



საქართველოს საპატრიარქოს წმიდა ანდრია პირველწოდებულის  
სახელობის ქართული უნივერსიტეტი

გიორგი მაისურაძე

საქართველოს ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება და  
NO/CO-ს ერთობლივი კონვერსიით გაწმენდის  
შესაძლებლობა მოდიფიცირებული ბუნებრივი  
ცეოლითების მონაწილეობით

*დოქტორანტის სამეცნიერო ხელმძღვანელი  
შოთა სიდამონიძე  
ქიმიის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი*

თბილისი

2015

## ს ა რ ჩ ე ვ ი

ანოტაცია.....	8
შესავალი.....	13
თავი I. ლიტერატურის მიმოხილვა.....	17
I.1. ატმოსფეროს დაბინძურება.....	17
I.2. ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების წყაროები.....	19
I.3. ატმოსფეროს დაბინძურება აეროზოლებით.....	22
I.4. გოგირდოვანი და ფოტოქიმიური ნისლი (სმოგი).....	24
I. 5. მჟავე ატმოსფერული ნალექების გამოყოფა.....	27
I.6. ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება ავტოტრანსპორტის გამონაბოლქვის მავნე კომპონენტებით.....	28
I.7. ატმოსფეროს დაბინძურების გავლენა ადამიანზე, მცენარეებზე და ცხოველთა სამყაროზე.....	30
I.8. საერთაშორისო ძალისხმევა.....	32
I.9. ძირითად დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ბაზა.....	38
I.10. საქართველოს გარემოს დაცვით სფეროში მოქმედი სამართლებრივი ბაზა.....	46
I.11. საქართველოში მოქმედი გარემოსდაცვითი კანონები.....	47
I.12. საერთაშორისო ნორმატიული დოკუმენტები.....	48
I.13. საქართველოში და მსოფლიოში ატმოსფერული ჰაერის ზღვა.....	50
თავი II. ექსპერიმენტული ნაწილი.....	53
II.1. კვლევის მეთოდები და ექსპერიმენტის მეთოდოლოგია.....	53
II.2. ბუნებრივი ცეოლითის-კლინოპთილოლითის მოდიფიცირება.....	53
II.3. დამზადებული კატალიზატორების ანალიზი.....	54
II.4. კატალიზატორებისა და საწყისი ნივთიერებების მომზადება კატალიზური ცდებისათვის.....	55
II. 5. კატალიზური ექსპერიმენტის მეთოდოლოგიის აღწერა.....	56
II.6. რეაქციის პროდუქტების ანალიზი.....	57
თავი III. საქართველოს ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება და ხარისხობრივი მდგომარეობა.....	58

III.1. საქართველოში ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება სტაციონალური წყაროებიდან და ავტოტრანსპორტიდან.....	58
III.2. ატმოსფერული ჰაერის მონიტორინგი საქართველოში.....	74
III.3. საქართველოში ატმოსფერული ჰაერის მდგომარეობა 2006-2013 წლებში.....	78
თავი IV. გამონაბოლქვი აირების გაწმენდის მეთოდები და კატალიზატორები.....	84
IV.1. გამონაბოლქვი აირების გაწმენდის კატალიზური მეთოდები.....	84
IV.2. გამოფრქვეული და გამონაბოლქვი აირების გამწმენდი კატალიზატორები....	86
IV.3. ცეოლიტებზე დაფუძნებული გამწმენდი კატალიზატორები.....	89
თავი V. სინთეზური და ბუნებრივი ცეოლიტების ზოგადი მიმოხილვა.....	91
V.1. ცეოლიტების სტრუქტურა.....	91
V.2. X და Yცეოლიტების (ფოჟაზიტები) აგებულება.....	92
V.3. ბუნებრივი ცეოლიტები.....	93
V.4. გარდამავალი ლითონის შემცველი ცეოლიტების კატალიზური აქტიურობა ჟანგვა-აღდგენით რეაქციებში.....	96
V.5. NO და CO ერთობლივი ჟანგვა-აღდგენითი კატალიზური გარდაქმნა.....	99
თავი VI. კატალიზური ექსპერიმენტების შედეგები და განსჯა.....	103
VI.1. NO -ს კატალიზური გარდაქმნა სხვადასხვა აღმდგენებით.....	103
VI.2. პოლივალენტური კატიონების ზეგავლენა NO -ს H <sub>2</sub> , CO, NH <sub>3</sub> , CH <sub>4</sub> -ით კატალიზურ აღდგენაზე.....	104
VI.3. ბუნებრივი ცეოლიტის სტრუქტურის გავლენა NO -ს H <sub>2</sub> , CO, NH <sub>3</sub> , CH <sub>4</sub> -ით კატალიზურ აღდგენაზე.....	107
VI.4. NO/CO თანაფარდობის გავლენა აზოტის და ნახშირბადის მონოოქსიდების კონვერსიის ხარისხზე.....	109
VI.5. ცეოლიტის მოდიფიცირების გავლენა (NO + CO) ერთობლივ კონვერსიაზე.....	111
VI.6. ზოგიერთი მიღებული ცეოლიტური ნიმუშების ეპრ კვლევა.....	112
VI.7. ცეოლიტურ სისტემებზე NO-ს სელექტიური კატალიზური აღდგენის სავარაუდო მექანიზმები.....	115
დასკვნები.....	118
გამოყენებული ლიტერატურა.....	122
დანართი.....	134

## ცხრილები

ცხრილი N1. ზოგიერთი აეროზოლის ნაწილაკების ზომები.....	22
ცხრილი N2. ტექნოგენური მტვერის ზოგიერთ წყაროები.....	23
ცხრილი N3. SO <sub>2</sub> -ის რეგიონალური ემისია 1990-2011; SO <sub>2</sub> ტგ.....	36
ცხრილი N4. SO <sub>2</sub> -ის სექტორული ემისია 1990-2011; SO <sub>2</sub> ტგ.....	37
ცხრილი N5. ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციები.....	51
ცხრილი N6. ბუნებრივი ცეოლითების CL და MOR საფუძველზე დამზადებული კატალიზატორების ქიმიური შედგენილობა.....	54
ცხრილი N7. მავნე ნივთიერებათა გაფრქვევის მაჩვენებელი რეგიონების მიხედვით (2012 წელი).....	60
ცხრილი N8. მავნე ნივთიერებათა გაფრქვევის მაჩვენებელი ქალაქების მიხედვით (2013 წელი).....	62
ცხრილი N9. ატმოსფერულ ჰაერში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებათა რაოდენობა ძირითადი მსხვილი დამაბინძურებელი საწარმოების მიხედვით (2012 წელი).....	65
ცხრილი N10. ატმოსფერულს ჰაერში მავნე ნივთიერებათა გაფრქვევის მაჩვენებლები ძირითადი მსხვილი დამაბინძურებელი საწარმოების მიხედვით (2004 - 2012 წელი).....	66
ცხრილი N11. საქართველოში არსებული მილსადენების ზემოქმედება ატმოსფერულ ჰაერზე.....	68
ცხრილი N12. ბენზინის ხარისხობრივი ნორმები.....	73
ცხრილი N13. დიზელის ხარისხობრივი ნორმები.....	73
ცხრილი N14. ატმოსფეროში ავტომანქანების მიერ გაფრქვეული მავნე ნივთიერებების რაოდენობა სახეობების მიხედვით (2005-2013) .....	73
ცხრილი N15. ატმოსფერული ჰაერის მავნე ნივთიერებებით დაბინძურების ინდექსები.....	75
ცხრილი N16. საქართველოში არსებული სადამკვირვებლო პუნქტების განაწილება ქალაქების მიხედვით.....	76
ცხრილი N17. კონვერსიის ხარისხის დამოკიდებულება რეაგენტების თანაფარდობაზე 673K CuFeCL-ზე.....	109

## ნ ა ხ ა ზ ე ბ ი

ნახაზი N1. ატმოსფეროში გაფრქვეული ნახშირბადის რაოდენობა 1751-2007 წლებში...	20
ნახაზი N2. ატმოსფეროში სხვადასხვა სახით გაფრქვეული ნახშირბადის რაოდენობა წლების მიხედვით.....	21
ნახაზი N3. ატმოსფეროში გაფრქვეული ნახშირბადის რაოდენობა წლების მიხედვით ერთ სულ მოსახლეზე.....	21
ნახაზი N4. PM <sub>2.5</sub> ნაწილაკების ზეგავლენა ჩინეთის, დიდი ბრიტანეთის და აშშ მოსახლეობაზე.....	44
ნახაზი N5. მიკრონაკადური დანადგარი.....	56
ნახაზი N6. ქვეყნის მასშტაბით რეგიონების დაბინძურების წილი (2012 წელი).....	61
ნახაზი N7. ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელი ქალაქები (2013 წელი).....	63
ნახაზი N8. მსხვილი ქალაქების წილი რეგიონის ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებაში (2009-2013).....	63
ნახაზი N9. მსხვილი ქალაქების წილი ქვეყნის ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებაში (2009-2013).....	64
ნახაზი N10. ნახაზი N10. ძირითადი დამაბინძურებელი საწარმოების წვლილი ქვეყნის ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებაში (2012 წელი).....	66
ნახაზი N11. ატმოსფერულ ჰაერში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებათა რაოდენობა 2001-2012 წლების მიხედვით.....	69
ნახაზი N12. სტაციონალური წყაროებიდან და ავტოტრანსპორტიდან ატმოსფეროში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებები.....	70
ნახაზი N13. სატრანსპორტო საშუალებების რაოდენობა.....	71
ნახაზი N14. ავტოტრანსპორტის მიერ მოხმარებული საწვავის რაოდენობა (2000-2011).....	71
ნახაზი N15. სატრანსპორტო საშუალებები საქართველოში.....	71
ნახაზი N16. სატრანსპორტო საშუალებების ასაკი.....	72
ნახაზი N17. ატმოსფეროში ავტომანქანების მიერ გაფრქვეული მავნე ნივთიერებები სახეობების მიხედვით (2005-2013).....	74
ნახაზი N18. მტვრის საშუალო წლიური კონცენტრაცია (ზდკ - 0.15 მგ/მ <sup>3</sup> ).....	78

ნახაზი N19. გოგირდის დიოქსიდის საშუალო წლიური კონცენტრაცია (ზდკ -0.05 მგ/მ <sup>3</sup> ).....	79
ნახაზი N20. აზოტის დიოქსიდის საშუალო წლიური კონცენტრაცია (ზდკ -0.04 მგ/მ <sup>3</sup> ).....	79
ნახაზი N21. აზოტის მონოოქსიდის საშუალო წლიური კონცენტრაცია (ზდკ -0.06 მგ/მ <sup>3</sup> ).....	80
ნახაზი N22. ნახშირბადის მონოოქსიდის საშუალო წლიური კონცენტრაცია (ზდკ -3.0 მგ/მ <sup>3</sup> ).....	80
ნახაზი N23. ტყვიის საშუალო წლიური კონცენტრაცია (ზდკ -0.0003 მგ/მ <sup>3</sup> ).....	81
ნახაზი N24. ოზონის საშუალო წლიური კონცენტრაცია (ზდკ -0.03 მგ/მ <sup>3</sup> ).....	81
ნახაზი N25. მანგანუმის დიოქსიდის საშუალო წლიური კონცენტრაცია (ზდკ -0.001 მგ/მ <sup>3</sup> ).....	82
ნახაზი N26. კერამიკული მონოლითური კატალიზატორის სქემა.....	87
ნახაზი N27. კერამიკული მონოლითური კატალიზატორი.....	88
ნახაზი N28. კუბოქტაედრების შეერთების სახე ფოჟაზიტის ტიპის ცეოლითში.....	93
ნახაზი N29. კლინოპთილოლითის აგებულება.....	95
ნახაზი N30. კატიონების ლოკალიზაციის პოზიციების სქემა CL -ის A და B არხებში.....	95
ნახაზი N31. CL ტეტრაედრული მოდელი, რომელზეც ასახულია 10-წევრიანი A და 8-წევრიანი B არხები, დაკავშირებული 8-წევრიანი C არხებით.....	96
ნახაზი N32. კატალიზატორის ზედაპირზე მიმდინარე დაჟანგვის რეაქციის მექანიზმი.....	100
ნახაზი N33. CO-ს დაჟანგვის სქემატური გამოსახვა.....	101
ნახაზი N34. NO-ს გარდაქმნის ხარისხის ტემპერატურული დამოკიდებულება საწყის CL-ზე H <sub>2</sub> , CO, NH <sub>3</sub> , CH <sub>4</sub> -ით აღდგენის რეაქციებში.....	104
ნახაზი N35. NO-ს გარდაქმნის ხარისხის ტემპერატურული დამოკიდებულება CuCL-ზე H <sub>2</sub> (4), CO(2), NH <sub>3</sub> (5), CH <sub>4</sub> -ით (3) აღდგენის და NO -ის დაშლის (1) რეაქციებში.....	106
ნახაზი N36. NO-ს გარდაქმნის ხარისხის ტემპერატურული დამოკიდებულება CuFeCL-ზე H <sub>2</sub> , CO, NH <sub>3</sub> , CH <sub>4</sub> -ით აღდგენის რეაქციებში.....	107
ნახაზი N37. CL, CuCL და CuFeCL შედარებითი აქტიურობა NO და CO ერთობლივ კონვერსიაში 623K-ზე.....	107

ნახაზი N38. NO-ს გარდაქმნის ხარისხის ტემპერატურული დამოკიდებულება დაშლის (o - 1) და CO-თან ერთობლივ კონვერსიაში (◆ - 2), CH <sub>4</sub> (▲ - 3), H <sub>2</sub> (◇ - 4) и NH <sub>3</sub> -თან (● -5) CuMOR-ზე.....	108
ნახაზი N39. NO და CO-ს კონვერსიის ხარისხის ტემპერატურული დამოკიდებულება ერთობლივ ჟანგვა-აღდგენით რეაქციაში CuCL-ზე.....	110
ნახაზი N40. NO და CO-ს გარდაქმნის ხარისხის ტემპერატურული დამოკიდებულება CL და CuFeDeCL ცეოლითებზე; 1. NO – CuDeFeCL-ზე; 2. CO – CuDeFeCL-ზე; 3. NO – CL-ზე; 4. CO – CL-ზე.....	110
ნახაზი N41. NO-ს გარდაქმნის ტემპერატურული დამოკიდებულება CL სხვადასხვა ფორმისათვის.....	111
ნახაზი N42. CO-ს გარდაქმნის ტემპერატურული დამოკიდებულება CL სხვადასხვა ფორმისათვის.....	112
ნახაზი N43. საწყისი CL-ის ეპრ სპექტრი.....	113
ნახაზი N44. FeDeCL-ის ეპრ სპექტრი.....	114
ნახაზი N45. CuHCL-ის ეპრ სპექტრი.....	114

## ანოტაცია

ატმოსფერული ჰაერი, ნიადაგთან და წყალთან ერთად ჩვენი გარემომცველი სამყაროს უმნიშვნელოვანეს ნაწილს წარმოადგენს. ადამიანი თავისი არსებობის მანძილზე სისტემატურად აბინძურებდა ატმოსფეროს. დაბინძურების პროცესი განსაკუთრებით გაფართოვდა XIX საუკუნის 50-იანი წლებიდან, როდესაც ინდუსტრიული რევოლუცია დაიწყო. მოქმედი საწარმოების და სისტემატურად მზარდი ავტოპარკის გავლენით განუწყვეტლივ იზრდებოდა ატმოსფეროში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებების რაოდენობა. შედეგად ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციაზე გადაჭარბებული რაოდენობა უარყოფითად აისახა ცოცხალ ორგანიზმებზე, მათ შორის ადამიანზეც.

წარმოდგენილ ნაშრომში დადგენილ იქნა საქართველოს ატმოსფერული ჰაერის მდგომარეობა განსაზღვრულ იქნა ძირითადი დამაბინძურებელი კომპონენტები, გამოვლენილ იქნა ძირითადი დაბინძურების წილი სექტორების, რეგიონების, ქალაქების, სტაციონარული წყაროების და ავტოპარკის მიხედვით. ასევე მოცემულია საქართველოში არსებული სადამკვირვებლო სადგურების რაოდენობა, განაწილება და ბოლო პერიოდში მათი გაუმჯობესება. გაანგარიშებულ იქნა ატმოსფეროში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებების რაოდენობები, დადგენილ იქნა ცვლილებების ტენდენციები 2006-2013 წლებში და მსხვილი დამაბინძურებელი საწარმოების წილი 2004-2012 წლების მიხედვით.

გარემოს დაცვის პრობლემები არ უნდა მოიცავდეს მხოლოდ პასიურ ზედამხედველობას, არამედ უნდა ითვალისწინებდეს დროულად ქმედითი ზომების მიღებასაც გარემოს დაცვის ან გასუფთავების მიზნით. ამ მოსაზრებიდან გამომდინარე, წარმოდგენილ ნაშრომში განხორციელდა სხვადასხვა აღმდგენელებით -  $H_2$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$ -ით და განსაკუთრებით CO-თი NO-ს სელექტიური კატალიზური აღდგენის (სკა) რეაქციის ეფექტური კატალიზატორების შერჩევა, შემუშავდა მომზადების ოპტიმალური პირობები, შესწავლილ იქნა ამ სისტემების კატალიზური აქტიურობა. ამის საფუძველზე შესწავლილ იქნა ყველაზე გავრცელებული აირადი ტოქსინებისაგან - აზოტის და ნახშირბადის ოქსიდებისაგან გამონაბოლქვების გასაწმენდად მათი გამოყენების შესაძლებლობა. ეს კატალიზატორები მომზადდა საქართველოს ბუნებრივი ცეოლითების - ფართოდ გავრცელებული, იაფი და ადვილად მისაწვდომი



კლინოპთილოლითის (CL) და მორდენიტის (MOR) გარდამავალ ლითონთა კატიონებით მოდიფიცირების გზით. მომზადების პროცესში სტრუქტურის შენარჩუნების კონტროლის მიზნით ხორციელდებოდა მათი რენტგენოფაზური ანალიზი და გარდამავალ მეტალთა კატიონების ლოკალიზაცია და კოორდინაციული გარემოცვა დგინდებოდა ელექტრონული პარამაგნიტური რეზონანსის (ეპრ) მეთოდით.

კატალიზურმა ექსპერიმენტებმა გვიჩვენა, რომ დაუმუშავებელი კლინოპთილოლითის CL-ს და ნაკლებად MOR-ს საწყისი, წყალბადური და კატიონშემცველი ფორმები საკმაოდ აქტიურია შემდეგ რეაქციებში:  $\text{NO} + \text{CO}$  (1);  $\text{NO} + \text{NH}_3$  (2);  $\text{NO} + \text{H}_2$  (3);  $\text{NO} + \text{CH}_4$  (4). აღსანიშნავია, რომ მაღალტემპერატურულ უბანში CL-ს და MOR-ს საწყის ფორმებზე უფრო აქტიურად მიმდინარეობს NO -ს სკა ამიაკით და წყალბადით, ვიდრე CO-თი. ეს აქტიურობა ჟანგვით გარდაქმნებში განპირობებულია მათ სტრუქტურაში პოლივალენტურ გარდამავალ ლითონთა (Fe, Mn, Cr, Ti) მინარევების არსებობით კატიონური ან ოქსიდური ფორმით.

( $\text{NO} + \text{CO}$ ) ერთობლივ კონვერსიაში, ყველაზე ეფექტურად მოქმედებენ სპილენძ-შემცველი CuCL და CuMOR ცეოლითები, მხოლოდ CuCL-ზე რეაქცია იწყება 100-120 K უფრო დაბალ ტემპერატურაზე და მაქსიმალური კონვერსია მიიღწევა 573-623 K. (1-4) რეაქციების ტემპერატურული ზღვრები და მექანიზმი ერთნაირია, განპირობებულია მხოლოდ კატიონის ბუნებით და არ არის დამოკიდებული ცეოლითის სტრუქტურულ ტიპზე. CuCL-ის უფრო მაღალი აქტიურობა აიხსნება სპილენძის კატიონის ლოკალიზაციით უფრო დიდ და რეაგენტების მოლეკულებისათვის მისაწვდომ A და B პარალელურ არხებში, ვიდრე CuMOR-ის შედარებით ვიწრო არხებში.

გარდამავალ მეტალთა კატიონების-შემცველი ცეოლითების აქტიურობის ცვლილებები განისაზღვრება კატიონების ბუნებით და სხვადასხვა უნარით მორეაგირე მოლეკულებთან წარმოქმნან კომპლექსები. კერძოდ, სპილენძ-შემცველი ცეოლითების კატალიზური აქტიურობა ჟანგვა-აღდგენით რეაქციებში შეიძლება განპირობებულ იქნას ან სპილენძის კლასტერების არსებობით, ან ელექტროსტატიკური ველის გრადიენტით.

რაც შეეხება საკითხის პრაქტიკულ მხარეს, არსებული კატალიზატორების ექსპლუატაციისას გამონაბოლქვის 60-90% მოდის „ცივი სტარტის“ პერიოდზე, ე.ი. ძრავის ამუშავების პირველ წუთებზე, როცა კატალიზატორის ტემპერატურა დაბალია.

ჩვენს მიერ შემუშავებული სპილენძ-შემცველი და ბინარული Cu-Fe-შემცველი ცეოლითური კატალიზატორები დისპერსულობის მაღალი ხარისხის და მაღალი ხვედრითი ზედაპირის გამო გამონაბოლქვ აირებს ადსორბირებს უკვე ოთახის ტემპერატურაზე, მუშაობას იწყებს 390-420 K და კონვერსიის ხარისხი NO და CO -ს მიმართ მაქსიმუმს - 90-98% აღწევს უკვე 573-623 K.

## Abstract

Atmospheric air, together with land and water is most important part for our world. Humans always and systematically has been polluting atmospheric air. Pollution especially become more extensive, when in 50's of XX century starts industrial revolution. Because of factories and expended list of vehicles systematically was growing emissions of harmful substances in the air. As a result, harmful substances excessive limit on Maximum Permissible Concentration negatively effected on live organisms, including humans.

Present work has been determined atmospheric air condition in Georgia and identifying of key pollutants, displayed a main pollution sectors, regions, cities, according to the stationary sources and vehicles. Also, shown monitoring stations in Georgia and their expansion during last years. Has been calculated quantity of emitted harmful substances in 2006-2013 years and large pollution factories in 2004-2012 years.

Environmental protection problem shall not include only passive supervision, but to take effective measures in the form of environmental protection or cleaning process. Based on this opinion, in presented work has been provided to select effective and sensitive catalyst for NO selective catalyst recovery (SCR) based on different recoveries  $H_2$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$  and especially CO. has been developed optimal conditions and studied activity of these systems. Based on all of these, was examine their ability to use for purification of injected gases from most common toxins – nitrogen and carbon oxides. These catalyst was prepared on the base of Georgian natural zeolites – widespread, cheap and easily available clinoptilolite (CL) and mordenite (MOR), modified with transition metal cations. For maintaining control of the structure, during the preparation was providing X-ray method. Localization and coordination environment for transition metal cations was determined by EPR method.

Catalyst experiment shows, that untreated clinoptilolite (CL) and less mordenite (MOR) initial, hydrogen and cationexchanged forms are sufficiently active in following reactions:  $NO + CO$  (1);  $NO + NH_3$  (2);  $NO + H_2$  (3);  $NO + CH_4$  (4). Should be noted that in high-temperature district, the intensity of NO SCR by ammonia and hydrogen, than with CO on initial forms of CL and MOR. This oxidation activity is caused with presence of the impurities of polyvalent transition metal (Fe, Mn, Cr, Ti) in cationic or oxide forms.

In (NO +CO) joint conversion the most effective are copper presented CuCL and CuMOR zeolites, only on CuCL reaction starts less than 100-120° and maximum conversion degree receiveds 573-623 K. Temperature limits and mechanism are same for (1-4) reactions, this depends only on cations nature and not on the type of zeolites structure. More high activity of CuCL explains because of localization copper cation more bigger A and B parallel canals and for that is more reachable for reagents molecules, than more narrow channels in CuMOR.

Active changes of transition metals cations-containing zeolites depends on nature of cations and different kind of skills to produce complex with reactant molecules. Basically, catalyst activity of copper-containing zeolites in oxidation-restoring reactions may depends on containing of copper clusters, or gradient of electrostatic field.

About practical part of issue, exhausted gases 60-90% comes on “cold start” during commissioning of current catalysts, e.i. engines first starting minutes, when catalyst temperature is low. Our developing copper-containing and binary Cu-Fe-containing zeolite catalysts because of high quality dispersity and high specific surface, absorbs exhausted gases even in room temperature, starts working on 390-420 K and NO and CO conversion degree maximum reaches at 573-623 K.

## შესავალი

მსოფლიოს ენერგეტიკული სიმძლავრეების და წარმოებული პროდუქციის რაოდენობის სწრაფმა ზრდამ მრავალი გარემოსდაცვითი პრობლემა შეუქმნა მთელ მსოფლიოს, განსაკუთრებით კი ურბანულ ცენტრებს. ავტომანქანების, ასევე სხვა სახის მანქანების და მექანიზმების გამოყენებამ გამოიწვია გარემოს სისტემატური და ინტენსიური დაბინძურება, საბოლოოდ კი გასული საუკუნის 50-იანი წლებიდან ადამიანებმა თანდათან დაიწყეს გარემოს დაბინძურების შედეგების შეგრძნება.

საერთოდ, უნდა ითქვას, რომ წარმოებების შექმნამდე და ტექნიკური რევოლუციის განვითარებამდე ბუნებრივი გარემო ახდენდა გავლენას ცოცხალ ორგანიზმების, მათ შორის ადამიანის თვისებების ჩამოყალიბებაზე. მაგრამ ბოლო საუკუნეების მანძილზე, პირიქით, ჩამოყალიბდა ადამიანის აქტიური გარდაქმნითი (სამომხმარებლო) მიდგომა ბუნებრივი გარემოსადმი. ამ მიმართულებით დიდი წარმატებები იქნა მიღწეული სხვადასხვა ქიმიური ტექნოლოგიების ათვისების შემდეგ. ქიმიურ ტექნოლოგიებში გამოიყენება არა ტრადიციური „მაკრომანქანები“ და შრომის იარაღები, რომელთა მოქმედება დაფუძნებულია მექანიკის და ელექტროტექნიკის კანონებზე, არამედ სულ სხვა, „ქიმიური მიკრომანქანები“. აქ ნივთიერებათა აქტიურ გარდაქმნის იარაღებად გვევლინებიან ატომები, მოლეკულები, იონები, მაკრომოლეკულები და სხვა ქიმიური მიკროობიექტები. მაგრამ ბოლო ათწლეულების მანძილზე ბუნებრივი გარემო სულ უფრო მეტად გარდაიქმნება ტექნოგენურ გარემოდ, რაც იწვევს მრავალი ახალი და ადამიანისათვის უჩვეულო გარე ზემოქმედების ფაქტორების გაჩენას. ეს ახალი ფაქტორები კი, თავის მხრივ, კვლავ ახდენს გავლენას ცოცხალი ორგანიზმების თვისებებზე.

ამგვარად, სამივე გარემოს: მიწის, წყლის და ჰაერის - დაბინძურება დაკავშირებულია ქიმიასთან, მაგრამ თვით ქიმიის ბრალი აქ არ არის. თანამედროვე ცივილიზაციის არსებობა შეუძლებელია ქიმიის მიღწევების განვითარების და გამოყენების გარეშე. ამიტომ გამოსავალი არა ქიმიის მიღწევების უარყოფაა, არამედ ქიმიის საყოველთაო ორიენტაცია ეკოლოგიური პრობლემების გადაწყვეტაზე.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, XX საუკუნის 80-იანი წლების ბოლოს და 90-იანი წლების დასაწყისში, მსოფლიოში გაიმართა მთელი რიგი სამთავრობათშორისო კონფერენციები კლიმატის და გარემოს ცვლილების შესახებ. მზარდ სამეცნიერო

მტკიცებულებებთან ერთად, ეს კონფერენციები დაეხმარა ამ საკითხისადმი საერთაშორისო ინტერესის გაზრდას. თანდათან მიღებულ იქნა სხვადასხვა სახის ნორმატიული დოკუმენტები და კანონები, რომლებიც კრძალავს გარემოზე მავნე ზემოქმედებას.

გარემოს დაბინძურების პრობლემის შესწავლა არ უნდა შემოიფარგლოს მარტო დაკვირვებით და სხვადასხვა მიმართულებით ცვლილებების დაფიქსირებით. აუცილებელია მიღებულ იქნას ქმედითი ზომები, იმისათვის რომ თავიდან იქნას აცილებული ატმოსფეროში გაფრქვეული აირების (ძირითადად CO, NO<sub>x</sub>, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>) უარყოფითი ზემოქმედება გარემოზე, კერძოდ: ენერგეტიკის სფეროში, საწარმოებში და ყველაზე მეტად ავტოტრანსპორტის გამონაბოლქვის მხრივ. აზოტის ოქსიდებით ატმოსფეროს დაბინძურების დონის შემცირება - ერთ-ერთი უმთავრესი პრობლემაა, რომელიც სასწრაფოდ გადაჭრას საჭიროებს. მრავალ ქვეყანაში მიმდინარეობს კვლევები ახალი კატალიზური პროცესების შემუშავებისთვის, რომლებიც მოაცილებენ NO-ს ატმოსფეროში გამოფრქვეული აირებიდან, ისე რომ გარდაიქმნას უსაფრთხო ფორმაში - მოლეკულურ აზოტში. მიუხედავად ნახშირბადის მონოოქსიდის დიდი საშიშროებისა და გამოყოფის დიდი რაოდენობისა (ავტომობილების კატალიზური ნეიტრალიზატორებით აღჭურვის წყალობით ყოველწლიურად გამოყოფილი ნახშირბადის მონოოქსიდის რაოდენობა შემცირებულ იქნა 6.5 მლ.ტ.-დან 3.4 მლ.ტ.-მდე), საწარმოო დანადგარები რომლებიც უზრუნველყოფენ ჰაერის გაწმენდას ნახშირბადის მონოოქსიდისაგან, არ არსებობს. სორბენტების მცირე შთანთქმის უნარის გამო, დიდი რაოდენობის აირების გასაწმენდად სორბციული პროცესები ნაკლებ პერსპექტიულია. CO-ს თერმული დაჟანგვა CO<sub>2</sub>-მდე შეიძლება განხორციელდეს იმ შემთხვევაში თუ ტემპერატურა იქნება 1073 K-ზე მაღალი, ე. ი. CO-ს აალების ტემპერატურაზე მაღალი და გასაწმენდ აირში CO-ს კონცენტრაცია უნდა აღემატებოდეს 12%-ს. უმეტეს შემთხვევებში ჰაერის პარამეტრები არ იძლევა საშუალებას გამოყენებულ იქნას აღნიშნული მეთოდი. ამიტომ CO-ს კატალიზური დაჟანგვა CO<sub>2</sub>-მდე ყველაზე უფრო რეალური და პერსპექტიული მეთოდია სხვა ცნობილ მეთოდებს შორის.

ამჟამად არსებობს გამწმენდი კატალიზატორების საკმარისი რაოდენობა, რომლებიც წარმოადგენს კეთილშობილ მეტალებს, დატანილს სხვადასხვა სახის

მატრიცებზე, მეტალთა ოქსიდებზე და სხვა. მაგრამ, აღნიშნული კატალიზატორები მუშაობას იწყებენ 473–523 K-ზე და სანამ ტემპერატურა არ მიაღწევს მითითებულ მნიშვნელობას, ძრავის ცილინდრში არსებული დაუმწვარი ორგანული ნივთიერებები არ იჟანგება. ავტომობილის გამონაბოლქვის 60–90% მოდის „ცივი სტარტის“ პერიოდზე, ანუ ძრავის გაშვების პირველ წუთებზე, როდესაც კატალიზატორის ტემპერატურა დაბალია.

წარმოდგენილი სამუშაოს ერთ–ერთი მიზანი განპირობებულია ამჟამად არსებული საყურადღებო პრობლემით, რომელიც მოიცავს ავტომობილის „ცივი სტარტზე“ გამოფრქვევის ტოქსიკური კომპონენტების შემცირების საკითხს. მისი გადაჭრის ერთ–ერთ მეთოდს წარმოადგენს ნახშირწყალბადების გაუვნებელოების ადსორბციულ–კატალიზური მეთოდი. ავტომობილების გამონაბოლქვიდან გამოყოფილი CO, NO, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>-ის დასაჭერად, ადსორბენტებად უმეტესად გამოიყენება ცეოლითები, რომელთაც გააჩნიათ მაღალი ადსორბციური ტევადობა. ადსორბირება ხორციელდება ძირითადად ვან–დერ–ვაალსის ძალების საშუალებით, ამის შედეგად ცეოლითების მიერ შეკავების უნარი შემოისაზღვრება 423 K-ით, სწორედ ამიტომ გამოკვლევების უმეტესი ნაწილი მიმართულია კატალიზატორის მუშაობის ტემპერატურის შემცირებაზე. მაგრამ, ადსორბციის სიმტკიცე შეიძლება გაზრდილ იქნას ცეოლითის იონმიმოცვლითი კატიონის ბუნებით. პირველ რიგში ასეთი სახის კატიონებს წარმოადგენენ სპილენძის და რკინის კატიონები, რომელთაც აქვთ უნარი ადვილად და მყარად მოახდინონ CO, NO, NH<sub>3</sub> რეაგენტების მოლეკულების ადსორბირება კომპლექსების წარმოქმნით. გარდა ამისა, ცეოლითურ მატრიცაში სპილენძის კატიონების შეყვანა რეაქციის დაწყების ტემპერატურას ამცირებს 423 K-მდე. ეს კი განაპირობებს სპილენძის და რკინის კატიონებით მოდიფიცირებულ კატალიზატორების შერჩევას იაფი და ხელმისაწვდომი ბუნებრივი ცეოლითების ბაზაზე.

კვლევის მიზანს შეადგენდა საქართველოს ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების დამოკიდებულების შესწავლა დროის და დასახლების ფაქტორზე მზარდი ენერგეტიკული ობიექტების და ავტოპარკის ზეგავლენით. ამ ზეგავლენის შემცირების მიზნით, კერძოდ, ზოგიერთი გამოყოფილი მავნე აირების კატალიზური გაწმენდის მიმართულებით შეგვემუშავებინა ეფექტური კატალიზატორი NO-ს აღდგენის

რეაქციაში სხვადასხვა აღმდგენლებით -  $H_2$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$  და განსაკუთრებით  $CO$ -თი. ამისათვის შესწავლილ იქნა საქართველოს ბუნებრივი ცეოლითები - ფართოდ გამოყენებული კლინოპთილოლითი (CL) და ჟანგვით კატალიზში შედარებით ნაკლებად შესწავლილი მორდენიტი (MOR) მოდიფიცირებული სახით.

კატალიზური პროცესების კვლევის ძირითად მეთოდს წარმოადგენდა კატალიზური მიკრონაკადური მეთოდი - კატალიზური ცდები მიმდინარეობდა ლაბორატორიულ დანადგარზე; რეაქციის პროდუქტების ანალიზი ხორციელდებოდა გაზურ-ქრომატოგრაფიული მეთოდით -  $PLM$  მოდელის ქრომატოგრაფზე. ქიმიური ანალიზი ხორციელდებოდა ფოტოკოლორიმეტრული და ატომურ აბსორბციული მეთოდით - "Perkin-Elmer", AAnalyst200 - ტიპის სპექტროფოტომეტრზე, მოდიფიცირებული ცეოლითური ნიმუშების კრისტალური კარკასის მდგრადობის კონტროლი ხორციელდებოდა რენტგენოფაზური ანალიზის მეთოდით ( $DPOH-3$ ) და გარდამავალი მეტალების მდგომარეობისა და არხებში ცეოლითის სტრუქტურაში მათი განთავსების დადგენა ხორციელდებოდა ეპრ-სპექტრომეტრის საშუალებით, მოდელი - THOMSON-CSF TSN-254.

პირველად იქნა მომზადებული ბინარული სპილენძ- და რკინა-შემცველი ცეოლითური კატალიზატორები  $NO$  და  $CO$  ერთობლივი კონვერსიისათვის მჟავით, ტუტით და იონური მიმოცვლით მოდიფიცირების მეთოდიკების მონაცვლეობით. შესწავლილ იქნა საქართველოს ბუნებრივი ცეოლითების CL და MOR-ის ბაზაზე მიღებული კატალიზური ნიმუშების თვისებები, ასევე იმ ჩანაცვლებული გარდამავალი მეტალების მდგომარეობა, რომლებიც პასუხისმგებელნი არიან კატალიზურ აქტიურობაზე. განხილულია  $NO$ -ს კატალიზური აღდგენის სქემა და  $N_2$ -ის წარმოქმნის მექანიზმი ცეოლითურ კატალიზატორზე. იმის გათვალისწინებით, რომ  $NO$ -ს აღდგენა  $CO$ -თი მიმდინარეობს გარდამავალ მეტალებთან ნიტროზული და კარბონილური კომპლექსების წარმოქმნით, შემოთავაზებულია კატალიზატორის ქიმიური შედგენილობა, რომელშიც უნდა შედიოდნენ გარდამავალი კომპლექს-წარმომქმნელი ელემენტები.



# თავი I. ლიტერატურის მიმოხილვა

## I.1. ატმოსფეროს დაბინძურება

როგორც შესავალში აღინიშნა, კაცობრიობის არსებობის განმავლობაში ბუნებრივი გარემო ყოველთვის ბინძურდებოდა ადამიანებისა და სხვადასხვა ბუნებრივი კატაკლიზმების გავლენით, მაგრამ მე-XVIII საუკუნამდე დაბინძურება არ წარმოადგენდა რაიმე სერიოზულ პრობლემას. ადამიანები უმეტესად ცხოვრობდნენ აგრარული ტიპის დასახლებებში და მათ არ ჰქონდათ ბუნების დამაბინძურებელი მანქანები (დანადგარები), ვინაიდან ცეცხლით სარგებლობის შედეგები უმნიშვნელო იყო, სხვა დაბინძურების წყაროები კი არ არსებობდა. მართალია, ადამიანი ეგუებოდა იმას, რომ კვამლი ხელს უშლიდა სუნთქვას და ჭვარტლი შავი საფარივით ედებოდა ჭერს და კედლებს, მაგრამ მიღებული სითბო ბევრად უფრო მნიშვნელოვანი იყო, ვიდრე სუფთა ჰაერი და კედლები. შემდგომ მსოფლიოს ენერგეტიკული სიმძლავრეების და წარმოებული პროდუქციის რაოდენობის სწრაფმა ზრდამ მრავალი გარემოსდაცვითი პრობლემა შეუქმნა პირველ რიგში მსოფლიოს ურბანულ ცენტრებს. ავტომანქანების, ასევე სხვა სახის მანქანების და მექანიზმების გამოყენებამ გამოიწვია გარემოს მდგომარეობის სისტემატური და ინტენსიური დაბინძურება, შესაბამისად გასული საუკუნის 50-იანი წლებიდან ადამიანებმა თანდათან დაიწყეს გარემოს დაბინძურების შედეგების შეგრძნება. პირველი ქვეყანა, რომელმაც იგრძნო ბუნებრივი გარემოს ქიმიური დაბინძურების უარყოფითი ზემოქმედება, იყო იაპონია. მისი ტერიტორიის 80%-მა საწარმოო სამძლავრეების ზემოქმედება განიცადა, რასაც იაპონელებმა „კოგაის“ პრობლემა უწოდეს [1].

ფაქტიურად კაცობრიობა დგას გადაუჭრელი დილემის წინაშე. ჩვენი პლანეტის სამივე შემადგენელი ნაწილი - ჰაერი, წყალი და ნიადაგი აუცილებელია ყველა ცოცხალი ორგანიზმის არსებობისთვის, ამავე დროს დაბინძურებული ჰაერი შეიძლება სხვადასხვა დაავადებების და სიკვდილის მიზეზიც იყოს. დაბინძურებულმა წყალმა შეიძლება გამოიწვიოს თევზების და სხვა წყალში ბინადარი ცოცხალი ორგანიზმების სიკვდილი. დაბინძურებულ ნიადაგზე არ შეიძლება საკვები პროდუქტების მოყვანა.

ავტომობილები აბინძურებენ ატმოსფერულ ჰაერს, მაგრამ ისინი წარმოადგენენ ადამიანების სწრაფი გადაადგილების საშუალებას. ქარხნები და ფაბრიკები აბინძურებენ ჰაერს და წყალს, მაგრამ ისინი უზრუნველყოფენ სამუშაო ადგილებს

ადამიანებისთვის და საშუალებას იძლევიან წარმოებულ იქნას საჭირო ნივთები. სასუქები და პესტიციდები აუცილებელია სასოფლოსამეურნეო კულტურებისთვის, მაგრამ იწვევენ ნიადაგის დაბინძურებას.

აქედან გამომდინარე იმისათვის რომ ადამიანებმა მოინდომონ და შეწყვიტონ გარემოს დაბინძურება, მათ მოუწევდათ საჭირო ნივთებზე და მათი ცხოვრების სტილზე უარის თქმა, შესაბამისად ბევრი ადამიანი იქნება ამ გადაწყვეტილების წინააღმდეგი და უარს იტყვის პროცესების ასეთ განვითარებაზე.

დაბინძურება არის ძალიან მძიმე და რთულად აღმოსაფხვრელი პრობლემა, მაგრამ შეიძლება ეტაპობრივად იქნას შემცირებული. მეცნიერებს და ინჟინრებს შეუძლიათ მოძებნონ ახალი გზები, რათა შემცირებულ იქნას ავტომობილებით, ქარხნებითა და ფაბრიკებით გამოწვეული დაბინძურება. რაც შეეხება მთავრობებს მათ შეუძლიათ მიიღონ კანონები, რომლებიც აიძულებენ საწარმოებს შეამცირონ გარემოში მავნე ნივთიერებების გაფრქვევა. ასევე ცალკეულ ადამიანებს ან ადამიანთა ჯგუფებს შეუძლიათ ითანამშრომლონ და მონაწილეობა მიიღონ გარემოს დაცვის საკითხების განხილვაში [2, 3].

თანამედროვე სამყაროში ძალიან ბევრი საუბარი მიდის გარემოს დაბინძურებაზე და განსაკუთრებით ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებაზე. აქედან გამომდინარე, ჩნდება კითხვები: რა არის ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება? რატომ არსებობს ასე ბევრი დაბინძურების სახე? რატომ არის ასეთი აუცილებელი, რომ ადამიანებმა რაიმე მოიმოქმედონ აღნიშნულ პრობლემასთან დაკავშირებით? ბევრ ადამიანს უბრალოდ გაუჩნდება კითხვა, როდესაც ფანჯარაში იყურება ჰაერი სუფთა და გამჭირვალეა, შესაბამისადაც ვერანაირ დაბინძურებას ვერ ამჩნევენ.

ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება გარემოს დაბინძურების ყველაზე მავნე ფორმაა. ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებას განაპირობებენ როგორც ტექნოგენური, ასევე ბუნებრივი დაბინძურების წყაროები. დაბინძურება ძირითადად სწორედ ადამიანისაგან მოდის. დღესდღეობით ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება სერიოზულ პრობლემას წარმოადგენს. ადამიანების საქმიანობიდან გამომდინარე სისტემატურად ხდება სხვადასხვა ტოქსიკური ნივთიერებების განზნევა გარემოში. განსაკუთრებით XX საუკუნის 50-იანი წლებიდან, როდესაც ინდუსტრიული რევოლუცია დაიწყო,

თანდათან სულ უფრო გლობალური ხასიათი მიიღო ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების პრობლემამ [4, 5].

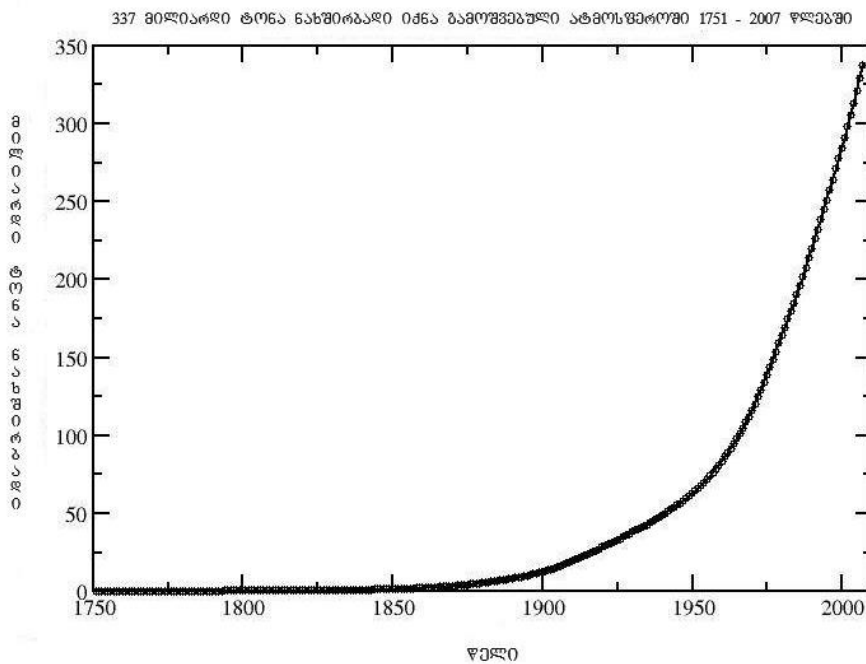
ატმოსფერულ ჰაერზე საუბრისას არ შეიძლება არ აღინიშნოს ოზონის შრესთან დაკავშირებული საკითხები. ოზონის დაშლა გამოწვეულია ჰალოგენების შემცველი ორგანული ნაერთების: ქლორ-ფტორ-ნახშირწყალბადების, ქლორ-ბრომ-ნახშირწყალბადების და ჰალოგენების ატმოსფეროში მოხვედრით. ამ ნივთიერებათა წარმოება XX საუკუნის ოციანი წლებიდან დაიწყო. ისინი გამოიყენება როგორც იდეალურად უსაფრთხო მაცივარაგენტები, დეზოდორანტების შემავსებლები და როგორც სხვა საყოფაცხოვრებო ტექნიკაში, ასევე მცენარეთა დაცვის საშუალებებში. აღნიშნული ნივთიერებების მოლეკულები ათწლეულების განმავლობაში არ იშლება და დროთა განმავლობაში ისინი სტრატოსფერომდეც აღწევენ, სადაც მზის ულტრაიისფერი გამოსხივების ზემოქმედებით იშლებიან და ქლორის ატომებს გამოყოფენ. ეს უკანასკნელი კი მოქმედებს, როგორც ოზონის მოლეკულების დაშლის კატალიზატორი. ითვლება, რომ ქლორ-ფტორ-ნახშირბადის ერთ მოლეკულას შეუძლია ოზონის ასი ათასამდე მოლეკულის დაშლა.

## I.2. ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების წყაროები

ატმოსფერული ჰაერის უმთავრეს დამაბინძურებელს წარმოადგენს ანთროპოგენური წყაროები: ავტოტრანსპორტი, სამრეწველო საწარმოები, ენერგეტიკული ობიექტები და სოფლის მეურნეობა. დღესდღეობით მიღებულია, რომ ყველაზე მეტად ატმოსფერულ ჰაერის დაბინძურებას იწვევენ სამრეწველო საწარმოები. უნდა ითქვას, რომ წვის პროცესების დროს ატმოსფერული ჰაერის ერთ-ერთი უმთავრესი დამაბინძურებელია: გოგირდის დიოქსიდი ( $SO_2$ ), ნახშირბადის მონოოქსიდი (CO), აზოტის ოქსიდები ( $NO_x$ ), მყარი ნაწილაკები, არამეთანური აქროლადი ორგანული ნაერთები (ააონ), ბენზ(ა)პირენი და დიოქსინ/ფურანები, ასევე სიგარეტის და ფოთლების ნამწვი. დაბინძურების განსაკუთრებული წყაროებია - თბოელექტროსადგურები, რომლებიც კვამლთან ერთად გამოაფრქვევენ გოგირდოვან აირს და ნახშირბადის მონოოქსიდს; მეტალურგიული საწარმოები, განსაკუთრებით კი ფერადი მეტალურგიის საწარმოები, საიდანაც ატმოსფერულ ჰაერში ხვდება: აზოტის ოქსიდები, გოგირდწყალბადი, ქლორი, ფტორი, ამიაკი, ფოსფორი, ვერცხლისწყალი და დარიშხანის ნაერთები; ქიმიური და ცემენტის ქარხნები. ყველა ეს ნივთიერება

ატმოსფერულ ჰაერში დაგროვებისას სცვლის ატმოსფეროს ბუნებრივ ფიზიკურ-ქიმიურ შემადგენლობას და კონცენტრაციის გარკვეულ ზღვრამდე მიღწევის შემდეგ უარყოფითად ზემოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე, ეკოსისტემებსა და მატერიალურ ფასეულობებზე [1, 6].

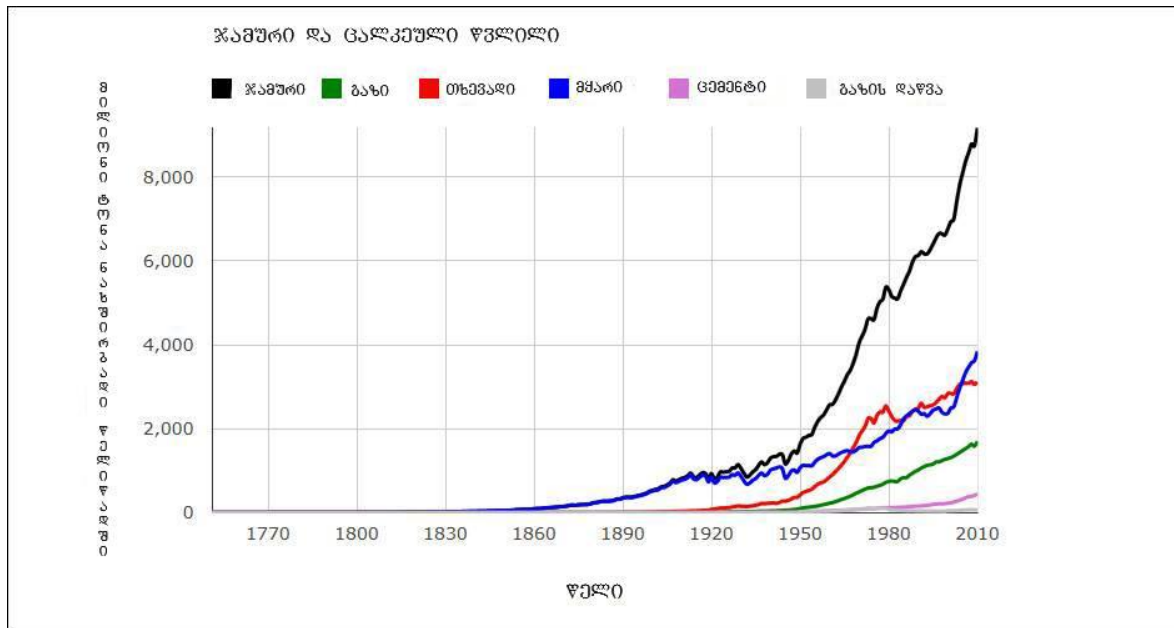
სათბურის ეფექტი, სმოგი, ასევე ოზონის შრის შემცირება და მჟავე წვიმები, ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების შედეგია. სათბურის ეფექტი გამოწვეულია ტოქსიკური ნივთიერების ემისიით, რომელიც გამოიყოფა ქვანახშირის და ნავთობის მოპოვებისას და აგრეთვე ნავთობ პროდუქტების წვის შედეგად. 1751 წლიდან მოყოლებული წიაღისეული საწვავის მოხმარებიდან და ცემენტის წარმოებიდან დაახლოებით 337 მილიარდი ტონა ნახშირბადი იქნა გაფრქვეული ატმოსფეროში (ნახაზი N1) [7, 9].



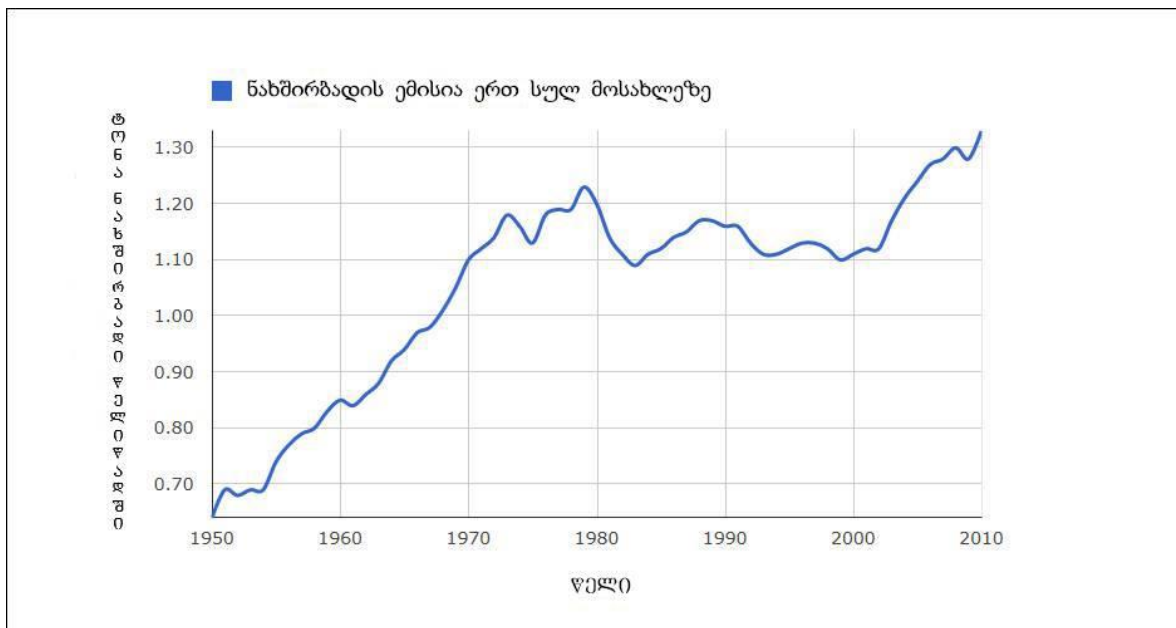
**ნახაზი N1. ატმოსფეროში გაფრქვეული ნახშირბადის რაოდენობა 1751-2007 წლებში**

ამ რაოდენობის ნახევარი ატმოსფეროში მოხვდა 1970 წლამდე. 2007 წელს გლობალურად ნახშირბადის გაფრქვევის რაოდენობა იყო 8365 მილიონი ტონა, ეს რაოდენობა ყველა დროის უმაღლეს მაჩვენებელს წარმოადგენს და 1.7%-ით არის გაზრდილი 2006 წლის მაჩვენებელთან შედარებით. ქვემოთ ნახაზზე მოცემულია ატმოსფეროში გაფრქვეული ნახშირბადის რაოდენობა გლობალურად წლების

მიხედვით სხვადასხვა სახით (ნახაზი N2) და წლების მიხედვით ერთ სულ მოსახლეზე (ნახაზი N3) [8, 9].



