

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

**RADİONUKLİDLƏRLƏ ÇİRKLƏNMİŞ TORPAQLARIN
TƏMİZLƏNMƏSİ PROSESLƏRİNİN TƏDQIQI**

İxtisas: 2305.01 – Nüvə kimyası

Elm sahəsi: **Kimya**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş

DİSSERTASIYA

İddiaçı: _____ **Həcər Nohbala qızı Şirəliyeva**

Elmi rəhbər: _____ Kimya üzrə elmlər doktoru, dosent
Xaqani Fərzulla oğlu Məmmədov

BAKI – 2023

MÜNDƏRİCAT

GİRİŞ	5
I FƏSİL	
ƏDƏBİYYAT İCMALI	15
1.1. Yer kürəsinin formalaşması, evolyusiya nəticəsində yaranmış ekosistemlər və təbii proseslərin tarazlıq durumu. Planetin qeyri-antropogen çirklənmə mənbələri.....	15
1.2. Böyük məştblı texnoloji qəzalar	16
1.3. Nüvə reaktorlarında baş vermiş texnoloji qəzaların yaratdıqları problemlərin tədqiqi.....	18
1.4. Ətraf mühit obyektlərinin radioaktiv maddələrlə, nüvə materialı tullantıları ilə çirklənməsinin mənfi təsirlərinin neytrallaşdırılması və ya zəiflədilməsi üsulları	24
1.5. Ətraf mühit obyektlərinin radioaktiv tullantılarla çirklənməsinin mənfi təsirlərinin neytrallaşdırılması və ya zəiflədilməsi məqsədilə aparılan elmi tədqiqat işləri	35
1.6. Nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpaqların mövcud təmizləmə üsullarından daha effektiv yeni dezaktivasiya üsulunun işlənilib hazırlanması üçün sistemətik tədqiqatlar aparılması istiqamətlərinin əsaslandırılması.....	50
II FƏSİL	
TƏCRÜBƏLƏRİN METODİKASI	52
2.1. Radiometrik ölçmə cihazları. Radioaktiv şüalanma mənbəyinin axtarışı, ətraf mühit obyektlərində müxtəlif növ radioaktiv şüalanmaların təyini və radiomonitorinqlər aparılması metodikası	52
2.2. Tədqiqatlar üçün nümunələr götürülməsi və nümunələrin hazırlanması	56
2.3. Sertifikatlaşdırılmış nöqtəvi mənbələrin aktivliklərinin analiz vaxtı üçün radioaktiv parçalanma qanununa əsasən qiymətinin hesablanması və qamma spektroskopiyaya piklərinin intensivliklərinə uyğun kalibrlənməsi.....	57
2.4. Qamma spektroskopik analizlə tədqiq edilən nümunələrdə radioaktiv elementlərin, onların izotoplarının və aktivliklərinin təyini. Radioaktiv şüalanmanın	

udulan doza gücünün və ionlaşdırıcı şüalanma mənbələrinin aktivliklərinin təyini üçün aparılmış təcrübələrin xətasının ən kiçik kvadratlar metodu ilə hesablanması.	66
2.5. 2-ci fəsildə aparılmış araşdırmaların nəticələri.....	68

III FƏSİL

ADSORBENTLƏRDƏ RADİONUKLİDLƏRİN ADSORBSİYASI QANUNAUYĞUNLUQLARININ ÖYRƏNİLMƏSİ.....	69
--	-----------

3.1. Ölkə torpaqlarında aparılmış radiomonitorinqlərin nəticələrinin müqayisəli analizi	69
---	----

3.2. Nüvə materialı məhlullarının hazırlanması. Təbii radionuklidlərlə zəngin ərazilərdən götürülmüş torpaq nümunələrinin kimyəvi və qamma spektroskopik analizlər üçün hazırlanması	73
--	----

3.3. Radionuklidlərlə zəngin torpaq nümunələri ekstraktlarının tərkibi, təbii radioizotopların aktivliklərinin təyini. Radionuklidlərin torpaqdan ayrılması proseslərinin tədqiqi	74
---	----

3.4. Nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpaq ekstraktlarından (nüvə materialı məhlullarından) radioizotopların adsorbentlərdə udulmasının tədqiqi.....	87
--	----

3.4.1. Uranil nitrat məhlullarından uran izotoplarının aktivləşdirilmiş dənəvər kömürdə adsorbsiyasının tədqiqi	90
---	----

3.4.2. Uranil nitrat məhlullarından uran izotoplarının dənəvər antrasit kütləsində adsorbsiyasının tədqiqi	92
--	----

3.4.3. Uranil nitrat məhlullarından uran izotoplarının aktiv çınqıllı qum kütləsində adsorbsiyasının tədqiqi.....	94
---	----

