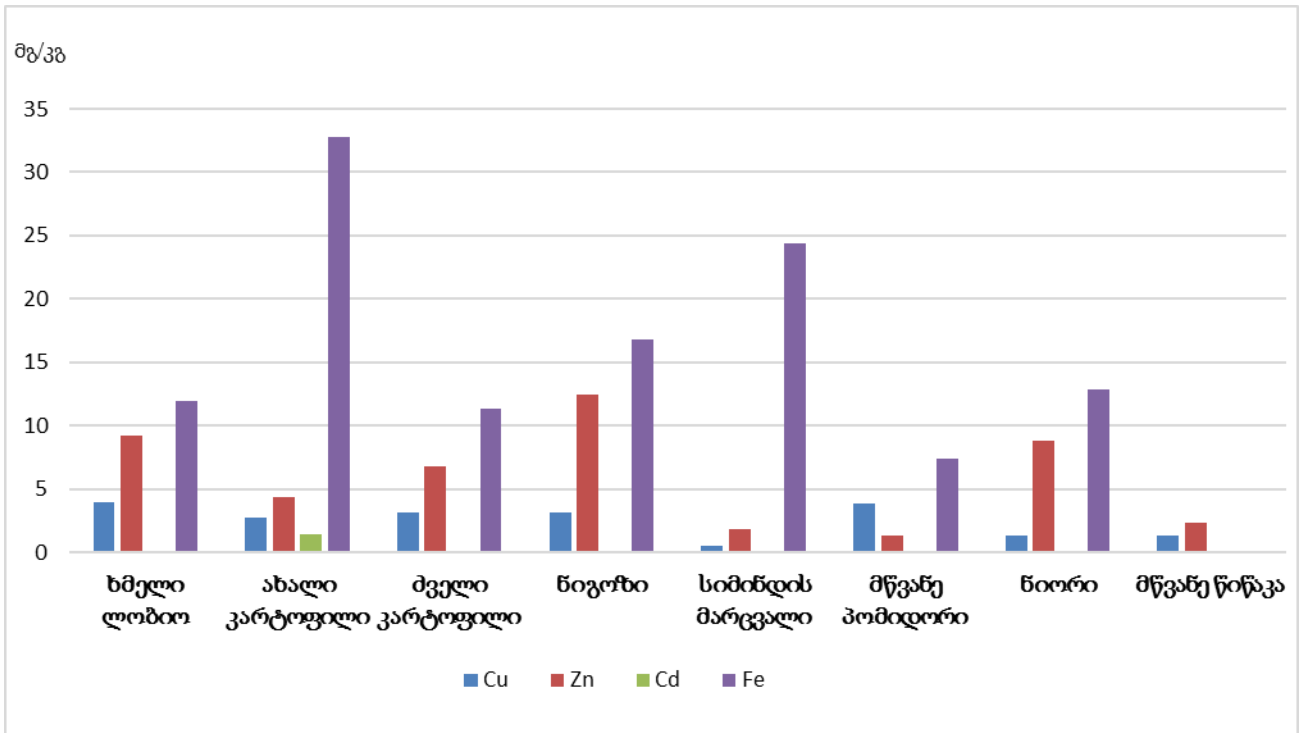
როგორც უკვე ავღნიშნეთ ბოლნისის რაიონში ნიადაგების დაბინძურება გამოწვეულია მდინარის წყლით და ატმოსფერული ჰაერით, რომლებიც შეიცავენ მძიმე ლითონებს. სოფელ ბალიჭში, კაზრეთში, საყდრისსა და წყლრულაშენში ნიადაგების დაბინძურების მთლიანი ნაწილი ბინძურდება ატმოსფეროში არსებული საწარმოო მტვრის ნაწილაკების ნიადაგში აკუმულაციის შედეგად. სოფელ კიანეთში, რატევანში, მწყნეთში და ნახიდურში ნიადაგის დაბინძურება ხდება, როგორც ატმოსფერული ჰაერიდან ასევე საირიგაციო სისტემიდან. ამ სოფლებში აქტიურადაა განვითარებული სოფლის მეურნეობა, რის გამოც ინტენსიურად მოიხმარენ დაბინძურებულ მდ. მაშავერას წყალს.

2.10. ბოლნისის რაიონის საწარმოო ტერიტორიის მიმდებარე სოფლებში
სასოფლო-სამეურნეო პროდუქციის ეკომონიტორინგი

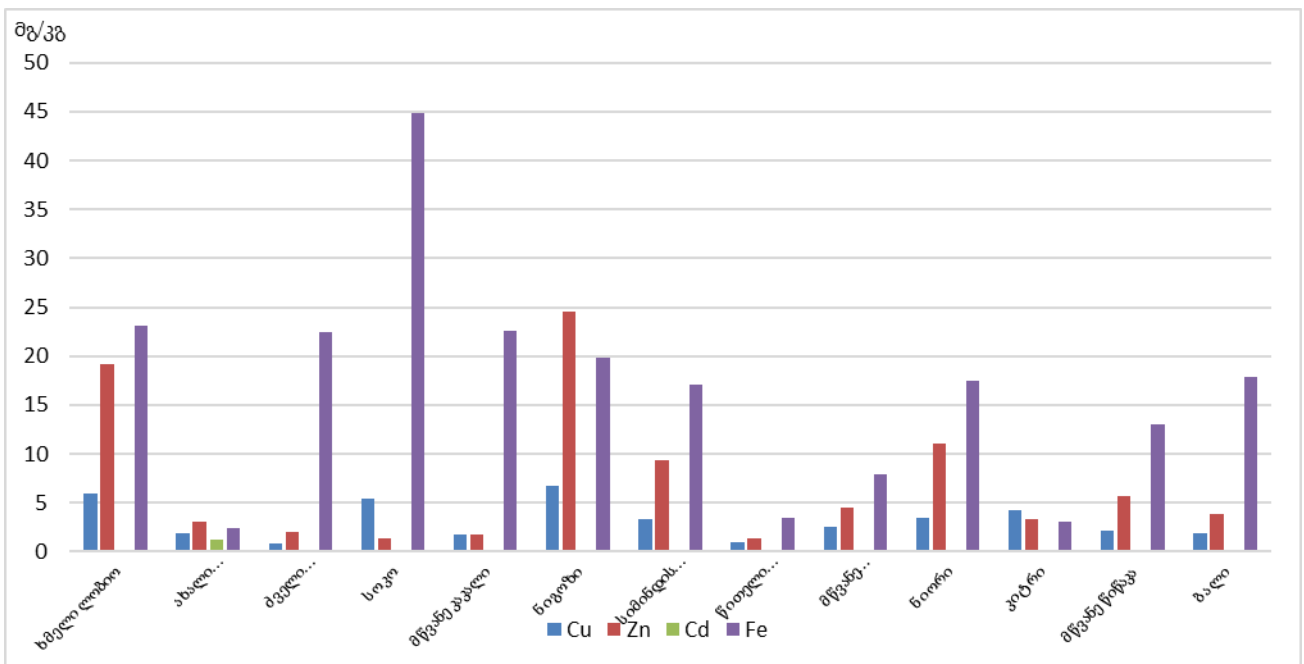
ინდუსტრიული რეგიონების ჰიდროსფეროსა და რიზოსფეროს ეკომონიტორინგისას მნიშვნელოვანია შესწავლილ იქნას საკვები პროდუქციის ხარისხი და ეკოლოგიური სრულფასოვნება. ბოლნისის რაიონში წინასწარ შეირჩა ბალიჭის, რატევის, ნახიდურის და ხიდისყურის სოფლები. სასოფლო სამეურნეო კვების პროდუქტებში ქიმიური ანალიზის მეთოდებით გამოკვლეული იქნა მძიმე ლითონები სპილენძი, თუთია და კადმიუმი. მონიტორინგი მიმდინარეობდა მაისში, ივნისში, ივლისში და ოქტომბერში. კვების პროდუქტებიდან შეირჩა: ხმელი ლობიო, მწვანე ლობიო, ძველი და ახალი კარტოფილი, მწვანე კაკალი, ხმელი კაკალი, მწვანე წიწაკა, სოკო, ნიორი, კიტრი, ბალი, მწვანე და წითელი პომიდორი, სიმინდი. ქვემოთ მოცემულ გრაფიკებში ასახულია ბოლნისის რაიონის კვების პროდუქტებში სპილენძის, თუთიის კადმიუმის და რკინის შემცველობითი მონაცემები (ნახ. 15, 16, 17, 18).



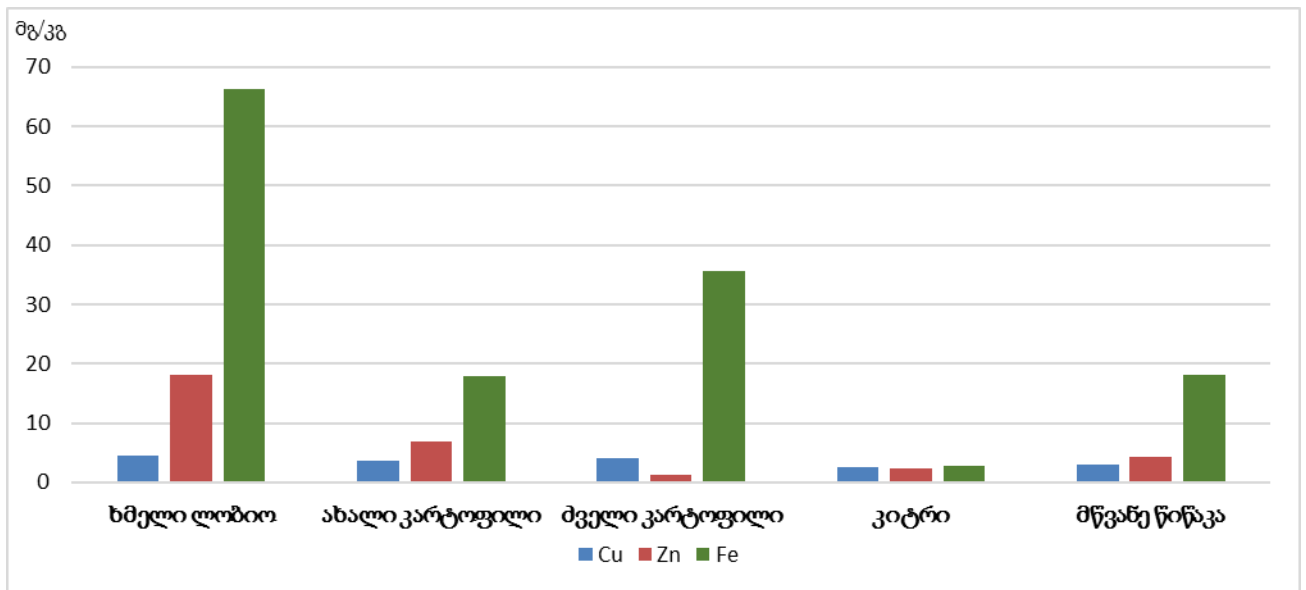
ნახაზი 15. სოფ. ბალიჭის ადგილობრივი საკვები პროდუქციის ქიმიური ანალიზების შედეგად მიღებული მონაცემები. 2010 წ.



ნახაზი 16. სოფ. რატევის ადგილობრივი საკვები პროდუქციის მონიტორინგის შედეგად მიღებული მონაცემები. 2010 წ.



ნახაზი 17. სოფ. ნახიდურის ადგილობრივი საკვები პროდუქციის ქიმიური ანალიზების შედეგად მიღებული მონაცემები. 2010 წ.



ნახაზი 18. სოფ. ხიდისყურის ადგილობრივი საკვები პროდუქციის ქიმიური ანალიზების შედეგად მიღებული მონაცემები. 2010 წ.

2010 წლის მონიტორინგის მონაცემების მიხედვით სპილენძი სოკოში, ხოლო თუთია ნიორში მნიშვნელოვნად აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას, რაც შეეხება კადმიუმს ახალ კარტოფილში დიდია მისი აკუმულაცია. ახალ კარტოფილში ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციას დაახლოებით 50-ჯერ აღემატება კადმიუმის კონცენტრაცია. რაც შეეხება დანარჩენ ხილ-ბოსტნეულს მათში არ დაფიქსირებულა კადმიუმის შემცველობა. რაც შეეხება რკინას მცირედით იყო გადაჭარბებული ხმელ ლობიოში, კარტოფილსა და სოკოში, მაგრამ რკინა არ არის კანცეროგენური ელემენტი, პირიქით იგი საჭიროცაა ადამიანის ჯანმრთელობისათვის.

მონიტორინგის ფარგლებში გამოკვლეულ იქნა რძისა და რძის პროდუქტები სოფელ ბალიჭში (ცრილი. 6).

ცხრილი 6. სოფელ ბალიჭის რძეში და ყველში მძიმე ლითონების შემცველობა. 2011 წელი.

ნიმუში	Cu მგ/კგ	Zn მგ/კგ	Cd მგ/კგ
ზ.დ.კ რძისთვის	1	5	0,03
ზ.დ.კ ყველისთვის	10	50	0,2
რძე	0,40	3,52	0,18
ყველი	0,43	0,65	0,39

რძის პროდუქტების მონიტორინგისას დადგინდა, რომ კადმიუმი ყველაზე კარგად აკუმულირდება რძის პროდუქტებში. რის გამოც ხვდება ადამიანის ორგანიზმში, სადაც აგრძელებს წრე ბრუნვას. შეიძლება ითქვას, რომ რძე და რძის პროდუქტები საუკეთესო ინდიკატორებს წარმოადგენენ გარემოს ეკოლოგიური შეფასებისას.

მონიტორინგის შედეგების შეჯამების შედეგად შეგვიძლია ვთქვათ, რომ კვლევების შედეგად დადასტურდა, რომ აღმოსავლეთ საქართველოში, ბოლნისის რაიონში გარემოს დაბინძურებაზე დიდ ზეგავლენას ახდენს სპილენძისა და ოქროს მომპოვებელი კომპანია. დაკვირვებებმა ცხადყო, რომ საწარმოს აფეთქებების შედეგად გამოყოფილი ინდუსტრიული მტვერი აკუმულაციას და ადსორბციას განიცდის ნიადაგის ხსნად და უხსნად ფორმებში.

დაბინძურებული წყლების უკონტროლო ჩაშვება მდინარე კაზრეთულაში იწვევს ცოცხალი ორგანიზმების კვდომას. ასევე ძლიერ ბინძურდება მდინარე მაშავერა რომელსაც ბოლნისის რაიონის მოსახლეობის დაახლოებით 60% მოიხმარს სასოფლო სამეურნეო მიზნებისათვის.

კვლევის შედეგებით 2010 წელს დაფიქსირდა ნიადაგში მძიმე ლითონების (Cu, Zn, Cd) შემცველობის ყველაზე მაღალი მაჩვენებელი. ხოლო 2012-2013 წლებში ნიადაგში საგრძნობლად შემცირდა მძიმე ლითონთა შემცველობა. რაც ჩვენის აზრით გამოიწვია იმ ფაქტმა, რომ საწარმომ ამ პერიოდში დროებით შეამცირა აქტიური სამუშაოების წარმოება.

ამ პერიოდის განმავლობაში ნიადაგში არსებული მძიმე ლითონები გადაადგილდნენ ნიადაგის უფრო ღრმა ფენებში (30 სანტიმეტრის ქვემოთ). ამიტომ ჩვენს მიერ გამოკვლეულ ნიადაგის სინჯებში დაფიქსირდა მძიმე ლითონთა ნაკლები კონცენტრაცია.

მას შემდეგ, რაც 2014 წელს საწარმომ კვლავ განაახლა ინტენსიური მოპოვებითი სამუშაოები, კვლავ მოიმატა საბადოს მიმდებარე სოფლების ნიადაგებში მძიმე ლითონთა შემცველობამ.

როგორც უკვე ავლნიშნეთ კვების პროდუქციის მონიტორინგისას ზოგიერთი პროდუქცია არ ითვისებს მძიმე ლითონებს. ახალი კარტოფილი, მწვანელილეული, რძის პროდუქტები კი დიდი რაოდენობით იგროვებენ კადმიუმს, ამიტომ ადგილობრივმა მოსახლეობამ თავი უნდა შეიკაოს ასეთი პროდუქციის მიღებისაგან, რადგან მათ ორგანიზმში არ მოხდეს დიდი რაოდენობით კადმიუმის დაგროვება.

2.11. დმანისის რაიონი

დმანისის რაიონი წარმოადგენს ადმინისტრაციულ-ტერიტორიულ რაიონს საქართველოს სამხრეთის მთიანეთში. დმანისის რაიონს ჩრდილოეთით ესაზღვრება წალკის, აღმოსავლეთით - თეთრიწყაროსა და ბოლნისის, დასავლეთით - ნინოწმინდის რაიონები, სამხრეთით - სომხეთი. ფართობი - 1206 კმ². რაიონული ცენტრი - დაბა დმანისი. დმანისის რაიონში შედის 1 დაბა (დმანისი) და 12 სასოფლო საბჭო. რაიონის დასავლეთის ნაწილი მოიცავს ჯავახეთის მერიდიანულ ვულკანურ ქედს, რომელიც აგებულია ახალგაზრდა აფუზიური ქანებით (ბაზალტური, ანდეზიტ-ბაზალტური,

დიპარიტ-დაციტური ლავები), ქედის მოვაკებულ, თადისებურ თხემზე აღმართულია მწვერვალები: დავაკრანი (1820მ), შამბიანი (2867მ), აგრიკარი (2976მ), ემოქლი (3054მ).

ოროგრაფიულად გამოიყოფა ჭოჭიანის (1500-1600მ), გომარეთის (1200-1450მ) და დმანისის (1300-1500მ) პლატოები. რაიონში ჰავა ზომიერად ნოტიოა. იცის ცივი ზამთარი და ხანგრძლივი თბილი ზაფხული. ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა დასავლეთ ნაწილში (ჯავახეთის ქედზე) - 3°C, აღმოსავლეთში - 12°C, იანვარის საშუალო (-)10°C, -2 °C, ივლისის საშუალო 13-23°C. აბსოლუტური მაქსიმალური 30°C. ნალექები 650-1000 მმ წლიური ნალექების მაქსიმალური მაისშია, მინიმალური დეკემბერში. ზაფხულის თვეებში ხშირია ელქექების ხასიათის წვიმა, რომელსაც ზოგჯერ თან ახლავს სეტყვა. თოვლის საფარის ხანგრძლივობა სიმაღლის ზონების შესაბამისად 2-4 თვე გრძელდება.

რაიონის ჩრდილოეთ ნაწილში მიედინება მდ. ხრამი და მისი შენაკადები: ფინეზაური, შაჰმარლო და სხვ. მდინარეთა უმეტესობა პატარაა, მთის ტიპის; მიედინება ლავებში ჩაჭრილ კანიონისებრ ხეობებში. მდინარეები უმთავრესად საზრდოობენ წვიმის წყლით, აგრეთვე თოვლის ნადნობი წყლით და ლავებში გამომდინარე დიდ დებიტიანი ვოკლუზური წყაროებით. წყალდიდობა იცის გაზაფხულსა და ზაფხულის პირველ ნახევარში, წყალმცირობა ზამთარში. რაიონში მცირე ზომის ვულკანური ტბებია, მათ შორის აღსანიშნავია ოროზმანის ტბა, სარკინეთ-გომარეთისა და კამარლოს მიდამოების ტბები. სოფლების ველისპირსა და ირგანის მიდამოებში არის ჭაობები.

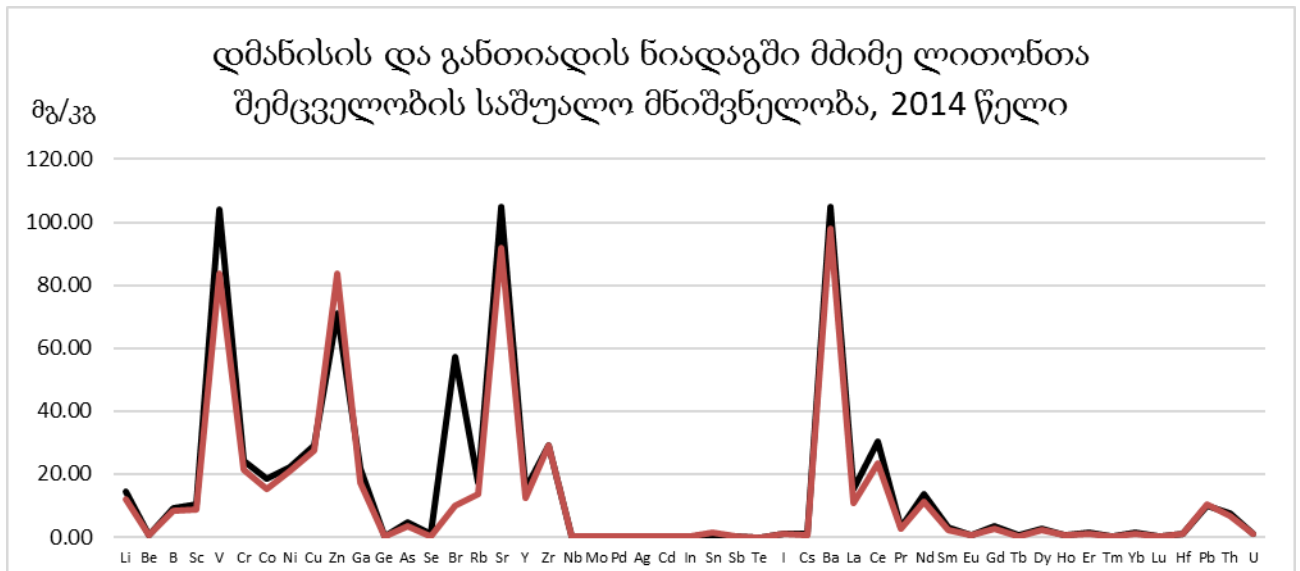
რაიონის აღმოსავლეთ ნაწილში ჭარბობს საშუალო და მცირე სისქის ტყის ყომრალი ნიადაგი, შუა ნაწილში, პლატოებზე, განვითარებულია მთის შავმიწა ნიადაგი, მიმდებარე ქედების კალთებზე მთის მდელოს შავმიწისებრი კორდიანი (ქვემო ნაწილი) და კორდიან-ტორფიანი (შუა ნაწილი), ხოლო თხემებსა და მწვერვალებზე ალპური ზონის მცირე სისქის პრიმიტიული ნიადაგი. ზემო აღნიშნულის გარდა ზოგან გვხვდება ნეშომპალა-კარბონატული.

რაიონში 1200-ზე მეტი სახეობის მცენარეა. ისინი ქმნიან კარგად გამოხატულ სიმაღლებრივ ზონებს. აღმოსავლეთი ნაწილი მთის შერეულ ტყეებს უჭირავს, რომელშიც აღმოსავლეთის წიფელია გაბატონებული ძნელად მისადგომ უბნებში შემორჩენილია ნეკერჩხლის, ცირცელის, ტირიფის, მუხის მცირე, დაკნინებული დერივატები, ტყის ადგილას ამჟამად მთის სტეპის ბალახეულობაა, სადაც ნაირბალახოვანი მცენარეულობა ჭარბობს. 2000-2500 მ სიმაღლეზე სუბალპური მდელოებია სტეპის ელემენტებით, სადაც ფართოდაა გავრცელებული ჩალანდრი, კეწეწურა, ოქროშვრია, მთის ტიმოთელა, ვაციწვერა, მთის ბაია, მთის ბარისპირა და სხვ. 2500 მ-ზე მაღლა ალპური მდელოებია, რომლებზეც იზრდება ცხვრის წივანა, მიგვა, ისლი, ისლურა, ესპარცეტი, სამყურა და სხვ. ტბისპირებთან წყლის მცენარეებია, კანიონის ფერდობებზე კლდის ქსეროფიტები.

2.12. დმანისის რაიონის ნიადაგების ეკომონიტორინგი მძიმე ლითონების შემცველობაზე

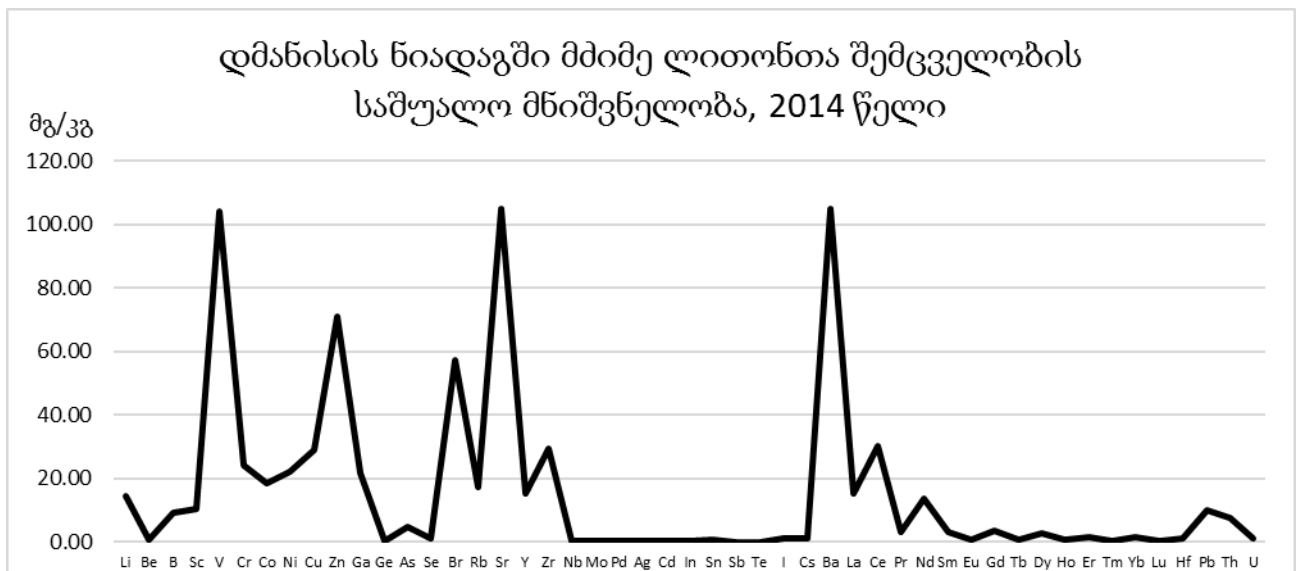
დმანისის რაიონის სოფლების ეკომონიტორინგი 2014 წლიდან დავიწყე ჩემი ამერიკაში სტაჟირების დროს მოხდა სინჯების გაგზავნა საქართველოდან ამერიკაში სავანა რივერის ეკოლოგიურ ლაბორატორიაში, სადაც განხორციელდა ელემენტების

სრული სპექტრის გამოკვლევა. 2014 წელს დმანისის რაიონის სინჯები გვქონდა ფონურ წერტილებად აღებული. ქალაქი დმანისის და სოფელი განთიადის ნიადაგების კვლევისას გამოიკვეთა, რომ მძიმე ლითონთა შემცველობა ამ ნიადაგის სინჯებში ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას არ აღემატებოდა, ხოლო შემდეგ წლებში ტოქსიკური ელემენტების ზრდის მკვეთრი ტენდენცია შეინიშნება (ნახ. 19, 20, 21)

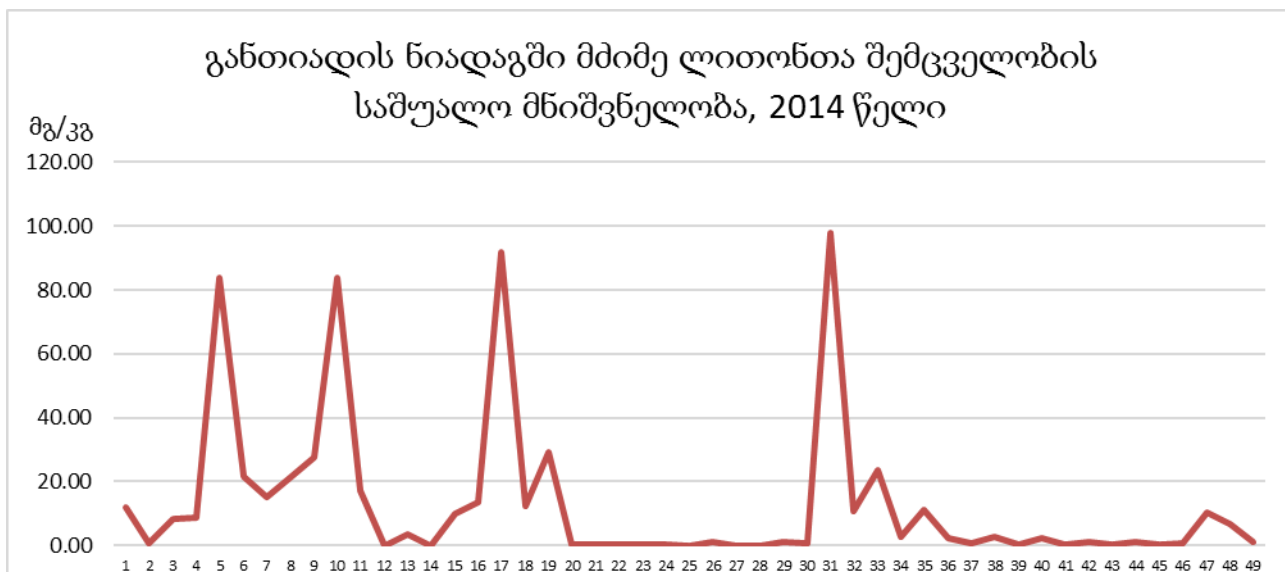


ნახაზი 19. ქ. დმანისის და განთიადის ნიადაგში მძიმე ლითონთა საშუალო შემცველობა, 2014 წელი.

მოცემული ნიადაგი გამოკვლეულ იქნა აშშ-ში, სავანა რივერის ეკოლოგიურ ლაბორატორიაში ICP-MS-ის გამოყენებით.

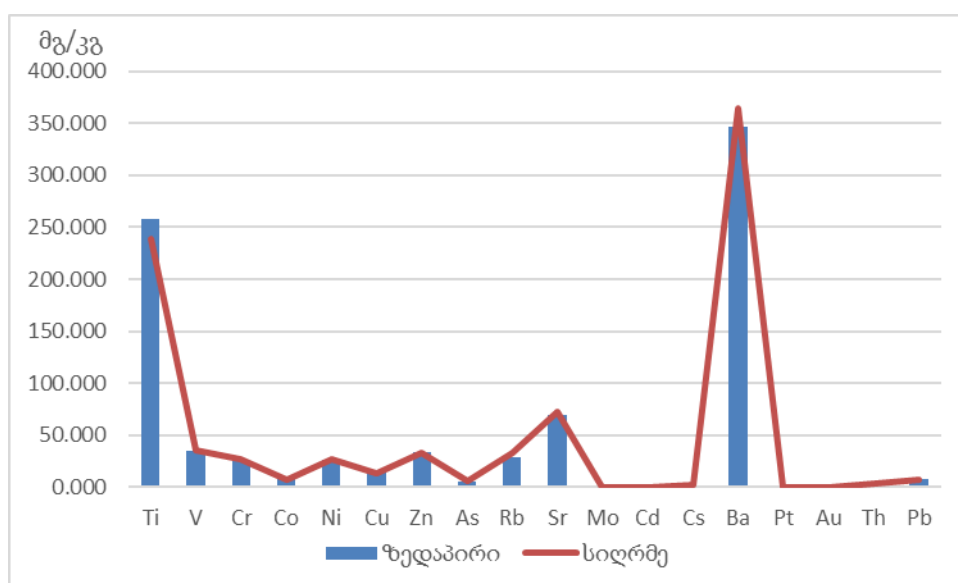


ნახაზი 20. ქალაქ დმანისის ნიადაგებში მძიმე ლითონთა შემცველობის საშუალო მნიშვნელობა, 2014 წელი.



ნახაზი 21. სოფელ განთიადის ნიადაგებში მძიმე ლითონთა შემცველობის საშუალო მნიშვნელობა, 2014 წელი.

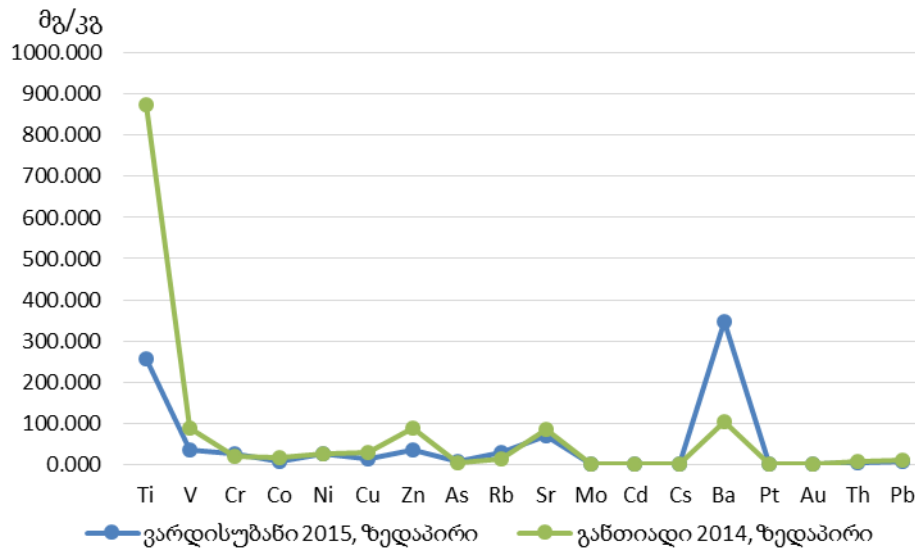
2015 წელს დმანისის რაიონიდან სოფელი ვარდისუბნის ნიადაგების განსაზღვრა მოხდა ამერიკის შეერთებულ შტატებში სამხრეთ ფლორიდის უნივერსიტეტში. წარმოდგენილია ნიადაგის სინჯის ზედაპირის (ა ჰორიზონტი) და სიღრმის (ბ ჰორიზონტი) კვლევის შედეგები (ნახ. 22)



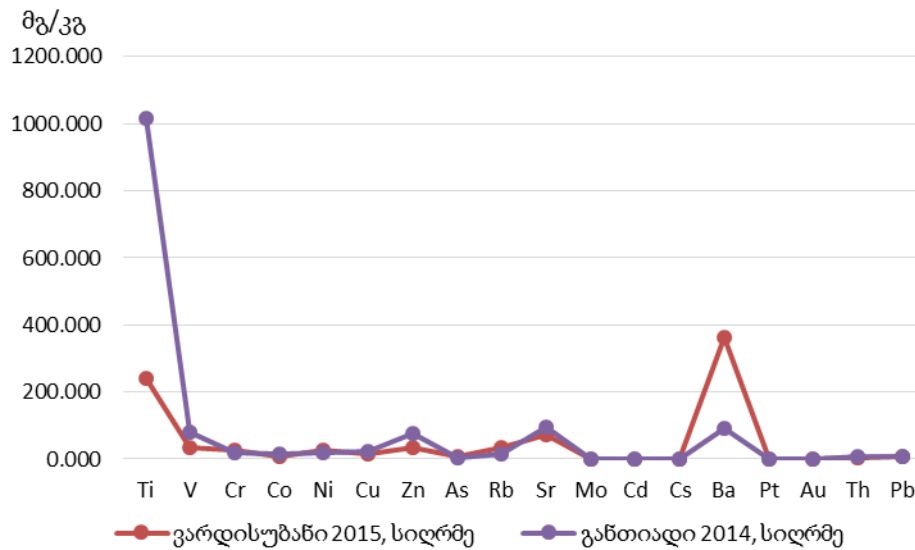
ნახაზი 22. მძიმე ლითონთა შემცველობა სოფელ ვარდისუბნის ნიადაგის ზედაპირზე და სიღრმეში, 2015 წელი.

დიაგრამის მიხედვით ვარდისუბნის ნიადაგების ზედაპირის და სიღრმის მონაცემებში უმნიშვნელო ცვლილებაა, მძიმე ლითონთა შემცველობის მიხედვით სტრონციუმის მაღალი კონცენტრაცია მეტად საგულისხმოა, სტრონციუმი საშიში ნივთიერებაა და იწვევს სხვადასხვა დაავადებებს. თუმცა საქართველოს კანონმდებლობებში არსად არ წერია სტრონციუმის ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციასთან დაკავშირებით, რაც ართულებს შედარების პროცესს.

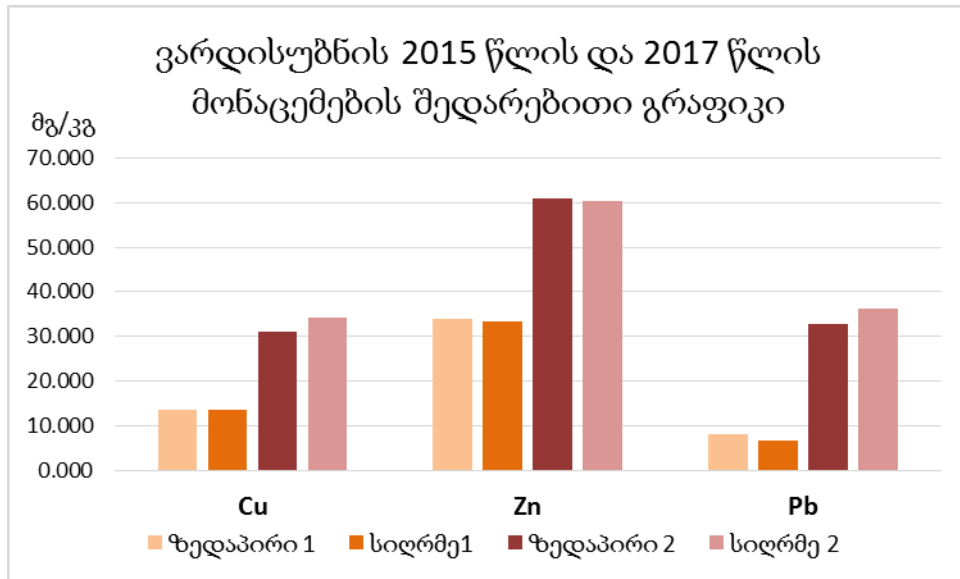
2014 და 2015 წლის კვლევების შედეგებს, თუ შევადარებთ ერთმანეთს დავინახავთ, რომ განთიადის ნიადაგებში ტიტანის კონცენტრაცია საკმაოდ მაღალია, შემდეგ მოსდევს ვოლფრამი, თუთია და სტრონციუმი (ნახ. 23, 24, 25).



ნახაზი 23. სოფ. ვარდისუბნის 2015 წლის ნიადაგის ზედაპირის მონაცემების შედარება განთიადის 2014 წლის ნიადაგის ზედაპირის მონაცემებთან.