**ნახაზი N2. სხვადასხვა სახით ატმოსფეროში გაფრქვეული ნახშირბადის რაოდენობა წლების მიხედვით**



**ნახაზი N3. ატმოსფეროში გაფრქვეული ნახშირბადის რაოდენობა წლების მიხედვით ერთ სულ მოსახლეზე**

ნახშირბადის დიოქსიდის (CO<sub>2</sub>) გაფრქვევა ატმოსფერულ ჰაერში სათბურის ეფექტის ერთ-ერთი მთავარი მიზეზია, მისი გაფრქვევა დაკავშირებულია ადამიანის საქმიანობასთან, ანთროპოგენული წარმოშობის CO<sub>2</sub>-ის უმთავრესი წყარო წიაღისეული

საწვავის მოხმარებაა, რაც ნახშირბადის დიოქსიდის საერთო გლობალური ემისიის დაახლოებით 80%-ს შეადგენს.

სათბურის ეფექტის მქონე აირები აფერხებენ რა დედამიწიდან არეკლილი თბური სხივების ატმოსფეროდან გაღწევას, რის შედეგადაც ირღვევა სითბური ბალანსი და დედამიწაზე ჰაერის საშუალო ტემპერატურა იზრდება. სათბურის ეფექტის გამომწვევი აირებიდან აღსანიშნავია მეთანი, რომელიც ატმოსფეროში ხვდება ჭაობებიდან და ცოცხალი ორგანიზმებიდან, მაგრამ მეთანის ატმოსფეროში განხვევის ძირითადი წყარო ბუნებრივი აირის მოპოვებაა. ნარჩენების დაწვა არის კიდევ ერთი წყარო, რის საშუალებითაც მეთანი ხვდება ატმოსფეროში [10].

### I.3. ატმოსფეროს დაბინძურება აეროზოლებით

აეროზოლები - ეს არის მყარი ან თხევადი ნაწილაკები, რომლებიც იმყოფებიან ჰაერში შეტივტივებულ მდგომარეობაში. აეროზოლების მყარი კომპონენტები რიგ შემთხვევაში განსაკუთრებით საშიშია ცოცხალი ორგანიზმებისათვის, ადამიანებში კი იწვევს სპეციფიურ დაავადებებს. აეროზოლური დამაბინძურებლები ატმოსფეროში არსებობენ კვამლის, ნისლის და ბინდის სახით. მათი მნიშვნელოვანი ნაწილი ატმოსფეროში წარმოიქმნება მყარი და თხევადი ნაწილაკების ურთიერთქმედებით ერთმანეთთან ან წყლის ორთქლთან. ზოგიერთი აეროზოლის ნაწილაკების ზომები მოყვანილია ცხრილში N1 [11, 12].

**ცხრილი N1. ზოგიერთი აეროზოლის ნაწილაკების ზომები**

N	აეროზოლის ტიპი	დიამეტრი, მკმ
1	თამბაქოს კვამლი	0.1-1.0
2	გოგირდმჟავას ნისლი	0.3-0.5
3	ლუმელის კვამლი	0.1-10.0
4	შრეებრივი ღრუბლები	1.0-10.0
5	აეროზოლის გაფრქვევა კონტეინერებიდან	1.0-100.0
6	ატმოსფერული ნისლი	2.0-50.0
7	წვიმის ღრუბლები	10.0-100.0
8	ყვავილოვანი მტვერი	15.0-20.0
9	წვიმის წვეთები	50.0-100.0

დედამიწის ატმოსფეროში ყოველწლიურად ხვდება თითქმის 11 კუბ.კმ ხელოვნური წარმოშობის მტვერისმაგვარი ნაწილაკები. ცნობები ტექნოგენური მტვერის ზოგიერთ წყაროზე მოყვანილია მე-2 ცხრილში.

ხელოვნური აეროზოლური დამაბინძურებლების ძირითადი წყაროებია: თბოელექტროსადგურები, გამამდიდრებელი ფაბრიკები, მეტალურგიული, ცემენტის და მაგნეზიტის ქარხნები.

**ცხრილი N 2. ტექნოგენური მტვერის ზოგიერთი წყაროები**

N	საწარმოო პროცესი	მტვერის გამოფრქვევა, მლ.ტ/წ
1	ქვანახშირის წვა	93.60
2	თუჯის გამონადნობი	20.21
3	სპილენძის გამონადნობი (გაწმენდის გარეშე)	6.23
4	თუთიის გამონადნობი	0.18
5	კალის გამონადნობი (გაწმენდის გარეშე)	0.04
6	ტყვიის გამონადნობი	0.13
7	ცემენტის წარმოება	53.37

აღნიშნული წყაროების აეროზოლური ნაწილაკები გამოირჩევა ქიმიური შემადგენლობის დიდი მრავალფეროვნებით. მათ შემადგენლობაში ყველაზე ხშირად ჩნდება სილიციუმის, კალციუმის და ნახშირბადის ნაერთები, იშვიათად - მეტალთა ოქსიდები (რკინის, მაგნიუმის, მანგანუმის, თუთიის, სპილენძის, ნიკელის, ტყვიის, ბისმუტის, სელენის, დარიშხანის, ბერილიუმის, კადმიუმის, ქრომის, კობალტის, მოლიბდენის) და აგრეთვე აზბესტი. კიდევ უფრო დიდი მრავალფეროვნებით გამოირჩევა ორგანული მტვერი, რომელიც შეიცავს მარილებს, ალიფატურ და არომატულ ნახშირწყალბადებს. ის წარმოიქმნება ნარჩენი ნავთობპროდუქტების დაწვისას, ნავთობგადამამუშავებელ და ნავთობქიმიურ საწარმოებში პიროლიზის დროს. აეროზოლური დაბინძურების მუდმივი წყაროებია საწარმოო ნაყარი, რომელიც გროვდება სასარგებლო წიაღისეულის მოპოვებისას ან ნარჩენების გადამამუშავებისას. მასიური აფეთქებები ასევე მტვერის და მომწამლავი აირების გამოყოფის წყაროებს წარმოადგენენ. მაგალითად, ერთი საშუალო აფეთქების (250-300 ტ ასაფეთქებელი ნივთიერება) შედეგად ატმოსფეროში გამოიფრქვევა  $\approx 12$  ათასი კუბ.მ პირობითი

ნახშირბადის ოქსიდი და 1150 ტ-ზე მეტი მტვერი. მტვერის წყაროს წარმოადგენს აგრეთვე ცემენტის და სხვა საშენი მასალების წარმოება [13,14]. უჯერი და ნაჯერი ნახშირწყალბადები, რომლებიც შეიცავენ 11-დან 13-მდე ნახშირბადის ატომს განიცდიან სხვადასხვა გარდაქმნებს: დაჟანგვა, პოლიმერიზაცია. მზის რადიაციით აღზნების შემდეგ კი ურთიერთქმედებენ სხვა დამაბინძურებლებთან. ამ რეაქციების შედეგად წარმოიქმნება პეროქსიდური ნაერთები, თავისუფალი რადიკალები, ნახშირწყალბადების ნაერთები აზოტის და გოგირდის ოქსიდებთან აეროზოლური ნაწილაკების სახით. ამინდის სხვადასხვა პირობებიდან გამომდინარე, ზოგჯერ ატმოსფერული ჰაერის მიწის მიმდებარე შრეში შეიძლება წარმოიქმნას მავნე აირადი და აეროზოლური მინარევების განსაკუთრებით დიდი რაოდენობა. როგორც წესი ამ მოვლენას ადგილი აქვს იმ შემთხვევაში, როცა ჰაერის შრეში ხდება ინვერსია - ცივი ჰაერის ფენის განლაგებას თბილი ფენის ქვეშ, რაც ხელს უშლის ჰაერის მასების გადაადგილებას და მინარევების ატმოსფეროს ზედა ფენებში გადატანას. ამის შედეგად მავნე მინარევების შემცველობა მიწის პირას მკვეთრად იზრდება, რაც ხდება ბუნებაში ადრე უცნობი მოვლენის - ფოტოქიმიური ნისლის წარმოქმნის მიზეზი.

#### I.4. გოგირდოვანი და ფოტოქიმიური ნისლი (სმოგი)

მიწისპირა ოზონი წარმოადგენს უფერო და ძლიერ მომწამლავ აირს, რომელიც წარმოიქმნება დედამიწის ზედაპირიდან ოდნავ ზემოთ. იგი ითვლება ატმოსფერული ჰაერის მეორად დამაბინძურებელ წყაროდ.

მიწისპირა ოზონი ასევე სმოგის ერთ-ერთი შემადგენელი ნაწილია. სახელწოდება „სმოგი“ ორი ინგლისური სიტყვის “Fog”-ის და “Smoke”-ის გაერთიანებით წარმოიქმნა. არსებობს სმოგის ორი ტიპი: გოგირდოვანი სმოგი და ფოტოქიმიური სმოგი. გოგირდოვან სმოგს ასევე ლონდონის სმოგს უწოდებენ, ხოლო ფოტოქიმიურს ლოს-ანჯელესისას.

მისი წარმოქმნის წყაროებია აზოტის ოქსიდები ( $\text{NO}_x$ ) და აქროლადი ორგანული ნაერთები (აონ), რომლების ურთიერთქმედებენ მზის სხივებთან. მიწისპირა ოზონი ცნობილია როგორც მძლავრი მოქმედი აირი, რომელიც უარყოფითად მოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე. მზიანი ამინდის და მაღალი ტემპერატურის პირობებში ადამიანისათვის საშიშ დონეს აღწევს. მისი მაღალი კონცენტრაცია ადამიანის



ორგანიზმში იწვევს სასუნთქი სისტემის დაზიანებას. გარდა ადამიანებისა მას შეუძლია იმოქმედოს მცენარეებზე და შეამციროს მოსავლიანობა [15,16].

გოგირდოვანი სმოგი ჩანს თხელი ნაცრისფერი ნისლის სახით, იგი ფორმირდება გოგირდის დიოქსიდის ( $SO_2$ ) და მყარი ნაწილაკების მტვერის ურთიერთქმედების შედეგად. სმოგი ერთ-ერთ მთავარ პრობლემას წარმოადგენდა ლონდონში XX საუკუნის შუა პერიოდში, თუმცა ამჟამად სერიოზულ პრობლემას უკვე აღარ წარმოადგენს. სმოგი 1600 წელს იყო შენიშნული ქვანახშირის წვის შედეგად. XX საუკუნის შუა პერიოდში ინდუსტრიის სწრაფი განვითარების შედეგად წამოიჭრა და განსაკუთრებით თავი იჩინა ზამთრის პერიოდში როდესაც ლონდონის მაცხოვრებლები ქვანახშირს იყენებდნენ საცხოვრებელი სახლების გასათბობად. გარდა ამისა, ლონდონში მდებარეობდა მრავალი საწარმო, რომლებიც სხვადასხვა აირებთან ერთად წვავდნენ ქვანახშირს, რაც ავტომატურად იყო დაკავშირებული ატმოსფეროში გოგირდის დიოქსიდის ( $SO_2$ ) განბნევასთან. შედეგად  $SO_2$ -მა წარმოქმნა უზარმაზარი ღრუბელი ლონდონის თავზე. გარდა ამისა,  $SO_2$  მჟავე წვიმების წყაროცაა.

გამომდინარე იქიდან რომ  $SO_2$  შავი ღრუბლის სახით გადაეფარა ქალაქს თავზე როგორც გადასაფარებელი, ლონდონის მოქალაქეებისთვის წარმოიქმნა სხვადასხვა სახის ჯანმრთელობის პრობლემები. მაგალითად, სუნთქვის გართულება, სისხლის მიმოქცევის დარღვევა. სმოგის შედეგად ათასობით ლონდონის მოქალაქე დაიღუპა. ადამიანებზე ზემოქმედების გარდა სმოგმა გაანადგურა მცენარეები და ცხოველები. ზოგიერთები ამ შემთხვევას უახლეს ისტორიაში ყველაზე მომაკვდინებელ გარემო პრობლემად მიიჩნევენ [17-19].

ფოტოქიმიური სმოგი, ანუ იგივე ლოს-ანჯელესის სმოგი, სმოგის უფრო ჩვეულებრივ და უფრო საშიშ სახეობას წარმოადგენს ვიდრე გოგირდოვანი. იგი უმეტესად ზაფხულში წარმოიქმნება როდესაც მზიანი ამინდები სჭარბობს. იგი დამახასიათებელია სამხრეთ განედის ქალაქებისთვის. ფოტოქიმიური სმოგის წარმოქმნისათვის საჭირო ნივთიერებები გამოიყოფა ავტომანქანების გამონაბოლქვებიდან და სამრეწველო ქარხნებიდან. აზოტის ოქსიდები (უპირველეს ყოვლისა ყველაზე მავნე აზოტის დიოქსიდი  $NO_2$ ), რომლებიც მზის ულტრაიისფერი გამოსხივებისას ურთიერთქმედებენ ნახშირწყალბადებთან (განსაკუთრებით ოლეფინებთან), წარმოქმნიან პეროქსილაცეტილნიტრატს (პან),

პროექსიბენზოილნიტრატს (პბნ) და სხვა ფოტოქიმიურ დამჟანგველს, მათ შორის ოზონს ( $O_3$ ), წყალბადის ზეჟანგს ( $H_2O_2$ ), აზოტის დიოქსიდს. ეს დამჟანგველები - ფოტოქიმიური სმოგის ძირითადი შემადგენელი ნივთიერებებია, რომელთა შემცველობის განმეორებადობა განსაკუთრებით დიდია ჩრდილოეთ და სამხრეთ ნახევარსფეროს დაბალ განედებზე განლაგებულ ძლიერ დაბინძურებულ ქალაქებში (ლოს-ანჯელესი, სადაც 200 დღის განმავლობაში აღინიშნება სმოგი, ნიუ-იორკი და აშშ-ს სხვა ქალაქები, იაპონიის, თურქეთის, საფრანგეთის, ესპანეთის, იტალიის და სხვა ქვეყნების ქალაქები). ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს იმ ფოტოქიმიური რეაქციების სიჩქარეს, რომელიც იწვევს პან-ის, პბნ-ის და ოზონის წარმოქმნას და ეს სიჩქარე აღემატება მნიშვნელობას, რომლიდანაც იწყება სმოგის წარმოქმნა. მაგალითად, ამიერკავკასიაში (თბილისი, ერევანი, ბაქო) ჰაერის დაბინძურების გარკვეულ დონეზე ოზონის წარმოქმნის მაქსიმალური სიჩქარე აღწევს  $0.70-0.86$  მგ/მ<sup>3</sup>-ს, იმ დროს, როცა სმოგის სიჩქარე  $0.35$  მგ/მ<sup>3</sup>-ს.

ფოტოქიმიური სმოგის წარმოსაქმნელად სამი ძირითადი პირობაა საჭირო: სინათლის სხივი, სტაციონალური ჰაერი და გადატვირთული ავტოსაგზაო მოძრაობა. ნივთიერებები, რომლებიც საჭიროა სმოგისთვის, გამოიყოფა ავტომობილებიდან, ენერჯია მოდის მზის სხივებიდან, მაგრამ ძირითად ფაქტორს დამდგარი ჰაერი წარმოადგენს. ზოგადად, ჰაერი განიცდის ცირკულაციას, უფრო თბილი ზედაპირზე არსებული ჰაერი, მიემართება ატმოსფეროს ზედა ფენებში და ზემოთ ატმოსფეროში არსებული ჰაერი დაეშვება ქვედა ფენებში. ზოგჯერ, ცივი ჰაერი გადაიფარება ზემოთ მოხვედრილი თბილი ჰაერით. ეს მდგომარეობა არ აძლევს საშუალებას, რომ ჰაერმა იმოძრაოს და შესაბამისად ჰაერის დამაბინძურებლების დონე მატულობს. ასეთ უძრავ მდგომარეობაში ჰაერის ყოფნას ტემპერატურის ინვერსია ეწოდება. სმოგის გაფანტვა შესაძლებელია ქარით, ხოლო თავიდან აცილება დამაბინძურებელი ნივთიერებების ატმოსფეროში გაფრქვევის შემცირებით.

ფოტოქიმიურმა სმოგმა შეიძლება უამრავი სხვადასხვა სახის პრობლემა გამოიწვიოს. მაგალითად, სმოგის დროს მცირდება ხილვადობა რაც პრობლემას ქმის ავტოტრანსპორტით გადაადგილებისას. სმოგის წარმოქმნის დროს გამოყოფილი აირები ძლიერ ტოქსიკურებია. ყველა დამჟანგველი და პირველ რიგში პან-ი და პბნ-ი ძლიერ აღიზიანებენ თვალებს, ანუ იწვევენ ანთებას, მხოლოდ ოზონთან კომბინაციაში

აღიზიანებენ საყლაპავს, იწვევენ გულმკერდის სპაზმს, მაღალი კონცენტრაცია ( $> 3-4$  მგ/მ<sup>3</sup>) კი იწვევს ძლიერ ხველას და ასუსტებს კოორდინაციას. ჰაერის მზარდი დაბინძურების პირობებში ქალაქებში მუდმივად იზრდება ქრონიკური ბრონქიტით, ფილტვების ემფიზემით და კიბოთი, ასევე სხვადასხვა სახის ალერგიით დაავადებული ავადმყოფების რიცხვი, ამას კი ხელს უწყობს კანცეროგენური ნახშირწყალბადების წარმოქმნა [20].

პირველად ტოკიოში 1970 წლის ზაფხულში ყურადღება მიაქცეს ადამიანების სხეულის დაზიანებას, რომელიც გამოწვეული იყო ფოტოქიმიური სმოგით. პირველი ინციდენტი დაფიქსირდა 1970 წლის 18 ივლისს როდესაც 40 სტუდენტმა იგრძნო სუნთქვის გაუარესება, თაბრუსხვევა და თვალების და სასუნთქი გზების მოწამვლა. ყველა გადაყვანილ იქნა სასწრაფო დახმარების კლინიკაში. შემდეგი გამოკვლევების შედეგად დადგინდა რომ მოწამვლის მიზეზს ფოტოქიმიური სმოგი წარმოადგენდა. შესაბამისად 1970 და 1971 წლებში ათასობით ადამიანი იქნა მოწამლული და მოწამვლის მიზეზი სმოგი გახლდათ [19 - 22].

## I.5. მჟავე ატმოსფერული ნალექების გამოყოფა

თანამედროვეობის და მომავლის ერთერთი უმწვავესი გლობალური პრობლემა - არის ატმოსფერული ნალექების და ნიადაგის საფარის მზარდი მჟავიანობა. მჟავე წვიმებს შეუძლია მნიშვნელოვანი ზიანი მიაყენოს, ასევე ხელისშემშლელი ფაქტორი იყოს წყლის ეკოსისტემისთვის, უარყოფითად იმოქმედოს მდინარეებზე და ტბებზე. აგრეთვე მჟავე წვიმები ზიანს აყენებს მცენარეულ საფარს, ტყის ფლორას და ფაუნას, მოსავალს და რა თქმა უნდა ცოცხალი ორგანიზმების ჯანმრთელობას.

მჟავე ნიადაგების უბნები არ განიცდიან გვალვას, მაგრამ მათი ბუნებრივი ნაყოფიერება შემცირებულია და არამდგრადია. ისინი ძალიან სწრაფად იფიტება და სულ უფრო დაბალ შემოსავალს იძლევა. ადამიანის ყოფითმა საქმიანობამ თითქმის ორჯერ გაზარდა აზოტის, გოგირდის, ნახშირბადის ოქსიდების და გოგირდწყალბადის ემისია ატმოსფეროში. ბუნებრივია, ამან იმოქმედა ატმოსფერული ნალექების, ზედაპირული და გრუნტის წყლების მჟავიანობაზე. აღნიშნული ოქსიდები, ხვდებიან რა ატმოსფეროში, გადაადგილდებიან დიდ მანძილებზე, ურთიერქმედებენ წყალთან და წარმოქმნიან გოგირდოვანი, გოგირდის, აზოტოვანი, აზოტის და ნახშირმჟავას ხსნართა ნარევებს, რომელიც შემდგომ გამოიყოფიან „მჟავე წვიმების“ სახით [23].

უკანასკნელი 100 წლის განმავლობაში ბიოსფეროში ნალექების მჟავიანობამ საგრძნობლად მოიმატა. მაგალითად, აშშ-ს ჩრდილო-აღმოსავლეთ ნაწილში XX საუკუნის დასაწყისიდან ოთხჯერ გაიზარდა.

მჟავე წვიმების ზემოქმედებით მნიშვნელოვნად მოიმატა წყალსატევების მჟავიანობამ სკანდინავიაში, ჩრდილო-აღმოსავლეთ ამერიკაში, რის შედეგადაც შემცირდა ცალკეულ სახეობათა პოპულაციების რიცხოვნება. 1975 წლის მონაცემებით, აშშ-ს ტბების ნახევარზე მეტში pH < 5-ზე იყო; ამ ტბების 90%-ში თევზი პრაქტიკულად არ ბინადრობდა. ასეთი წყალი უარყოფით ზეგავლენას ახდენს ქვირითზე და ფიტოპლანქტონზე.

უკანასკნელი წლების განმავლობაში ხე-მცენარეების სერიოზული დაავადებები აღინიშნება, რაც ფოთლების მასობრივ ცვენაში, ფესვების ლპობაში და მცენარეთა ზრდის შენელებით გამოიხატება. ამ ყველაფრის მიზეზი მჟავე წვიმებია. ეს მოვლენა პირველად სკანდინავიაში აღინიშნა, მოგვიანებით ცენტრალურ ევროპაში და ჩრ. ამერიკაში. XX საუკუნის 90-იან წლებში ევროპის სხვადასხვა ქვეყნებში დაავადებული ტყეების საერთო ფართი იყო: გერმანია 50%, ნიდერლანდები 50%, შვეიცარია 35%, ავსტრია 30%. ამ პრობლემის გადასაწყვეტად აუცილებლად საჭიროა დიდ ტერიტორიებზე ატმოსფეროს დამაბინძურებელი ნივთიერებების სისტემატური გაზომვების გაზრდა [17, 24].

## **I.6. ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება ავტოტრანსპორტის გამონაბოლქვის მავნე კომპონენტებით**

ბოლო ათწლეულებში ავტოტრანსპორტის და ავიაციის სწრაფ განვითარებასთან ერთად საგრძნობლად გაიზარდა იმ გამონაბოლქვების წილი, რომელიც ხვდება ატმოსფეროში ისეთი მოძრავი წყაროებიდან, როგორცაა სატვირთო და მსუბუქი ავტომანქანები, ტრაქტორები, თბომავლები და თვითმფრინავები. იმისდა მიხედვით, თუ როგორ არის განვითარებული წარმოება და როგორია ტრანსპორტის რიცხვი ქალაქში, ემისიის საერთო მასიდან ავტოტრანსპორტის წილი მერყეობს 30-70%. არსებული მონაცემებით, დღეისათვის მსოფლიოში დაახლოებით 500 მლნ ავტომანქანაა. ამ საუკუნის პირველი ნახევრის ბოლოსათვის მათი რაოდენობა შესაძლოა გაორმაგდეს და თუ არ იქნება მიღებული სათანადო ზომები, შესაძლოა

გარემოზე ავტოტრანსპორტით გამოწვეული ზემოქმედება მკვეთრად გაიზარდოს [25, 26].

ატმოსფეროს დაბინძურებაში ძირითადი წვლილი შეაქვთ ბენზინზე მომუშავე ავტომანქანებს (აშშ-ში მათი წვლილი შეადგენს თითქმის 75%), შემდეგ თვითმფრინავები - 5%, დიზელზე მომუშავე ავტომანქანები  $\approx$  4%, ტრაქტორები და სხვა სასოფლო-სამეურნეო მანქანები  $\approx$  4%, რკინიგზაზე და წყლის ტრანსპორტზე მოდის  $\approx$  2%. ატმოსფეროს ძირითად დამაბინძურებელ ნივთიერებებს, რომელებიც გამოიტყორცნიან მოძრავი წყაროებიდან მიეკუთვნება: ნახშირბადის მონოოქსიდი (აშშ-ში მისი წილი საერთო მასაში 70%), ნახშირწყალბადები ( $\approx$  19%) და აზოტის ოქსიდები NO ( $\approx$  9%); მოძრავი წყაროებიდან გარემოში გამოტყორცნილ დამაბინძურებელ ნივთიერებათა რიცხვი დაახლოებით 280-ს შეადგენს. გაანგარიშებულია, რომ 300 მლნ-მდე ავტომანქანა დღე-ღამეში 800 ათას ტ. CO-ს, 150 ათას ტ. ნახშირწყალბადებს, 50 ათას ტ. აზოტის ოქსიდებს და თითქმის 1000 ტ. ტყვიას გამოყოფს. CO და NO გამოიყოფა მხოლოდ გამონაბოლქვ აირებთან ერთად, იმ დროს, როცა არასრულად დამწვარი ნახშირწყალბადები CmHn გამოიყოფიან როგორც გამონაბოლქვთან ერთად (საერთო მასის 60%), ასევე კარტერიდან - 2%, საწვავი ავზიდან  $\approx$  10% და კარბიურატორიდან - 10%; მყარი მინარევები ძირითადად ხვდებიან ატმოსფეროში გამონაბოლქვებთან ერთად - 90% და კარტერიდან - 10% [17, 27].

დამაბინძურებლების ყველაზე დიდი რაოდენობა გამოიფრქვევა ავტომობილის გაქანებისას და ნელი სვლით გადაადგილებისას (ეკონომიური მოძრაობის დიაპაზონიდან). ნახშირწყალბადების და ნახშირბადის მონოოქსიდის ფარდობითი წილი ყველაზე დიდია დამუხრიჭებისას და უქმი სვლის დროს, აზოტის ოქსიდების კი გაქანებისას. ამ მონაცემებიდან ჩანს, რომ ავტომობილები განასაკუთრებით აბინძურებენ საჰაერო გარემოს ხშირი გაჩერებისას და დაბალი სიჩქარით მოძრაობისას. გამონაფრქვევი მინარევების ხარისხზე და რაოდენობაზე დიდ გავლენას ახდენს ძრავის მუშაობის რეჟიმი, კერძოდ, ჰაერის და საწვავის მასების თანაფარდობა, აალების მომენტი, საწვავის ხარისხი, წვის კამერის ზედაპირის შეფარდება მის მოცულობასთან და სხვა. ჰაერის და საწვავის მასების თანაფარდობის გაზრდისას მცირდება ნახშირბადის მონოოქსიდის და ნახშირწყალბადების გამოფრქვევა, მაგრამ იზრდება აზოტის ოქსიდების რაოდენობა. იმის მიუხედავად, რომ დიზელის ძრავი უფრო

ეკონომიურია და CO, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>, NO<sub>x</sub> გამოიყოფა იგივე რაოდენობით რაც ბენზინის ძრავის მუშაობისას, ისინი გაცილებით მეტი რაოდენობით გამოყოფენ კვამლს, რომელიც ხასიათდება ზოგიერთი დაუწვავი ნახშირწყალბადებით გამოყოფილ არასასიამოვნო სუნით. ამას თუ დავამატებთ დიზელის ძრავების მუშაობით გამოწვეულ ძლიერ ხმაურს, მივიღებთ რომ დიზელის საწვავი არა მარტო აბინძურებს გარემოს, არამედ უფრო მეტად ზემოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე, ვიდრე ბენზინზე მომუშავე ძრავები.

თვითმფრინავების ძრავების ჯამური ემისია ქალაქისათვის შედარებით დაბალია, ამის მიუხედავად აეროპორტის მიმდებარე ტერიტორიაზე მას საკმაოდ საგრძნობი წვლილი შეაქვს გარემოს დაბინძურებაში [28, 29].

## **I.7. ატმოსფეროს დაბინძურების გავლენა ადამიანზე, მცენარეებზე და ცხოველთა სამყაროზე**

კაცობრიობამ თავისი განვითარების ყველა ეტაპზე სხვადასხვა სახის საწვავს იყენებდა. მეორე მსოფლიო ომამდე გლობალური მასშტაბით ელექტროენერჯის გამომუშავების, წარმოებისა და საყოფაცხოვრებო გათბობისათვის ძირითად წყაროს ნახშირი წარმოადგენდა. აღნიშულ პერიოდში პრაქტიკულად არანაირი აირგამწმენდი დანადგარები არ არსებობდა, რაც განაპირობებდა ატმოსფერული ჰაერის ძლიერ დაბინძურებას ჭვარტლით, მტვრით, გოგირდის დიოქსიდით, ანჰიდრიდითა და აზოტის ოქსიდებით. შესაბამისადაც მსხვილ ქალაქებში, ატმოსფეროს დაბინძურება საგანგაშო მასშტაბებს აღწევდა [1, 30]. ამის კარგი მაგალითია ლონდონის სმოგი, რომელიც წარმოიქმნა 1952 წლის 5 დეკემბერს და რამოდენიმე დღე გაგრძელდა. შედეგად, დაახლოებით ოთხი ათასი ადამიანის სიცოცხლე შეიწირა და 100 ათასმა ადამიანმა მიიღო სხვადასხვა სახის დაზიანება. სმოგით გამოწვეული უარყოფითი ზემოქმედებების შედეგად მომდევნო თვეებში კიდევ რვა ათასი ადამიანი დაიღუპა. იგი რამდენიმე ასეულ ტონა კვამლსა და გოგირდოვან ანჰიდრიდს შეიცავდა. ამ ფაქტმა აიძულა ბრიტანელები რომ შეეცვალათ დამოკიდებულება გარემოს დაბინძურების მიმართ, ამიტომ მიღებულ იქნა კანონები, რომელიც გარემოზე უარყოფითი ზემოქმედების შეზღუდვებს აწესებდა. დროთა განმავლობაში ტექნოლოგიური მეთოდების და ადამიანთა ეკოლოგიური კულტურის განვითარებით ემისიის შემცირების მიზნით მოხდა ერთი წიაღისეული საწვავის ჩანაცვლება შედარებით

ნაკლები ემისიის მქონე სხვა წიაღისეული საწვავით (მაგალითად, ნახშირი შეიცვალა ბუნებრივი აირით და ნავთობით). სამრეწველო და სატრანსპორტო სექტორებში მოხდა სხვადასხვა სახის მაღალეფექტური ფილტრების და კატალიზატორების დანერგვა, გაიზარდა როგორც ჰიდროენერგეტიკის, ასევე სხვა სახის განახლებადი ენერგორესურსების გამოყენებაც. მრავალი ძალისხმევის შედეგად, ზამთრის სმოგი იშვიათი მოვლენა გახდა [31, 32].

სმოგი მნიშვნელოვან პრობლემას წარმოადგენს ჩინეთის დიდ ქალაქებშიც, განსაკუთრებით ამ სახის პრობლემით გამოირჩევა პეკინი. პეკინის მეტროლოგიური სადგურების ინფორმაციით ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება დადგენილ ნორმებს 20-ჯერ აჭარბებს (25 და 501 მკგ/მ<sup>3</sup> ნაწილაკები PM<sub>2.5</sub>-ზე). ქალაქებში ფილტვების სიმსივნით დაავადება 2 – 3 -ჯერ უფრო ხშირია, ვიდრე სოფლებში. სმოგის შედეგად ყოველ წელს დაახლოებით ნახევარი მილიონი ჩინეთის მოქალაქე იღუპება, ჯანმრთელობაზე უარყოფითი ზემოქმედების გარდა, სმოგი უარყოფითად მოქმედებს მოსავლიანობაზე. სმოგის გამო შენელებულია მცენარეების ზრდა, მათ არ ყოფნის მზის სხივებისაგან მიღებული ენერგია, რომელიც ესე საჭიროა ფოტოსინთეზისთვის. სმოგს იმდენად დიდი უარყოფითი ზემოქმედება აქვს მოსავლიანობაზე რომ ფერმერები შედარებას ახდენენ ბირთვულ ზამთართან [33].

მსოფლიოს ჯანდაცვის ორგანიზაციის მიხედვით (ჯანმო) დაბინძურებული ჰაერი უარყოფით ზემოქმედებას ახდენს ცოცხალ ორგანიზმებზე, მათ შორის ადამიანზეც და იწვევს ისეთ დაავადებებს როგორებიცაა: რესპირატორული ინფექციები, გულის დაავადებები და რა თქმა უნდა, ფილტვების სიმსივნე. ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებით გამოწვეულ ჯანმრთელობის პრობლემებს შეიძლება აგრეთვე მივაკუთვნოთ: გართულებული სუნთქვა, ხველა, ასთმა და სხვა.

მსოფლიოს ჯანდაცვის ორგანიზაციის კვლევების მიხედვით დაბინძურებული ჰაერით გამოწვეული დაავადებებით ყოველ წელიწადს 2.4 მილიონი ადამიანი იღუპება. ბირმინგემის უნივერსიტეტის კვლევების შედეგების თანახმად მნიშვნელოვანი კავშირია ავტომანქანებით გამოწვეული ატმოსფეროს დაბინძურებებსა და ფილტვების ანთებით გარდაცვლილ ადამიანებს შორის. სტატისტიკური მონაცემებიდან ჩანს, რომ მსოფლიოში ყოველწლიურად ჰაერის დაბინძურების გამო დაღუპულ ადამიანთა რიცხვი მნიშვნელოვნად აღემატება ავტოკატასტროფებში დაღუპულებისას [34].

ყველაზე დიდი კატასტროფა, რომელმაც მოკლე პერიოდში გამოიწვია საზოგადოების მოწამვლა, დაფიქსირებულ იქნა ინდოეთში, კერძოდ ბოპალში 1984 წლის 2-3 დეკემბრის ღამეს. „Union Carbide India Limited“-დან გამოჟონილმა ინდუსტრიულმა ორთქლმა უმალვე იმსხვერპლა დაახლოებით 2300 ადამიანი, შემდეგი ორი კვირის განმავლობაში დაიღუპა რვა ათასი, ამდენივე ადამიანი დაიღუპა მომდევნო პერიოდში მოწამვლის შედეგად მიღებული დაზიანებისაგან. ჯამში სხვადასხვა სახის დაზიანება მიაღწა 600 ათასამდე ადამიანს [35, 36]. ამ კონკრეტული ფაქტების გარდა მე-20 საუკუნეში იყო სხვა შემთხვევებიც რომლებმაც გამოიწვიეს მნიშვნელოვანი ეკოლოგიური კრიზისი და ადამიანთა განადგურება, ამის ერთ-ერთი მაგალითია ზემოთ ნახსენები სმოგი რომელიც მოხდა 1952 წელს ლონდონში. ატმოსფერული მოწამვლის ყველაზე ძლიერი კატასტროფა, რომელიც აშშ-ში პენსილვანიის შტატში მოხდა, იყო 1948 წლის ოქტომბერში, როდესაც 20 ადამიანი დაიღუპა და 7000-ზე მეტი დაშავდა [37].

## I.8 საერთაშორისო ძალისხმევა

ბოლო რამდენიმე ათწლეულის განმავლობაში, გარემოს დაცვა მთელი მსოფლიოს საერთაშორისო საზოგადოებისთვის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მიზანი გახდა. 1979 წელს კლიმატისადმი მიძღვნილმა პირველმა მსოფლიო კონფერენციამ რომელიც მოწვეულ იქნა გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის გარემოსდაცვითი პროგრამის (UNEP), საკვებისა და სოფლის მეურნეობის ორგანიზაცია (FAO), იუნესკო (UNESCO) და მსოფლიოს ჯანდაცვის ორგანიზაციის (WHO) მიერ, კლიმატის ცვლილება სერიოზულ პრობლემად აღიარა. ამ სამეცნიერო თავყრილობამ გამოიკვლია და გააანალიზა, თუ როგორ შეიძლება იმოქმედოს კლიმატის ცვლილებამ ადამიანის საქმიანობაზე. გამოიცა დეკლარაცია, მსოფლიოს მთავრობებისადმი მოწოდებით, გაეთვალისწინებინათ და თავიდან აეცილებინათ კლიმატის ცვლილებები, რომელთაც შეეძლოთ უარყოფითი გავლენა მოეხდინა კაცობრიობის კეთილდღეობაზე. კონფერენციაზე მოწონებულ იქნა წინადადება დაფუძნებულიყო მსოფლიო კლიმატური ორგანიზაცია [38].

როგორც ზემოთ აღინიშნა, XX საუკუნის 80-იანი წლების ბოლოს და 90-იანი წლების დასაწყისში, გაიმართა მთელი რიგი სამთავრობათშორისო კონფერენციები კლიმატის ცვლილების შესახებ. მზარდ სამეცნიერო მტკიცებულებებთან ერთად, ეს კონფერენციები დაეხმარა ამ საკითხისადმი საერთაშორისო ინტერესის გაზრდას.



მონაწილეობდნენ მთავრობებიდან პოლიტიკის გამტარებლები, მეცნიერები და გარემოს დამცველები. შეხვედრებზე განიხილულ იქნა სამეცნიერო და პოლიტიკური საკითხები და გაჟღერებულ იქნა მოწოდება ერთობლივი ქმედებებისაკენ. აღნიშნული მიმართულებით საკვანძო მოვლენებს 80-იანი წლებში ჩაეყარა საფუძველი, როდესაც თანმიმდევრობით და წარმატებით მრავალი კონფერენცია იყო ჩატარებული: ვილაჩის კონფერენცია (The Villach Conference. October 1985), ტორონტოს კონფერენცია (The Toronto Conference. June 1988), ოტავას კონფერენცია (The Ottawa Conference. February 1989), ტატას კონფერენცია (The Tata Conference. February 1989), ჰააგის კონფერენცია და დეკლარაცია (The Hague Conference and Declaration. March 1989), ნორდვიკის მინისტრთა კონფერენცია (The Noordwijk Ministerial Conference. November 1989), ქაიროს შეთანხმება (The Cairo Compact. December 1989), ბერგენის კონფერენცია (The Bergen Conference. May 1990) და მსოფლიო კლიმატის მეორე კონფერენცია (The Second World Climate Conference. November 1990).

ამან ძლიერი ზეგავლენა მოახდინა როგორც პოლიტიკოსებზე, ასევე ფართო საზოგადოებაზე და შეამზადა საფუძვლები კლიმატის ცვლილების კონვენციის შესახებ მოლაპარაკებებისთვის.

შესაბამისად, 1992 წელს მსოფლიოში პირველად რიო დე ჟანეიროში შეიკრიბნენ 200-მდე ქვეყნის წარმომადგენლები, რათა ერთობლივი ძალისხმევით მოეხდინათ კლიმატის ცვლილებების გამომწვევი მიზეზების და გარემოზე უარყოფითად მოქმედი ნივთიერებების განზნევის რეგულირება, რომ დარეგულირებულიყო ატმოსფეროში განზნეული სათბურის ეფექტის მქონე აირების ისეთი კონცენტრაციები რომელიც არ მოახდენს კლიმატზე უარყოფით ანთროპოგენულ ზემოქმედებას. კლიმატის ცვლილების შესახებ გაეროს ჩარჩო კონვენციას ხელი მოაწერა 154 სახელმწიფომ (დამატებული ევროკავშირი). სტოკჰოლმის 1972 წლის დეკლარაციიდან 20 წლის შემდეგ, პირველად ჩაუყარა რა საფუძვლები თანამედროვე გარემოსდაცვით პოლიტიკას, დედამიწის სამიტი გახდა სახელმწიფოთა მეთაურების ოდესმე ჩატარებულები შეხვედრებიდან უდიდესი [39-41].

ზემოთ ავლნიშნეთ, რომ ოზონის ფენის დაშლა გლობალურ პრობლემას წარმოადგენს. ამის მიზეზია ქლორფტორნახშირბადები და ჰალოგენები. ამ პრობლემის გადასაჭრელად 1985 წელს მიღებულ იქნა „ვენის კონვენცია ოზონის შრის დაცვის

შესახებ“. აღნიშნულ კონვენციას ასევე გააჩნია ერთი ოქმი რომელიც მოგვიანებით 1987 წლის 16 სექტემბერს მონრეალში იქნა მიღებული „ოზონის შრის დამშლელი ნივთიერებების შესახებ“ და ძალაში შევიდა 1989 წლის 1 იანვარს. დღესდღეობით მას ხელი 200-მდე ქვეყანამ მოაწერა. ხელის მომწერმა ქვეყნებმა იკისრეს ვალდებულება რომ შეიზღუდოს ოზონდამშლელი ნივთიერებების წარმოება და მოხმარება [42, 43].

70-იან წლებში სკანდინავიაში მცენარეული საფარის განადგურების მიზეზი გახდა ცენტრალურ ევროპაში ქვანახშირის წარმოებისას გამოყოფილი SO<sub>2</sub>. ვინაიდან ჰაერის დაბინძურებას საზღვრები არ გააჩნია, ამ პრობლემას გლობალური ხასიათი აქვს, ევროპაში ჰაერის დაბინძურების საპასუხოდ ქ. ჟენევაში 1979 წელს ხელმოწერილ იქნა „კონვენცია შორ მანძილებზე ჰაერის ტრანსსასაზღვრო დაბინძურების შესახებ“, რომელიც ძალაში შევიდა 1983 წელს, დღესდღეობით კონვენციას შეუერთდა 51 ქვეყანა. ეს არის ჩარჩო კონვენცია, რომელსაც გააჩნია 8 ოქმი, რომელიც მიმართულია ადამიანის ჯანმრთელობის დაცვასა და გარემოში ძირითადი დამაბინძურებელი ნივთიერებების შემცირებაზე. აგრეთვე ოქმები არეგულირებენ: აზოტის ოქსიდების (NO<sub>x</sub>), გოგირდის დიოქსიდის (SO<sub>2</sub>), ამიაკის, მდგრადი ორგანული დამაბინძურებლების (მოდ), აქროლადი ორგანული ნაერთების (აონ), მყარი ნაწილაკების და მძიმე ლითონების ატმოსფეროში გაფრქვევის სტანდარტებს [44].

დედამიწაზე ცოცხალი ორგანიზმების და მათ შორის ადამიანის არსებობა და საარსებო გარემოს შენარჩუნება მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული მცენარეულ საფარზე, ასევე ფლორისა და ფაუნის რეგენერაციის უნარზე. გარდა იმისა, რომ მცენარეული საფარი ჟანგბადით ამარაგებს ცოცხალ ორგანიზმებს, ასევე მცენარეები ბიოლოგიურ ფილტრს წარმოადგენენ და ვეგეტაციის პერიოდში ხის ვარჯებში ტოქსიკური ნივთიერებების აკუმულირებას ახდენენ. მცენარეები ყოველწლიურად 170 მილიარდ ტონა ნახშირბადის დიოქსიდს შთანთქავენ და 115 მილიარდ ტონა ჟანგბადს გამოყოფენ, მაგრამ გამომდინარე იქიდან, რომ ანთროპოგენული ზემოქმედება ბოლო 50-60 წლის განმავლობაში მნიშვნელოვნად გაიზარდა, ამის გამო დედამიწაზე საჰაერო აუზი ყოველწლიურად 10 მილიარდი ტონა ჟანგბადით მცირდება. სხვადასხვა ქვეყნების ჟანგბადის მოხმარების დონე და ანთროპოგენული ზემოქმედება ფლორა და ფაუნაზე მნიშვნელოვნად განსხვავებულია. ამის თვალსაჩინო მაგალითს წარმოადგენს ა.შ.შ. რომელიც მსოფლიო რესურსების 30%-ს მოიხმარს, პლანეტას აბინძურებს 40%-ით

და ქვეყანაში არსებული მწვანე საფარიდან გამოყოფილი ჟანგბადის რაოდენობა 3-ჯერ უფრო ნაკლებია მოსახლეობის (რომელიც მსოფლიო მოსახლეობის 6%-ია) მიერ მოხმარებული ჟანგბადისაგან [17, 45].

ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების პრობლემის დასარეგულირებლად, მსოფლიოში სხვადასხვა ქვეყნები სხვადასხვა ღონისძიებებს ატარებენ. ამ ღონისძიებებიდან აღსანიშნავია: სუფთა ტექნოლოგიების დანერგვა, ენერჯის წარმოების ალტერნატიული და განახლებადი წყაროების გამოყენება (ჰესები, ბიოგაზი, ქარის, თერმული წყლების და მზის ენერჯია), ეკონომიური ავტომობილების, ეკოლოგიურად სუფთა როგორც საწვავის, ასევე ტრანსპორტის შექმნა. ახალი ტექნოლოგიების შემუშავების გარდა, ხდება გარემოზე ზემოქმედების, გარემოში ემისიების ნორმების დაწესება და ეფექტური გარემოსდაცვითი საკანონმდებლო ბაზის შექმნა.

როგორც ზემოთხსენებული ჩამონათვლიდან ჩანს, დიდი ძალისხმევაა გაწეული, მაგრამ არსებული წინააღმდეგობების გადალახვა ჯერაც რთულია, რადგან ყველა ეს ძალისხმევა ეკონომიკურ სირთულეთანაა დაკავშირებული, ასევე მნიშვნელოვან წილადაა დამოკიდებული მოსახლეობის ცნობიერებაზე. ამ სირთულეების მიუხედავად რომელიც ეკონომიკურ წინააღმდეგობასთან იყო დაკავშირებული და განვითარებული ქვეყნები სწორედ ამ მიზეზს ასახელებდნენ სხვადასხვა გარემოსდაცვით კონვენციებს შესრულების სიძნელეებზე, ბოლო წლების განმავლობაში გამონახულ იქნა სხვადასხვა რესურსი და ჩატარებულ იქნა მნიშვნელოვანი სამუშაოები. წინგადადგმული ნაბიჯია ის ფაქტი რომ, უკანასკნელი 20 წლის განმავლობაში ევროკავშირის ქვეყნებში ხმარებიდან ამოღებული იყო ტყვიაშემცველი ბენზინი [46].

აგრეთვე წარმატებულად შეიძლება ჩაითვალოს SO<sub>2</sub>-ის გაფრქვევის შემცირება როგორც ევროკავშირის ქვეყნებში, ასევე ამერიკასა და კანადის ტერიტორიაზე. ევროპის გარემოსდაცვითი სააგენტოს მონაცემებით ევროკავშირის ქვეყნების ტერიტორიაზე 1990 წელს ატმოსფეროში გაშვებული SO<sub>2</sub>-ის კონცენტრაცია შეადგენდა 28.8 ტერაგრამს, ხოლო 2011 წელს შემცირებულ იქნა 6.6 ტერაგრამამდე. ჩრდილოთ ამერიკის ტერიტორიაზე 1990 წელს ატმოსფეროში გაშვებული SO<sub>2</sub>-ის კონცენტრაცია - 23.3 ტერაგრამი, ხოლო ხოლო 2011 წელს შემცირებულ იქნა 8.1 ტერაგრამამდე, ასევე რუსეთის ფედერაციის ტერიტორიაზე 1990 წელს ატმოსფეროში გაშვებული SO<sub>2</sub>-ის

კონცენტრაცია - 11.1 ტერაგრამი, ხოლო ხოლო 2011 წელს შემცირებულ იქნა 4.4 ტერაგრამამდე. აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ჩინეთის ტერიტორიაზე SO<sub>2</sub>-ის გაფრქვევა დაახლოებით გაორმაგდა: 1990 წელს კონცენტრაცია იყო 16.5 ტერაგრამი, 2011 წელს გახდა 29.1 ტერაგრამი (ცხრილი N3) [47].

**ცხრილი N3. SO<sub>2</sub>-ის რეგიონალური ემისია 1990-2011; SO<sub>2</sub> ტგ**

რეგიონი	1990	1995	2000	2005	2010	2011
აფრიკა	5.4	5.2	4.9	5.4	5.8	5.9
ჩინეთი	16.5	21.2	24.2	32.4	29.9	29.1
ინდოეთი	3.4	4.6	5.7	6.9	9.5	10.1
შუა აღმოსავლეთი	3.6	4.8	5.0	5.3	5.7	5.6
აზიის და წყნარი ოკეანის სხვა ქვეყნები	8.8	9.2	8.9	8.2	7.9	7.8
ევროპა <sup>ა)</sup>	28.8	18.8	13.3	10.5	6.9	6.6
EECCA <sup>ბ)</sup>	6.4	5.1	3.8	3.6	4.2	4.4
რუსეთის ფედერაცია	11.1	6.4	5.9	6.2	4.7	4.4
ლათინური ამერიკა და კარიბები	6.8	6.5	7.3	5.3	5.0	5.0
აშშ & კანადა	23.2	20.0	17.6	16.1	9.5	8.1
საერთაშორისო გადაზიდვა	6.8	8.2	9.8	12.0	13.6	13.6
გლობალური	121	110	106	112	103	101

<sup>ა)</sup> არ შედის EECCA და რუსეთის ფედერაცია;

<sup>ბ)</sup> აღმოსავლეთ ევროპა, კავკასია და ცენტრალური აზია (EECCA) შედის ყოფილი საბჭოთა კავშირის ქვეყნებში, რუსეთის ფედერაციის გამოკლებით და ყოფილი ბალტიის სახელმწიფოები (ლიტვა, ლატვია, ესტონეთი), ვინაიდან ისინი ამჟამად ევროკავშირის ქვეყნებს წარმოადგენენ.

ბოლო წლების განმავლობაში შემცირდა გარემოზე უარყოფითად მოქმედი სხვა ნივთიერებების კონცენტრაციებიც. მაგალითად, ამიაკის კონცენტრაცია 2011 წლის მონაცემების მიხედვით 28%-ით იქნა შემცირებული 1990 წელთან შედარებით, ასევე ევროპაში 2000 წელთან შედარებით ატმოსფეროში მყარი ნაწილაკების (PM) კონცენტრაცია შემცირდა 20%-ით. NO<sub>x</sub>-ის კონცენტრაცია შემცირებულ იქნა 48%-ით. გარდა აღნიშნულისა, ენერგეტიკულ სექტორში შეინიშნება მნიშვნელოვანი ცვლილებები, სადაც ატმოსფეროში გაფრქვეული SO<sub>2</sub>-ის კონცენტრაციის შემცირება აღინიშნება. 1990 წელს - 62.4 ტერაგრამი იყო, ხოლო 2011 წელს 40.0 ტერაგრამი

შეადგინა. სხვადასხვა სექტორში გაფრქვეული SO<sub>2</sub>-ის დინამიკა მოცემულია N4 ცხრილში.

როგორც შედეგებიდან ჩანს, ევროკავშირის წევრი ქვეყნების ტერიტორიებზე ახალი გარემოსდაცვითი კანონმდებლობების მიღების შედეგად შემცირებულ იქნა ატმოსფეროში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებების კონცენტრაცია და გამომდინარე მიღებული რეგულაციებიდან, მოსალოდნელია, მომდევნო 10 წლის განმავლობაშიც ნივთიერებების გაფრქვევის შემცირების ტენდენციის გაგრძელება. როგორც უკვე აღვნიშნეთ ენერგეტიკულ სექტორში SO<sub>2</sub>-ის კონცენტრაციის შემცირება სახეზეა და მოსალოდნელია, რომ შემცირებულ იქნას ისეთი ნივთიერებების კონცენტრაციები როგორცაა NO<sub>2</sub> და PM [47, 48].

**ცხრილი N4. SO<sub>2</sub>-ის სექტორული ემისია 1990-2011; SO<sub>2</sub> ტგ**

სექტორი	1990	1995	2000	2005	2010	2011
ენერგეტიკული სექტორი	62.4	55.8	53.1	56.7	43.0	40.0
საცხოვრებელი	11.3	8.2	5.9	5.8	6.2	6.4
ინდუსტრიული	34.8	33.1	33.9	34.1	37.8	38.7
ტრანსპორტი	5.3	4.5	3.4	2.9	1.8	1.6
ნარჩენები	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
საერთაშორისო გადაზიდვა	6.8	8.2	9.8	12.0	13.6	13.6
ჯამი	131	110	106	112	103	101

აღმოსავლეთ ევროპის, კავკასიის და ყოფილი საბჭოთა კავშირის ქვეყნების ტერიტორიებზე 90-იანი წლების ბოლოდან შეიმჩნეოდა SO<sub>2</sub>-ის კონცენტრაციის შემცირება, მაგრამ თანდათან სატრანსპორტო საშუალებების რაოდენობის გაზრდისა და ატმოსფერული ჰაერის დაცვის არაეფექტური კანონმდებლობისა და პოლიტიკის გამო ძირითადი დამაბინძურებელი ნივთიერებების რაოდენობა გაიზარდა. მნიშვნელოვანია რომ, აღნიშნული ქვეყნების დედაქალაქებში ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების დაახლოებით 80%-ს ავტოტრანსპორტი წარმოადგენს. ჯანმრთელობის მსოფლიო ორგანიზაციამ (ჯანმო) მოსახლეობის ჯანმრთელობის დაცვის მიზნით მთავრობების წინაშე დააყენა საკითხი დიდ ქალაქებში ჰაერის ხარისხის გაუმჯობესებაზე. ჰაერის დაბინძურების დონის შემცირებით, შემცირდება ისეთი დაავადებების რისკი,

როგორცაა ფილტვის კიბო, გულსისხლძარღვთა დაავადებები და რესპირატორული ინფექციები [48].