3.4.4. Uranil nitrat məhlullarından uran izotoplarının ion-mübadiləsi qətranında (DOWEX HCR S/S kationitində) adsorbsiyasının tədqiqi	96
---	----

3.5. Ölkə ərazisində geniş yayılmış xammalların radioizotopların adsorbsiyası proseslərində tətbiqi imkanlarının müzakirəsi	98
---	----

3.6. 3-cü fəsildə şərh edilmiş tədqiqatların yekun nəticələri	115
---	-----

IV FƏSİL

NÜVƏ MATERIALI TULLANTILARI İLƏ ÇİRKLƏNMİŞ TORPAQLARIN RADIOİZOTOPLARDAN TƏMİZLƏNMƏSİ..... 117

4.1. Nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpaq nümunələrinin nitrat turşusu məhlulları ilə ekstraksiyası..... 118

4.2. Nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpaq nümunəsinin natrium qələvisi məhlulları ilə ekstraksiyası 122

4.3. Nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpaq nümunəsinin nitrat və xlorid turşuları məhlulları qarışığı ilə ekstraksiyası 125

4.4. Nəticələrin müzakirəsi. Nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpaqların yeni işlənilib hazırlanmış dezaktivasiya metodunun mövcud təmizlənmə metodları ilə müqayisəli analizi..... 129

4.5. Nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpağın işlənilib hazırlanmış yeni təmizlənmə metodunun tətbiqinin effektivliyinin texniki-iqtisadi əsaslandırılması 133

4.6. Nüvə reaktorlarında baş vermiş qəzalar nəticəsində nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş ərazilərin təmizlənməsi üçün işlənilib hazırlanmış yeni dezaktivasiya metodunun tətbiqi mümkünlüyünün qiymətləndirilməsi..... 140

4.7. 4-cü fəsildə şərh edilmiş tədqiqatların nəticələri 141

NƏTİCƏ..... 143

ƏDƏBİYYAT MƏLUMATLARININ SİYAHISI 145

GİRİŞ

Qeyri-üzvi və üzvi mənşəli müxtəlif kimyəvi maddələrin, mikroorqanizmlərin biosistemlərdə baş verən proseslərdə iştirakı ümumi kimya, təbabət və biologiya elmlərinin nisbətən yeni formalaşmış çoxsaylı sahələri tərəfindən sistemativ olaraq öyrənilir. Canlı orqanizmləri əhatə edən ətraf mühit çoxsaylı ekoloji faktorlarla, yəni canlılara birbaşa və ya dolaylı təsir edən və fasiləsiz dəyişən şərait müxtəliflikləri ilə xarakterizə olunur. Mühüm əhəmiyyətli ekoloji faktorlardan biri də ionlaşdırıcı radiasiyadır. Radiasiya ekologiyası adlanan ekologiya sahəsində radionuklidlərin, yəni radioaktiv izotopların biosferdə paylanması, akkumulyasiyası, miqrasiyası, həmçinin ionlaşdırıcı radiasiyanın canlı orqanizmlərə və ekosistemlərə təsiri öyrənilir. İonlaşdırıcı şüaların təsiri biosferdəki bütün həyat əhəmiyyətli proseslərdə müşahidə olunur. İonlaşdırıcı radiasiyanın Yer kürəsi səthində həyatın yaranmasında, radiorezistent orqanizmlərin inkişafında mühüm rol oynamasıyla yanaşı, bu şüalanmanın böyük dozalarının zəif radiasiyaya davamlığı ilə seçilən orqanizmlərin kütləvi məhvəinə səbəb olması halları da məlumdur [58, s.3; s.48].

Antropogen fəlakətlər sırasında nüvə və radioloji qəzalar əhali və ətraf mühit üçün daha təhlükəli nəticələrlə xarakterizə olunurlar. Zəlzələlərin gücü Rixter şkalası ilə qiymətləndirildiyi kimi nüvə və radioloji qəzaların ağırlıq dərəcəsi, yəni radioaktiv maddələrin və nüvə materiallarının ətraf mühitə yayılması məsələsi Atom Enerjisi üzrə Beynəlxalq Agentliyin (AEBA-nın) İNES (İnternational Nuclear Event Sevale /İNES/, Nüvə Hadisələrinin Beynəlxalq Şkalası /NHBS/) şkalası ilə qiymətləndirilir. Bu şkala üzrə radioaktiv tullantıların 1-3 səviyyələri ilə xarakterizə olunan radiasiya yayılması halları az təhlükəli nüvə və ya radioloji hadisə (insident) kimi, 4-7 səviyyələrində baş vermiş fəvqəladə hallar isə nüvə və ya radioloji qəzalar kimi qiymətləndirirlər. Şkalanın səviyyələri (səviyyə 1 “radioloji anomaliya”, səviyyə 2 “radioloji hadisə”, səviyyə 3 “ciddi radioloji hadisə”, səviyyə 4 “lokal nəticəli qəza”, səviyyə 5 “çoxsaylı təhlükələr yaranması ilə müşayiət olunan qəza”, səviyyə 6 “ciddi qəza”, səviyyə 7 “nəhəng qəza”) insidentin məsələsini xarakterizə edir. Şkalanın hər səviyyəsi ilə xarakterizə edilən nüvə və ya radioloji hadisənin