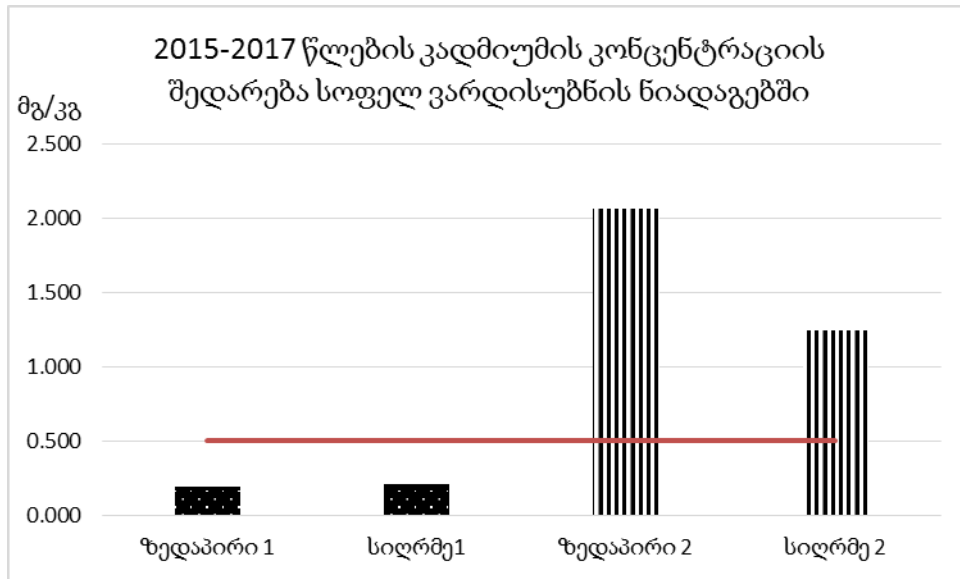


ნახაზი 24. სოფ. ვარდისუბნის 2015 წლის ნიადაგის სიღრმის კვლევის შედეგების შედარება განთიადის 2014 წლის მონაცემებთან.



ნახაზი 25. სოფ. ვარდისუბნის ნიადაგის სინჯების 2015 და 2017 წლის მონაცემების შედარება, ზედაპირი 1 და სიღრმე 1 აღნიშნავს 2015 წლის კვლევების შედეგებს, ხოლო ზედაპირი 2 და სიღრმე 2 აღნიშნავს 2017 წლის კვლევების მონაცემებს.

2015 წლის მონაცემებთან შედარებით სპილენძის, თუთიის და ტყვიის კონცენტრაციები ძალზედ მომატებულია 2017 წელს. სპილენძი „ზედაპირი 2“ 2.4-ჯერ აღემატება „ზედაპირი 1“, „სიღრმე 2“ კი 2,5-ჯერ არის მომატებული „სიღრმე 1“-თან შედარებით, თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ სპილენძი ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას არ აღემატება 2015-2017 წლის მონაცემებში; თუთიის კონცენტრაცია 1,8-ჯერ არის მომატებული ნიადაგის, როგორც ზედაპირზე ასევე სიღრმეში 2015 წელთან შედარებით. ამ წლებში ნიადაგში თუთიის შემცველობა არ აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას. რაც შეეხება ტყვიას 2015 წელს ნიადაგის ზედაპირზე და სიღრმეში ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას არ აღემატება სოფელ ვარდისუბანში, ხოლო 2017 წელს შეიცვალა სურათი და იგივე სოფელში ტყვიის კონცენტრაცია ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას აღემატება, ხოლო 2017 წლის მონაცემების მიხედვით ზედაპირზე ტყვიის შემცველობა 4-ჯერ აღემატება 2015 წლის ზედაპირის მონაცემებს. სიღრმეში კი 5.5-ჯერ. უნდა აღინიშნოს, რომ ტყვია მეტად ტოქსიკური ელემენტია განსაკუთრებით ორსულებისთვის, ჩვილებისა და მოზარდებისთვის. ვარდისუბანი საყდრისი-აბულბუქის კარიერიდან დაახლოებით 3,5 კილომეტრში მდებარეობს, პირდაპირი ხაზით. საბადოს ინტენსიური ბურღვა აფეთქებითი სამუშაოებით სოფელ ვარდისუბნის ნიადაგებში ატმოსფერული ჰაერით ტყვიის კონცენტრაციის დამარაგება მიმდინარეობს გარემოში და ელემენტების ზრდის ტენდენციას, თუ დავაკვირდებით სავარაუდოა, რომ მომდევნო წლებში ნიადაგების დაბინძურების უფრო რთული სურათი მივიღოთ (ნახ. 26).



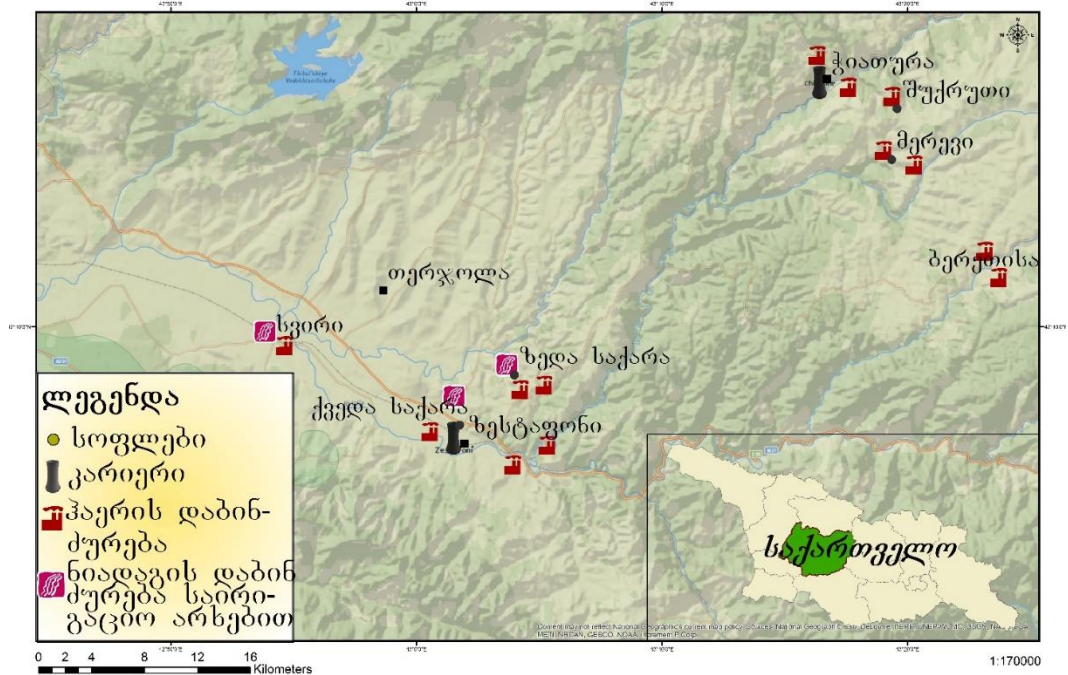
ნახაზი 26. სოფ. ვარდისუბნის ნიადაგის სინჯების 2015 და 2017 წლის კადმიუმის მონაცემების შედარება. ზედაპირი 1 და სიღრმე 1 აღნიშნავს 2015 წლის კვლევების შედეგებს, ხოლო ზედაპირი 2 და სიღრმე 2 აღნიშნავს 2017 წლის კვლევების მონაცემებს. წითელი ხაზი აღნიშნავს ნიადაგში კადმიუმის ზღვრულად დასაშვებ ნორმას.

სოფელ ვარდისუბნის ნიადაგის 2015-2017 წლების მონაცემებს, თუ შევადარებთ ერთმანეთს მძიმე ლითონთა მატების მკვეთრი ტენდენცია შეინიშნება. 2017 წელს ნიადაგის ზედაპირზე კადმიუმის შემცველობა 10,6 -ჯერ არის მომატებული იმავე სოფელში 2015 წელს აღებულ ნიადაგის ზედაპირის კვლევის შედეგებთან მიმართებაში. ხოლო 2017 წლის ნიადაგის სიღრმეში 6-ჯერ არის გაზრდილი კადმიუმის კონცენტრაცია 2015 წლის ნიადაგის სიღრმის მონაცემებთან შედარებით.

2.13. დასავლეთ საქართველოს რაიონებში ეკოლოგიური მდგომარეობა

იმერეთი წარმოადგენს დიდ ინდუსტრიულ რეგიონს საქართველოში, სადაც თავს იყრის ისეთი საწარმოები, როგორცაა მანგანუმის მომპოვებელი ქარხნები ჭიათურაში, მანგანუმის ფეროშენადნობი ქარხანა ზესტაფონში, ქვანახშირის მომპოვებელი საწარმო ტყიბულში და სხვა. წინამდებარე კვლევა მიზნად ისახავდა ჭიათურის და ზესტაფონის რაიონის სოფლების ნიადაგებში მძიმე ლითონთა შესწავლას. კვლევის პროცესში გამოიკვეთა შემდეგი გარემოებანი. საწარმოო პროცესის დროს მნიშვნელოვნად ბინძურდება მდინარე ყვირილა სხვადასხვა დამაბინძურებელი აგენტებით. დაბინძურებული მდინარე ყვირილა მნიშვნელოვან ეკოლოგიურ პრობლემებს წარმოქმნის, რაც საბოლოო ჯამში ისევ ცოცხალ ორგანიზმებზე და ადამიანის ჯანმრთელობაზე აისახება. ქვემოთ მოცემულ რუკაზე აღნიშნულია ის სოფლები და ქალაქები, სადაც მოხდა სინჯების აღება. ასევე აღნიშნულია ატმოსფერული ჰაერით და წყლით დაბინძურების გავრცელების მასშტაბურობა (ნახ. 27).

მძიმე ლითონებით დაბინძურებული ნიადაგები იმერეთში



ნახაზი 27. რუკაზე ნაჩვენებია დაბინძურებული არეალები დასავლეთ საქართველოში.

2014 წელს აღებულ იქნა დასავლეთ საქართველოს რამდენიმე სოფელში დაბინძურებული ნიადაგებიდან ნიმუშები. კერძოდ, მონიტორინგის შედეგად, შევისწავლეთ სამი რაიონის 7 სოფელი (ჭიათურის რაიონის სოფლები: შუქრუთი, მერევი და ბერეთისა; ზესტაფონის რაიონის სოფლები: ქ. ზესტაფონი, ქვედა საქარა და სვირი; ოზურგეთის რაიონის სოფელი ანასეული). უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ ამ სოფლებში პირველად ჩატარდა მსგავსი სახის ძირეული გამოკვლევები და სწორედ ჩვენს მიერ მოხდა ნიადაგებში მძიმე ლითონთა სრული შემცველობის განსაზღვრა. გამოკვლეულ იქნა 76 ელემენტი აქედან ძირითადად მძიმე ლითონები და რამდენიმე არალითონი. გამოკვლევებმა ნიადაგებში არსებული მიკრო და მაკრო ელემენტების შემცველობის სრული სურათი გვაჩვენა.

2.14. ჭიათურის რაიონი

ჭიათურის რაიონში აქტიურად მოიპოვებენ მანგანუმის კონცენტრატს, ამ რაიონში ერთი ძირითადი კომპანია ჭიათურ მანგანუმი ახორციელებს მოპოვებით სამუშაოებს შახტური მეთოდით, მაგრამ ლიცენზიები გაცემულია წვრილ კერძო კომპანიებზეც, რომლებიც არანაირ გარემოს დაცვით ღონისძიებებს არ ატარებენ მადნის მოპოვების და გამდიდრების დროს. ამ რაიონში დაახლოებით 20 საბადოა აქედან 9 შახტური და 11 ღია კარიერული ტიპის. ჭიათურაში მანგანუმის მოპოვების შედეგად დიდი ზიანი ადგება იქ არსებულ ჰიდროგრაფიულ ქსელს, კერძოდ რგანის ღელესა და

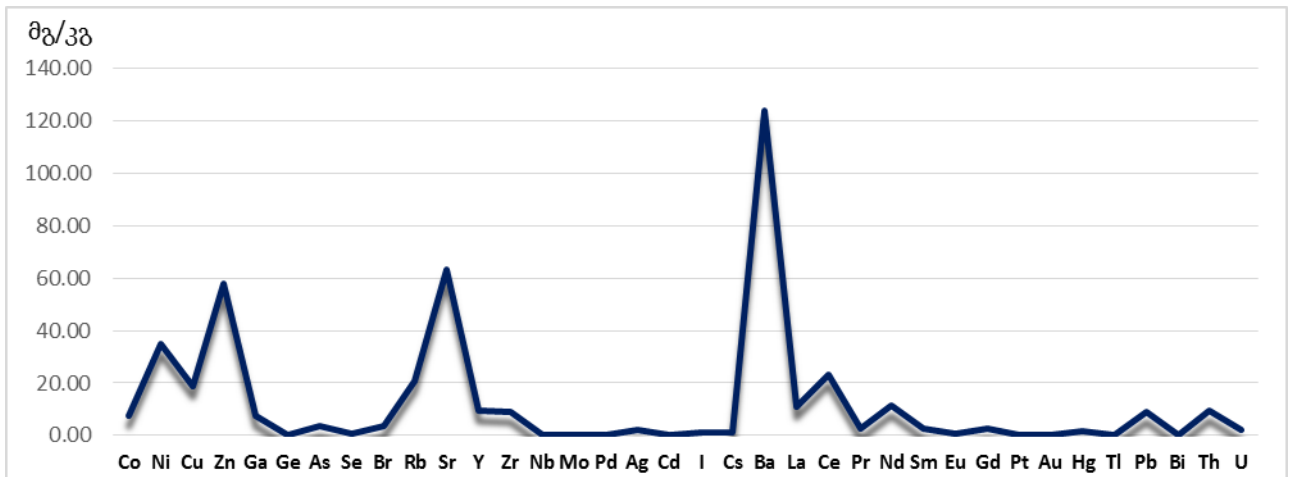
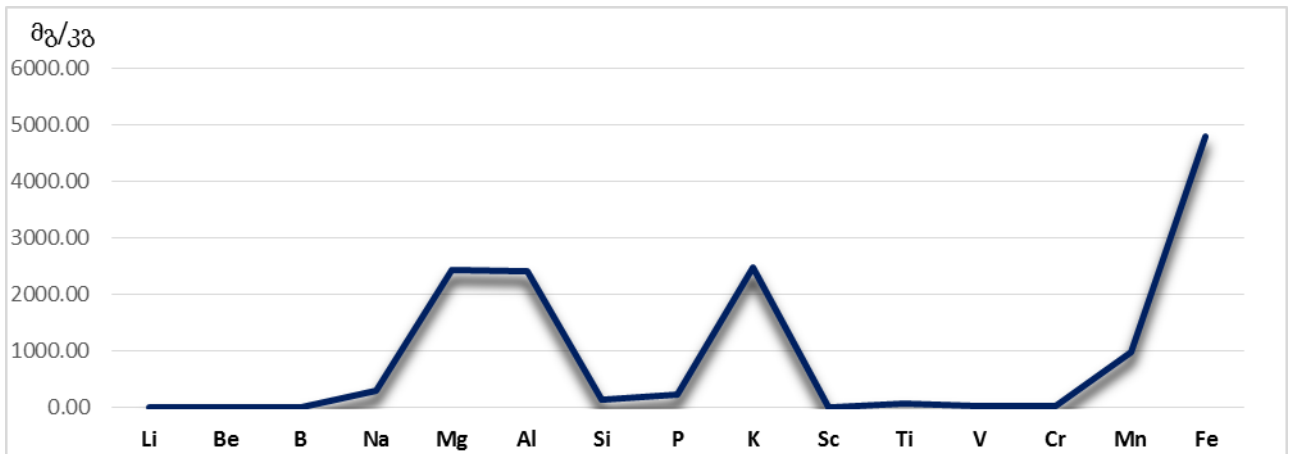
მდინარე ყვირილას. მდინარე ყვირილა მძიმე ლითონებითა და მანგანუმის შემცველობით უერთდება მდინარე რიონს და შავ ზღვამდე აღწევს დამაბინძურებელი აგენტები, მანამდე კი ზესტაფონის რაიონის საირიგაციო ქსელს და სასოფლო სავარგულებს აყენებს დიდ ზიანს (ნახ. 28).



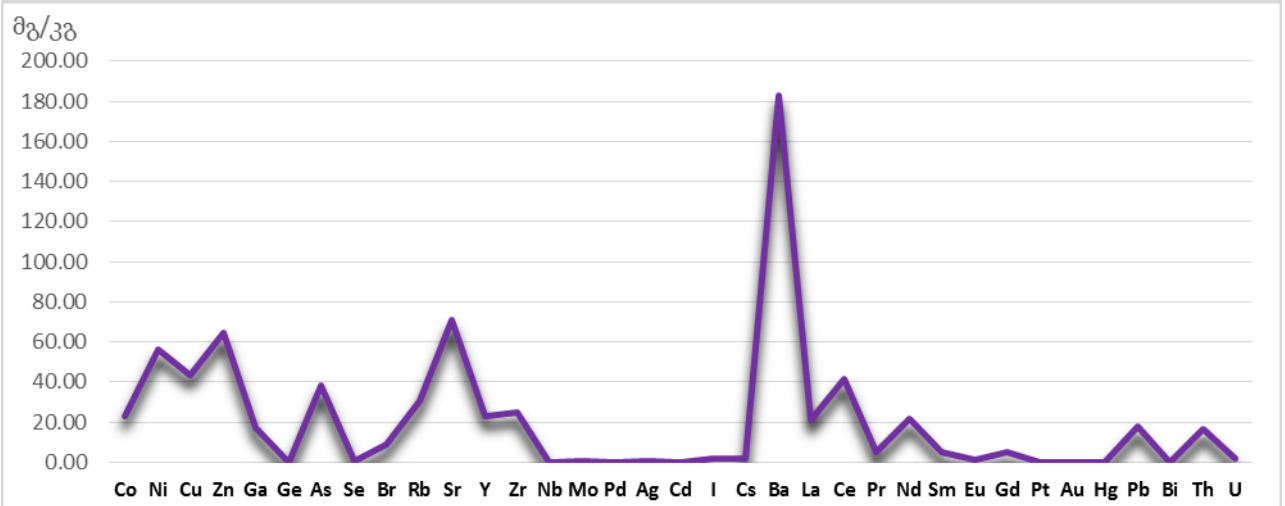
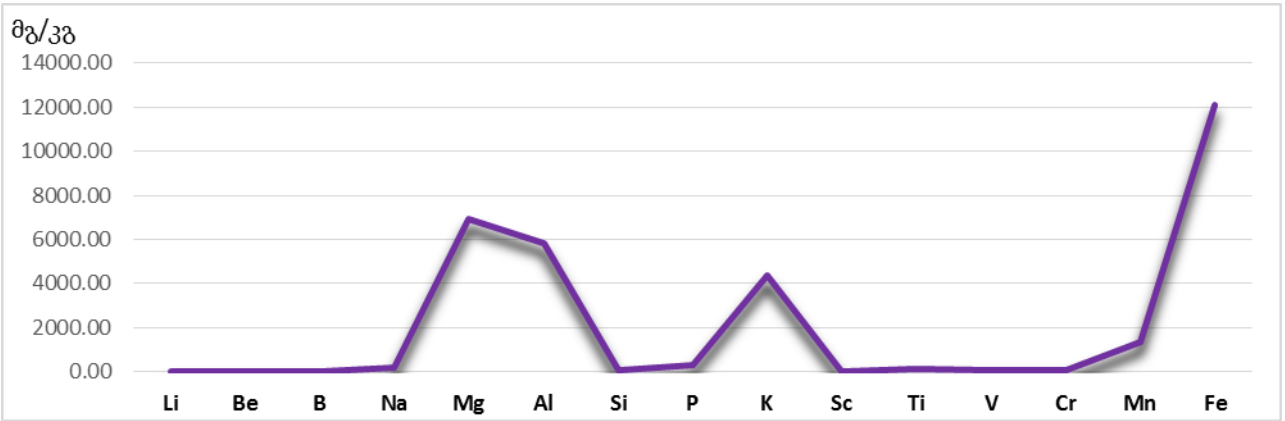
ნახაზი 28. დაბინძურებული მდინარე ყვირილა, ქალაქი ჭიათურა, 2015 წელი.

ჭიათურის რაიონში მდინარე ყვირილა ქვაბულში მიედინება, ამიტომ არ ხდება მისი გამოყენება სარწყავ სისტემაში, რადგან სოფლებისა და მდინარის ადგილმდებარეობის გამო გართულებულია ეს პროცესი.

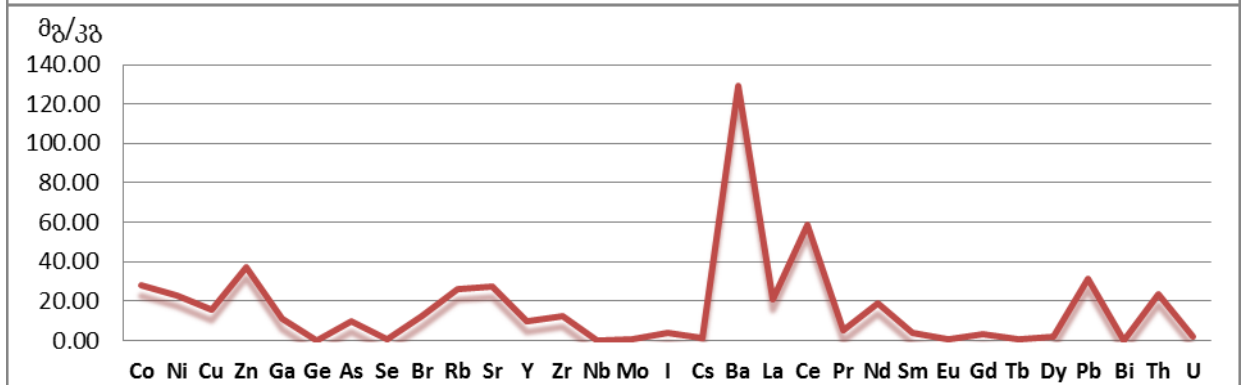
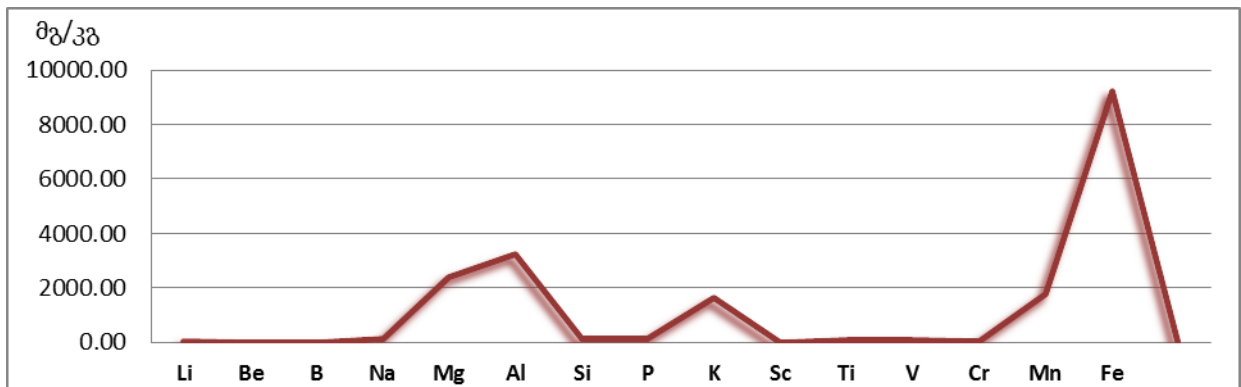
ჭიათურის რაიონში მონიტორინგი ჩატარდა შემდეგ სოფლებში: შუქრუთში, მერევსა და ბერეთისაში. ეს სოფლები მადნის მომპოვებელი საბადოებიდან დაახლოებით დაცილებულია 5, 10, 30 კილომეტრით. მიღებული შედეგებით შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ჭიათურის რაიონის სოფლებში დაბინძურება ძირითადად ატმოსფერული ჰაერით არის გამოწვეული, რადგან მანგანუმის მომპოვებელი კომპანიების მიერ მადნის დამუშავება არ ხდება დახურულ სივრცეში. ასევე ბევრია პატარა ღია კარიერული საწარმოები, რომლებიც მანგანუმის მადნის მოპოვებისას გარემოს დაცვით რეგულაციებს არ იცავენ. აღსანიშნავია ისიც რომ, რაიონში წელიწადის უმეტეს პერიოდში გაბატონებულია ადმოსავლეთის ქარები, რაც საწარმოო მტერის დიდ მანძილზე გადატანას უწყობს ხელს (ნახ. 29, 30, 31, 32, 33, 34).



ნახაზი 29, 30. სოფ. შუქრუთის ნიადაგში მძიმე ლითონთა შემცველობის მონაცემები.



ნახაზი 31, 32. სოფ. მერევის ნიადაგში მძიმე ლითონთა შემცველობის მონაცემები. 2014 წ.



ნახაზი 33, 34. სოფ. ბერეთისას ნიადაგებში მძიმე ლითონთა შემცველობის მონაცემები. 2014 წ.

მონაცემებიდან ნათლად ჩანს, რომ შუქრუთში ნიადაგის დაბინძურება შედარებით ნაკლებია, მიუხედავად იმისა, რომ სოფელი საწარმოდან 5 კილომეტრში მდებარეობს. კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ რაც უფრო შორდება საწარმოს სოფელი მით უფრო პროპორციულად იზრდება ამ ნიადაგებში მძიმე ლითონების შემცველობა. განსაკუთრებით აღსანიშნავია მანგანუმი და დარიშხანი, რომელიც ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას აღემატება.

ჭიათურის რაიონში მადნის მომპოვებელი შახტები და ღია კარიერები განლაგებულია მდინარის პირზე და მადნის გასარეცხად იყენებენ მდინარე ყვირილას წყალს, რის შედეგადაც მდინარე საგრძნობლად ბინძურდება მძიმე ლითონებით.

2.15. ზესტაფონის რაიონი

ზესტაფონის რაიონში მანგანუმის ფერო შენადნობი ქარხანაა, რომელიც გარემოს ეკოლოგიას ძალზედ დიდ ზიანს აყენებს. საწარმოს გაუმართავი ფილტრებისა და აღჭურვილობის გამო ჰაერში მუდამ გამოიყოფა მომწამვლელი აეროზოლები, რაც მიმდებარე ტერიტორიების დაბინძურებას იწვევს მძიმე ლითონებითა და სხვადასხვა მავნე ემისიებით (ნახ. 35).

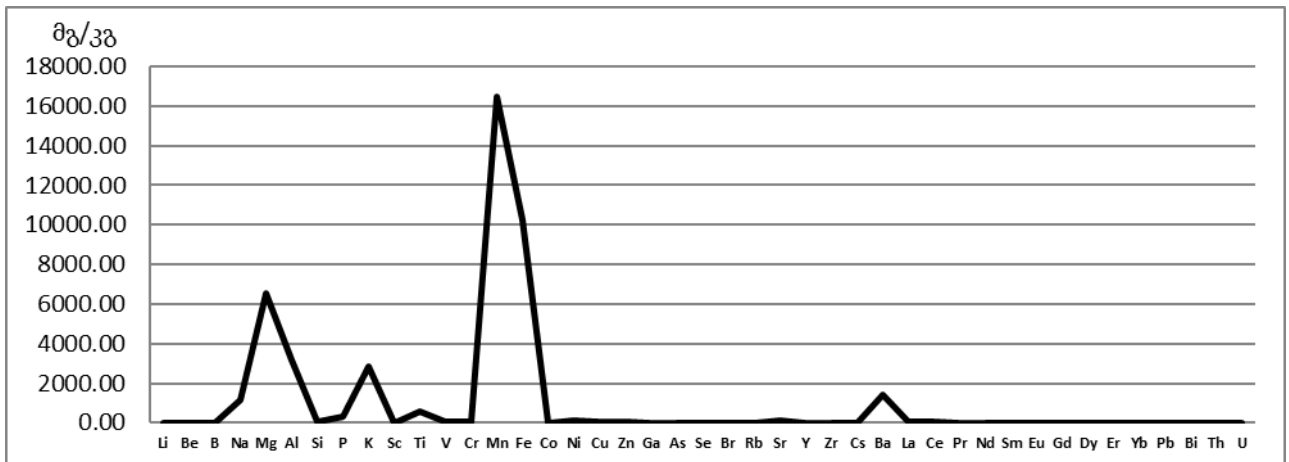


ნახაზი 35. ზესტაფონის ფერო შენადნობი ქარხნიდან მავნე ნივთიერებების შემცველი აეროზოლების გამოფრქვევა ატმოსფეროში. 2015 წ.

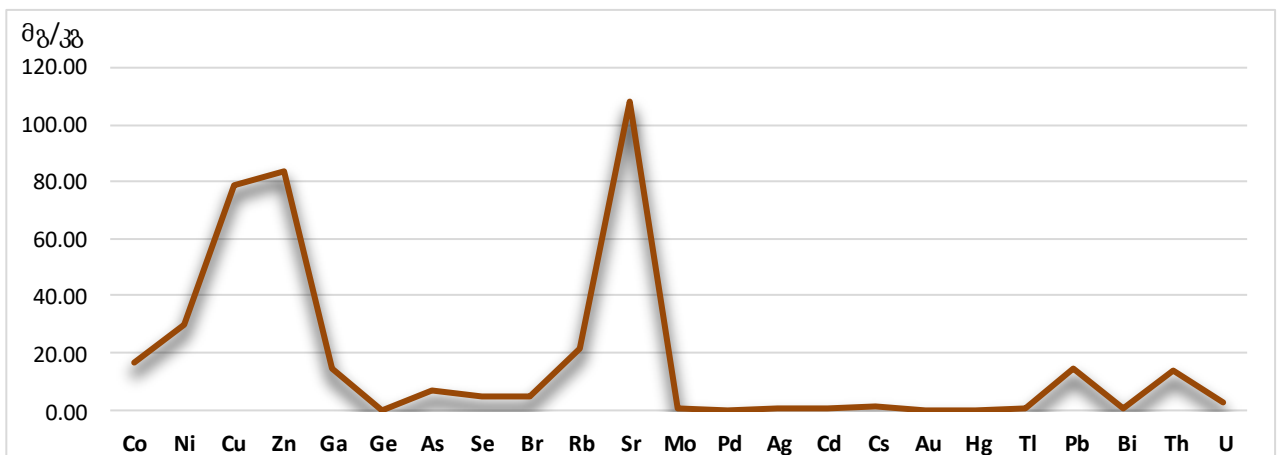
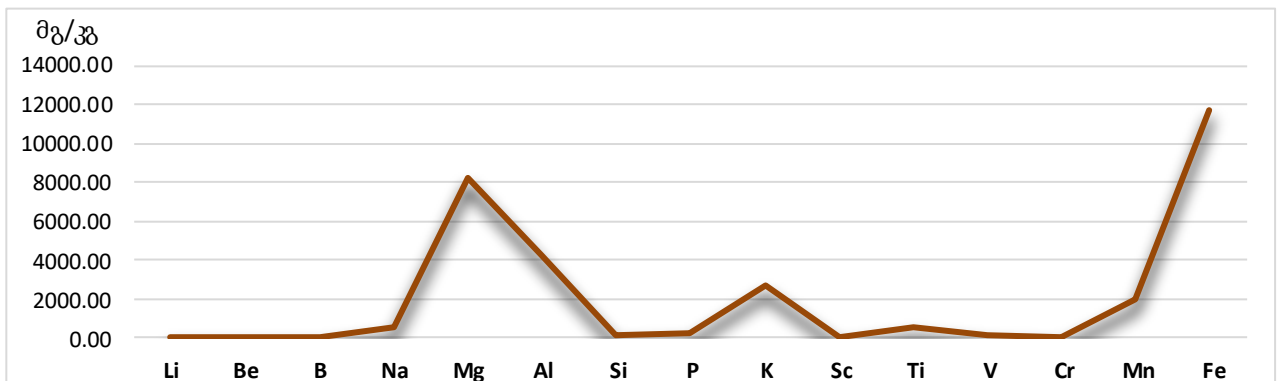
დაბინძურებული მდ. ყვირილა ზესტაფონის რაიონში ინტენსიურად გამოიყენება სასოფლო სამეურნეო საქმიანობისათვის (ძირითადად საირიგაციო მიზნებისათვის). ამ რაიონში ვითარებას ისიც ართულებს, რომ მანგანუმის ფერო შენადნობი ქარხანა არ ანხორციელებს არანაირ გარემოს დაცვით ღონისძიებებს და საწარმოს მუშაობის შედეგად ატმოსფეროში გამოიყოფა მავნე აირებისა და მადნის შემცველი მტვერი.

საწარმოო მტვერი საბოლოოდ მიმდებარე სოფლების ნიადაგებში აკუმულირდება და იწვევს ნიადაგების დაბინძურებას სხვადასხვა ელემენტით.

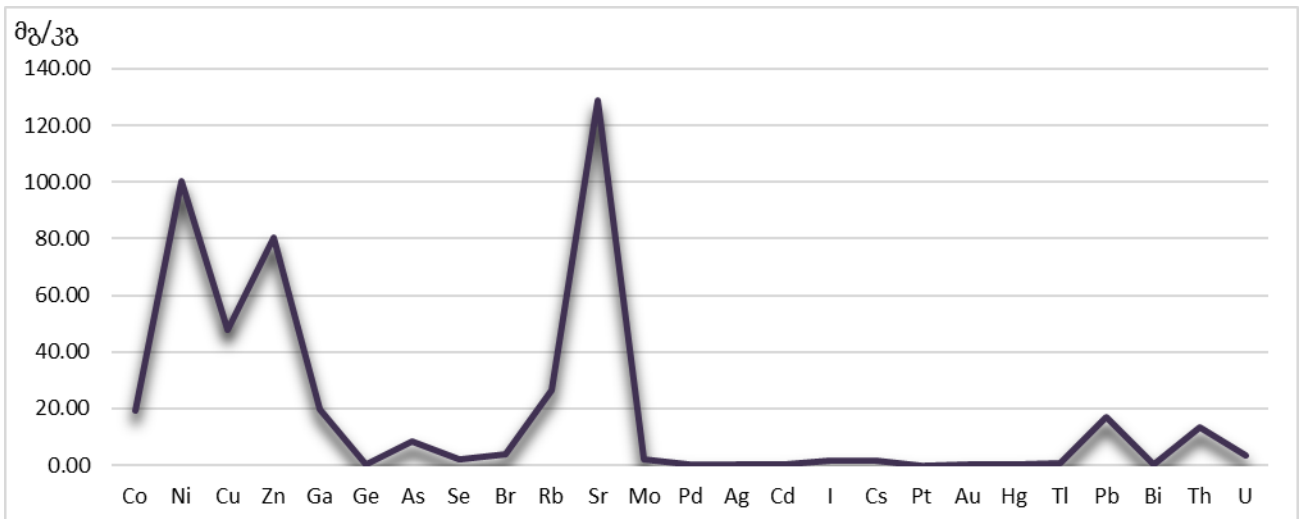
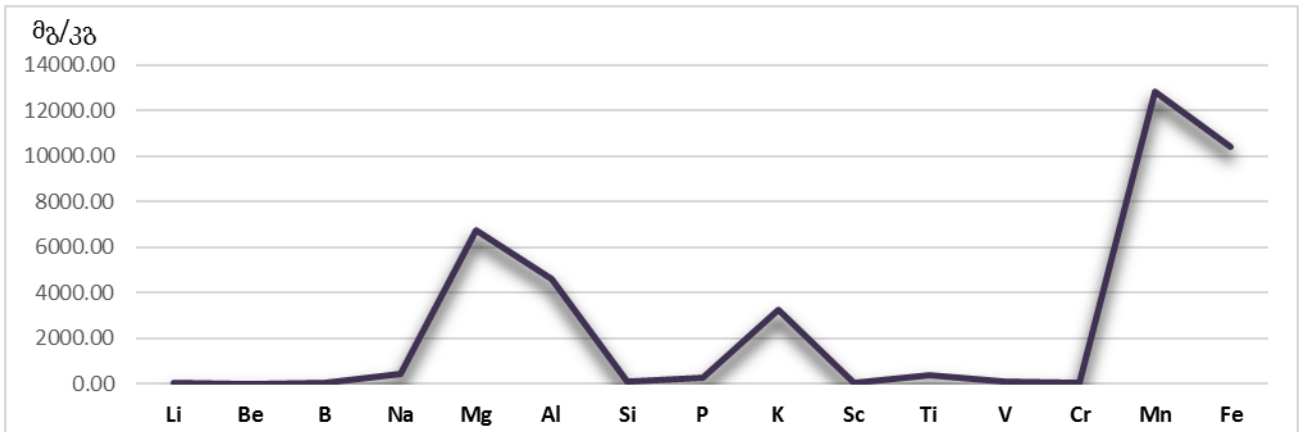
მოყვანილი მონაცემების მიხედვით დასტურდება, რომ ქალაქ ზესტაფონში, სოფელ ქვედა საქარასა და სვირში ნიადაგები ბინძურდება, როგორც ატმოსფერული ჰაერით ასევე მდინარე ყვირილას წყლით, რომელიც გამოყენებულია სავარგულების სარწყავად. სოფელი საქარა და სვირი ზესტაფონის ფერო შენადნობი ქარხნიდან დაშორებულია 5 და 11 კმ-ით (ნახ. 36, 37, 38, 39, 40).



ნახაზი 36. ნიადაგებში მძიმე ლითონთა შემცველობის სპექტრი. ქ. ზესტაფონი. 2014 წ.



ნახაზი 37, 38. სოფ. ქვედა საქარის ნიადაგებში მძიმე ლითონთა შემცველობის სპექტრი. 2014 წ.

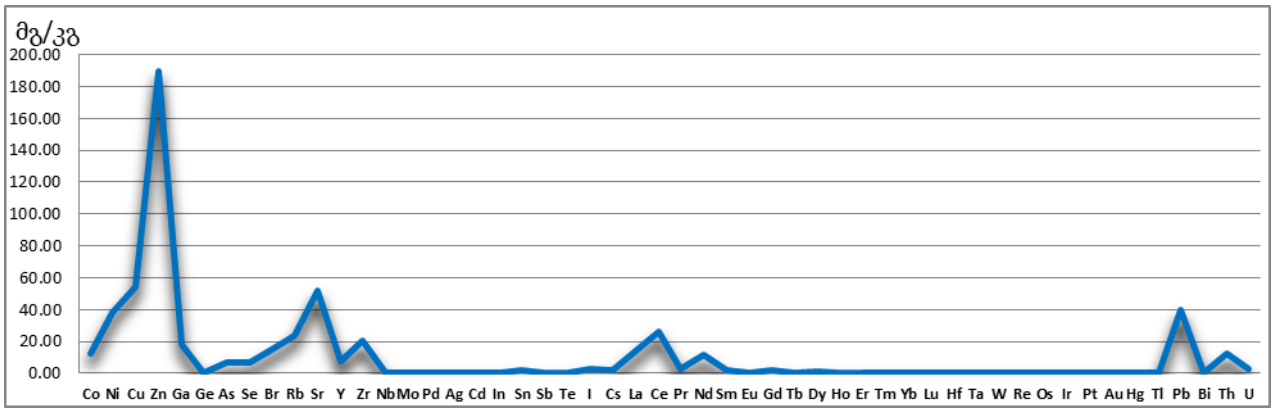


ნახაზი 39, 40. სოფ. სვირის ნიადაგებში მძიმე ლითონთა შემცველობის სპექტრი. 2014 წ.

ზემოთ აღნიშნული, ფერო შენადნობი ქარხნის და მდ. ყვირილას ზემოქმედების შედეგად ჩვენს მიერ გამოკვლეული სასოფლო სამეურნეო ტიპის ნიადაგები ძალზედ დაბინძურებულია მანგანუმით, ტყვიით, თუთიით, სპილენძით კადმიუმით, დარიშხანით და ა.შ. მოსახლეობა ინტენსიურად იყენებს ამ ნიადაგებს სასოფლო სამეურნეო საქმიანობისათვის, რაც საბოლოო ჯამში აისახება ცოცხალი ორგანიზმებისა და ადამიანის ჯანმრთელობაზე.

2.16. ოზურგეთის რაიონი

დასავლეთ საქართველოში შესწავლილი იქნა ოზურგეთის რაიონის სოფელი ანასეული, სოფელი ანასეული მდებარეობს ოზურგეთის მუნიციპალიტეტში, სადაც დაფიქსირებულია რადიაციული ლაქა. ჩვენ ამ სოფელში გამოვიკვლიეთ ნიადაგებში ელემენტების შემცველობა (ნახ. 41). ამ სოფელში ასეთი ტიპის კვლევა უპრეცედენტოა და სიახლეს წარმოადგენს, რომელიც მანამდე არ განხორციელებულა.