## I.9. ძირითად დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ბაზა

**გოგირდის დიოქსიდი ( $SO_2$ ).** გოგირდის დიოქსიდი წარმოადგენს აირს, რომელიც მონაწილეობას იღებს გლობალური დათბობის პროცესში. იგი წარმოიქმნება როგორც ანთროპოგენული, ასევე ბუნებრივი ემისიის წყაროებიდან. ბუნებრივი წყაროებიდან გამოყოფა ვულკანური აქტიურობის შედეგად ხდება. გოგირდი შედის ნავთობში და ქვანახშირში (შემცველობა 1-5%). სწორედ ნავთობის და ქვანახშირის საწვავად გამოყენებისას მასში არსებული გოგირდი იჟანგება და გარდაიქმნება გოგირდის დიოქსიდად. ელექტროსადგურები, საწარმოები რომლებიც ქვანახშირზე მუშაობენ გოგირდის დიოქსიდის ემისიის მნიშვნელოვანი წყაროებია, ასევე განვითარებად ქვეყნებში ქვანახშირის უკონტროლო წვა და გოგირდშემცველი საწვავის გამოყენება, გოგირდის დიოქსიდის გაფრქვევის ძირითადი წყაროა.

გოგირდის დიოქსიდი ( $SO_2$ ) და გოგირდის ანჰიდრიდი ( $SO_3$ ) შეწონილ ნაწილაკებთან და ნესტთან ერთად მავნე ზეგავლენას ახდენენ ადამიანზე, სხვა ცოცხალ ორგანიზმებზე და მატერიალურ ფასეულობაზე. გოგირდის დიოქსიდი პირდაპირ კავშირშია ისეთ პროცესებთან როგორცაა ნიადაგისა და წყლების მჟავიანობის გაზრდა, რაც უარყოფითად მოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობასა და ბუნებრივ გარემოზე. გოგირდის დიოქსიდი ჰაერში აზოტის ოქსიდებთან ერთად „მჟავე წვიმებს“ გამომწვევი მიზეზია. გოგირდის დიოქსიდი - უფერო და არაწვადი აირია. მისი სუნი შეიგრძნობა ჰაერში, როცა კონცენტრაცია აღწევს 0.3 - 1.0 მლგ/მ<sup>3</sup>, გოგირდის დიოქსიდის მაღალი კონცენტრაცია უშუალო კავშირშია ადამიანების დაავადებების მატებასთან, გამწვავებასთან და ზოგ შემთხვევაში სიკვდილიანობის ზრდასთანაც. სასუნთქი ორგანოების დაავადებები მწვავდება ჰაერში გოგირდის დიოქსიდის კონცენტრაციის მომატებისას, კერძოდ, მსხვილი ქალაქების ატმოსფერულ ჰაერში. შედეგად, იწვევს ზემო სასუნთქი გზების და ტრაქეის ლორწოვანი გარსის გაღიზიანებას. ასევე, იწვევს ბრონქების სპაზმს და სუნთქვისას ზრდის სასუნთქი გზების წინააღმდეგობას. გოგირდის დიოქსიდის, მყარი ნაწილაკების და გოგირდმჟავის ნარევის საშუალო წლიური შემცველობით 0.04-0.09 მლნ/ტ და ბოლის კონცენტრაციით 150-200 მკგ/მ<sup>3</sup> იწვევს სუნთქვის გართულებას და ფილტვების დაავადებას.  $SO_2$ -ის საშუალო დღე-

დამის შემცველობისას კონცენტრაციით 0.2-0.5 მლგ/მ<sup>3</sup> და ბოლის კონცენტრაციით 500-750 მკგ/მ<sup>3</sup> შეიმჩნევა ავადმყოფების რიცხვის და სიკვდილიანობის მკვეთრი ზრდა [49 - 51].

**აზოტის ოქსიდები (NO<sub>x</sub>).** საწვავის წვის პროცესში გარდა ზემოხსენებული გოგირდის დიოქსიდისა, მასში არსებული აზოტი იჟანგება აზოტის ოქსიდებამდე. აზოტის შემცველობა ნავთობში დაახლოებით 0.3%-ია, ხოლო ქვანახშირში 1% – ის ტოლია. ატმოსფერულ ჰაერში აზოტის ოქსიდების მოხვედრის სხვადასხვა წყაროები არსებობს. განსაკუთრებით დიდი წილი მოდის: ავტომობილების და თბოელექტროსადგურების გამონაბოლქვზე და ბუნებრივი აირის ნაძვზე. იმისათვის რომ, მოხდეს აზოტის ოქსიდების წარმოქმნა აზოტის დაწვისას საჭიროა ძალიან მაღალი ტემპერატურა და ჟანგბადის დიდი რაოდენობა. წვის პროცესის მიმდინარეობისას პირდაპირი გზით აზოტის დიოქსიდის მხოლოდ 5% წარმოიქმნება, მაგრამ ქიმიური რეაქციების შედეგად აზოტის ოქსიდების მნიშვნელოვანი ნაწილი სწრაფად იჟანგება და გარდაიქმნება აზოტის დიოქსიდად [6, 48].

აზოტის დიოქსიდის დიდი კონცენტრაციით მიღებისას ადამიანს ეწყება ძლიერი მოწამვლა და ხშირ შემთხვევაშიც სიკვდილითაც კი შეიძლება დამთავრდეს. მცირე კონცენტრაციით მოწამვლისას აღენიშნება ხველება, სისუსტე და თავის ტკივილი. 0.008 მგ/ლ აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაციისას შეიგრძნება სუნი და იწვევს პირის ღრუს გაღიზიანებას. აზოტის ოქსიდები განსაკუთრებით საშიშია, როცა ისინი სხვა ტოქსიკურ ნაერთებთან ერთად ახდენენ ზემოქმედებას ადამიანებზე. ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის მიერ დადგენილია, რომ გოგირდის დიოქსიდისა და აზოტის ოქსიდების მაღალი კონცენტრაციების შემცველი ჰაერი იწვევს სასუნთქი ორგანოების დაავადებათა 3.5-5-ჯერ მატებას [48, 49].

გარდა აზოტის დიოქსიდისა, აზოტის მონოოქსიდიც მნიშვნელოვან ზიანს აყენებს ადამიანის ჯანმრთელობას. ადამიანისათვის ზიანის მიყენების ხარისხი დამოკიდებულია კონცენტრაციებზე და ზემოქმედების ხანგრძლივობაზე. მაგალითად, 1-5 მგ/ლ აზოტის მონოოქსიდი უფრო სახიფათო და ტოქსიკურია ადამიანისათვის, ვიდრე იმავე კონცენტრაციის აზოტის დიოქსიდი, ხოლო აზოტის დიოქსიდი კონცენტრაციით 0.2-0.7 მგ/ლ უფრო ტოქსიკურია, ვიდრე აზოტის მონოოქსიდი [52].

**ნახშირბადის მონოოქსიდი (CO).** CO - დედამიწის ატმოსფეროში მცირე რაოდენობითაა და ატმოსფეროს მუდმივ შემადგენელ კომპონენტს წარმოადგენს. მისი ბუნებრივი დონე 0.1-0.9 მგ/მ<sup>3</sup> შეადგენს. ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში CO-ს კონცენტრაცია საშუალოდ 3-ჯერ მეტია ვიდრე სამხრეთ ნახევარსფეროში, განსხვავებით ოკეანის ზედაპირისა, სადაც ორივე ნახევარსფეროში დაახლოებით ერთიდაიგივეა. ნახშირბადის მონოოქსიდის ატმოსფეროში მოხვედრის სხვადასხვა გზები არსებობს: ორგანული ნაერთების არასრული წვა, მიკროორგანიზმების, მცენარეების, ცხოველების და ადამიანის მიერ გამოყოფა. გარდა ამისა, წელიწადში ოკეანის ზედაპირიდან გამოიყოფა  $220 \times 10^6$  ტონა CO, რომელიც წარმოიქმნება პლანქტონის, წითელი, მოცისფრო-მომწვანო და სხვა წყალმცენარეების დაშლისას. CO ატმოსფეროში ვულკანებიდან და ჭაობებიდან გამოყოფილი აირებიდან, ასევე ტყეების წვის შედეგად ხვდება [49].

ანთროპოგენული წყაროებიდან აღსანიშნავია მეტალურგიული წარმოება, ავტოტრანსპორტი, ნავთობის და ქვანახშირის წვა. CO-ს წარმოქმნა ნახშირბადის არასრული წვის შედეგია, რაც არასაკმარისი ტემპერატურისას ან ჰაერის მიწოდების სისტემის არასრული გამართულობისას ხდება (საკმარისი რაოდენობით ჟანგბადი მიეწოდება იმისათვის რომ მოხდეს CO-ს CO<sub>2</sub>-ად დაჟანგვა). აღნიშნული წყაროებიდან ავტოტრანსპორტი პირველ ადგილზეა. შიდაწვის ძრავაში საწვავის წვის პროცესის ოპტიმალური პირობები მხოლოდ გარკვეულ სამუშაო რეჟიმში მუშაობისას არის მიღწევადი. CO-ს ატმოსფეროში გამოყოფის თავიდან აცილების ერთ-ერთი საშუალებას წარმოადგენს ავტომობილის მაცუქში დამონტაჟებული კატალიზატორები, რომელთა საშუალებითაც იქმნება შესაბამისი პირობები, რომ განხორციელდეს CO-ს დაჟანგვა CO<sub>2</sub>-მდე.

ცნობილია ნახშირბადის მონოოქსიდის როგორც მხუთავი აირის ზემოქმედება ადამიანის ორგანიზმზე. ნახშირბადის მონოოქსიდი გავლენას ახდენს როგორც ჯანსაღი, ასევე არაჯანსაღი ადამიანის ორგანიზმზე. ეს ეფექტი მიიღწევა მაშინ როდესაც ლოკალურმა დაბინძურებამ შეიძლება სიცოცხლისათვის სახიფათო ზღვრებს მიაღწიოს. თუმცა, CO-ს კონცენტრაცია ატმოსფეროში მცირეა და თავისი სწრაფი აღმდგენითი უნარის გამო არ იწვევს მოწამვლას. შესუნთქულმა აირმა შეიძლება გამოიწვიოს ჰიპოქსიური დაზიანება, ნერვული სისტემის დაზიანება და სიკვდილიც



კი. მონოოქსიდის გადაჭარბებული რაოდენობა ორგანიზმში ამცირებს ჟანგბადის რაოდენობას რომელიც გადაიტანება ჰემოგლობინით სისხლის წითელ უჯრედებით. შედეგად, სასიცოცხლო ორგანოების, როგორცაა თავის ტვინი, ნერვული ქსოვილები და გული, არ მიეწოდებათ ჟანგბადის საკმარის რაოდენობა და შესაბამისად იწვევს ორგანოების არასრულყოფილად ფუნქციონირებას.

როდესაც CO-ს კონცენტრაცია აღემატება ზვრულად დასაშვებს ნორმას, იწვევს ადამიანის ორგანიზმში ფიზიოლოგიურ ცვლილებებს, ხოლო კონცენტრაცია 750 მკგ/მ<sup>3</sup> ოდენობით იწვევს სიკვდილს. ეს იმით აიხსნება, რომ CO აგრესიული გაზია, რომელიც იოლად უერთდება ჰემოგლობინს. შეერთებისას წარმოიქმნება კარბოქსიჰემოგლობინი, რომლის შემცველობა 0.4% ოდენობით სისხლში იწვევს:

- ა) მხედველობის და დროის ინტერვალების შეფასების გაუარესებას;
- ბ) თავის ტვინის ზოგიერთი ფუნქციების დარღვევას (შემცველობა 2-5%);
- გ) გულის და ფილტვების მუშაობის ცვლილებას (შემცველობა > 5%);
- დ) თავის ტკივილს, ძილიანობას, სპაზმს, სუნთქვის დარღვევას და სიკვდილს (10-80%).

საბედნიეროდ, კარბოქსიჰემოგლობინის წარმოქმნა სისხლში - შექცევადი პროცესია: CO-ს მიწოდების შეწყვეტის შემდეგ იწყება მისი გამოდევნა სისხლიდან; ჯანმრთელ ადამიანში CO-ს შემცველობა სისხლში ყოველ 3-4 საათის შემდეგ მცირდება ორჯერ, მაგრამ ამავე დროს ძალიან სტაბილური ნივთიერებაა, ატმოსფეროში მისი ყოფნის ხანგრძლიობა 2-4 თვეა.

ადამიანები რომელთაც აღენიშნებათ გულის პრობლემები, უფრო ხშირად განიცდიან სტენოკარდიულ შეტევებს. CO ასევე სახიფათოა ბავშვებისათვის, ვინაიდან მათ მოზარდი ორგანიზმი აქვთ. ნახშირბადის მონოოქსიდის ძალიან დაბალი კონცენტრაციაც კი 0.04%, 1-2 საათის განმავლობაში ძლიერ თავის ტკივილს იწვევს [49, 55].

**აქროლადი ორგანული ნაერთები -აონ (VOCs)** - ქიმიური ნაერთებია, რომლებიც აქროლდებიან ატმოსფეროში და შემდეგ უერთდებიან აზოტის ოქსიდს და ოზონს. აონ-ს მიეკუთვნება ალდეჰიდები, კეტონები, არომატული ნახშირწყალბადები და სხვა. ისინი შედიან სხვადასხვა ორგანული გამხსნელებში, ლაქებში, ბენზინში და დამასუფთავებელ სითხეებში. ასევე, ჩვეულებრივი სინთეზური საღებავები შეიცავენ მრავალ აქროლად ორგანულ დამაბინძურებლებს, რომლებიც სერიოზულ საშიშროებას

წარმოადგენენ ცოცხალი ორგანიზმებისათვის. აღნიშნული ნაერთები ადვილად აითვისება ფილტვებიდან და კანიდან და აკუმულირდება ადამიანის ორგანიზმში, რაც შემდგომში იწვევს ალერგიას, თვალების წვას, სასუნთქი ორგანოების გაღიზიანებას, თავის ტკივილს, გულისრევას, ღვიძლის და ცენტრალური ნერვიული სისტემის დაზიანებას. ზოგიერთმა ნივთიერებამ შეიძლება გამოიწვიოს სიმსივნური დაავადებები როგორც ცხოველებში, ასევე ადამიანებში. გარდა ამისა, აქროლადი ორგანული ნაერთები მონაწილეობენ სმოგის წარმოქმნაში და ოზონის შრის დაშლაში. ევროკავშირის ქვეყნებში გამოიყენება დირექტივები საღებავებში აქროლადი ორგანული დამაბინძურებლების შემცველობაზე, რათა დაცული იქნან ადამიანები რომელთაც უშუალო კონტაქტი აქვთ ასეთი სახის ნაერთებთან [54, 55].

**არამეთანული აქროლადი ორგანული ნაერთები -ააონ (NMVOCs)**- ძირითადად ატმოსფეროში გაიფრქვევიან ტრანსპორტიდან, ინდუსტრიული პროცესებიდან, გამოყენებული ორგანული ხსნარებიდან, წიაღისეული საწვავის და ბიომასის არასრული წვის შედეგად. ააონ მოიცავს ისეთ ორგანულ კომპონენტებს, როგორებიცაა ბენზოლი, ქსილოლი, პროპანი, ბუტანი და არ შეიცავს მეთანს [56]. ევროპის გარემოს დაცვითი სააგენტოს მონაცემებით (EEA) მოყოლებული 1990 წლიდან ააონ-ის გაფრქვევა ატმოსფეროში შემცირებულ იქნა 51%-ით [57].

**მყარი ნაწილაკები - (PM)** - ატმოსფერული ჰაერის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი დამაბინძურებელია, ისინი წარმოადგენენ ატმოსფერულ ჰაერში მყარი ნაწილაკების და სითხის წვეთების ნარევს. დამაბინძურებლები შედგებიან სხვადასხვა ზომის ნაწილაკებისაგან, რომლებიც შეიცავენ მრავალი სახის სხვადასხვა მასალას და ქიმიურ ნივთიერებებს. მყარი ნაწილაკები მცირე ზომის არიან იმისათვის, რომ მოხდეს მათი შესუნთქვა და გამოიწვიოს ჯანმრთელობასთან დაკავშირებული პრობლემები.

მყარი ნაწილაკების გაფრქვევის უამრავი წყარო არსებობს. მათი გაფრქვევა შესაძლებელია ისეთი ბუნებრივი წყაროებიდან როგორცაა ტყის ხანძრები, ქარისგან გამოწვეული ეროზია, ასევე ყველაზე მნიშვნელოვანი ანთროპოგენული წყაროებია სოფლის მეურნეობა, წიაღისეულის წვა, სამრეწველო პროცესები, საკვამლე მიწები, ავტოტრანსპორტი და მშენებლობა. სწორედ ამ წყაროებიდან გამოიყოფა მტვერი, ჭუჭყი, ჭვარტლი და კვამლი რომლებიც შეიცავენ მყარ ნაწილაკებს. PM<sub>10</sub>-ის წარმოქმნა

შეუძლია გოგირდის დიოქსიდს, აზოტის ოქსიდებს, ამიაკს და ასევე აქროლად ორგანულ ნაერთებს [58, 59].

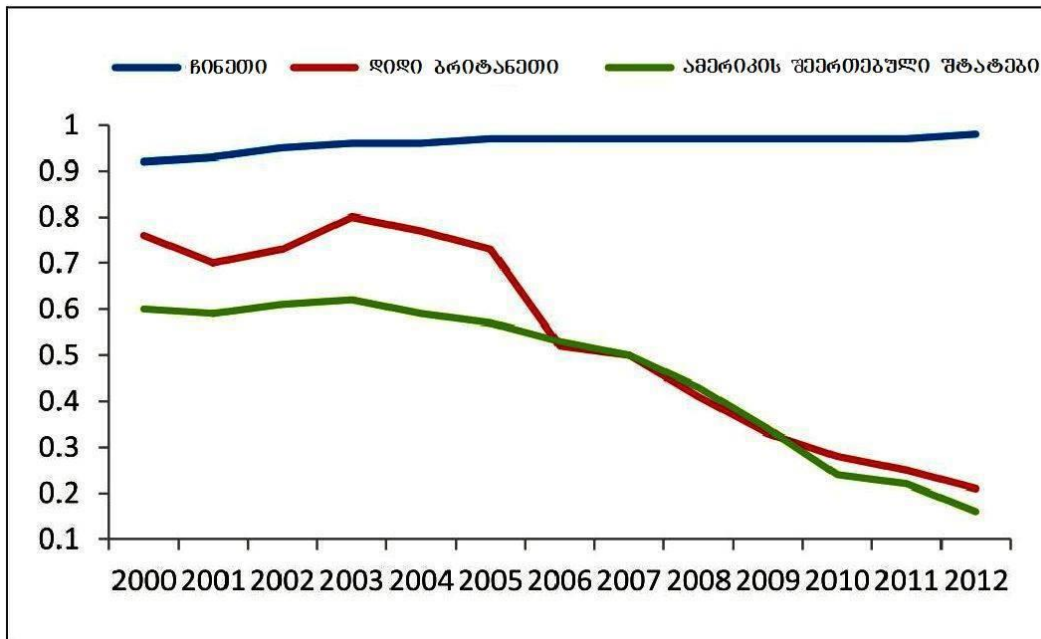
მნიშვნელოვანია ატმოსფეროში გაფრქვეული მყარი ნაწილაკების შემადგენლობა. ძალზედ არასასურველ ზემოქმედებას ახდენს ცოცხალ ორგანიზმებზე ისეთი ნივთიერებები როგორებიცაა ტყვია, კადმიუმი, დარიშხანი, ფოსფორი, ბენზ(ა)პირენი და სხვა. სწორედ ტყვიის, კადმიუმის და დარიშხანის შემცველი აეროზოლები იწვევენ მოწამვლას და სხვადასხვა სახის დაავადებებს, მათ შორის ონკოლოგიურსაც. რაც შეეხება სხვა არაორგანულ ნაწილაკებს მათში შედიან სულფატები, ნიტრატები, მძიმე ლითონები არაორგანული ტუტე და ტუტემიწათა იონები ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) და სხვა.

მყარი ნაწილაკები ასევე შესაძლებელია კლასიფიცირებულ იქნას ზომის მიხედვით. ზოგადად, რაც უფრო ნაკლებია ნაწილაკის ზომა მით უფრო სახიფათოა ჯანმრთელობისთვის, ვინაიდან უფრო ადვილად შეისუნთქება და ხვდება ადამიანის ორგანიზმში. ზომის მიხედვით მყარი ნაწილაკები იყოფიან: ნაწილაკები ( $\text{PM}_{10}$ ) რომელთა ჰიდროდინამიკური დიამეტრი  $\leq 10$  მკმ-ზე და ნაწილაკები ( $\text{PM}_{2.5}$ ) რომელთა ჰიდროდინამიკური დიამეტრი  $\leq 2.5$  მკმ-ზე.

ატმოსფეროში გაფრქვეული მყარი ნაწილაკები უარყოფითად მოქმედებენ გარემოზე. მათი შემადგენლობიდან გამომდინარე შეუძლიათ გაზარდონ ტბის წყლის მჟავიანობა, დააზიანონ ტყეები, სოფლის მეურნეობა (მოსავალი) და სხვა. მცირე ზომის ნაწილაკების შესუნთქვას შეუძლია მნიშვნელოვანი ზიანი მიაყენოს ადამიანის ორგანიზმს. ნაწილაკების მცირე ზომები საშუალებას აძლევს მათ რომ შეღწეულ იქნან ღრმად ფილტვებში, შემდეგ გადაინაცვლონ სისხლძარღვებში, გულში და შესაძლებელია სხვა ორგანოებშიც. მყარი ნაწილაკების მოხვედრა ადამიანის ორგანიზმში დაკავშირებულია ჯანმრთელობის ისეთ პრობლემებთან როგორებიცაა: სასუნთქი გზების მოწამვლა, სუნთქვის გართულება, ასთმა, ქრონიკული ბრონქიტი, ზოგიერთი სახის სიმსინურ დაავადებები და სხვა [59].

$\text{PM}_{10}$  ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელში ერთ-ერთი ყველაზე მაკონცენტრირებული ნივთიერებაა მათი შესუნთქვა უარყოფითად მოქმედებს სასუნთქ სისტემებზე, ზიანს აყენებს ფილტვებს და წარმოადგენს სიმსინური დაავადებების ერთ-ერთ გამომწვევ მიზეზს [33].

ჩინეთი ატმოსფერული ჰაერის მდგომარეობით იმყოფება ბოლო სამეულში, ნეპალთან და ბანგლადეშთან ერთად [33]. 2000 წლიდან მოყოლებული ჩინეთის მოსახლეობის 92% განიცდიდა PM<sub>2.5</sub> ნაწილაკების ზეგავლენას რომელთა კონცენტრაცია აღემატებოდა 10 მკგ/მ<sup>3</sup>, 2012 წლისათვის ეს რიცხვი გაიზარდა 98%-მდე, მაშინ როდესაც დიდ ბრიტანეთში შემცირებულ იქნა 76%-დან 21%-მდე, ხოლო აშშ-ში 60%-დან 16%-მდე (ნახაზი N 4) [60].



**ნახაზი N4. PM<sub>2.5</sub> ნაწილაკების ზეგავლენა ჩინეთის, დიდი ბრიტანეთის და აშშ მოსახლეობაზე**

**ტყვია** - გარდა იმისა რომ ტყვია ბუნებრივი გზებითაც მოიპოვება, ატმოსფეროში მოხვედრილი ტყვიის უდიდესი ნაწილი ადამიანის მოღვაწეობის შედეგია. ავტოტრანსპორტში საწვავის წვის შედეგად წარმოიქმნება ტყვიის ქლორიდები, ბრომიდები, ოქსიდები, ნიტრატები, სულფატები და სხვა ნაერთები. წარმოქმნილი ტყვიის მარილები ატმოსფეროში გამოიყოფა ავტოტრანსპორტის გამონაბოლქვთან ერთად. გამოყოფილი მსხვილი ნაწილაკები მიწაზე რჩება და იწვევს მიწის და ზედაპირული წყლების მოწამვლას, ხოლო მცირე ზომის ნაწილაკები ქარის საშუალებით გადაადგილდება დიდ მანძილებზე და რჩებიან ატმოსფეროში. ტყვიის ნაწილი დედამიწას უბრუნდება წვიმის საშუალებით. ადამიანის აქტივობის შედეგად მოხვედრილი ტყვია ატმოსფეროში დიდი ხნის განმავლობაში რჩება და მას შეუძლია გამოიწვიოს დაბინძურება ფართო მასშტაბით.

ტყვია ფართოდ გამოიყენებოდა მეტალთა შენადნობებში, კაბელებში, მილების დასამზადებლად, საღებავებში და პესტიციდებში. ტყვიას ერთ-ერთი ყველაზე ძლიერი დამაზიანებელი გავლენა აქვს ადამიანის ჯანმრთელობაზე. ადამიანის ორგანიზმში ტყვიის მოხვედრის გზები სხვადასხვაა, საკვებიდან ორგანიზმში ხვდება 65%, წყლიდან - 20% და ჰაერიდან - 15%. ისეთი საკვებები პროდუქტები როგორებიცაა ხილი, ბოსტნეული, ხორცი, მარცვლეული, ზღვის პროდუქტები, ღვინო, შეიძლება შეიცავდენ ტყვიის მნიშვნელოვან რაოდენობას. გარდა საკვები პროდუქტებისა, სიგარეტები რომელიც ასევე ფართო მოხმარების საგანია, შეიცავენ ტყვიის მცირე კონცენტრაციას. სასმელ წყალში ტყვია შეიძლება მოხვდეს წყალსადენი მილების კოროზიის შედეგად [61, 62].

ტყვიამ შეიძლება გამოწვიოს ადამიანის ორგანიზმში სხვადასხვა დაავადება. რაც ყველაზე მნიშვნელოვანია და სახიფათოა, ტყვია იწვევს ადამიანის ორგანიზმში სიმსივნური უჯრედების გააქტიურებას, გარდა ამისა, ბავშვებში ტყვიამ შეიძლება გამოწვიოს ანემია, ტვინის, ნერვიული სისტემის, ღვიძლის და თირკმელის დაზიანება. ზრდასრულებში კი - გაზარდოს სისხლის წნევა, გააუარსოს სმენა და მხედველობა და სხვა [54, 63].

**მეორადი დამაბინძურებლები** - მეორადი დამაბინძურებლები წარმოადგენენ ნაერთებს, რომლებიც წარმოიქმნებიან ორი ან მეტი პირდაპირი დამაბინძურებლის ურთიერთქმედებით ან ეს პირდაპირი დამაბინძურებლები შედიან რეაქციაში ატმოსფეროს შემადგენელ ნაწილებთან. მეორად დამაბინძურებლებს წარმოადგენენ: ოზონი, ფორმალდეჰიდი, პეროქსიაცეტილ ნიტრატი (პან), სმოგი, მჟავე ნისლი.

## **I.10. საქართველოს გარემოს დაცვით სფეროში მოქმედი სამართლებრივი ბაზა**

საქართველოს კანონმდებლობა გარემოს დაცვის სფეროში შედგება, საქართველოს კონსტიტუციის, საქართველოს საერთაშორისო ხელშეკრულებებისა და შეთანხმებების, აგრეთვე ამ კანონისა და სხვა საკანონმდებლო და კანონქვემდებარე აქტებისაგან. კანონმდებლობა ძირითადად დამოკიდებულია ევროპულ კანონმდებლობასა და რიო დე ჟანეიროს დეკლარაციაზე. დამუშავების პროცესში მეტნაკლებად გათვალისწინებულია ქვეყნის წინაშე მდგარ გარემოსდაცვით გამოწვევებზე რეაგირება და მდგრადი განვითარების პრინციპები.

საქართველოში მოქმედი ნორმატიული დოკუმენტებიდან პირველ რიგში აღსანიშნავია საქართველოს კონსტიტუცია (მიღებულია 1995 წელს, შესწორებები. 1999, 2000-2006, 2008 წწ.), კერძოდ კი კონსტიტუციის 37-ე მუხლი. რომელშიც პირდაპირ არის მითითებული, რომ ქვეყნის ყველა მოქალაქეს უფლება აქვს ცხოვრობდეს ჯანმრთელობისათვის უვნებელ გარემოში, სარგებლობდეს ბუნებრივი და კულტურული გარემოთი და ქვეყნის ყველა მოქალაქეს ეკისრება ვალდებულება გაუფრთხილდეს ბუნებრივ და კულტურულ გარემოს.

ამავე მუხლში ახლანდელი და მომავალი თაობების ინტერესებიდან გამომდინარე სახელმწიფოს ეკისრება ვალდებულება, უზრუნველყოს გარემოს დაცვა და ბუნებრივი რესურსებით რაციონალური სარგებლობა. ქვეყნის მდგრადი განვითარება, საზოგადოების ეკონომიკური და ეკოლოგიური ინტერესების შესაბამისად ადამიანის ჯანმრთელობისათვის უსაფრთხო გარემოს უზრუნველყოფა (15.10.2010 N3710 ამოქმედდა 2011 წლის 1 იანვარს). ასევე აღნიშნული მუხლში მითითებულია რომ ყველა მოქალაქეს აქვს უფლება დროულად მიიღოს სრული და ობიექტური ინფორმაცია გარემოს მდგომარეობის შესახებ (15.10.2010. N3710 ამოქმედდა 2011 წლის 1 იანვარს).

საქართველოს კანონმდებლობა მოიცავს ბრძანებას, რაიმე საქმიანობის დაგეგმვისას ან/და განხორციელებისას, აუცილებელია მიღებულ იქნას შესაბამისი ზომები, რათა თავიდან იქნას აცილებული ან შემცირებულ იქნას გარემოზე და ადამიანის ჯანმრთელობაზე მავნე ზემოქმედება.

გარდა აღნიშნული სამართლებრივი დოკუმენტისა, საქართველოს გარემოსდაცვითი სამართლებრივი ბაზა მოიცავს როგორც სხვადასხვა საქართველოს კანონებს, ასევე საერთაშორისო კონვენციებს და ნორმატიულ აქტებს.

### **I.11. საქართველოში მოქმედი გარემოსდაცვითი კანონები**

„საქართველოს კანონი გარემოს დაცვის შესახებ“. საქართველოში მოქმედი კანონებიდან უმთავრესია და წარმოადგენს ე.წ. „ჩარჩო კანონს“. რომლის მიზანია დაარეგულიროს სამართლებრივი ურთიერთობები სახელმწიფო ხელისუფლების ორგანოებსა და ფიზიკურ და იურიდიულ (საკუთრებისა და ორგანიზაციულ–სამართლებრივი ფორმის განურჩევლად) პირებს შორის გარემოს დაცვისა და ბუნებათსარგებლობის სფეროში საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე მისი ტერიტორიული წყლების, საჰაერო სივრცის, კონტინენტური შელფისა და

განსაკუთრებული ეკონომიკური ზონის ჩათვლით (კანონი მიღებულია 1996 წლის 10 დეკემბერს).

კანონი მოიცავს ისეთ ასპექტებს როგორებიცაა: ბუნებრივი ეკოსისტემების დაცვა, დაცული ტერიტორიები, გარემოს დაცვის გლობალური და რეგიონალური პრობლემების გადაჭრის სამართლებრივი უზრუნველყოფა, კლიმატის დაცვა გლობალური ცვლილებებისგან, ოზონის შრის დაცვა, ბიომრავალფეროვნების დაცვა, შავი ზღვის დაცვა დაბინძურებისაგან, საერთაშორისო თანამშრომლობას გარემოს დაცვის სფეროში და სხვა [64].

**„საქართველოს კანონი გარემოზე ზემოქმედების ნებართვის შესახებ“.** კანონი არეგულირებს პირთა განუსაზღვრელ წრის და მათ მიერ ისეთი საქმიანობას ან ქმედებას, რომელიც ხასიათდება ადამიანის სიცოცხლისათვის ან ჯანმრთელობისათვის მომატებული საფრთხით. კანონი განსაზღვრავს საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე სავალდებულო ეკოლოგიური ექსპერტიზისადმი დაქვემდებარებულ საქმიანობას და მათ განსახორციელებლად გარემოზე ზემოქმედების ნებართვის გაცემის, ნებართვის გაცემისას ეკოლოგიური ექსპერტიზის ჩატარების, გარემოზე ზემოქმედების შეფასებისა და ნებართვის გაცემის შესახებ გადაწყვეტილების მიღების პროცესში საზოგადოების მონაწილეობისა და ინფორმირების სამართლებრივ საფუძვლებს (კანონი მიღებულია 2008 წლის 1 იანვრიდან) [65].

**„საქართველოს კანონი ატმოსფერული ჰაერის დაცვის შესახებ“.** კანონი არეგულირებს საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე ატმოსფერული ჰაერის დაცვას მავნე ანთროპოგენული ზემოქმედებისაგან, უზრუნველყოს ატმოსფერული ჰაერის ადამიანის ჯანმრთელობისა და ბუნებრივი გარემოსათვის უსაფრთხო მდგომარეობის მიღწევა, შენარჩუნება და გაუმჯობესება. სამართლებრივად უზრუნველყოს ატმოსფერული ჰაერის დაცვის სფეროში გლობალური და რეგიონალური პრობლემის გადაჭრა, ხელი შეუწყოს ევროკავშირის კანონმდებლობით ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებისაგან დაცვის სფეროში დადგენილი სამართლებრივი ნორმების საქართველოს ტერიტორიაზე ეტაპობრივ ამოქმედებას (კანონი მიღებულია 1999 წლის 22 ივნისს) [66].

**„საქართველოს კანონი ეკოლოგიური ექსპერტიზის შესახებ“.** ეკოლოგიური ექსპერტიზა წარმოადგენს გარემოს დაცვით აუცილებელ პროცედურას, რომელიც ხორციელდება რაიმე საქმიანობაზე, გარემოზე ზემოქმედების მშენებლობის ნებართვის

გაცემის შესახებ გადაწყვეტილების მიღების პროცესში. ეკოლოგიური ექსპერტიზის მიზანს წარმოადგენს გარემოსდაცვითი მოთხოვნების, რაციონალური ბუნებათსარგებლობისა და მდგრადი განვითარების პრინციპების გათვალისწინებით გარემოს ეკოლოგიური წონასწორობის შენარჩუნების უზრუნველყოფა (კანონი ძალაშია 2008 წლის 1 იანვრიდან) [67].

## I.12. საერთაშორისო ნორმატიული დოკუმენტები

საქართველოში მოქმედი გარემოსდაცვითი კანონმდებლობის გარდა, მოქმედებს საერთაშორისო კონვენციები, რომლებიც საქართველოს საკანონმდებლო ბაზის შემადგენელი ნაწილია. ამჟამად საქართველო დაახლოებით 50 საერთაშორისო გარემოსდაცვითი შეთანხმების მხარეა. თითოეული შეთანხმება გარკვეულ ვალდებულებებს აკისრებს ქვეყანას. საერთაშორისო ნორმატიულ აქტებთან მიერთებით საერთაშორისო საზოგადოებასთან საქართველომ დააფიქსირა თავისი ნება წვლილი შეიტანოს გლობალური გარემოსდაცვითი პრობლემის მოგვარებაში.

ატმოსფერული ჰაერის დაცვასთან დაკავშირებით საქართველოში მოქმედი საერთაშორისო ნორმატიული დოკუმენტები და მათი მიღების პროცესი:

- გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენცია (რიო დე ჟანეირო, 1992 წელი). 1994 წელს საქართველომ მოახდინა ამ კონვენციის რატიფიცირება, რის შედეგადაც გახდა კონვენციის მხარე. ბრძანება ძალაშია მინისტრთა კაბინეტის 1994 წლის 16 მაისის N 302 დადგენილებით. კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციის საბოლოო მიზანია მიაღწიოს ატმოსფეროში სათბურის აირების კონცენტრაციების სტაბილიზაციას იმ დონემდე, რომელიც არ დაუშვებს რომ კლიმატზე ანთროპოგენულმა ზემოქმედებამ მოახდინოს უარყოფითი გავლენა. ასეთი დონე მიღწეულ უნდა იქნას კლიმატის ცვლილებასთან ეკოსისტემების ბუნებრივი ადაპტაციისათვის საკმარის ვადებში, რაც იძლევა იმის საშუალებას რომ საფრთხის წინაშე არ იქნას დაყენებული სურსათის წარმოება და უზრუნველყოფს შემდგომ ეკონომიკურ განვითარებას მდგრად საფუძვლებზე. ჩარჩო კონვენციასთან ერთად არის კიოტოს ოქმი (კიოტო, 1997 წელი). საქართველოს პარლამენტის 1999 წლის 28 მაისის N 1995 დადგენილებით საქართველო მიუერთდა კიოტოს ოქმს.



- კონვენცია გარემოდაცვით საკითხებთან დაკავშირებული ინფორმაციის ხელისაწვდომობის, გადაწყვეტილების მიღების პროცესში საზოგადოების, მონაწილეობისა და ამ სფეროში მართლმსაჯულების საკითხებზე ხელმისაწვდომობის შესახებ (ორჰუსი, დანია 23-25 ივნისი 1998). საქართველოში ძალაშია საქართველოს პარლამენტის 2000 წლის 11 თებერვალს N 135 დადგენილებით. კონვენციის მიზანია რომ უზრუნველყოფილ იქნას ახლანდელი და მომავალი თაობების ყოველი ადამიანის უფლება იცხოვროს საკუთარი ჯანმრთელობის და კეთილდღეობისათვის შესაფერის გარემოში. ამ კონვენციის დებულების შესაბამისად, ყველა მხარე იძლევა საზოგადოებისათვის გარემოსდაცვითი ინფორმაციის და მასთან დაკავშირებულ მართლმსაჯულების საკითხებზე ხელმისაწვდომობისა და გადაწყვეტილების მიღების პროცესში მათი მონაწილეობის უფლების გარანტიას.
- „ოზონის შრის დაცვის შესახებ“ ვენის კონვენცია (ვენა, 1985 წელი). ამ კონვენციის თანახმად მისი მონაწილე ქვეყნები ვალდებული არიან ითანამშრომლონ ოზონის შრის მდგომარეობასა და მეთვალყურეობაში, გაცვალონ ინფორმაცია და შესაბამისი მონაცემები ამ საკითხებთან დაკავშირებით. 1987 წლის სექტემბერში ოცდაათზე მეტი ქვეყნის წარმომადგენლის მიერ ხელმოწერილ იქნა მონრეალის ოქმი „ოზონის შრის დამშლელ ნივთიერებათა შესახებ“. ვენის კონვენციას და მონრეალის ოქმს საქართველო შეუერთდა 1996 წლის 21 მარტს. ამჟამად საქართველო წარმოადგენს მხარე-ქვეყანას, შეაქვს თავისი წვლილი ოზონის შრის გადარჩენის საქმეში. კონვენციიდან და ოქმიდან დაკისრებულ გადაწყვეტილებებს საქართველო ასრულებს გარემოს დაცვისა და ბუნებრივი რესურსების სამინისტროში, უცხოელი ექსპერტების მონაწილეობით, 1997 წელს შემუშავებული „ოზონდამშლელი ნივთიერებების ხმარებიდან ამოღების ეროვნული პროგრამის“ განხორციელებით.
- „შორ მანძილებზე ჰაერის ტრანსსასაზღვრო დაბინძურების კონვენცია“ (ჟენევა 1979 წელი). აღნიშნულ კონვენციაში მხარეები იღებენ ვალდებულებას დაიცვან ადამიანი და მისი გარემო ჰაერის დაბინძურებისაგან, აგრეთვე რამდენადაც შესაძლებელია შეზღუდონ, თანდათანობით შეამცირონ და თავიდან აიცილონ ჰაერის დაბინძურება, შორ მანძილებზე ჰაერის ტრანსსასაზღვრო დაბინძურების

ჩათვლით. ასევე, შეიმუშავებენ პოლიტიკას და სტრატეგიას რომელიც ეფექტური იქნება ჰაერის დამაბინძურებლების გაფრქვევასთან საბრძოლველად. საქართველოში მიღების თარიღი 1999 წლის 12 მაისი.

- გაეროს კონვენცია „მდგრადი ორგანული დამაბინძურებლების შესახებ“ (POPs) (სტოკჰოლმი, 2001 წელი). ამ კონვენციის მიზანია ადამიანის ჯანმრთელობისა და გარემოს დაცვა მდგრადი ორგანული დამაბინძურებლებისაგან. კონვენცია რატიფიცირებულ იქნა საქართველოში პარლამენტის მიერ 2006 წლის 11 აპრილს N 2840-ის დადგენილებით.

### **I.13. მავნე ნივთიერებების ზღვრულად დასაშვები**

#### **კონცენტრაციები**

როგორც ყველა სფეროში არსებობს სხვადასხვა სახის სტანდარტები და ნორმატიული აქტები, რომლის დახმარებითაც რეგულირდება გარემოზე ან ცოცხალ ორგანიზმებზე ზემოქმედების ზღვრები, ასევე ატმოსფერული ჰაერის დაცვისათვის დადგენილია ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციები (ზდკ), რომელიც განსაზღვრავს ატმოსფეროში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებების მაქსიმალურ დასაშვებ კონცენტრაციას, ისე რომ ზიანი არ მიადგეს ცოცხალ ორგანიზმებს. თუ დამაბინძურებელი ნივთიერებების კონცენტრაცია ზდკ-ზე დაბალია, მაშინ დაბინძურება არ წარმოადგენს საშიშროებას ადამიანის ჯანმრთელობისათვის ხანგრძლივი ზემოქმედების პერიოდითაც კი. ზდკ დადგენილია მსოფლიოს ჯანდაცვის ორგანიზაციის და საქართველოს კანონმდებლობის მიერ (ცხრილი N5) [48, 50].

სამრეწველო ორგანიზაციებისთვის და სხვა სახის სტაციონარული წყაროებისათვის, ისევე როგორც ავტომობილებისათვის გაფრქვევათა ნორმების გაანგარიშება და დადგენა შესაბამისი რეგლამენტების საფუძველზე ხდება. მავნე ნივთიერებათა გაფრქვევის ნორმები განსაზღვრავს, გარემოს დამაბინძურებელი ყოველი კონკრეტული წყაროდან მოხვედრილი სხვადასხვა მავნე ნივთიერებების მაქსიმალურ დასაშვებ ნორმებს [68 - 70].

**ცხრილი N5. ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციები**

მავნე ნივთიერების დასახელება	ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია (ზდკ) მგ/მ <sup>3</sup>			კონცენტრაციის გასაშუალების პერიოდი
	ეროვნული კანონმდებლობის მიხედვით	ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის რეკომენდაცია	ევროკავშირის კანონმდებლობის მიხედვით	
2.5 მიკრონზე მცირე მყარი ნაწილაკები	–	0.01	0.025	წელიწადი
	–	0.025	–	დღე-ღამე
10 მიკრონზე მცირე მყარი ნაწილაკები	–	0.02	0.04	წელიწადი
	–	0.05	0.05	დღე-ღამე
მყარი ნაწილაკები	0.5	–	–	ერთჯერადი
	0.15	0.12	–	დღე-ღამე
აზოტის მონოოქსიდი	0.4	–	–	ერთჯერადი*
	0.06	–	–	დღე-ღამე
აზოტის დიოქსიდი	–	0.2	0.2	1 სთ
	–	0.04	0.04	წელიწადი
	0.04	–	–	დღე-ღამე
	0.2	–	–	ერთჯერადი
გოგირდის დიოქსიდი	–	0.5	–	10 წთ
	–	–	0.35	1 სთ
	–	–	–	წელიწადი
	0.05	0.02	0.125	დღე-ღამე
	0.5	–	–	ერთჯერადი
ნახშირბადის მონოოქსიდი	–	100	–	10 წთ
	–	10	10	8 სთ
	–	30	–	1 სთ
	5	60	–	ერთჯერადი
	3	–	–	დღე-ღამე
ტყვიის ნაერთები	–	0.0005	0.0005	წელიწადი
	0.0003	–	–	დღე-ღამე
	0.001	–	–	ერთჯერადი
მიწისპირა ოზონი	–	0.10	0.12	8 სთ
	0.03	–	–	დღე-ღამე
	0.16	–	–	ერთჯერადი

\*ერთჯერადი - 20-30 წუთიანი ინტერვალი

მოცემული დოკუმენტი პრაქტიკულად წარმოადგენს ყოფილი საბჭოთა კავშირის მიერ დადგენილი დოკუმენტის დებულებების და ნორმების გამეორებას. როგორც ცხრილ N5-ში არის ნაჩვენები, საქართველოში არსებული ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციების მონაცემების თანხვედრა არ ხდება ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციისა და ევროკავშირის მიერ რეკომენდირებულ მონაცემებთან. შესაბამისად

საჭიროა დღეისათვის საქართველოში არსებული ნორმების განახლება და ევროკავშირის მიერ დადგენილ ნორმებთან ჰარმონიზაცია [71].

## თავი II. ექსპერიმენტული ნაწილი

### II.1. კატალიზური კვლევის ობიექტები, მეთოდები და კატალიზური ექსპერიმენტის მეთოდика

კვლევის ობიექტებად ნაშრომში გამოყენებული იყო ორი სხვადასხვა სტრუქტურული ტიპის ბუნებრივი ცეოლითების კლინოპთილოლითის (CL) და მორდენიტის (MOR) კატიონური და წყალბადური ფორმები, რომლებიც მიღებულია იონური მიმოცვლით შესაბამისი მარილების წყალხსნარებიდან. დეკატიონირების და იონური მიმოცვლის პირობები იმგვარად იყო შენარჩუნებული, რომ კატალიზატორის მომზადების პროცესში თავიდან აგვეცილებინა ცეოლითური მესერის რღვევა. ამისათვის პერიოდულად ტარდებოდა სტრუქტურის რენტგენოფაზური კონტროლი. საწყის ნიმუშებად გამოყენებული იყო ბუნებრივი (CL) ძეგვის და (MOR) რატევანის (საქართველო) საბადოებიდან მიღებული ცეოლითები.

### II.2. ბუნებრივი ცეოლითების-კლინოპთილოლითის და მორდენიტის მოდიფიცირება

მინარევების მოცილების მიზნით გაფხვირებული და 2-3 ლ წყლით ჩარეცხილი ნიმუში 3-ჯერ მუშავდებოდა 0.1 N მარილმჟავას ხსნარით 353-363 K ტემპერატურაზე (წყლის აბაზანაზე). თითოეული დამუშავების ხანგრძლივობა შეადგენდა 1 სთ, რის შედეგადაც ცეოლითი იფილტრებოდა და შრებოდა, თანაფარდობა ცეოლითი : მჟავა - 1:10. მჟავით დამუშავების დამთავრების შემდეგ CL ირეცხებოდა გამოხდილი წყლით Cl<sup>-</sup> იონზე უარყოფით რეაქციამდე და შემდეგ შრებოდა 373-393 K-ზე.

კატიონური ფორმების მისაღებად მჟავური დეკატიონირებით მიღებული ნიმუშები მუშავდებოდა 0.1 N სპილენძისა და რკინის ამიაკალური ხსნარით. კლინოპთილოლითის წყალბადური ფორმა მზადდებოდა 0.1 N ამონიუმის ქლორიდის ხსნარის მოქმედებით ნიმუშზე (რომელიც წინასწარ დამუშავდა მჟავით როგორც ზემოთ იყო აღწერილი), ოთახის ტემპერატურაზე ერთი საათის უწყვეტი მორევის განმავლობაში, შემდეგ ირეცხებოდა გამოხდილი წყლით Cl<sup>-</sup>-ზე უარყოფით რეაქციამდე. ზოგიერთი შესწავლილი ცეოლითური კატალიზატორის ქიმიური შედგენილობა მოცემულია N6 ცხრილში.

**ცხრილი N6. ბუნებრივი ცეოლითების CL და MOR საფუძველზე დამზადებული კატალიზატორების ქიმიური შედგენილობა**

ნიმუში	ქიმიური შედგენილობა ოქსიდური სახით**
CL	0.51 Na <sub>2</sub> O·0.17K <sub>2</sub> O·0.75CaO·0.30MgO·0.16Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·8.48SiO <sub>2</sub>
DeCL*	0.12 Na <sub>2</sub> O·0.15K <sub>2</sub> O·0.44CaO·0.18MgO·0.09Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·19.88SiO <sub>2</sub>
HCL	0.43 Na <sub>2</sub> O·0.18K <sub>2</sub> O·0.76CaO·0.28MgO·0.11Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·5.34SiO <sub>2</sub>
CuDeCL	0.09Na <sub>2</sub> O·0.11K <sub>2</sub> O·0.11CaO·0.12MgO·0.36CuO·0.06Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·19.00SiO <sub>2</sub>
CuFeDeCL	0.06Na <sub>2</sub> O·0.08K <sub>2</sub> O·0.06CaO·0.12MgO·0.36CuO·0.22Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·22.04SiO <sub>2</sub>
MOR	0.11K <sub>2</sub> O·0.42Na <sub>2</sub> O·0.47CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·9.4SiO <sub>2</sub>
DeMOR	0.06K <sub>2</sub> O·0.19Na <sub>2</sub> O·0.34CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·8.6SiO <sub>2</sub>
CuDeMOR	0.16K <sub>2</sub> O·0.16Na <sub>2</sub> O·0.26CaO·0.14CuO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·8.6SiO <sub>2</sub>
CuFeDeMOR	0.16K <sub>2</sub> O·0.16Na <sub>2</sub> O·0.22CaO·0.11CuO·0.08Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·9.4SiO <sub>2</sub>

\*De - დეკატონირებული (მჟავით დამუშავებული) ნიმუში

\*\*-ქიმიური ანალიზები ჩატარებულია კავკასიის მინერალური ნედლეულის ინსტიტუტის ლაბორატორია „გეოანალიტიკა“-ს თანამშრომლების ნ. ჯანაშვილის და ს. ჯალაღანას მიერ, რისთვისაც დიდ მადლობას ვუხდით.

### II.3. დამზადებული კატალიზატორების ფიზიკურ-ქიმიური კვლევა და ანალიზი

როგორც ზევით აღინიშნა, კრისტალური მესერის პარამეტრები, არაცეოლითური მინარევების თვისებითი შეფასება ხორციელდებოდა რენტგენოფაზური ანალიზით „ДРОН-3“ დიფრაქტომენტრზე CuK $\alpha$ -გამოსხივებით და გრაფიტის მონოქრომატორით (შესაბამისი რენტგენოგრამები მოყვანილია დანართის სახით\*).

ჩანაცვლებული და მინარევების სახით არსებული კატიონების მდგომარეობა და ლიგანდური გარემოცვა მომზადებულ ნიმუშებში შესწავლილია ეპრ-მეთოდით სპექტროფოტომეტრზე THOMSON-CSF TSN-254 ფიზიკის მეცნიერებათა დოქტორის ედუარდ ჩიკვაიძის მიერ, რისთვისაც ვუხდით დიდ მადლობას. გაზომვები ტარდებოდა: 9400 MHz ( $\lambda=3.2$  სმ), 77 და 293 K, 1,1-დიფენილ, 2-პიკრილჰიდრაზინის (დეფჰპ,  $g=2.0036$ ) გამოყენებით.

მიმოცვლის ხარისხი კატიონჩანაცვლებულ ცეოლითებში უმრავლეს შემთხვევაში, ისაზღვრებოდა ნატრიუმის კატიონის სხვაობის მიხედვით საწყის და დამუშავებულ ნიმუშებში. ამასთანავე, ანალიზი ხდებოდა უშუალოდ საწყისი ცეოლითისა და მისი იონმიმოცვლითი ფორმის შესაბამისად. ზოგიერთ შემთხვევაში

შეყვანილი ჩამნაცვლებელი კატიონის შემცველობა ისაზღვრებოდა მისი კონცენტრაციის სხვაობით საწყის წყალხსნარებში და ჩარეცხილ წყლებში. ნიმუშების ქიმიური ანალიზი ტარდებოდა სილიკატური ანალიზის ცნობილი მეთოდით.

კლინოპთილოლითის მიღებული ფორმების სრული ქიმიური ანალიზი ჩატარდა ატომურ-აბსორბციული სპექტროფოტომეტრის „Perkin-Elmer AAnalyst 200“ და ალური ფოტომეტრის გამოყენებით.

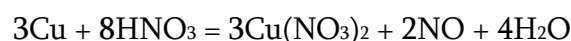
\* - ნიმუშების რენტგენოფაზური ანალიზი ჩატარებულია თსუ, კავკასიის მინერალური ნედლეულის ინსტიტუტის მეცნიერ თანამშრომლის ევგენი ხუჭუას მიერ. რისთვისაც დიდ მადლობას მოვახსენებ.

## II. 4. კატალიზატორებისა და საწყისი რეაგენტების მომზადება

### კატალიზური ცდებისათვის

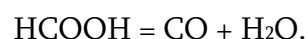
სამუშაოში გამოყენებული იყო ცეოლითები, ტაბლეტირებული შემკრავის გარეშე 200 კგ/სმ<sup>2</sup> წნევის ქვეშ, შემდგომი დაქუცმაცებით და 0.5-1.0 მმ ზომის ცეოლითური ფრაქციის გამოყოფით. კატიონების აღდგენისა და სტრუქტურის დაშლის თავიდან ასაცილებლად სწრაფი დეჰიდრატაციის გამო, ცეოლითების წინასწარი თერმოდამუშავება ხორციელდებოდა მშრალი გასუფთავებული ჰაერის ნაკადში საფეხურებრივად 393, 473 და 673 K-ზე 6 საათის განმავლობაში, ამათგან 4 საათი მაქსიმალურ ტემპერატურაზე.