masştabı özündən əvvəlkindən (məsələn: 3 səviyyəsi 2 səviyyəsindən) təqribən 10 dəfəyədək böyükdür. Radiasiya təhlükəsizliyi nöqtəyi nəzərindən əhəmiyyətsiz hadisələr texnoloji rejim intervalından müvəqqəti “sürüşmələr” adlandırılır və İNES şkalasından aşağı səviyyə “0” kimi qiymətləndirilir. 1990-cı ildən İNES şkalası AES-lərdə baş verən qəza hadisələrinin qiymətləndirilməsi üçün, daha sonra həmçinin mülki nüvə sənayesində baş verən hadisələrin qiymətləndirilməsi üçün və 2006-cı ildən radioaktiv materialların və şüalanma mənbələrinin daşınması, saxlanması və istismarı ilə əlaqəli radiasiya təhlükəsizliyi nöqtəyi nəzərindən əhəmiyyətli hadisələrin qiymətləndirilməsi üçün də tətbiq edilməyə başlandı. İNES şkalasının hazırkı variantı 1 iyul 2008-ci il tarixdə AEBA-nın 60-dan artıq üzv-dövlətləri tərəfindən qəbul edilmişdir [29, s.1-5].

12 dekabr 1952-ci ildə Kanadanın Çok-River laboratoriyasında reaktorun kritik rejimi ötməsi nəticəsində aktiv zonanın qismən əriməsi baş verdi (İNES şkalası ilə 5-ci səviyyəli qəza). 29 sentyabr 1957-ci ildə Kıştım (SSRİ) qəzasında böyük miqdarda radioaktiv tullantıların ətrafa səpilməsi baş verdi (İNES şkalası ilə 6-cı səviyyəli qəza). 10 oktyabr 1957-ci ildə Uindskeyldə (Böyük Britaniya) reaktorda baş vermiş qəza nəticəsində radioaktiv maddələrin ətraf ərazilərə səpilməsi baş verdi (5-ci səviyyəli qəza). 3 yanvar 1961-ci ildə ABŞ-da SL-1 təcrübə reaktorunda başvermiş qəzada 3 TBq aktivliyə malik radioaktiv yod atmosfərə və külli miqdarda radioaktiv maddə ətraf ərazilərə səpildi (5-ci səviyyəli qəza). 24 iyul 1964-cü ildə ABŞ Wood River Junction zavodunda baş vermiş qəzada səhvən istifadə edilmiş qatı uranil nitrat məhlulu ətrafa səpildi (4-cü səviyyəli qəza). 17 yanvar 1966-cı il tarixdə B-52 bombardmançı təyyarəsinin (ABŞ) yanacaq təyyarəsi ilə toqquşması nəticəsində Palamaresdə (İspaniya) 2 ədəd atom bombaları dağıldı və radioaktiv maddə ətraf ərazilərə səpildi (hərbi təyinatlı nüvə silahları İNES ilə qiymətləndirilmir). 21 yanvar 1968-ci il tarixdə B-52 bombardmançı təyyarəsinin (ABŞ) Qrenlandiyada qəzaya uğraması nəticəsində istilik-nüvə bombaları dağıldı və radioaktiv maddə ətraf ərazilərə səpildi (hərbi təyinatlı nüvə silahları İNES ilə qiymətləndirilmir). 18 yanvar 1970-ci il tarixdə “Krasnoe Sormovo” zavodunda (SSRİ) və 30 noyabr 1975-ci il tarixdə Leninqrada AES-də reaktor qəzalarında radioaktiv maddələrin ətraf ərazilərə