ნახაზი 41. სოფ. ანასეულის ნიადაგებში მძიმე ლითონების შემცველობა. 2014 წ.

მოცემული სურათიდან ნათლად ჩანს, რომ ანასეულში ნიადაგები საგრძნობლად დაბინძურებულია თუთიით, სტრონციუმით, ტყვიით და ცეზიუმით.

ყველაზე დიდ პრობლემას კი ის წარმოადგენს, რომ ადგილობრივმა მოსახლეობამ არ იცის არსებული დაბინძურების შესახებ და აღნიშნული ტერიტორიები გამოყენებულია სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულებისათვის (საძოვრები, სახნავ-სათესი და სხვა). საბოლოოდ კი დაბინძურებულ პროდუქციას (ხილ-ბოსტნეული, რძის პროდუქტები და სხვა) ადგილობრივი მოსახლეობა ინტენსიურად მოიხმარს, რაც ძალზედ საშიშია ადამიანთა ჯანმრთელობისათვის.

სამრეწველო არეალებში ადგილობრივი მოსახლეობა აქტიურად იყენებს დაბინძურებულ ნიადაგებს სასოფლო სამეურნეო დანიშნულებისათვის. ამ ადგილებში არსებული ხილის ბალები მტვრის ნაწილაკებითაა დაფარული და მათი ნაყოფი პრაქტიკულად გამოუსადეგარია. მძიმე ლითონების შემცველი ნიადაგებიდან კვების პროდუქტებში ადვილად ხვდებიან სხვადასხვა მძიმე ლითონები, ხოლო საკვები გზით ადამიანსა და ცოცხალ ორგანიზმებში.

დასავლეთ საქართველოში ერთწლიანი მონიტორინგის შედეგად მიღებული მონაცემების საშუალებით, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ზესტაფონის და ჭიათურის რაიონებში, გარემოს დიდ ზიანს აყენებს ადგილობრივი მადან მომპოვებელი, გადამამუშავებელი და გამამდიდრებელი ქარხნები.

ატმოსფეროში გამოყოფილი საწარმოო დამაბინძურებლების შემცველი მტვერი, გაბატონებული ძლიერი ქარების შედეგად გადაიტანება ფართო მაშტაბებზე, ადსორბირდება ნიადაგის ზედაპირზე და გადამოდრავდებიან უფრო ღრმა ფენებში და ხშირ შემთხვევაში ერევიან მიწისქვეშა წყლებს.

ასევე უნდა ითქვას, რომ სოფელ ანასეულში (გურის რაიონი), საგრძნობლად მაღალია მეტალური სტრონციუმის და ცეზიუმის დონე. რაც გამოწვეულია ნიადაგში რადიაციული ნარჩენების ზემოქმედებით.

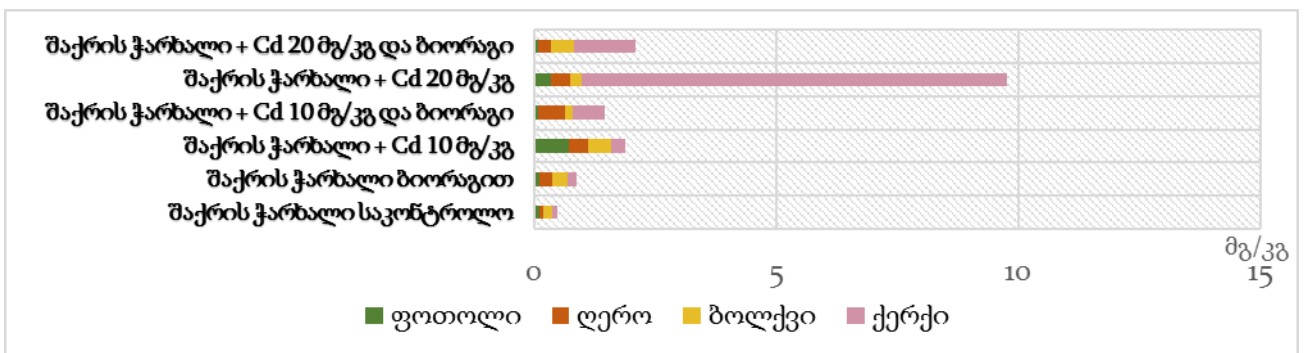
2.17. ბოლნისის რაიონის დაბინძურებული ნიადაგების ფიტორემედიაცია

2012 წლიდან ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ელ. ანდრონიკაშვილის ფიზიკის ინსტიტუტში ჩვენს მიერ გამოყენებითი კვლევების ცენტრის ბაზაზე წარმოებს ფიტორემედიაციული კვლევები, როგორც ლაბორატორიულ ასევე საველე პირობებში. ფიტორემედიაციისათვის შერჩეული იქნა ადგილობრივი კულტურული და აბორიგენული ჯიშის მცენარეები. კვლევები დინამიკაში, ხოლო მცენარეების შესწავლა მორფოლოგიურად ხორციელდებოდა. ჩემს მიერ გამოყენებული იქნა ბიოაქტივატორი ბიორაგი, რომლის საავტორო უფლებებიც ეკუთვნის თსუ პროფესორს, ბ-ნ რამაზ გახოვიძეს [67].

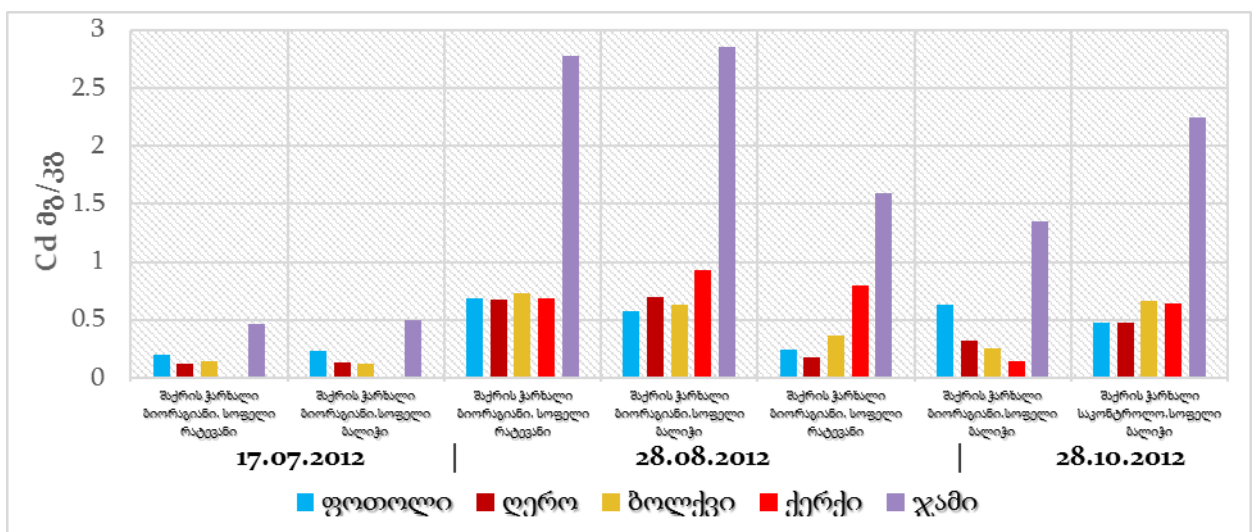
მრავალწლიანი ფუნდამენტური კვლევების საფუძველზე მის მიერ შესწავლილია ცოცხალი უჯრედის მართვის გზები და გამოვლენილია ახალი თაობის უნივერსალური რეგულატორები, რომელთაც ბ-ნ რამაზმა ბიოენერგოაქტივატორები უწოდა (ბიორაგი, ემატონი, რაგოცინი, რაგილი, იმუნორაგი და სხვ.), რომელთაც მსოფლიოში ანალოგი არ გააჩნია. ისინი გარემოს დაბინძურების გარეშე ბიოლოგიურად სუფთა მოსავლის მიღების საშუალებას გვაძლევენ, რაც დღეს ერთ-ერთი ფუნდამენტური პრობლემაა კაცობრიობის გადასარჩენად. ბიოენერგოაქტივატორები ახალი თაობის რეგულატორებია, რომლებიც პრინციპულად განსხვავდება ცნობილი ქიმიური პრეპარატებისგან და მცენარეთა ენდოგენური (საკუთარი) რეგულატორული სისტემების მართვის საშუალებას იძლევა. ბიოენერგოაქტივატორები უხვი მოსავლის, გარემოს ფაქტორებისა და დაავადებებისადმი მცენარეთა მდგრადობის გაზრდის, პროდუქციის ხარისხის გაუმჯობესებისა და მიწის ეფექტიანად გამოყენების საშუალებას იძლევა. ბიორაგი ბიოენერგოაქტივატორების ერთ-ერთი წარმომადგენელია, რომელმაც ათეული წლების განმავლობაში როგორც ჩვენთან, ისე უცხოეთში გაიარა ტოქსიკურ-ეკოლოგიური ექსპერტიზა და სამეურნეო გამოცდები. დადგენილ იქნა მისი სრული უვნებლობა. უფრო მეტიც, გამოვლენილ იქნა მისი მაღალი ანტიმუტაგენური აქტივობა და პროფილაქტიკურ - სამკურნალო თვისებები, რის გამოც რეკომენდებულ იქნა მისი გამოყენება, როგორც სოფლის მეურნეობაში, ისე მედიცინასა და კვების მრეწველობაში. ბიოენერგოაქტივატორი რამდენიმეჯერ ზრდის ჰაერიდან აზოტის შეთვისებას კოჟრის ბაქტერიების მნიშვნელოვნად გააქტიურების გამო. გამოჩენილი ამერიკელი მეცნიერი ბარბერი აღნიშნავს: „მიმდინარეობს ზრდის ისეთი რეგულატორების ძიება, რომელთა საშუალებით შესაძლებელი გახდება ფესვების ზრდის სტიმულირება ან მათი აგებულების ისე შეცვლა, რომ გაძლიერდეს საკვები ელემენტების შეთვისება, მაგრამ ამ გამოკვლევებმა ჯერ ვერ მოგვცეს შესამჩნევი შედეგები“ [S.A. Barber, Soil Nutrient Bioavailability. New York. A Wiley Interscience Publication]. ბიოენერგო აქტივატორის საშუალებით კი ვითარდება ფესვთა მძლავრი სისტემა, რომლითაც მცენარე აქტიურად ითვისებს ნიადაგის დაბალი ფენებიდან წყალს

და საკვებ ელემენტებს. ამიტომ დამლაშებულ და მწირ ნიადაგებზეც კი ბიოენერგოაქტივატორი ხელს უწყობს მცენარეთა ნაყოფიერების ზრდას [68] [69].

ბიორაგის ზემოთ აღნიშნული თვისებების გათვალისწინებით მოხდა მისი გამოყენება მცენარის ფიტორემედიაციული თვისებების მეცნიერული გამოკვლევისას. ფიტორემედიაციული კვლევები დავიწყეთ 2012 წელს და იგი წარმოებდა ბოლნისის რაიონის სამ სოფელში, ეს სოფლებია: ბალიჭი, რატევანი და წულრულაშენი. ამ პერიოდში გამოკვლეულ იქნა მცენარე შაქრის ჭარხალი, წითელი ჭარხალი და მწვანე ამარანდა. ეს მცენარეები დამუშავებული იყო ბიოსტიმულატორ ბიორაგში, ამავდროულად კვლევები მიმდინარეობდა საკონტროლო საცდელ მცენარეებზე, რათა საშუალება მოგვცემოდა შეგვედარებინა საკონტროლო და ბიოსტიმულატორში დამუშავებული მცენარეების მიერ ლითონების ფიტომიგრაციის უნარი. კვლევები წარმოებდა ასევე სავეგეტაციო ჭურჭელში, სადაც ნიადაგის დაბინძურება ჩვენს მიერ ხელოვნურად წარმოებდა წინასწარ შერჩეული კონცენტრაციებით. ქვემოთ მოცემულ გრაფიკებზე განხილულია კვლევების შედეგად მიღებული რამდენიმე მაგალითი (ნახ. 42, 43).



ნახაზი 42. ქოთნებში გაზრდილი შაქრის ჭარხლის მიერ კადმიუმის (Cd) ათვისება.

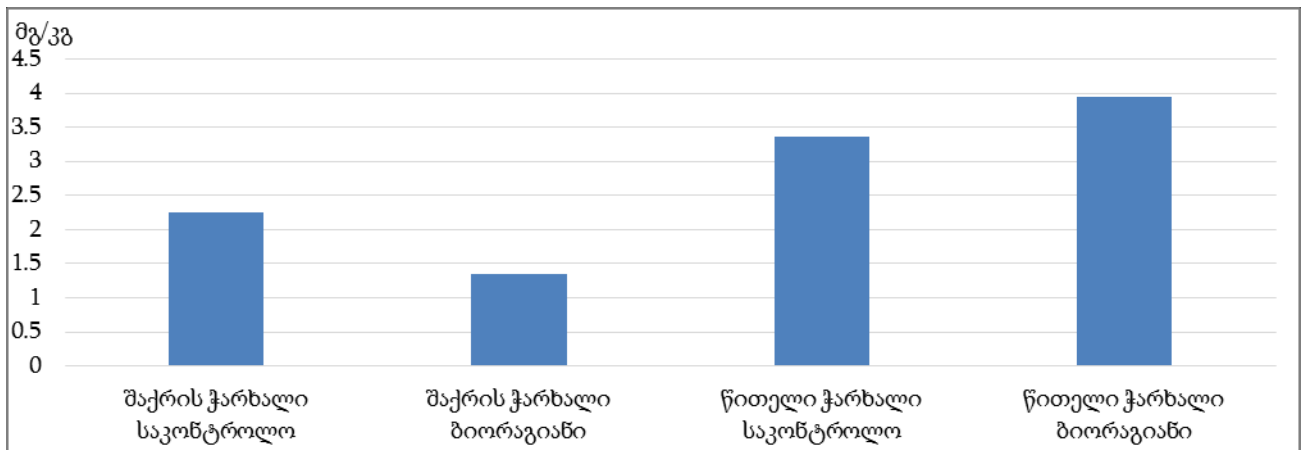


ნახაზი 43. სოფ. რატევანისა და ბალიჭის სასოფლო სამეურნეო სავარგულებზე გაზრდილი შაქრის ჭარხლის მიერ კადმიუმის (Cd) ათვისება.

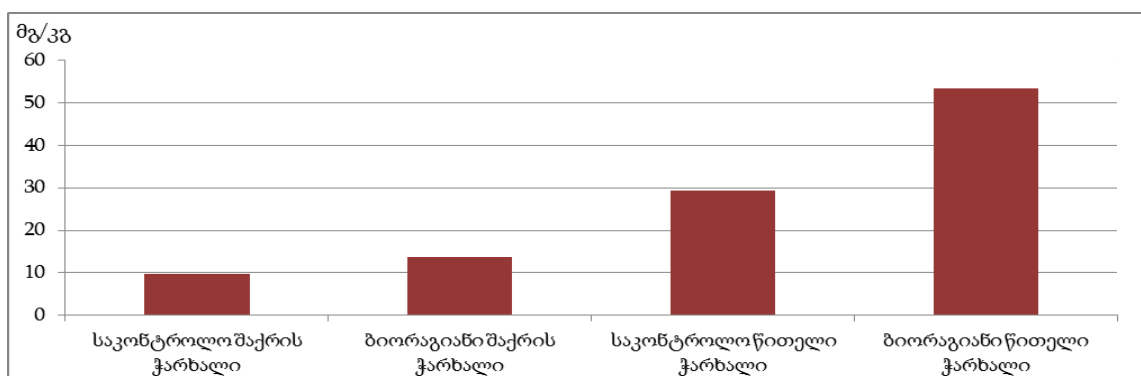
მონაცემების შედარების შედეგად გამოვლინდა, რომ ქოთნებში მიმდინარე პროცესები წინასწარ მოსალოდნელ შედეგებს ნაწილობრივ შეესაბამება, ხოლო სამეურნეო ნაკვეთებში ჩატარებული ექსპერიმენტები ძალზედ განსხვავდება ლაბორატორიულ პირობებში განხორციელებული კვლევებისაგან. საწარმოო დაბინძურებულ ნიადაგებზე ჩატარებულ ექსპერიმენტებზე მრავალი ფაქტორი ახდენს ზეგავლენას, მათ შორის: ატმოსფერული ნალექები, გვალვა, განათების პერიოდულობა, დამაბინძურებელ ნივთიერებათა შემცველობა და მათი განაწილების სიჩქარე. ნიადაგში არსებული მიკრო და მაკრო ელემენტების ერთობლიობა, ნივთიერებათა კომპლექსური ნაერთები, სასუქების და ჰუმინური მჟავების შემცველობა, ნიადაგის გენოტიპები, სტრუქტურა და ა.შ. მცენარეზე მოქმედი მრავალი ფაქტორის ჩამოთვლაა შესაძლებელი, რაც შეიძლება არ ხდებოდეს სავეგეტაციო ჭურჭლებში.

ზემოთ მოყვანილი გრაფიკების (იხ. ნახ 42) მიხედვით, თუ ვიმსჯელებთ სავეგეტაციო ჭურჭელში გაზრდილ შაქრის ჭარხალში, რომლის თესლიც ბიოაქტივატორ ბიორაგით იყო დამუშავებული და დამატებული ჰქონდა 10-20 მგ/კგ Cd შეამცირა კადმიუმის ამოღება, ბიოაქტივატორის გარეშე მოყვანილ ჭარხალთან შედარებით. ხოლო საკონტროლოში პირიქით „ბიორაგით“ დამუშავებულ ჭარხალში გაიზარდა ლითონის აკუმულაცია [67].

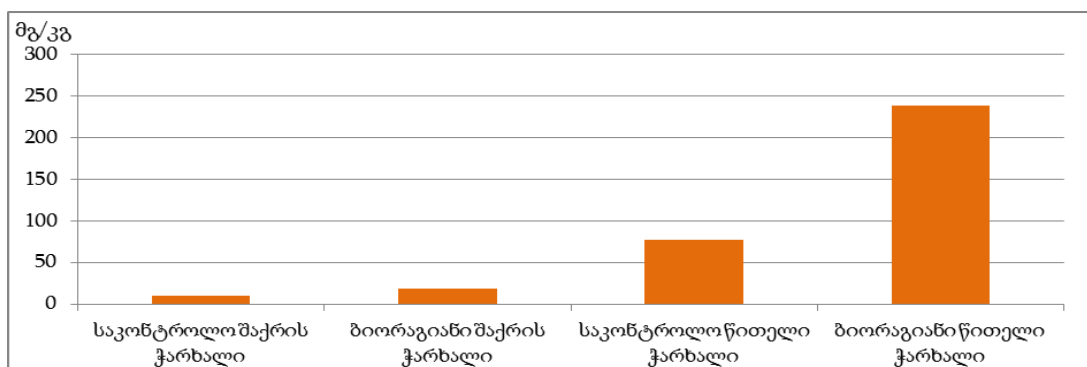
სოფელ ბალიჭსა და რატევანში საველე პირობებში გაზრდილ შაქრის ჭარხალზე დაკვირვებები დინამიკაში მიმდინარეობდა. კვლევების შედეგად გამოვლინდა, რომ ბიორაგით დამუშავებულ მცენარეში ივლისსა და აგვისტოში ლითონის აკუმულაციის მკვეთრად მზარდი დინამიკაა, ხოლო ოქტომბერში საგრძნობლად იკლებს მათში ლითონთა შემცველობა. შემოდგომით ლითონთა აკუმულაციის კლებისას უამრავი ფაქტორია გასათვალისწინებელი: ა). სიცივე - რაც მცენარის ზრდა განვითარებას მნიშვნელოვნად აფერხებს; ბ). უხვი ნალექები - რაც უზრუნველყოფს ნიადაგის ხსნარში ნივთიერებათა გახსნასა და მცენარეში მათ აქტიურ ტრანსპორტირებას; გ). ქსილემისა და ფლოემის გზები - მცენარეს ამ გზების საშუალებით შესწევს უნარი შეითვისოს და დააგროვოს საკვები ნივთიერებები ასევე უკან გამოდევნოს ისინი, ამიტომ ჭარბი ნალექების დროს ხსნარების შედინება ინტენსიურია მცენარეში ამ გზების დახმარებით, რაც უზრუნველყოფს მისგან მინერალების გარკვეული რაოდენობის გამორეცხვას (ნახ. 44, 45, 46).



ნახაზი 44. სოფ. ბალიჭში შაქრის და წითელ ჭარხალში კადმიუმის აკუმულაცია.

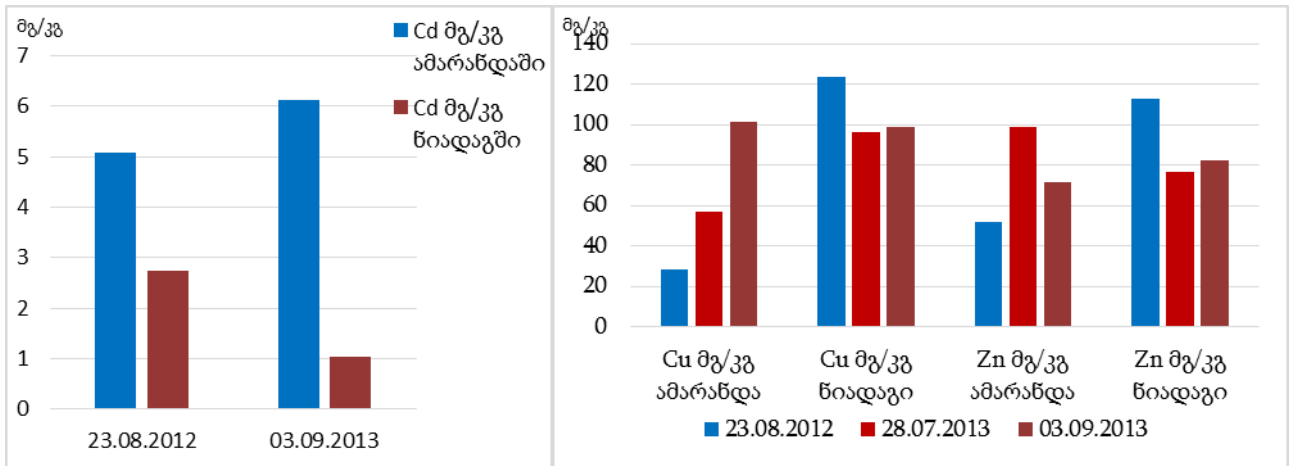


ნახაზი 45. სოფ. ბალიჭში შაქრის და წითელ ჭარხალში სპილენძის აკუმულაცია.



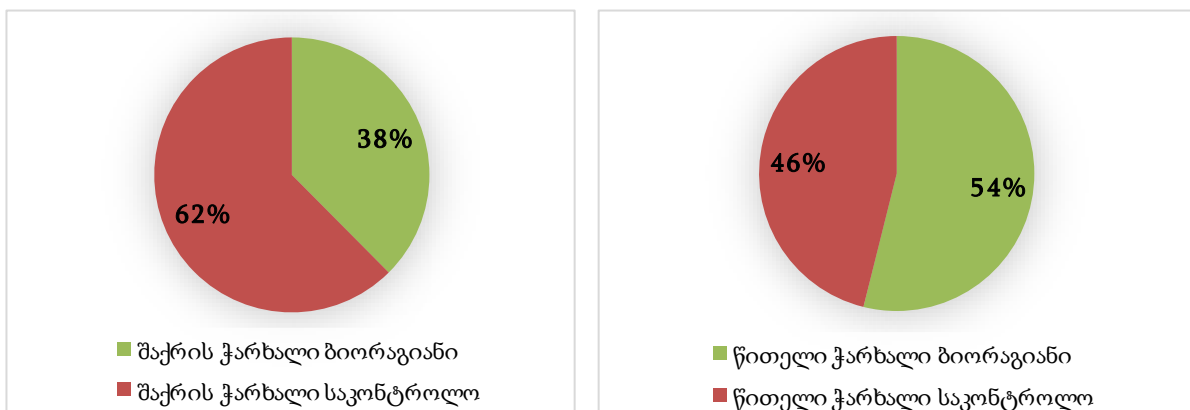
ნახაზი 46. სოფ. ბალიჭში შაქრის და წითელ ჭარხალში თუთიის აკუმულაცია.

სოფ. ბალიჭში ფიტორემედიაციული კვლევების შედეგებს, თუ შევადარებთ საკონტროლო და ბიოენერგოაქტივატორ „ბიორაგით“ დამუშავებულ შაქრისა და წითელ ჭარხალს დავინახავთ, რომ სპილენძს და თუთიას ბიოენერგოაქტივატორით დამუშავებული მცენარე უფრო მეტი რაოდენობით შეითვისებს, ვიდრე საკონტროლო. კადმიუმის შემთხვევაში კი საქმე სხვაგვარადაა, ბიოაქტივატორით დამუშავებული შაქრის ჭარხალი, საკონტროლოსთან შედარებით ნაკლებს შეითვისებს. წითელი ჭარხლის შემთხვევაში ბიორაგანი უფრო მეტს იგროვებს ვიდრე საკონტროლო (ნახ. 47).



ნახაზი 47. მცენარე ამარანდაში და ნიადაგში მძიმე ლითონების (Cd, Cu, Zn) შემცველობას შორის დამოკიდებულება.

მცენარე ამარანდა ადგილობრივი აბორიგენული ჯიშია, რომელიც კარგად ეგუება ადგილობრივ კლიმატურ პირობებს. მოსახლეობა ახალ ამოსულ ამარანდას იყენებს მხალეულის დასამზადებლად, მოზრდილს კი პირუტყვებისა და ფრინველების საკვებად. ამ მცენარემ საუკეთესო ფიტორემედიაციული თვისებები გამოავლინა, რაც კვლევის სამომავლოდ წარმართვისათვის და ადგილზე ამ ტექნოლოგიის ფართო მასშტაბიანი განხორციელების საშუალებას იძლევა. შესწავლილი მონაცემების თანახმად შეგვიძლია ვთქვათ, რომ კადმიუმს მით მეტს ითვისებს ნიადაგიდან, რაც უფრო ნაკლებია მისი შემცველობა ნიადაგში. სპილენძისა და თუთიის შემთხვევაში დინამიკის მიხედვით, როგორც კი მოიკლებს ნიადაგში ამ ელემენტთა კონცენტრაცია, მით უფრო იზრდება მათი შელწევადობა მცენარეში და პირიქით (ნახ. 48).



ნახაზი 48. სოფ. ბალიჭში შაქრისა და წითელ ჭარხალში კადმიუმის შეთვისების პროცენტული მონაცემები.

კადმიუმით დაბინძურებული ნიადაგების ფიტორემედიაციისას შაქრისა და წითელი ჭარხლის გამოყენების შემთხვევაში საკონტროლო შაქრის ჭარხალი

ბიორაგიანთან შედარებით 26%-ით მეტ კადმიუმს შთანთქავს, ბიორაგიანი წითელი ჭარხალი კი 8%-ით მეტს, ვიდრე საკონტროლო.

ბოლნისის რეგიონში ინდუსტრიის შედეგად დაბინძურებული ნიადაგების ფიტორემედიაციისას მნიშვნელოვანი მიმართულებები გამოიკვეთა. ეს ტექნოლოგია თამამად შეიძლება დაინერგოს და გამოყენებული იქნას, როგორც საწარმოების ასევე მცირე და დიდი ფერმერების მიერ. მართალია ნიადაგების სრულად გასაწმენდად ფიტორემედიაციას სჭირდება შედარებით დიდი პერიოდი, ამ რაიონში კი საქმეს ისიც ართულებს, რომ ოქროსა და სპილენძის მომპოვებელი საწარმოები მუდმივად გამოყოფენ გარემოში ტექნოგენურ გამაბინძურებლებს. ეს ფაქტი კი მნიშვნელოვნად ახანგრძლივებს ფიტორემედიაციის პერიოდს. თუ გავითვალისწინებთ სამრეწველო რეგიონებში მწვანე საფარის გაჩეხვასა და ეკოლოგიური გარემო პირობების გაუარესებას, მაშინ აუცილებელი და გადაუდებელიცაა ფიტორემედიაციის (მწვანე ტექნოლოგიის) დანერგვა ასეთ ადგილებში.

როგორც უკვე ავლინებ, ფიტორემედიაცია მოიცავს სხვადასხვა სახეობის მცენარის გამოყენებას, რათა შემცირდეს ნიადაგის დაბინძურებით გამოწვეული უარყოფითი რისკ-ფაქტორები. ჩემს მიერ ჩატარებული კვლევების მიზანი წარმოადგენდა სხვადასხვა სახეობის, როგორც ენდემური ასევე აბორიგენული ჯიშის მცენარეების გამოცდა სოფელი ბალიჭის, რატევის და წულრულაშენის ნიადაგებზე. კვლევები მიმდინარეობდა, როგორც საველე პირობებში ასევე სავეგეტაციო ჭურჭლებში. კვლევების შედეგად გამოვლინდა, რომ ნიადაგში არსებული ელემენტების კავშირი მიმართულია ფიტოექსტრაქციისაკენ, ფიტოარასტაბილურობისკენ და ფიტოსტაბილურობისაკენ. ფიტოექსტრაქცია მოიცავს მცენარეების გაზრდას და მათი მოსავლის აღებას, ხოლო გამოყენებული მცენარის ორგანიზმში დიდი რაოდენობით აკუმულირდება მძიმე ლითონები, რაც დაბინძურებული ნიადაგის გაწმენდის საშუალებას იძლევა. ფიტოარასტაბილურობისას გამოიყენება მცენარეები და ნიადაგის მიკრობები (ბაქტერიები), რომ მოახდინოს ნიადაგში მძიმე ლითონების (მაგ. Se, Hg და ა.შ.) ტრანსფორმაცია არასტაბილურ ფორმებად. ფიტოსტაბილურობისას გამოიყენება ნიადაგში ცვლილებების შეტანა, რომელიც იწვევს მეტალების ქიმიურ ფორმაციის შეცვლას, რაც ამლევს მათ ნაკლებ ფიტოშედწევადობის ან ბიოშედწევადობის უნარს. ჩვენი კვლევის შედეგად სხვადასხვა მცენარეებმა გამოავლინეს ფიტოექსტრაქციის და ფიტოსტაბილურობის უნარი. პრაქტიკულად თუ თეორიულად ყველასთვის ცნობილი ფაქტია, ის რომ მცენარეების გამოყენება ეროზიის წინააღმდეგ საბრძოლველი პრევენციაა და ფართო გაგებით საწინდარია მდგრადი ეკოსისტემის დასაცავად, რაც აგრეთვე ფიტოსტაბილურობის ნაწილიცაა. ეს თანამედროვე მიდგომები განიხილება, როგორც „მწვანე“ ტექნოლოგიები, გადამუშავების დაბალი ფასით და სასოფლო სამეურნეო პრაქტიკაში დამკვიდრებით.

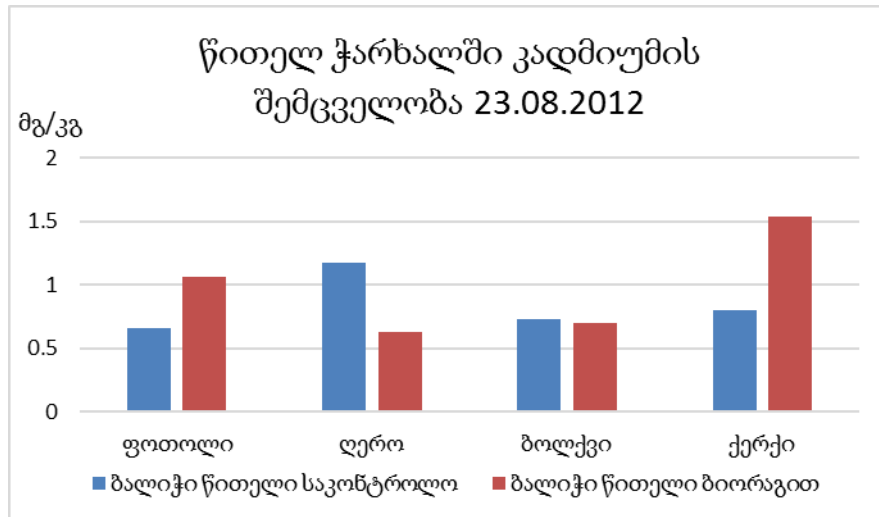
ჩვენს მიზანს წარმოადგენდა შეგვესწავლა ელემენტთა რა მაქსიმალური კონცენტრაციის შეთვისების შესაძლებლობა შესწევს ამა თუ იმ მცენარეს. ამ კვლევების

განხორციელებისას პრაქტიკულად უამრავი სირთულე შეიძლება წარმოიშვას განსაკუთრებით მაშინ, თუ კვლევები სავეგეტაციო ჭურჭლებში არ მიმდინარეობს და საკვლევ ტერიტორიაზე ხორციელდება. კვლევების დროს დიდი მნიშვნელობა აქვს, როგორ გარემოში იზრდება მცენარე სავეგეტაციო ჭურჭლებში სადაც ხელოვნურად არის ნიადაგი შეტანილი და რომელსაც დამატებული აქვს წინასწარ შერჩეული საკვები ნივთიერებები, თუ ბუნებრივ გარემოში სადაც უამრავი ფაქტორი მოქმედებს ჰიპერაკუმულატორ მცენარეებზე, როგორებიცაა ნიადაგის შემადგენლობა მისი ტიპები და სხვა, ასევე დიდი მნიშვნელობა აქვს ბუნებრივ გარემოში სხვადასხვა ელემენტებით დაბინძურებულ ნიადაგებში ფიტორემედიაციული კვლევების ჩატარებას და მათ განხორციელებას. ფიტოექსტრაქცია მთლიანად აკმაყოფილებს დაბინძურებული ტერიტორიის გაწმენდის მოთხოვნებს, მიმდინარე პროცესებითაც და ფასის ეფექტურობითაც. ფიტორემედიაციული ტექნოლოგიების დანერგვით გარემოში მცირდება ადამიანისა და ბუნების მიმართ მოქმედი უარყოფითი რისკ ფაქტორები.

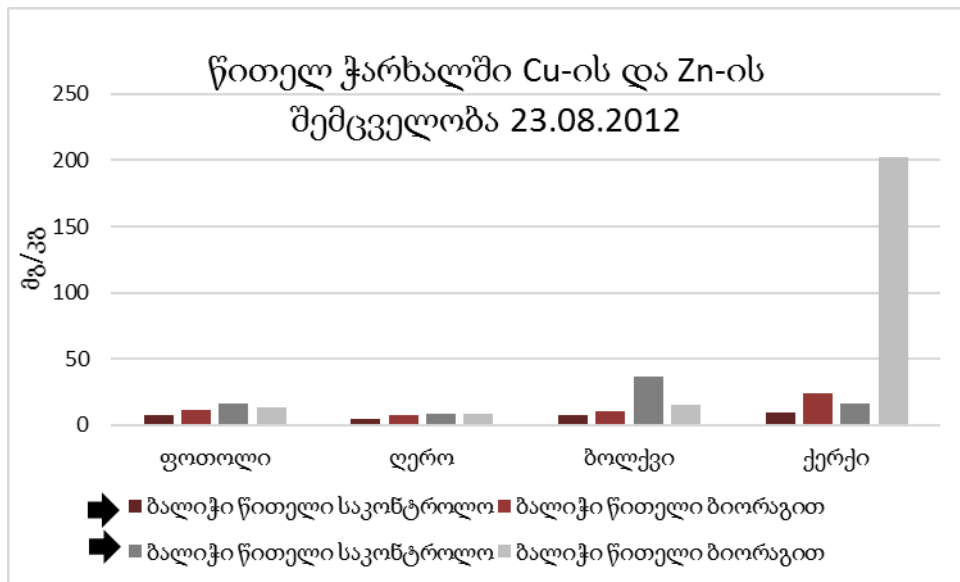
ფიტოექსტრაქციული ბიომასის გამოყენება არ წარმოადგენს რთულ საქმეს. ფიტორემედიაციის დროს გასათვალისწინებელია ნიადაგში არსებული ლითონთა კომპლექსები და რთული პოლივალენტური კათიონების გადაადგილება მცენარის მემბრანებში. ფიტოექსტრაქციისას მცენარეები უნდა გამოირჩემოდნენ ლითონების მიმართ მაღალი ტოლერანტულობით და აკუმულაციის მაღალი კოეფიციენტით.

2.18. ფიტორემედიაციული ასპექტები 2012 წლის მონაცემებზე დაყრდნობით

მძიმე ლითონთა ფიტომიგრაციის კვლევები 2012 წელს დაიწყო ჩვენს მიერ ბოლნისის რაიონის სამ სოფელში (ბალიჭი, რატევანი და წულრულაშენი). შესწავლილ იქნა შაქრის და წითელ ჭარხალში მძიმე ლითონთა აკუმულაცია მცენარის თითოეულ ორგანოში. მცენარეების ღეროში, ფოთლებში, ბოლქვში და ქერქში გამოკვლეულ იქნა კადმიუმის, სპილენძის და თუთიის კონცენტრაციები დინამიკაში (ნახ. 49, 50).



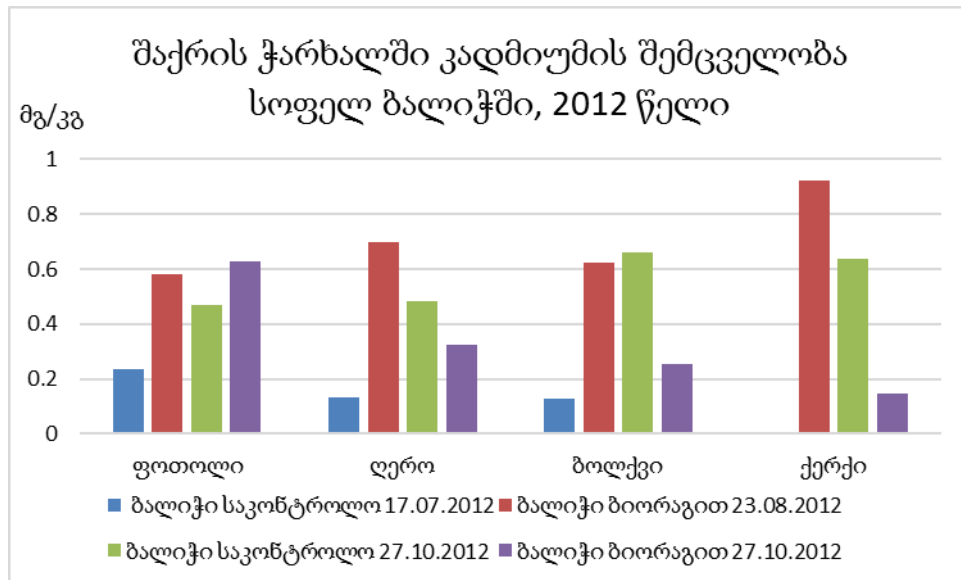
ნახაზი 49. საკონტროლო და ბიოაქტივატორ ბიორაგში დამუშავებულ წითელ ჭარხალში კადმიუმის შემცველობა, სოფ. ბალიჭი. 2012 წლის აგვისტო.