საწყისი მორეაგირე რეაგენტების მომზადება: NO - მიიღებოდა მეტალური სპილენძის ურთიერთქმედებით განზავებულ აზოტმჟავასთან



რეაქციის მიხედვით. აზოტმჟავის და აზოტის უმაღლესი ოქსიდების მოსაცილებლად და გაშრობის მიზნით მიღებული აირი ტარდებოდა ჯერ 5% NaOH ხსნარში და გამომწვარ CaA ცეოლითზე;

CO - ჭიანჭველ მჟავას გაცხელებით გოგირდმჟავას თანაობისას:



CO<sub>2</sub>-გან გასაწმენდად აირი ტარდებოდა ორ გამრეცხში, რომელიც შეიცავდა 30% KOH-ის ხსნარს, შემდეგ გასაშრობად მყარ KOH -ზე და გამომწვარ CaA ცეოლითზე.

ეს ორი მეთოდი აღწერილია წიგნში Карякин Ю.В., Ангелов И.И. Чистые химические вещества. Изд. 4-е, доп. и пер. - М.: Химия, 1974. - 408 с., ил.

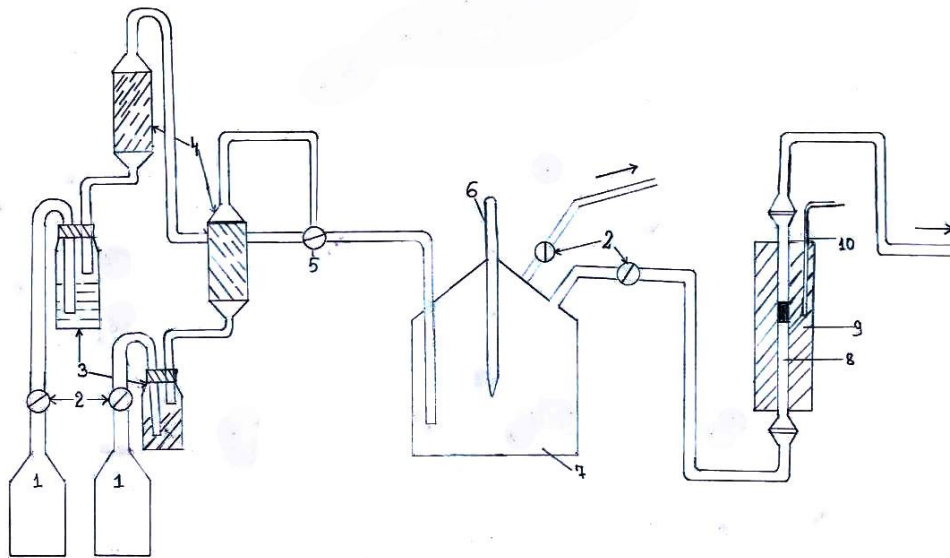
H<sub>2</sub> - ბალონიდან ГОСТ 3022-80 -ის მიხედვით;

CH<sub>4</sub> - ბუნებრივი აირის ბალონიდან;

აირადი NH<sub>3</sub> – მიიღებოდა 15%-იანი ხსნარის გაცხელებით წყლის აბაზანაზე, ვიყენებდით აირად ამიაკს, გამომშრალს მყარი ნატრიუმის ჰიდროქსიდიან სვეტზე გატარებით.

## II. 5. კატალიზური ექსპერიმენტის მეთოდის აღწერა

ცეოლითის კატალიზური აქტიურობის შესწავლას ვანხორციელებდით მიკრონაკადურ დანადგარზე ატმოსფერული წნევის პირობებში (ნახაზი N5). NO და CO-ს ბალონებიდან (1) აირები ონკანის (2) საშუალებით, გამწმენდი (3) და გამშრობი (4) სისტემის გავლით, სამსვლიანი ონკანით (5) და გადიან შემრევი სისტემაში (7) რომლის ტემპერატურა იზომება თერმომეტრით (6). საწყისი ნარევის საანალიზოდ დროდადრო აირთა ნარევი მიეწოდება პირდაპირ ქრომატოგრაფის ონკან-დოზატორს, ონკან (2)-ის მეშვეობით. მე-2 ონკანის საშუალებით აირთა ნარევი მიეწოდება ვერტიკალურად დაყენებულ კვარცის მიკრორეაქტორში (8), სადაც კვარცის ნატეხების ფენებს შორის თავსდება 0.8 სმ<sup>3</sup> კატალიზატორი. რეაქტორში იზოთერმული პირობების შესაქმნელად თავისუფალი არე ივსებოდა კვარცის ნატეხებით, რომელიც წინასწარ ირეცხებოდა ქლორის და რკინის იონებისაგან. შემდეგ შრებოდა 393 K-ზე და ხურდებოდა 1173K-ზე 5 საათის განმავლობაში.



ნახაზი N5. მიკრონაკადური დანადგარი

1- კონტეინერები NO და CO; 2- ორსვლიანი ონკანი; 3- გამრეცხი; 4- გამშრობი სისტემა;  
5- სამსვლიანი ონკანი; 6- თერმომეტრი; 7- შემრევი; 8- კვარცის რეაქტორი;  
9- ღუმელი; 10- თერმოწყვილი; —> ქრომატოგრაფზე.



რეაქტორის გაცხელება მიმდინარეობდა ელექტროლუმელით (9), გაცხელების ტემპერატურა იზომებოდა კვარცის ჯიბეში მოთავსებული ქრომოკოპელის თერმოწყვილით (10). თერმოწყვილის ემპ იზომებოდა KΠ – 59 ტიპის პოტენციომეტრით 0.1 მვ სიზუსტით.

ყოველ ტემპერატურულ წერტილზე ვატარებდით მინიმუმ სამ ცდას და შედეგად ვიღებდით მიღებული მონაცემების საშუალო სიდიდეს.

## II.6. რეაქციის პროდუქტების ანალიზი

სარეაქციო ნარევის და რეაქციის პროდუქტების ანალიზს ვახდენდით ქრომატოგრაფიულად (ქრომატოგრაფი ЛХМ – 8 МД) ექვსვლიანი ონკან-დოზატორის დახმარებით.

ქრომატოგრაფიულ ფაზებად გამოყენებული იყო Porapak-Q და მოლეკულური საცერი 13X, სვეტების ტემპერატურა 338 K- და აირ-მატარებელის He – ის სიჩქარე 35 მლ/წთ. ქრომატოგრაფიული ანალიზის მგრძნობიარობა შეადგენდა  $10^{-3}$  მოც. %.

კონვერსიის ხარისხის გაანგარიშება ხდებოდა როგორც გარდაქმნილი ნივთიერების მოლების რიცხვის შეფარდება მიწოდებული რეაგენტის მოლების რიცხვთან:

$$\text{კონვერსიის ხარისხი, } X(\%) = \frac{\text{გარდაქმნილი ნივთიერების მოლების რაოდენობა}}{\text{მიწოდებული რეაგენტის მოლების რაოდენობა}} X 100\%.$$

## თავი III. საქართველოს ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება და ხარისხობრივი მდგომარეობა

### III.1. საქართველოში ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება

#### სტაციონარული წყაროებიდან და ავტოტრანსპორტიდან

ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების მნიშვნელოვანი წილი საქართველოში ავტოტრანსპორტზე და ენერგეტიკულ სექტორზე მოდის. გარდა ამისა, ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება ხდება სამრეწველო ობიექტებიდან და სოფლის მეურნეობიდან.

საბჭოთა კავშირის დაშლის შემდეგ როდესაც გაუქმებულ იქნა მეფრინველეობის და მეცხოველეობის მსხვილი ფერმები, შეიქმნა მცირე საწარმოები, რომელთა წილი ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებაში ფაქტიურად უმნიშვნელოა და ლოკალური სახე აქვს.

ენერგოსექტორში საქართველოში მოქმედი სამი უმსხვილესი თბოელექტროსადგურის მიერ (სს „თბილსრესი“, სს „ენერჯი ინვესტი“, შპს „მტკვარი ენერჯეტიკა“) მოხმარებული საწვავი ძირითადად ბუნებრივ აირს წარმოადგენს.

ენერგეტიკული სექტორიდან ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება წვის პროდუქტებზე მოდის: ნახშირბადის მონოოქსიდი, აზოტის ოქსიდები (NO<sub>x</sub>), მყარი ნაწილაკები და ნახშირწყალბადები. ამ სექტორში ატმოსფეროში გაფრქვეული ნივთიერებათა რაოდენობა დამოკიდებულია მოხმარებული ენერგორესურსების (ბუნებრივი და თხევადი აირი, ქვანახშირი, ნავთობი და სხვა) სახეობაზე. მაგალითად, მაზუთისა და ქვანახშირის წვისას ჰაერში მეტი დამაბინძურებელი ნივთიერება გაიფრქვევა ვიდრე ბუნებრივი ან თხევადი აირის გამოყენებისას [71].

სამრეწველო სექტორი საბჭოთა კავშირის შემდეგ, ეკონომიკური კრიზისის პერიოდში იმყოფებოდა, შესაბამისად ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება ამ სექტორიდან შემცირებული იყო. XXI სუკუნის დასაწყისიდან თანდათან ძალას იკრებს ბიზნეს სექტორი და თავის მხრივ ზემოქმედებას ახდენს გარემოზე.

მრეწველობიდან ატმოსფეროში დიდი რაოდენობით აზოტის ოქსიდები (NO<sub>x</sub>), გოგირდის დიოქსიდი, აქროლადი ორგანული ნაერთები (აონ) და მტვერი გაიფრქვევა. ისეთი საწარმოები როგორცაა: ცემენტის, გაჯის და ბეტონის წარმოება დიდი მტვერგაფრქვევით ხასიათდება.

სამრეწველო სექტორში ისტორიულად ძირითად დამაბინძურებლად ითვლებოდა: ცემენტის წარმოება რუსთავსა და კასპში, მეტალურგიული საწარმოები რუსთავსა და ქუთაისში, ფეროშენიანობი ქარხანა ზესტაფონში.

დღესდღეობით სამრეწველო სექტორში ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების მხრივ მნიშვნელოვანი ობიექტებია: შპს „ჰაიდელბერგცემენტ ჯორჯია“ - რუსთავცემენტი, შპს „ჰაიდელბერგცემენტ ჯორჯია“ - კასპი ცემენტი, შპს „ჯორჯიან მანგანეზი“ - ზესტაფონის ფეროშენიანობი ქარხანა, სს „ენერჯინვესტი“, შპს „ბათუმის ნავთობ ტერმინალი“ [69,72].

2009 წელს შპს „ჰაიდელბერგცემენტ ჯორჯიას“ მიერ რუსთავის და კასპის ქარხნებში დამონტაჟებულ იქნა მტვრის გამწმენდი მაღალ ეფექტური თანამედროვე სისტემები, რის შედეგადაც ცემენტის მტვრის საერთო გაფრქვევები წინა წლებთან შედარებით შემცირებულ იქნა დაახლოებით 75%-ით [71-73].

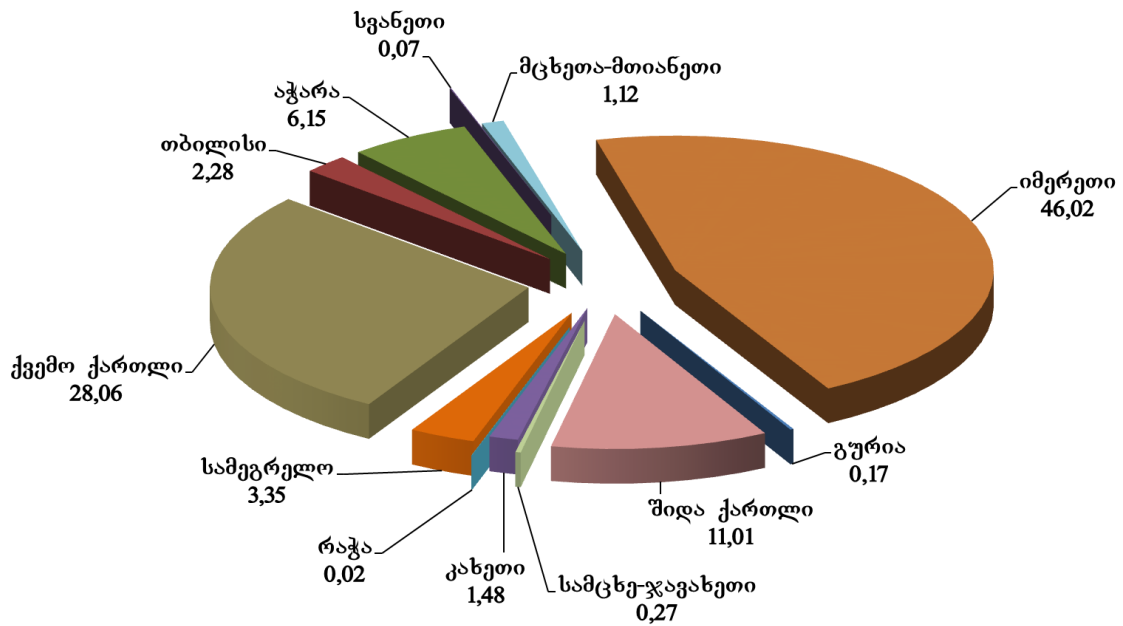
ენერგოსექტორში და სამრეწველო სექტორში არსებული სტაციონარული წყაროებიდან ატმოსფერულ ჰაერში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებათა აღრიცხვა ხორციელდება „ატმოსფერული ჰაერის დაცვის შესახებ“ კანონიდან გამომდინარე. მე-4, მე-5, მე-6 ცხრილებში მოცემულ მონაცემებში წარმოდგენილია უკანასკნელ პერიოდში რეგიონების, ქალაქების და საწარმოების მიხედვით, დაბინძურების სტაციონარული წყაროებიდან წარმოქმნილი, ატმოსფეროში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებები და მათი წილი ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებაში. აღნიშნული ინფორმაცია ატმოსფერულ ჰაერში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებათა შესახებ წარმოდგენილია საქართველოში მოქმედი საწარმოების მიერ, რომელთა რაოდენობა 2013 წლის მონაცემების მიხედვით შეადგენს 1835. არსებული მოქმედი საწარმოები საშუალებას გვაძლევს რომ შეფასდეს ქვეყანაში დაბინძურების სტაციონარული წყაროებიდან ატმოსფერულ ჰაერში მავნე ნივთიერებათა გაფრქვევის მდგომარეობა. ზემო აღნიშნული ინფორმაცია წარმოდგენილი აქვს სხვადასხვა რეგიონებში არსებულ ყველა მსხვილ და ზოგიერთ საშუალო საწარმოს, რომლებიც ახდენენ ატმოსფერულ ჰაერზე უარყოფით ზემოქმედებას.

N 7 ცხრილში ნათლად არის გამოსახული მაჩვენებლები, რომლის მიხედვითაც შეგვიძლია ვნახოთ თუ რა მდგომარეობაა საქართველოს ტერიტორიაზე ჰაერის

დაბინძურების მხრივ. ასევე შეგვიძლია გამოვყოთ ცალკეული რეგიონები, სადაც თვალსაჩინოდ ჩანს მავნე ნივთიერებების გაფრქვევის მაჩვენებლები [74].

**ცხრილი N7. მავნე ნივთიერებათა გაფრქვევის მაჩვენებელი რეგიონების მიხედვით (2012 წელი)**

რეგიონების დასახელება	მავნე ნივთიერებათა რაოდენობა ათ.ტ			რეგიონების წვლილი ქვეყნის დაბინძურებაში %
	წარმოქმნილი	მათ შორის		
		დაჭერილი	გაფრქვეული ატმოსფეროში	
საქართველო	799,835	761,280	38,555	100,0
ქვემო ქართლი	393,846	383,026	10,820	28,06
თბილისი	37,647	36,768	0,879	2,28
აჭარა	3,840	1,470	2,370	6,15
იმერეთი	74,915	57,171	17,744	46,02
შიდა ქართლი	267,322	263,079	4,243	11,01
სამცხე-ჯავახეთი	1,065	0,960	0,105	0,27
მცხეთა-მთიანეთი	11,065	10,635	0,430	1,12
კახეთი	2,715	2,147	0,568	1,48
გურია	0,384	0,318	0,066	0,17
რაჭა	0,009	–	0,009	0,02
სამეგრელო	6,799	5,507	1,292	3,35
სვანეთი	0,228	0,200	0,028	0,07



### ნახაზი N6. ქვეყნის მასშტაბით რეგიონების დაბინძურების წილი (2012 წელი)

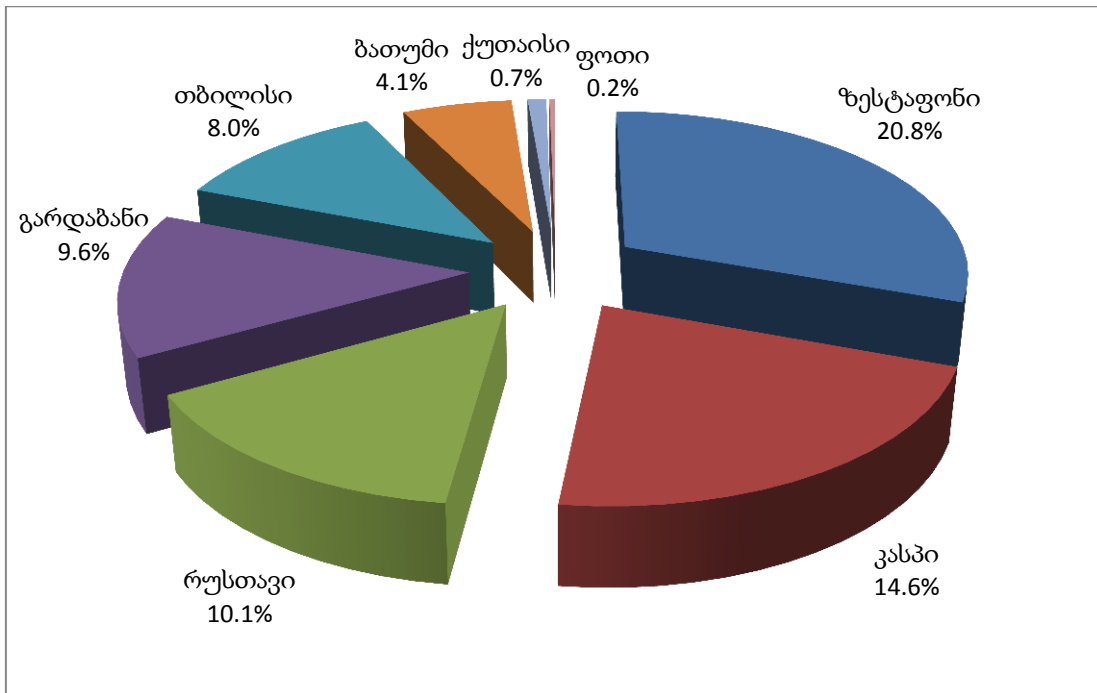
როგორც ზემოთ მოყვანილი მონაცემებიდან ჩანს, 2012 წელს საქართველოში ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების მხრივ რეგიონების მიხედვით წამყვანი ადგილი უკავია იმერეთს (46.0%), შემდეგ ქვემო ქართლს (28.1%), შიდა ქართლს (11.0%), აჭარას (6.1%). აღნიშნული რეგიონების წილი მთლიანი დაბინძურებიდან შეადგენს 91.2%-ს. დაბინძურების მაღალი პროცენტული მაჩვენებელი განპირობებულია იმით რომ სწორედ ამ რეგიონებშია ისეთი საწარმოები როგორებიცაა: ქვემო ქართლი - შპს „საქართველოს საერთაშორისო ენერგეტიკული კორპორაცია“, სს ენერჯი-ინვერსტი „ჯიფაუერი“, შპს „მტკვარი-ენერგეტიკა“, შპს „ჰაიდელბერგცემენტჯორჯია“ (რუსთავეცემენტი), შპს „ჰაიდელბერგცემენტჯორჯია - კასპის ქარხანა“, შპს „რუსთავის აზოტი“, შპს „ჯორჯიან მანგანეზი“ (ზესტაფონის ფეროშენადნობი ქარხანა), შპს „საქნახშირი ჯი-აი-ჯი ჯგუფი“, შპს „ბათუმის ნავთობ ტერმინალი“.

ზემო აღნიშნული მონაცემების გარდა, სადაც წარმოდგენილია ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება რეგიონების მიხედვით, მნიშვნელოვანია კონკრეტული ქალაქები რომლებიდანაც არის მოცემული მავნე ნივთიერებათა გაფრქვევის მაჩვენებლები (ცხრილი N8). რა თქმა უნდა, მსხვილი ქალაქების ატმოსფერული ჰაერი და ეკოლოგიური სისტემა გაცილებით სწრაფი ტემპებით იცვლება [74].

**ცხრილი N8. მავნე ნივთიერებათა გაფრქვევის მაჩვენებელი ქალაქების მიხედვით  
(2013 წელი)**

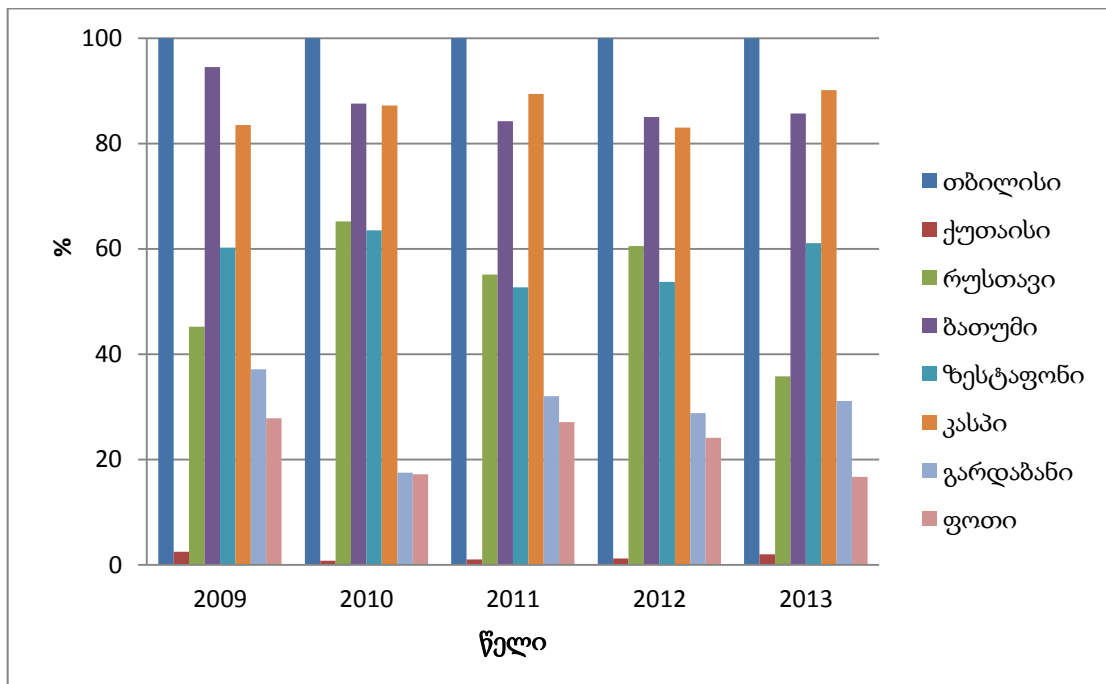
ქალაქების დასახელება	მავნე ნივთიერებათა რაოდენობა ათ. ტ.			ქალაქის წვლილი, %	
	წარმოქმნილი	მათ შორის		რეგიონის დაბინძურება	ქვეყნის დაბინძურება
		დაჭრილი	ატმოსფეროში გაფრქვეული		
რუსთავი	368.4	363.5	4.8	35.8	10.1
კასპი	297.2	290.8	6.4	90.1	14.6
ზესტაფონი	62.8	53.7	9.1	61.1	20.8
თბილისი	20.3	16.8	3.5	100.0	8.0
გარდაბანი	4.2	0.0	4.2	31.1	9.6
ბათუმი	2.5	0.7	1.8	85.7	4.1
ქუთაისი	6.1	5.8	0.3	2.0	0.7
ფოთი	3.4	3.3	0.1	16.7	0.2

წარმოდგენილი მონაცემებიდან გამომდინარე, ქალაქების მიხედვით ქვეყნის დაბინძურების წილი შემდეგნაირად ნაწილდება: ზესტაფონი (20.8%), კასპი (14.6%), რუსთავი (10.1%), გარდაბანი (9.6%), თბილისი (8.0%), ბათუმი (4.1%), ქუთაისი (0.7%), ფოთი (0.2%). დაბინძურების მაღალ პროცენტს განაპირობებს აღნიშნულ ქალაქებში მოქმედი მსხვილი საწარმოები, ჯამში ქალაქების წილი ქვეყნის მთლიან დაბინძურებაში მნიშვნელოვანია და შეადგენს 68.1%-ს.

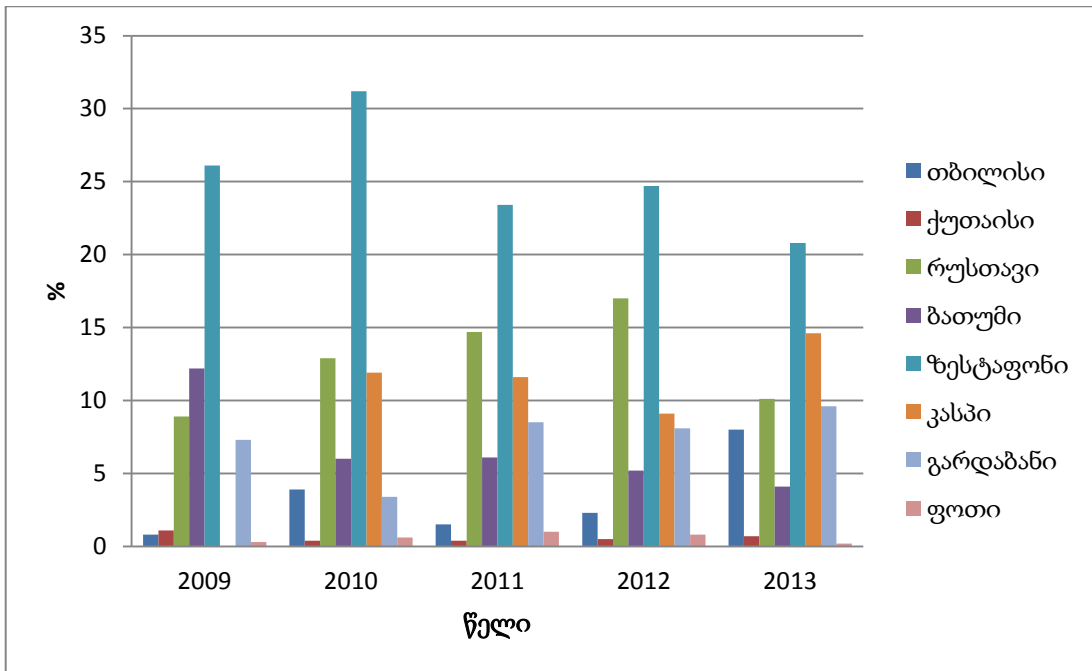


ნახაზი N7. ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელი ქალაქები (2013 წელი)

განვიხილოთ როგორ შეიცვალა ატმოსფერული ჰაერის მდგომარეობა საქართველოს მსხვილ ქალაქებში და როგორი იყო მათი დაბინძურების წილი 2009-2013 წლებში რეგიონის და ქვეყნის მასშტაბით (ნახაზი N 8, 9) [74].



ნახაზი N8. მსხვილი ქალაქების წილი რეგიონის ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებაში (2009-2013)



**ნახაზი N9. მსხვილი ქალაქების წილი ქვეყნის ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებაში (2009-2013)**

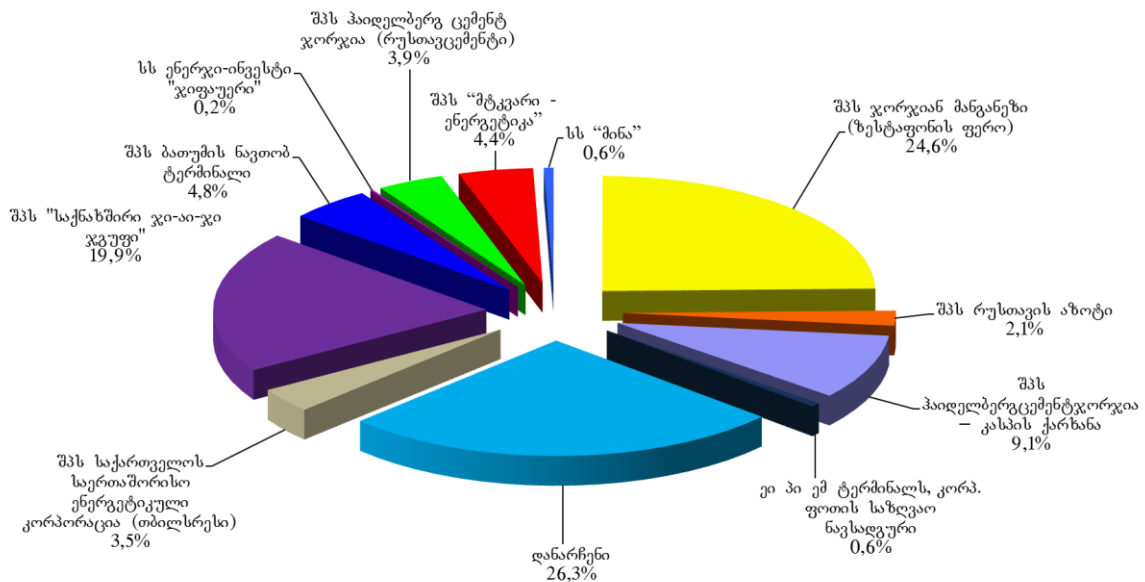
წარმოდგენილი მონაცემების გარდა, რომელიც ეხებოდა რეგიონების და მსხვილი ქალაქების დაბინძურების წილს, საბოლოო ჯამში სტაციონარული დაბინძურების წყაროებს უმუალოდ მსხვილ ქალაქებში და რეგიონებში არსებული საწარმოები წარმოადგენენ. მართალია წინა საუკუნის 80-იან წლებთან შედარებით საქართველოს საწარმოების უმრავლესობა არ ფუნქციონირებს, მაგრამ არსებობს მონაცემები, რომელშიც ნათლად ჩანს დღეისათვის საქართველოში არსებული საწარმოებიდან თუ რომელი ახდენს ატმოსფერულ ჰაერზე მნიშვნელოვან უარყოფით ზეგავლენას. მასალების გადამუშავების და ანალიზის შედეგად, საქართველოში სტაციონარული წყაროების მიერ ატმოსფერულ ჰაერზე ზემოქმედების მიხედვით შემდეგი სურათია. N 9 ცხრილში მოცემულია 2012 წელს ატმოსფერულ ჰაერში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებათა რაოდენობა ძირითადი მსხვილი დამაბინძურებელი საწარმოების მიხედვით [74].



**ცხრილი N9. ატმოსფერულ ჰაერში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებათა რაოდენობა ძირითადი მსხვილი დამაბინძურებელი საწარმოების მიხედვით (2012 წელი)**

საწარმოს დასახელება	მავნე ნივთიერებათა რაოდენობა ა.ტ.			საწარმოს წვლილი, %		
	წარმოქმნილი	მათ შორის		ქალაქის დაბინძურება	რეგიონის დაბინძურება	ქვეყნის დაბინძურება
		დაქვრილი	გაფრქვეული ატმოსფეროში			
შპს საქართველოს საერთაშორისო ენერჯეტიკული კორპორაცია (თბილსრესი)	1,341	-	1,341	43,1	12,4	3,5
შპს ბათუმის ნავთობ ტერმინალი	2,110	0,257	1,853	91,9	78,2	4,8
სპს ჰაიდელბერგცემენტ ჯორჯია (რუსთავეცემენტი)	299,457	297,937	1,520	23,2	14,1	3,9
სს ენერჯი-ინვერსტი „ჯიფაუერი“	0,062	-	0,062	1,0	0,6	0,2
შპს რუსთავის აზოტი	5,179	4,363	816	26,2	7,5	2,1
შპს ჯორჯიან მანგანეზი (ზესტაფონის)	63,290	53,792	9,498	99,8	53,5	24,6
შპს „მტკვარი-ენერჯეტიკა“	1,704	-	1,704	54,8	15,8	4,4
შპს ჰაიდელბერგცემენტ ჯორჯია - კასპის ქარხანა	231,314	227,805	3,510	99,7	82,7	9,1
ეი პი ემ ტერმინალს, კორპ. ფოთის საზღვაო ნავსადგული	0,225	-	0,225	72,4	17,4	0,6
სს „მინა“	2,955	2,731	0,224	-	5,3	0,6
შპს „საქნახშირი ჯი-აი-ჯი ჯგუფი“	7,673	-	7,673	-	43,2	19,9
სულ	607,637	586,884	28,426	-	-	73,7

როგორც ცხრილში მოტანილი მონაცემებიდან ჩანს, ჩამოთვლილი საწარმოები წარმოადგენენ ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელ ძირითად წყაროებს, მათი პროცენტული წვლილი ატმოსფეროში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებებიდან 73.7%-ს შეადგენს (ნახაზი N10).



**ნახაზი N10. ძირითადი დამაბინძურებელი საწარმოების წვლილი ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებაში (2012 წელი)**

მოცემული შედეგები გვიჩვენებს დღეისათვის საქართველოში არსებული რომელი საწარმოები ახდენს ატმოსფერულ ჰაერზე მნიშვნელოვან უარყოფით ზეგავლენას. გარდა კონკრეტული ერთი წლის მონაცემებისა, მნიშვნელოვანია დაბინძურების მაჩვენებლების ტენდენცია 2004-2012 წლების მიხედვით (ცხრილი N10).

**ცხრილი N10. ატმოსფერულ ჰაერში მავნე ნივთიერებათა გაფრქვევის მაჩვენებლები ძირითადი მსხვილი დამაბინძურებელი საწარმოების მიხედვით (2004 - 2012 წელი)**

საწარმოს დასახელება	დაბინძურების წილი, %									
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
თბილსრესი	-	-	7.5	4.2	7.0	1.4	0.4	2.9	3.5	
ბათუმის ნავთობ ტერმინალი	13.0	16.5	14.5	15.2	13.9	11.5	5.7	5.7	4.8	
ჰაიდელბერგცემენტ ჯორჯია (რუსთავეცემენტი)	13.8	7.7	6.9	9.7	4.7	4.5	7.9	6.8	3.9	

ენერჯი-ინვესტი	-	-	-	-	-	2.8	0.2	0.2	0.2
რუსთავის აზოტი	-	-	-	-	-	2.8	2.2	2.1	2.1
ჯორჯიან მანგანუმი	31.7	34.9	30.4	31.6	32.3	25.9	31.0	23.3	24.6
მტკვარი ენერჯეტიკა	7.6	4.9	5.2	4.6	2.3	5.1	2.9	5.5	4.4
ჰაიდელბერგცემენტ ჯორჯია (კასპის ცემენტი)	15.5	11.2	10.7	4.7	4.2	10.7	11.7	11.5	9.1
ეი პი ემ ტერმინალი ფოთი	-	-	-	-	-	0.6	0.5	0.7	0.6
სს მინა	-	-	-	-	-	1.0	1.0	1.1	0.6
საქნახშირი ჯი აი ჯი	-	-	-	-	-	-	16.3	18.3	19.9
დანარჩენი	18.4	24.8	24.8	30.1	35.6	35.7	20.3	21.9	26.3

სტაციონარული წყაროებიდან ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების მონაცემების მიხედვით შეგვიძლია გამოვიტანოთ შემდეგი შეფასებები და დასკვნები:

1. 2012 წელს საქართველოს ძირითად დამაბინძურებელ რეგიონებს წარმოადგენს: იმერეთი, ქვემო ქართლი, შიდა ქართლი და აჭარა. აღნიშნულ რეგიონებზე საქართველოში მთლიანი გაფრქვევების 91%-ზე მეტი მოდის;
2. 2013 წლის მიხედვით საქართველოს ატმოსფერული ჰაერის ძირითადი დამაბინძურებელი ქალაქებია: ზესტაფონი, რუსთავი, კასპი, თბილისი, ქუთაისი, ბათუმი, ფოთი და გარდაბანი. ჩამოთვლილ ქალაქებზე საქართველოში მთლიანი გაფრქვევების დაახლოებით 68.1% მოდის;
3. 2012 წელს საქართველოს ატმოსფერული ჰაერის ძირითად დამაბინძურებელ საწარმოებს წარმოადგენს: შპს „ჯორჯიან მანგანუმი“ (ზესტაფონის ფერო), შპს „საქნახშირი ჯი-აი-ჯი ჯგუფი“, შპს „ჰაიდელბერგცემენტჯორჯია“ (რუსთავცემენტი), შპს „ჰაიდელბერგცემენტჯორჯია - კასპის ქარხანა“, შპს „ბათუმის ნავთობ ტერმინალი“, შპს „ მტკვარი-ენერჯეტიკა“, შპს „საქართველოს საერთაშორისო ენერჯეტიკული კორპორაცია“. ამ ქარხნებზე მოდის საქართველოში მთლიანი გაფრქვევების 70%.

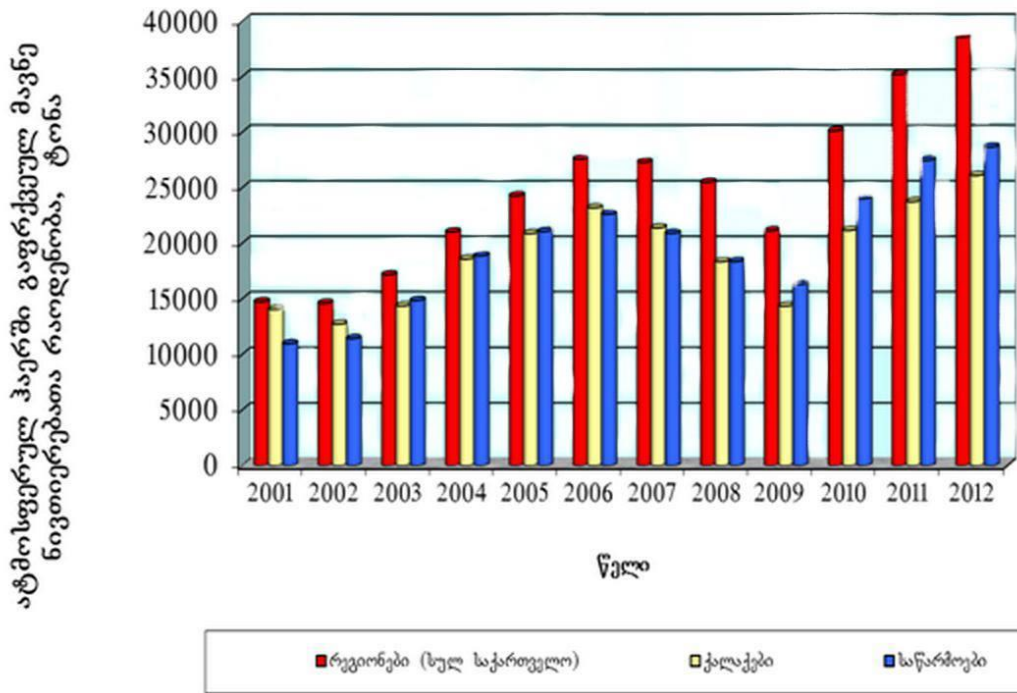
გარდა ზემოაღნიშნული ინფორმაციისა, რომელშიც მოცემულია კონკრეტულ რეგიონებში განთავსებული ძირითადი სამრეწველო და სხვა დანიშნულების პროდუქციის მწარმოებელი საწარმოების მიერ ატმოსფერულ ჰაერზე ზემოქმედების მონაცემები, ასევე დიდ ინტერესს იწვევს საქართველოს მილსადენის კომპანიის (ბაქო-სუფსა), ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის ნავთობსადენი კომპანიის, სამხრეთ კავკასიის

მილსადენი კომპანიის და საქართველოს ნავთობისა და გაზის კორპორაციის შესახებ მონაცემები. ეს ოთხი კომპანია, საქართველოში არსებულ სხვა საწარმოებთან შედარებით, მეტად განსხვავებული და სპეციფიკურია, მილსადენები კვეთენ საქართველოს მთელ ტერიტორიას აღმოსავლეთიდან დასავლეთისკენ და ჩრდილოეთიდან სამხრეთისაკენ და აწარმოებენ შესაბამისად ნავთობის (ბაქო-სუფსა, ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანი) და გაზის ტრანსპორტირებას. აქედან გამომდინარე, აღნიშნული მილსადენები სრულიად საქართველოს ტერიტორიას ფარავენ და მათი მიკუთვნება საქართველოს რომელიმე რეგიონისათვის შეუძლებელია, ამიტომ მათ მიერ ქვეყნის ატმოსფერულ ჰაერზე ზეგავლენის მონაცემები ცალკეა გამოყოფილი (ცხრილი N 11) [74].

**ცხრილი N11. საქართველოში არსებული მილსადენების ზემოქმედება ატმოსფერულ ჰაერზე**

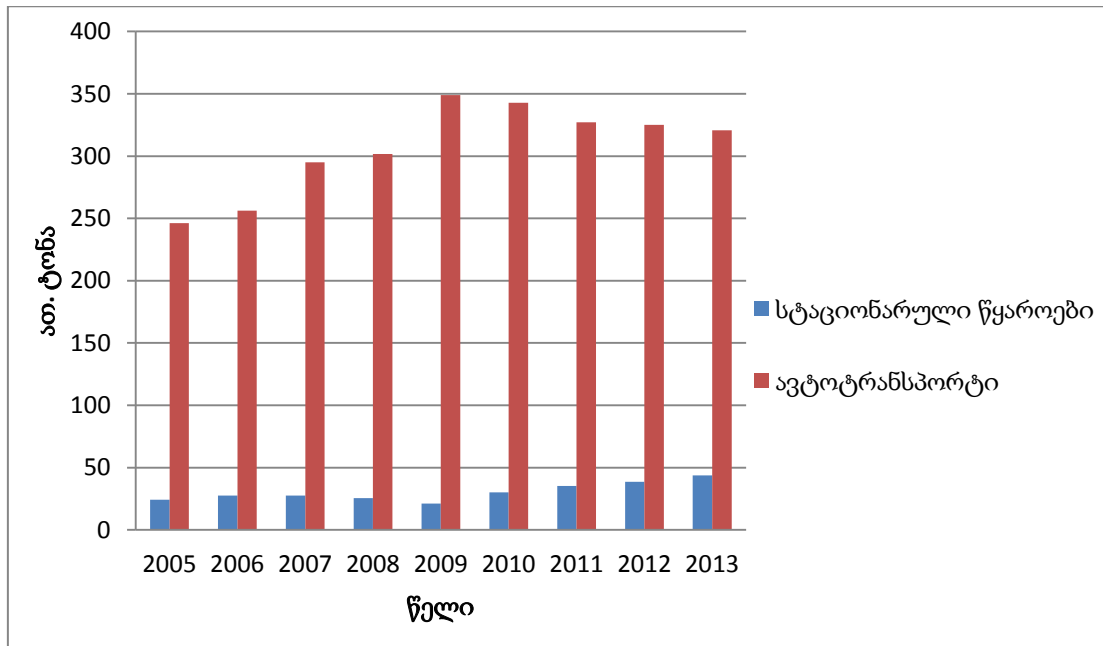
კომპანიის დასახელება	მავნე ნივთიერებათა რაოდენობა, ათ.ტ.							
	წარმოქმნილი							
	სულ	მყარი	აირადი და თხევადი	აქედან				
SO <sub>2</sub>				NO	CO	ΣCH	CO <sub>2</sub>	
საქართველოს მილსადენის კომპანია	1.732	0.012	1.720	0.026	0.375	0.099	1.220	20.563
ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანი	1.398	0.014	1.384	0.063	0.982	0.337	0.002	219.592
სამხრეთ კავკასიის მილსადენის კომპანია	0.523	0.004	0.519	-	0.321	0.040	0.158	11.641
ნავთობისა და გაზის კორპორაცია	-	-	-	-	-	-	3.562	-

საქართველოში ატმოსფერულ ჰაერში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებათა ცვლილებების დინამიკა 2001-2012 წლებში რეგიონების, ქალაქების და საწარმოების მიხედვით მოცემულია დიაგრამაზე (ნახაზი N11).

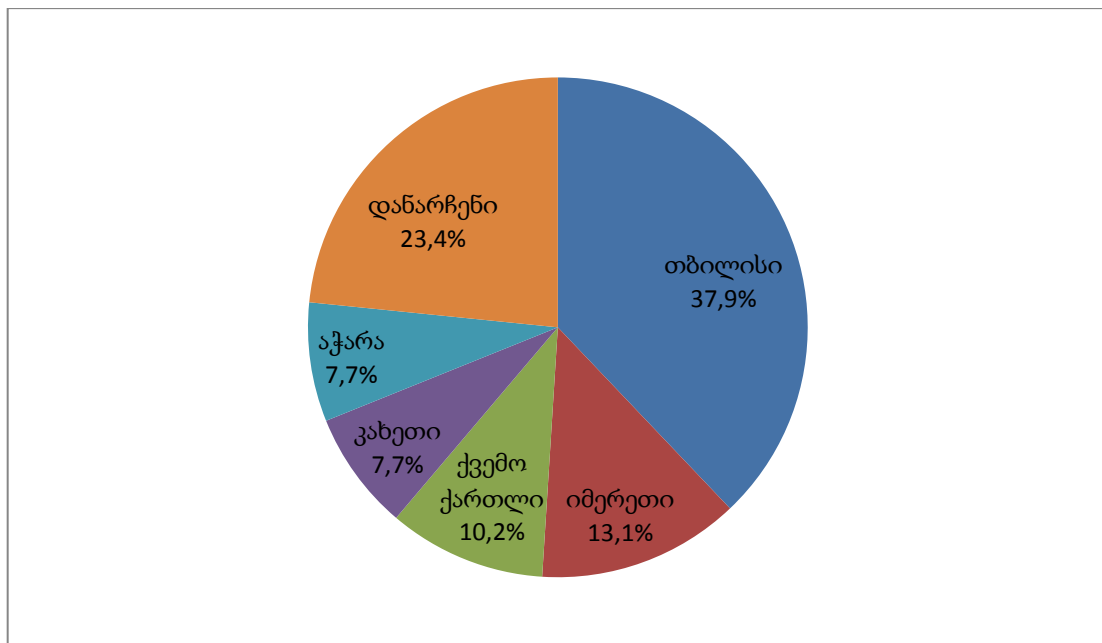


**ნახაზი N11. ატმოსფერულ ჰაერში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებათა რაოდენობა 2001-2012 წლების მიხედვით**

**ავტოტრანსპორტი.** ავტოტრანსპორტის სექტორით ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება გლობალურ პრობლემას წარმოადგენს. ეს განსაკუთრებით იგრძნობა დიდ ქალაქებში, სადაც გადატვირთული მოძრაობაა. არსებული მონაცემებით საქართველოში ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების ძირითად წყაროს ავტოტრანსპორტიდან გამოყოფილი გამონაბოლქვი წარმოადგენს (ნახაზი N12). ავტოტრანსპორტის წილი მთლიან გაფრქვევებში დაახლოებით 71%-ს შეადგენს და აღნიშნული სექტორიდან გაფრქვევების დინამიკა მზარდია. ეს განსაკუთრებით იგრძნობა ტრანსპორტით გადატვირთულ ქალაქებში, ყველაზე მეტად კი ქ. თბილისში. თბილისში თავმოყრილია ქვეყანაში არსებული სატრანსპორტო საშუალებების ერთი მესამედზე მეტი (ნახაზი N13) და ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების 95%-ზე მეტი ავტოტრანსპორტზე მოდის [72].



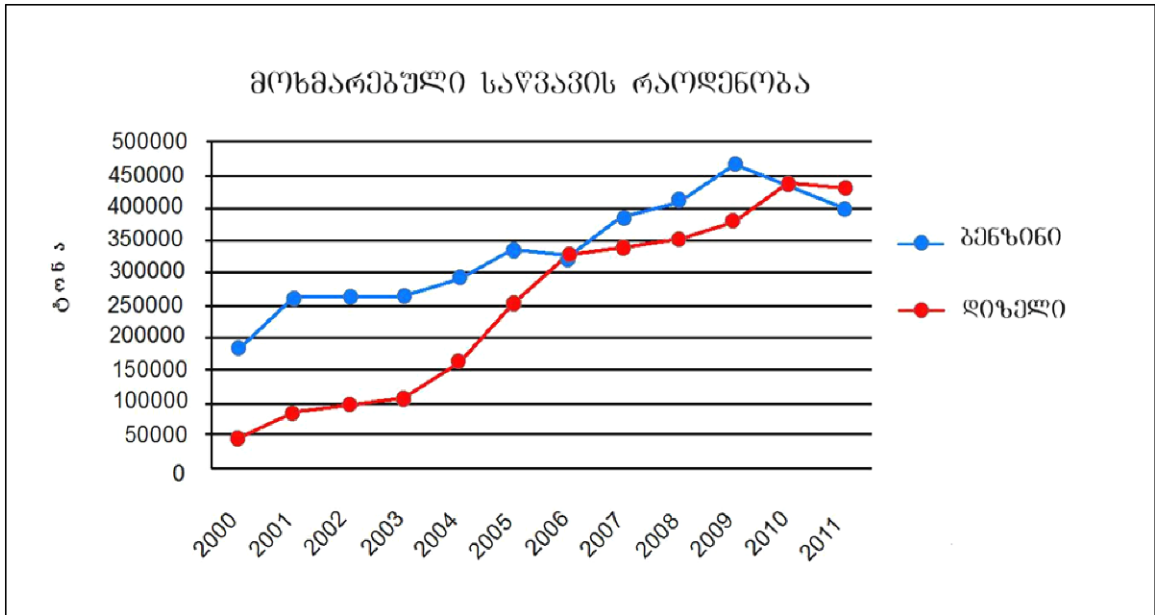
ნახაზი N12. სტაციონარული წყაროებიდან და ავტოტრანსპორტიდან ატმოსფეროში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებები



ნახაზი N13. სატრანსპორტო საშუალებების რაოდენობა

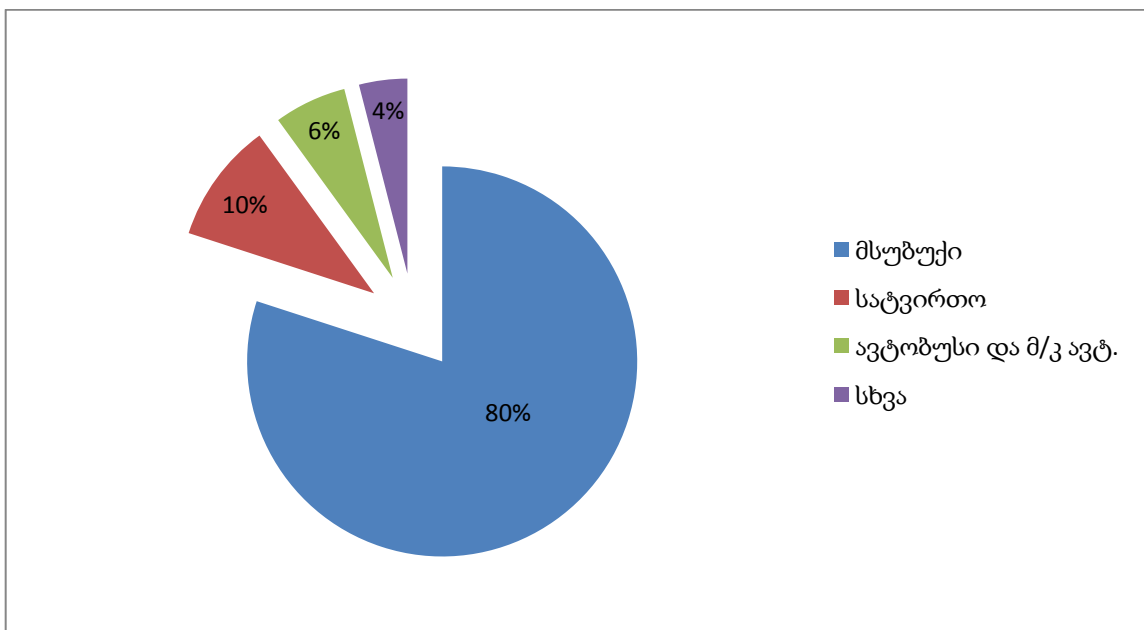
ჩატარებულ იქნა ცალკეული კვლევები, რომელთა შედეგებიდან ჩანს რომ ატმოსფერული ჰაერის ხარისხზე დიდ ზეგავლენას ახდენს სატრანსპორტო საშუალებები. ამის დასტურია ბრიტანული კომპანიის - AEA Technology-ს ექსპერტთა მიერ 2001-2002 წლებში ქალაქში ჩატარებული ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის კვლევის შედეგები. მას შემდეგ სატრანსპორტო საშუალებების და მოხმარებული

საწვავის რაოდენობა დაახლოებით 2.5-ჯერ გაიზარდა. მოთხოვნა გაიზარდა როგორც ბენზინის, ასევე დიზელის საწვავზე მომუშავე ავტოტრანსპორტზე (ნახაზი 14) [75].