səpilməsi (4-cü səviyyəli qəza), 28 mart 1979-cu ildə Tri-Mayl-Aylend (ABŞ) və 10 avqust 1985-ci ildə Çajma buxtasında AES aktiv zonasının partlayışı (5-ci səviyyəli qəza), 26 aprel 1986-cı il tarixdə Çernobil AES-də partlayış, aktiv zonanın əriməsi və içərisindəki nüvə yanacağıının ətraf rayonlara səpilməsi (7-ci səviyyəli nəhəng qəza), 6 aprel 1987-ci il tarixdə Sibir kimya kombinatının radiokimya zavodunda (RF) qəza zamanı uranil nitratin ətrafa səpilməsi (4-cü səviyyəli qəza), 11 mart 2011-ci il tarixdə zəlzələ və sunami nəticəsində Fukusima-1 AES-nin (Yaponiya) 1, 2 və 3-cü bloklarının qızması, aktiv zonasının əriməsi və radioaktiv maddənin ətraf ərazilərə və okean sularına yayılması (7-ci səviyyəli nəhəng qəza) baş verdi [29, s.1-5].

Göründüyü kimi baş vermiş qəzalar arasında məşabının böyüklüyünə görə Çernobil AES-də və Fukusima-1 AES-də baş vermiş partlayışlar xüsusilə fərqlənir.

26 aprel 1986-cı il tarixdə Çernobil AES-də reaktorun davamlı işləməsini təmin edən proseslərin (neytronların təsiri altında nüvə yanacağıının parçalanması, istilik ayrılması, istiliyin xüsusi istilik mübadilə sistemi ilə ayrılması, reaksiya sürətinin sabitliyini təmin etmək məqsədilə yaranmış neytron selinin miqdarının aktiv zonaya zəruri sayda və dərinlikdə daxil edilən xüsusi formalı kömür elementlərlə nizamlanması, istilik ayırıcı elementlərin vaxtında yeniləri ilə dəyişdirilməsi və s.) tarazlıq durumunun pozulması səbəbindən istilik ayrılması kritik rejimi aşmış, reaktorun işçi, aktiv zonası ərimiş və baş verən partlayış nəticəsində külli miqdarda radioaktiv maddələr atmosfərə və ətraf ərazilərə yayılmışdır [27, s.1-4].

11 mart 2011-ci il tarixdə baş vermiş zəlzələdən sonra yaranmış güclü sunami nəticəsində Fukusima-1 AES-nin elektrik enerjisi ilə qidalandırılması kəsildiyindən və soyutma sisteminin fəaliyyəti dayandığından AES-nin 1, 2 və 3-cü enerji bloklarında reaktorlar kritik həddən artıq qızmış, aktiv zonalar ərimiş, 1, 2 və 4-cü bloklarında hidrogen yığılması və partlayıcı qarışığın partlaması nəticəsində içərilərindəki radioaktiv maddələr ətrafa yayılmış və okean sularına qarışmışdır [25, s.1].

Yuxarıda sadalanmış qəzalar insan sivilizasiyası tarixində baş vermiş antropogen mənşəli qəza hadisələri xronologiyasının əsas, lakin say etibarilə yalnız bir qismidir. Yer kürəsində ziyanlı birləşmələrin, radionuklidlərin miqdarının artması ilə (hərəkət edən xüsusilə Yer kürəsinin kosmik molekulyar buludlardan keçdiyi

zamanlar) canlı aləmdə mutagenез prosesinin sürətinin artması halları məlumdur. Bu proseslər bir qayda olaraq bir-çox orqanizmlərin məhvi, radiorezistensliyi ilə fərqlənən digər qrup orqanizmlərin isə mutasiyası ilə müşayət olunmuşdur [58, s.48-52].

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi:

Böyük miqyaslı nüvə qəzaları baş vermiş AES-lərin ətrafında radioaktiv tullantılarla çirklənmiş böyük ərazilərin köçürülmüş sakinlər üçün və xüsusilə AES-lərin işçi personalı üçün təhlükəsiz vəziyyətə gətirilməsi məqsədilə təcili dezaktivasiya tədbirlərinin aparılması zərurəti yaranır. Qeyd edilmiş tədbirlərin effektivliyinin təmin edilməsi məqsədilə çoxsaylı elmi-tədqiqat işlərinin aparılması nüvə potensialına malik ölkələrdə bu gün də davam etdirilir, mühüm əhəmiyyətli nəticələrdən çox vaxt istehsalatda və dezaktivasiya proseslərinin aparılmasında istifadə edilir [32, s.1-4; 33, s.1; 34, s.1-6; 35, s.1-7; 2, s.163; 7, s.206; 10, s.318; 17, s.536; 19, s.58; 21, s.170; 31, s.66; 56, s.42; 57, s.997; 60, s.728].