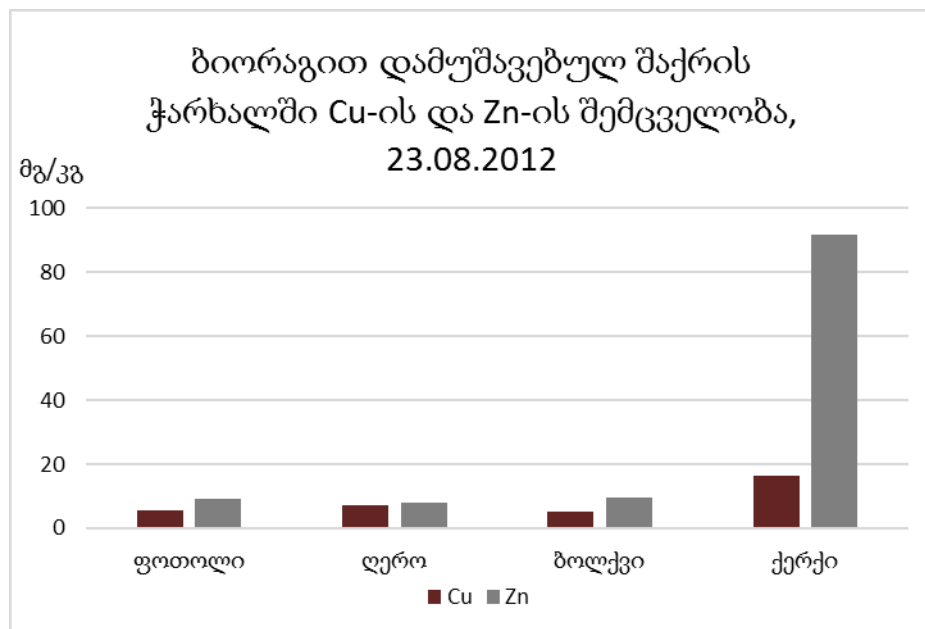
ნახაზი 50. საკონტროლო და ბიოაქტივატორ ბიორაგში დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში სპილენძისა და თუთიის შემცველობა, სოფ. ბალიჭი. 2012 წლის აგვისტო.

წითელი ჭარხლის მორფოლოგიურმა კვლევებმა გამოავლინა, რომ საკონტროლო ჭარხლის შემთხვევაში კადმიუმი დიდი რაოდენობით გროვდება ღეროში, შემდეგ ქერქში, ბოლქვში და ფოთოლში. ხოლო ბიორაგით დამუშავებულ წითელ ჭარხალში კადმიუმი მიგრაციას განიცდის ფოთოლში, შემდეგ ქერქში, ბოლქვში და ღეროში. რაც შეეხება სპილენძს და თუთიას, ყველაზე დიდი რაოდენობით ბიოსტიმულატორ ბიორაგში დამუშავებულ მცენარის ქერქში აკუმულირდებიან საკონტროლოსთან შედარებით მას 12.5 -ჯერ მეტი თუთიის და 3-ჯერ მეტი სპილენძის ათვისება შეუძლია. რაც შეეხება საკონტროლო მცენარეს მან თუთიის ყველაზე მეტი რაოდენობა ბოლქვში დაიგროვა, შემდეგ მოსდევს ფოთოლი, ბოლქვი და ღერო. რაც შეეხება სპილენძს ქერქში დაფიქსირდა შედარებით მაღალი კონცენტრაცია ამას მოსდევს ფოთოლი და ბოლქვი

სადაც სპილენძის მიგრაცია თითქმის ერთნაირია, ბოლოს კი ღერო. ბიოაქტივატორი ბიორაგი წითელ ჭარხალში ზრდის მძიმე ლითონების ფიტომიგრაციას. შაქრის ჭარხლის კვლევებისას მძიმე ლითონების განაწილება მცენარის ორგანოებში სხვადასხვანაირად მიმდინარეობს (ნახ. 51, 52).



ნახაზი 51. საკონტროლო და ბიოაქტივატორ ბიორაგით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალის ორგანოებში კადმიუმის შემცველობა დინამიკაში, 2012 წელი.



ნახაზი 52. ბიოაქტივატორ ბიორაგში დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში სპილენძისა და თუთიის შემცველობა.

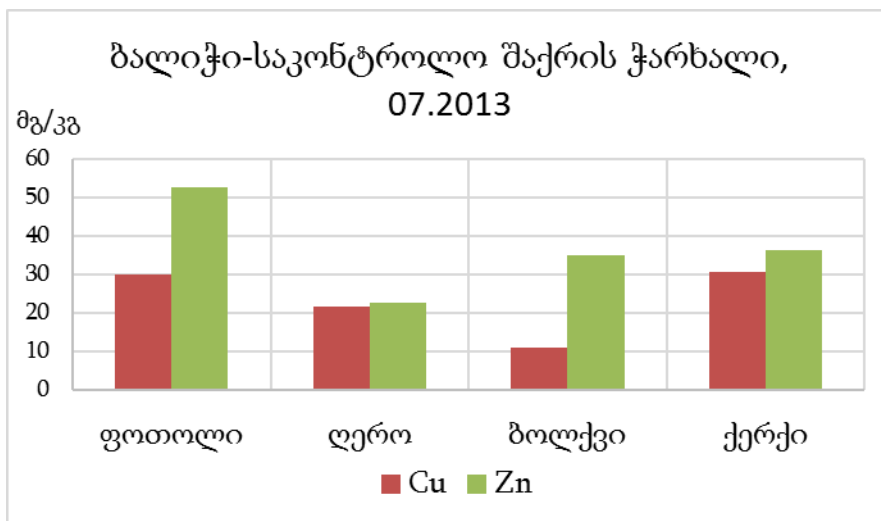
2012 წელს გამოკვლეულ იქნა მძიმე ლითონების აკუმულაციის მექანიზმი საკონტროლო და ბიოაქტივატორ ბიორაგში დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში. კვლევები მიმდინარეობდა წელიწადის ორ პერიოდში ივლისში და აგვისტოში. შაქრის ჭარხალში

კადმიუმი აკუმულირდება შემდეგნაირად: საკონტროლო შაქრის ჭარხალში კადმიუმის შემცველობა თვეების მიხედვით იზრდება. ივლისის თვეში ფოთოლმა დააგროვა კადმიუმის მაღალი კონცენტრაცია, ხოლო ოქტომბრის თვეში ამავე ელემენტის შემცველობა ბოლქვა დააგროვა, შემდეგ ქერქმა, ღერომ და ფოთოლმა. რაც შეეხება ბიოსტიმულატორ ბიორაგში დამუშავებულ შაქრის ჭარხალმა ივლისის თვეში კადმიუმის კონცენტრაციის დიდი შემცველობა დაფიქსირდა თითქმის ყველა ორგანოში, გარდა ფოთლისა. ამავე შაქრის ჭარხლის ფოთოლში ოქტომბრის თვის კადმიუმის კონცენტრაცია აღემატება ივლისის თვისას, ხოლო დანარჩენ ორგანოებში ამ ელემენტის მკვეთრი კლება შეიმჩნევა ღეროში ბოლქვში და ქერქში.

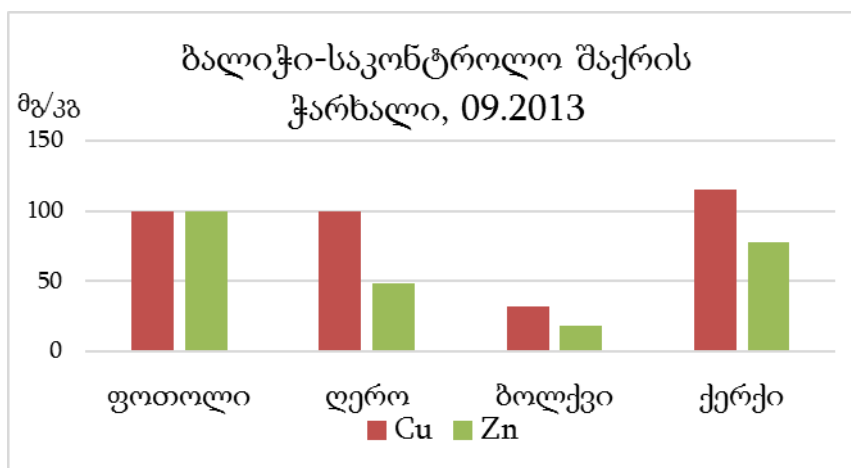
თუ შევადარებთ საკონტროლოს და ბიორაგიან შაქრის ჭარხლის მიერ კადმიუმის ათვისებას ნათლად ჩანს ზემოთ მოყვანილი ნახაზიდან (ნახ. 51), რომ ივლისის თვეში საკონტროლოსთან შედარებით კადმიუმის შემცველობა ბიორაგიან შაქრის ჭარხალში აღემატება, ხოლო ოქტომბრის თვეში საკონტროლო ჭარხლის ორგანოებში, გარდა ფოთლისა აღემატება კადმიუმის შემცველობა, ბიოაქტივატორიან შაქრის ჭარხალთან შედარებით. ბიორაგით დამუშავებული შაქრის ჭარხლის ქერქში თუთიის და სპილენძის შემცველობა ყველა ორგანოსთან შედარებით მაღალია, ისევე როგორც წითელ ჭარხალში.

2.19. ფიტორემედიაციული ასპექტები 2013 წლის მონაცემებზე დაყრდნობით

მძიმე ლითონთა ფიტომიგრაციის შესწავლის მიზნით სოფელ ბალიჭში 2013 წელს განხორციელდა შემდეგი სახის კვლევები: შეირჩა ბიოსტიმულატორი ბიორაგი და დეპოზიტი შაქრის ჭარხლისთვის და კარტოფილისთვის, სოფელ ბალიჭში დაითესა, როგორც საკონტროლო შაქრის ჭარხალი, კარტოფილი, ასევე ბიორაგში და ბიოდეპოზიტში დამუშავებული მცენარის თელსები. მცენარეების მორფოლოგიური აგებულების შესწავლა დინამიკაში (ივლისი, სექტემბერი, ოქტომბერი) ხორციელდებოდა. კვლევის ამ პერიოდში გამოკვლეულ იქნა სპილენძის, თუთიის და კადმიუმის ფიტომიგრაციის შესაძლებლობები შემდეგ მცენარეებში: შაქრის ჭარხალში, კარტოფილში, ამარანდაში და ნაცარქათამაში (ნახ. 53, 54, 55, 56).

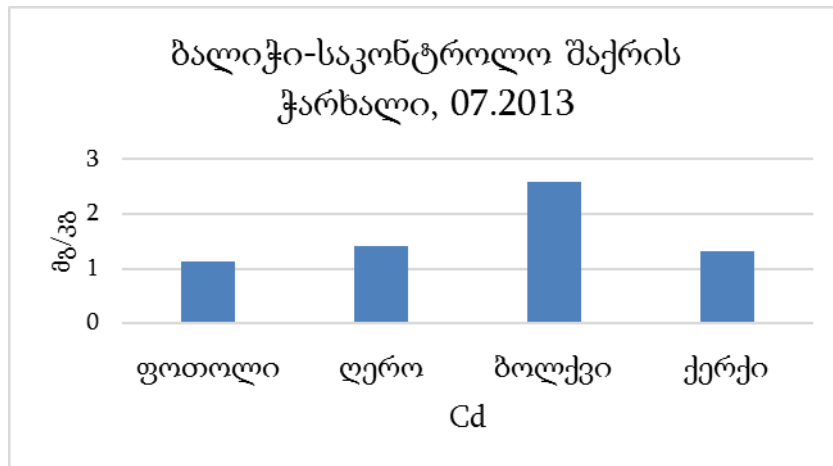


ნახაზი 53. სოფ. ბალიჭი, საკონტროლო შაქრის ჭარხალში სპილენძის და თუთიის შემცველობა დინამიკაში. ივლისი, 2013 წელი.

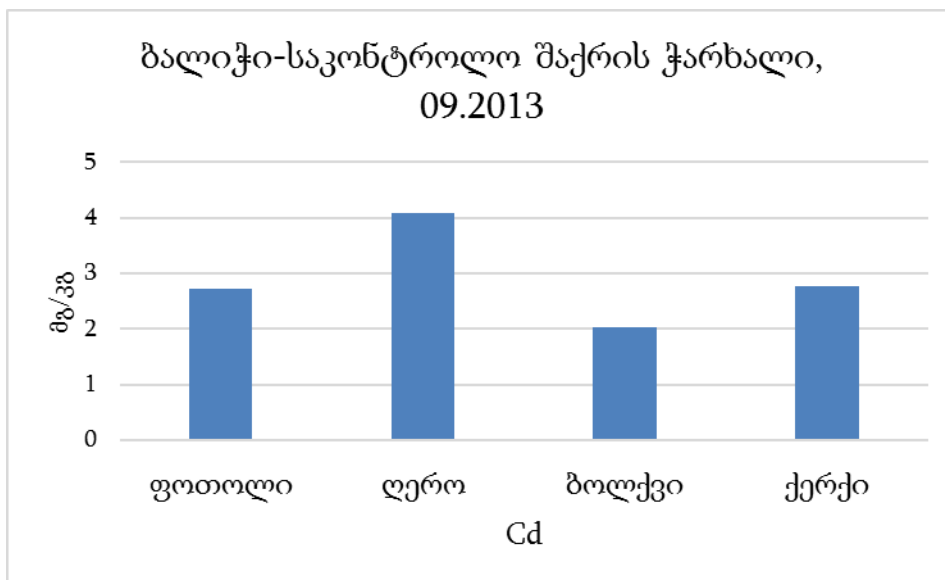


ნახაზი 54. სოფ. ბალიჭი, საკონტროლო შაქრის ჭარხალში კადმიუმის და თუთიის შემცველობა დინამიკაში. სექტემბერი, 2013 წელი.

სოფელ ბალიჭში საკონტროლო შაქრის ჭარხალში სპილენძის და თუთიის კონცენტრაცია ივლისის თვეში ნაკლებია სექტემბერთან შედარებით. ივლისში აღებულ ფოთლის სინჯში სპილენძის კონცენტრაცია 30.1 მგ/კგ-ს შეადგენს, ხოლო სექტემბერში საკონტროლო შაქრის ჭარხლის ფოთოლში 100 მგ/კგ აღწევს, სექტემბერში სპილენძის კონცენტრაცია 3-ჯერ იმატებს ივლისის თვესთან შედარებით, ღეროში სპილენძის კონცენტრაციამ 26,1 მგ/კგ შეადგინა, როცა სექტემბერში თითქმის 4-ჯერ მოიმატა და 99.68 მგ/კგ დაფიქსირდა. სექტემბერში ასევე ბოლქვში 3-ჯერ გაიზარდა, ხოლო ქერქში თითქმის 4-ჯერ მოიმატა სპილენძის შემცველობამ. რაც შეეხება თუთიას აქაც სპილენძის მსგავსად მცენარის ორგანოებში გარდა ბოლქვისა მატების ტენდენციაა. სექტემბერში ივლისის თვესთან შედარებით ფოთოლში, ღეროში და ქერქში თითქმის 2-ჯერ გაიზარდა თუთიის კონცენტრაცია, ხოლო ბოლქვში 2-ჯერ შემცირდა იგივე ლითონის შემცველობა.



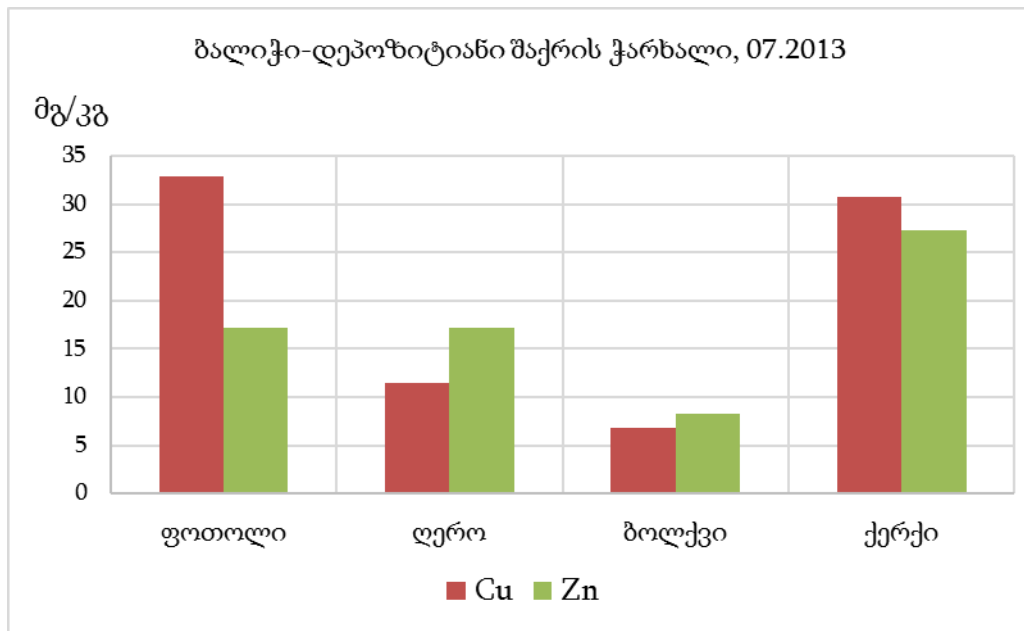
ნახაზი 55. სოფ. ბალიჭი, საკონტროლო შაქრის ჭარხალში კადმიუმის შემცველობა დინამიკაში. ივლისი, 2013 წელი.



ნახაზი 56. სოფ. ბალიჭი, საკონტროლო შაქრის ჭარხალში კადმიუმის შემცველობა დინამიკაში. სექტემბერი, 2013 წელი.

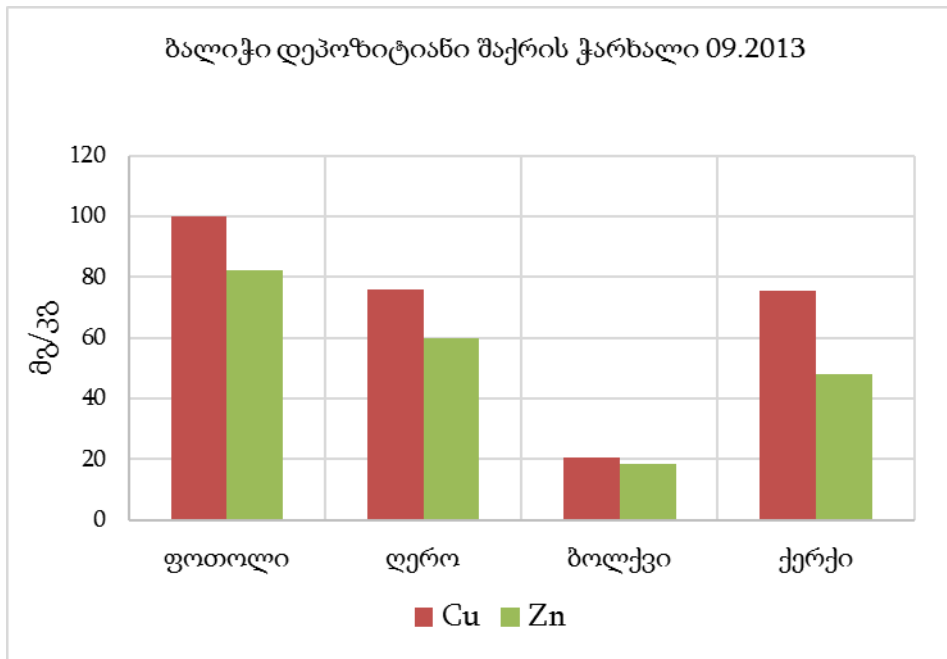
კადმიუმი ყველაზე ტოქსიკური ელემენტია, ამრიგად შაქრის ჭარხლის მიერ ამ ლითონის ამოღება ნიადაგიდან ყველაზე მნიშვნელოვანი საკითხია დღევანდელი დაბინძურებული ნიადაგების გაწმენდის თვალსაზრისით. საკონტროლო შაქრის ჭარხალში კადმიუმის შემცველობა სექტემბერში მკვეთრად იმატებს ივლისის თვესთან შედარებით, ივლისში ფოთოლში კადმიუმის კონცენტრაცია 1.13 მგ/კგ-ს შეადგენდა, ღეროში 1.4 მგ/კგ-ს, ბოლქვში 2,58 მგ/კგ-ს, ქერქში 1.31 მგ/კგ-ს, ხოლო სექტემბერში შესაბამისად 2.716 მგ/კგ-ს, 4.08 მგ/კგ-ს, 2,08 მგ/კგ-ს, 2.777 მგ/კგ-ს. პროცენტულად თუ დავიანგარიშებთ 181 %-ით მეტი კადმიუმი აითვისა სექტემბერში შაქრის ჭარხლის ფოთოლმა, ღერომ, ბოლქვმა და ქერქმა ივლისის თვესთან შედარებით. ასევე უნდა აღინიშნოს ისიც რომ სექტემბერში ბოლქვში კადმიუმის კონცენტრაციამ ივლისის თვესთან შედარებით 0,54 მგ/კგ-ით მოიკლო, ეს შესაძლოა იგივე მცენარეში თუთიის

კლებით იყოს განპირობებული. ნახ. 53 და 54-ის მიხედვით თუთიის კონცენტრაცია 2-ჯერ შემცირდა საკონტროლო შაქრის ჭარხლის ბოლქვში. 2013 წელს საკონტროლო შაქრის ჭარხალთან ერთად შესწავლილ იქნა ბიოსტიმულატორ ბიორაგში და ბიოდეპოზიტში დამუშავებული შაქრის ჭარხალში მძიმე ლითონთა შემცველობა (ნახ. 57, 58, 59, 60, 61, 62).

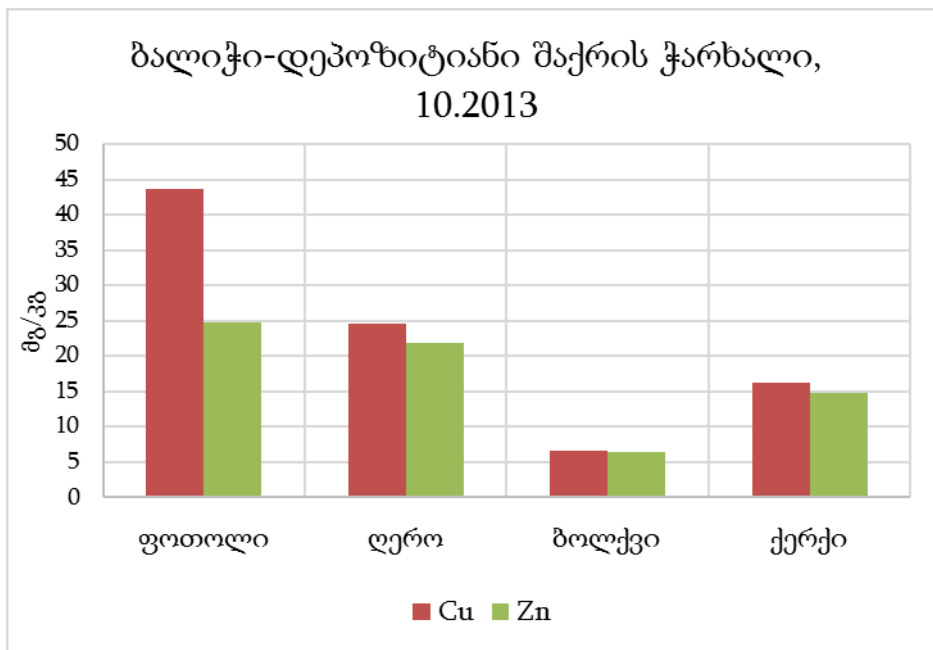


ნახაზი 57. სოფ. ბალიჭი, დეპოზიტური შაქრის ჭარხალში სპილენძისა და თუთიის შემცველობა დინამიკაში. ივლისი, 2013 წელი.

შაქრის ჭარხალში, რომელიც დეპოზიტით არის დამუშავებული ივლისში სპილენძის ყველაზე დიდი კონცენტრაცია ფოთოლში დაფიქსირდა, შემდეგ მოსდევს ქერქი, ღერო და ბოლქვი. თუთიის მეტი კონცენტრაცია ქერქმა დაიგროვა ამას მოყვება ფოთოლი, ღერო და ბოლქვი.



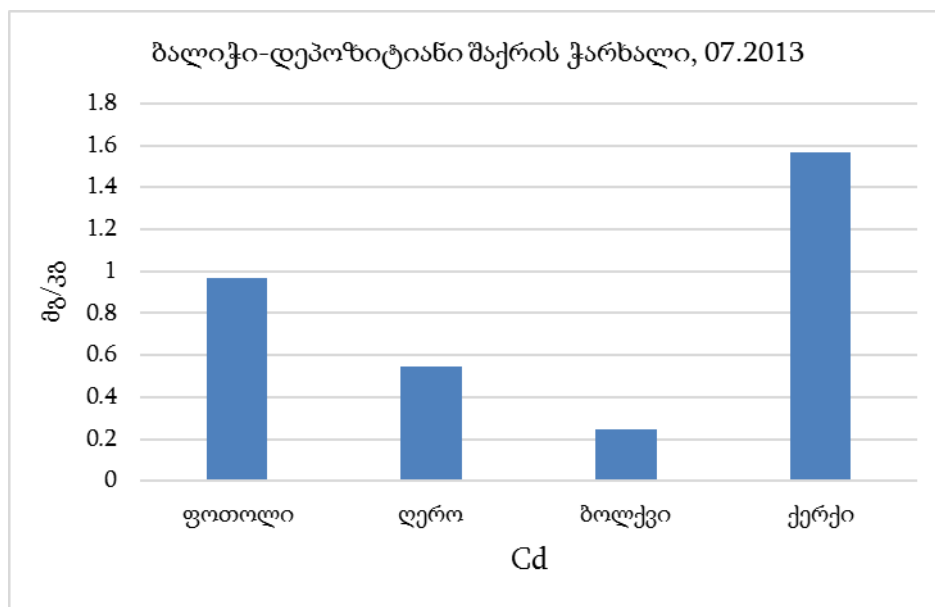
ნახაზი 58. სოფ. ბალიჭი, დეპოზიტური შაქრის ჭარხალში სპილენძისა და თუთიის შემცველობა დინამიკაში. სექტემბერი, 2013 წელი.



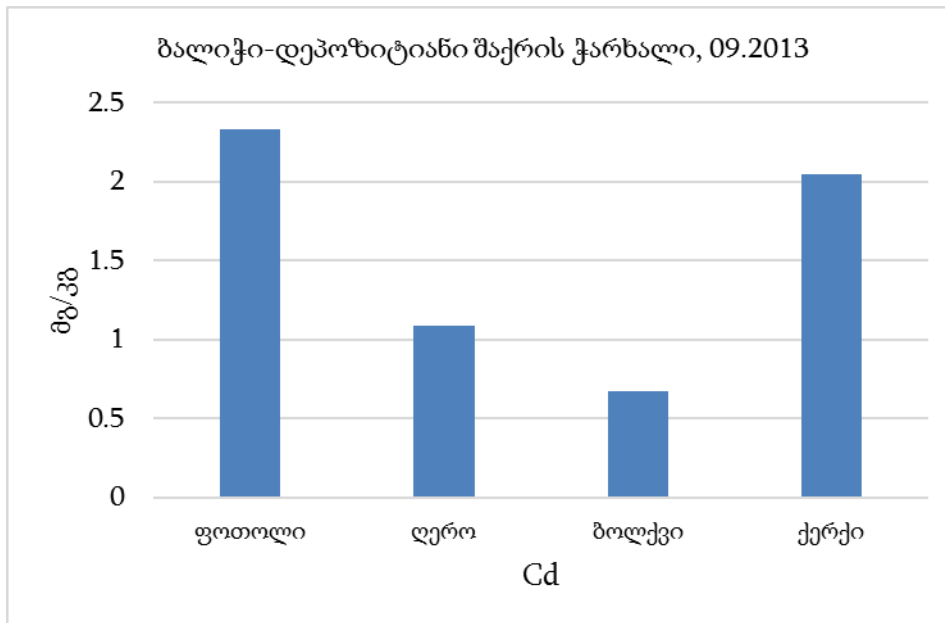
ნახაზი 59. სოფ. ბალიჭი, დეპოზიტური შაქრის ჭარხალში სპილენძისა და თუთიის შემცველობა დინამიკაში. ოქტომბერი, 2013 წელი.

სექტემბრის თვეში განხორციელებულ კვლევებს, თუ შევადარებთ ივლისის თვის მონაცემებს ნათლად ჩანს, რომ სექტემბერში სპილენძისა და თუთიის აკუმულაცია მცენარის სხვადასხვა ორგანოში იზრდება, ხოლო ოქტომბერში სექტემბერთან შედარებით იკლებს ლითონთა კონცენტრაცია. ივლისში ფოთოლში სპილენძის შემცველობა 32.8 მგ/კგ დაფიქსირდა, სექტემბერში 3-ჯერ გაიზარდა, ხოლო ოქტომბერში შემცირდა, რამაც 43.6 მგ/კგ შეადგინა. ივლისში სპილენძის შემცველობამ

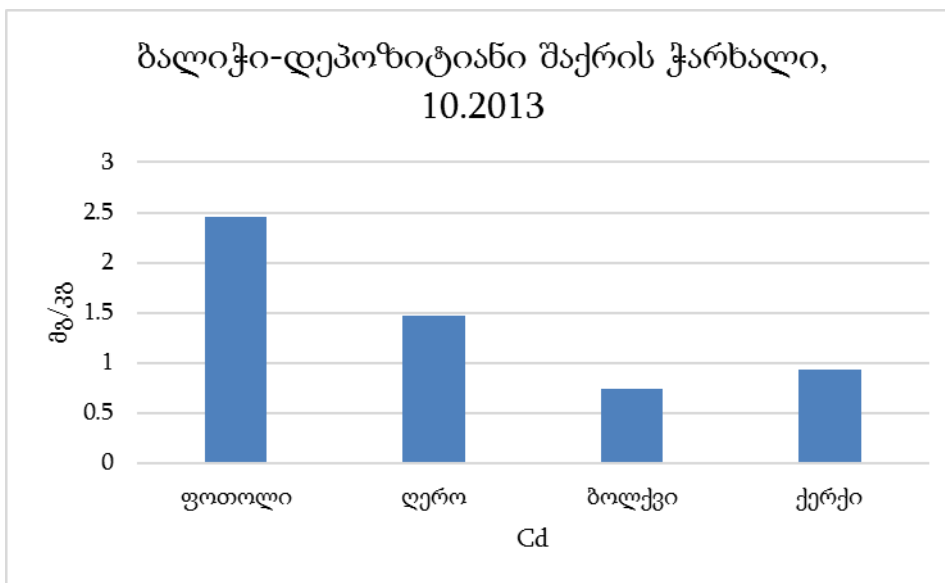
ღეროში 11 მგ/კგ-ს შეადგინა, სექტემბრის თვეში 7-ჯერ გაიზარდა მისი კონცენტრაცია, ხოლო ოქტომბერში 24.5 მგ/კგ-მდე შემცირდა. ბოლქვში ივლისში დაფიქსირდა 6.7 მგ/კგ, ხოლო სექტემბერში 3-ჯერ მოიმატა მისმა კონცენტრაციამ, ოქტომბერში კი ივლისის თვის ნიშნულს გაუთანაბრდა, რამაც 6.6 მგ/კგ შეადგინა. რაც შეეხება ქერქს სექტემბერში ივლისის თვესთან შედარებით 2-ჯერ იმატებს სპილენძის კონცენტრაცია, ხოლო ოქტომბერში 2-ჯერ იკლებს ვიდრე ივლისის თვეში იყო მისი მნიშვნელობა. თუთიის კვლევის შედეგების მიხედვით სექტემბერში ივლისის თვესთან შედარებით თითქმის ყველა ორგანოში 2-ჯერ იმატებს, ხოლო ოქტომბერში იმდენად იკლებს, რომ ფოთოლში და ღეროში მისი კონცენტრაცია ივლისის თვის მნიშვნელობებს გაუტოლდა, ბოლქვში და ქერქში კი მნიშვნელოვნად შემცირდა ვიდრე ეს ზაფხულში დაფიქსირდა.



ნახაზი 60. სოფ. ბალიჭი, დეპოზიტური შაქრის ჭარხალში კადმიუმის შემცველობა დინამიკაში. ივლისი, 2013 წელი.



ნახაზი 61. სოფ. ბალიჭი, დეპოზიტური შაქრის ჭარხალში კადმიუმის შემცველობა დინამიკაში. სექტემბერი, 2013 წელი.

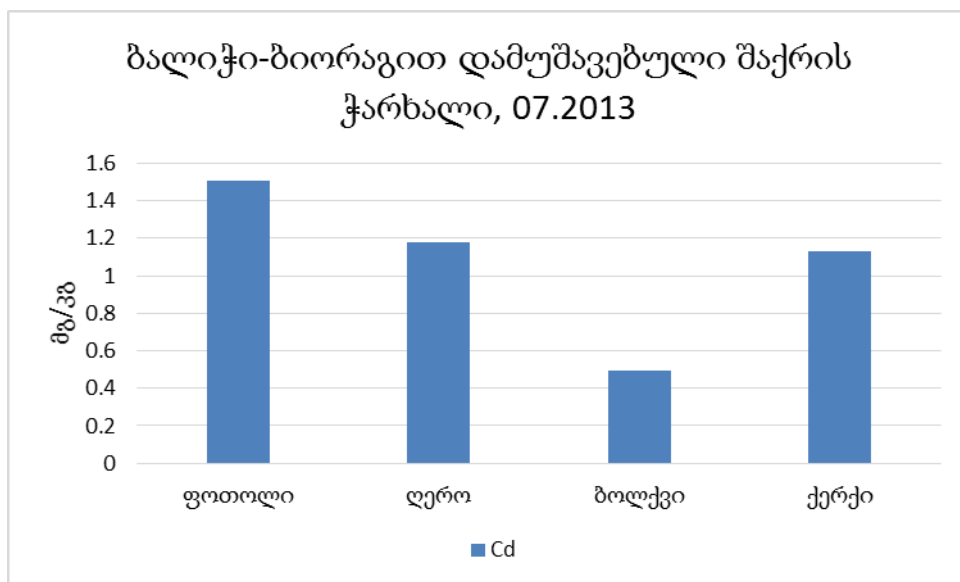


ნახაზი 62. სოფ. ბალიჭი, დეპოზიტური შაქრის ჭარხალში კადმიუმის შემცველობა დინამიკაში. ოქტომბერი, 2013 წელი.

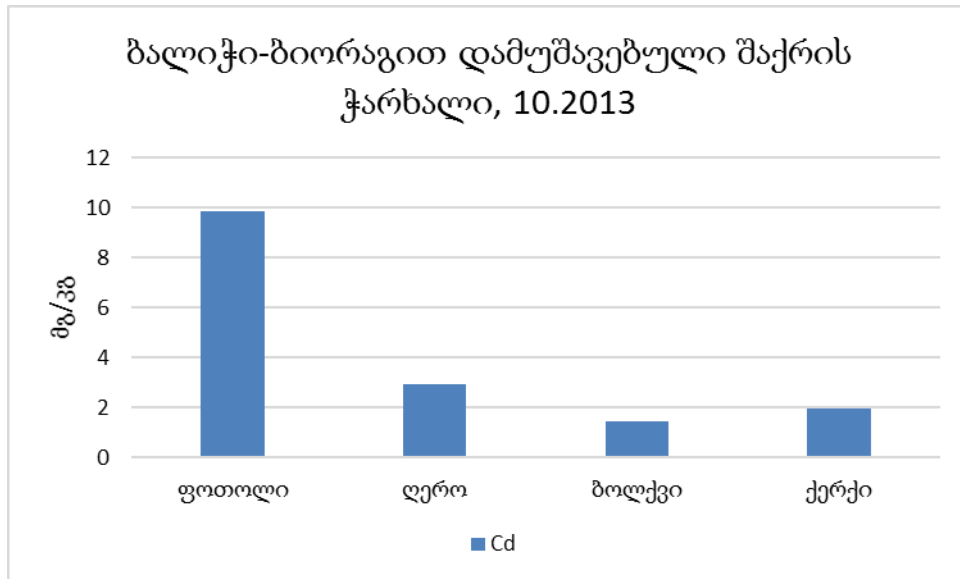
დეპოზიტით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში კადმიუმის შემცველობა სექტემბერში ისევე როგორც სპილენძისა და თუთიის შემთხვევაში იმატებს, მაგრამ ოქტომბერში კადმიუმი თუთიისა და სპილენძის მსგავსად არ გამოიღვენება მცენარის ორგანოებიდან, პირიქით რჩება კადმიუმი და მცირედი რაოდენობით იმატებს კიდევ კადმიუმის კონცენტრაცია დეპოზიტური შაქრის ჭარხლის ფოთოლში, ღეროში, ბოლქვში და ქერქში, თუ განვიხილავთ დაწვრილებით დავინახავთ, რომ სექტემბერში ფოთოლში 2-ჯერ იმატებს კადმიუმის კონცენტრაცია ივლისის კვლევის მონაცემებთან შედარებით, ხოლო ოქტომბერში 2.5-ჯერ. მართალია ოქტომბერში 0.12 მგ/კგ-ით მოიმატა კადმიუმის

კონცენტრაციამ სექტემბერთან შედარებით, მაგრამ სპილენძისა და თუთიისგან განსხვავებით აქ მატების ტენდენცია შეინიშნება და არა კლების. რაც შეეხება ღეროს მასში კადმიუმის კონცენტრაციამ 1.9-ჯერ მოიმატა სექტემბერში, ხოლო ოქტომბერში 2.4-ჯერ ივლისის თვესთან შედარებით. ბოლქვში სექტემბერში 2.7-ჯერ გაიზარდა, ხოლო ოქტომბერში 2.9-ჯერ ივლისის თვესთან შედარებით.

ქერქში კი სიტუაცია სხვაგვარადაა ივლისის თვესთან შედარებით სექტემბერში 0.474 მგ/კგ-ით მოიმატა ხოლო ოქტომბერში 0.627 მგ/კგ-ით შემცირდა, ამ პერიოდში ეს გარემოება განპირობებული უნდა იყოს იგივე შაქრის ჭარხლის ქერქში თუთიის კონცენტრაციის მკვეთრი კლებით. კადმიუმის კონცენტრაცია დეპოზიტიან შაქრის ჭარხალში ყველაზე დიდი რაოდენობით აითვისა ფოთოლმა, შემდეგ ქერქმა, ღერომ და ბოლქვმა. ამ წელს გამოკვლეულ იქნა ბიორაგით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში მძიმე ლითონთა შემცველობა (ნახ. 63, 64).

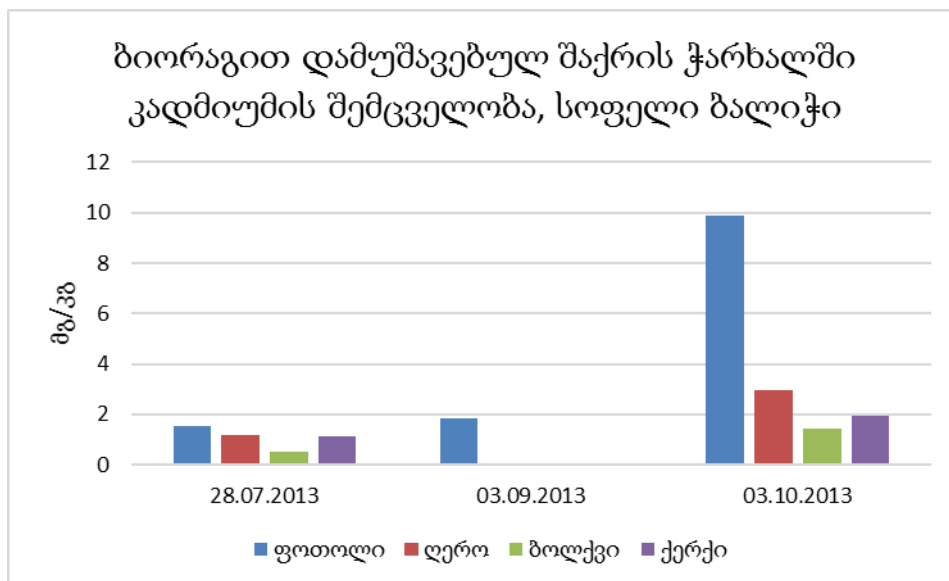


ნახაზი 63. სოფ. ბალიჭი, ბიორაგით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში კადმიუმის შემცველობა, ივლისი, 2013 წელი.