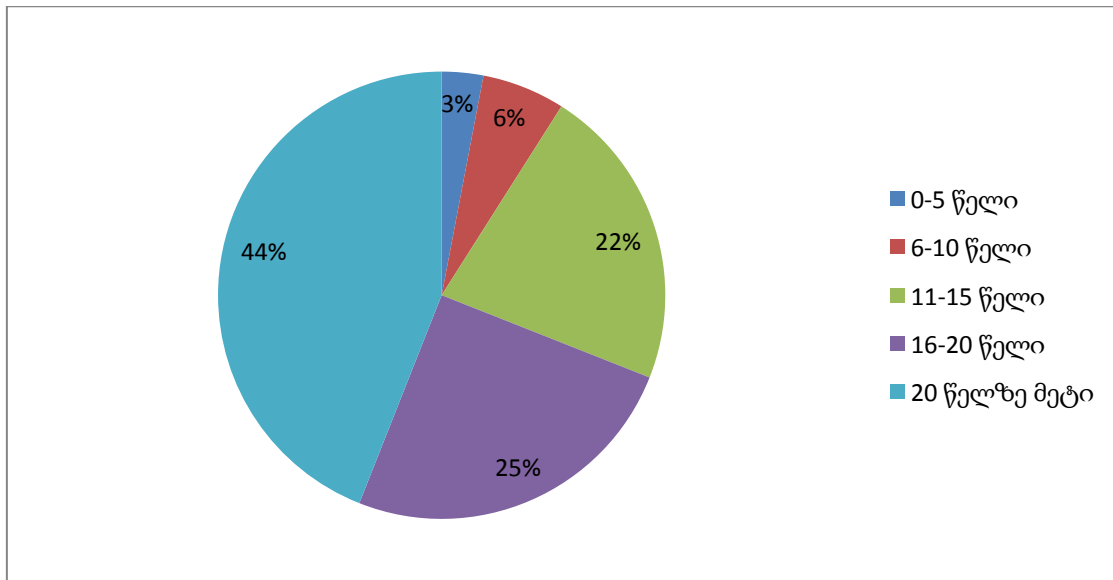


**ნახაზი N14. ავტოტრანსპორტის მიერ მოხმარებული საწვავის რაოდენობა (2000-2011)**

განვითარებულ ქვეყნებში, სადაც დახვეწილი ტექნიკური და გარემოსდაცვითი ნორმატიული ბაზა და კონტროლის ეფექტური სისტემა არსებობს, პრობლემას უფრო მეტად ავტომანქანების დიდი რაოდენობა წარმოადგენს, ხოლო განვითარებად ქვეყნებში ავტოტრანსპორტის მიერ ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება ძირითადად განპირობებულია ამორტიზირებული საავტომობილო პარკის, გაუმართავი მანქანების არსებობით და დაბალი ხარისხის საწვავის მოხმარებით (ნახაზი N15, 16) [73].



**ნახაზი N15. სატრანსპორტო საშუალებები საქართველოში**



### ნახაზი N16. სატრანსპორტო საშუალებების ასაკი

ავტოტრანსპორტის მიერ ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებას მრავალი ფიზიკურ-ქიმიური ფაქტორი განაპირობებს, რომელთაგან აღსანიშნავია: მავნე ნივთიერებების გამოყოფის ინტენსივობა და მოცულობა, სატრანსპორტო საშუალებების რაოდენობა, ავტოპარკის ასაკი და ტექნიკური მდგომარეობა, სატრანსპორტო საშუალებების მზარდი იმპორტი, საწვავის სახეობა და ხარისხი, საზოგადოებრივი ტრანსპორტის განვითარება, მოძრაობის ორგანიზებულობა, ქალაქის განაშენიანების თავისებურება და ა.შ.

საწვავის სახეობა და ხარისხი მავნე გამონაბოლქვის მოცულობის განმსაზღვრელი მნიშვნელოვანი ფაქტორია. საქართველოში საწვავის ხარისხისა და მისი ნორმების საკითხის რეგულირება ხდება მთავრობის დადგენილებით. 2012 წლიდან მოქმედებს გამკაცრებული ნორმები (საქართველოს მთავრობის 2011 წლის 1 დეკემბრის N 444 და N 449 დადგენილებები), რომლის თანახმად 2012 წლის 1 იანვრიდან ბენზინში ტყვიის შემცველობა გაუტოლდა ევროსტანდარტს და განისაზღვრა არა უმეტეს 5 მგ/ლ; ბენზოლის მოცულობითი წილი განისაზღვრა - 3%-ით; არომატული ნახშირწყალბადების მოცულობითი წილი - 42%-ით; გოგირდის მასური წილი 2-ჯერ შემცირდა და განისაზღვრა არა უმეტეს 250 მგ/კგ, ხოლო 2014 წლის 1 იანვრიდან განისაზღვრა არა უმეტეს 150მგ/კგ. აღსანიშნავია, რომ გამკაცრების მიუხედავად, საავტომობილო ბენზინსა და დიზელში საქართველოს მთავრობის დადგენილებით განსაზღვრული გოგირდის მასური წილი კვლავ მაღალი რჩება და 15-20-ჯერ აღემატება ევროკავშირის სტანდარტებით დადგეილ ნორმებს (ცხრილი N 12, 13) [76, 77].



საავტომობილო პარკის ზრდიდან, ასაკიდან და მოხმარებული საწვავიდან გამომდინარე მომატებულია ატმოსფერულ ჰაერში მავნე ნივთიერებების გაფრქვევის საერთო მაჩვენებელი.

**ცხრილი N 12. ბენზინის ხარისხობრივი ნორმები**

ბენზინის ხარისხობრივი ნორმები	ტყვიის შემცველობა, მგ/ლ	ბენზოლის მოცულობითი წილი, %	გოგირდის შემცველობა, მგ/კვ	არომატული ნახშირწყალბადების მოცულობითი წილი, %
საქართველო	5	3	150	≤42
ევროკავშირი	5	1	10	35

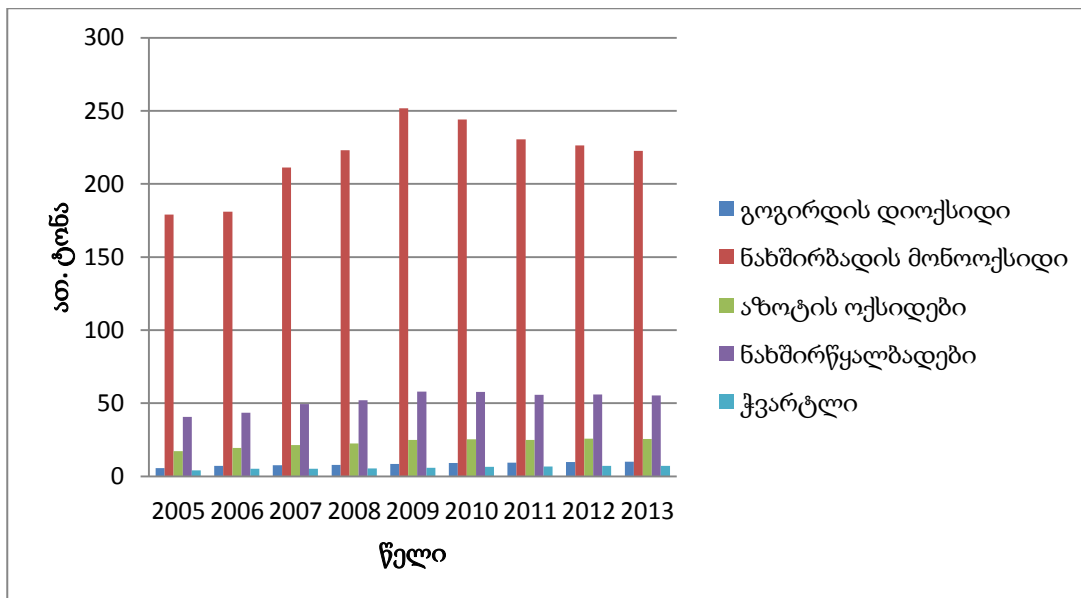
**ცხრილი N 13. დიზელის ხარისხობრივი ნორმები**

დიზელის შემადგენლობის ნორმები	ცეტანის რიცხვი	გოგირდის შემცველობა, მგ/კვ	სიმკვრივე 15°C, კგ/მ <sup>3</sup>	პოლიციკლური არომატული ნახშირწყალბადების მასური წილი, %
საქართველო	≥48	200	845	11
ევროკავშირი	-	10	845	11

ნახაზ N17-ზე წარმოდგენილია დიზელის და ბენზინის საწვავზე მომუშავე ავტოტრანსპორტის მიერ გამოფრქვეული მავნე ნივთიერებები 2005-2013 წლების მიხედვით [74].

**ცხრილი N14. ატმოსფეროში ავტომანქანების მიერ გაფრქვეული მავნე ნივთიერებების რაოდენობა სახეობების მიხედვით (2005-2013)**

მავნე ნივთიერებები	ათ. ტონა								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
გოგირდის დიოქსიდი	5.7	7.2	7.6	7.8	8.5	9.2	9.4	9.9	10.0
ნახშირბადის მონოოქსიდი	179.0	181.0	211.2	223.0	251.8	244.0	230.4	226.3	222.6
აზოტის ოქსიდები	17.2	19.4	21.5	22.4	24.8	25.4	25.0	25.7	25.6
ნახშირწყალბადები	40.6	43.5	49.4	52.0	57.9	57.7	55.7	55.9	55.4
ჰვარტლი	4.0	5.1	5.3	5.5	5.9	6.5	6.7	7.1	7.2
სულ	246.2	256.1	295.0	310.7	348.9	342.7	327.2	324.9	320.8



ნახაზი N17. ატმოსფეროში ავტომანქანების მიერ გაფრქვეული მავნე ნივთიერებები სახეობების მიხედვით (2005-2013)

### III.2. ატმოსფერული ჰაერის მონიტორინგი საქართველოში

ატმოსფერული ჰაერის მდგომარეობაზე დაკვირვება და მონიტორინგი ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი კომპონენტია ჰაერის რეალური მდგომარეობის შესასწავლად და მონაცემების მისაღებად.

1990 წელს საქართველოს 11 ქალაქში მიმდინარეობდა ატმოსფერული ჰაერის მონიტორინგი. სხვადასხვა ქალაქებში ჯამში განთავსებული იყო 33 სტაციონარული ჯიხური (თბილისი-8 ბათუმი-4, ქუთაისი-4, რუსთავი-4, ზესტაფონი-4, სოხუმი-2, კასპი-2, ტყვარჩელი-2, გორი-1, მარნეული-1, ახალციხე-1) და დღე-ღამის განმავლობაში 4-ჯერ ხდებოდა ძირითადი დამაბინძურებელი ნივთიერებების გაზომვა. ყველა მოქმედ სადგურზე სისტემატურად იზომებოდა: მტვერი (საერთო შეწონილი ნაწილაკები), გოგირდის დიოქსიდი, ნახშირბადის მონოოქსიდი და აზოტის დიოქსიდი. გარდა ამისა, სხვადასხვა ქალაქებში არსებული წარმოებებიდან მათი საწარმოო ციკლიდან გამომდინარე, ხდებოდა სპეციალურ კომპონენტთა კონცენტრაციების გაზომვა. მაგალითად, თბილისში ორ სადგურზე, რომლებიც სამრეწველო საწარმოების მახლობლად იყო განთავსებული და მათ ზეგავლენას ასახავდა, ხდებოდა დაკვირვება ბენზ(ა)პირენის და მძიმე ლითონების (ტყვია, თუთია, სპილენძი, მანგანუმი, ქრომი) შემცველობაზე, ასევე თბილისში ხდებოდა ფენოლის და ფორმალდეჰიდის გაზომვა,

გოგირდწყალბადი, ფენოლი და ამიაკი - რუსთავში, მანგანუმის დიოქსიდი - ზესტაფონში, ფენოლი - ქუთაისში, გოგირდწყალბადი - ბათუმში [78, 79].

ყოფილი საბჭოთა კავშირის პერიოდიდან მოყოლებული საქართველოში ატმოსფერულ ჰაერზე დაკვირვებისას ძირითადი დამაბინძურებელი ნივთიერებებიდან შემდეგი მაჩვენებლების გაზომვა ხდებოდა: 1. მაქსიმალური ერთჯერადი კონცენტრაცია (გაზომვის ხანგრძლივობა 20-30 წთ, მგ/მ<sup>3</sup>); 2. საშუალო კონცენტრაცია: დღელამური და წლიური (მგ/მ<sup>3</sup>).

ჰაერში არსებული მავნე ნივთიერებების კონცენტრაციების შეფასება ხდება შესაბამის დადგენილ ნორმებთან შედარებით. კერძოდ, ატმოსფეროში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებების საშუალო თვიური და წლიური კონცენტრაციების მიღებული მნიშვნელობების შედარება მიმდინარეობს ჩვეულებრივ საშუალო დღელამურ ზდკ-თან, ხოლო 20-30 წუთიანი ხანგრძლივობით გაზომილი ნივთიერების კონცენტრაციები ედრება 20-30 წუთიან ზდკ-ს (ე.წ. მაქსიმალურ ერთჯერად ზდკ-ს) [71, 73, 80].

ატმოსფერულ ჰაერში მავნე ნივთიერებების კონცენტრაციების განსაზღვრისა და ზღვრულად დასაშვები ნორმებთან მათი შედარების გარდა, ასევე გამოიყენება დაბინძურების კომპლექსური მაჩვენებელი, რომელსაც ჰაერის დაბინძურების ზოგადი ინდექსი ეწოდება. იგი ატმოსფერულ ჰაერში არსებული ნივთიერებების დაბინძურების მიერ ჯამური ზეგავლენის შესაფასებლად გამოიყენება და ამ ზეგავლენის ერთი ციფრით გამოსახვის საშუალებას იძლევა.

დაბინძურების ზოგადი ინდექსის საფუძველზე ხდება ადმინისტრაციული რაიონებისა და დასახლებული პუნქტებისათვის განსაკუთრებით დაბინძურებული, მაღალი დაბინძურების, დაბინძურებული და დაბინძურების არმქონე რეგიონების კატეგორიების მინიჭება (ცხრილი N15) [80-83].

**ცხრილი N15. ატმოსფერული ჰაერის მავნე ნივთიერებებით დაბინძურების ინდექსები**

დაბინძურების დონეების მიხედვით რეგიონის კატეგორიის დასახელება	დაბინძურების ინდექსი, I
დაბინძურების არმქონე კატეგორიის რეგიონი	$I \leq 5$
დაბინძურებული კატეგორიის რეგიონი	$5 < I \leq 8$
მაღალი დაბინძურების კატეგორიის რეგიონი	$8 < I \leq 15$
განსაკუთრებით დაბინძურებული კატეგორიის რეგიონი	$I > 15$

მე-20 საუკუნის 90–იანი წლების ბოლოდან მოყოლებული მკვეთრად იქნა შემცირებული სადამკვირვებლო ჯიხურების რაოდენობა საქართველოში, შესაბამისად ატმოსფერული ჰაერის მდგომარეობის შესახებ ინფორმაცია საკმაოდ მწირია.

საქართველოში ატმოსფერული ჰაერის მონიტორინგს სსიპ გარემოს ეროვნული სააგენტო აწარმოებს. ამჟამად საქართველოში ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებაზე დაკვირვება მიმდინარეობს ხუთ ქალაქში: თბილისში, ბათუმში, ქუთაისში, ზესტაფონსა და რუსთავში. აღნიშნულ ქალაქებში განთავსებულია რვა სადამკვირვებლო ჯიხური, 2013 წელს თბილისში, ვაშლიჯვრის მეტეოსადგურის ტერიტორიაზე დაემატა მე-4 ავტომატური გამზომი სადგური. 2010 წლიდან თბილისში მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის გაზომვა დაიწყო. იმავე წელს დაიწყო ქუთაისსა და ბათუმში ნახშირბადის მონოოქსიდის, ხოლო რუსთავში ნახშირბადის მონოოქსიდისა და აზოტის დიოქსიდის კონცენტრაციის გაზომვები. 2014 წელს ქუთაისში დამატებულ იქნა ტყვიის, ხოლო რუსთავში მტვერის და ტყვიის გაზომვები (ცხრილი N16) [71, 79].

**ცხრილი N 16. საქართველოში არსებული სადამკვირვებლო პუნქტების განაწილება ქალაქების მიხედვით**

დამაბინძურებელი ნივთიერება	სადამკვირვებლო სადგურების რაოდენობა							
	თბილისი				ბათუმი	ქუთაისი	ზესტაფონი	რუსთავი
	4 სადგური				1	1	1	1
	I	II	III	IV	სადგური	სადგური	სადგური	სადგური
მტვერი	x			x	x	x	x	x
SO <sub>2</sub>	x			x	x	x	x	
NO				x		x		
NO <sub>2</sub>	x	x	x	x	x	x	x	x
NO				x				
CO	x	x	x	x	x	x	x	x
O <sub>3</sub>	x			x				
Pb	x			x		x		x
MnO <sub>2</sub>							x	

ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის დადგენა წარმოებს დღის განმავლობაში 3-ჯერ სამუშაო დღეებში. სინჯის აღება არ არის ავტომატიზირებული, გარდა ერთი

სადამკვირვებლო სადგურისა, რომელიც დამონტაჟებული იქნა თბილისში 2013 წელს. აღნიშნულ ავტომატურ გამზომ სადგურში დაკვირვება წარმოებს ყოველ წუთს 24 საათის განმავლობაში. თბილისში განისაზღვრება შემდეგი დამაბინძურებელი ნივთიერებები: მტვერი, ნახშირბადის მონოოქსიდი, გოგირდის დიოქსიდი, აზოტის ოქსიდები, მიწისპირა ოზონი და ტყვია; ბათუმში - მტვერი, გოგირდის დიოქსიდი, აზოტის დიოქსიდი და ნახშირბადის მონოოქსიდი; ქუთაისში - მტვერი, გოგირდის დიოქსიდი, აზოტის მონოოქსიდი და დიოქსიდი, ნახშირბადის მონოოქსიდი და ტყვია; ზესტაფონში - მტვერი, გოგირდის დიოქსიდი, აზოტის დიოქსიდი, ნახშირბადის მონოოქსიდი და მანგანუმის დიოქსიდი; რუსთავში - მტვერი, აზოტის დიოქსიდი, ნახშირბადის მონოოქსიდი და ტყვია.

2013 წელს თბილისში ავტომატური სადგურის დამონტაჟება მნიშვნელოვანი წინ გადადგმული ნაბიჯი იყო ატმოსფერულ ჰაერზე დაკვირვების ქართული მონიტორინგული ქსელის ევროპულ ქსელთან ინტეგრაციისათვის. ამ სადამკვირვებლო ჯიხურის საშუალებით შესაძლებელი გახდა არამარტო ჯამური შეწონილი ნაწილაკების განსაზღვრა, არამედ უფრო მნიშვნელოვანი ინფორმაციის მატარებელი PM<sub>2.5</sub>-ის და PM<sub>10</sub>-ის კონცენტრაციების გაზომვა [79].

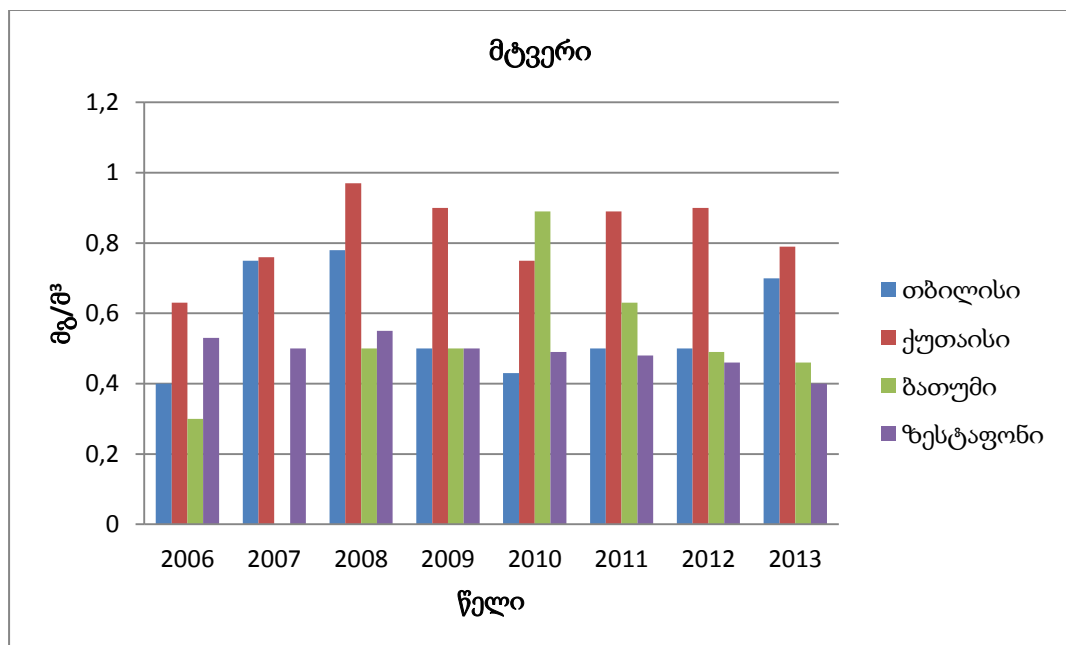
აირადი დამაბინძურებელი ნივთიერებების განსაზღვრა ე. წ. სველი ქიმიის მეთოდით ხდება. მტვერის კონცენტრაცია ისაზღვრება წონითი (გრავიმეტრული) მეთოდით. შეწონილი ნაწილაკების ჯამური კონცენტრაციის განსაზღვრის მეთოდი ეფუძნება სპეციალურ ფილტრზე დალექვას 20 წუთის განმავლობაში და შემდგომ მის გრავიმეტრულ ანალიზს. ჰაერის სინჯების აღება ხდება ΦIII – 15 ტიპის ფილტრების საშუალებით.

ნახშირბადის მონოოქსიდის კონცენტრაცია ისაზღვრება ელექტროქიმიური მეთოდით გაზოანალიზატორის „პალადის“ საშუალებით. გოგირდის დიოქსიდის მშთანთქმელად გამოიყენება წყალბადის ზეჟანგის 0.3%-იანი ხსნარი, ხოლო აზოტის დიოქსიდის მშთანთქმელად - კალციუმის იოდოდი ნატრიუმის არსენიდთან ერთად. ხსნადი სულფატების კონცენტრაციების განსაზღვრისას სინჯის ასაღებად გამოიყენება ΦIII ტიპის ფილტრები, ხოლო ანალიზებისათვის - ბარიუმის ქლორიდის ხსნარი. მანგანუმის დიოქსიდის სინჯების აღება ხდება АΦА-ХII-18 ფილტრით. აღნიშნული

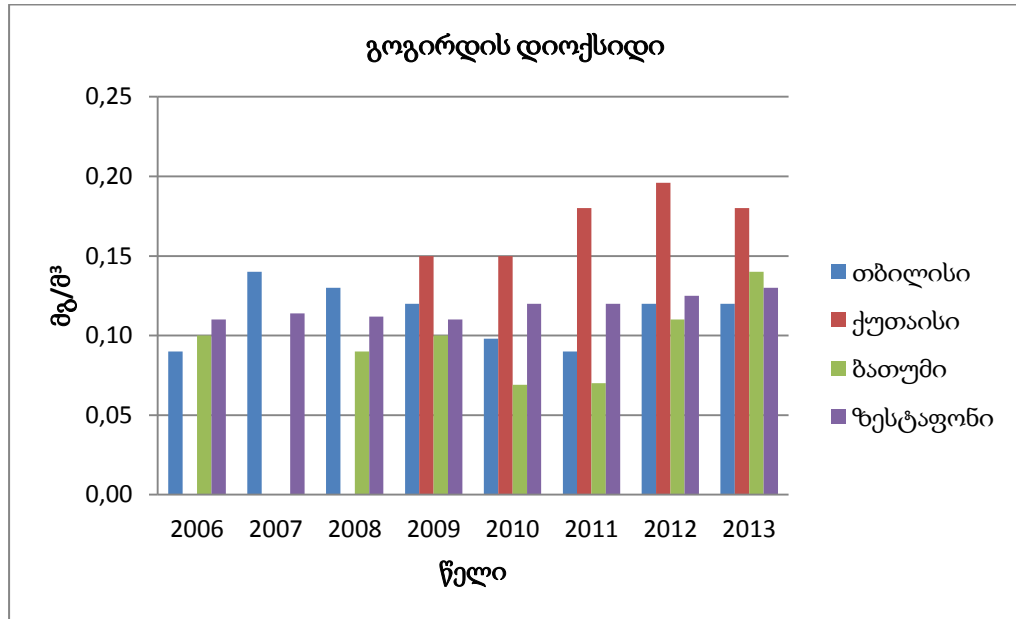
ნივთიერებების კონცენტრაციები ისაზღვრება შესაბამისი რეაქციების ჩატარების შემდეგ ფოტოელექტროკოლორიმეტრი KΦK-2-ის გამოყენებით.

### III.3. საქართველოში ატმოსფერული ჰაერის მდგომარეობა 2006-2013 წლებში

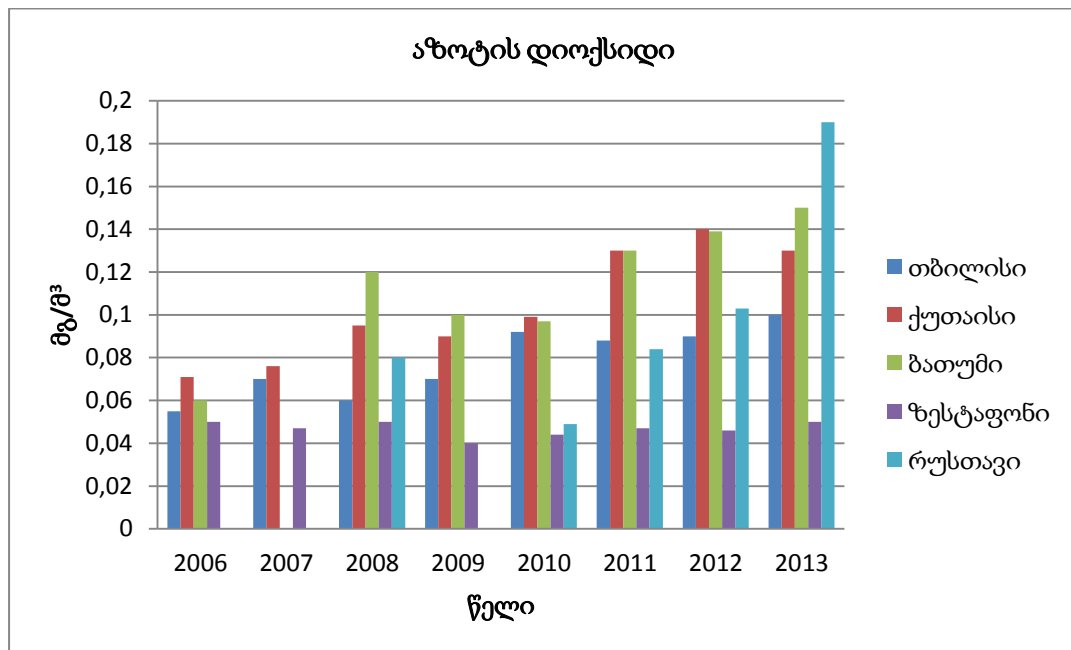
მიუხედავად იმისა, რომ ამჟამად საქართველოში მოქმედებს მხოლოდ რვა სადამკვირვებლო პუნქტი, მიმდინარეობს ატმოსფერული ჰაერის მდგომარეობის სისტემატური მონიტორინგი. ქვემოთ მოცემულ გრაფიკებში (ნახაზი N 18-25) წარმოდგენილია 2006 - 2013 წლებში საქართველოს ატმოსფერული ჰაერის ცვლილებების დინამიკა. როგორც უკვე აღვნიშნე, საქართველოს ხუთ ქალაქშია (თბილისი, ბათუმი, ქუთაისი, ზესტაფონი, რუსთავი) სადამკვირვებლო პუნქტები, აქედან ოთხი თბილისშია, შესაბამისად იმ ქალაქებში სადაც მხოლოდ ერთი სადამკვირვებლო სადგურია ასახავს იმ კონკრეტული უბნის ჰაერის ხარისხს სადაც ეს სადამკვირვებლო პუნქტი მდებარეობს და არა მთლიანად ქალაქისას [79].



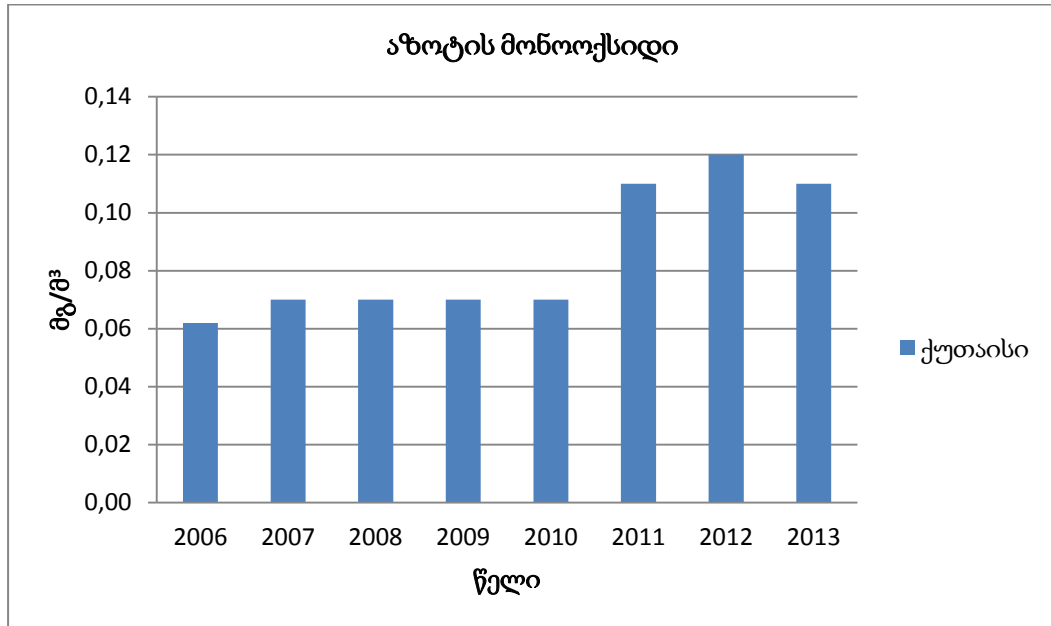
ნახაზი N 18. მტვერის საშუალო წლიური კონცენტრაცია (ზდკ - 0.15 მგ/მ³)



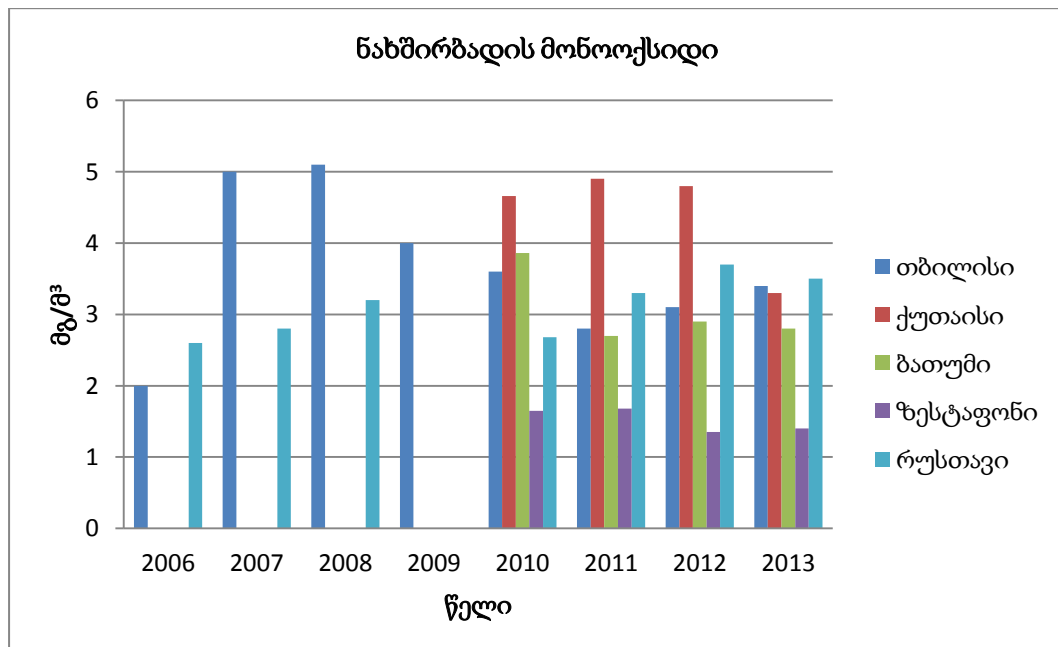
ნახაზი N 19. გოგირდის დიოქსიდის საშუალო წლიური კონცენტრაცია (ზღვ -0.05 მგ/მ³)



ნახაზი N 20. აზოტის დიოქსიდის საშუალო წლიური კონცენტრაცია (ზღვ -0.04 მგ/მ³)

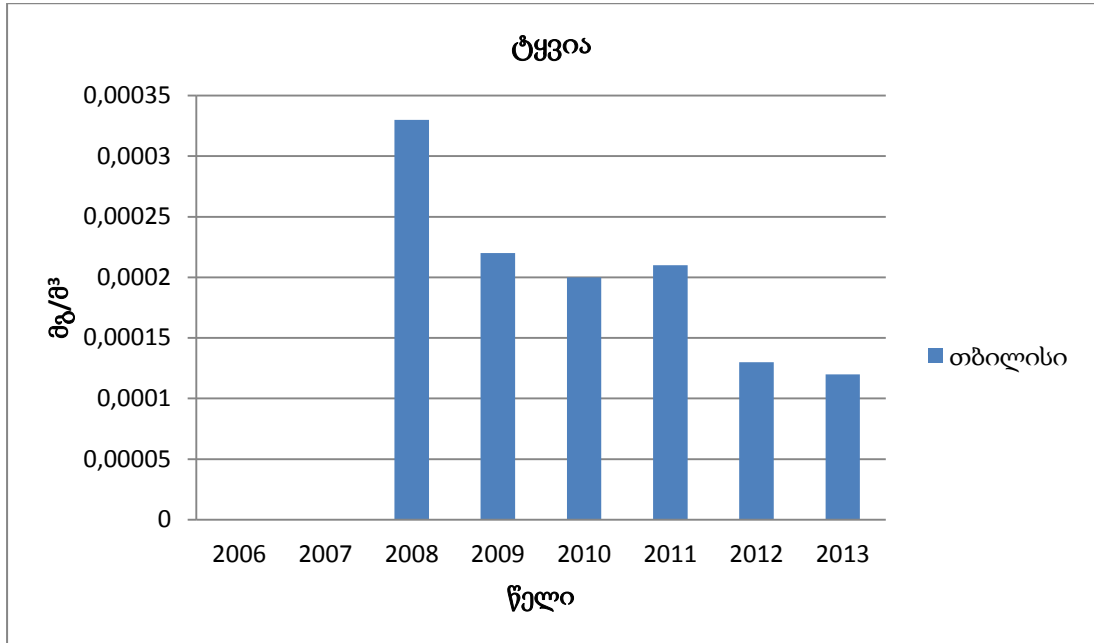


ნაზახი N 21. აზოტის მონოოქსიდის საშუალო წლიური კონცენტრაცია (ზღვ -0.06 მგ/მ³)

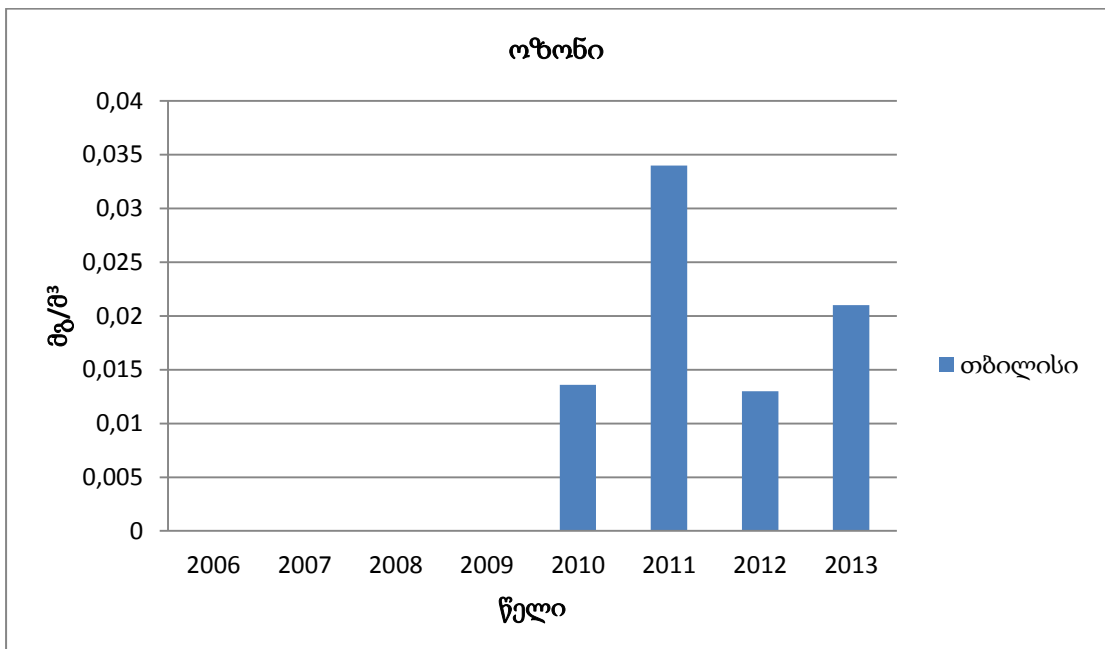


ნაზახი N 22. ნახშირბადის მონოოქსიდის საშუალო წლიური კონცენტრაცია (ზღვ -3.0 მგ/მ³)

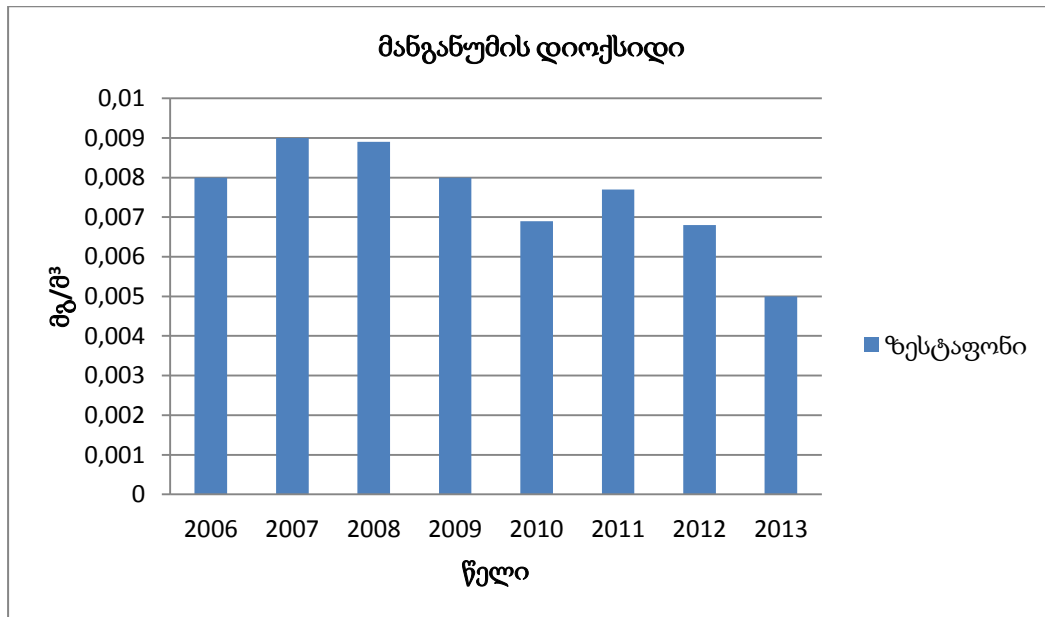




ნახაზი N23. ტყვიის საშუალო წლიური კონცენტრაცია (ზღვ -0.0003 მგ/მ³)



ნახაზი N24. ოზონის საშუალო წლიური კონცენტრაცია (ზღვ -0.03 მგ/მ³)



**ნახაზი N25. მანგანუმის დიოქსიდის საშუალო წლიური კონცენტრაცია (ზღვ -0.001 მგ/მ³)**

როგორც მოცემული ნახაზებიდან ჩანს, რომ საანგარიშო პერიოდში ატმოსფეროში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებების კონცენტრაციები აჭარბებენ ზღვრულად დასაშვებ ნორმებს. მაგრამ 2013 წელს შეიმჩნევა ზოგიერთი ნივთიერების (ნახშირბადის მონოოქსიდი, გოგირდის დიოქსიდი და მტვერი) კონცენტრაციების კლების ტენდენცია, თუმცა ეს სიდედეები მაინც აღემატება ზღვრულ დასაშვებ ნორმებს. 2009 - 2013 წლების მონაცემებით ტყვიის კონცენტრაცია თბილისში ზღვ-ს არ აღემატება, ხოლო მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია 2012 და 2013 წლების მონაცემებით დასაშვებ ზღვრებშია, ვინაიდან თბილისში ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების ძირითად პრობლემას ავტოტრანსპორტი წარმოადგენს და მომავალშიც ერთ-ერთი მთავარი პრობლემა იქნება, საჭიროა მნიშვნელოვანი ყურადღება დაეთმოს და სისტემატურად იზომებოდეს PM<sub>10</sub> და PM<sub>2.5</sub>, მიწისპირა ოზონის დონის და აქროლადი ორგანული ნაერთების შემცველობები.

იმ ქალაქებში, რომლებიც დატვირთულია ავტოტრანსპორტით, მაღალია აზოტის და გოგირდის დიოქსიდების, ასევე მტვრის მაჩვენებელი. რაც შეეხება ზესტაფონს, სადაც განთავსებულია ფეროშენადნობი ქარხანა შპს „ჯორჯიან მანგანეზი“, მანგანუმის დიოქსიდის საშუალო წლიური კონცენტრაცია სისტემატიურად და მნიშვნელოვნად აჭარბებს ზღვ-ს.

წარმოდგენილი მონაცემები ვერ ასახავს ატმოსფერული ჰაერის მდგომარეობის რეალურ სურათს. მიუხედავად იმისა, რომ ბოლო რამდენიმე წელიწადში გაუმჯობესდა მონიტორინგის სისტემა და დაემატა ახალი ავტომატური გამზომი სადგური (თბილისში) და ასევე სხვადასხვა ქალაქებიდან შესაძლებელი გახდა უფრო ფართო სპექტრის სინჯების აღება და გაზომვა, მაინც უმთავრეს პრობლემას წარმოადგენს ფინანსური რესურსების და ტექნიკური აღჭურვილობის ნაკლებობა. როგორც უკვე აღვნიშნე, ქ. თბილისში მოხდა ავტომატური სადგურის დამატება, რაც მნიშვნელოვანი წინ გადადგმული ნაბიჯია, თუმცა არსებული სადამკვირვებლო სადგურების რაოდენობა მწირია, მონაცემების აღებისა და დამუშავების მეთოდები კი არ შეესაბამება საერთაშორისო სტანდარტებს. გარემოს ეროვნული სააგენტოს ინფორმაციით, 2015 წელს იგეგმება ქ. თბილისში არსებული 3 სადამკვირვებლო ჯიხურის გადაიარაღება ავტომატური ხელსაწყოებით, ხოლო ქ. ქუთაისში ჰაერის დამაბინძურებელი ინგრედიენტების გამზომი ავტომატური სადგურის დამონტაჟება. საჭიროა გაგრძელდეს ავტომატური სადგურების შექმნის ტენდენცია და მოხდეს ერთიანი ატმოსფერული ჰაერის მონიტორინგის სისტემის რეაბილიტაცია, მოდერნიზაცია და თანამედროვე ევროპულ სისტემასთან ინტეგრაცია. ეს მოგვცემს ატმოსფერული ჰაერის მდგომარეობის შესახებ უტყუარი და გრძელვადიანი პროგნოზების გაკეთების შესაძლებლობას.

## თავი IV. გამონახოლქვი აირების გაწმენდის მეთოდები და კატალიზატორები

### IV.1. გამონახოლქვი აირების გაწმენდის კატალიზური მეთოდები

დიდი ხნით ადრე, სანამ დადგებოდა ავტომობილების გამონახოლქვით ატმოსფეროს დაბინძურების პრობლემა, შემუშავებული იყო მრავალი მეთოდი, რომელიც გამონახოლქვი აირების და მათი ტოქსიკურობის შემცირების საშუალებას იძლევა. გაწმენდის მეთოდებში შედის: აბსორბციული და ადსორბციული მეთოდები, თერმული დაწვა, ბიოქიმიური და პლაზმოქიმიური მეთოდები, ოზონური, პლაზმო- და ფოტოკატალიზური მეთოდები, ასევე თერმოკატალიზური მეთოდები, რომლებიც უნივერსალობით გამოირჩევიან.

აირების გაწმენდის ყველაზე ეფექტური კატალიზური მეთოდები დაფუძნებულია რეაქციებზე, რომელიც მიმდინარეობს მყარი კატალიზატორების თანაობისას, ე.ი. ჰეტეროგენური კატალიზის კანონზომიერებების შესაბამისად. ამ რეაქციების შედეგად აირში არსებული მინარევები გარდაიქმნებიან სხვა ნაერთებად, ანუ სხვა მეთოდებისგან განსხვავებით მინარევები არ დესორბირდებიან აირიდან, არამედ ტრანსფორმირდებიან სხვა უვნებელ ნაერთებად, რომელთა არსებობა დასაშვებია გამონახოლქვ აირში, ან და იოლად გამოიყოფიან აირის ნაკადიდან თხევადი ან მყარი ადსორბენტების გამოყენებით.

დიდი ქალაქების ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების ზრდის ტემპის გამო იზრდება გამონახოლქვი და გამოფრქვეული გაზების გაწმენდის მეთოდების დახვეწის მოთხოვნა. მაგალითად CO-ს დაწვა CO<sub>2</sub>-მდე ხორციელდება 1073 K-ზე, ე.ი. CO-ს აალების ტემპერატურაზე უფრო მაღალ ტემპერატურაზე. ამიტომ თუ გასაწმენდ აირში CO-ს შემცველობა 12%-ზე მეტია, უმეტეს შემთხვევებში ჰაერის პარამეტრები აღნიშნული მეთოდის გამოყენების საშუალებას არ იძლევა. ამიტომ, კატალიზური მეთოდებით CO-ს დაჟანგვა CO<sub>2</sub>-მდე ყველაზე უფრო რეალური და პერსპექტიული მეთოდია CO-გან აირების გასაწმენდად.

ამჟამად მიმდინარეობს იმ მეთოდების დამუშავება, რაც ავტომობილების მიერ მავნე ნივთიერებების გაფრქვევის შემცირების საშუალებას იძლევა, მეთოდების დამუშავება მოიცავს:

- ძრავის დამზადების ხარისხის გაზრდას და კონსტრუქციის დახვეწას;
- ახალი სახის საწვავის და სხვადასხვა საცხების მოძიებას;
- დანადგარების შემუშავებას, რომლებიც შეამცირებენ გადამუშავებულ გაზებში მავნე კომპონენტების შემცველობას:
  1. გამონაბოლქვების თხევადფაზურ ნეიტრალიზაციას;
  2. თერმული დაჟანგვას;
  3. კატალიზური ნეიტრალიზაციას.
- მანქანებისთვის ისეთი ენერგოდამოკიდებული დანადგარების შექმნას, რომლებიც გამოაფრქვევენ ნაკლები რაოდენობის მავნე ნივთიერებას.

არსებობს გაზგამწმენდი მოწყობილობები და ხელსაწყოების სხვადასხვა საშუალებები, რომლებშიც გამოიყენება მექანიკური, ფიზიკური, ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები რომელთა საშუალებითაც ჰაერიდან მოცილებული იქნება მავნე მინარევები. აირგამწმენდი დანადგარები და მოწყობილობები გასაწმენდი ნივთიერების სახეობის და აგრეგატული მდგომარეობის მიხედვით იყოფა ისეთ მოწყობილობებად, რომლებიც აიროვან სისტემებს ასუფთავებს მყარი, თხევადი მინარევებისაგან და აეროზოლებისაგან, თბომავლების და ავტოტრანსპორტის გამონაბოლქვი აირებისაგან [83].

ზოგიერთი მეთოდი გამოქვეყნებული იყო ჯერ კიდევ 70-იან წლებში [84]. გამონაბოლქვი გაზებისაგან გამწმენდი საწარმოო დანადგარები მოქმედებენ იაპონიაში, გერმანიაში და აშშ, რაც შეეხება საქართველოს, ყოფილი საბჭოთა კავშირის სხვა ქვეყნების მსგავსად თბოელექტროსადგურებში პრაქტიკულად არ ხდება გამონაბოლქვი აირების გაწმენდა და რა თქმა უნდა, არ ხორციელდება ავტოტრანსპორტის მიერ გამოაფრქვეული აირების გაწმენდა.

ადამიანის ორგანიზმზე გამონაბოლქვი აირების ცალკეული კომპონენტების ზემოქმედება შესწავლილია საკმაოდ ღრმად. პრაქტიკულად ყველა კომპონენტზე დაწესებულია ზღვ. ამ ყველაფრის გათვალისწინებით, აუცილებელია მეთოდების

და საშუალებების მოძიება იმისათვის, რომ შემცირებულ იქნას ტოქსიკურობა, ასევე მთლიანად ნეიტრალიზებულ იქნას შიდაწვის ძრავების მიერ გამოფრქვეული აირები.

დამაბინძურებელი ნივთიერებების გაწმენდის და ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციამდე დაყვანის ყველაზე უფრო ეფექტურ მეთოდს წარმოადგენს კატალიზური რეაქციები, კატალიზური მეთოდები უმჯობესია ეკონომიკური თვალსაზრისითაც. კატალიზური ნეიტრალიზატორების საშუალებით ავტომობილების შიდაწვის ძრავების მიერ გამოყოფილი აირების გაწმენდა ატმოსფერული ჰაერის ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან მიმართულებას წარმოადგენს.

გამოყოფილი პროდუქტების წვის ნეიტრალიზაციის კატალიზური პროცესები, ძირითადად მიმდინარეობს 300°C-ზე უფრო მაღალ ტემპერატურაზე და შეხების მინიმალური დროთი, ვინაიდან საწარმოების და ავტომობილების ძრავების მიერ აირების გამოფრქვევა დიდი სისწრაფით ხდება [85]. შესაბამისად კატალიზატორებს, რომლებიც ახდენენ აირებისგან გაწმენდას, წაყენებული აქვთ საკმაოდ მკაცრი მოთხოვნები: მაღალი აქტიურობა და კატალიზური ზემოქმედების სელექტიურობა, თერმოსტაბილურობა, შხამების ზემოქმედებისადმი მდგრადობა, მაღალი მექანიკური მდგრადობა, დიდი სითბოგამტარობა, მცირე გაზოდინამიკური წინაღობა. ასევე, მნიშვნელოვანი ის ფაქტი რომ კატალიზატორები არ უნდა იყვნენ პოტენციურად სახიფათო ადამიანისათვის და მათი წარმოებისას არ უნდა ხდებოდეს გარემოს დამატებითი დაბინძურება [86].

## IV.2. გამოფრქვეული და გამონაბოლქვი აირების გამწმენდი

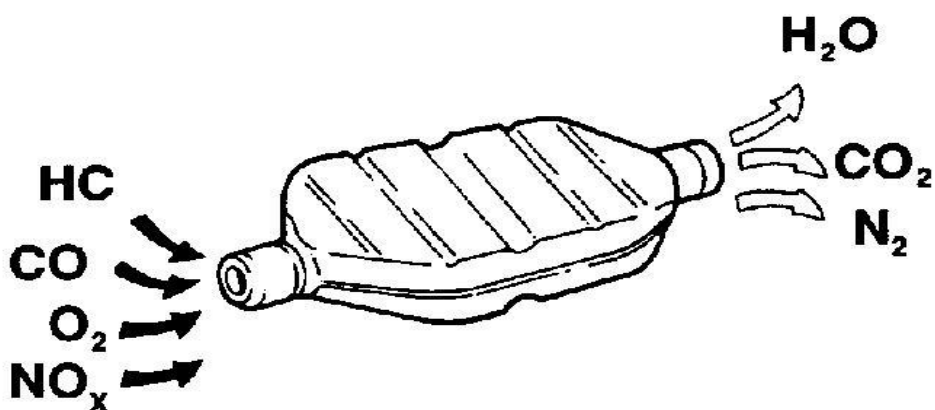
### კატალიზატორები

კატალიზატორები, რომელთა გამოყენებას საფუძვლად უდევს სხვადასხვა ნივთიერებების დაჟანგვა და ზოტის ოქსიდების აღდგენა, აქტიური კომპონენტების შედგენილობის მიხედვით პირობითად ასე შეიძლება დაჯგუფდეს: ოქსიდური (ოქსიდები, ოქსიდების ნარევი, შპინელი, პეროვსკიტი და სხვა), მეტალის და შერეული კატალიზატორები, დაფენილი სხვადასხვა სარჩულზე (ოქსიდები, მეტალები, ბოქსოვანი და ფოროვანი კერამიკული მასალა და სხვა).

განვითარებულ ქვეყნებში ავტოტრანსპორტის მიერ გამოფრქვეული აირების კატალიზური გაწმენდა ხორციელდება ძვირადღირებული მეტალების პლატინის,

როდიუმის და პალადიუმის საშუალებით, რომლებიც დატანილნი არიან სხვადასხვა სახეობის სარჩულზე - მოპოვებული პლატინის 50%-მდე (40 ტ.) იხარჯება კატალიზურ ნეიტრალიზატორებზე. სარჩულს აქვთ ძლიერ ფოროვანი სტრუქტურა და უმეტესად მზადდება მულიტისაგან (სინთეზური კერამიკა). აშშ-ში შექმნილი გამწმენდი სისტემა - ჟანგვა-აღდგენითი კონვერტორი - წარმოადგენს ძვირადღირებულ კონსტრუქციას (ასეთი სახის ნეიტრალიზატორის ფასი მერყეობს 500-800 აშშ დოლარის ფარგლებში), რომელიც შეიცავს 3-5 გ-მდე პლატინას და როდიუმს. სამუშაო პირობები საკმაოდ მკაცრია: კატალიზატორი მუშაობს არაეთილირებულ ბენზინზე და გახურების შედეგად ტემპერატურა 1173 K-ს აღწევს.

გადასამუშავებელი აირების გასაწმენდად გამოყენებული კატალიზატორის შემცველი კარკასი უჟანგავი ფოლადისგან არის დამზადებული, რომელზეც მიმაგრებულია შემავალი და გამავალი კონუსები. კარკასის მთლიანი შიდა მოცულობა შევსებულია კერამიკულ ფოროვანი მონოლითით, რომელიც დაფიქსირებულია ასევე უჟანგავი ფოლადისაგან დამზადებული რგოლებით ან ბადით. მონოლითის სტრუქტურა წარმოადგენს ჩვეულებრივ ფილტრს, მაგრამ მთლიანი შიდა და გარეშე ფოროვანი საფარი, რომელიც გაზებთან ურთიერთქმედებს, დაფარულია პლატინის, როდიუმის და პალადიუმის თხელი ფენით. მონოლითის ფორებს აქვს დიდი ზედაპირი, რომელიც ამ ძალიან ძვირად ღირებული მეტალების შენადნობითაა დაფარული. სწორედ ეს განსაზღვრავს კატალიზატორების მაღალ ფასს (ნახაზი N 26, N 27).



ნახაზი N26. კერამიკული მონოლითური კატალიზატორის სქემა

ამ სამი კომპონენტისაგან შემდგარ ნეიტრალიზატორში პლატინა და პალადიუმი წარმოადგენენ დამჟანგველებს, ამიტომ ისინი ხელს უწყობენ

დარჩენილ ნახშირწყალბადების (CH) წყლის ორთქლად და CO<sub>2</sub>-ად გარდაქმნას, ხოლო ნახშირბადის მონოოქსიდის (CO) ნახშირბადის დიოქსიდად დაჟანგვას (CO<sub>2</sub>). როდიუმი წარმოადგენს აღმდგენ კატალიზატორს და აზოტის ოქსიდებს (NO<sub>x</sub>) აღადგენს აზოტამდე. გადასამუშავებელი აირები, რომლებიც მონოლითის ფოროვან სტრუქტურაში გადის, ჯერ ხურდება, ხოლო შემდეგ იჟანგება. შედეგად CO-დან მიიღება CO<sub>2</sub>, ანუ არატოქსიკური ნახშირბადის დიოქსიდი, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> რამდენიმე ეტაპად გადადიან CO<sub>2</sub> და H<sub>2</sub>O; NO კი გარდაიქმნება N<sub>2</sub>-ად. საერთო ჯამში, გამომდინარე იქიდან, რომ კატალიზატორში არის მაღალი ტემპერატურა და დაფარულია ძვირადღირებული მეტალებით, წარიმართება რთული ქიმიური რეაქციები. აქედან გამომდინარე, კატალიზურად აქტიური სამი კომპონენტის საშუალებით ხდება გადამუშავებულ აირებში ძირითადი სამი საზიანო ნივთიერებების შემცველობის შემცირება.



**ნახაზი N27. კერამიკული მონოლითური კატალიზატორი**

კატალიზატორის მთავარ პოზიტიურ ეფექტს ის წარმოადგენს, რომ იგი ახდენს იმ სამი ძირითადი კომპონენტის CO, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, NO<sub>x</sub>, ნეიტრალიზაციას, რომლებიც გამონაბოლქვ აირებში უფრო მეტია, ვიდრე სხვა მავნე ნივთიერებები. ეს შედეგი მიიღება არამარტო პლატინის, როდიუმის და პალადიუმის გამოყენებით, არამედ მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ტემპერატურა, რომელიც მერყეობს 300-800°C-ის ფარგლებში. თუ ტემპერატურის შემცირება მოხდება 250°C-მდე, კატალიზატორის მეტალების არსებობის მიუხედავად, CO, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, NO<sub>x</sub> ნეიტრალიზაციის ქიმიური



რეაქციები არ წარმართება, ხოლო 900°C-ზე იწყება კატალიზატორის გაღობა და დაშლა.

ბოლო ათწლეულების განმავლობაში ფართოდ გავრცელდა გრანულირებული და მრავალკომპონენტური მონოლითური კატალიზური სისტემები, რომლებიც შეიცავს სხვადასხვა სახის სარჩულზე დაფენილ არაკეთილშობილ მეტალებს. აქტიურ კომპონენტებად გამოიყენება ერთი ან რამოდენიმე მეტალი: Mn, Fe, Cr, V, Mo, Co, Ce, Ni, W, Cu, Sn [87].

### IV.3. ცეოლითებზე დაფუძნებული გამწმენდი კატალიზატორები

სხვადასხვა სახის ადსორბენტებს და კატალიზატორებს შორის (ტიტანის ოქსიდი, ვანადიუმი, პლატინის ჯგუფის ინტერმეტალური ნაერთები და სხვა) აგრესიულ CO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, N<sub>x</sub>O<sub>y</sub>-ის მიმართ მაღალი აქტიურობით და სელექტიურობით ხასიათდებიან ასევე იაფი და არადეფიციტური სინთეზური (ZSM-5) და სილიციუმის მაღალი შემცველობის მქონე ბუნებრივი ცეოლითები (კლინოპთილოლითი, შაბაზიტი, მორდერნიტი). აღნიშნული ბუნებრივი მინერალები ხასიათდება მაღალი მჟავამედეგობით, თერმოსტაბილურობით, მექანიკური სიმტკიცით, მდგრადობით ცვლადი სითბური დატვირთვის მიმართ, ხელმისაწვდომობით და სიიაფით. ამიტომ ცეოლითურ კატალიზატორებზე CO-ს CO<sub>2</sub>-მდე დაჟანგვისა და აზოტის ოქსიდების მოლეკულურ აზოტამდე აღდგენის შესაძლებლობის გამოკვლევას სწორედ დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს.

ამჟამად მრავალ ქვეყანაში მიმდინარეობს გამოკვლევები ისეთი ახალი კატალიზური პროცესების შესამუშავებლად, რომელთა საშუალებითაც გამოფრქვეულ აირებში არსებული NO გარდაიქმნება მოლეკულურ აზოტად.

ცნობილია, რომ აზოტის მონოოქსიდი (NO) თერმოდინამიკურად არამდგრადია N<sub>2</sub> და O<sub>2</sub> მიმართ (ე.ი. რეაქციის  $2\text{NO} \rightarrow \text{N}_2 + \text{O}_2$ ,  $\Delta G < 0$ ), ამიტომ NO-ს მოცილების ყველაზე უფრო თვალსაჩინო მეთოდია მისი კატალიზური დაშლა. რეაქციაში ყველაზე უფრო ეფექტური კატალიზატორები აღმოჩნდა Cu-შემცველი ცეოლითები [88–92]. მაგრამ აღდგენილ მდგომარეობაში მათი მაღალი აქტიურობის მიუხედავად ჟანგბადის ნაკლებობისას (ე.ი. რეალური აირების გამოფრქვევისას) NO-ს კონვერსია მნიშვნელოვნად მცირდება. ამიტომ, კატალიზური აქტივობის აღდგენისათვის

აუცილებელია მომატებულ იქნას რეაქციის ტემპერატურა და/ან აირად ფაზაში შეყვანილ იქნას აღმდგენი. ასეთ აღმდგენად დიდი ხნის განმავლობაში გამოყენებულ იქნა ამიაკი. ამიაკით აზოტის ოქსიდების სელექტიური კატალიზური აღდგენა ჟანგბადის ნაკლებობის პირობებში მიმდინარეობს მთელ რიგ კატალიზატორებზე (პლატინა, ვანადიუმის ოქსიდი, მანგანუმი, ქრომი და სხვა მასალები). დღემდე NO-ს აღდგენის ძირითად საწარმოო საშუალებად ითვლება  $\text{NH}_3$ , V/Ti-ზე დაფუძნებული ოქსიდური კატალიზატორების გამოყენება. თუმცა, ამ მეთოდს აქვს მთელი რიგი ნაკლოვანებები - ამიაკის შედარებითი სიძვირე, ტოქსიკურობა და დიდი კოროზიული აქტიურობა. 80-იანი წლების ბოლოს გამოფრქვეული აირებიდან აზოტის ოქსიდის მოცილების ახალი მეთოდი იქნა შემოთავაზებული, რომელიც დამყარებულია NO-ს აღდგენაზე ნახშირწყლბადებით ან ჟანგბადშემცველი ორგანული ნერთების გამოყენებით მჟავე გარემოში. რეაქცია მიმდინარეობს მთელ რიგ კატალიზატორებზე რომლებიც შეიცავენ მეტალთა კატიონებს ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ga}^{3+}$ ,  $\text{In}^{3+}$ ,  $\text{Pt}^{2+}$ ,  $\text{Pd}^{2+}$  და სხვა), რომლებიც დატანილია  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -ზე და სავადასხვა სახის ცეოლითებზე [93–96].

საინტერესოა 90-იან წლებში შემუშავებული მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია მეთანისა და კობალტშემცველი ცეოლითების გამოყენებით აზოტის ოქსიდების აღდგენაზე ჭარბი ჟანგბადის არეში. ეფექტურები აღმოჩნდნენ კატალიზატორები, რომლებიც დაფუძნებულები არიან ისეთ სინთეზურ ცეოლითებზე როგორცაა ZSM-5, ფერიერიტი და მორდენიტი [97].

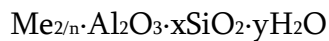
საქართველოში, კერძოდ თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში დიდი ხნის განმავლობაში ასევე იკვლევდნენ საქართველოს ბუნებრივ ცეოლითზე - კლინოპთილოლიტზე და მის მოდიფიცირებულ ფორმებზე აზოტის ოქსიდების აღდგენის რეაქციებს ნახშირბადის მონოოქსიდით, ამიაკით და მეთანით [98, 99].

იმისათვის, რომ გასაგები გახდეს ცეოლითური კატალიზატორების მოქმედების მექანიზმი, მომდევნო თავში მოკლედ განვიხილავთ მათ აგებულებას და ქიმიური შედგენილობას.

# თავი V. სინთეზური და ბუნებრივი ცეოლიტების ზოგადი მიმოხილვა

## V.1. ცეოლიტების სტრუქტურა

ბუნებრივი და სინთეზური ცეოლიტები წარმოადგენენ სამგანზომილებიანი კარკასული სტრუქტურის მქონე კრისტალურ ალუმოსილიკატებს. ძნელია ცეოლიტებს მიეცეს ზუსტი განმარტება. ბრეკის და სმიტის [100, 101] თანახმად, ისინი წარმოადგენენ “კარკასული სტრუქტურის მქონე ალუმოსილიკატებს, რომლებშიც არსებობს დიდი იონებითა და წყლის მოლეკულებით დაკავებული ღრუები, ამასთან ერთად და მეორეც ხასიათდება მაღალი ძვრადობით, რაც განაპირობებს იონური მიმოცვლისა და შექცევადი დეჰიდრატაციის შესაძლებლობას”. ცეოლიტების შედგენილობა შეიძლება გამოისახოს ფორმულით:



Me – n ვალენტობის მქონე კატიონია.

ტრადიციულად ცეოლიტების შესწავლისას გამოყოფენ სამ ქვესისტემას – კარკასი, კატიონი და წყალი [101].

კარკასული სტრუქტურა აგებულია  $\text{TO}_4$  ტეტრაედრებისგან, რომლებიც წვეროებით არიან შეერთებულნი ერთმანეთთან. ტეტრაედრული კატიონები (ე.წ. T – ატომები) მოთავსებულია ტეტრაედრების ცენტრში, ხოლო ჟანგბადის ატომები, რომლითაც ტეტრაედრები დაკავშირებულია ერთმანეთთან – მათ წვეროებში. T - ატომების მდებარეობა ბუნებრივ ცეოლიტებში უჭირავს უპირატესად Si და Al, თუმცა სინთეზურ ცეოლიტებში შესაძლებელია მათი ჩანაცვლება Ga, Ge, P, Fe, B, Ti, Zn, V [102–104].

სილიციუმის ატომების ალუმინის ატომებით იზომორფული ჩანაცვლება განაპირობებს კარკასის უარყოფით მუხტს. ლევენშტეინის წესის მიხედვით [100] ალუმოსილიკატურ კარკასში ალუმინის შემცველობა არ შეიძლება აღემატებოდეს სილიციუმის შემცველობას, რადგან ცეოლიტებში გვხვდება Si – O – Si და Si – O – Al, მაშინ როდესაც Al – O – Al ბმა არ გვხვდება. კარკასის ელექტრონული მუხტი  $\text{AlO}_4^-$  – ტეტრაედრების ხარჯზე არაკომპენსირებულია, რაც განაპირობებს კარკასის ღრუებში პოტენციალური ენერჯის მინიმუმის არსებობას დადებითად დამუხტული იონებისათვის. პოტენციალური ორმოების სიღრმე, ზომები და რაოდენობა

დამოკიდებულია Si და Al ატომების კრისტალურ მესერში განლაგების მოწესრიგებულობაზე, რაოდენობასა და კარკასის გეომეტრიაზე. ცეოლითებში წყლის მოლეკულების იონურ – დიპოლურ ურთიერთქმედებას კატიონებთან და კარკასთან შეუძლია მნიშვნელოვნად შეცვალოს პოტენციური ველი.

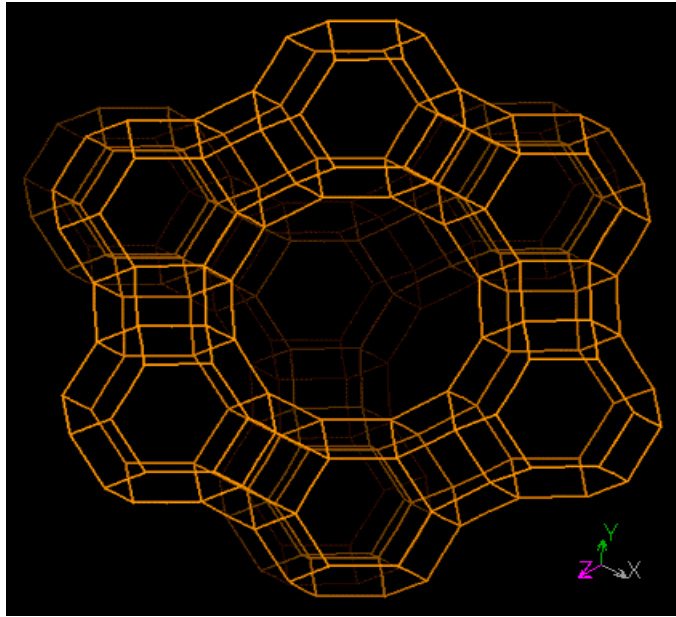
ცეოლითური კარკასის აღნაგობის თავისებურებას წარმოადგენს მასში რეგულარული არხებისა და ურთიერთგადამკვეთი ღრუების არსებობა. ამ არხებისა და ღრუების ზომები მოლეკულათა ზომების რიგისაა. მათი არსებობა განაპირობებს ძირითადად ცეოლითების ადსორბციულ და მოლეკულურ-საცრულ თვისებებს [103, 105].

წვეროებით დაკავშირებული ალუმოსილიკატური ტეტრაედრები მრავალკუთხედების სახით ქმნიან განსხვავებულ სტრუქტურულ ერთეულებს. ცეოლითების კლაციფიკაცია განპირობებულია კარკასში ისეთი სტრუქტურული ერთეულის არსებობით, როგორცაა ოთხ – და ექვსწევრიანი რგოლები, კუბები, მრავალწახნაგები. ასეთი ჯგუფების უფრო მსხვილ ბლოკებად შეერთებისას იგება ცეოლითის კარკასი.

Y-/ტიპის ცეოლითის ძირითადი სტრუქტურული ერთეულია კუბოოქტაედრები. ასეთ პოლიედრს ასევე ეწოდება სოდალიტური უჯრედი; მის ცენტრალურ ღრუს აქვს 0.65 ნმ დიამეტრი, რომლებშიც მოლეკულებს შეუძლიათ 0.22 ნმ დიამეტრის მქონე ჟანგბადატომის ექვსწევრიანი რგოლებიდან შედწევა.

## V.2. X და Y ცეოლითების (ფოჟაზიტები) აგებულება

წაკვეთილი კუბოოქტაედრები ერთმანეთს უკავშირდება ექვსწევრიანი ჟანგბადიანი რგოლებით (ნახაზი N28), სივრცით სტრუქტურას წარმოქმნის ოთხი ექვსწევრიანი ჟანგბადატომთა რგოლით დაკავშირებული კუბოოქტაედრები. ფოჟაზიტებს გააჩნიათ შედარებით ფართო შესასვლელი ფანჯრები, რომელთა ზომები შეადგენს 0.9-1.0 ნმ და გამოირჩევა შედარებით დიდი ადსორბციული ტევადობით. დიდი ღრუების შესასვლელები აგებულია თორმეტწევრიანი ჟანგბადატომთა ფანჯრებით. ყოველი დიდი ღრუ უერთდება მეზობელ ღრუებს ოთხი თორმეტწევრიანი ჟანგბადის ხვრელით. მცირე ღრუები უკავშირდება დიდ ღრუებს ექვსწევრიანი ჟანგბადიანი ფანჯრებით. ფოჟაზიტის ელემენტარული უჯრედი შეიცავს რვა კუბოოქტაედრს [100].



**ნახაზი N28. კუბოოქტაედრების შეერთების სახე ფოჟაზიტის ტიპის ცეოლითში**

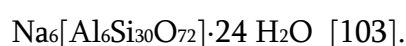
SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> თანაფარდობა (x კოეფიციენტი ცეოლითების ზოგად ფორმულაში Na<sub>2</sub>O·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·xSiO<sub>2</sub>) Y ტიპის ცეოლითში აღწევს 5–ს, x კოეფიციენტზე არის დამოკიდებული მაკომპენსირებული კატიონების რაოდენობა. ელემენტარულ უჯრედში ერთვალენტიანი კატიონის რიცხვი ალუმინის რიცხვის ტოლია.

**V.3. ბუნებრივი ცეოლითები**

სინთეზური ცეოლითებისაგან განსხვავებით, ბუნებრივი ცეოლითების გამოყენება ბევრად არის დამოკიდებული ცეოლითშემცველი ქანების შედგენილობასა და მარაგზე. ბუნებრივი ცეოლითებიდან საქართველოში ყველაზე გავრცელებულია კლინოპთილოლითი. ძირითადი მინერალის – კლინოპთილოლითის მაღალი შემცველობა (80-85%) მისი წინასწარი გამდიდრების და ძვირადღირებული დამუშავების გარეშე გამოყენების საშუალებას იძლევა.

კლინოპთილოლითის მდგრადობაში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს კალიუმის იონები, რომლებიც ლოკალიზებულია 8-წევრიანი რგოლებით შექმნილი არხების ცენტრში და კოორდინირებულია ამ რგოლის ჟანგბადის ექვსი ატომითა და წყლის სამი მოლეკულით.

კლინოპთილოლითის (CL) ელემენტარული უჯრედის ტიპური შემადგენლობა გამოისახება ფორმულით:

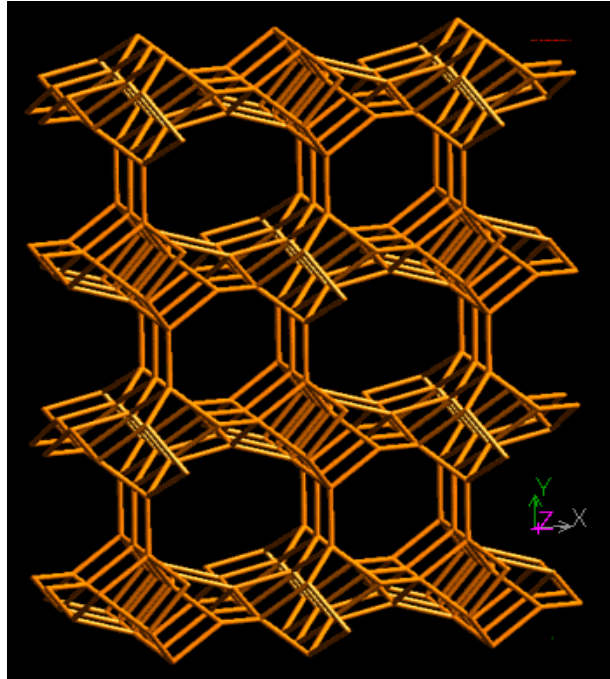


ქიმიური შემადგენლობა ხასიათდება Si/Al მაღალი შეფარდებით – 4.35 – 5.25. სილიციუმის დაბალი შემცველობის წარმომადგენლები გამდიდრებულია კალციუმით, ხშირად შეიცავენ ბარიუმს და სტრონციუმს, ხოლო სილიციუმის მაღალი შემცველობისა – ნატრიუმს და კალციუმს. წყლის შემცველობა კლინოპთილოლითში იცვლება 17–24 მოლეკულა ელემენტარულ უჯრედზე. კალციუმით მდიდარი ნიმუშები შეიცავენ მეტი რაოდენობით წყალს, კალციუმის შემცველი – ნაკლებს.

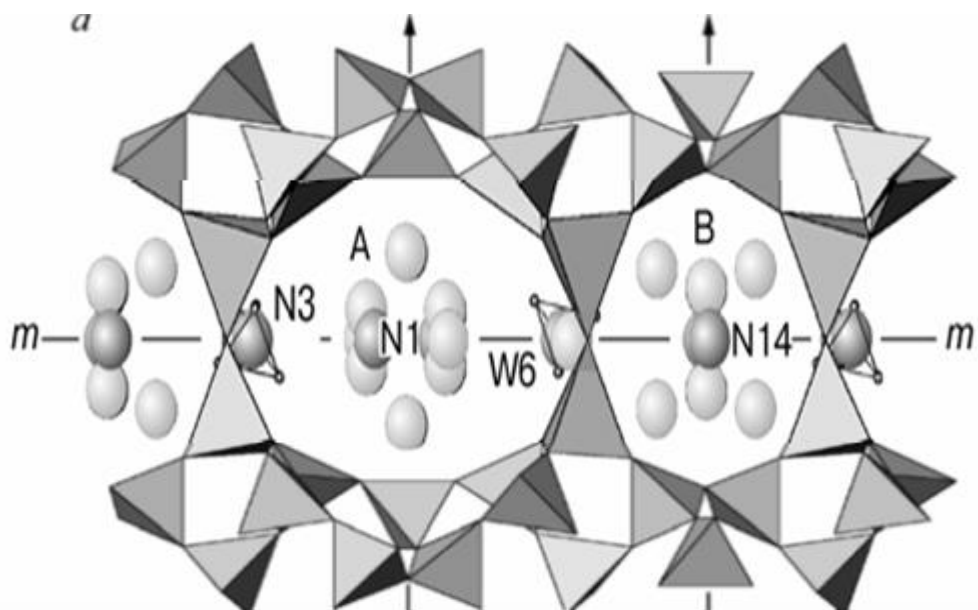
კლინოპთილოლითის მესერი შედგება ფირფიტებისაგან [106], რომლებიც ერთმანეთს უერთდება ჟანგბადის ატომებით. ფირფიტების სისქე 0.9 ნმ-ია, ხოლო მათ მიერ წარმოქმნილი მესერი შეიცავს სამ საკმაოდ ღია არხს – A, B და C (ნახაზი N 29). პირველი ორი C ღერძის პარალელურია და შედგება ათწევრიანი (A არხი) და რვაწევრიანი რგოლებისაგან (B არხი). ისინი გადაიკვეთება a ღერძის პარალელური მესამე რვაწევრიანი C არხით. მისი სტრუქტურის მთავარ არხს შეადგენს 10-წევრიანი არხი 0.725 ნმ x 0.440 ნმ ზომების ელიფსური შესასვლელი ფორებით [107]. არხის ზომებია 0.40 ნმ x 0.395 ნმ. რვაწევრიანი არხები განლაგებულია a ღერძის პარალელურად, აქვს 0.54 ნმ x 0.39 ნმ და 0.520 ნმ x 0.390 ნმ დიამეტრი. დადგენილია, რომ სხვადასხვა საზადოს კლინოპთილოლითის ელემენტარული უჯრედის პარამეტრები რამდენადმე განსხვავებულია. მათი მერყეობა დაკავშირებულია სტრუქტურის კატიონურ (Ca Mg→K) და ანიონურ (Si→Al) ნაწილში იზომორფული ჩანაცვლებით [108].

რენტგენოგრაფიული შესწავლის შედეგად დადგენილია, რომ სხვადასხვა საზადოს თავისებურება ნაკლებ გავლენას ახდენს დიფრაქციული მაქსიმუმების მდებარეობაზე, ვიდრე მათ ინტენსივობაზე. რენტგენოსტრუქტურული მეთოდით განსაზღვრულია კატიონების ლოკალიზაციის 4 ტიპის ადგილი კლინოპთილოლითში [109]. მათი პოზიციები ნაჩვენებია N 30, 31 ნახაზებზე.  $M_1$  და  $M_2$  ადგილებში კატიონები კოორდინირებულია წყლის მოლეკულებით და შესაბამისად კარკასის 3-4 ჟანგბადის ატომით. დეჰიდრატაციის შემდეგ ამ უბნების კატიონები მიგრირებენ  $M_3$  უბნებში და მანძილი კატიონებსა და ჟანგბადს შორის უფრო ნაკლები ხდება. ასეთი უბნები ძირითადად დაკავებული აქვს ნატრიუმს.  $M_1$  – ეს ერთადერთი კატიონური უბანია აღმოჩენილი მთავარ 10-წევრიან A არხში დეჰიდრატაციის შემდეგ,  $M_3$  კატიონები კოორდინირებულია კარკასის ექვსი ჟანგბადატომით და წყლის ორი მოლეკულით C

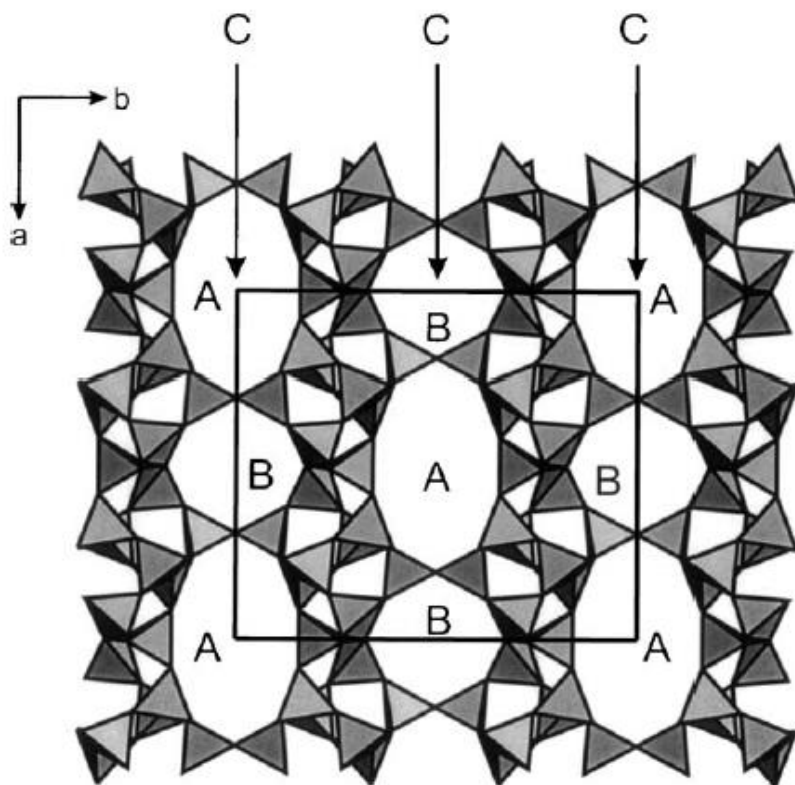
არხის ცენტრში. ეს უბანი ჩვეულებრივ უკავია კალიუმს.  $M_4$  კატიონები არ არის დაკავშირებული კარკასის ჟანგბადთან, მაგრამ მთლიანად კოორდინირებულია წყლის მოლეკულებით. ოთხივე პოზიცია ძალიან ახლოს არის განლაგებული ერთმანეთთან და შეუძლებელია დაკავებული იყოს ერთდროულად.



ნახაზი N29. კლინოპთილოლითის აგებულება



ნახაზი N30. კატიონების ლოკალიზაციის პოზიციების სქემა CL -ის A და B არხებში



ნახაზი N31. CL ტეტრაედრული მოდელი, რომელზეც ასახულია 10-წევრიანი A და 8-წევრიანი B არხები, დაკავშირებული 8-წევრიანი C არხებით

#### V.4. გარდამავალი ლითონის შემცველი ცეოლითების კატალიზური აქტიურობა ჟანგვა-აღდგენით რეაქციებში

ის დიდი ინტერესი, რომელსაც იწვევენ ცეოლითები, კატალიზის თეორიისა და პრაქტიკის თვალსაზრისით განპირობებულია მათი სტრუქტურის მთელი რიგი თვისებებით: მოლეკულურ-საცრული სელექტიურობით, კატალიზური გარდაქმნის აქტიური ცენტრების მაღალი კონცენტრაციით, იონური მიმოცვლის საშუალებით ცეოლითებში შეყვანილი ერთ, ორ და სამვალენტიანი დადებითი მუხტის მატარებელი კატიონების ძლიერი დონორულ-აქცეპტორული ურთიერთქმედების ცენტრებით, ზედაპირის მჟავური თვისებებით, მაღალი თერმო და მჟავა მედეგობით [111]. ეს განპირობებს ცეოლითების საფუძველზე მონოფუნქციონალური მოქმედების აქტიური კატალიზატორების შექმნას [112]. მაჰიდრირებელი კომპონენტების შეყვანა დეკატიონირებულ ცეოლითებში საშუალებას იძლევა შეიქმნას პოლიფუნქციონალური მოქმედების კატალიზატორები.



ცეოლითების კარგი იონმიმოცვლითი უნარის გამო შესაძლებელია მათ შემადგენლობაში შეყვანილ იქნეს სხვადასხვა ლითონის კატიონი, მათ შორის გარდამავალ ლითონთა კატიონები, რომლებიც ხასითდება მაღალი კატალიზური აქტიურობით ჟანგვა-აღდგენითი ტიპის რეაქციებში – ჰიდრირება, დეჰიდრირება, ორგანულ და არაორგანულ ნაერთთა დაჟანგვა. ცეოლითური კატალიზის ეს მიმართულება ინტენსიურად ვითარდება. ცეოლითებში გარდამავალ ლითონთა კატიონების შეყვანისას ხდება ადსორბირებული ნივთიერების მოლეკულის სპეციფიკური ურთიერთქმედება იმ კატიონებთან, რომლებსაც თავისი d-ელექტრონების ხარჯზე შეუძლიათ წარმოქმნან კოორდინაციული ბმა ადსორბირებულ მოლეკულებთან და ამრიგად გაააქტიურონ ისინი. [113] ნაშრომში ნაჩვენებია, რომ ასეთი ცეოლითები მოქმედებენ მთელი რიგი ნივთიერებების დაჟანგვის რეაქციების კატალიზატორებად.

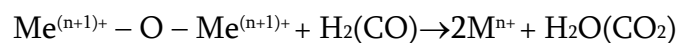
მიუხედავად იმისა, რომ დაჟანგვის რეაქციებში გარდამავალ ლითონთა კატიონების შემცველი ცეოლითების გამოყენების შესაძლებლობა პირველად დადგენილ იქნა 1961 წელს [114], ამ მიმართულებით საფუძვლიანი კვლევა გაცილებით გვიან დაიწყო [115].

ცეოლითური კატალიზატორების თავისებურებანი დაჟანგვის რეაქციაში გამოწვეულია, ერთის მხრივ, ცეოლითურ მატრიცაში ფიქსირებული გარდამავალი მეტალების კატიონების მდგომარეობით; მეორეს მხრივ, ცეოლითები არ წარმოადგენენ ინერტულ მატრიცას, შესაბამისად, მნიშვნელოვანი წვლილი შეაქვთ შუალედური პროდუქტების წარმოქმნასა და გარდაქმნაში, ასევე საწყისი ნივთიერებებისა და რეაქციის პროდუქტების დიფუზიაში.

იონური მიმოცვლის პირობებისაგან დამოკიდებულებით, გარდამავალ ელემენტთა კატიონები შესაძლოა ფიქსირებული იყოს ცეოლითებში შემდეგი ძირითადი მდგომარეობით: 1) იზოლირებულად, ცეოლითური კარკასის განსაზღვრულ ადგილებში ან სუსტი ურთიერთქმედების კატიონური წყვილის შემადგენლობაში; 2) კატიონური წყვილის ან კლასტერების შემადგენლობაში ძლიერი მაგნიტური ურთიერთქმედებით  $O^{2-}$  ან  $OH^-$  ჯგუფების საშუალებით; 3) მაღალდისპერსიული ჰიდროქსიდების შემადგენლობაში, ხოლო თერმული დამუშავების შემდეგ - ცეოლითური ღრუების შიგნით ან გარეთ განლაგებული ლითონის ოქსიდურ ნაერთში.

შრომებში [116, 117] დადგენილია, რომ ცეოლიტების კატალიზური თვისებების განსხვავება დამოკიდებულია მათში ფიქსირებული გარდამავალ ლითონთა კატიონების მდგომარეობის თავისებურებებზე.

CO-ს დაჟანგვის რეაქციაში  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Co^{2+}$  შემცველი ცეოლიტების კატალიზატორის აქტიურობის შედარებამ უჩვენა, რომ უმცირესი აქტიურობით ხასიათდება ნიკელის კატიონების შემცველი ისეთი ნიმუშები, რომლებშიც იონური მიმოცვლა მიმდინარეობდა  $4.5 < pH < 9.9$  ინტერვალში, ე.ი. პირობებში, როცა ჰიდროლიზებული კატიონების კონცენტრაცია უმნიშვნელოა. აქტიურობის უდიდესი მნიშვნელობა მიღებულია ისეთ pH -ზე დამუშავებული ცეოლიტებისათვის, რომელიც განაპირობებს იონმიმოცვლითი მარილის ჰიდროლიზს. სპილენძის კატიონების უმცირესი აქტიურობა მიღებულია ცეოლიტებისათვის, რომლებიც იძლევიან  $Cu^{2+}$  იზოლირებული კატიონებით განპირობებულ ეპრ-ის უდიდეს სიგნალს. ამასთანავე, სიგნალის ინტენსივობა შეესაბამება ქიმიური ანალიზით განსაზღვრულ სპილენძის ჯამურ შემცველობას. ცეოლიტებში, რომლებშიც მაღალი აქტიურობით ხასიათდებიან, [118-122] შრომების თანახმად, დაჟანგვის კატალიზატორების აქტიურ ცენტრებს ცეოლიტებში წარმოადგენენ არაკარკასული ჟანგბადით კოორდინირებული გარდამავალ ლითონთა ასოციატები. იზოლირებული იონების ადსორბციული და კატალიზური თვისებები ცეოლიტებში მნიშვნელოვნად განსხვავდება იმ წყვილების თვისებებისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია ჟანგბადის ატომით.  $\gamma$ -რეზონანსული სპექტროსკოპიით ჩატარებული გამოკვლევები ასევე მიუთითებენ Me-O-Me ტიპის კატიონური წყვილების წარმოქმნაზე [123, 124]. [125, 126] ავტორების თანახმად CO და  $H_2$ -ის დაჟანგვა აქტიურ ცენტრებზე მიმდინარეობს დარტყმითი მექანიზმით გარდამავალი ლითონის  $M^{n+}$  იონის ჟანგბადით შემდგომი დაჟანგვისას:



ექვგარეშეა, რომ განსაზღვრულ კრისტალოგრაფიულ ცენტრებში იზოლირებული კატიონების სახით არსებული გარდამავალი ლითონის შემცველი ცეოლიტები არ შეიძლება იყოს მოლეკულური ჟანგბადით დაჟანგვის ეფექტური კატალიზატორები.

ეთილენის დაჟანგვის რეაქციაში CuY ცეოლიტზე [127] ნატრიუმის ჩანაცვლების ხარისხის 10-დან 70%-მდე გაზრდით ეთილენის გარდაქმნის ხარისხი არასწორხაზოვნად იზრდება, ხოლო აქტივაციის ენერგია მცირდება. ავტორთა

ვარაუდით, მცირე კონცენტრაციების დროს  $\text{Cu}^{2+}$  კატიონები ფიქსირდება ნაკლებ მისაწვდომ S1 ცენტრებში, სადაც მიიღწევა მათი მაღალი კოორდინაციული ნაჯერობა. ცეოლითში ნატრიუმის 70%-იანი ჩანაცვლებისას სპილენძზე აღმოჩენილ იქნა მოძრავი ჟანგბადი, ხოლო ჟანგბადის ქემოსორბციის სიდიდე შეესაბამება თანაფარდობას  $\text{O}/\text{Cu}=1/2$ . ავტორები ასკვნიან, რომ სპილენძის მაღალი კონცენტრაციის შემთხვევაში შესაძლებელია ხიდური სტრუქტურების არსებობა, ხოლო დაჟანგვის რეაქციები შეიძლება მიმდინარეობდეს არაკარკასული ჟანგბადით დაკავშირებულ კატიონურ წყვილებზეც ( $\text{Me}^{2+} - \text{O} - \text{Me}^{2+}$ ).

Y ტიპის მოდიფიცირებულ ცეოლითზე მიღებულია კატიონთა აქტიურობის შემდეგი რიგი [116]: წყალბადის დაჟანგვის რეაქციაში -  $\text{Ag} > \text{Cu} > \text{Fe} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Mn}$ ; ეთილენის დაჟანგვის რეაქციაში -  $\text{Cu} > \text{Cr} > \text{Ag} > \text{Fe} > \text{Co} > \text{Ni} > \text{Mn}$ . ავტორთა [128] აზრით, კატალიზური დაჟანგვა მიმდინარეობს რადიკალური მექანიზმით. CO-ს დაჟანგვის რეაქციაში Y ტიპის ცეოლითებზე დადგენილ იქნა აქტიურობის შემდეგი მწკრივი [129]:  $\text{Co} > \text{Ag} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Fe} > \text{Mn}$ , რომელიც არ ემთხვევა იმავე რეაქციისათვის ოქსიდების აქტიურობის მწკრივს:  $\text{MnO}_2 > \text{Co}_3\text{O}_4 > \text{MnO} > \text{CuO} > \text{NiO} > \text{Co}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{Cr}_2\text{O}_3$ . მოდიფიცირებული ცეოლითების კატალიზურ აქტიურობას ავტორი უკავშირებს ცეოლითურ კარკასში ფიქსირებული კატიონების კატალიზურ მოქმედებას.

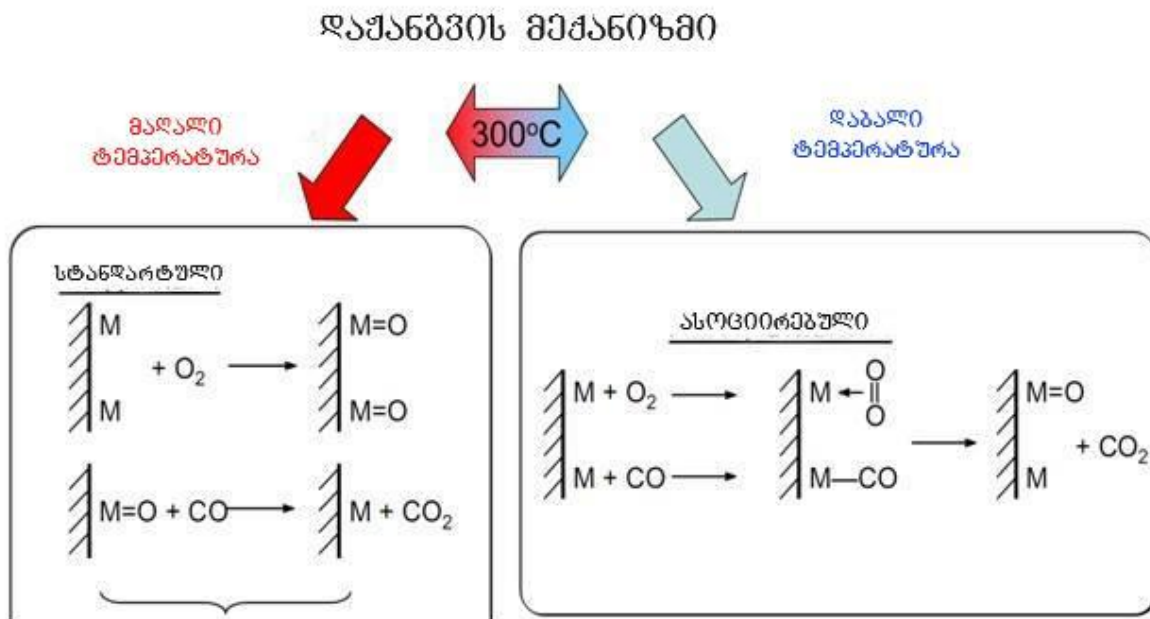
## V.5. NO და CO ერთობლივი ჟანგვა-აღდგენითი კატალიზური გარდაქმნა

როგორც ზევით აღვნიშნეთ, ცნობილია CO-გან გაწმენდის რამდენიმე ხერხი: CO-ს ადსორბცია თხევადი და მყარი მშთანთქმელებით, CO-ს მაღალტემპერატურული დაჟანგვა  $\text{CO}_2$ -მდე და CO-ს კატალიზური დაჟანგვა. სორბენტების მცირე შთანთქმითი უნარის გამო სორბციული პროცესები არაპერსპექტიულია გაზის დიდი რაოდენობის გასაწმენდად. CO-ს დაწვა  $\text{CO}_2$ -მდე ეფექტურია მხოლოდ მაღალი კონცენტრაციების დროს. CO-ს კატალიზური დაჟანგვა - გაზების გაწმენდის ყველაზე რეალური და პერსპექტიული მეთოდია, რომელიც იძლევა საშუალებას არა მარტო მოვაცილოთ ტოქსიკური CO, არამედ მივიღოთ წყალბადის ექვივალენტური რაოდენობა წყლის ორთქლით მისი შემდგომი კონვერსიისათვის.

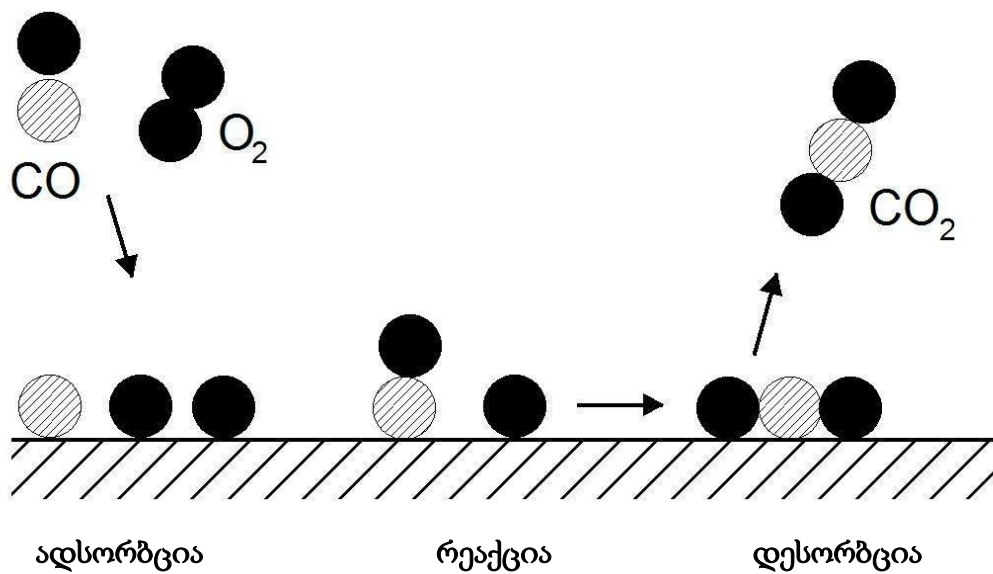
ზოგადი სახით ავტოტრანსპორტის გამონაბოლქვი აირების კატალიზური გაწმენდის ქიმიზმი შეიძლება გამოისახოს შემდეგი რეაქციებით:

- $\text{CO} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$  (I)
- $\text{C}_x\text{H}_y + (x + y/4) \text{O}_2 \rightarrow x\text{CO}_2 + y/2 \text{H}_2\text{O}$  (II)
- $\text{CO} + \text{NO} \rightarrow 1/2\text{N}_2 + \text{CO}_2$  (III) ან
- $\text{CO} + 2\text{NO} = \text{CO}_2 + \text{N}_2\text{O}$  (IV)

ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით CO-ს დაჟანგვის მექანიზმს შეიძლება ჰქონდეს ასოცირებული ხასიათი დაბალ ტემპერატურაზე, 573 K ზევით - სტადიური (ნახაზი N32). [130] ავტორების მოსაზრებით, რეაქციის სქემა იყოფა ოთხ ელემენტარულ საფეხურად: მორეაგირე CO-ს და O<sub>2</sub>-ს მოლეკულები ადსორბირდებიან ზედაპირზე (საფეხური 1 - ადსორბცია); შემდეგ დისოცირდება O<sub>2</sub> (საფეხური 2 - დისოციაცია); შემდეგ ჟანგბადი რეკომბინირებს CO-თან CO<sub>2</sub>-ს წარმოქმნით (საფეხური 3 - რეკომბინაცია); ბოლოს კი CO<sub>2</sub>-ს მოლეკულები დესორბირდებიან და ანთავისუფლებენ ზედაპირს (საფეხური 4 - დესორბცია) (ნახაზი N33).



**ნახაზი N32. კატალიზატორის ზედაპირზე მიმდინარე დაჟანგვის რეაქციის მექანიზმი**

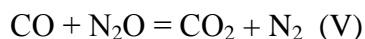


**ნახაზი N33. CO-ს დაჟანგვის სქემატური გამოსახვა**

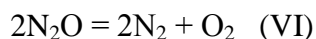
მაგრამ აზოტის ოქსიდების აღდგენა  $N_2$ -ად რთულ ამოცანას წარმოადგენს, ვინაიდან აირადი გამონაბოლქვების  $NO_x$  -გან კატალიზური გაწმენდის არსებული მეთოდები დაფუძნებულია  $NO_x$ -ის აღდგენაზე ისეთი ნაერთებით, როგორცაა ამიაკი, ნახშირწყალბადები, ნახშირბადის მონოოქსიდი და სხვა. ამ პროცესში მისაღებია მხოლოდ კატალიზატორების გამოყენება, რომლებიც აქტიურობას ინარჩუნებენ ჟანგბადის თანაობისას. ეს უკანასკნელი CO-თან ურთიერთქმედებაში  $NO_x$ -ის კონკურენცია. ამიტომ ჟანგბადის დიდი სიჭარბე მკვეთრად ამცირებს  $NO_x$ -ის კონვერსიას [131]. ამასთან დადგენილია, რომ ზოგიერთ კატალიზატორზე ჟანგბადის კონცენტრაციის გაზრდისას იზრდება ნახშირბად (I) ოქსიდის კონცენტრაცია [132-135].

ამიტომ სხვადასხვა აღმდგენელებთან და ჟანგბადთან  $NO_x$ -ის ურთიერთქმედების შესწავლა სხვადასხვა კატალიზატორების თანაობისას წარმოადგენს - სამკომპონენტო (CO, NO და ნახშირწყალბადები) გაწმენდის კვლევის აქტუალურ მიმართულებას. ამ კომპონენტებისაგან გაზების გაწმენდის ყველაზე პერსპექტიურ ხერხს წარმოადგენს კატალიზური ურთიერთქმედება, რომელსაც საფუძვლად უდევს ნახშირბადის მონოოქსიდის დაჟანგვის და აზოტის მონოოქსიდის აღდგენის კარგად ცნობილი რეაქციები არატოქსიკური  $N_2$  და  $CO_2$  წარმოქმნით ზემოთ მოყვანილი რეაქციების მიხედვით.

განსაკუთრებით საინტერესოა (III) და/ან (IV) რეაქციების განხორციელება, რომლის დახმარებით ხდება ორივე ტოქსიკური ნივთიერების ერთდროული გაუვნებელყოფა. ამასთან რეაქცია (III) თერმოდინამიკურად უფრო ხელსაყრელია ( $\Delta G = -609$  კჯ/მოლ) გაზების რეალურ ნარევეში გამონაბოლქვის ტემპერეატურაზე. მაგრამ ითვლება, რომ (IV) რეაქციაში წარმოქმნილი აზოტ (I) ოქსიდი შლის ატმოსფეროს ოზონის შრეს [136]. ამასთან დაკავშირებით განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მე- (V) რეაქციას, სადაც  $N_2O$  გადადის აღდგენილ ფორმაში CO-ს დახმარებით:



და აზოტ (I) ოქსიდის მოლეკულურ აზოტსა და ჟანგბადზე დაშლის რეაქციაში:



მიუხედავად იმისა, რომ კატალიზური გაწმენდის მეთოდი დიდი ხანია საკმაოდ ფართოდ გამოიყენება, ჰეტეროგენური კატალიზის მექანიზმი და კინეტიკა მცირედაა შესწავლილი, ამიტომ CO და NO-ს კატალიზური ურთიერთქმედების რეაქცია წარმოადგენს აგრეთვე დიდ თეორიულ ინტერესს ჟანგვითი ჰეტეროგენური კატალიზის ზოგიერთი საკითხების შესწავლაში, კერძოდ, კატალიზური ცენტრების ცალსახა განსაზღვრა, რეაქციის მიმდინარეობის მექანიზმის და კინეტიკური კანონზომიერებების დადგენა, ჟანგბადის როლის გამოვლენა.

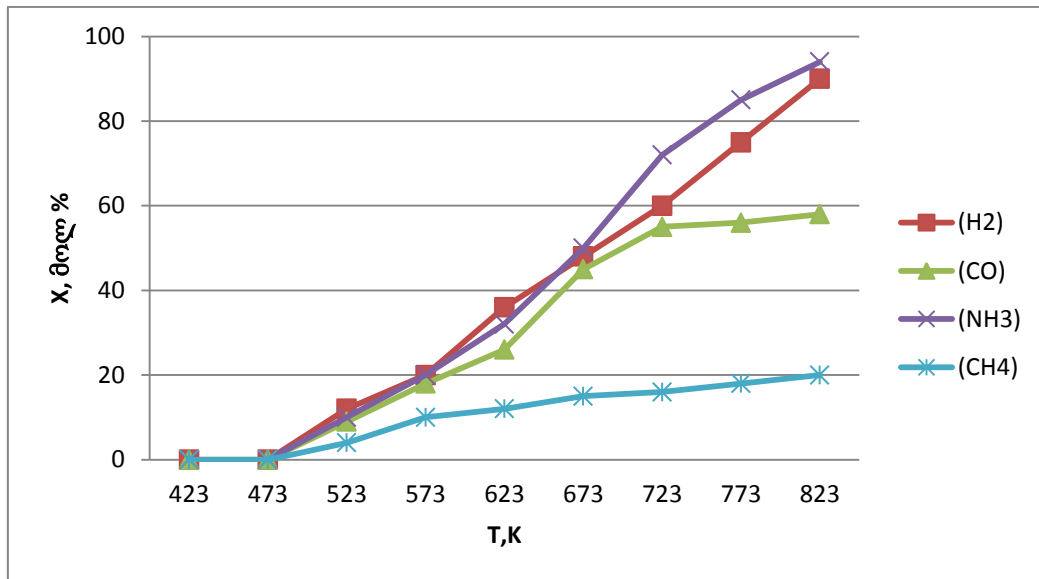
## თავი VI. კატალიზური ექსპერიმენტების შედეგები და განსჯა

ვინაიდან გარემოს დაცვის პრობლემები არ უნდა მოიცავდეს მხოლოდ პასიურ ზედამხედველობას, არამედ დროულად ქმედითი ზომების მიღებასაც გარემოს დაცვის ან გასუფთავების სახით. ამ მოსაზრებიდან გამომდინარე, წარმოდგენილი სამუშაოს მეორე ნაწილში ჩვენ მიზნად დავისახეთ: შევიმუშაოთ NO-ს სხვადასხვა აღმდგენლებით -  $H_2$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$ -ით და განსაკუთრებით CO-თი სელექტიური კატალიზური აღდგენის (სკა) რეაქციის ეფექტური კატალიზატორების შერჩევის და მომზადების ოპტიმალური პირობები, შევისწავლოთ ამ სისტემების კატალიზური აქტიურობა და განვიხილოთ მათი გამოყენების შესაძლებლობა გამონახობლების გასაწმენდად ყველაზე გავრცელებული აირადი ტოქსინებისგან - აზოტის და ნახშირბადის ოქსიდებისგან. ეს კატალიზატორები მომზადდა საქართველოს ბუნებრივი ცეოლითების - ფართოდ გავრცელებული, იაფი და ადვილად ხელმისაწვდომი კლინოპთილოლითის (CL) და მორდენიტის (MOR) გარდამავალ ლითონთა კატიონებით მოდიფიცირების გზით.