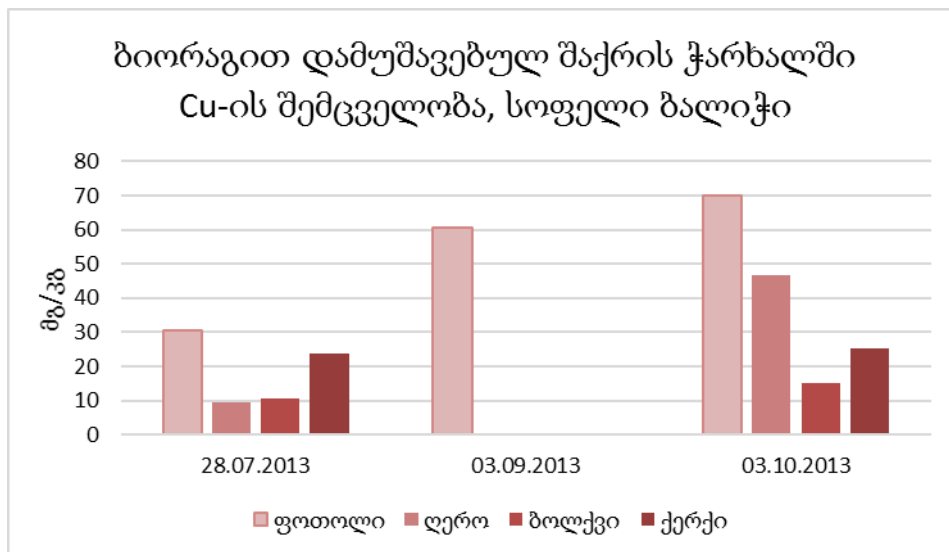
ნახაზი 64. სოფ. ბალიჭი, ბიოაქტივატორ ბიორაგში დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში კადმიუმის შემცველობა, ოქტომბერი, 2013 წელი.

უნდა აღინიშნოს, რომ ბიოაქტივატორ ბიორაგის გამოყენებით მცენარის მასა იზრდება, რაც მეტად მნიშვნელოვანია ფიტორემედიაციული ტექნოლოგიებისთვის. მცენარის მოცულობის გაზრდა ხშირ შემთხვევაში იწვევს ნიადაგიდან დამაბინძურებელი აგენტების დიდი რაოდენობით აკუმულაციას მცენარულ უჯრედებში. სასოფლო სამეურნეო საქმიანობისთვის მეტად მნიშვნელოვანია აგრომეურნეობის განვითარება. დღეს-დღეობით ძალზედ გაზრდილია ნატურალური პროდუქციისადმი მოთხოვნა, ამიტომ აგროალური მეურნეობისათვის მნიშვნელოვანია ბიოსტიმულატორის გამოყენება (ნახ. 65).



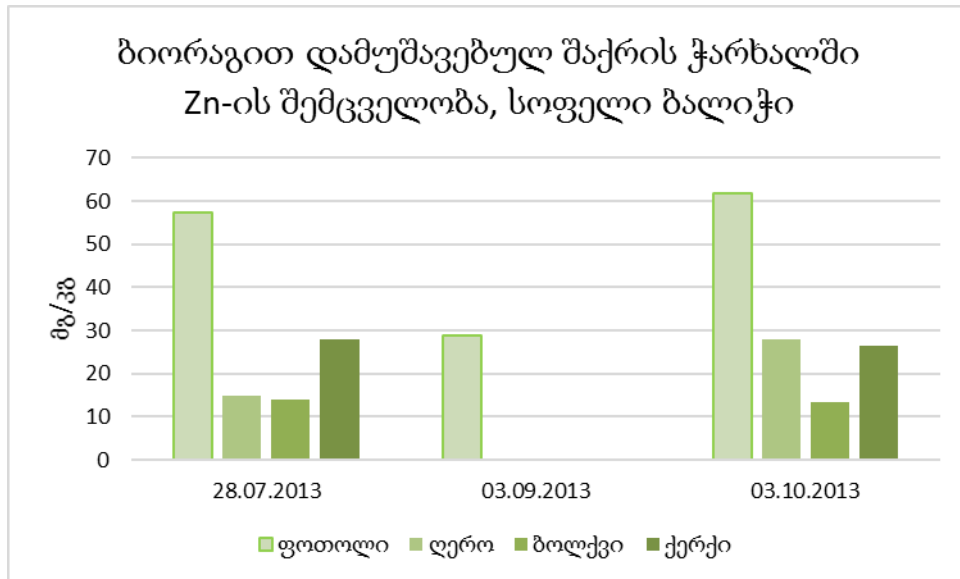
ნახაზი 65. სოფ. ბალიჭი, ბიოაქტივატორ ბიორაგში დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში კადმიუმის შემცველობა დინამიკაში, 2013 წელი.

ბიორაგით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში კადმიუმის აკუმულაცია დინამიკაში სხვაგვარად მიმდინარეობს. როცა საკონტროლოში და დეპოზიტით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში მძიმე ლითონთა კონცენტრაცია სექტემბერში იზრდება და ოქტომბერში ისევ მცირდება (თითქმის ივლისის მონაცემებს უტოლდება). ბიორაგით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში კი აკუმულაციის მექანიზმი განსხვავებულია. ივლისში კადმიუმის შემცველობა ფოთოლში 1.51 მგ/კგ-ს შეადგენდა, სექტემბერში 1.824 მგ/კგ-ს (უმნიშვნელოდ მოიმატა კონცენტრაციამ), ხოლო ოქტომბერში სრულიად განსხვავებულად მოქმედებს საშუალოდ 6-ჯერ გაიზარდა და 9.87 მგ/კგ კადმიუმი შეითვისა ფოთოლმა. როცა იგივე მცენარის ფოთლებში ერთსა და იმავე პირობებში გაზრდილი საკონტროლო და დეპოზიტის შაქრის ჭარხლის ფოთლებში განსხვავებული სურათი მივიღეთ. ღეროში, ბოლქვში და ქერქში ოქტომბერში თითქმის 2-ჯერ არის მომატებული კადმიუმის კონცენტრაცია ივლისთან შედარებით. აღსანიშნავია ის რომ სხვა ზემოთ მოცნულ მონაცემების მსგავსად ბიორაგით დამუშავებულ შაქრის ჭარხლის ფოთოლში დაგროვდა კადმიუმის მაღალი კონცენტრაცია, შემდეგ ღეროში, ქერქში და ბოლქვში. ბიორაგით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში სპილენძის და თუთიის შთანთქმაც კადმიუმის მსგავსად მიმდინარეობს (ნახ. 66, 67).



ნახაზი 66. სოფ. ბალიჭი, ბიოაქტივატორ ბიორაგში დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში სპილენძის შემცველობა დინამიკაში, 2013 წელი.

ბიოაქტივატორ ბიორაგით დამუშავებულ შაქრის ჭარხლის ფოთოლში სპილენძის შემცველობა დინამიკაში სწორხაზოვნად იზრდება. ოქტომბერში ღეროში სპილენძის შემცველობა 5-ჯერ გაიზარდა ივლისის თვესთან შედარებით. ბოლქვში 0.5-ჯერ, ქერქში კი 0,1-ჯერ. სპილენძის აკუმულაციით ფოთოლი ლიდერობს, შემდეგ ნაწილდება ღეროში, ქერქში და ბოლქვში.



ნახაზი 67. სოფ. ბალიჭი, ბიოაქტივატორ ბიორაგში დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში თუთიის შემცველობა დინამიკაში, 2013 წელი.

დინამიკაში თუ განვიხილავთ თუთიის შემცველობის მექანიზმს გამოჩნდება, რომ ფოთოლში თუთიის კონცენტრაცია სექტემბერში იკლებს ივლისთან შედარებით, ხოლო ოქტომბერში ისევ იმატებს 4,5 მგ/კგ-ის ერთეულით. ღეროში ოქტომბერში თუთიის შეთვისება ზაფხულთან შედარებით 1,9-ჯერ იზრდება, ბოლქვში ზაფხულის და შემოდგონის კონცენტრაცია მსგავსია ერთურთის, ხოლო ქერქში ოქტომბერში 1,5 მგ/კგ-ით მცირდება ივლისთან შედარებით. თუ შევადარებთ ბიოდეპოზიტით დამუშავებულ შაქრის ჭარხლის ქერქს, ზაფხულთან შედარებით ოქტომბერში მისი კონცენტრაცია იკლებს. ფოთოლი ითვისებს თუთიის ჭარბ რაოდენობას, რასაც მოყვება ქერქი, ღერო და ბოლქვი.

დასკვნითი განხილვა ჭარხლის მაგალითზე: წითელ ჭარხალში ბიორაგი აძლიერებს მცენარის მიერ მძიმე ელემენტების ათვისების უნარს, ნაშინ როცა შაქრის ჭარხალში იგივე ბიოაქტივატორი ამ უნარს ამცირებს.

2012 23.08-ს მონაცემებით ბიორაგის გამოყენებამ წითელი ჭარხლის მიერ კადმიუმის ამოღება გაზარდა $(3.94-3.37)/3.37=17\%$ -ით, სპილენძის ამოღება გაიზარდა $(53.46-29.34)/29.34=82\%$ -ით, ხოლო თუთიის $(238.62-77.23)/77.23=200\%$ -ით.

2013. 28. 07-ს მონაცემებით ბიორაგის გამოყენებამ შაქრის ჭარხლის მიერ კადმიუმის ამოღება შეამცირა $(6.42-4.32)/6.42=33\%$ -ით, სპილენძის ამოღება შეამცირა $(93.24-74.42)/93.24=20\%$, თუთიის ამოღება შეამცირა $(146.42-113.32)/146.42=23\%$ -ით.

ბიოდეპოზიტის გამოყენებამ შაქრის ჭარხლის მიერ კადმიუმის ამოღება შეამცირა $(6.42-3.33)/6.42=48\%$ -ით, სპილენძის ამოღება შეამცირა $(93.24-81.9)/93.24=12\%$ -ით, თუთიის ამოღება შეამცირა $(146.42-69.85)/146.42=52\%$ -ით.

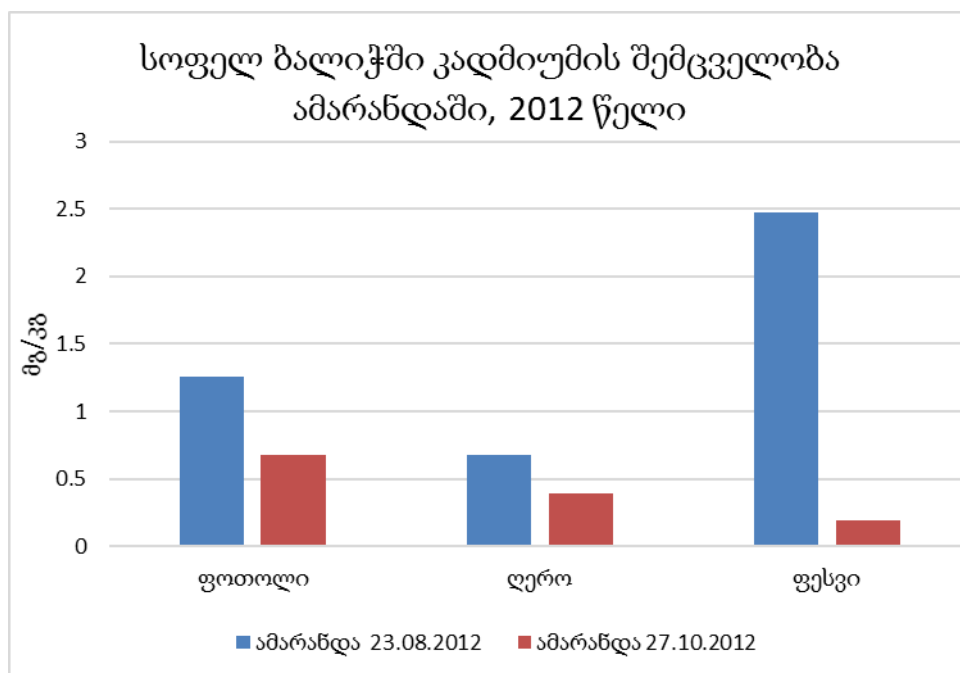
ე.ი. ბიოაქტივატორის მოქმედებით შაქრის ჭარხლის მიერ მძიმე ელემენტების შეთვისების კლება მცენარის თვისებაა და არა კონკრეტული ბიოაქტივატორის.

განვიხილოთ ნიადაგში კადმიუმის რაოდენობის შემცირების გავლენა ამ კულტურების მიერ სპილენძისა და თუთიის ამოღებაზე. ცნობილია რომ ნიადაგში კადმიუმის დიდი რაოდენობა აზიანებს მცენარის ფესვის იმ “ზუსუსებს”, რომლის საშუალებითაც მცენარე იწოვს წყალს, რის გამოც მცენარეში შედის მძიმე ელემენტები (გოგებაშვილი და ივანიშვილი). შევაფასოთ ეს ეფექტი რაოდენობრივად.

2012 23.08-ის მონაცემებით ნიადაგში კადმიუმის საშუალო რაოდენობა სოფელ ბალიჭში იყო 3.5 მგ/კგ, სპილენძის-123.6 მგ/კგ, თუთიის-114 მგ/კგ. ამ პირობებში შაქრის ჭარხლის მიერ ამოღებული კადმიუმის ჯამური რაოდენობა იყო 2.83 მგ/კგ, სპილენძის-34.55, თუთიის 118.65.

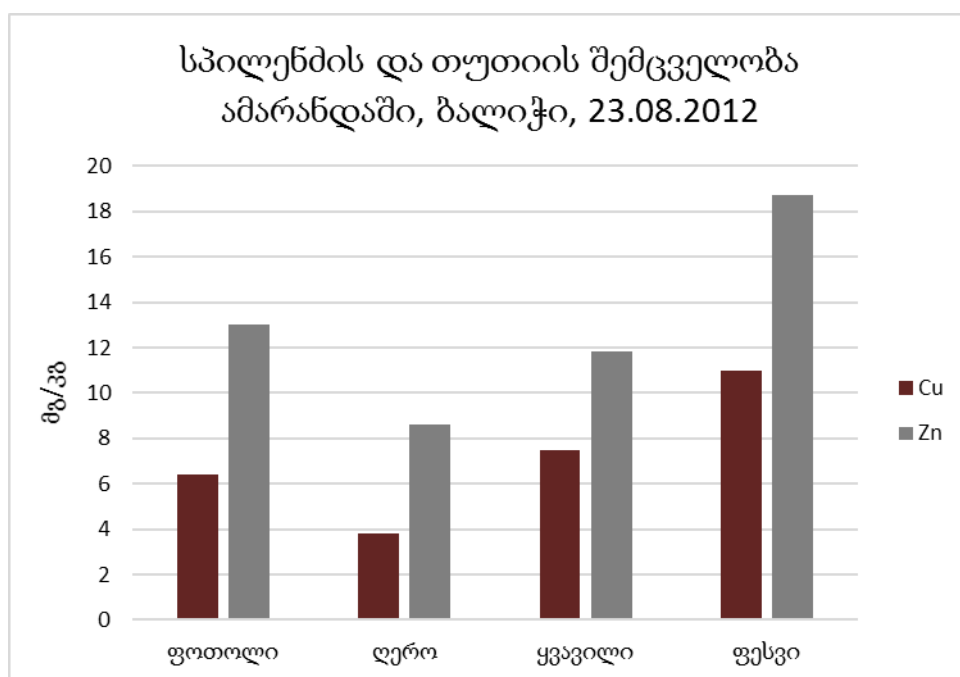
09.2013. მონაცემებით ნიადაგში კადმიუმის საშუალო რაოდენობა სოფელ ბალიჭში იყო 1 მგ/კგ, სპილენძის-135. მგ/კგ, თუთიის-102 მგ/კგ. ამ პირობებში შაქრის ჭარხლის მიერ ამოღებული კადმიუმის ჯამური რაოდენობა იყო 11.6 მგ/კგ, სპილენძის-358 მგ/კგ, თუთიის 243.6 მგ/კგ. კადმიუმის რაოდენობის შემცირებამ მნიშვნელოვნად გაზარდა სპილენძისა და თუთიის ამოღება. კერძოდ კადმიუმის საშუალო რაოდენობის 3.5-ჯერ შემცირებამ მისი ამოღება მცენარის მიერ გაზარდა 4-ჯერ, სპილენძის ამოღება გაზარდა 10-ჯერ, თუთიის 2-ჯერ. ეს მაშინ, როცა ნიადაგში სპილენძისა და თუთიის რაოდენობა დიდად არ განსხვავდებოდა ერთმანეთისაგან.

ამარანდაში და ნაცარქათამაში მძიმე ლითონთა ფიტომიგრაციის შესწავლა დავიწყეთ 2012 წლიდან. კვლევების შედეგად გამოვლინდა, რომ ბოლნისის რაიონში გავრცელებული მწვანე ამარანდას და ნაცარქათამას სახეობები ტოლერანტულები არიან მძიმე ლითონების მიმართ (ნახ. 68, 69).



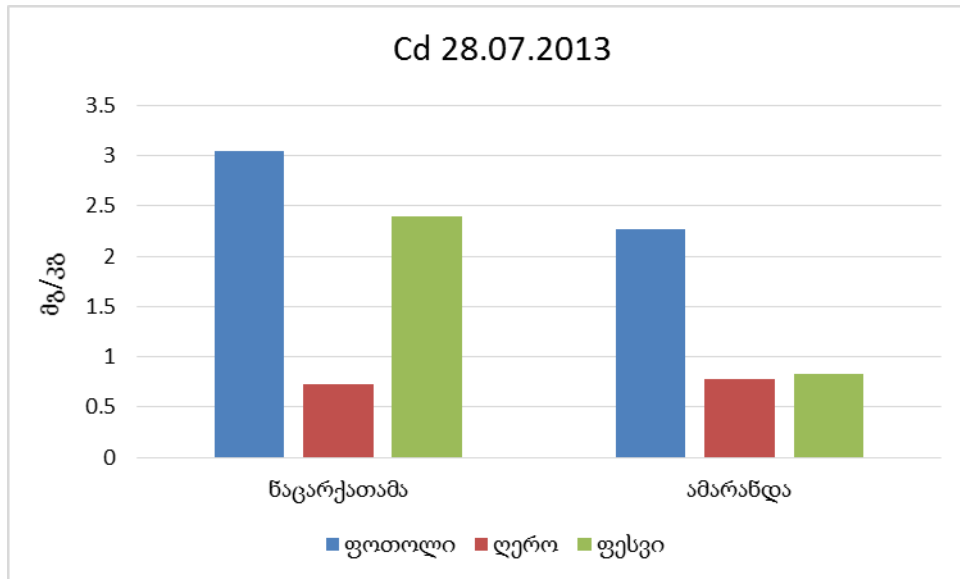
ნახაზი 68. სოფ. ბალიჭი, კადმიუმის შემცველობა მწვანე ამარანდაში, 2012 წელი.

მწვანე ამარანდა აბორიგენული ჯიშის მცენარეა და ადგილობრივ ბუნებრივ კლიმატურ პირობებში იზრდება. მოსახლეობა ახალ ამოსულ მცენარეს საკვებად იყენებს, ასევე შინაური ცხოველებს და ფრინველებს კვებავენ. მწვანე ამარანდა 2012 წელს გამოვიკვლიეთ დინამიკაში აგვისტოში და ოქტომბერში. ზაფხულში ამარანდა ჭარბად ითვისებს კადმიუმს, ხოლო ოქტომბერში მცირდება მცენარის შემადგენლობაში კადმიუმის კონცენტრაცია. აგვისტოში ფესვი ითვისებს 2.48 მგ/კგ კადმიუმს, ხოლო ოქტომბერში 13-ჯერ მცირდება. შემდეგ ფოთოლში დაგროვდა კადმიუმის შემცველობა მეტი რაოდენობით, რამაც 1.26 მგ/კგ შეადგინა აგვისტოში, ოქტომბერში კი 2-ჯერ შემცირდა. ღეროში აგვისტოში 0.68 მგ/კგ დაფიქსირდა, ხოლო შემოდგომით 2-ჯერ შემცირდა კადმიუმის კონცენტრაცია.



ნახაზი 69. მწვანე ამარანდაში სპილენძისა და თუთიის შემცველობა. აგვისტო, 2012 წელი.

სპილენძის და თუთიის შემცველობა თითქმის ერთმანეთის მსგავსია. ფესვი ითვისებს ამ ლითონებს ჭარბად, შემდეგ მოსდევს ფოთოლი, ყვავილი და ღერო. მცენარის ორგანოების მიერ აკუმულირებული თუთიის კონცენტრაცია მეტია სპილენძისაზე. მწვანე ამარანდამ ჯამში 28.68 მგ/კგ სპილენძი შთანთქა ზაფხულის თვის მონაცემების მიხედვით, ამავე თვის მიხედვით 4.4 მგ/კგ კადმიუმი და 52.11 მგ/კგ თუთია შეითვისა. 2013 წელს მწვანე ამარანდასთან ერთად ნაცარქათამას გამოკვლევაც განხორციელდა (ნახ. 70).



ნახაზი 70. სოფ. ბალიჭი, კადმიუმის შემცველობა ნაცარქათამასა და ამარანდაში. ივლისი, 2013 წელი.

კვლევის შედეგების მიხედვით საინტერესოა ნაცარქათამას და ამარანდას შედარება ერთმანეთთან. ნაცარქათამა კადმიუმს დიდი რაოდენობით ითვისებს ვიდრე ამარანდა. უნდა აღინიშნოს, რომ ორივე მცენარე ენდემური სახეობაა და ადგილობრივ კლიმატურ პირობებშია გაზრდილი. ნაცარქათამას ფოთოლში 3.05 მგ/კგ კადმიუმმა განიცადა მიგრაცია, ამარანდას ფოთოლში კი 2,27 მგ/კგ. ნაცარქათამას ფესვში აკუმულაცია განიცადა 2.4 მგ/კგ ლითონმა, ხოლო ამარანდას ფესვში 0.835 მგ/კგ-მა. ღეროში კი ნაცარქათამამ 0.73 მგ/კგ, ამარანდამ კი 0.78 მგ/კგ კადმიუმი დაიგროვა. ორივე მცენარეში ფოთლებში გროვდება ელემენტების ჭარბი შემცველობა, შემდეგ მოყვება ფესვი და ღერო. მნიშვნელოვანია ამ ორი მცენარის ფიტორემედიაციულ ტექნოლოგიაში გამოყენება, რადგან მათ კადმიუმისადმი კარგი ფიტომიგრაციული თვისებები გამოავლინეს.

დასკვნითი განხილვა ამარანდას მაგალითზე: 23.08.12-ში ბალიჭში მწვანე ამარანდას შემადგენლობაში დაფიქსირდა მძიმე მეტალების შემდეგი ჯამური რაოდენობა: Cd- 5.085, Cu- 28.68, Zn-52.11

ნიადაგებში მათი საშ. რაოდენობა იყო Cd-2.75, Cu-123.6, Zn-113.8.

$A_{Cd/S} = 5.085/2.75 = 1.85$, $A_{Cu/S} = 28.68/123.6 = 0.23$, $A_{Zn/S} = 52.11/113.8 = 0.46$

აღსანიშნავია, რომ მიუხედავად იმისა რომ სპილენძის საშუალო რაოდენობა ნიადაგში უფრო მეტია ვიდრე თუთიის, ამარანდამ უფრო მეტი თუთია ამოიღო ვიდრე სპილენძი.

28.07.13-ში ბალიჭში მწვანე ამარანდას შემადგენლობაში დაფიქსირდა მძიმე მეტალების შემდეგი ჯამური რაოდენობა: Cd- 3.925, Cu- 57, Zn-99.

ნიადაგებში მათი საშ. რაოდენობა იყო Cd-1.226, Cu-96.56, Zn-76.4

$A_{Cd/S} = 3.925/1.226 = 3.2$, $A_{Cu/S} = 57/96.56 = 0.59$, $A_{Zn/S} = 1.3$

აქაც მიუხედავად იმისა რომ სპილენძის საშუალო რაოდენობა ნიადაგში უფრო მეტია ვიდრე თუთიის, ამარანდამ უფრო მეტი თუთია ამოიღო ვიდრე სპილენძი. თუმცა ორივე ნივთიერების ამოღება თითქმის გაორმაგდა, რაც ალბათ ნიადაგში კადმიუმის შემცირებასთან არის დაკავშირებული.

(03.09.13) წულრულაშენში განსხვავებული სიტუაციაა: Cd- 6.13, Cu- 101.25, Zn- 71.41 ნიადაგებში მათი საშ. რაოდენობა იყო: Cd-1.05, Cu-98.9, Zn-82.34
A Cd/S=6.13/1.06=5.84, A Cu/S=1.02, A Zn/S=0.87

ბალიჭისა და წულრულაშენის ნიადაგებს შორის ერთი თვისობრივი განსხვავებაა. წულრულაშენის ნიადაგში თუთიისა და სპილენძის რაოდენობა 10 სმ სიღრმეზე მეტია ვიდრე მათი რაოდენობა 30 სმ-ზე. ბალიჭში კი საპირისპირო სიტუაციაა. ცალკე საკითხია ფესვის რომელი ნაწილებიდან იღებს მძიმე ელემენტებს ამარანდა. 28.07.13-ის მონაცემებით სპილენძის ჯამური ამოღება იყო 57 მგ/კგ-ზე. ხოლო თუთიის 99 მგ/კგ-ზე. ნიადაგში კი დაფიქსირდა მათი ასეთი განაწილება:

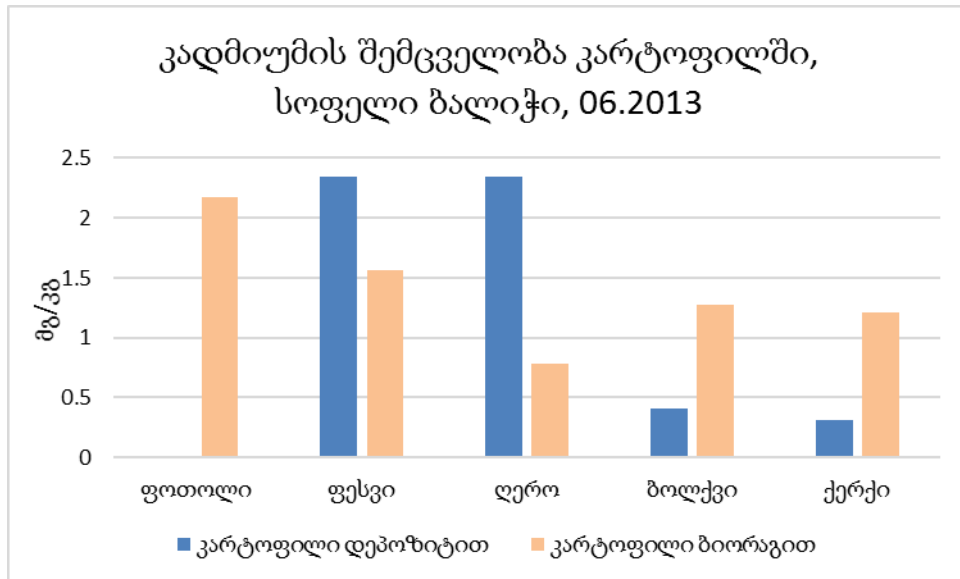
	Cu	Zn
ზედაპირზე	65	58.8
სიღრმეში	127	94

ანუ სპილენძის ამოღება ახლოს არის ზედაპირზე მის რაოდენობასთან, ხოლო თუთიის ამოღება სიღრმეში მის მნიშვნელობასთან. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ Cd-ის რაოდენობა ზედაპირზე 1.5 მგ/კგ-ია და შესაძლებელია, რომ თუთიის ამოღება სიღრმიდან ამით იყო განპირობებული, ვინაიდან კადმიუმი აზიანებს ფესვის იმ ბუსუსებს, რომლის საშუალებითაც წყალი შედის მცენარეში, თუმცა სპილენძის ამოღებისათვის ამას ხელი არ შეუშლია. 09. 13.-ის მონაცემებით Cu-ის ჯამური ამოღება იყო 142 მგ/კგ, ხოლო Zn-ის ამოღება 86 მგ/კგ. ნიადაგში კი დაფიქსირდა მათი ასეთი განაწილება:

	Cu	Zn
ზედაპირზე	160	133
სიღრმეში	37.7	31.22

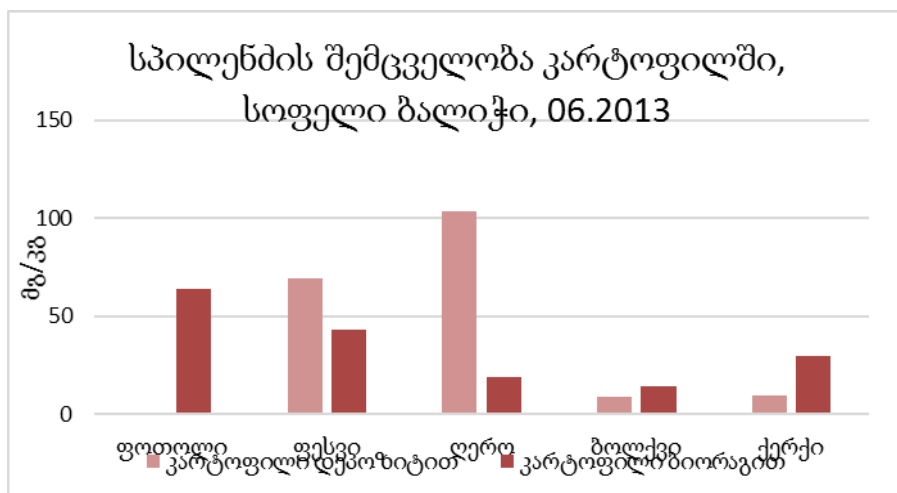
ანუ Cu-ის ჯამური ამოღება ახლოს არის ნიადაგის ზედაპირზე მის მნიშვნელობასთან, ხოლო Zn-ის ამოღების ჯამური ამოღება ნიადაგში და სიღრმეზე მათი განაწილების საშუალო მნიშვნელობასთან (82.34). ეს შეიძლება იმით იყოს გამოწვეული, რომ ამ დროს კადმიუმის რაოდენობა დიდი არ იყო და Zn-ის ამოღება მოხდა თანაბრად, როგორც სიღრმიდან ასევე ზედაპირიდან. თუთიისა და სპილენძის ამოღების მექანიზმი სხვადასხვაა: Zn-ის ამოღება იმაზე და მოკიდებული ფესვის რომელი ნაწილია ჯანმრთელი, ხოლო Cu-ის ამოღება ხდება ყოველთვის ზედაპირიდან. Cd-ის რაოდენობა 1.5 მგ/კგ აზიანებს ფესვს, ხოლო 1.2 მგ/კგ კი არა.

2013 წელს შესწავლილ იქნა მძიმე ლითონების აკუმულაციის მექანიზმი კარტოფილში, რისთვისაც განხორციელდა კარტოფილის თესლის დამუშავება ბიოსტიმულატორ ბიორაგში და ბიოდეპოზიტში (ნახ. 71, 72, 73).

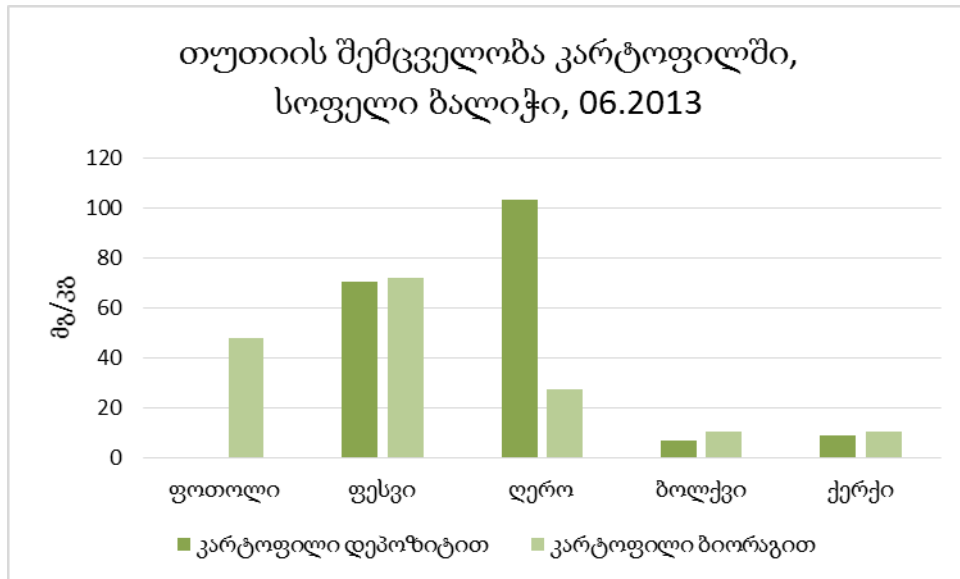


ნახაზი 71. სოფ. ბალიჭი, კადმიუმის მორფოლოგიური შემცველობა ბიორაგით და დეპოზიტით დამუშავებულ კარტოფილში. ივნისი, 2013 წელი.

ისევე როგორც ზემოთ აღნიშნულ მცენარეებში კარტოფილშიც გამოკვლეულ იქნა მძიმე ლითონთა მორფოლოგიური შეთვისების უნარი. კარტოფილის ორგანოებში კადმიუმის შთანთქმის პრინციპი ბიორაგით და დეპოზიტით დამუშავებულს შორის ცოტა განსხვავებულია. ბიორაგიან კარტოფილის ფოთოლში მიგრაცია განიცადა 2.1 მგ/კგ ლითონმა, ღეროში 1.56 მგ/კგ, ამას მოყვება ბოლქვი, ქერქი და ღერო. ხოლო დეპოზიტით დამუშავებულს თუ შევადარებთ იგი ფესვში და ღეროში მნიშვნელოვნად ზრდის ლითონის შეღწევადობას. ხოლო ბოლქვში და ქერქში თითქმის 3-ჯერ მცირდება მძიმე ლითონის შეღწევა. უნდა აღინიშნოს, რომ ორივე მცენარე ერთსა და იმავე კლიმატურ პირობებში არის გაზრდილი. ამავე კარტოფილის ნიმუშებში განისაზღვრა სპილენძისა და თუთიის შემცველობა.

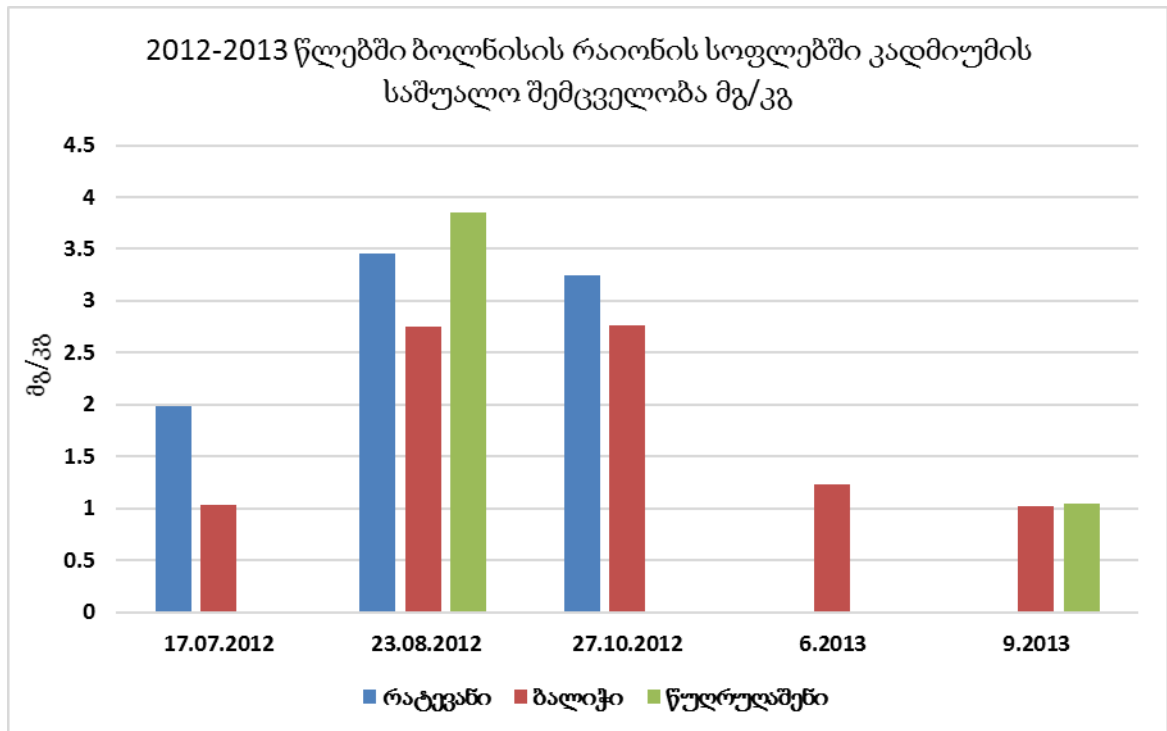


ნახაზი 72. სოფ. ბალიჭი, სპილენძის მორფოლოგიური შემცველობა ბიორაგით და დეპოზიტით დამუშავებულ კარტოფილში. ივნისი, 2013 წელი.



ნახაზი 73. სოფ. ბალიჭი, თუთიის მორფოლოგიური შემცველობა ბიორაგით და დეპოზიტით დამუშავებულ კარტოფილში. ივნისი, 2013 წელი.

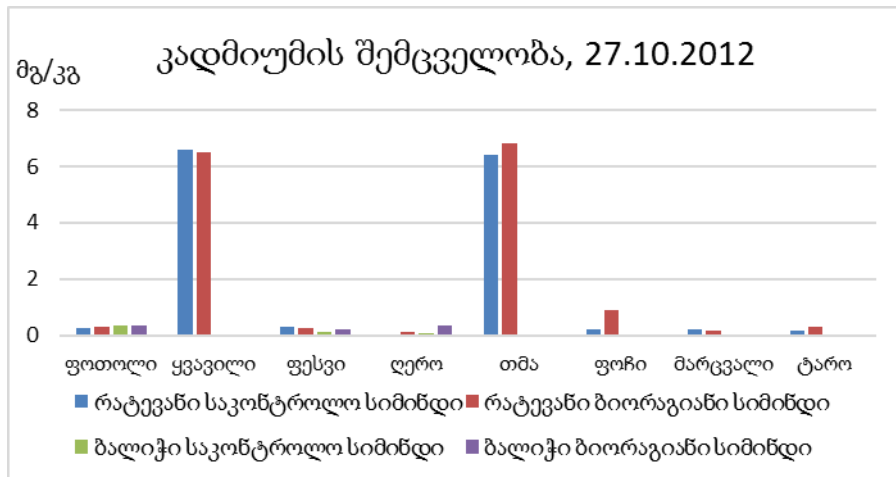
თუ შევადარებთ ბიორაგით და დეპოზიტით დამუშავებულ კარტოფილს ერთმანეთს სპილენძისა და თუთიის შთანთქმაც კადმიუმის მსგავსად მიმდინარეობს. დეპოზიტით დამუშავებული კარტოფილის ფესვში და ღეროში უფრო მეტი სპილენძი და თუთია გროვდება ვიდრე ბიორაგთანში. ხოლო ბოლქვში და ქერქში პირიქით ხდება. ბიორაგით დამუშავებულმა შაქრის ჭარხალმა 7.017 მგ/კგ კადმიუმი, 169.967 მგ/კგ სპილენძი და 167.586 მგ/კგ თუთია შთანთქა. დეპოზიტით დამუშავებულმა კარტოფილმა კი 5.42 მგ/კგ კადმიუმი, 190.464 მგ/კგ სპილენძი და 189.338 მგ/კგ თუთია ამოიღო ნიადაგიდან. ქვემოთ მოცემულ დიაგრამაზე წარმოდგენილია 2012-2013 წლებში კადმიუმის საშუალო კონცენტრაცია დინამიკაში. აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ 06.2013-ში ნიადაგში კადმიუმის კონცენტრაცია 1.226 მგ/კგ-ს შეადგენდა, ხოლო ბიორაგთანმა კარტოფილმა ამ თვეს 7.017 მგ/კგ ამოიღო, ხოლო დეპოზიტით დამუშავებულმა 5.42 მგ/კგ. უნდა აღინიშნოს ის ფაქტი, რომ მცენარე ერთი კილოგრამი ნიადაგიდან არ ითვისებს მძიმე ლითონებს, მისი საკვები არე რამდენიმე ათეულ კილოგრამს მოიცავს, სადაც განთავსებულია ფესვთა სისტემები. ქვემოთ წარმოდგენილ ნახაზზე მოცემულია კადმიუმის განაწილება დინამიკაში, ბოლნისის რაიონის სოფლების მაგალითზე (ნახ. 74).



ნახაზი 74. 2012-2013 წლებში ბოლნისის რაიონის სოფლების (რატევანი, ბალიჭი, წულრულაშენი) ნიადაგებში კადმიუმის საშუალო შემცველობა დინამიკაში, მგ/კგ.

ნიადაგში კადმიუმის შემცველობის დინამიკას, თუ გადავხედავთ შესამჩნევია, რომ 2012 წელს აგვისტო-ოქტომბერში სოფელ რატევანში, ბალიჭში და წულრულაშენში კადმიუმის მაღალი კონცენტრაცია ფიქსირდება, ხოლო 2013 წელს მისი კონცენტრაცია იკლებს და სექტემბერში წულრულაშენში და ბალიჭში თითქმის მსგავსია ერთმანეთის. კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ ნიადაგში კადმიუმის კონცენტრაციის დიაპაზონი როდესაც მერყეობს 0,5-დან 2 მგ/კგ-მდე მცენარე ამ დროს ყველაზე მეტ კადმიუმს ითვისებს.

კვლევების დროს გამოკვლეულ იქნა სიმინდში კადმიუმის კონცენტრაცია. სიმინდი დაითესა სოფელ ბალიჭსა და რატევანში. გამოვიკვლიეთ, როგორც საკონტროლო ასევე ბიორაგში დამუშავებული სიმინდი (ნახ. 75).

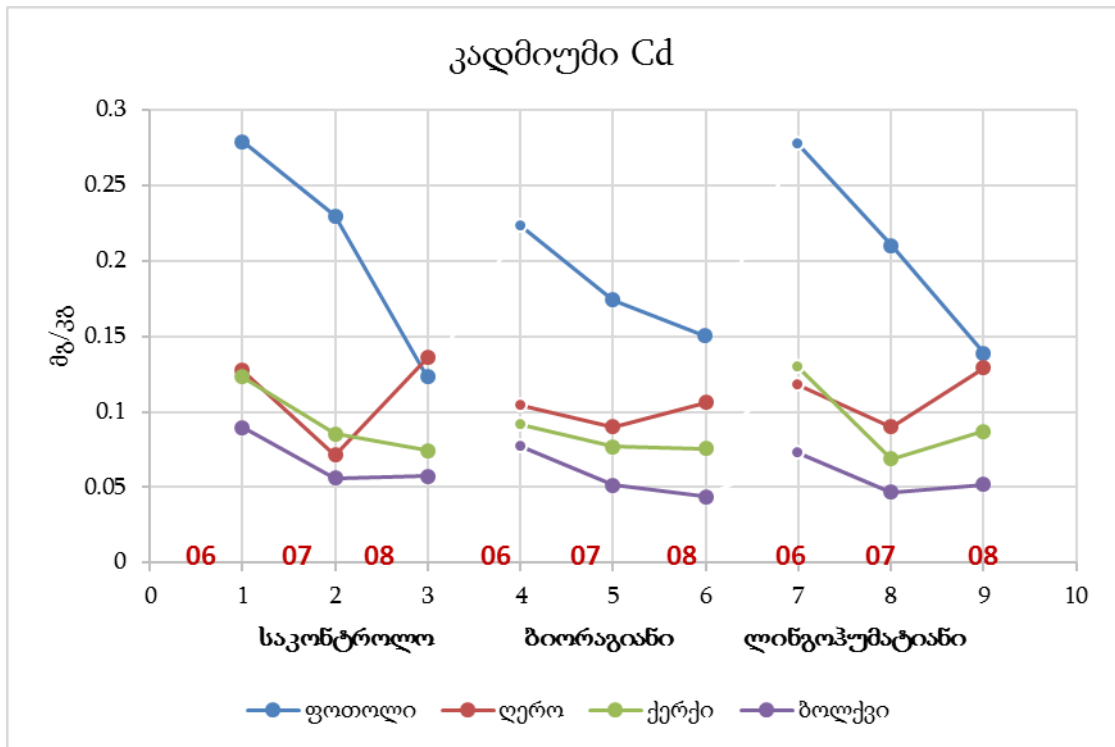


ნახაზი 75. სოფ. ბალიჭში და რატევანში მოყვანილ საკონტროლო და ბიორაგით დამუშავებულ სიმინდში კადმიუმის მორფოლოგიური შემცველობა, მგ/კგ, 2012 წლის ოქტომბერი.

კვლევების შედეგად სიმინდში კადმიუმის ყველაზე მაღალი შემცველობა სიმინდის თმაში და ყვავილში დაფიქსირდა. მცენარის მორფოლოგიური შესწავლისას აღმოჩნდა, რომ სოფელ რატევანში მოყვანილ საკონტროლო და ბიორაგიან სიმინდში ყვავილისა და თმის შემდეგ ფოჩში გროვდება კადმიუმის კონცენტრაცია, ფოთოლში, ფესვში, ღეროში, ტაროში და მარცვალში თითქმის მსგავსია ამ ელემენტის ფიტომიგრაცია. თუ შევადარებთ საკონტროლოს და ბიორაგიან სიმინდს დავინახავთ, რომ კადმიუმის ამოღება ნიადაგიდან თითქმის მსგავსია ერთმანეთის და მკვეთრი განსხვავება არ შეიმჩნევა.

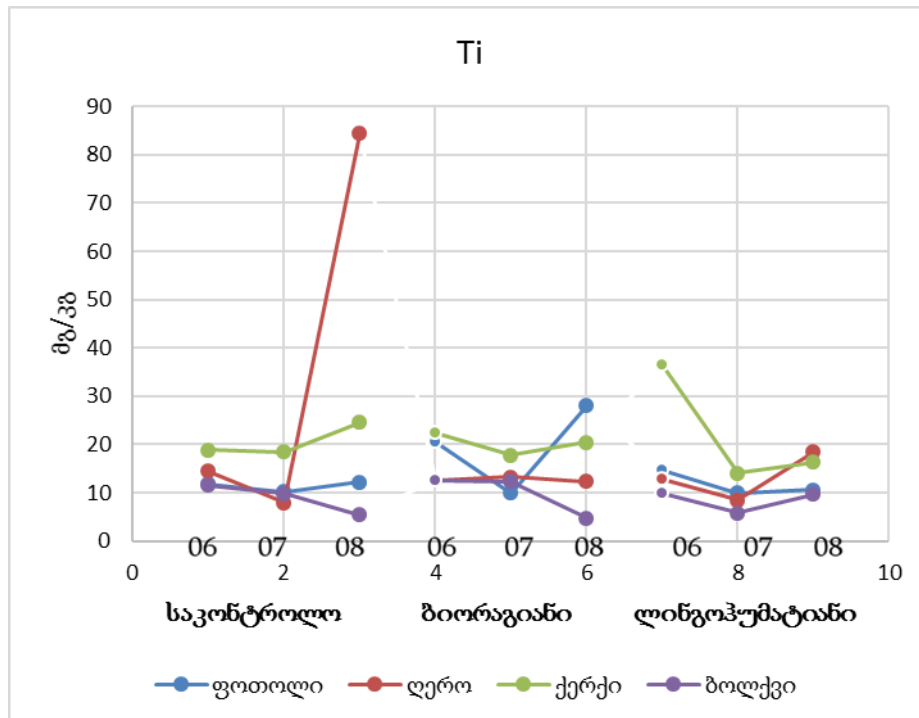
2.20. ფიტორემედიაციული ასპექტები 2015 წლის მონაცემებზე დაყრდნობით

ფიტორემედიაციის მიზნით სოფელ ბალიჭში 2015 წელს მოეწყო მცირე საპილოტე მეურნეობა, სადაც ენდემური და უცხოური სახეობის აგროკულტურები დაითესა. კვლევებისას მთავარი აქცენტი გამახვილებული იყო შაქრის ჭარხალზე, რომელიც დავამუშავეთ ბიოსტიმულატორ ბიორაგში და ლინგოკუმატში, რაც შევადარეთ საკონტროლო შაქრის ჭარხალს. უნდა აღინიშნოს, რომ საკონტროლო, ბიორაგიანი და ლინგოკუმატიანი შაქრის ჭარხალი ერთნაირ ადგილობრივ კლიმატურ პირობებში იზრდებოდნენ. სინჯების აღება განხორციელდა ივნისი, ივლისის და აგვისტოს თვეებში, გამომშრალი ნიმუშების წაღება ჩემს მიერ მოხდა ამერიკის შეერთებულ შტატებში სამხრეთ ფლორიდის უნივერსიტეტში. ნიმუშებში მძიმე ლითონების შესწავლა პირველად განხორციელდა ინდუქციურად შეწყვილებულ პლაზმურ მას სპექტრომეტრის გამოყენებით ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometry). მიკრო და მაკრო ელემენტებიდან შაქრის ჭარხალში გამოკვლეულ იქნა Cd, Ti, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Mo, Cs, Ba, Pt, Au, Pb და Th (ნახ. 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93).



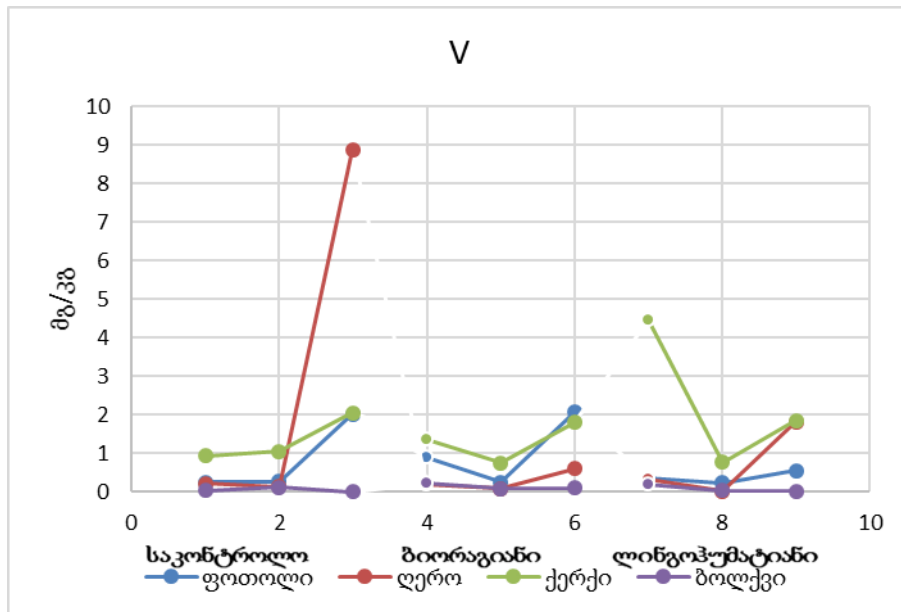
ნახაზი 76. სოფ. ბალიჭში მოყვანილ საკონტროლო, ბიორაგით და ლინგოჰუმატით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში კადმიუმის კონცენტრაცია, მგ/კგ. 2015 წლის ივნისი, ივლისი და აგვისტო.

შაქრის ჭარხალში კადმიუმის შეთვისება საკონტროლოში, ბიორაგანში და ლინგოჰუმატიანში დინამიკაში მსგავსად მიმდინარეობს. ივნისის თვეში საკონტროლო ჭარხლის ფოთოლმა, ღერომ, ქერქმა და ბოლქვმა კადმიუმის კონცენტრაცია დაიგროვეს ხოლო ივლისში კლების მკვეთრი ტენდენცია შეინიშნება, აგვისტოში კი ფოთოლში და ქერქში მკვეთრად მცირდება კონცენტრაცია ივლისთან შედარებით, ხოლო ღეროში და ბოლქვში პირიქით. ბიორაგან შაქრის ჭარხალშიც მსგავსი სიტუაციაა კადმიუმის შთანთქმის თვალსაზრისით, ლინგოჰუმატიანში კი განსხვავება მხოლოდ ის არის, რომ ივლისში დაკლებული კონცენტრაცია აგვისტოში კვლავ იმატებს ღეროში, ბოლქვში, და ქერქში, ფოთოლში კი სწორხაზოვანი კლება დაფიქსირდა.



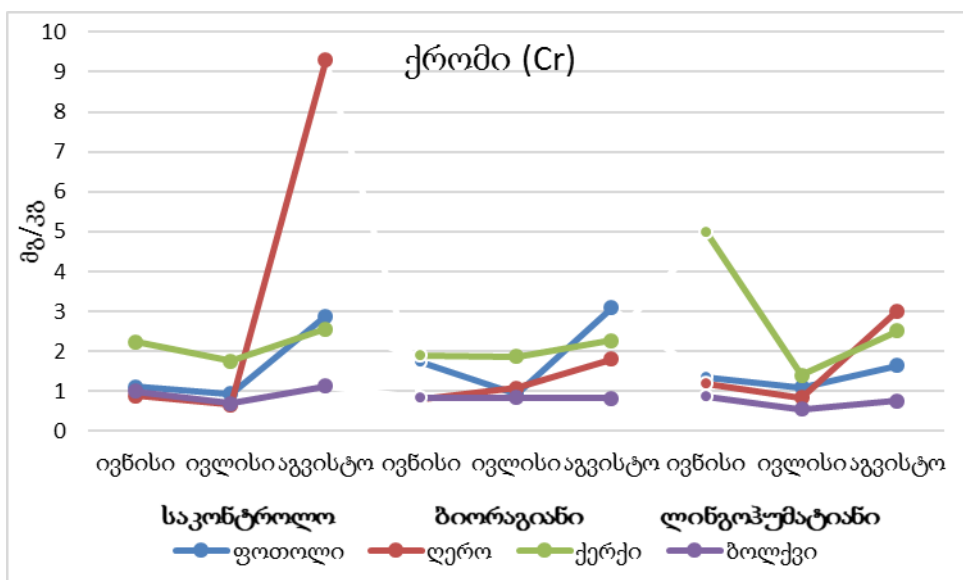
ნახაზი 77. სოფ. ბალიჭში მოყვანილ საკონტროლო, ბიორაგით და ლინგოჰუმატიით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში ტიტანის კონცენტრაცია, მგ/კგ. 2015 წლის ივნისი, ივლისი და აგვისტო.

შაქრის ჭარხალში ტიტანის ფიტომიგრაცია კადმიუმისგან განსხვავებულია. საკონტროლო შაქრის ჭარხალი ივნისსა და ივლისში თითქმის მსგავსი კონცენტრაციით შეითვისებს ლითონს აგვისტოში კი ღეროში მნიშვნელოვნად იმატებს ფიტომიგრაცია, რასაც მოყვება ქერქი და ფოთოლი, ხოლო ბოლქვში პირიქით მცირდება კონცენტრაცია. ბიორაგით დამუშავებულ შაქრის ჭარხლის ფოთოლში და ქერქში ივლისში შეიმჩნევა კლება ივნისსა და აგვისტოსთან შედარებით. ღეროში თითქმის სწორხაზოვანია დინამიკა, ბოლქვში კი ისევე როგორც საკონტროლოს შემთხვევაში აქაც მცირდება, რაც აგვისტოში მკვეთრად შეიმჩნევა. ლინგოჰუმატიან შაქრის ჭარხალში კი ივლისში ასევე შემცირდა ამ ელემენტის შეთვისება ნიადაგიდან ხოლო აგვისტოში უმნიშვნელოდ გაიზარდა და ზოგ შემთხვევაში ივნისის თვეში აკუმულირებულ რაოდენობას გაუთანაბრდა. აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ 2015 წლის კვლევის შედეგად ნიადაგში ტიტანის კონცენტრაცია 3-ჯერ შემცირდა 2014 წელთან შედარებით.



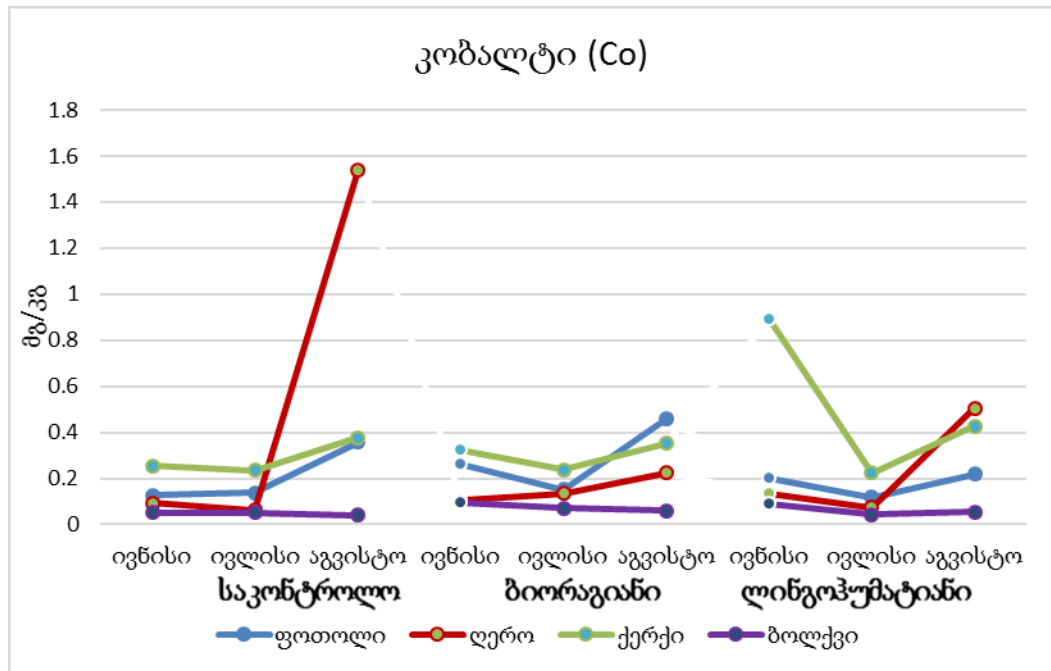
ნახაზი 78. სოფ. ბალიჭში მოყვანილ საკონტროლო, ბიორაგით და ლინგოკუმპტით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში ვოლფრამის კონცენტრაცია, მგ/კგ. 2015 წლის ივნისი, ივლისი და აგვისტო.

ტიტანის მსგავსად ვოლფრამიც საკონტროლო შაქრის ჭარხლის ღეროში აგვისტოში განიცდის ჭარბ დაგროვებას. ამავე თვეს იმატებს ფოთოლში და ქერქში ამ ლითონის კონცენტრაცია, ხოლო ბოლქვში მცირდება. ბიორაგთან შაქრის ჭარხალში ივლისში შემცირდა აკუმულაცია ივნისთან შედარებით და აგვისტოში ისევ გაიზარდა. ლინგოკუმპტიანშიც ბიორაგთანის მსგავსია ელემენტის მიგრაცია.



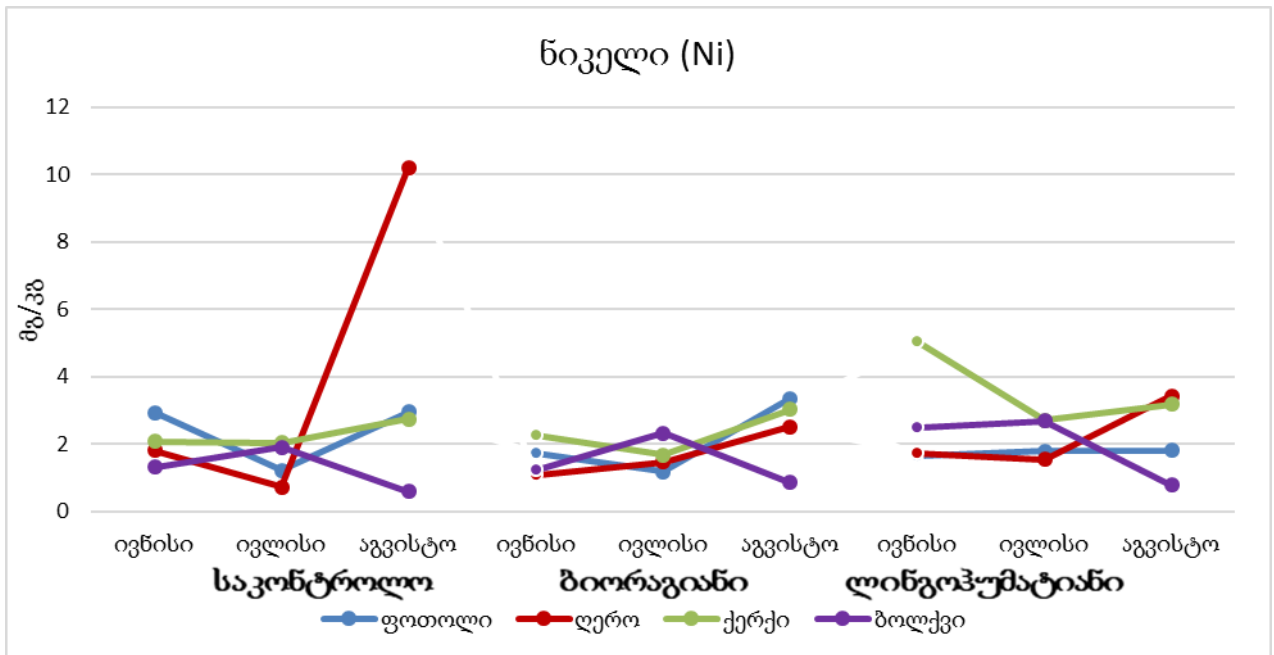
ნახაზი 79. სოფ. ბალიჭში მოყვანილ საკონტროლო, ბიორაგით და ლინგოკუმპტით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში ქრომის კონცენტრაცია, მგ/კგ. 2015 წლის ივნისი, ივლისი და აგვისტო.

ტიტანის და ვოლფრამის მსგავსად ქრომიც საკონტროლო შაქრის ჭარხლის ღეროში აგვისტოში განიცდის ჭარბ დაგროვებას. ამავე თვეს იმატებს ფოთოლში, ქერქში და ბოლქვში ამ ლითონის კონცენტრაცია. ბიორაგიან შაქრის ჭარხლის ფოთოლში და ქერქში ივლისში შემცირდა აკუმულაცია ივნისთან შედარებით და აგვისტოში ისევ გაიზარდა თითქმის ყველა ორგანოში. ლინგოჰუმატიანშიც ბიორაგიანის მსგავსია ელემენტის მიგრაცია. მცენარეში ვოლფრამის და ქრომის შეღწევის მექანიზმი და ელემენტის რაოდენობრივი კონცენტრაცია ძალზედ გავს ერთმანეთს.



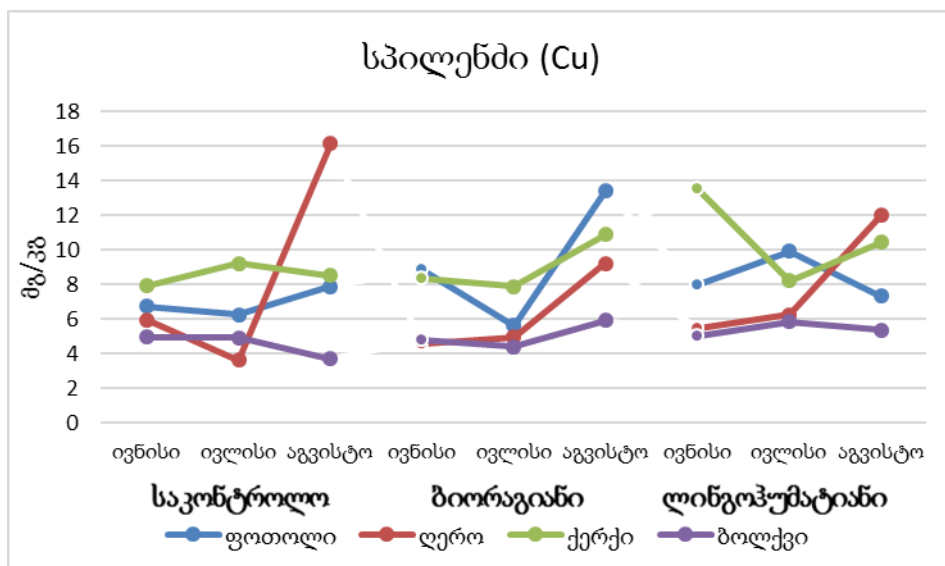
ნახაზი 80. სოფ. ბალიჭში მოყვანილ საკონტროლო, ბიორაგით და ლინგოჰუმატიტ დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში კობალტის კონცენტრაცია, მგ/კგ. 2015 წლის ივნისი, ივლისი და აგვისტო.

საკვლევ მცენარის ორგანოთა სისტემაში კობალტის ფიტომიგრაციის სურათი მსგავსია ქრომის განსხვავება მხოლოდ შთანთქმული ლითონის რაოდენობრივ კონცენტრაციაშია. საკონტროლო შაქრის ჭარხლის ღეროში ივლისში კლება შეიმჩნევა ივლისთან შედარებით, ხოლო აგვისტოში 30-ჯერ მოიმატა შემცველობამ. ბიორაგიან და ლინგოჰუმატიან შაქრის ჭარხალში ივლისში მცირდება კობალტის კონცენტრაცია ივნისთან შედარებით, აგვისტოში კი იწყებს კვლავ კონცენტრაციის ზრდას.



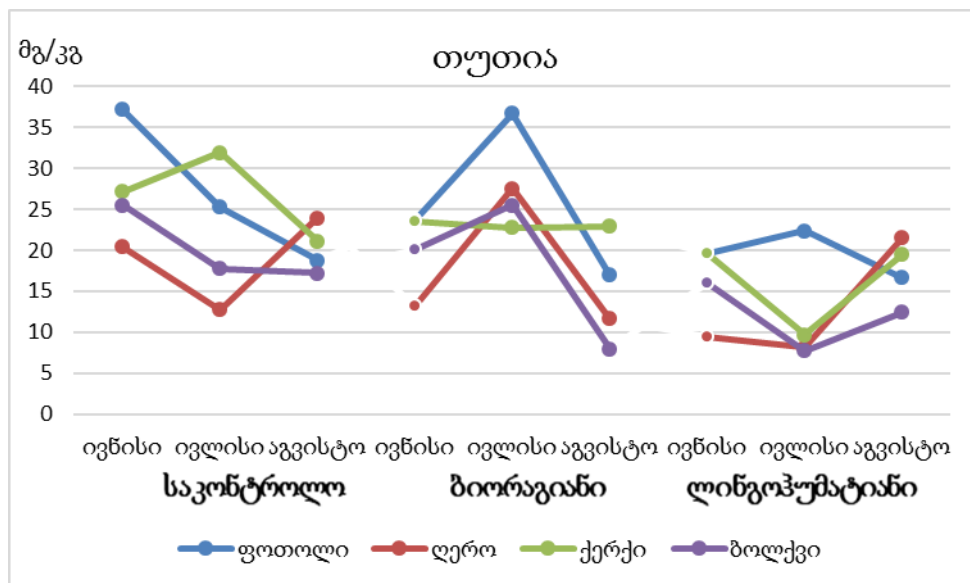
ნახაზი 81. სოფ. ბალიჭში მოყვანილ საკონტროლო, ბიორაგით და ლინგოკუმატით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში ნიკელის კონცენტრაცია, მგ/კგ. 2015 წლის ივნისი, ივლისი და აგვისტო.

საკონტროლო შაქრის ჭარხლის ღეროში ნიკელის შთანთქმის მექანიზმი მსგავსია ტიტანის, ვოლფრამის, ქრომის და კობალტის. ქერქში სწორხაზოვნად იზრდება, ფოთოლში ივლისში მცირდება ივნისთან შედარებით, ხოლო აგვისტოში კვლავ იზრდება და ივნისის მაჩვენებელს უტოლდება. ბოლქვში კი პირიქით ივლისში იზრდება. ბოლქვში მსგავსი სურათია ბიორაგიან და ლინგოკუმატიან შაქრის ჭარხალშიც.



ნახაზი 82. სოფ. ბალიჭში მოყვანილ საკონტროლო, ბიორაგით და ლინგოკუმატით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში სპილენძის კონცენტრაცია, მგ/კგ. 2015 წლის ივნისი, ივლისი და აგვისტო.

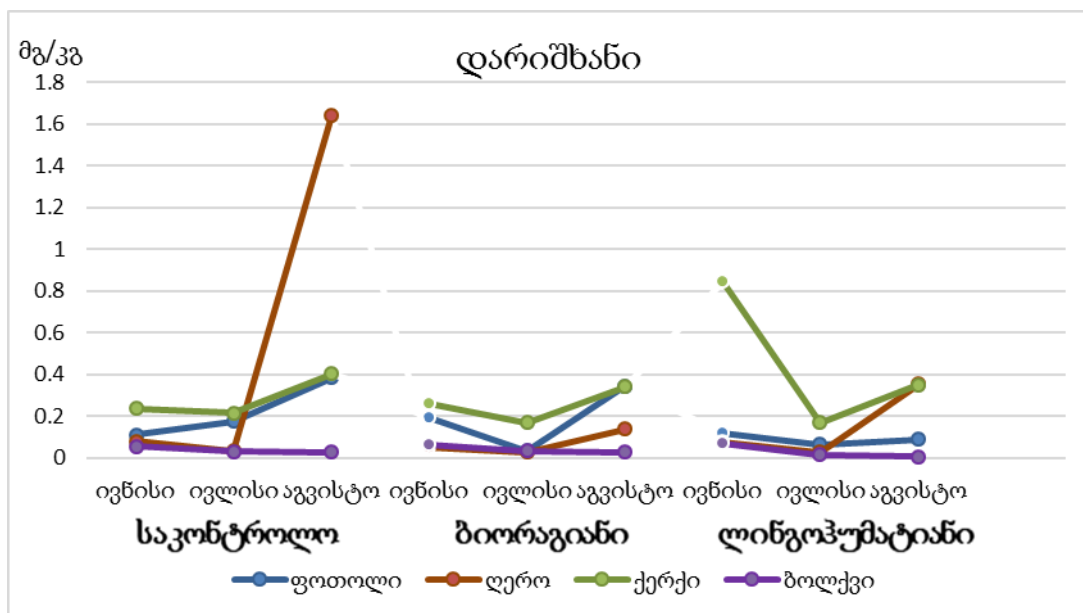
საკონტროლო შაქრის ჭარხლის ღეროში ივნისის თვეში 6 მგ/კგ სპილენძმა განიცადა მიგრაცია, ივლისში კი 1.5-ჯერ შემცირდა, ხოლო აგვისტოში 4-ჯერ გაიზარდა. ფოთოლში ივლისში შემცირდა ივნისთან შედარებით. ქერქში ივლისში იმატებს ერთი ერთეულით, ივლისთან შედარებით, ხოლო აგვისტოში კვლავ მცირდება სპილენძის კონცენტრაცია. ბოლქვში ივნისში და ივლისში სპილენძის შთანთქმა მსგავსია ერთმანეთის, ხოლო აგვისტოში 1.6 მგ/კგ-ით ივლებს. ბიორაგიან შაქრის ჭარხლის ორგანოებში ივლისში სპილენძის კონცენტრაცია შემცირდა ივლისთან შედარებით, აგვისტოში კი საშუალოდ 2-ჯერ იზრდება კონცენტრაცია. ლინგოჰუმეტიან შაქრის ჭარხალში კი შთანთქმის განსხვავებული დინამიკაა. ფოთოლში ივნისში 8 მგ/კგ-ს შეადგენდა, ივლისში 10 მგ/კგ-ს, ხოლო აგვისტოში შემცირდა და 7 მგ/კგ შეადგინა. ღეროში ივნისში 5 მგ/კგ სპილენძი დაგროვდა, ივლისში უმნიშვნელოდ მოიმატა 5.8 მგ/კგ, აგვისტოში კი 2.5-ჯერ გაიზარდა სპილენძის აკუმულაცია. ივნისთან შედარებით ივლისში ქერქში 0.6-ჯერ შემცირდა ლითონის რაოდენობა, აგვისტოში კი 0.3-ჯერ. ბოლქვში სპილენძის კონცენტრაცია ივლისში უმნიშვნელოდ იზრდება ივნისსა და აგვისტოსთან შედარებით.



ნახაზი 83. სოფ. ბალიჭში მოყვანილ საკონტროლო, ბიორაგით და ლინგოჰუმეტიით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში თუთიის კონცენტრაცია, მგ/კგ. 2015 წლის ივნისი, ივლისი და აგვისტო.

თუთია ორგანიზმისთვის აუცილებელი მაკროელემენტი, თუმცა მისი დიდი რაოდენობა საფრთხეს წარმოადგენს ცოცხალი ორგანიზმისთვის. საკონტროლო ჭარხლის ფოთოლში ივნისში 37 მგ/კგ თუთია აკუმულირდა ნიადაგიდან, ხოლო ივლისში 25 მგ/კგ შეადგინა, აგვისტოში კი 17 მგ/კგ თითქმის განახევრდა კონცენტრაცია. ღეროში ივნისთან შედარებით განახევრდა ლითონის კონცენტრაცია, ხოლო აგვისტოში 2-ჯერ გაიზარდა აკუმულაცია ნიადაგიდან. ქერქში ივლისში 5 მგ/კგ-

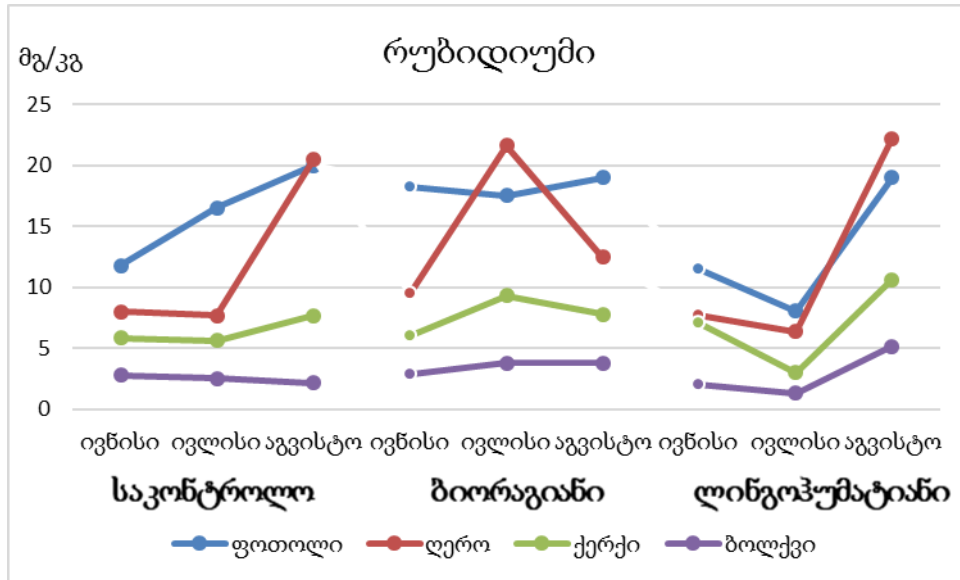
ით მოიმატა თუთიის შემცველობამ, როცა მცენარის სხვა ორგანოებში ამ თვეს კლება დაფიქსირდა, ხოლო აგვისტოში 10 ერთეულით შემცირდა ივლისთან და 4 ერთეულით ივნისთან შედარებით. ბიორაგიან შაქრის ჭარხალში საკონტროლოსთან და ლინგოჰუმატიანთან შედარებით მეტად განსხვავებული სურათია. ფოთოლში, ღეროში და ბოლქვში ივლისში თითქმის 1.5-ჯერ მოიმატა ივნისთან შედარებით, აგვისტოში კი მკვეთრად თითქმის 2.5-ჯერ შემცირდა, რამაც საბოლოო ჯამში თავდაპირველ მონაცემზე ნაკლები შემცველობა მოგვცა. ქერქში კი ივნისთან შედარებით ივლისსა და აგვისტოში მცირედი კლებაა და მონაცემებიც თითქმის ერთნაირია. ლინგოჰუმატიან შაქრის ჭარხლის ღეროში, ქერქში და ბოლქვში თუთიის კონცენტრაცია ივნისთან შედარებით ივლისში მცირდება, ხოლო აგვისტოში ისევ იმატებს. ფოთოლში კი სხვაგვარადაა ივლისში იმატებს ნიადაგიდან ლითონის ფიტომიგრაცია, ივნისში და აგვისტოში კი მცირდება.



ნახაზი 84. სოფ. ბალიჭში მოყვანილ საკონტროლო, ბიორაგით და ლინგოჰუმატიით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში თუთიის კონცენტრაცია, მგ/კგ. 2015 წლის ივნისი, ივლისი და აგვისტო.