### VI.1. NO -ს კატალიზური გარდაქმნა სხვადასხვა აღმდგენებით

მიღებული და ლიტერატურული [137, 138] მონაცემებიდან გამომდინარე დადგინდა, რომ CL-ს და ნაკლებად MOR-ს საწყისი, წყალბადური და კატიონშემცველი ფორმები საკმაოდ აქტიურია შემდეგ რეაქციებში:  $NO + CO$  (1);  $NO + NH_3$  (2);  $NO + H_2$  (3);  $NO + CH_4$  (4). დაბალტემპერატურულ უბანში ისინი მკვეთრად განსხვავდებიან თავიანთი აღდგენითი უნარით (ნახაზი N34). 573K -ზე ზევით გარკვეულ აქტიურობას იჩენს მორდენიტის საწყისი ფორმაც. ამავე დროს აღსანიშნავია, რომ მაღალტემპერატურულ უბანში CL-ს და MOR-ს საწყის ფორმებზე უფრო აქტიურად მიმდინარეობს NO-ს სკა ამიაკით და წყლბადით, ვიდრე CO-თი. განსხვავებული შედეგები მიღებულ იქნა სპილენძ-შემცველი ნიმუშებისათვის (იხილეთ ქვევით). ჟანგვით გარდაქმნებში საწყისი ცეოლითების აქტიურობა განპირობებულია მის სტრუქტურაში პოლივალენტურ გარდამავალ ლითონთა მინარევების არსებობით კატიონური ან ოქსიდური ფორმით. ეს შეიძლება იყოს რკინა, ქრომი, ტიტანი, მანგანუმი, რომლებიც მჟავური დამუშავებით გამოდიან ცეოლითის არხებიდან და შესაბამისად, ეცემა დეკატიონირებული ნიმუშების აქტიურობა ჟანგვა-აღდგენით

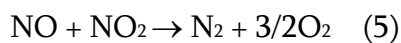
რეაქციებში. ვინაიდან საწყისი ფორმები უფრო აქტიურია აზოტის ოქსიდების ამიაკით აღდგენის რეაქციაში, ჩვენ მივედით იმ მოსაზრებამდე, რომ რკინის მცირე შემცველობა განაპირობებს მე-(2) რეაქციის მიმდინარეობას. ეს ჰიპოთეზა დასტურდება [139] მონაცემებით იმის შესახებ, რომ რკინის მხოლოდ მცირე (0.1-0.3 წონ.%) შემცველობა იწვევს ცეოლითური კატალიზატორის აქტიურობის მნიშვნელოვან გაზრდას. რკინის რაოდენობის შემდგომი ზრდა გავლენას არ ახდენს ამ რეაქციის მიმართ აქტიურობის შეცვლაზე, რაც აგრეთვე დასტურდება მიღებული მონაცემებით.



ნახაზი N34. NO-ს გარდაქმნის ხარისხის ტემპერატურული დამოკიდებულება საწყის CL-ზე H<sub>2</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>-ით აღდგენის რეაქციებში

## VI. 2. პოლივალენტური კატიონების ზეგავლენა NO-ს H<sub>2</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>-ით კატალიზურ აღდგენაზე

შედეგებმა გვიჩვენა, რომ კატიონური Cu-ფორმები აქტიურები არიან აგრეთვე აზოტის ოქსიდების პირდაპირ დაშლაში შემდეგი რეაქციის შესაბამისად:

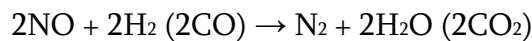
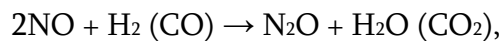


(ჯამში NO-ს შემცველობა აზოტის ოქსიდებში წარმოადგენს 90%-ს).

CuCL-ზე NO-ს სკა CO-თი მიმდინარეობს სხვა რეაქციებთან შედარებით ყველაზე დაბალ (100-120 K ნაკლები) ტემპერატურულ უბანში (ნახაზი N 35). ასე მაგალითად, 423K-ზე გარდაქმნის ხარისხი (1) რეაქციაში შეადგენს 41.5%, 723K-ზე კი აღწევს ≈100%. სხვა რეაგენტებით (H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>) NO-ს სკა-ს საწყისი ტემპერატურები პრაქტიკულად ემთხვევა ერთმანეთს, ისევე როგორც გარდაქმნის ხარისხი (14-20%) და ტემპერატურის



გაზრდისას CO, H<sub>2</sub> და NH<sub>3</sub> (გარდა მეთანისა) ხასიათდებიან დაახლოებით ერთნაირი აღდგენითი უნარით. დაბალი ტემპერატურების უბანში (473 K-მდე) CuCL-ზე უპირატესად წარმოიქმნება N<sub>2</sub>O, ტემპერატურის გაზრდისას მოლეკულური აზოტი წარმოიქმნება ამ შუალედური ჰემიოქსიდის დაშლისას. უფრო მაღალ ტემპერატურებზე NO აღდგება უშუალოდ N<sub>2</sub>-მდე და გარდაქმნის ხარისხი 573 -593 K აღწევს 90%. N<sub>2</sub>O + H<sub>2</sub> რეაქციის შესწავლამ იმავე პირობებში CuCL-ზე აჩვენა, რომ აზოტის ჰემიოქსიდი არ იძლევა აზოტის ისეთივე რაოდენობას, როგორც სარეაქციო ნარევი NO + H<sub>2</sub> [140]. ცნობილია, რომ გარდამავალ ლითონთა ოქსიდებზე, ასევე როგორც NO -ს წყალბადით აღდგენისას 573 K-მდე რეაქცია NO+CO მიმდინარეობს N<sub>2</sub>O-ს შუალედური წარმოქმნით [141] დაბალი ტემპერატურების უბანში რეაქციების შესაძლებელი სქემებია:

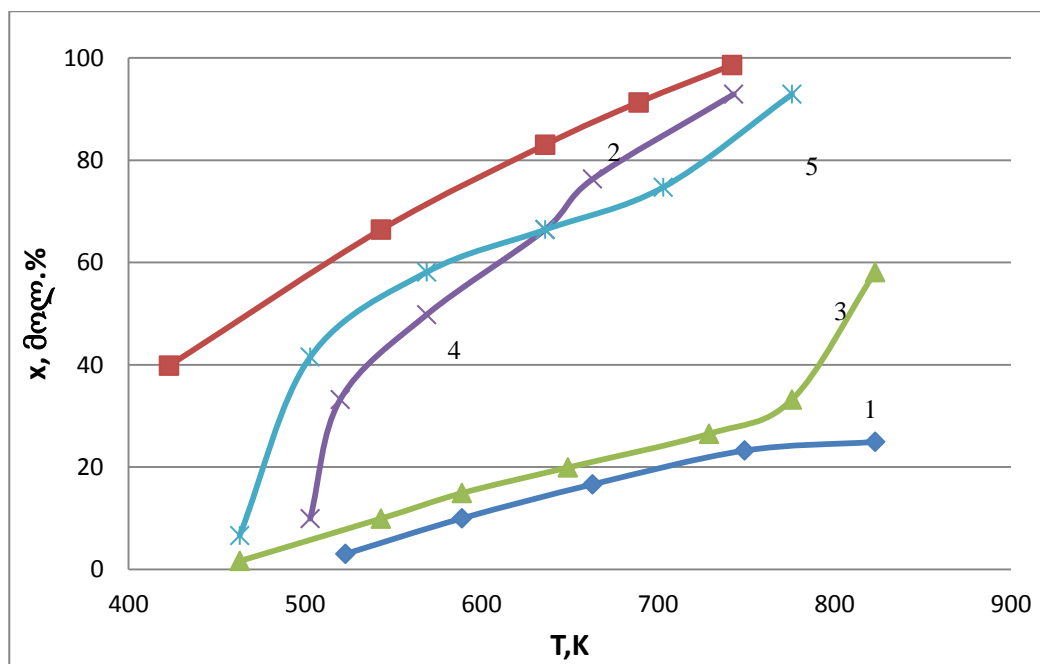


N<sub>2</sub>O-ს წილის შემცირება რეაქციის პროდუქტებში 623 K-ზე ხდება აზოტ (I) ოქსიდის დაშლის გამო  $N_2O \rightarrow N_2 + O_2$  რეაქციის შესაბამისად [142]. ჩვენს მიერ მიღებული შედეგები ადასტურებენ აგრეთვე სპილენძ- და სპილენძ-ქრომ-შემცველ კატალიზატორებისთვის მიღებულ შედეგებს [143] იმის თაობაზე, რომ დაბალ ტემპერატურაზე აზოტი წარმოიქმნება შუალედური N<sub>2</sub>O-დან, მხოლოდ უფრო მაღალ ტემპერატურაზე აზოტის წარმოქმნა მიმდინარეობს როგორც თანმიმდევრულად ჰემიოქსიდის შუალედური წარმოქმნით (NO → N<sub>2</sub>O → N<sub>2</sub>), ასევე უშუალოდ NO-დან (NO → N<sub>2</sub>).

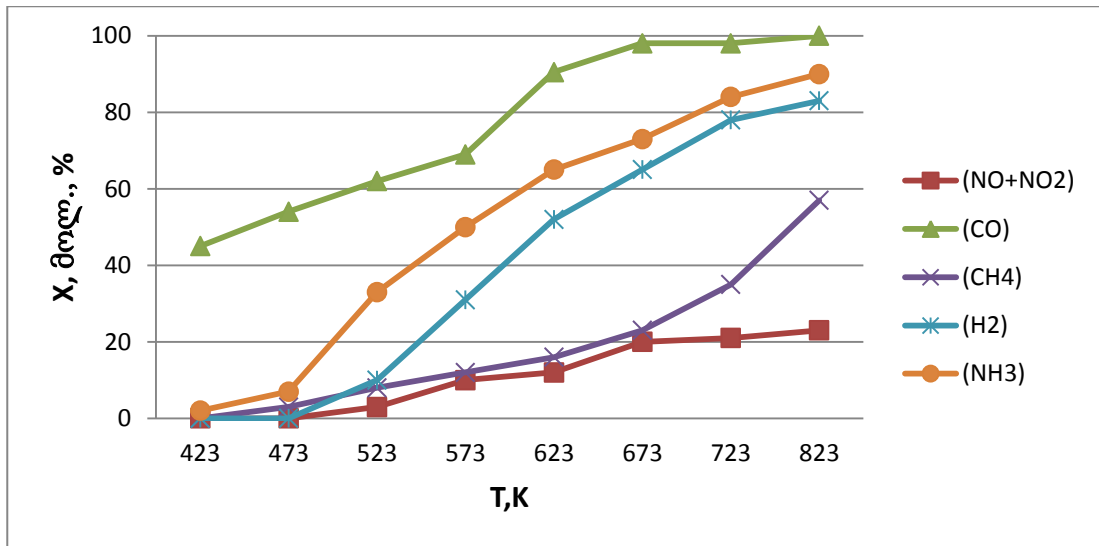
CuCL-ზე NO-ს სკა-ს CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> და NH<sub>3</sub> -ით რეაქციების შესწავლის შედეგად დადგინდა აღდგენითი უნარის შემდეგი რიგი: CO>NH<sub>3</sub>>H<sub>2</sub>>CH<sub>4</sub>.

თითქმის ასეთივე კატალიზური სურათი შეიმჩნევა Fe-ით პრომოტირებულ CuCL-ზე: ყველაზე დაბალ აქტიურობას ამჟღავნებს CuFeCL მე-(5) და მე-(4) რეაქციებში, აქტიურობის მრუდების პარალელური მსვლელობით ხასიათდება (2) და (3) რეაქციები (ნახაზი N36). რაც შეეხება NO-ს სკა CO-თი, აქ შეიმჩნევა ორი უბანი: 400K-დან 573 K-მდე, სადაც NO-ს გარდაქმნის ხარისხის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე სწორხაზოვანია, შემდეგ მკვეთრად იზრდება და უკვე 623 K-დან 92% აღწევს (ნახაზი N37).

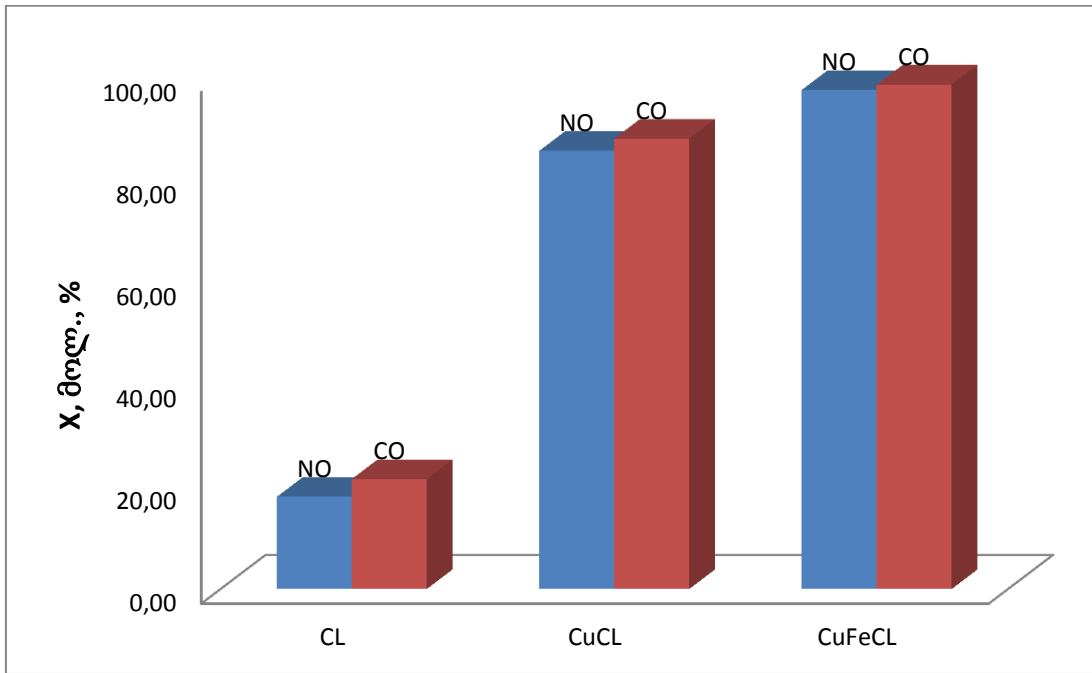
ამგვარად, ბუნებრივი CL-ის სტრუქტურაში სპილენძის იონების შეყვანა მკვეთრად ზრდის ორივე ტოქსიკური კომპონენტის გარდაქმნის ხარისხს თითქმის ნახევარი რიგით (ნახაზი N37), მხოლოდ მეორე გარდამავალი კატიონის -  $Fe^{3+}$  - შეყვანას მივყავართ CO-ს და NO-ის სრულ კონვერსიამდე იმავე ტემპერატურაზე. ეს გარემოება არ შეიძლება აიხსნას მარტო რკინის კატიონების ქმედებით, ვინაიდან  $Fe^{3+}$  უპირატესად უფრო აქტიურები არიან ამიაკით NO-ს აღდგენაში - FeDeCL ყველა აღნიშნულ რეაქციაში ისეთივე აქტიურობას ამჟღავნებს, როგორც საწყისი CL (ნახაზი N34), მხოლოდ 120<sup>0</sup>-ით დაბალ ტემპერატურაზე. CuFeDeCL, მიუხედავად ცეოლითში კატიონების შეყვანის რიგითობისა, იძლევა NO-ს გარდაქმნის ხარისხის ერთი და იგივე თვისობრივ და რაოდენობრივ ტემპერატურულ დამოკიდებულებას ყველა განხილულ რეაქციაში. ჩვენ მივედით დასკვნამდე, რომ რკინაშემცველ ცეოლითში  $Cu^{2+}$ -ის შეყვანით ხდება კატიონური პოზიციებიდან  $Fe^{3+}$ -ის გამოძევება, ან და  $Cu^{2+}$  იონები არ თმობენ უკვე დაკავებულ პოზიციებს ჩანაცვლების შებრუნებული რიგის დროს. ეს მოსაზრება მტკიცდება [139] მონაცემებითაც.



ნახაზი N35. NO-ს გარდაქმნის ხარისხის ტემპერატურული დამოკიდებულება CuCL-ზე  $H_2$  (4), CO(2),  $NH_3$ (5),  $CH_4$ -ით (3) აღდგენის და NO -ის დაშლის (1) რეაქციებში



ნახაზი N36. NO-ს გარდაქმნის ხარისხის ტემპერატურული დამოკიდებულება CuFeDeCL-ზე H<sub>2</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>-ით აღდგენის რეაქციებში

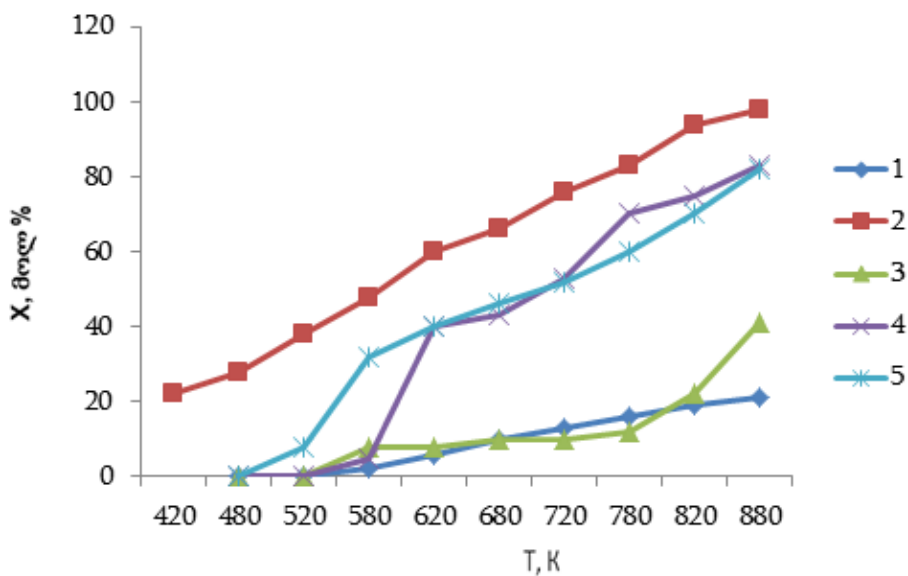


ნახაზი N37. CL, CuCL და CuFeCL შედარებითი აქტიურობა NO და CO ერთობლივ კონვერსიაში 623K-ზე

### VI.3. ბუნებრივი ცეოლითის სტრუქტურის გავლენა NO -ს H<sub>2</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>-ით კატალიზურ აღდგენაზე

CuMOR აგრეთვე ანაცვლებს (1-4) რეაქციების ტემპერატურულ ინტერვალს უფრო დაბალ ტემპერატურულ უბანში და რამდენჯერმე ზრდის (1) რეაქციაში NO-ის კონვერსიის ხარისხს (ნახაზი N38). CuMOR-ზე, ისევე, როგორც CuCL-ზე

დაბალტემპერატურულ უბანში ყველა აღნიშნული აღმდგენელი მკვეთრად განსხვავდება თავისი აღდგენითი უნარით. ნახაზის შესაბამისად (4) და (5) რეაქციებში CuMOR ამჟღავნებს ძალიან დაბალ აქტიურობას, 723K ზევით პრაქტიკულად ორივე რეაქცია მიმდინარეობს არაკატალიზურად და გარდაქმნის ხარისხი არ აღემატება 10-15% -ს. მე-(2) და მე-(3) რეაქციების შესაბამის მრუდებს ერთნაირი ფორმა აქვთ და მაქსიმალური გარდაქმნის ხარისხი აღწევს 80% 873K-ზე. ყველაზე ეფექტურად მოქმედებენ სპილენძ-შემცველი CuCL და CuMOR ცეოლითები (NO + CO) ერთობლივ კონვერსიაში, მხოლოდ CuCL-ზე რეაქცია იწყება 100<sup>0</sup> უფრო დაბალ ტემპერატურაზე და მაქსიმალური კონვერსია მიიღწევა 673-723 K. მე-6 და მე-10 ნახაზების შედარებიდან გამომდინარეობს, რომ (1-4) რეაქციების ტემპერატურული ზღვრები და მექანიზმი ერთნაირია, განპირობებულია მხოლოდ კატიონის ბუნებით და არ არის დამოკიდებული ცეოლითის სტრუქტურულ ტიპზე. CuCL-ის უფრო მაღალი აქტიურობა აიხსნება სპილენძის კატიონის ლოკალიზაციით უფრო დიდ და რეაგენტების მოლეკულებისათვის მისაწვდომ A და B პარალელურ არხებში, ვიდრე CuMOR-ის შედარებით ვიწრო არხებში.



ნახაზი N38. NO-ს გარდაქმნის ხარისხის ტემპერატურული დამოკიდებულება დაშლის (o - 1) და CO-თან ერთობლივ კონვერსიაში (◆ - 2), CH<sub>4</sub> (▲ - 3), H<sub>2</sub> (◇ - 4) ო NH<sub>3</sub>-თან (● -5) CuMOR-ზე

## VI.4. NO/CO თანაფარდობის გავლენა აზოტის და ნახშირბადის

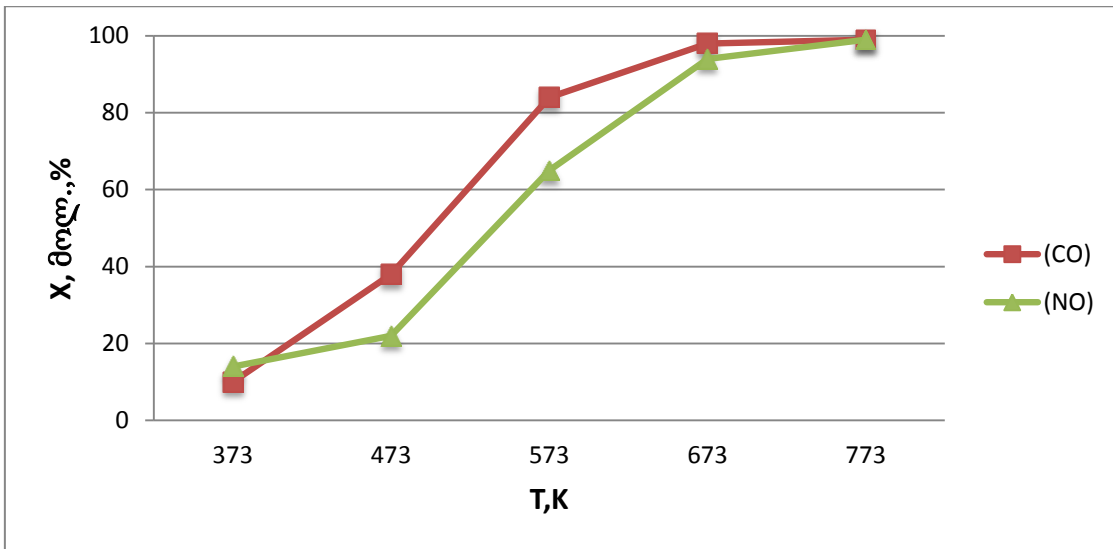
### მონოოქსიდების კონვერსიის ხარისხზე

უფრო დეტალური შესწავლისათვის ჩვენ გამოვყავით (1) რეაქცია როგორც ყველაზე სრულყოფილად მიმდინარე, დაბალტემპერატურული, ეფექტური და ეკოლოგიური თვალსაზრისით პრაქტიკული, ვინაიდან მისი განხორციელება პრაქტიკაში გამონაბოლქვი აირების ორი ყველაზე ტოქსიკური კომპონენტის გაუვნებელყოფის საშუალებას იძლევა.

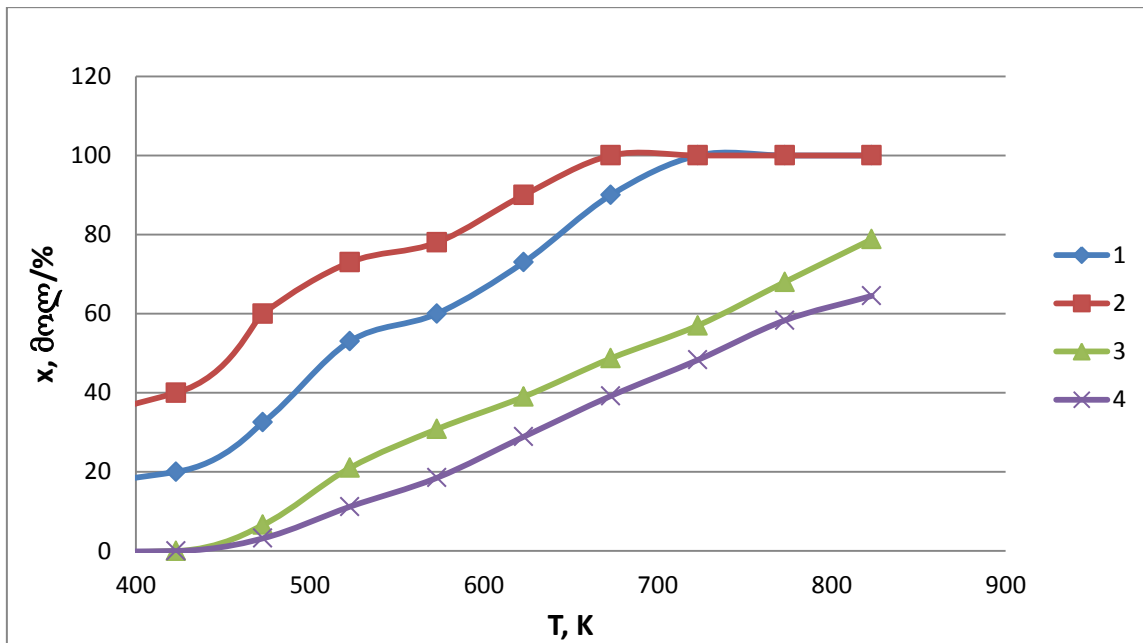
დადგინდა, რომ აზოტის ოქსიდების კონვერსიის ხარისხი დამოკიდებულია რეაგენტების თანაფარდობაზე და მისი უდიდესი მნიშვნელობა მიიღწევა NO და CO რეაგენტების სტექიომეტრული თანაფარდობის დროს (ცხრილი N17). მე-35 ნახაზზე მოყვანილია NO და CO-ს კონვერსიის ხარისხის ტემპერატურული დამოკიდებულება; შესაბამისი მრუდების პარალელური სვლა ადასტურებს, რომ რეაქცია მიმდინარეობს  $2NO+2CO \rightarrow N_2+2CO_2$  სქემის მიხედვით და არა მხოლოდ Cu-Fe- ჩანაცვლებულ ფორმაზე, არამედ დაუმუშავებელ ნიმუშებზეც (ნახაზი N39).

**ცხრილი N17. კონვერსიის ხარისხის დამოკიდებულება რეაგენტების თანაფარდობაზე 673K CuFeCL-ზე**

თანაფარდობა NO / CO	NO-ს გარდაქმნის ხარისხი (მოლ%)	CO-ს გარდაქმნის ხარისხი (მოლ %)
0.2	34.65	22.30
0.38	46.35	25.36
1.15	98.00	98.55
1.80	11.43	50.83



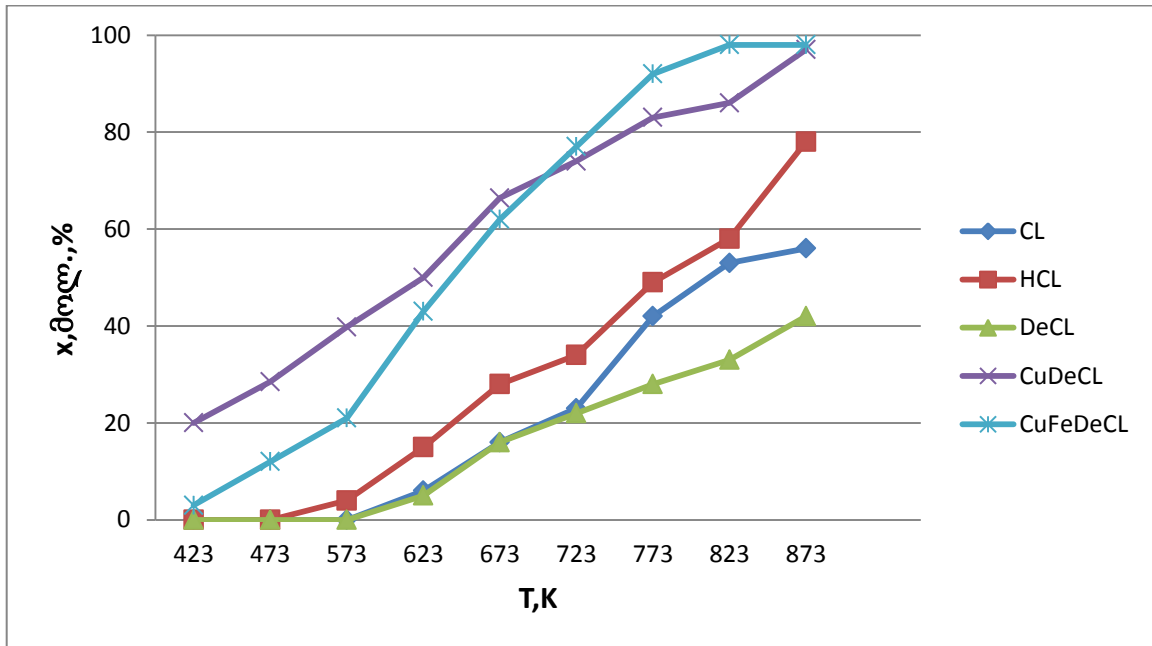
ნახაზი N39. NO და CO-ს კონვერსიის ხარისხის ტემპერატურული დამოკიდებულება ერთობლივ ჟანგვა-აღდგენით რეაქციაში CuCL-ზე



ნახაზი N40. NO და CO-ს გარდაქმნის ხარისხის ტემპერატურული დამოკიდებულება CL და CuFeDeCL ცეოლითებზე; 1. NO – CuDeFeCL-ზე; 2. CO – CuDeFeCL-ზე; 3. NO – CL-ზე; 4. CO – CL-ზე

გარდა ამისა, ის ფაქტი, რომ რეაგენტების სტექიომეტრული თანაფარდობა განაპირობებს (1) რეაქციის პროდუქტების მაქსიმალურ გამოსავალს და კონვერსიის მრუდების პარალელური სვლას (ცხრილი N 17 და ნახაზი N 39, 40) მიუთითებენ იმაზე, რომ რეაქცია არ მიმდინარეობს შუალედური N<sub>2</sub>O-წარმოქმნით.

## VI.5. ცეოლითის მოდიფიცირების გავლენა (NO + CO) ერთობლივ კონვერსიაზე



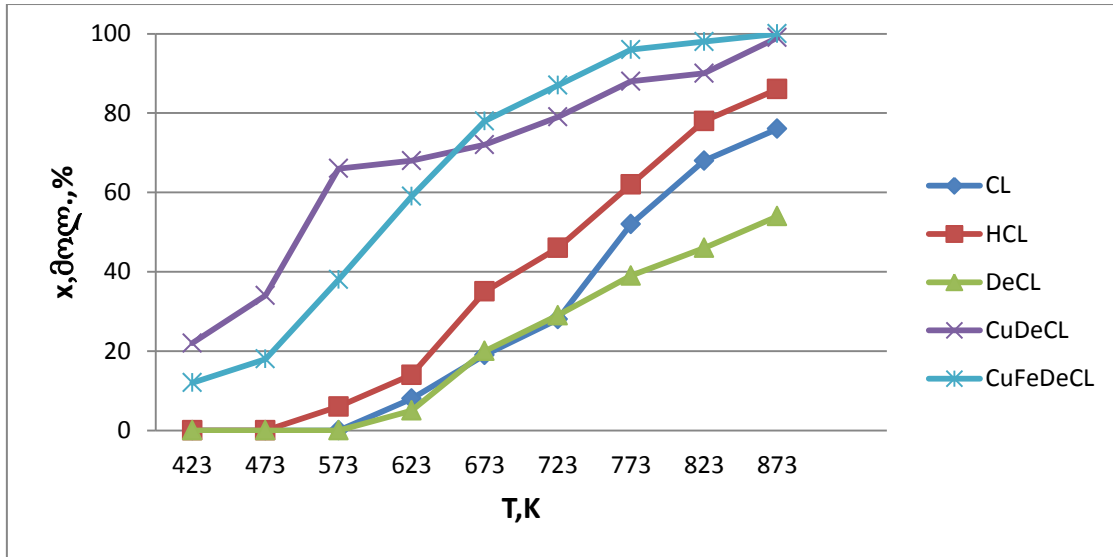
**ნახაზი N41. NO-ს გარდაქმნის ტემპერატურული დამოკიდებულება CL სხვადასხვა ფორმისათვის**

შესწავლილ ნიმუშებზე NO-ს სკა-ის რეაქცია CO-თი სხვა აღმდგენებთან შედარებით ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) უფრო ეფექტური და პერსპექტიულია ორივე ამ ტოქსინისაგან გამონაბოლქვი გაზების გაწმენდისათვის. ამიტომ ეს რეაქცია განხორციელდა ყველა მიღებულ ნიმუშზე.

მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემების თანახმად მჟავური დეკატონირება იწვევს აზოტის და ნახშირბადის მონოოქსიდების კონვერსიის ხარისხის შემცირებას საწყის ცეოლითთან შედარებით (ნახაზი N41, 42) მთელს შესწავლილ ტემპერატურულ უბანში და პირიქით, CL-ის საწყისი ფორმის დამუშავება ამონიუმის იონებით იწვევს მიღებული HCL-ის აქტიურობის ზრდას. სპილენძის და რკინის კატიონების შეყვანას დეკატონირებულ ნიმუშში თან სდევს აზოტის და ნახშირბადის მონოოქსიდების კონვერსიის ხარისხის მკვეთრი გაზრდა, რომელიც განსაკუთრებით დაბალტემპერატურულ ინტერვალში თითქმის ერთი რიგით აღემატება CL საწყის და დეკატონირებულ ფორმებზე მიღებულ მნიშვნელობებს. კერძოდ, CuDeCL და CuFeDeCL ამჟღავნებენ მაქსიმალურ აქტიურობას 423 – 773K, ე.ი., ამ რეაქციის ტემპერატურული ინტერვალი სხვა აღმდგენელებთან შედარებით შემცირებულია 120<sup>0</sup>-

ით. რეაქციის პროდუქტებია უვნებელი მოლეკულური აზოტი და ნახშირბადის დიოქსიდი, NO და CO-ს გარდაქმნის ხარისხი 673 K-ის ზევით 95-98% უდრის.

დადგინდა, რომ NO და CO-ს მიმართ აქტიურობის რიგს ერთნაირი თანმიმდევრობა აქვს:



**ნახაზი N 42. CO -ს გარდაქმნის ტემპერატურული დამოკიდებულება CL სხვადასხვა ფორმისათვის**

იმ მოსაზრების დასადასტურებლად, რომ არამოდიფიცირებული ცეოლიტების აქტიურობა განპირობებულია რკინის მცირე შემცველობით და ცეოლიტის სტრუქტურაში რკინისა და სპილენძის მდგომარეობის შესასწავლად ჩატარდა ზოგიერთი ნიმუშის ეპრ კვლევა.

**VI.6. ზოგიერთი მიღებული ცეოლიტური ნიმუშების ეპრ კვლევა**

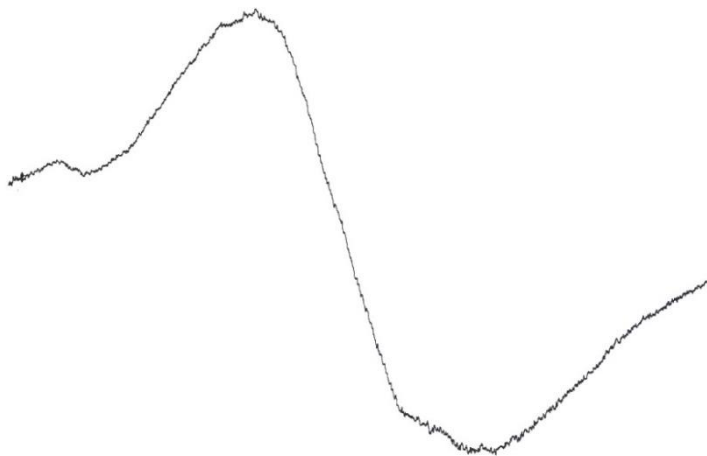
ცნობილია, რომ ცეოლიტების თვისებები მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული მაკომპენსირებული კატიონების ტიპზე, აგრეთვე მათ გარემოცვასა და ლოკალიზაციის ადგილებზე. გარდამავალ ლითონებს, მათ შორის Fe და Cu-ს შეუძლიათ იარსებონ ცეოლიტებში რამდენიმე ფორმით: მაკომპენსირებული იზოლირებული კატიონების სახით, Fe<sup>3+</sup> და Cu<sup>2+</sup>-ის მონო- და პოლიბირთვული კომპლექსების სახით ცეოლიტის კატიონურ პოზიციებში, Fe<sub>x</sub>O<sub>y</sub> და Cu<sub>x</sub>O<sub>y</sub> კლასტერების სახით, ოქსიდების ფორმით ცეოლიტის ფორებში და არხებში, აგრეთვე მის გარე ზედაპირზე. ამიტომ საჭიროა, რომ დავადგინოთ NO-ს სელექტიურ კატალიზურ ადდგენაზე პასუხისმგებელი აქტიური ცენტრების სტრუქტურა. ამისათვის ცეოლიტებში რკინის და სპილენძის



ლოკალიზაციის და კოორდინაციური გარემოცვის შესწავლის ერთერთი ყველაზე პრეციზიული მეთოდია ელექტრონული პარამაგნიტური რეზონანსი, ვინაიდან ცეოლითებში კატიონების მდგომარეობის შესახებ დიდი ინფორმაციის მიღება შეიძლება ეპრ მეთოდის გამოყენებით, თუ ცეოლითი მაკომპენსირებელი კატიონების სახით შეიცავს გარდამავალი ლითონების იონებს. ამასთან უნდა აღინიშნოს, რომ ეპრ-მეთოდით საკმაოდ ინტენსიურად შეისწავლება სინთეზური ცეოლითები [102,144, 145], და თითქმის არ არის მონაცემები ბუნებრივი ცეოლითების ეპრ-ით შესწავლის შესახებ.

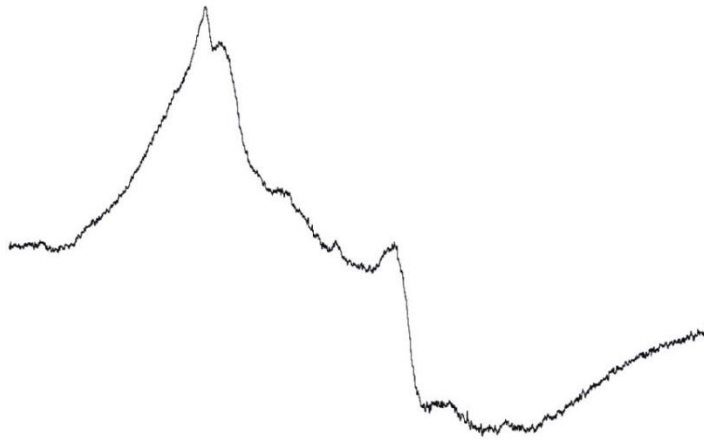
ეპრ მეთოდით CL შესწავლა რთულდება მაგნიტური მინარევების არსებობის გამო.

მიღებულმა ეპრ-სპექტრებმა აჩვენეს, რომ საწყისი CL შეიცავს ისეთ პარამაგნიტურ იონებს, როგორიცაა რკინა და მანგანუმი (ნახაზი N43).



#### ნახაზი N43. საწყისი CL-ის ეპრ სპექტრი

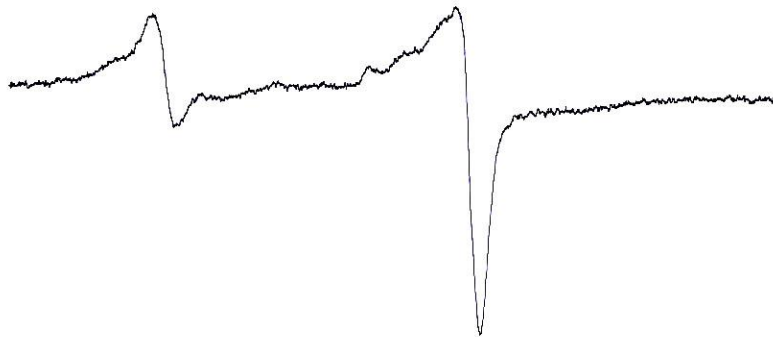
ასე მაგალითად, სინგლეტი პარამეტრით  $g=4.31$  და სექსტეტი პარამეტრით  $g=2.0043$ ,  $A=92\text{oe}$  მიუთითებენ იზოლირებულ  $\text{Fe}^{3+}$  არსებობაზე ტეტრაედრულ კოორდინაციაში და შესაბამისად მანგანუმის  $\text{Mn}^{2+}$ -ის სახით არსებობაზე.  $\text{Mn}^{2+}$ -ის იონები ერთჯერადად ადვილად გამოირეცხებიან  $0.5\text{N HCl}$ -ის ხსნარით, მაგრამ  $\text{Fe}^{3+}$ -ის სრული მოცილება მრავალჯერადი მჟავური დამუშავებითაც ვერ მიიღწევა. DeCL-ის სპექტრი არ იძლევა სიგნალს, მაგრამ FeDeCL სპექტრში კარგად გაირჩევა ორი სიგნალი - ფართო ინტენსიური  $g=2.0$  და მცირე ინტენსივობის ვიწრო სიგნალი  $g=4.31$ , რომელიც მივაკუთნეთ ტეტრაედრულად კოორდინირებულ  $\text{Fe}^{3+}$ -ს იონებს კატიონურ-მიმოცვლით პოზიციებში და არა ცეოლითის მესერში (ნახაზი N44).  $g=2.0$  სიგნალის არსებობა მიეკუთვნება ოქტაედრულად-კოორდინირებულ  $\text{Fe}^{3+}$ -ს იონებს, რომლებიც სავარაუდოდ შედიან მცირე  $\text{Fe}_x\text{O}_y$  კლასტერების სტრუქტურაში.



#### ნახაზი N44. FeDeCL-ის ეპრ სპექტრი

მისაღებია ვარაუდი, რომ NO-ს CO-თი სკა-ის რეაქციის აქტიური ცენტრებია ტეტრაედრულად კოორდინირებული კატიონურ პოზიციებში ლოკალიზებული  $Fe^{3+}$ -ს იონები, რაც დასტურდება აგრეთვე [139] მონაცემებით. ამ იონების კოორდინაციურ სფეროში შედიან მორეაგირე NO და CO-ს მოლეკულები, რაც ასუსტებს N—O და C—O ბმებს და ხელს უწყობს შემდგომ გარდაქმნებს.

CL-ის ჰიდრატირებული Cu-შემცველი ფორმების ეპრ-სპექტრი (ნახაზი N45) იძლევა სიგნალს  $g=2.03$  და  $A=175oe$ .



#### ნახაზი N45. CuHCL-ის ეპრ სპექტრი

ეს სიგნალი დამახასიეთებელია  $Cu^{2+}$  იონებისათვის ან დამახინჯებულ ოქტაედრულ კოორდინაციაში, ან  $[Cu(H_2O)_6]^{2+}$  ჰექსააქვაკომპლექსებისათვის. დეჰიდრატაციისას ამ აქვაკომპლექსის დაშლისას სპილენძის იონები გადადიან ან კვადრატული ან ბრტყელი კვადრატის კოორდინაციაში. ლიტერატურიდან ცნობილია [146] რომ Cu-შემცველი ცეოლითები Cu-ZSM5 იჩენენ მაღალ აქტიურობას NO სკა-ში შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე. ეს შედეგი დასტურდება ჩვენი მონაცემებითაც - NO სკა CO-თი იწყება 423-473 K ტემპერატურაზე.

## VI.7. ცეოლითურ სისტემებზე NO-ს სელექტიური კატალიზური აღდგენის სავარაუდო მექანიზმები

ლიტერატურაში დღემდე არსებობს ერთმანეთის გამომრიცხავი მოსაზრება სინთეზური ცეოლითური კატალიზატორების აქტიური ცენტრების ბუნების შესახებ NO სკა-ს რეაქციაში. ასე, [147, 148] შრომებში აღინიშნებოდა ZSM-5 და Beta-ს წყალბადური ფორმების აქტიურობა მოცემულ რეაქციაში, რაც აიხსნება NO-ს სკა-ში მჟავური ცენტრების როლით. მკვლევართა უმრავლესობა კი თვლის, რომ ცეოლითების კატალიზური აქტიურობა განპირობებულია ცეოლითის სტრუქტურაში შეყვანილი გარდამავალი მეტალების კატიონებით. მიუხედავად იმისა, რომ გარდამავალ მეტალთა კატიონების-შემცველ ცეოლითების გამოყენება ჟანგვა-აღდგენით რეაქციებში პირველად დადგინდა ჯერ კიდევ 1961 წელს [149], მნიშვნელოვანი კვლევები ამ მიმართულებით საკმაოდ გვიან დაიწყო [150-156].

ცეოლითური კატალიზატორების მოქმედი მექანიზმის სხვადასხვა ჰიპოტეზის განხილვისას გამოითქვა მოსაზრება [157-160], რომ ჟანგვა-აღდგენით ტიპის რეაქციებში აქტიურები არიან ის კატალიზატორები, რომლებიც შეიცავენ გარდამავალ მეტალებს, და კატალიზური აქტიურობა განპირობებულია ზედაპირზე არსებული გარდამავალ მეტალთა ცალკეული კატიონების ელექტრონული სტრუქტურით [161, 162].

წარმოდგენილ სამუშაოში მიღებულია თითქმის ანალოგიური შედეგები, ანუ ნაჩვენებია, რომ სპილენძის და/ან რკინის კატიონების შეყვანა ცეოლითში ზრდის NO-ს აღდგენის ხარისხს CO-ს CO<sub>2</sub>-მდე დაჟანგვის ხარჯზე. უნდა აღინიშნოს, რომ CO-ს CO<sub>2</sub>-მდე დაჟანგვის არაკატალიზური რეაქცია იწყება 603 K-ზე (გამოსავალი 4%) [163]. ამიტომ დაუმუშავებელი ბუნებრივი ცეოლითების დაბალ ტემპერატურაზე (600 K-მდე) CL-ს და MOR-ს უმნიშვნელო კატალიზური აქტიურობა აიხსნება ცეოლითში პოლივალენტური გარდამავალი მეტალების მინარევების არსებობით, მხოლოდ ტემპერატურის მომატებისას საწყისი ფორმების აქტიურობას ემატება არაკატალიზური მაღალტემპერატურული აქტიურობა. ამაზე მიუთითებს დეკატიონირებული ნიმუშების აქტიურობის მკვეთრი შემცირება, რომელიც გამოწვეულია საკმაოდ ხისტი მჟავური დამუშავებისას გარდამავალ მეტალთა გამორეცხვით.

გარდამავალ მეტალთა კატიონების-შემცველი ცეოლითების აქტიურობის ცვლილებები განისაზღვრება კატიონების ბუნებით და სხვადასხვა უნარით წარმოქმნან

კომპლექსები მორეაგირე მოლეკულებთან. კერძოდ, სპილენძ-შემცველი ცეოლითების კატალიზური აქტიურობა ჟანგვა-აღდგენით რეაქციებში შეიძლება განპირობებულ იქნას ან სპილენძის კლასტერების არსებობით, ან ელექტროსტატიკური ველის გრადიენტით, რომელიც წარმოიქმნება სპილენძის იონების სიახლოვეს. NO-ს დაშლა ადვილად მიმდინარეობს ასოცირებული ადსორბციის შედეგად, რომელიც იწვევს  $\text{Cu}^+$ -ის  $\text{Cu}^{2+}$ -ად დაჟანგვას. გამომდინარე რკინა- და სპილენძ-შემცველი ცეოლითების აქტიურობიდან  $\text{Fe}^{3+} \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$  და  $\text{Cu}^{2+} \leftrightarrow \text{Cu}^+$  ჟანგვა-აღდგენითი პროცესი ადვილად მიმდინარეობს. ამრიგად უნდა ითქვას, რომ ჟანგვითი რეაქციისათვის აუცილებელია ცეოლითების ზედაპირზე ან/და დიდ ღრუებში კლასტერული იონების წარმოქმნა. რეაქციის მეორე სავარაუდო მექანიზმი მდგომარეობს იმაში, რომ გარდაქმნები უნდა მიმდინარეობდეს გარდამავალ მეტალთა კატიონების კოორდინაციულ სფეროში შესაბამისი ნიტროზული და კარბონილური კომპლექსების წარმოქმნით. ასევე არ არის გამორიცხული მორეაგირე მოლეკულების პოლარიზაცია ელექტროსტატიკური ველის გრადიენტის ზეგავლენით.

მოყვანილი მონაცემები და აგრეთვე სპილენძ-შემცველი სისტემების - Cu(II) და Cu(I) ოქსიდების, სხვადასხვა შერეული კუპრატების, Cu-შემცველი ცეოლითების კატალიზური თვისებების მრავალრიცხოვანი კვლევების მიმოხილვა საშუალებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ აღნიშნული ნაერთების მაღალი კატალიზური აქტიურობა დაკავშირებულია აქტიურ ცენტრებთან, რომლებიც წარმოქმნილია სპილენძის ატომებით ამა თუ იმ მუხტით და ამა თუ იმ კოორდინაციულ გარემოში. ჩვენ ვიხრებით იმ მოსაზრებისკენ, რომ რეაქცია მიმდინარეობს ნიტროზილის და კარბონილის კომპლექსების წარმოქმნით გარდამავალ მეტალთა კატიონებთან და ქიმიური ბმების შემდგომი გადანაცვლებით. არ არის გამორიცხული ის ვარიანტიც, რომ CO უფრო მჭიდროდ უკავშირდება ჩანაცვლებულ კატიონს და ამით ასუსტებს C = O ბმას და ამ ქემოსორბირებულ მოლეკულასთან ურთიერთქმედებს NO-ს მოლეკულა აირადი ფაზიდან ნახაზ N 30-ზე მოყვანილი სქემის ანალოგიურად.

რაც შეეხება საკითხის პრაქტიკულ მხარეს, ნახშირწყალბადების გაუვნებელყოფნის მოყვანილი ხერხი იძენს აქტუალობას როგორც ავტომობილების „ცივი სტარტის“ პრობლემის გადაწყვეტის ერთ-ერთი ვარიანტი. გამონაბოლქვის ნახშირწყალბადები, რომელთა ტოქსიკური ნაწილი წარმოდგენილია მეტ წილად ოლეფინებით და

არომატული ნახშირწყალბადებით, ვერ ასწრებენ „ცივი“ კატალიზატორზე დაჟანგვას  $\text{CO}_2$  და  $\text{H}_2\text{O}$ -მდე და ხვდებიან გარემოში, შესაბამისად იწვევენ მის დაბინძურებას. უკანასკნელი 40 წლის მანძილზე შემუშავებული ავტოგამონაბოლქვის სამმარშრუტიანი კატალიზატორები, რომლებიც წარმოადგენენ ალუმინის ოქსიდზე დატანილ Pt, Pd, Rh-ის სხვადასხვა კომბინაციას, იძლევა საშუალებას მნიშვნელოვნად შევამციროთ მავნე ნივთიერებათა რაოდენობა გამონაბოლქვში. მაგრამ ისინი იწყებენ მუშაობას მხოლოდ 473-523°K და სანამ კატალიზატორის ზონაში ტემპერატურა არ მიაღწევს მოცემულ მნიშვნელობას, ძრავის ცილინდრებში დაუწვავი ორგანული ნივთიერებები არ იჟანგება. ამის შედეგად გამონაბოლქვის 60-90% მოდის „ცივი სტარტის“ დროზე, ე.ი. ძრავის ამუშავების პირველ წუთებზე, როცა კატალიზატორის ტემპერატურა დაბალია.

მხოლოდ ჩვენს მიერ შემუშავებული სპილენძ-შემცველი ცეოლითური კატალიზატორი დისპერსულობის მაღალი ხარისხის და მაღალი ხვედრითი ზედაპირის გამო უკვე ოთახის ტემპერატურაზე ადსორბირებს გამონაბოლქვ აირებს, იწყებს მუშაობას 390-420 K და 573-623 K-ზე კონვერსიის ხარისხი CO და  $\text{NO}_x$  მიმართ მაქსიმუმს - 90-98% აღწევს.

როგორც ზევით აღვნიშნეთ, ავტოტრანსპორტის გამონაბოლქვი აირების და საწარმოების გამონატყორცნი აირების დაწვის ძირითადი კატალიზატორები არიან კეთილშობილი მეტალები (პლატინა, პალადიუმი, როდიუმი, სხვა), დაფენილი სხვადასხვა სახის სარჩულებზე და ოქსიდური ორბირთვული სისტემები. ამჟამად მივიდნენ იმ დასკვნამდე, რომ ZSM-5, Beta სინთეზურ ცეოლითებზე მიღებული კატალიზატორები წარმოადგენენ საკმაოდ პერსპექტიულ სისტემებს სხვადასხვა აღმდგენებით NO სკასთვის. ძირითადი უპირატესობა იმაშია, რომ სინთეზური ცეოლითები უფრო აქტიურები არიან დაბალტემპერატურულ უბანში, ვიდრე ოქსიდური. ისინი გამოირჩევიან მუშაობის სტაბილურობით, მექანიკური სიმტკიცით, მაგრამ უმეტესი უფრო ძვირად ღირებულია ბუნებრივ ცეოლითებთან შედარებით. ამიტომ ეკონომიურად უფრო ხელსაყრელია დაწვის ცეოლითური კატალიზატორების შექმნის გზების ძიება იაფი და ადვილად მისაწვდომი ბუნებრივი ცეოლითების ბაზაზე ადგილობრივი საბადოებიდან.