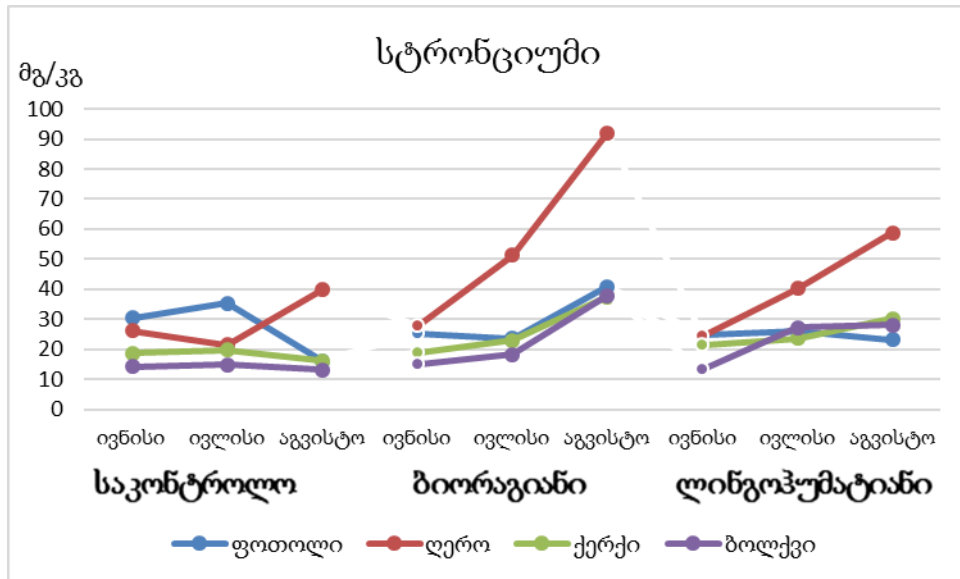
დარიშხანი საკმაოდ ტოქსიკური ელემენტია და ბოლნისის რაიონის ნიადაგში იგი ძირითადად საწარმოო დაბინძურების შედეგად ხვდება. შაქრის ჭარხალი მცირე კონცენტრაციას იღებს ნიადაგიდან, საკონტროლოსთან შედარებით ბიორაგიან შაქრის ჭარხალში ყველაზე მეტად შემცირდა დარიშხანის შელწევადობა ნიადაგიდან. დარიშხანშიც მსგავსად კობალტისა საკონტროლო შაქრის ჭარხლის ღეროშიც აგვისტოში დარიშხანის კონცენტრაცია 54-ჯერ გაიზარდა. აგვისტოში ფოთოლში და ქერქში 2-ჯერ გაიზარდა დარიშხანის კონცენტრაცია ივნისსა და ივლისთან შედარებით. ბიორაგი, როგორც ზემოთ ავღნიშნე გარკვეული რაოდენობით ამცირებს დარიშხანის შელწევადობას მცენარეში, თუმცა ივლისის კლების შემდეგ აგვისტოში კვლავ მატების

ტენდენციაა. ლინგოკუმპტიან შაქრის ჭარხლის ფოთოლში და ბოლქვში შემცირებულია ლითონის აკუმულაცია ივლისსა და აგვისტოში, ხოლო ქერქში და ღეროში ივნისიდან ივლისამდე მცირდება დარიშხანის ფიტომიგრაცია, აგვისტოში კი კვლავ იმატებს.



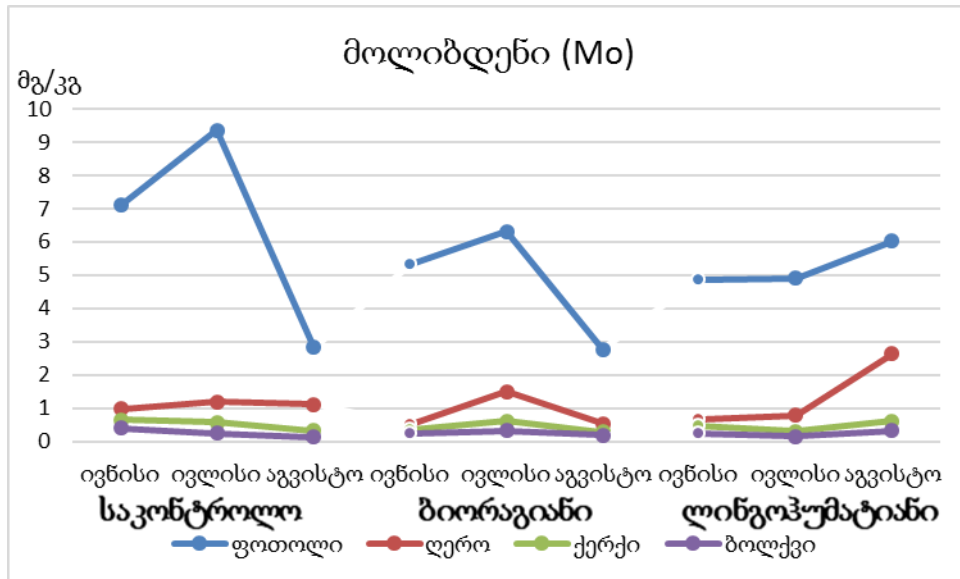
ნახაზი 85. სოფ. ბალიჭში მოყვანილ საკონტროლო, ბიორაგით და ლინგოკუმპტით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში რუბიდიუმის კონცენტრაცია, მგ/კგ. 2015 წლის ივნისი, ივლისი და აგვისტო.

ნიადაგში რუბიდიუმის კვლევასას საშუალოდ 24 მგ/კგ აღმოჩნდა. შაქრის ჭარხლის კვლევასას კი აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ მცენარეში ამ ლითონის ფიტომიგრაცია საკმაოდ მაღალი რაოდენობით მიმდინარეობს. საკონტროლო ფოთოლში სწორხაზოვნად იმატებს და აგვისტოში ივნისთან შედარებით ორმაგდება კონცენტრაცია. ღეროში ივლისში მცირეოდენი კლება ფიქსირდება, აგვისტოში კი 2-ჯერ იმატებს. ბოლქვში კი მსგავსია ნიადაგიდან რუბიდიუმის კონცენტრაცია. ბიოაქტივატორ ბიორაგით დამუშავებულ შაქრის ჭარხლის ფოთოლში ივლისში იკლებს ხოლო აგვისტოში კვლავ იმატებს და მცირედით აღემატება ივნისის მონაცემებს. ღეროში ქერქში და ბოლქვში ივლისში იმატებს რუბიდიუმის კონცენტრაცია, განსაკუთრებით ეს შესამჩნევია ღეროში, ხოლო აგვისტოში კვლავ იკლებს მისი შემცველობა ამ ორგანოებში. ლინგოკუმპტიან შაქრის ჭარხლის ფოთოლში, ღეროში, ქერქში და ბოლქვში თითქმის მსგავსია შეღწევის მექანიზმი. ივლისში იკლებს ლითონის აკუმულაცია და აგვისტოში კვლავ ორმაგდება კონცენტრაცია.



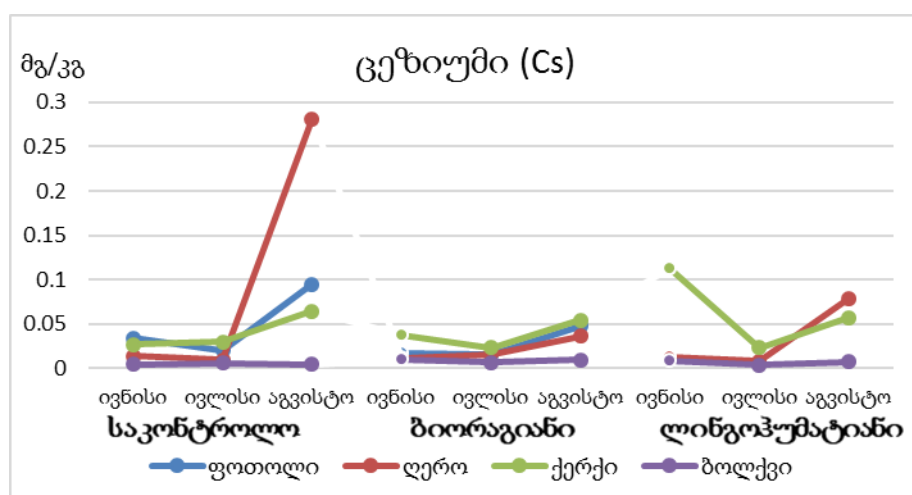
ნახაზი 86. სოფ. ბალიჭში მოყვანილ საკონტროლო, ბიორაგით და ლინგოჰუმატიით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში სტრონციუმის კონცენტრაცია, მგ/კგ. 2015 წლის ივნისი, ივლისი და აგვისტო.

რადიაქტიული სტრონციუმი მეტად მომწამლავი და ტოქსიკური ელემენტია, თუმცა ჩვენს შემთხვევაში მეტალურ სტრონციუმზეა საუბარი. კვლევების შედეგად ნიადაგში საშუალოდ აღმოჩნდა 130 მგ/კგ. საკონტროლო შაქრის ჭარხალში ივნისში ჯამში მცენარის ორგანოებმა 88 მგ/კგ სტრონციუმი შთანთქმა, ივლისში 89 მგ/კგ, აგვისტოში კი 84 მგ/კგ. საკონტროლო ღეროში ივლისში იკლებს სტრონციუმის შთანთქმა, ხოლო აგვისტოში კვლავ ორმაგდება მისი კონცენტრაცია. ფოთოლში, ქერქში და ბოლქვში ივლისში უმნიშვნელოდ იმატებს შემცველობა, აგვისტოში კი საგრძნობლად იკლებს. ბიორაგით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში კი იზრდება ტოქსიკური ლითონის ფიტომიგრაცია. აგვისტოში ღეროში 92 მგ/კგ დაფიქსირდა, რაც ძალზედ საინტერესო ფაქტია. ბიორაგი შესაძლოა გამოყენებულ იქნას რადიაქტიული ელემენტ სტრონციუმით დაზინძურებული ნიადაგების გასაწმენდად. ივნისში 87 მგ/კგ სტრონციუმი აკუმულირდა მცენარის უჯრედებში, ივლისში 114 მგ/კგ, აგვისტოში კი 207 მგ/კგ. ბიორაგან ღეროში სტრონციუმის შემცველობა თვეების მიხედვით ორმაგდება. ფოთოლში, ქერქში და ბოლქვში შთანთქმის მექანიზმი მსგავსია ერთმანეთის. ლინგოჰუმატიით დამუშავებულ მცენარეში ივლისში იმატებს სტრონციუმის კონცენტრაცია ივნისთან შედარებით, მატების ტენდენცია აგვისტოში კვლავ გრძელდება ღეროში, ქერქში და ბოლქვში, ხოლო ფოთოლში მცირდება. ივნისში ლინგოჰუმატიანმა მცენარემ ჯამში 82 მგ/კგ სტრონციუმი დააგროვა ორგანოების კონცენტრაციაზე გადათვლით, ივლისში 116 მგ/კგ, აგვისტოში კი 139 მგ/კგ. აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ ბიოსტიმულატორში დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში მკვეთრად გაიზარდა კონცენტრაცია საკონტროლოსთან შედარებით.



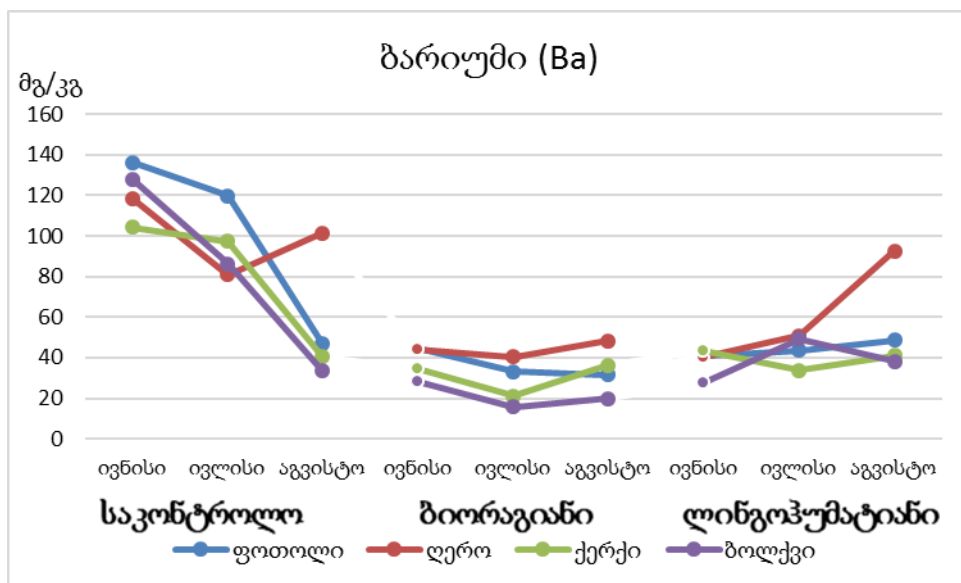
ნახაზი 87. სოფ. ბალიჭში მოყვანილ საკონტროლო, ბიორაგით და ლინგოჰუმეტიით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში მოლიბდენის კონცენტრაცია, მგ/კგ. 2015 წლის ივნისი, ივლისი და აგვისტო.

მოლიბდენის ფიტომიგრაცია მცენარის ფოთლებში მიმდინარეობს, ღეროში ქერქში და ბოლქვში შთანთქმის მექანიზმი თითქმის ერთნაირია მცირედი განსხვავებებით. საკონტროლო შაქრის ჭარხლის ფოთოლში ივლისში კონცენტრაცია მკვეთრად იზრდება ივნისსა და აგვისტოსთან შედარებით, ბიორაგიან ფოთოლშიც მსგავსი მონაცემებია, ხოლო ლინგოჰუმეტიანში აგვისტოში 0.5-ჯერ იმატებს კონცენტრაცია, როცა დანარჩენ შემთხვევაში კლებაა დაფიქსირებული. მოლიბდენის მაქსიმალური შემცველობა საკონტროლოში და ბიორაგიანში ივლისში დაფიქსირდა (11,4 მგ/კგ და 8,7 მგ/კგ), ლინგოჰუმეტიანში კი აგვისტოში (9.5 მგ/კგ).



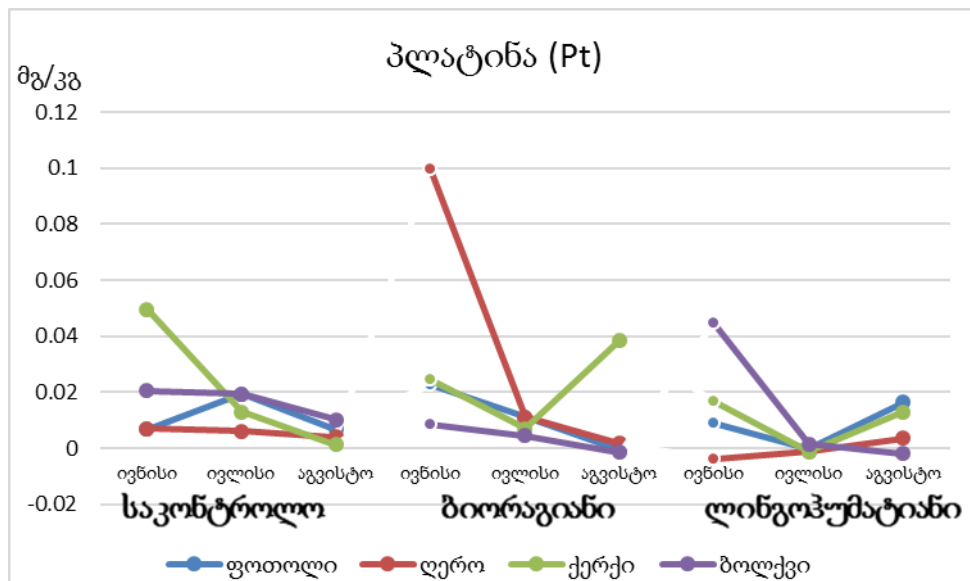
ნახაზი 88. სოფ. ბალიჭში მოყვანილ საკონტროლო, ბიორაგით და ლინგოჰუმეტიით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში ცეზიუმის კონცენტრაცია, მგ/კგ. 2015 წლის ივნისი, ივლისი და აგვისტო.

ცეზიუმი რადიაქტიული ელემენტია რომელიც გარემოში სხვადასხვა ანთროპოგენური ზემოქმედების შედეგად ხვდება. ჩვენს შემთხვევაში კი კვლევები მეტალურ ცეზიუმზე განხორციელდა. საკონტროლო ჭარხალში სტრონციუმის შელწევადობა აგვისტოში გაიზარდა განსაკუთრებით ღეროში, რასაც მოყვება ფოთოლი და ქერქი. ფოთოლი კი სწორხაზოვან დიმანიკას გვიჩვენებს. ბიორაგიანი შაქრის ჭარხალი ამცირებს სტრონციუმის შელწევადობას შაქრის ჭარხალში. როგორც ზემოთ აღნიშნულ სხვა შემთხვევებში აქაც ივლისში მცირდება ცეზიუმის შემცველობა, ხოლო აგვისტოში კვლავ იმატებს.



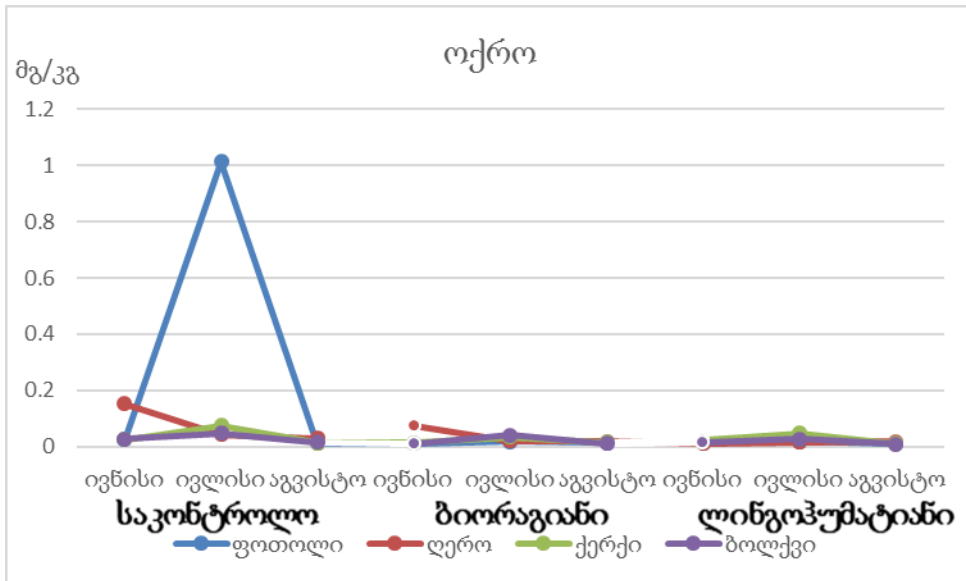
ნახაზი 89. სოფ. ბალიჭში მოყვანილ საკონტროლო, ბიორაგით და ლინგოკუმათით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში ბარიუმის კონცენტრაცია, მგ/კგ. 2015 წლის ივნისი, ივლისი და აგვისტო.

ნიადაგში ბარიუმი ბუნებრივად გვხვდება, ამ ნიადაგებში მისი ჭარბი შემცველობა საწარმოო პროცესის შედეგია. შაქრის ჭარხალში მისი შემცველობა საკმაოდ განსხვავებულია. საკონტროლო შაქრის ჭარხალში ივნისში მაღალია შემცველობა, ივლისში იკლებს აგვისტოში ღეროში იმატებს, თუმცა ივნისის ნიშნულს არ აღემატება, ქერქში, ფოთოლში და ბოლქვში კვლავ კლების მკვეთრი ვარდნაა თითქმის 2-ჯერ შემცირდა. ივნისში საკონტროლო შაქრის ჭარხლის ფოთოლმა 140 მგ/კგ ბარიუმი შთანთქა რასაც მოყვება ბოლქვი 127 მგ/კგ, ღერო 118 მგ/კგ და ქერქი 104 მგ/კგ. ბიორაგიან შაქრის ჭარხალში კი მკვეთრად იკლებს ბარიუმის შელწევადობა ნიადაგიდან მცენარეში, ივნისის თვეში საკონტროლო ჭარხალთან შედარებით თითქმის 4-ჯერ მცირეა. ივლისისა და აგვისტოს თვეებშიც მატების მხოლოდ უმნიშვნელო მაჩვენებელია. ლინგოკუმათით დამუშავებული მცენარეც ამცირებს ბარიუმის შთანთქმას, გამონაკლისია მხოლოდ ღერო, რომელიც აგვისტოში თითქმის 2-ჯერ იზრდება ივნისისა და ივლისთან შედარებით.



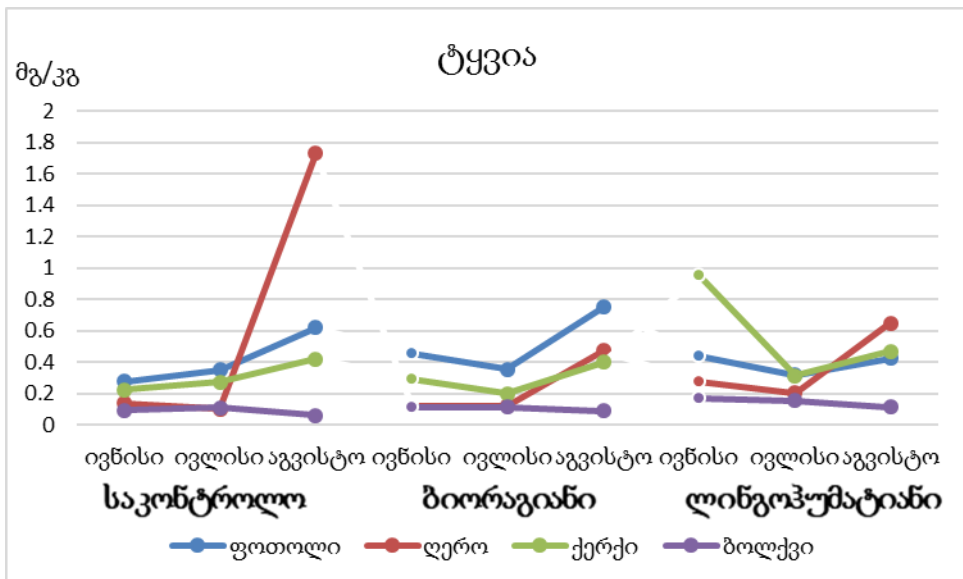
ნახაზი 90. სოფ. ბალიჭში მოყვანილ საკონტროლო, ბიორაგით და ლინგოჰუმატიით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში პლატინის კონცენტრაცია, მგ/კგ. 2015 წლის ივნისი, ივლისი და აგვისტო.

პლატინა ნიადაგში ძალზედ მცირე რაოდენობით გვხვდება რომლის მაჩვენებელიც საშუალოდ 0,06 მგ/კგ-ს შეადგენს. მიუხედავად ნიადაგში მცირე კონცენტრაციისა მცენარემ მაინც შთანთქმა ნიადაგიდან ამ ლითონის გარკვეული რაოდენობა. მონაცემები საკმაოდ განსხვავებულია. საკონტროლო ქერქში მაღალია კონცენტრაცია ბოლქვთან, ფოთოლთან და ღეროსთან შედარებით, თუმცა ივნისსა და აგვისტოში მკვეთრად კლებულობს და აგვისტოში ყველაზე ნაკლებია მასში პლატინის შემცველობა. ღეროში სწორხაზოვანია დინამიკა, ფოთოლში კი ივლისში მაღალია კონცენტრაცია ივნისსა და აგვისტოსთან შედარებით. ბოლქვში ასევე კლების დინამიკა გვხვდება. ბიოსტიმულატორი ბიორაგი კი ზრდის მცენარეში პლატინის შემცველობას. ივლისში კონცენტრაცია იკლებს ყველა ორგანოში, აგვისტოში კი ქერქში კვლავ იმატებს და ივნისის ნიშნულს 2-ჯერ აღემატება, ღეროში, ფოთოლში და ბოლქვში კვლავ კლების ტენდენციაა შენარჩუნებული. ლინგოჰუმატიით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში კი ივლისში მცირდება ფიტო მიგრაცია ივნისთან შედარებით, აგვისტოში კი კვლავ იზრდება ფოთოლში, ღეროში და ქერქში, ბოლქვში კი კვლავ მცირდება.



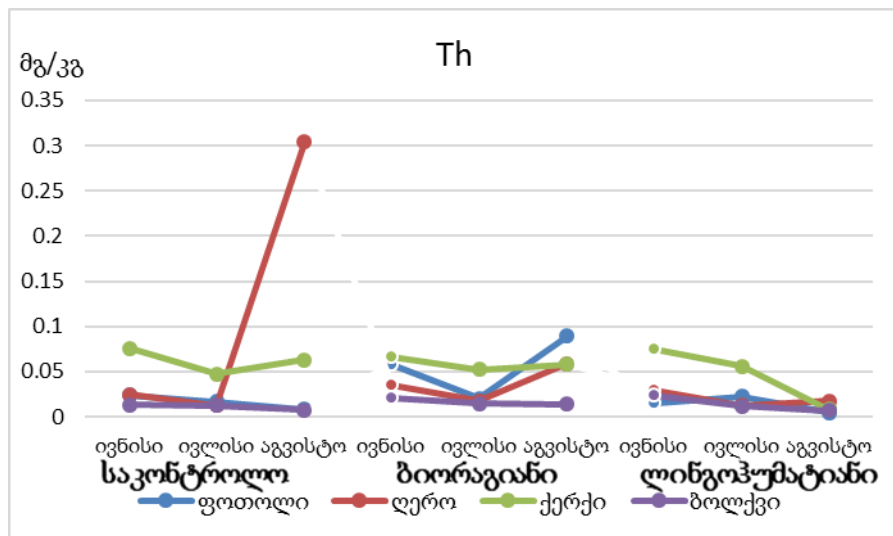
ნახაზი 91. სოფ. ბალიჭში მოყვანილ საკონტროლო, ბიორაგით და ლინგოკუმპატიტ დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში ოქროს კონცენტრაცია, მგ/კგ. 2015 წლის ივნისი, ივლისი და აგვისტო.

ისევე როგორც პლატინა ნიადაგში ოქროც ძალზედ მცირე რაოდენობით გვხვდება. საკონტროლო შაქრის ჭარხალში ივნისში ღეროში აკუმულირდა ოქროს მეტი რაოდენობა, ივლისში კი ფოთოლში. ბიორაგიან და ლინგოკუმპარიან მცენარეებში საკონტროლოსთან შედარებით შემცირებულია ოქროს შეღწევადობა და მხოლოდ უმნიშვნელო კონცენტრაციებია დაფიქსირებული რამაც საშუალოდ 0,16 მგ/კგ შეადგინა.



ნახაზი 92. სოფ. ბალიჭში მოყვანილ საკონტროლო, ბიორაგით და ლინგოკუმპატიტ დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში ტყვიის კონცენტრაცია, მგ/კგ. 2015 წლის ივნისი, ივლისი და აგვისტო.

ტყვია მეტად ტოქსიკური ლითონია, ბოლნისის რაიონის სოფელ ბალიჭის ნიადაგებში იგი ანთროპოგენური ზემოქმედების შედეგად ხვდება. საკონტროლო შაქრის ჭარხლის ორგანოთა სისტემები, რომელიც გამოკვლეულ იქნა ივნისში 0,67 მგ/კგ შთანთქა ნიადაგიდან, ივლისში 0,92 მგ/კგ, აგვისტოში კი 2,8 მგ/კგ. ბიორაგიან შაქრის ჭარხალმა ივნისში 0,95 მგ/კგ, ივლისში 0,77 მგ/კგ, აგვისტოში კი 1.69 მგ/კგ ტყვიის აკუმულირება მოახერხა. ლინგოჰუმატთან მცენარემ კი ივნისში 1.54 მგ/კგ, ივლისში 0,93 მგ/კგ, აგვისტოში 1,68 მგ/კგ. ორივე ბიოსტიმულატორი საკონტროლო შაქრის ჭარხალთან შედარებით ივნისში ჭარხად ითვისებს ტყვიას, ხოლო აგვისტოსა და ივლისში ამცირებს ნიადაგიდან მის ფიტოშეღწევადობას.



ნახაზი 93. სოფ. ბალიჭში მოყვანილ საკონტროლო, ბიორაგით და ლინგოჰუმატით დამუშავებულ შაქრის ჭარხალში თორიუმის კონცენტრაცია, მგ/კგ. 2015 წლის ივნისი, ივლისი და აგვისტო.

თორიუმის კონცენტრაცია საკვლევი ტერიტორიის ნიადაგში 3 მგ/კგ-ს შეადგენდა. საკონტროლო შაქრის ჭარხალმა ნიადაგიდან ივნისში 0,12 მგ/კგ თორიუმის შთანთქმა მოახერხა, ივლისში 0,083 მგ/კგ, აგვისტოში კი ლითონის კონცენტრაციამ 0,365 მგ/კგ შეადგინა. ბიორაგიან შაქრის ჭარხალმა ივნისში 0,185 მგ/კგ დაიგროვა, ივლისში შემცირდა და 0,098 მგ/კგ შეადგინა, აგვისტოში კი ისევ მოიმატა 0,218 მგ/კგ. ლინგოჰუმატთან შაქრის ჭარხალში კლების ტენდენციაა. მისმა ათვისებულმა თორიუმმა ივნისში ჯამში 0,145 მგ/კგ შეადგინა, ივლისში 0,115 მგ/კგ, აგვისტოში კი 0,037 მგ/კგ. აღსანიშნავია, რომ ახალი საბადოს ამოქმედებამ გამოიწვია Th-ის კონცენტრაციის მნიშვნელოვანი კლება კაზრეთის ნიადაგში. მანამდე (2014 წ) Th-ის კონცენტრაცია თითქმის 3-ჯერ მეტი იყო ფონურთან (განთიადი) შედარებით. 2015 წლის ზაფხულში, ანუ საყდრისის საბადოს ამოქმედებიდან 7 თვეში მისი კონცენტრაცია 6-ჯერ შემცირდა. Th-ის მიგრაციის პროცესი იმდენად ინტენსიურად მიმდინარეობდა, რომ

ის 2-ჯერ ნაკლებიც გახდა სოფ. განთიადის ნიადაგში Th-ის (2014 წ) კონცენტრაციასთან შედარებით.

კვლევის პროცესში გამოკვლეულ იქნა შაქრის ჭარხლის ზრდის მაჩვენებელი, რომლის მონაცემებიც შემდეგია: ივნისში შაქრის ჭარხალი საკონტროლო 70 გ, ბიორაგიანი 90 გ, ლინგოჰუმტიანი 100 გ. ივლისში საკონტროლო 66 გ - ფოთოლი 21გ, ღერო 20 გ, ქერქი 8 გ, ბოლქვი 16 გ. ბიორაგიანი 66 გ - ფოთოლი 23 გ, ღერო 19 გ, ქერქი 9 გ, ბოლქვი 13 გ. ლინგოჰუმტიანი 79 გ - ფოთოლი 24 გ, ღერო 25გ, ქერქი 11გ, ბოლქვი 16 გ. აგვისტო საკონტროლო 173 გ - ფოთოლი 27 გ, ღერო 17 გ, ქერქი 35 გ, ბოლქვი 95 გ. ბიორაგიანი 292 გ - ფოთოლი 76 გ, ღერო 90 გ, ქერქი 34 გ, ბოლქვი 93 გ. ლინგოჰუმტიანი 258 გ - ფოთოლი 55 გ, ღერო 71 გ, ქერქი 33 გ, ბოლქვი 98 გ. ჩვენი გაანგარიშებით 1 ჰა-ზე საშუალოდ შესაძლებელია 20 ტონა შაქრის ჭარხლის მოყვანა. ოცი ტონა შაქრის ჭარხალმა შესაძლოა ნიადაგიდან ფიტომიგრაცია მოახდინოს 2520 კგ ტიტანის, 259 კგ ვოლფრამის, 317 კგ ქრომის, 46 კგ კობალტის, 330 კგ ნიკელის, 722 კგ სპილენძის, 1600 კგ თუთიის, 49 კგ დარიშხანის, 1007 კგ რუბიდიუმის, 4100 კგ სტრონციუმის, 88 კგ მოლიბდენის, 8 კგ კადმიუმის, 8.8 კგ ცეზიუმის, 4438 კგ ბარიუმის, 0,44კგ პლატინის, 1.44 კგ ოქროს, 56 კგ ტყვიის, 7.6 კგ თორიუმის. 2015 წელს საკმაოდ მნიშვნელოვანი კვლევა განხორციელდა. მონაცემების მიხედვით ივლისში თითქმის ყველა ელემენტის კლებაა დაფიქსირებული, მოცულობის რაოდენობის მიხედვითაც ივლისში შაქრის ჭარხლის მოცულობა უფრო ნაკლებია, უნდა აღინიშნოს, რომ ივნისში დაფიქსირდა წვიმიანი პერიოდი, რაც მცენარის ვეგეტაციას უწყობს ხელს, ხოლო ივლისში გვალვიანი პერიოდი, ეს გარდამავალი პერიოდი წვიმიანიდან გვალვიანში მეტად სტრესულ მდგომარეობაში აყენებს მცენარეს, კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ მცენარეს უჭირს სტრესულ მდგომარეობაში ჭარბად დაიგროვოს მძიმე ლითონები ორგანოებში, აგვისტოში კი იმატებს მცენარის მოცულობა და მასში ზოგიერთი მძიმე ლითონის შელწევადობა.

ფიტორემედიაციის გამოყენება საკმაოდ ეფექტური ტექნოლოგიაა ნიადაგების გაწმენდის თვალსაზრისით, ამ ტექნოლოგიის დახმარებით შესაძლებელია ნიადაგიდან ამოვიღოთ დამაბინძურებელი აგენტები და მცენარეების გადამუშავების შედეგად მივიღოთ სხვადასხვა ლითონების გარკვეული რაოდენობა. არსებობს კიდევ მცენარეების უტილიზაციის სხვა ხერხები, მაგალითად შაქრის ჭარხალი შესაძლოა გამოვიყენოთ სპირტის წარმოებაში, მიღებული ნარჩენი მასით კი ბიოგაზი ვაწარმოოთ, ბიოგაზის დროს ისეთი ფერმენტები და ბაქტერიები წარმოიქმნება, რომელთაც სხვადასხვა ლითონები გადაყავთ უვნებელ ფორმაში. შაქრის ჭარხლისგან შაქრის წარმოების დროს კვლევებით დამტკიცებულია, რომ შაქრის კრისტალში კადმიუმი გადადის, ამიტომ ვფიქრობთ შაქრის წარმოება არ იქნება სწორი გადაწყვეტილება მძიმე ლითონების შემცველობის გამო.

აკუმულაციის კოეფიციენტი

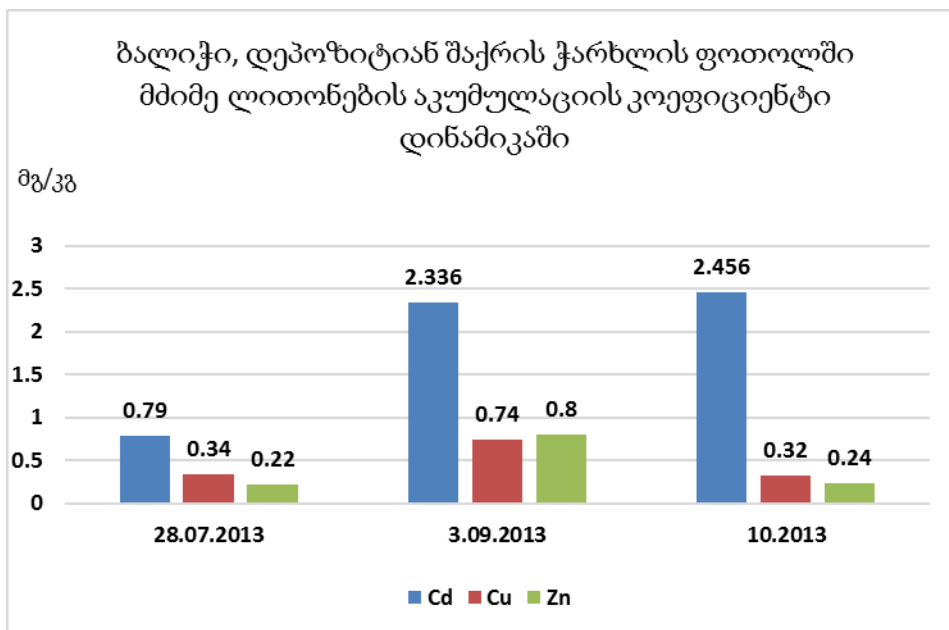
კვლევის მონაცემებზე დაყრდნობით გამოთვლილ იქნა სპილენძის, თუთიის და კადმიუმის აკუმულაციის კოეფიციენტი. აკუმულაციის კოეფიციენტის განმარტება - იგი არის მცენარის მოცემული ორგანოს მიერ მასის 1 კგ-ზე მოსული კონკრეტული ქიმიური ელემენტის რაოდენობა შეფარდებული ნიადაგის 1 კგ-ზე მოსული ამ ელემენტის რაოდენობასთან.

$$A_L^{Cd} (23.08) = \frac{n_L^{Cd} (23.08)}{n_S^{Cd} (23.08)}$$

$n_L^{Cd} (23.08)$ – ქვედა ინდექსი აღნიშნავს ამ შემთხვევაში ფოთოლს, ზედა ინდექსი ქიმიურ ელემენტს, ხოლო ფრჩხილებში მოთავსებული სიდიდე მცენარეული ნიმუშის აღების თარიღია.

$n_S^{Cd} (23.08)$ – ნიადაგის 1 კგ-ზე მოსული Cd-ის რაოდენობა 23.08-ში.

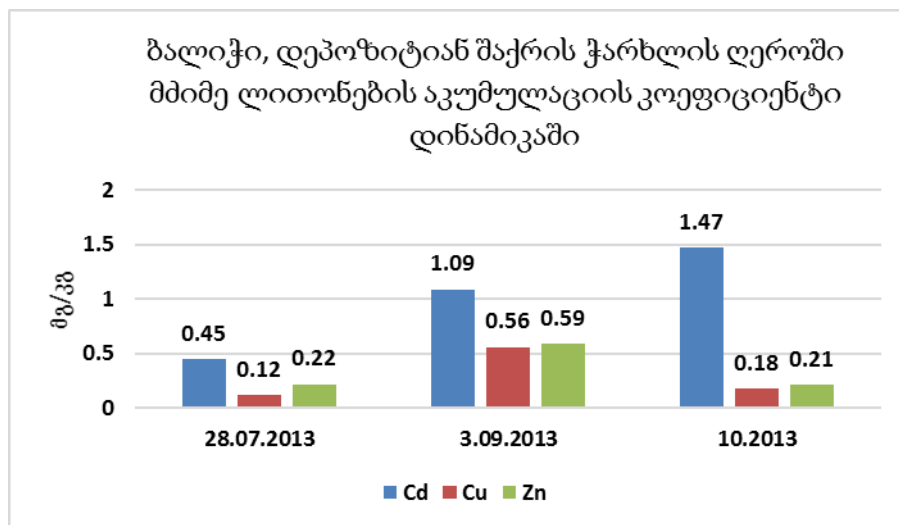
აკუმულაციის კოეფიციენტის ფორმულის შემოღება განხორციელდა იმ მიზნით, რომ დაგვედგინა ნიადაგიდან რა თანაფარდობით აკუმულირდება მცენარეში, ესა თუ ის ელემენტი. აკუმულაციის კოეფიციენტი დაანგარიშებულ იქნა 2013 წლის საკონტროლო და დეპოზიტით დამუშავებულ შაქრის ჭარხლის მონაცემებზე გადათვლით (ნახ. 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101). უკლებლივ ყველა შემთხვევაში აღმოჩნდა, რომ კადმიუმის აკუმულაციის კოეფიციენტი ბევრად მაღალია ვიდრე სპილენძის და თუთიის.



ნახაზი 94. სოფ. ბალიჭი, დეპოზიტთან შაქრის ჭარხლის ფოთოლში მძიმე ლითონების აკუმულაციის კოეფიციენტი დინამიკაში.