## დასკვნები

1. საქართველოში ბოლო წლებში მოხდა ატმოსფერული ჰაერის მონიტორინგის არსებული სისტემის გაუმჯობესება და დაემატა ახალი ავტომატური გამზომი სადგური (თბილისში). გაუმჯობესების მიუხედავად არსებული სადამკვირვებლო სადგურების რაოდენობა მწირია, მონაცემების აღებისა და დამუშავების მეთოდები არ შეესაბამება საერთაშორისო სტანდარტებს. უმთავრეს პრობლემად ფინანსური რესურსების და ტექნიკური აღჭურვილობის ნაკლებობა წარმოადგენს.
2. საჭიროა გაგრძელდეს ავტომატური სადგურების ქსელის გაფართოების ტენდენცია და მოხდეს ატმოსფერული ჰაერის მონიტორინგის ერთიანი სისტემის რეაბილიტაცია, მოდერნიზაცია და თანამედროვე ევროპულ სისტემასთან ინტეგრაცია. ეს საშუალებას მოგვცემს განხორციელდეს ატმოსფერული ჰაერის მდგომარეობის შესახებ უტყუარი და გრძელვადიანი პროგნოზი.
3. მონიტორინგის მონაცემებიდან გამომდინარე, გაანგარიშებულია 2006–2013 წლებში ატმოსფეროში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებების რაოდენობა, საიდანაც დადგინდა, რომ მათი კონცენტრაციები აჭარბებენ დადგენილ ზღვ-ს. ზოგიერთი მაჩვენებლით შეიმჩნეოდა CO, SO<sub>2</sub> და მტვრის კლების ტენდენცია, თუმცა ეს მაჩვენებლები მაინც აჭარბებს ზღვრულ დასაშვებ ნორმებს. 2009-2013 წლების მონაცემების მიხედვით ტყვიის კონცენტრაცია ქ. თბილისში ზღვ-ს არ აღემატება, ასევე მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია 2012 და 2013 წლების მონაცემების მიხედვით დასაშვებ ზღვრებშია.
4. 2012 წლის მონაცემების მიხედვით დადგენილ იქნა საქართველოს ძირითადი დამაბინძურებელი რეგიონები: იმერეთი, ქვემო ქართლი, შიდა ქართლი და აჭარა. აღნიშნულ რეგიონებზე საქართველოში მთლიანი გაფრქვევების 91%-ზე მეტი მოდის, ვინაიდან ამ რეგიონებში განთავსებულია დიდი საწარმოები, რომლებიც სამრეწველო სექტორიდან ყველაზე დიდ ზეგავლენას ახდენენ ატმოსფეროზე.
5. საქართველოში ავტოტრანსპორტის წილი მთლიან გაფრქვევებში მნიშვნელოვნად აჭარბებს სტაციონალური წყაროებიდან დაბინძურების წილს და დაახლოებით 70%-ს შეადგენს. საავტომობილო პარკის გაფართოებიდან, ასაკიდან და მოხმარებული საწვავის დაბალი ხარისხიდან გამომდინარე მომატებულია ატმოსფერულ ჰაერში მავნე ნივთიერებების გაფრქვევის საერთო მაჩვენებელი. გამკაცრების მიუხედავად, საავტომობილო ბენზინსა და დიზელში განსაზღვრული გოგირდის მასური წილი

კვლავ მაღალია და 15-20-ჯერ აღემატება ევროკავშირის სტანდარტებით დადგენილ ნორმებს.

6. ჩატარებულია საქართველოს საბადოებიდან მოპოვებული ბუნებრივი ცეოლითების - კლინოპთილოლითის და მორდენიტის მოდიფიცირებული ფორმების ჟანგვა-აღდგენითი თვისებების შესწავლა NO აღდგენაში სხვადასხვა აღმდგენლებით -  $H_2$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$  და CO-თი ავტოტრანსპორტის გამონაბოლქვის ზოგიერთი ტოქსიკური კომპონენტის დაწვის ეფექტური კატალიზატორის მიღების მიზნით.

7. შესწავლილია ბუნებრივი ცეოლითის დამუშავების ტიპის, ჩანაცვლებული გარდამავალი მეტალის კატიონის ბუნების და რეაგენტების თანაფარდობის გავლენა რეაგენტების გარდაქმნის ხარისხის ტემპერატურულ დამოკიდებულებაზე. დადგენილია, რომ ცეოლითური კატალიზატორების აქტიურობა NO-ს სელექტიურ კატალიზურ აღდგენაში CO,  $H_2$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$  აღმდგენელების მეშვეობით მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული მიმოცვლითი კატიონის ბუნებაზე და რეაქციის ტემპერატურაზე, ხოლო უმნიშვნელოდ ცეოლითის სტრუქტურაზე და რეაგენტების თანაფარდობაზე.

8. მქავური, ტუტე და იონმიმოცვლითი მეთოდების შეწყობის გზით პირველად იქნა დამზადებული ბინარული სპილენძ- და რკინა- შემცველი ცეოლითური კატალიზატორები NO და CO-ს ერთობლივი კონვერსიისათვის. დადგინდა, რომ სპილენძის და რკინის იონების შეყვანა წინასწარ დეკატიონირებულ ცეოლითებში იწვევს აზოტის და ნახშირბადის მონოოქსიდის კონვერსიის გაზრდას თითქმის ერთი რიგით, განსაკუთრებით დაბალტემპერატურულ უბანში.

9. დაუმუშავებელი CL-ის და MOR-ის შესწავლა ეპრ მეთოდით გართულებულია ნიმუშებში მაგნიტური ბუნების ქიმიური ელემენტების შემცველობის გამო. დადგინდა, რომ ტეტრაედრულად კოორდინირებული  $Fe^{3+}$ -ს კატიონები განლაგებულნი არიან კატიონურ-მიმოცვლით პოზიციებში და არა ცეოლითის მესერში.

10. ჰიდრატირებულ CuDeCL-ში  $Cu^{2+}$  იონები იმყოფებიან ან დამახინჯებულ ოქტაედრულ კოორდინაციაში, ან ჰექსაკვაკომპლექსების სახით  $[Cu(H_2O)_6]^{2+}$ . აღნიშნული აკვაკომპლექსების დეჰიდრატაციისას იონები გადადიან კვადრატული პირამიდის ან ბრტყელი კვადრატის კოორდინაციაში. სწორედ ეს იონებია პასუხიმგებელი NO-ს დაბალტემპერატურულ კატალიზურ აღდგენაზე. მორდენიტში

სპილენძის მცირე შემცველობისას  $\text{Cu}^{2+}$  კატიონები კოორდინირებულია დიდ არხებში ექვსწევრიან ჟანგბადიან რგოლებთან.

11. რკინის კატიონების მაპრომოტირებელი მოქმედება მდგომარეობს იმაში, რომ ისინი უზრუნველყოფენ სპილენძის კატიონებისათვის უფრო ხელმისაწვდომ უბნებს ცეოლითის არხებში, ვინაიდან  $\text{Cu}^{2+}$  „აბევენ“  $\text{Fe}^{3+}$  უფრო ძნელად მისაწვდომ პოზიციებში და არა პირიქით. პროცესში მონაწილეობას ღებულობენ  $\text{Fe}^{3+}$  იონებიც. NO და CO-ს მოლეკულებს შორის რეაქცია მიმდინარეობს გარდამავალი მეტალების კატიონების კოორდინირებულ სფეროში ნიტროზული და კარბონილური კომპლექსების წარმოქმნით.

12. Cu- და Fe-შემცველი პოლიფუნქციონალური კატალიზატორები, დამზადებული საქართველოს ბუნებრივ ცეოლითების - CL და MOR-ის ბაზაზე მაღალი ფორიანობის და ხვედრითი ზედაპირის გამო ადსორბირებენ გამონაბოლქვ აირებს უკვე ოთახის ტემპერატურაზე, უფრო მაღალ აქტიურობას ამჟღავნებენ აზოტის და ნახშირბადის ოქსიდების ერთობლივი კონვერსიის მიმართ დაბალტემპერატურულ ინტერვალში (420-673 K), ავლენენ უფრო მაღალ აქტიურობას, ვიდრე პლატინაზე, პალადიუმზე და როდიუმზე დაფუძნებული სხვა ცნობილი წვის კატალიზატორები. კატალიზატორზე კონვერსიის დაწყების ტემპერატურა 423K (NO-თვის გარდაქმნის ხარისხი 45%, CO – 63%); 673K-ზე კონვერსიის ხარისხი NO - 98.5%, CO – 100%, კონვერსიის პროდუქტებია - აზოტი და ნახშირბადის დიოქსიდი.



## გამოყენებული ლიტერატურა

1. Кумачев А.И., Кузменок Н.М. “Глобальная экология и химия”. Минск, Университетское, 1991, 182 с.;
2. Балашенко С. А., Демичёв Д. М., Экологическое право. М., 1999, 383 с.;
3. Родионов А. И. и др. Техника защиты окружающей среды. Учебник для вузов. М. Химия, 1989, 512 с.;
4. "Industrial Revolution" Encyclopedia of Sustainable Development. 2002. Atmospheric Research & Information Centre. 27 June 2004 <<http://www.ace.mmu.ac.uk/esd>>;
5. Акимова Т.А., Кузмин А.П., Хаскин В.В., Экология, Природа-Человек-Техника. М., 2001 343 с.;
6. Данилов-Данильян В.И. Экология, охрана природы и экологическая безопасность. Учебное пособие для системы повышения квалификации и переподготовки государственных служащих. М.: Изд-во МНЭПУ, 1997. 744 с;
7. [http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/tre\\_glob.html](http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/tre_glob.html);
8. [http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/glo\\_2010.html](http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/glo_2010.html);
9. Boden, T.A., G. Marland, and R.J. Andres. 2010. Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO2 Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. doi 10.3334/CDIAC/00001\_V2010;
10. J. Chau, T. Sowlat, S. Sokhansanj, F. Preto, S. Melin, X. Bi. “Techno-economic analysis of wood biomass boilers for the greenhouse industry” Applied Energy, 86, 616-621, 2009;
11. Архипова В.А., Шереметьева И.М. Аэрозольные системы и их влияние на жизнедеятельность: Уч. пособие, Томск: Изд-во Томского госуд. Педагогического ун-та. – 2007 136 с.;
12. Жилов Ю.Д., Назарова Е.Н. Здоровый образ жизни и его составляющие. – М.: Академия, 2007 255 с.;
13. Widmann J.F., Davis E.J. Mathematical models of the uptake of ClONO2 and other gases by atmospheric aerosols. - J.Aerosol Sci., v.28, n.2, pp. 87-106, 1997;
14. Чекман И.С., Сырвая А.О., Андреева С.В., Макаров В.А. Аэрозоли-Дисперсные Системы. Киев – Харьков, 2013, 100 с.;
15. <https://www.ec.gc.ca/air/default.asp?lang=En&n=590611CA-1>;

16. <http://www.epa.gov/region1/airquality/>;
17. გ. ქაჯაია. გარემოს დაცვის ეკოლოგიური პრინციპები. თბილისი 2008, 272 გვ.;
18. [http://www.ehow.com/about\\_6621971\\_sulfurous-smog.html](http://www.ehow.com/about_6621971_sulfurous-smog.html);
19. [http://www.ehow.com/info\\_8243982\\_two-kinds-smog.html](http://www.ehow.com/info_8243982_two-kinds-smog.html);
20. Голдовская Л.Ф. Химия Окружающей Среды: Учебник для вузов. М.: Мир. 2005, 296 с.;
21. <http://airawareness.webs.com/smog.htm>;
22. Effects of Photochemical Air Pollution on the Human Eye – Concerning Eye Irritation, Tear Lysozyme and Tear pH. Noriaki Okawada, Isao Mizoguchi and TaTsukichi Ishiguro;
23. Заиков Г.Е., Маслов С.А., Рубайло В.Л. Кислотные дожди и окружающая среда. М.. Химия, 1991.
24. [http://www.epa.gov/acidrain/effects/surface\\_water.html](http://www.epa.gov/acidrain/effects/surface_water.html);
25. Сазонов, Э. В. Экология городской среды: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 270100 "Строительство" / Э. В. Сазонов. - Санкт-Петербург : ГИОРД, 2010 (т.е. 2009). - 310 с.;
26. Графкина, М. В. Охрана труда и основы экологической безопасности: автомобильный транспорт : учеб. пос. / М. В. Графкина. - М.: Издат. центр «Академия», 2009. - 192 с.;
27. Roads and Their Major Ecological Effects Author(s): Richard T. T. Forman and Lauren E. Alexander Reviewed work(s): Source: Annual Review of Ecology and Systematics, Vol. 29 (1998), pp. 207-231;
28. Графкина М. В. Экология и экологическая безопасность автомобиля / М. В. Графкина, В. А. Михайлов, К. С. Иванов. М.: ФОРУМ, 2009. - 320 с.;
29. Человек и природа: экологическая история: [сборник] / Европейский университет (Санкт-Петербург), Институт истории им. Макса Планка (Геттинген); под общ. ред. Даниила Александрова Франца-Йозефа Брюггемайера Юлии Лаус. - Санкт-Петербург: Европейский ун-т в Санкт-Петербурге, 2008. - 348 с.;
30. Емельянов А. Г. Основы природопользования: учебник для студ. высш. учеб. заведений. - 5-е изд., стер. - М. : Издат. центр «Академия», 2009. - 304 с.;
31. <http://www.history.com/this-day-in-history/smog-kills-thousands-in-england>;

32. Michelle L. Bell, Devra L. Davis, Tony Fletcher A Retrospective Assessment of Mortality from the London Smog Episode of 1952: The Role of Influenza and Pollution // Environmental Health Perspective. — 2004. — B. 1. — T. 112. — C. 6-8;
33. Dongyoung Zhang, Junjuan Liu, Bingjun Li. Tackling Air Pollution in China – What do We Learn from the Great Smog of 1950s in LONDON. Sustainability 2014;
34. Ambient (outdoor) air quality and health. Fact sheet N313.  
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>;
35. Chouhan TR (2005). "The Unfolding of Bhopal Disaster". Journal of Loss Prevention in the process industry 18 (4–6): 205–208;
36. Eckerman, Ingrid (2005). The Bhopal Saga—Causes and Consequences of the World's Largest Industrial Disaster;
37. Hamill, Sean D. "Unveiling a Museum, a Pennsylvania Town Remembers the Smog That Killed 20", The New York Times, November 1, 2008;
38. [http://www.wmo.int/pages/themes/climate/international\\_wcc.php](http://www.wmo.int/pages/themes/climate/international_wcc.php);
39. Johnson, S.P., 1993. The Earth Summit: The United Nations Conference on Environment and Development (UNCED). Graham & Trotman/Martinus Nijhoff, London.;
40. Hass, P.M., Levy, M.A. and Parson, E.A., 1992. Appraising the Earth Summit: How should we judge UNCED's success, *Environment*, 34(8):12–36.;
41. Report of the United Nations Conference on Environment and Development (Rio de Janeiro, 3-14 June 1992);
42. [http://ozone.unep.org/new\\_site/en/vienna\\_convention.php](http://ozone.unep.org/new_site/en/vienna_convention.php);
43. [http://ozone.unep.org/new\\_site/en/montreal\\_protocol.php](http://ozone.unep.org/new_site/en/montreal_protocol.php);
44. 1979 Convention on Long-range Transboundary Air Pollution;
45. David J. Nowak, Robert Hoehn, Daniel E. Crane. Oxygen Production by Urban Trees in the United States. *Arboriculture&Urban Forestry* 2007. 33(3):220-226;
46. Directive 98/70/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 1998. Relating to the quality of the petrol and diesel fules and amending Council Directive 93/12/EEC;
47. AP1-EEA-32 Sulfur dioxide SO<sub>2</sub> emissions. European Environment Agency;

48. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. WHO/SDE/PHE/OEH/06.02;
49. “Вредные Химические Вещества. Неорганические Соединения Элементов I-IV Групп”
50. საქართველოს შრომის, ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის მინისტრის 2003 წლის 24 თებერვლის 38/ნ ბრძანება „გარემოს ხარისხობრივი მდგომარეობის ნორმების დამტკიცების შესახებ“.
51. Sheppard D. at al. Exercise increases sulfur dioxide induced bronchoconstriction in asthmatic subjects. American review of respiratory disease//1981, 123,, pp. 486-491.;
52. Nitrogen Oxides. Geneva, World Health Organisation, 1997 (Environmental Health Criteria, No. 188).
53. <http://www.environment.gov.au/resource/carbon-moNOide-co;>
54. Вредные химические вещества. Углеводороды галоген производные углеводородов. Справочник. Ленинград 1990.;
55. <http://www.epa.gov/iaq/voc.html;>
56. <http://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality/resources/glossary/nmvocs;>
57. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/eea-32-non-methane-volatile-1/assessment-1;>
58. Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution. European Centre of Environment and Health, Bonn Office, Joint WHO/Convention Task Force on Health Aspects of Air Pollution. WHO. 2006.;
59. <http://www.epa.gov/airscience/air-particulatematter.htm;>
60. Hsu A.; Emerson M.; Levy M.; de Sherbinin A.; Johnson L.; Malik O.; Schwartz J.; Jaiteh M. The 2014 Ebvironmental Performance Index; Yale Center for Environmental Law and Plocy: New Haven, CT, USA. Available online: [http://issuu.com/yaleepi/docs/2014\\_epi\\_report;](http://issuu.com/yaleepi/docs/2014_epi_report;)
61. Свинец в окружающей среде./ Под. Ред. В.В. Доброволского, М. “Наука”, 1987;
62. <http://www.lenntech.com/periodic/elements/pb.htm;>
63. <http://www.epa.gov/superfund/lead/health.htm;>
64. საქართველოს კანონი გარემოს დაცვის შესახებ;
65. საქართველოს კანონი გარემოზე ზემოქმედების ნებართვის შესახებ;

66. საქართველოს კანონი ატმოსფერული ჰაერის დაცვის შესახებ;
67. საქართველოს კანონი ეკოლოგიური ექსპერტიზის შესახებ;
68. კორძაია ქ., მეგრელიშვილი ნ. ქ. თბილისის ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების ძირითადი წყაროები და მისი განმსაზღვრელი ფაქტორები. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. საერთაშორისო სამეცნიერო ტექნიკური კონფერენცია „გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“ 2010, სექტემბერი, გვ. 330–333.;
69. კორძაია ქ., ცოტაძე გ., მეგრელიშვილი ნ. ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების სტაციონალური წყაროებიდან და ავტოტრანსპორტიდან ატმოსფერული ჰაერში მავნე ნივთიერებათა გაფრქვევების ყოველწლიური ანგარიში, საქართველოს გარემოს დაცვის სამინისტრო, გარემოს ინტეგრირებული მართვის დეპარტამენტის ატმოსფერული ჰაერის დაცვის სამმართველო, 2010. გვ.50. <http://moe.gov.ge>;
70. საქართველოს ეკონომიკის და მდგრადი განვითარების მინისტრის 2011 წლის 19 აგვისტოს #1–1/1569 ბრძანება ტექნიკური რეგლამენტის „ავტოტრანსპორტო საშუალებათა მიმართ წაყენებული ტექნიკური მოთხოვნები და ტესტირების მეთოდები, რომლებთან შესაბამისობის დადგენის მიზნითაც ტარდება გზისთვის ვარგისობაზე ტესტირება“ დამტკიცების შესახებ;
71. ქ. კორძაია, ნ. მეგრელიშვილი. თავი 2. ატმოსფერული ჰაერის ხარისხი. კარი II - ჰაერის დაცვა, საქართველოს ეროვნული მოხსენება გარემოს მდგომარეობის შესახებ, საქართველოს გარემოს დაცვის სამინისტრო, თბილისი, გამომცემლობა შპს „ტორი პლიუსი“ 2011. გვ. 25-33' <http://moe.gov.ge/> <http://soegeorgia.blogspot.com>;
72. საქართველოს გარემოს დაცვის მოქმედებათა მეორე ეროვნული პროგრამა 2012-2016. საქართველოს მთავრობის 2012 წლის 24 იანვრის # 127 განკარგულება;
73. კორძაია ქ. საქართველოს ატმოსფერული ჰაერის ხარისხობრივი მდგომარეობის შესწავლა და მისი დაბინძურებისგან დაცვის ზოგიერთი მეთოდი. თბილისი 2012;
74. საქართველოს გარემოსა და ბუნებრივი რესურსების სამინისტრო;
75. AEA Technology, Technical Assistance with Development of an Air Quality Management Plan and Health Effect Study for Tbilisi – Final Report, 2002;
76. საქართველოს მთავრობის 2004 წლის 31 დეკემბრის N124 დადგენილება „საავტომობილო ბენზინის ხარისხობრივი ნორმების შესახებ“;

77. საქართველოს მთავრობის 2005 წლის 28 დეკემბრის N238 დადგენილება „დიზელის საწვავის შემადგენლობის ნორმების, ანალიზის მეთოდებისა და მათი დანერგვის ღონისძიებათა შესახებ“;
78. The Cities Environment Reports on the Internet (CEROI) Programme. State of the Environment in Tbilisi 2000. <http://www.ceroi.net/reports/tbilisi>;
79. სსიპ გარემოს ეროვნული სააგენტო;
80. ბუდალაშვილი თ. ატმოსფერული ჰაერის ხარისხი საქართველოში და ჰაერის დაბინძურების წყაროები/საქართველოს სტრატეგიული კვლევებისა და განვითარების ცენტრი, 2007, ბიულეტენი N106. გვ.38-45;
81. საქართველოს გარემოსა და ბუნებრივი რესურსების დაცვის მინისტრის 2001 წლის 23 ოქტომბრის ბრძანება N 89 „ატმოსფერული ჰაერის მავნე ნივთიერებებით დაბინძურების ინდექსის გამოთვლის წესის დამტკიცების შესახებ“ (საკანონმდებლო მაცნე. 2001, 29 ოქტომბერი N 115);
82. საქართველოს გარემოსა და ბუნებრივი რესურსების დაცვის სამინისტროს 2001 წლის 23 ოქტომბრის ბრძანება N 90 „ატმოსფერული ჰაერის მავნე ნივთიერებებით დაბინძურების დონეების მიხედვით განსაკუთრებით დაბინძურებული, მაღალი დაბინძურების დაბინძურებული და დაბინძურების არმქონე კატეგორიის რეგიონებისათვის ატმოსფერული ჰაერის მავნე ნივთიერებებით დაბინძურების ინდექსების სიდიდეების დამტკიცების შესახებ“ (საკანონმდებლო მაცნე. 2001, 29 ოქტომბერი N115);
83. ატმოსფერული ჰაერის მავნე ნივთიერებებით დაბინძურების ინდექსის გამოთვლისა და ატმოსფერული ჰაერის მავნე ნივთიერებებით დაბინძურების დონეების მიხედვით განსაკუთრებით დაბინძურებული, მაღალი დაბინძურების, დაბინძურებული და დაბინძურების არმქონე კატეგორიის რეგიონებისათვის ატმოსფერული ჰაერის მავნე ნივთიერებებით დაბინძურების ინდექსების სიდიდეების ტექნიკური რეგლამენტი. საქართველოს მთავრობის 2013 წლის 31 დეკემბრის N 448 დადგენილება;
84. Павлова, Е.И. Экология транспорта: учеб. для вузов / Е.И. Павлова. – М.: Транспорт, 2000. – 248 с.;
85. Prins C., Environ. Pollut. Management. 1976, v.6, NO 2, p.51-54;

86. Трусова Е.А., Цодиков М.В., Сливинский Е.В., Марин В.П. Нефтехимия, 1995, т. 35, № 1, с. 3-24;
87. Попова Н.М. Катализаторы очистки газовых выбросов промышленных производств. Алма-Ата: Наука, Каз ССР, 1991, с.176.;
88. Ефремов В.Н., Моисеев М.М., Леонов В.Т. и др. Ж. прикл. химии, 1998, т. 71, вып. 3, с. 427.431.; Патент РФ № 2054959, 1996; № 2062140, 1996.;
89. L. Akhalbedashvili, Sh. Sidamonidze// Modified Natural Zeolites in Catalytic Clearing of Exhaust and Ejected Gases from Nitric and Carbon Oxides.. Proc. Of 13<sup>th</sup> International Conference on Zeolites, 8-13 July, 2001, Montpellier, France;
90. M. Iwamoto and H. Yahiro// Novel catalytic decomposition and reduction of NO. // Catalysis Today 22 (1994) 5-18.;
91. W. Grunert, N.W. Hayes, R.W. Joyner, E.S. Shpiro, M.R.H. Siddiqui and G.N. Baeva. //Journal of Physical Chemistry 98 (1994) 10832.;
92. J. Sarkany, J.L. d'Itri and W.M.H. Sachtler//Redox chemistry in excessively ion-exchanged Cu/Na-ZSM-6. // Catalysis Letters 16 (1992) 241-249.;
93. A.T. Bell.// Experimental and theoretical studies of NO decomposition and reduction over metal-exchanged ZSM-5. // Catalysis Today 38 (1997) 151-156;
94. A.T. Bell.// Experimental and theoretical studies of NO decomposition and reduction over metal-exchanged ZSM-5. // Catalysis Today 38 (1997) 151-156.;
95. S. Sato, Y. Yuu, H. Yahiro, N. Mizuno and M. Iwamoto.// Cu-ZSM-5 zeolite as highly active catalyst for removal of nitrogen monoxide from emission of diesel engines. //Applied Catalysis 70 (1991) L1-L5.;
96. H. Hamada, Y. Kintaichi, M. Sasaki, T. Ito and M. Tabata.// Highly selective reduction of nitrogen oxides with hydrocarbons over H-form zeolite catalysts in oxygen-rich atmospheres. // Applied Catalysis 64 (1990) L1-L4.;
97. M. Iwamoto, H. Yahiro, S. Shundo, Y. Yuu and N. Mizuno.// Influence of sulfur dioxide on catalytic removal of nitric oxide over copper ion-exchanged ZSM-5 zeolite. //Applied Catalysis 69 (1991) L15-L19;
98. Е.М. Садовская// Моделирование динамики изотопного переноса в гетерогенных каталитических реакциях. Автореферат диссертации на соискание ученой степени

- кандидата технических наук, Новосибирск, 2000; Миначев Х.М., Харламов В.В. Окислительно-восстановительный катализ на цеолитах. М., Наука, 1990.;
99. L. Akhalbedashvili, Sh. Sidamonidze The mode of catalyst reception for complete neutralization from toxic nitrogen and carbon oxides. "Saqpatenti", 2009, useful model N 9353/02; В 01 J 8.02.;
100. Ш.И.Сидамонидзе, Г.В.Цицишвили, Л.Г.Ахалбедашвили, Б.Г.Чанкветадзе. Восстановление окиси азота на природном клиноптилолите и его катионмодифицированных формах. Сообщ. АН ГССР, 1980, 100, №2, 345-348;
101. Д.Брек. Цеолитовые молекулярные сита, «Мир», Москва, 1976;
102. Дж.В.Смит. Структура цеолитов. В кн. «Химия цеолитов и катализ на цеолитах». Под ред. Дж.Рабо. «Мир», 1980, с.11;
103. A.Corma, D.Kumar. Micro- and Meso-Porous Materials as Catalysts. In "New Trends in Material Chemistry". NATO ASI, vol. 498, 1997, p.403;
104. Цицишвили Г.В., Андроникашвили Т.Г., Киров Г.Н., Филизова Л.Д. Природные цеолиты. Москва, "Наука", 1985, 223 с.;
105. Романовский Б.В. Соединения включения цеолитов: синтез, физико-химические свойства и применение как катализаторов. Кинетика и катализ, 1999, т.40, №5, с.742-751;
106. Meier W.M. Zeolites and Zeolite-Like Materials. Pure and Appl. Chem., 1986, v.56, No 10, p.1323-1328;
107. Armbruster T. Studies in Surface Science and Catalysis. 2001, 135, p.13-17;
108. Armbruster T.; Клиноптилолит. Челищев Н.В., Беренштейн Б.Г. М., ОЦНТИ, ВИЗИС, 1974; Armbruster T. A dehydration mechanism of clinoptilolite and heulandite. Am.Mineral, 78 (1993) 260;
109. Smyth J.R., Spaid A. T., and David L. B. Crystal structures of a natural and a Cs-exchanged clinoptilolite Am.Mineral, 75 (1990) 5;
110. Choo H., Prakash A., Park S., Kevan L. EPR and Electron Spin Echo Modulation Studies on the Formation and Adsorbate Interactions of Ni(I) in Synthetic Clinoptilolite. J. Phys. Chem. B.1999, v.103, p.6193-6199;



111. Бобров Н.Н., Боресков Г.К., Ионе К.Г., Терлецких А., Шестакова Н. А. Каталитическая активность железосодержащих цеолитов в отношении реакции окисления окиси углерода. Кинетика и катализ, **15**, 2 (1974) 413-418; Кристаллические алюмосилкаты в катализе. Тагиев В.Б., Баку, ЭЛМ, 1989;
112. Миначев Х.М. Создание и исследование цеолитных каталитических систем для превращения низкомолекулярных углеводородов в ценные химические продукты. Известия АР. Сер.хим., 1998, №6, с. 1071;
113. 81, Green G.J., Chikabi D.S., Pennington N.J. Zeolitic Copper Catalyst. Pat. USA NO4962075, 1990;
114. Breck D.W., Milton R.N. Pat. USA NO 3013987, 1961;
115. Миначев Х.М., Тагиев Д.Б., Харламов В.В. Окислительное дегидрирование циклогексана в циклогексен на катионных формах цеолитов. Изв.АН СССР, сер. Хим., 8 (1977) 1931-1934;
116. Рогинский С.З., Альтшулер О.В., Виноградов О. М., Каталитические свойства цеолитов, содержащих катионы переходных металлов в реакции окислительно-восстановительного типа. ДАН СССР, **196**, 4 (1971) с.872-875;
117. Слинкин А.А. Изолированные  $\text{Cu}^{2+}$  в каналах цеолитов. Кинетика и катализ, 1992, №3, с. 618; I.Kiricsi, H.Forster,G.Tasi, and J.B.Nagy. Generation, Characterization, and Transformation of Unsaturated Carbenium Ions in Zeolites. Chem. Rev., **99** (1999) 2085-2114;
118. A.Godelitsas, D. Chariston, J.Dwyer, C.Tsipis, A. Filippidis, E. Pavlidou. Micropor. Mezopor. Mater. 33 (1999) 77.;
119. D.Zhao, R.Szoztak, L.Kevan. Electron Spin Resonance and Electron Spin Echo Modulation Spectroscopic Studies of Cupric Ions. J.Phys. Chem., B101 (1997) 5382-5390;
120. Миначев Х.М., Харламов В.В. Окислительно-восстановительный катализ на цеолитах. М., Наука, 1990;
121. Скалкина Л.В., Колчин И.К., Марголис Л.Я., Ермоленко Н.Ф. Железосодержащие цеолиты – катализаторы глубокого окисления пропилена. Изв. АН СССР, сер. Хим., 5 (1970) 980-984;

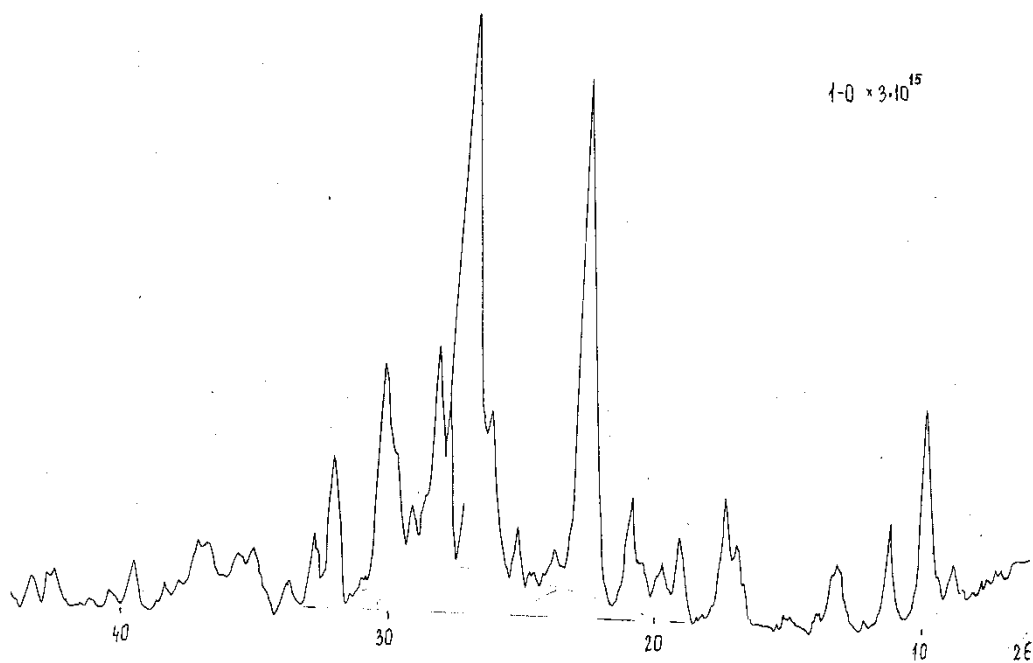
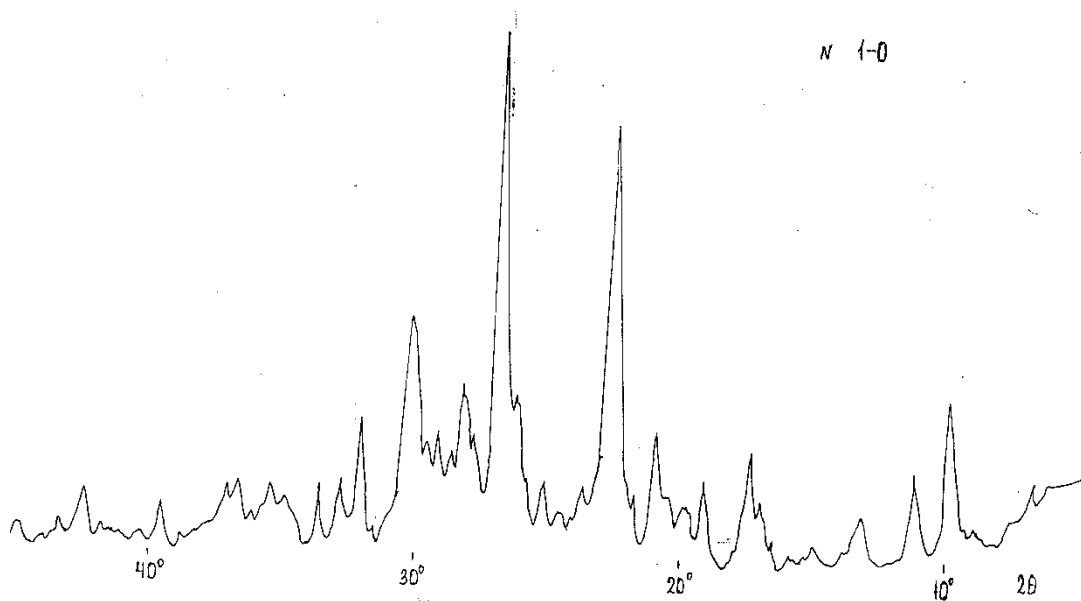
122. B.R.Wood, J.A.Reimer, A.T.Bell, M.T.Janicke, K.C. Ott. Methanol formation on Fe/Al-MFI via the oxidation of methane by nitrous oxide. *J. Catal.*, **225** (2004) 300-306;
123. Delgass W.N., Garten R.L., Boudart M. A Mossbauer Effects of Exchangeable Ferrous Ions in Y Zeolite and Dowex 50 Resin. *J. Chem. Phys.*, **50**, 11 (1970) 4603-4608;
124. Л.Г.Ахалбедашвили Г.Г.Гегиадзе, О.И.Даварашвили, Н.П.Кекелидзе, Л.Г.Ахалбедашвили Ш.И.Сидамонидзе, В.А.Алиев. О возможности применения медьсодержащего клиноптилолита для очистки выхлопных и выбросных газов. *Азербайджанский химический журнал*, 2 (2001), 55-59;
125. Боресков Г.К., Бобров Н.Н., Максимов Н.Г., Ануфриенко В.Ф., Ионе К.Г.,Шестакова Н. А. Каталитическая активность медьсодержащих цеолитов в отношении реакции окисления СО. *ДАН СССР*, **202**, 4 (1971) 887-890;
126. Ахалбедашвили Л.Г. Каталитические и ионообменные свойства модифицированных цеолитов и сверхпроводящих купратов. Докт. дисс., Тбилиси, ТГУ, 2006, 180 с;
127. Альтшулер О.В., Цитовская И.Л., Виноградова О.М., Селезнев В.А. Адсорбция и окисление этилена на цеолитах. *Изв. АН СССР, сер. хим.*, 1972, №10, с.2145-2150;
128. First J.C., Holland H.B. Catalytic Oxidation of Methane on Zeolites Containing Rh, Ir, Pd and Pt. *Trans. Faraday Soc.* 1969, v.65, p.1891-1896;
129. Селезнев В.А. Каталитическая активность цеолитов, содержащих ионы переходных металлов IV периода, в реакции окисления окиси углерода. *Изв. Отд. хим. наук Болг. АН.* 1973, т.6, №1, с. 155-159;
130. R.A.van Santen, R.J. Gelten. Introduction to molecular heterogeneous catalysis. In *New Trends in Molecular Chemistry. NATO ASI Series*, v. 498, 1997, pp. 345-363;
131. J. Sarkany, J.L. d'Altri and W.M.H. Sachtler//Redox chemistry in excessively ion-exchanged Cu/Na-ZSM-5. // *Catalysis Letters* 16 (1992) 241-249; *Алхазов Т.Г., Гасан-Заде Г.З.* Проблемы кинетики и катализа, 1981, № 18, с. 103.119;
132. Lu CY, Tseng HH, Wey MY, Chuang KH and M. Tabata. *Applied Catalysis*, 64 (1990) L1-L4.;
133. Алтынбекова К.А., Соколова Л.А., Космамбетова Г.Р. В сб.: Каталитическая очистка газов. *Алма-ата:Наука*, 1985, ч.IV, с.7;
134. Кубасов А.А. Цеолиты в катализе: сегодня и завтра, 2000), *ХИМИЯ*;

135. <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/1035.html>;
136. J. Sarkany, J.L. d'Altri and W.M.H. Sachtler//Redox chemistry in excessively ion-exchanged Cu/Na-ZSM-5. // Catalysis Letters 16 (1992) 241-249;
137. Ш.И.Сидамонидзе, Г.В.Цицишвили, Л.Г.Ахалбедашвили Б.Г.Чанкветадзе. Способ очистки газов от окислов азота и окиси углерода. Авт.свид.СССР №831166, 21.I.1981г., В 01 08/02;
138. Sh.Sidamonidze,L.Akhalbedashvili, B.Chankvetadze. Catalytic Activity of Clinoptilolite in Nitrogen Oxide Conversion/ Vestn. Slov. Kem.Drus., **32**, 3 (1985) 263-272;
139. Доронкин Д.Е. Fe-цеолитные катализаторы селективного восстановления NO аммиаком., Авт. канд.дисс., Москва, 2010;
140. Л.Г.Ахалбедашвили, Г.Г.Гегиадзе, О.И.Даварашвили, Н.П.Кекелидзе, Ш.И.Сидамонидзе, В.А.Алиев. О возможности применения медьсодержащего клиноптилолита для очистки выхлопных и выбросных газов. Азербайджанский химический журнал. №2, 2001, 55-59;
141. Алхазов Т.Г., Гасан-заде Г.З., Османов М.Ю., Султанов М.Ю. Кинетика и катализ. т.16, №13, 1975, 1230-1238; Глазнева Г.В. Дисс. канд.хим.наук. Новосибирск. Ин-т катализа СО АН СССР, 1979, 180с.;
142. Алхазов Т.Г., Гасан-заде Г.З., Османов М.Ю., Султанов М.Ю. Кинетика и катализ. т.16, №13, 1975, 1230-1238;
143. Н.М. Попова. Катализаторы очистки газовых выбросов промышленных производств. Москва, Химия, 1991;
144. K. Pierloot, A. Delabie, R.Schoonheydt Physical Chemistry Chemical Physics, 3 (2001)11, pp 2174-2183; William M. Ames and Sarah C. Larsen J. Phys. Chem. A, 2010, 114 (1), pp 589–594;
145. Михайкин Г.М. Жидомиров В.Б., Казанский. Изучение методом ЭПР и оптической спектроскопии мест локализации катионов переходных металлов в синтетических цеолитах. Успехи химии, т.XLI (41) вып. 5., 1972. с.909-939;
146. J.A.Sullivan, J. Cunningham, M.A.Morris, K.Keneavey. Conditions in which Cu-ZSM5 outperforms supported vanadia catalysts in SCR of NO by NH<sub>3</sub>./ Appl.Catal. B. – 1995, vol.7, p.137-151;

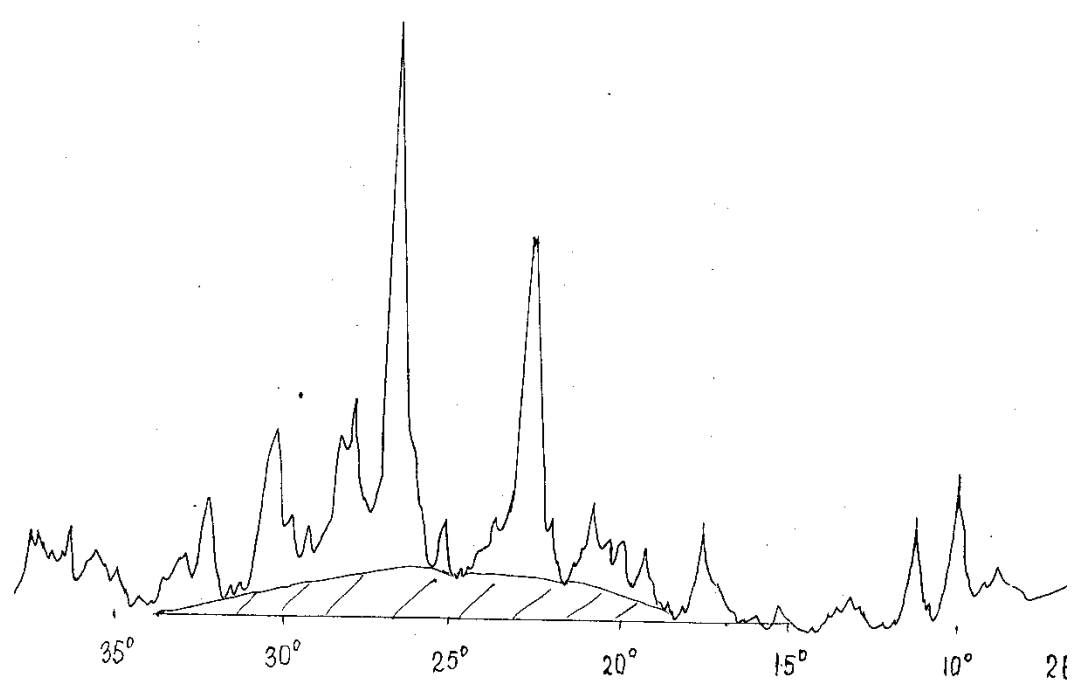
147. O. Zhu. R.M. van Teeffelen, R.A. van Santen, E.J.M. Hensen. Effect of high-temperature treatment in Fe/ZSM-5 prepared by chemical vapor deposition of FeCl<sub>3</sub>. J.Catal.-2004-vol.221, p.575-583;
148. D.E. Doronkin, A.V. Kucherov, G.O.Bragina et.al., Nature of active sites of Fe-beta catalyst for NO-SCR by NH<sub>3</sub> Top.Catal. 2009, vol.52, N13, p.1728-1733;
149. Breck D. W., Milton R.M. Pat. USA N3013987, 1961г.;
150. Рогинский С.З., Альтшулер О.В., Виноградов О. М., Каталитические свойства цеолитов, содержащих катионы переходных металлов в реакции окислительно-восстановительного типа. ДАН СССР, **196**, 4 (1971) с.872-875;
151. Сидамонидзе Ш.И., Цицишвили Г.В., Хеладзе Т.А. Исследование влияния природы замещенных катионов и структуры цеолитов на каталитическую активность. ДАН СССР, **234**, 6 (1977) с.1387-1390;
152. Химия цеолитов и катализ на цеолитах. Под ред. Дж.Рабо. Москва, 1980;
153. Ward J.W. The nature of Active Sites on Zeolites. J.Catal., **22**, 2 (1971) 237-244;
154. Грязнова З.В., Нефедова А.Р., Ахалбедашвили Л.Г. Окислительное дегидрирование метанола на цеолитных катализаторах. – В сб. “Катализ”. Изд. Московского Университета, 1987, 247-261;
155. Firth J.C. and Holland H.B. Catalytic oxidation of Methane on Zeolites Containing Rhodium, Iridium, Palladium and Platinum. Trans. Far. Soc., **59**, 55 (1979) 1891-1896;
156. Gentry S.J., Rudham R., and Sanders M.K. The Catalytic Properties of Zeolite X Containing Transition Metal Ions. Propylene Oxidation J.Catal., **35**, 3 (1974) 376-382;
157. Миначев Х.М., Гаранин В.И., Исаков Я.И. Применение синтетических цеолитов в катализе. Успехи химии, **35**, 12 (1966) 2151-2177;
158. Миначев Х.М. Катализ цеолитами. Кинетика и катализ, **11**, 2 (1970) 413-421; Миначев Х.М., Харламов В.В. Окислительно-восстановительный катализ на цеолитах. М., Наука, 1990;
159. Топчиева К.В., Хо Ши Тхоанг. Активность и физико-химические свойства высококремнистых цеолитов и цеолитсодержащих катализаторов. МГУ, 1976, 165 с.;
160. Mochida J., Hayata Sh., Kato A., Seiyama T., Catalytic Oxidation over Molecular Sieves Ion Exchanged with Transition Metal Ions III. . J.Catal., **23**, 1 (1971) 31-37;

161. B. Witcherlova. Structural analysis of potential active sites in metallo-zeolites for selective catalytic reduction of NO. *Topics in Catal.*, **28**, 1-4 (2004) 131-139;
162. L.Akhalbedashvili, Sh. Sidamonidze. Modified Natural Zeolites in Catalytic Clearing of Exhaust and Ejected Gases from Nitric and Carbon Oxides. *Proc. Of 13<sup>th</sup> International Conference on Zeolites*, 8-13 July, 2001, Montpellier, France;
163. А.А.Мурадян, Т.А.Гарибян, М.Г.Арутюнян. Исследование методом ЭПР процесса взаимодействия CO, CO<sub>2</sub> и их смесей с кислородом. *Кинетика и катализ*, 1992, т.33, №3, 605-610.

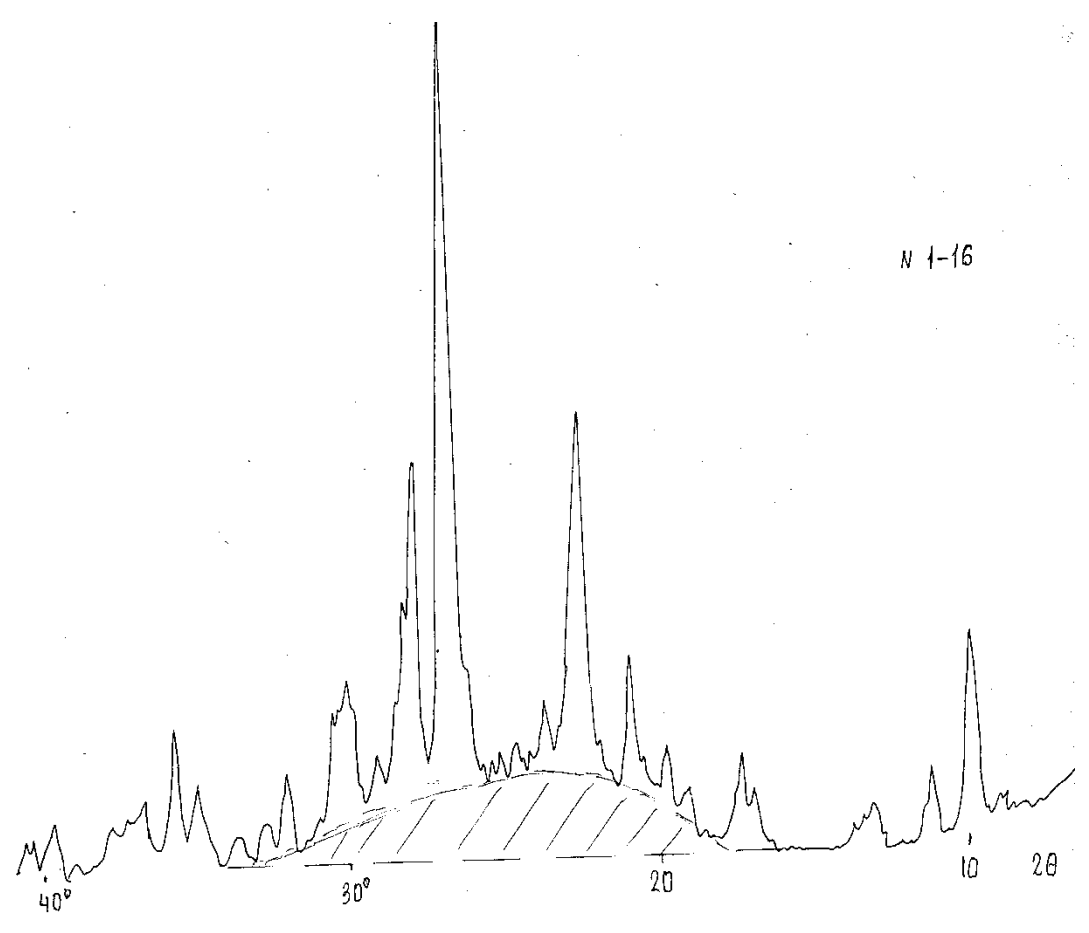
შესწავლილი ცეოლითური ნიმუშების რენტგენოგრამები

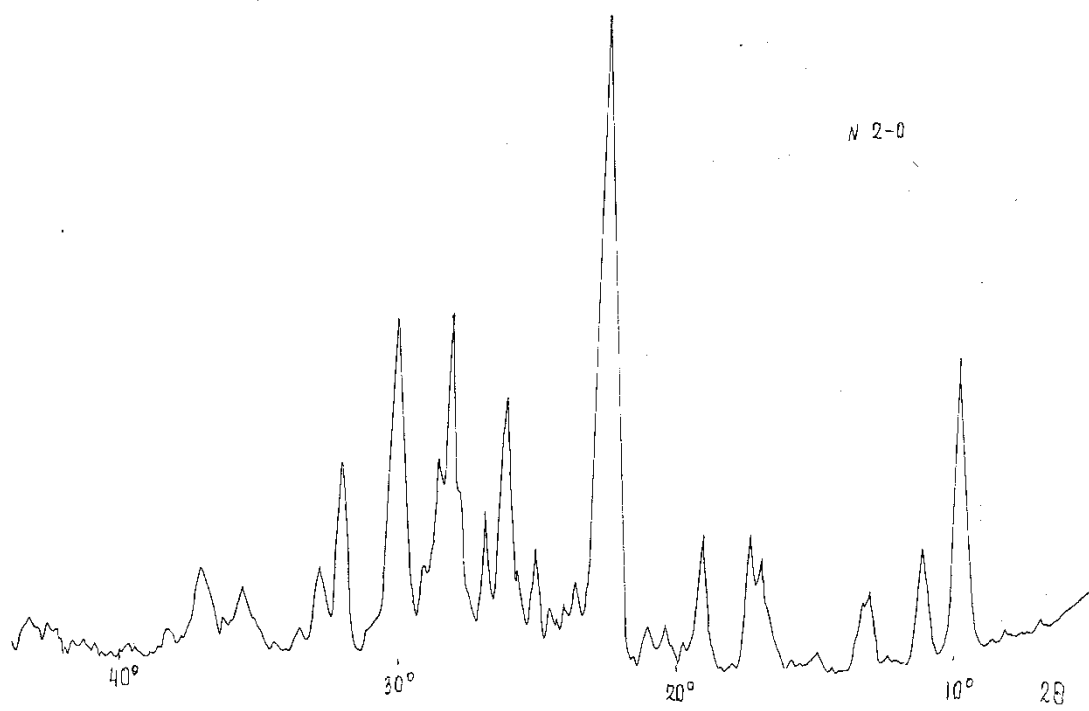
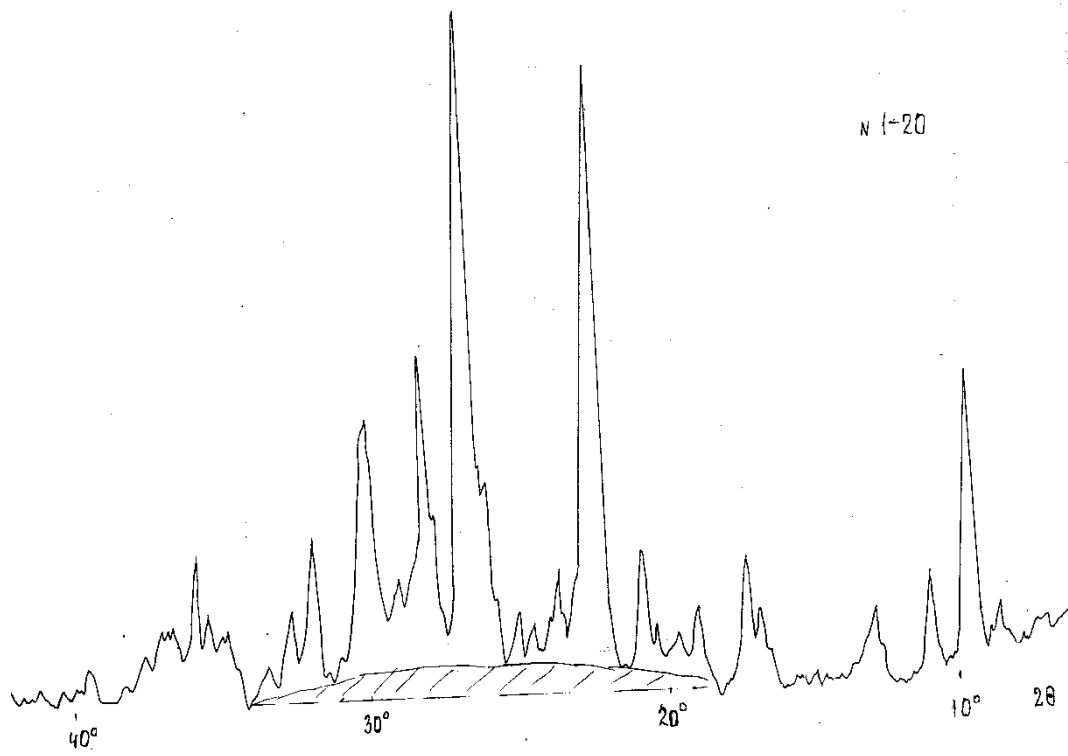


N 1-1



N 1-16







2-1