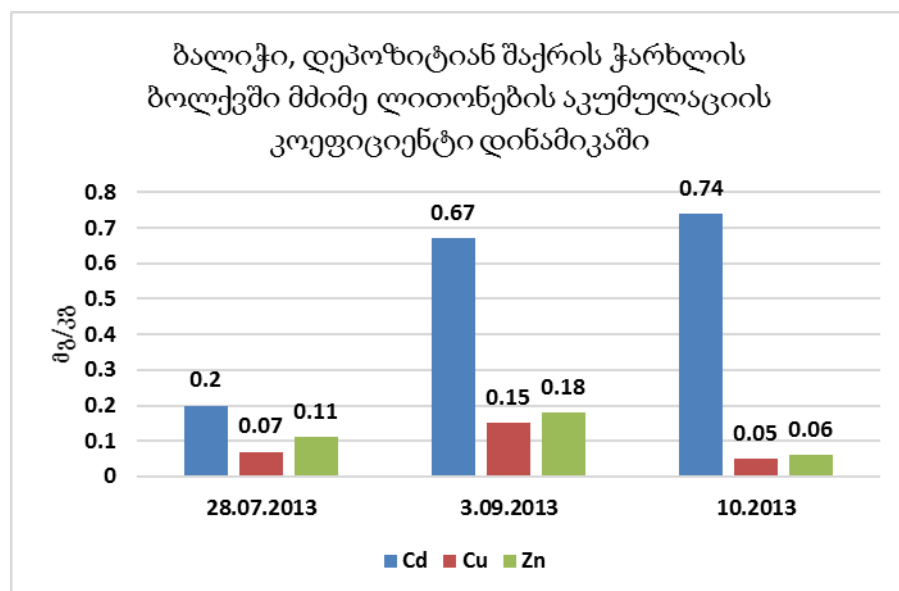
დეპოზიტთან შაქრის ჭარხლის ფოთოლში აკუმულაციის კოეფიციენტი დინამიკაშია გამოთვლილი, კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ კადმიუმის

კონცენტრაცია მკვეთრად აღემატება სპილენძის და თუთიის კონცენტრაციას. ნიადაგიდან მცენარეს შესწევს კადმიუმისადმი მაღალი აკუმულირების უნარი.



ნახაზი 95. სოფ. ბალიჭი, დეპოზიტთან შაქრის ჭარხლის ღეროში მძიმე ლითონების აკუმულაციის კოეფიციენტი დინამიკაში.

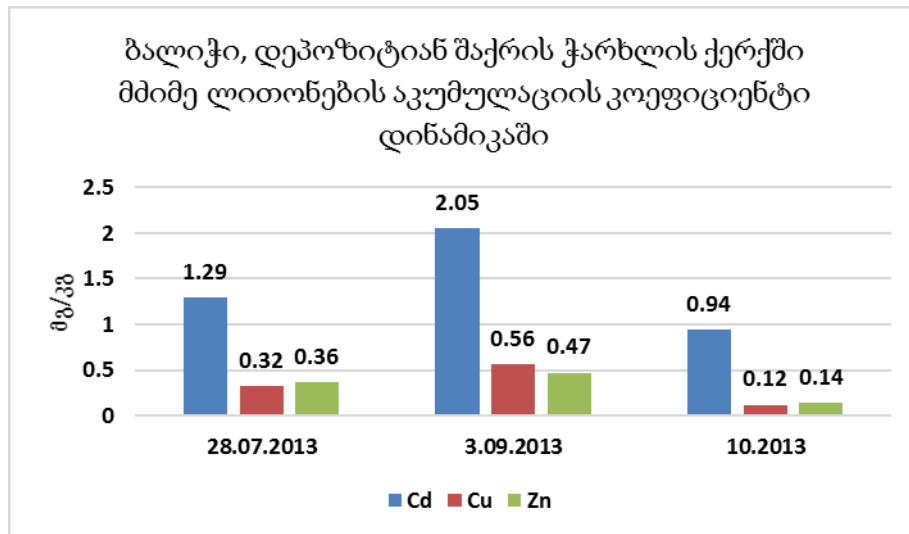
ღეროში კადმიუმის აკუმულაციის კოეფიციენტი დინამიკის მიხედვით 3-ჯერ იმატებს ოქტომბერში ივლისთან შედარებით. ხოლო სპილენძის და თუთიის კონცენტრაცია იკლებს და თითქმის ივნისის თვის ნიშნულს გაუტოლდა.



ნახაზი 96. სოფ. ბალიჭი, დეპოზიტთან შაქრის ჭარხლის ბოლქვში მძიმე ლითონების აკუმულაციის კოეფიციენტი დინამიკაში.

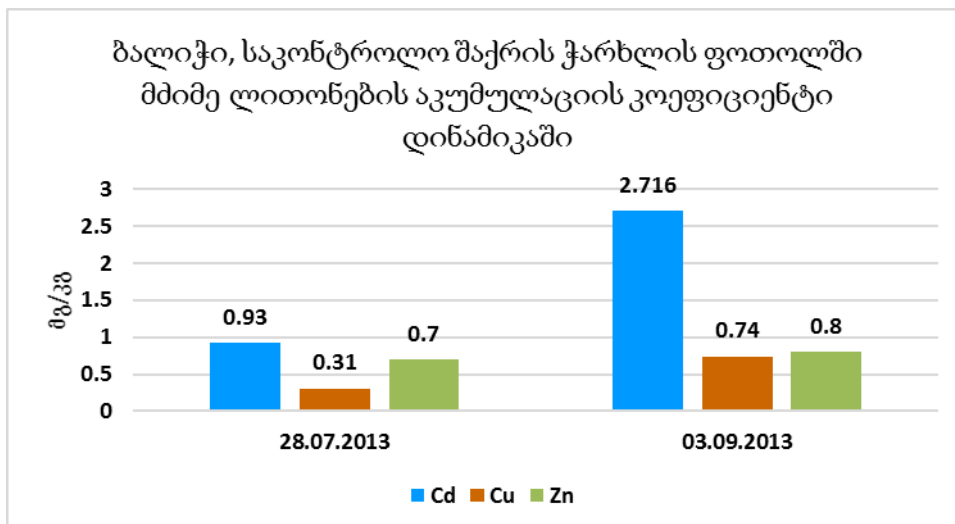
კადმიუმის აკუმულაცია მცენარის მიერ ყველა ორგანიზმში ჭარბობს, თუმცა ბოლქვში აკუმულაციის კოეფიციენტი შედარებით ნაკლებია ვიდრე სხვა ორგანოებში. ივნისში თუთიის და სპილენძის აკუმულაცია თითქმის 2-ჯერ ნაკლებია ვიდრე

კადმიუმის, სექტემბერში 4-ჯერ, ხოლო ოქტომბერში 12-ჯერ ნაკლები. დიაგრამებიდან კარგად ჩანს, რომ შემოდგომით როდესაც მცენარე კვდომას იწყებს კადმიუმის აკუმულაცია იზრდება, ხოლო სპილენძის და თუთიისა მცირდება.



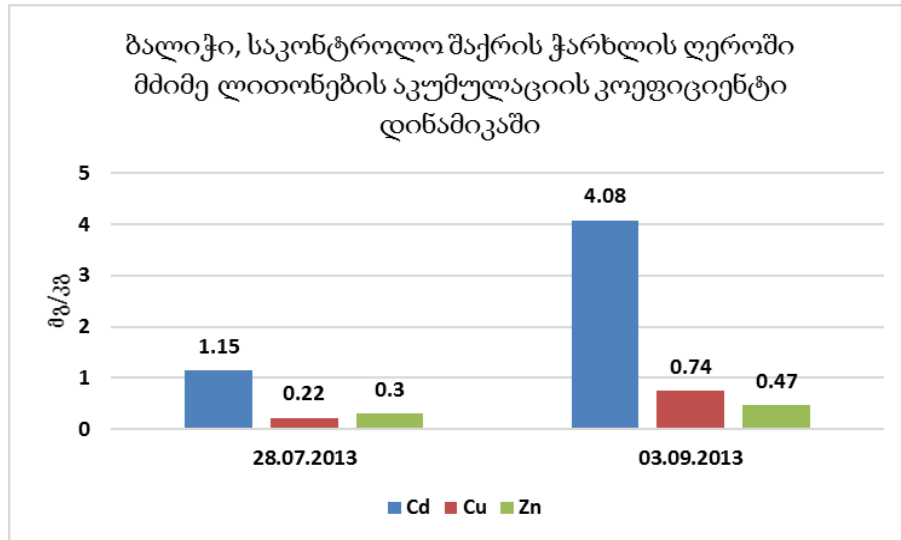
ნახაზი 97. სოფ. ბალიჭი, დეპოზიტთან შაქრის ჭარხლის ქერქში მძიმე ლითონების აკუმულაციის კოეფიციენტი დინამიკაში.

კადმიუმის აკუმულაცია ფოთოლსა და ქერქში მიმდინარეობს ყველაზე დიდი რაოდენობით. ივლისში კადმიუმის შთანთქმა 3-ჯერ მეტია სპილენძის და თუთიის აკუმულაციასთან შედარებით. სექტემბერში კვლავ იზრდება კადმიუმის აკუმულაცია, ხოლო ოქტომბერში სამივე ლითონის აკუმულაცია ნახევარდება სექტემბერთან შედარებით.



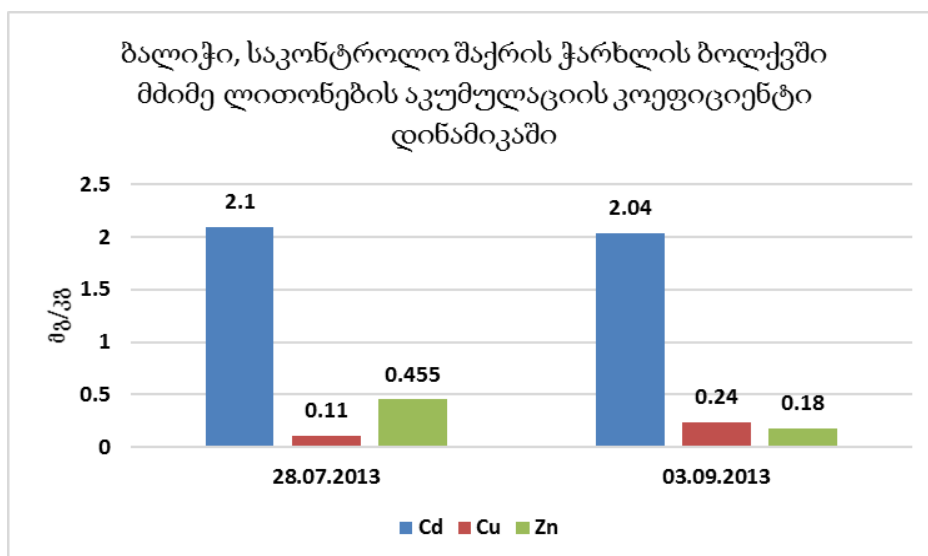
ნახაზი 98. სოფ. ბალიჭი, საკონტროლო შაქრის ჭარხლის ფოთოლში მძიმე ლითონების აკუმულაციის კოეფიციენტი დინამიკაში.

საკონტროლო შაქრის ჭარხლის გამოკვლევა მოხერხდა ივლისსა და აგვისტოში. საკონტროლო შაქრის ჭარხლის ფოთოლშიც საკმაოდ მაღალია კადმიუმის აკუმულაცია. ივლისში სპილენძთან მიმართებაში თითქმის 3-ჯერ აღემატება. სექტემბერში კი 3-ჯერ მომატებულია კადმიუმის კონცენტრაცია.

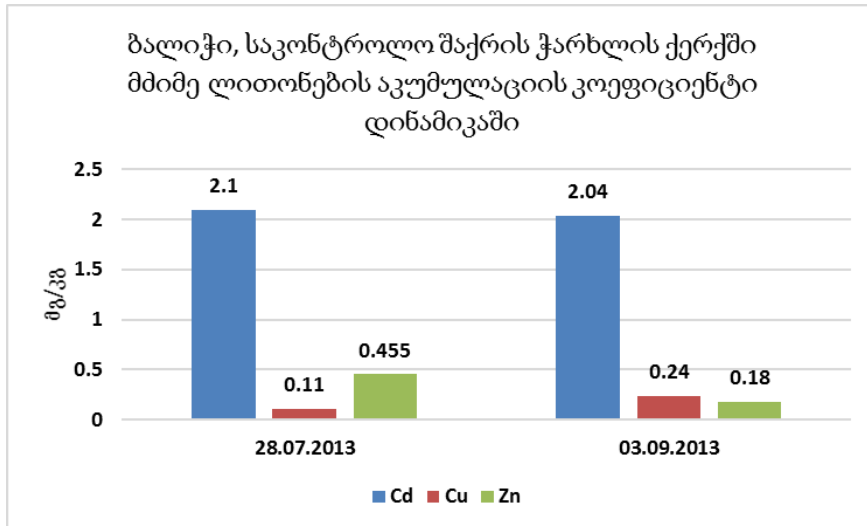


ნახაზი 99. სოფ. ბალიჭი, საკონტროლო შაქრის ჭარხლის დეროში მძიმე ლითონების აკუმულაციის კოეფიციენტი დინამიკაში.

საკონტროლო შაქრის ჭარხლის დეროში კადმიუმის აკუმულაციის კოეფიციენტი სექტემბერში ოთხმაგდება ივლისთან შედარებით, ხოლო სპილენძისა და თუთიის აკუმულაციის კოეფიციენტებს 5.5-ჯერ და 8.7-ჯერ აღემატება. სექტემბერში სპილენძისა და თუთიის აკუმულაციის კოეფიციენტებმა მოიმატა, ივლისთან შედარებით.



ნახაზი 100. სოფ. ბალიჭი, საკონტროლო შაქრის ჭარხლის ბოლქვში მძიმე ლითონების აკუმულაციის კოეფიციენტი დინამიკაში.

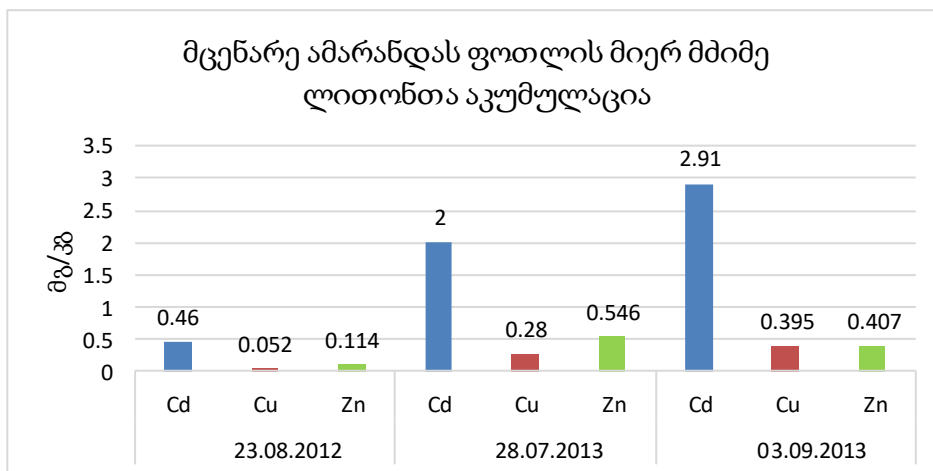


ნახაზი 101. სოფ. ბალიჭი, საკონტროლო შაქრის ჭარხლის ქერქში მძიმე ლითონების აკუმულაციის კოეფიციენტი დინამიკაში.

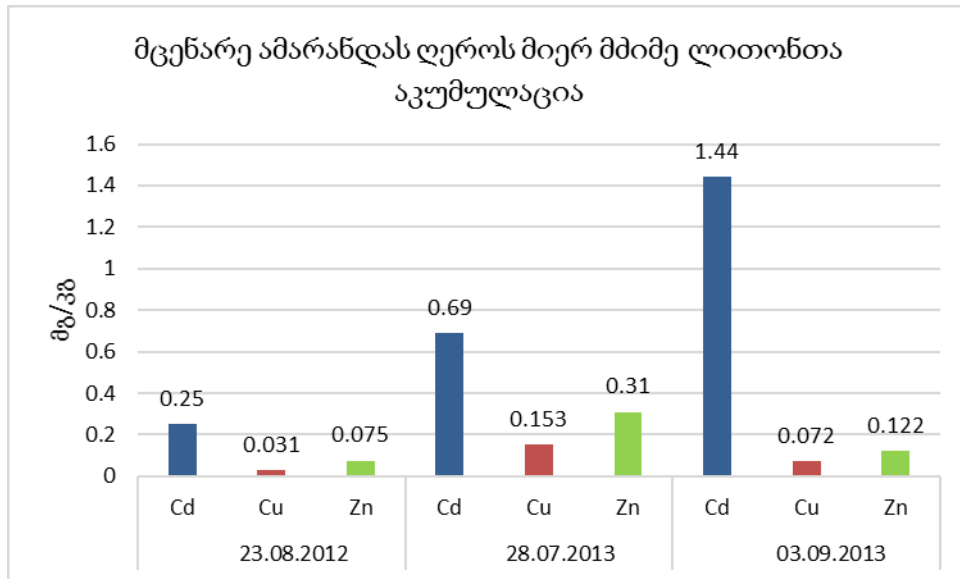
შაქრის ჭარხლის ბოლქვში და ქერქში კადმიუმის შთანთქმის მექანიზმი თითქმის ერთნაირია. ბოლქვში თითქმის 10-ჯერ მცირე რაოდენობის სპილენძის და თუთიის აკუმულირება ხდება ვიდრე კადმიუმის. ასევეა ქერქში, სადაც კადმიუმის მონაცემები ივლისსა და სექტემბერში ერთმანეთის მსგავსია, სპილენძისა და თუთიის კონცენტრაციები იცვლება.

ნიადაგში როდესაც ნაკლებია კადმიუმის კონცენტრაცია, რაც დაახლოებით ერთ მგ/კგ-ს შეადგენს, ასეთ შემთხვევაში ძალზედ მაღალია ნიადაგიდან კადმიუმის აკუმულაცია მცენარეში.

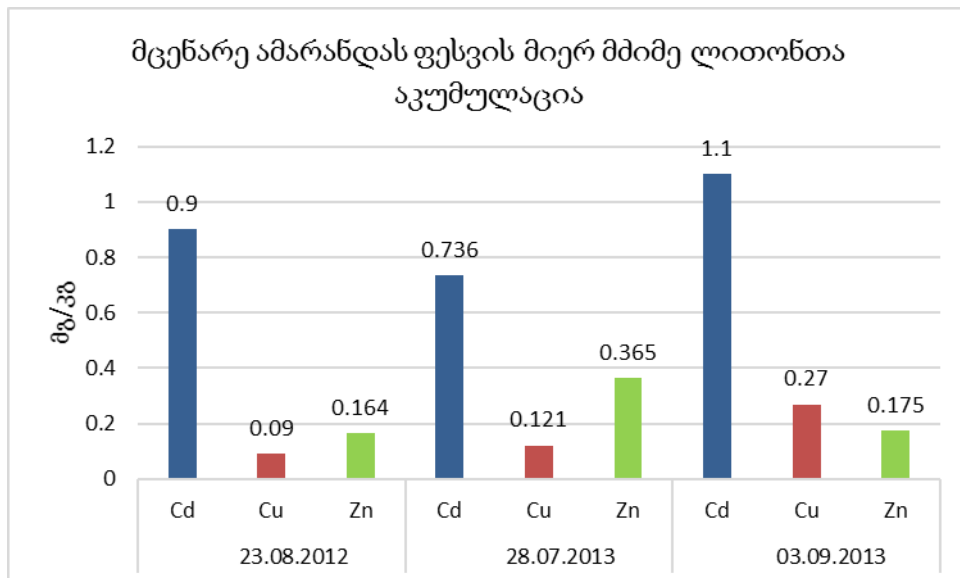
გამოთვლილია მცენარე ამარანდას აკუმულაციის კოეფიციენტები, საიდანაც დგინდება, რომ მსგავსად შაქრის ჭარხლისა ამარანდას აკუმულაციის კოეფიციენტიც იზრდება ნიადაგში კადმიუმის კონცენტრაციის შემცირებასთან ერთად. ნახ. 102, 103, 104.



ნახაზი 102. სოფ. ბალიჭი, მცენარე ამარანდას ფოთოლში მძიმე ლითონების აკუმულაციის კოეფიციენტი დინამიკაში.



ნახაზი 103. სოფ. ბალიჭი, მცენარე ამარანდას ღეროში მძიმე ლითონების აკუმულაციის კოეფიციენტი დინამიკაში.



ნახაზი 104. სოფ. ბალიჭი, მცენარე ამარანდას ფესვში მძიმე ლითონების აკუმულაციის კოეფიციენტი დინამიკაში.

ანუ Cu-ის ჯამური ამოღება ახლოს არის ნიადაგის ზედაპირზე მის მნიშვნელობასთან, ხოლო Zn-ის ამოღების ჯამური ამოღება ნიადაგში და სიღრმეზე მათი განაწილების საშუალო მნიშვნელობასთან (82.34). ეს შეიძლება იმით იყოს გამოწვეული, რომ ამ დროს კადმიუმის რაოდენობა დიდი არ იყო და Zn-ის ამოღება მოხდა თანაბრად როგორც სიღრმიდან ასევე ზედაპირიდან. თუთიისა და სპილენძის ამოღების მექანიზმი სხვადასხვაგვარია: Zn-ის ამოღება დამოკიდებული ფესვის, რომელი ნაწილია ჯანმრთელი, ხოლო Cu-ის ამოღება ხდება ყოველთვის ზედაპირიდან. 1.5 მგ/კგ Cd-ის რაოდენობა ფეხს აზიანებს, ხოლო 1.2 მგ/კგ კი არა.

დასკვნები

1. პირველადაა გამოკვლეული 76 ელემენტის შემცველობა ბოლნისის, დმანისის, ჭიათურის, ზესტაფონის და ოზურგეთის რაიონებში. გამოვლენილია მძიმე ლითონებით დაბინძურებული ნიადაგები, რაც გამოწვეულია ინდუსტრიული და კარიერული ქარხნების ზემოქმედებით.
2. შესწავლილია ტექნოგენურად დაბინძურებულ ნიადაგებზე მძიმე ლითონების ფიტომიგრაცია. დადგენილია, რომ ენდემური ჯიშის მცენარეებს შესწევთ მაღალი ფიტომიგრაციის უნარი და მიზანშეწონილია მათი გამოყენება ნიადაგების გასაწმენდად.
3. დადგენილია, რომ ბიოაქტივატორი ბიორაგი შეიძლება გამოყენებულ იქნას მცენარეში ფიტორემედიაციული თვისებების, როგორც გასაძლიერებლად, ასევე ტოქსიკური და ნაკლებ ტოქსიკური ლითონების აკუმულაციის შესამცირებლად.
4. პირველადაა შემუშავებული იაფი და მომგებიანი ტექნოლოგია, რომელიც წარმატებით შესაძლებელია გამოყენებული იყოს დაბინძურებული ნიადაგების გაწმენდის მიზნით. გამოვლენილია შაქრის ჭარხლის ფიტორემედიაციულ თვისებებზე ბიოაქტივატორების გავლენა.
5. დადგენილია, რომ შაქრის ჭარხალს და მწვანე ამარანდას კადმიუმის მაღალი აკუმულაციის უნარი აქვს, როდესაც ნიადაგში მისი კონცენტრაცია 1 მგ/კგ-ს შეადგენს. სპილენძის და თუთიის აკუმულაციის კოეფიციენტი კადმიუმთან შედარებით საშუალოდ 2-ჯერ და 5-ჯერ ნაკლებია.
6. დადგენილია, რომ ნიადაგში კადმიუმის კონცენტრაციის შემცირება 2.6 მგ/კგ-დან 1 მგ/კგ-მდე მკვეთრად ზრდის მცენარის მიერ არა მარტო კადმიუმის, არამედ სპილენძისა და თუთიის აკუმულაციას.
7. დადგენილია, რომ ბიოაქტივატორი ბიორაგი აძლიერებს მცენარე კარტოფილის ფიტორემედიაციულ თვისებებს.
8. დადგენილია, რომ სიმინდში კადმიუმი გრძელ მანძილზე ტრანსპორტირდება და ჭარბი რაოდენობით გროვდება სიმინდის ულვაშში და ყვავილში.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. R. Gakhokidze. 2012. On the Systematic approach of regulation of plant living processes, Information and computer technologies theory and practice. Chapter 46. N.Y.: Nova Science Publ. Inc., pp. 431-436.
1. მ. ლოლობერიძე. 1992. წყლის ეკოსისტემები, დაცვა და რაციონალური გამოყენება, „მეცნიერება“, თბილისი, 199-222 გვ.
2. R. Gakhokidze. 2008. Effects of Bioenergoactivators on Productivity of Plants // Chemistry of Advance Compounds and Materials. New York, Nova Science Publ. Inc., pp. 269-275.
3. E. Kruger, T. Arderson, J. Coats. 1997. Phytoremediation of soil and water contaminats., American Chemical society, Washington DC. pp. 25-95.
4. Chaney. 1973. Crop and food chain effects of toxic elements in sludges and effluents; Proceedings of the Joint Conference on 'Recycling Municipal Sludges and Effluents on Land' 1973. National Association of State Universities and Land-Grant Colleges, Washington DC, pp. 129-141.
5. S.V. Verkade. 2003. Dietary zinc reduces uptake but not metallothionein binding and elimination of cadmium in the springtail, *Orchesella cincta*; Environ. Toxicol. Chem. 22, pp. 1167-1171.
6. W. Ahmad, U. Najeeb and M.H. Zia. 2015. Soil Contamination with Metals: Sources, Types and Implications, Soil Remediation and Plants. Chapter 2. New-York-Paris-Tokyo, Elsevier, pp. 37-61.
7. P. Hooda. 2010. Trace Elements in soils, Wiley. book . pp. 9-148.
8. G. Avkopashvili, M. Avkopashvili, A. Gongadze, R. Gakhokidze. 2017. Eco-Monitoing of Georgia's Contaminated Soil and Water with Heavy Metals. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. 2017, Vol. 12, No. 2, pp. 595-604.
9. G. Khasitashvili, L. Machavariani, R. Gakhokidze. 2015. Improving Phytoremediation of Soil Polluted with Hydrocarbons in Georgia, Soil Remediation and Plants. Chapter 19. New-York-Paris-Tokyo, Elsevier, pp. 547-569.
10. E. Byrnes. 2009. Field sampling methods for remedial investigations, CRC press Taylor & Francis Group. pp. 102-150.
11. Martin Lukas, Douglas L. Godbold. 2011. Soil ecology in northern forests. Cambridge university press. pp. 95-120.
12. E. Pintoab, A. Aguiarc & I. Ferreiraa. 2014. Influence of Soil Chemistry and Plant Physiology in the Phytoremediation of Cu, Mn, and Zn, Critical Reviews in Plant Sciences, ISSN: 0735-2689, pp. 351-373.
13. M.A. Rahman, H. Hasegawa. 2011. Aquatic arsenic: Phytoremediation using floating macrophytes, Chemosphere, Elsevier 83, pp. 633-646.
14. T. Leveque, Y. Capowiez, E. Schreck, C. Mazzia, M. Auffan, Y. Foucault, A. Austruy, C. Dumat. 2013. Assessing ecotoxicity and uptake of metals and metalloids in relation to two

- different earthworm species (*Eiseina hortensis* and *Lumbricus terrestris*), *Environmental Pollution* 179 (2013). pp. 232-241.
15. N.Y. Li, Q.L. Fu, P. Zhuang, B. Guo, B. Zou, Z. Li. 2012. Effect of Fertilizers on Cd Uptake of *Amaranthus hypochondriacus*, a High Biomass, Fast Growing and Easily Cultivated Potential Cd Hyperaccumulator, *International Journal of Phytoremediation*. pp. 162-173
 16. I. Brunner, J. Luster, M.S. Günthard, B. Frey. 2008. Heavy metal accumulation and phytostabilisation potential of tree fine roots in a contaminated soil. *Environ. Pollut.* 152: pp. 559-568.
 17. W. Wenzel. 2008. Rhizosphere processes and management in plant-assisted bioremediation (phytoremediation) of soils, *Plant Soil*. DOI 10.1007/s11104-008-9686-1. pp. 385-408.
 18. M.V. Prasad. 2003. Metal hyperaccumulation in plants - Biodiversity prospecting for phytoremediation technology, *Electronic Journal of Biotechnology* ISSN: 0717-3458. pp. 285-321.
 19. G. Petruzzelli, F. Pedron, M. Barbaferi, E. Tassi, F. Gorini, I. Rosellini. 2012. Enhanced Bioavailable Contaminant Stripping: a Case Study of Hg Contaminated Soil, *Chemical Engineering Transaction*, ISSN 1974-9791. pp. 211-216.
 20. M. Barbaferi, C. Dadea, E. Tassi, F. Bretzel and L. Fanfani. 2011. Uptake of Heavy Metals by Native Species Growing in a Mining Area in Sardinia, Italy: Discovering Native Flora for Phytoremediation, *International Journal of Phytoremediation*, ISSN:1522-6514. pp.985-997.
 21. F. M. Mtunzi1, E. D. Dikio, S. J. Moja. 2015. Evaluation of Heavy Metal Pollution on Soil in Vanderbijlpark, South Africa, *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis* 3(2), ISSN: 2328-7667. pp. 44-49.
 22. T.M. Palapaa, A.A. Maramisa. 2015. Heavy Metals in Water of Stream Near an Amalgamation Tailing Ponds in Talawaan –Tatelu Gold Mining, North Sulawesi, Indonesia, *Procedia Chemistry* 14, pp. 428-436.
 23. B.M. Zadeh, G.R. Savaghebi-Firozabadi, H.A. Alikhani and H. M. Hosseini. 2008. Effect of Sunflower and *Amaranthus* Culture and Application of Inoculants on Phytoremediation of the Soils Contaminated with Cadmium, *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 4 (1). pp. 93-103.
 24. G. Avkopashvili, A. Gongadze, R. Gaxokidze, M. Avkopashvili. 2015. Phytoremediation of contaminated soils, contaminated with heavy metals from gold mine in Georgia. International conference “Applied ecology: Problems. Innovations” Proceedings ICAE-2015. pp. 154-157.
 25. M. Rahimi, R. Farhadi, R. Mehdizadeh. 2013. Phytoremediation: Using plants to clean un contaminated soils with heavy metals *International Journal of Agriculture: Research and Review*. Vol., 3 (1), ISSN 2228-7973 ©2013 ECISI Journals. pp.148-152.
 26. ვ. ლარსერი. 2006. მცენარეთა ეკოლოგია. თბილისი, 16-150 გვ.

27. T. Leveque, Y. Capowiez, E. Schreck, T. Xiong, Y. Foucault, C. Dumat. 2014. Earthworm bioturbation influences the phytoavailability of metals released by particles in cultivated soils, *Environmental Pollution* 191 (2014), pp. 199-206.
28. Hester and Harrison. 2001. *Assessment and reclamation of contaminated land*, Royal society of chemistry. pp. 45-85.
29. გ. ჩხაიძე. 2003. მცენარეთა ფიზიოლოგია. თბილისი, 21-200-378 გვ.
30. S.H. Raza, F. Shafiq, U. Rashid, M. Ibrahim and M. Adrees. 2015. Remediation of Cd-Contaminated Soils: Perspectives and Advancements, *Soil Remediation and Plants*. Chapter 20. New-York-Paris-Tokyo, Elsevier, pp. 571-597.
31. G. Holliday, L. Deuel. 2009. *Guide book for waste and soil remediation*, Asme press. pp. 56-162.
32. F. Nannoni, S. Rossi, G. Protano. 2014. Soil properties and metal accumulation by earthworms in the Siena urban area (Italy), *Applied Soil Ecology* 77 (2014) pp.9-17.
33. R. Moogouei, M. Borghei, R. Arjmandi. 2011. Phytoremediation of stable Cs from solutions by *Calendula alata*, *Amaranthus chlorostachys* and *Chenopodium album*, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volume 74, Issue 7, October 2011, pp. 2036-2039.
34. M. Imperatoa, P. Adamob, D. Naimoa, M. Arienzob, D. Stanzionea, P. Violanteb. 2003. Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy), *Environmental Pollution* 124, pp. 247-256.
35. D. Kereselidze, L. Matchavariani, B. Kalandadze, V. Trapaidze. 2013. Allowable Soil Erosion Rates in Georgia, *Eurasian Soil Science*, Springer, vol. 46, #4, ISSN: 1064-2293. pp. 438-446.
36. N. Shevyakova, A. Cheremisina, V. Kuznetsov. 2011. Phytoremediation potential of *Amaranthus* hybrids: Antagonism between nickel and iron and chelating role of polyamines, *Russian Journal of Plant Physiology*, July 2011, Volume 58, Issue 4, pp. 634-642.
37. M.A. Rahman, H. Hasegawa. 2011. Aquatic arsenic: Phytoremediation using floating macrophytes, *Chemosphere* 83 (2011), pp. 633-646.
38. გ. ავთოიანი. 2016. მონოგრაფია. ნიადაგების ფიტორემედიაცია. გამომცემლობა შ.პ.ს. დი-ენდ-ჯი. ISBN 978-9941-0-8565-9. 198 გვ.
39. A. Schroeder, J, Balassa. 1963. Cadmium: uptake by vegetables from superphosphate in soil; *Science*, 140, pp. 819-820.
40. A.W. Raymond and E. O. Felix. 2011. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *International Scholarly Research Network Ecology*, Volume 2011, Article ID 402647, p 20.
41. G. Chibuikie and S. Obiora. 2014. Heavy Metal Polluted Soils: Effect on Plants and Bioremediation Methods, *Applied and Environmental Soil Science*, Volume 2014, Article ID 752708, p 12.

42. G.li. Liao, D.x. Liao, Q.m. LI. 2008. Heavy metals contamination characteristics in soil of different mining activity zones, *Transaction Nonferrous Metals Society of China* 18, pp. 207-211.
43. M.C.Jung, I. Thornton. 1996. Heavy metal contamination in soils and plants around a copper-tungsten mine in South Korea, *Applied Geochemistry*, Vol. 11, pp. 53-59.
44. M.D. Chinmayee, B. Mahesh, S. Pradesh, I. Mini, T.S. Swapna. 2012. The assessment of phytoremediation potential of invasive weed *Amaranthus spinosus*, *Appl Biochem Biotechnol.* 2012 Jul;167(6):1550-9. doi: 10.1007/s12010-012-9657-0. pp. 127-132.
45. C.G. Lee, H.Taek Chon, M.Ch. Jung. 2001. Heavy metal contamination in the vicinity of the Daduk Au–Ag–Pb–Zn mine in Korea, *Applied Geochemistry* 16, pp.1377–1386.
46. H. Wit, M. Kainz, M. Lindholm. 2012. Methylmercury bioaccumulation in invertebrates of boreal streams in Norway: Effects of aqueous methylmercury and diet retention, *Environmental Pollution* 164 (2012) pp.235-241.
47. R. Clemente, D.J. Walker, M.P. Bernal. 2005. Uptake of heavy metals and As by *Brassica juncea* grown in a contaminated soil in Aznalco' llar (Spain): The effect of soil amendments, *Environmental Pollution* 138, pp.46-58.
48. N.Y. Li, Z. Li, Q. Fu. 2013. Agricultural Technologies for Enhancing the Phytoremediation of Cadmium-Contaminated Soil by *Amaranthus hypochondriacus* L, *Water, Air, & Soil Pollution*, August 2013, pp.224-1673.
49. X. Liua, C. Hua, S. Zhang. 2005. Effects of earthworm activity on fertility and heavy metal bioavailability in sewage sludge, *Environment International* 31 (2005), pp.874 – 879.
50. S. YU and R.P. LANNON. 2010. Uptake kinetics and subcellular compartmentalization of cadmium in acclimated and unacclimated earthworms (*Eisenia Andrei*), *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 29, No. 7, pp. 1568–1574.
51. C.O. Hong, D.K. Lee, D.Y. Chung, P.J. Kim. 2007. Liming Effects on Cadmium Stabilization in Upland Soil Affected by Gold Mining Activity. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 52, pp.496–502.
52. G. Avkopashvili, M. Avkopashvili, A. Gongadze, M. Tsulukidze, E. Shengelia. 2017. Determination of Cu, Zn and Cd in Soil, Water and Food Products in the Vicinity of RMG Gold and Copper Mine, Kazreti, Georgia. *Annals of Agrarian Science*. pp. 1-4.
53. N. Wanat, E. Joussein, M. Soubbrand, J. F. Lenain. 2014. Arsenic (As), antimony (Sb), and lead (Pb) availability from Au-mine Technosols: a case study of transfer to natural vegetation cover in temperate climates, *Environ Geochem Health* 36, pp.783–795.
54. L. Rodriguez, E. Ruiz, J. Alonso-Azcarate, J. Rincon. 2009. Heavy metal distribution and chemical speciation in tailings and soils around a Pb–Zn mine in Spain, *Journal of Environmental Management* 90, pp.1106–1116.
55. A.P. Duarte, V. F. Melo, G.G. Brown & V. Pauletti. 2014. Earthworm (*Pontoscolex corethrurus*) survival and impacts on properties of soils from a lead mining site in Southern Brazil, *Biol Fertil Soils* (2014) 50. pp.851–860.

56. K. Kalbitz, R. Wennrich. 1990. Mobilization of heavy metals and arsenic in polluted wetland soils and its dependence on dissolved organic matter. *The Science of the Total Environment* 209, pp. 27-39.
57. J. Beth, C. Poschenrieder, M. Llugany, J. Barcelo, P. Tumea, F.J. Tobias, J.L. Barranzuela, E.R. Vasque. 1997. Arsenic and heavy metal contamination of soil and vegetation around a copper mine in Northern Peru. *The Science of the Total Environment* 203, pp. 83-91.
58. E. Galan, J.L. Gomez-Arizab, I. Gonzalez, J.C. Fernandez-Calianic, E. Moralesb and I. Giraldez. 2003. Heavy metal partitioning in river sediments severely polluted by acid mine drainage in the Iberian Pyrite Belt, *Applied Geochemistry* 18, pp.409–421.
59. I. Kavtaradze, G. Avkopashvili, E. Shengelia, L. Gvasalia. 2012. Monitoring of heavy metals in soils and plants, Georgian Technical University, Proceedings #3 (485). pp.66-70.
60. T. Hanauer, P. Felix-Henningsen, D. Steffens, B. Kalandadze, L. Navrozashvili, T. Urushadze. 2011. In situ stabilization of metals (Cu, Cd, and Zn) in contaminated soils in the region of Bolnisi, Georgia, *Plant Soil* 341, pp.193–208.
61. თ. ურუშაძე. 1997. საქართველოს ძირითადი ნიადაგები. მეცნიერება, თბილისი. 25-76.
62. B. Kalandaze, T. Hanauer, P. Felix-Henningsen, T. Urushadze, E. Narimanidze, D. Steffens. 2009. Mining and Agriculture in the Mashavera valley (SE Georgia) – A land use conflict with severe consequences, *Biolog. Journal of Armenia*, 2 (61). Pp. 10-15.
63. L. Matchavariani, B. Kalandadze. 2012. Pollution of soils by heavy metals from irrigation rear mining region of Georgia, *Forum Geografic*, Volume XI, pp. 127-136.
64. P. Felix-Henningsen, T. Urushadze, D. Steffens, B. Kalandadze, E. Narimanidze. 2010. Uptake of heavy metals by food crops from highly-polluted Chernozem-like soils in an irrigation district south of Tbilisi, eastern Georgia, *Agronomy Research* 8 (1), pp.781–795.
65. L. Matchavariani, B. Kalandadze, L. Lagidze, N. Gokheliashvili, N. Paichadze, G. Dvalashvili. 2014. Soil quality changes in response to their pollution by heavy metals, Georgia, *ournal of Environmental Biology*, VoL 36, pp. 85-90.
66. რ. გახოკიძე. 2002. ბიოენერგოაქტივატორი. თბილისი, გამომც. „ჯისი-აი“. 250 გვ.
67. რ. გახოკიძე. 2008. უხვი მოსავლის საწინდარი. თბილისი, გამომც. „ჯი-სი-აი“. 150 გვ.
68. რ. გახოკიძე. 2014. „მწვანე ბიორგანული რევოლუციის“ საწყისებთან. თბილისი, თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა. 112 გვ.