İndiyədək radionuklidlərlə çirklənmiş torpaqların karantin qaydalarına uyğun olaraq kənar şəxslərin daxil olmaması məqsədilə xəbərdaredici işarələrlə və ayırıcı çəpərlə əhatələnməsi, səthi çirklənmə hallarında dezaktivasiya tədbirlərinin həyata keçirilməsi, böyük zərurət yarandığı halda kimyəvi tullantılarla ifrat çirklənmiş lokal torpaq sahələrinin üst layının tam köçürülməsi və digər təmiz torpaq layı ilə əvəzlənməsi variantlarından istifadə edilmişdir. Çirklənmiş səthlərin dezaktivasiyası əsasən texnikanın, xüsusən hərbi texnikanın, yolların, tikililərin, silahların və hərbi paltarların təmizlənməsi məqsədilə həyata keçirilir və səthi çirklənmə hallarının aradan qaldırılmasına xidmət edir. Bu proseslər səthlərin qismən təmizlənməsi ilə yanaşı radionuklid ekstraktlarının torpağa dağılması və hopması ilə müşayət olunur [26, s.1-7; 28, s.1-2; 16, s. 492; 3, s.302; 37, s. 207; 50, s.921].

Torpağı əhatələməklə uzunmüddətli təbii təmizlənmə prosesini gözləmək torpağın tam dezaktivasiyası üçün əsrlərlə vaxt sərfiyyatına gətirib çıxaracaqdır. Bu prosesi qismən sürətləndirmək üçün periodik olaraq çirklənmiş ərazinin bitki örtüyünü biçib yandırmaq və yaranan mineral qalıqların mövcud izotop poliqonunda ("izotop qəbiristanlığında") basdırılması isə çoxillik tədbirlər seriyası hesabına çətin reallaşdırıla bilən prosesdir. Buna görə radionuklidlərlə çirklənmiş torpaqların daha

effektiv (nisbətən qısa müddətdə və azmərhləli) təmizlənməsi üsulunun işlənilib hazırlanmasına ehtiyac vardır. Nüvə tullantıları ilə çirklənmiş torpaqların, materialların mövcud dezaktivasiya üsulları ilə müqayisədə daha az iş vaxtı, enerji, maliyyə və reaktiv sərfiyyatı tələb edən yüksək təmizlənmə dərəcəsi (böyük dezaktivasiya əmsalı) ilə xarakterizə olunan təmizlənmə üsulunun işlənilib hazırlanması radiokimyəvi tədqiqatların aktual sahələrindəndir [86, s.1-5; 90, s.342; 98, s.1-2; 104, s. 314; 105, s.383; 108, s.965; 125, s.389; 54, s.393;144, s.1-3; 145, s.55].

Tədqiqatın obyektı və predmeti:

Tədqiqat işinin obyektı nüvə yanacağı tullantıları ilə çirklənmiş torpaqlar, dezaktivasiya prosesləri nəticəsində ayrılmış və nüvə materialı tullantıları anbarlarına yığılması üçün göndərilən radioaktiv maddə tullantılarıdır.

Nüvə yanacağı və radioaktiv tullantılarla çirklənmiş torpaqların mövcud təmizlənmə üsulları az effektivliyi və çoxmərhləli olmaları, həmçinin torpağın radionuklidlərlə zəngin narın gilli fraksiyasının da ayrılmış radionuklidlərlə birgə radioaktiv tullantıların saxlandığı anbarlara və ya nüvə qəbristanlıqlarına göndərilməsi, yəni nüvə tullantıları anbarlarının tez dolmaları ilə xarakterizə olunurlar.

Dissertasiyanın predmeti qismində radiasiya kimyası, radiokimya və analitik kimya sahələrində mövcud tədqiqat üsullarından istifadə edilməklə radioaktiv maddələrlə çirklənmiş torpaq nümunələrinin mövcud dezaktivasiya üsullarından daha effektiv təmizlənmə üsulunun işlənilib hazırlanması nəzərdə tutulmuşdur.

Dissertasiya işinin məqsədi radiokimya və nüvə kimyasının aktual problemlərindən biri olan nüvə yanacağı və radioaktiv tullantılarla çirklənmiş torpaqların radioaktiv maddələrdən və nüvə yanacağı tullantılarından qısa müddətdə effektiv təmizlənməsi proseslərinin tədqiqi və radionuklidlərin torpaqdan effektiv ayrılması üsulunun (dezaktivasiyası prosesinin) işlənilib hazırlanmasıdır.

Bu məqsədlə ağır metalların, radionuklidlərin effektiv həll olmasını təmin edən reaktivlərdən (HNO_3 , HCl , onların qarışığı, NaOH) istifadə edilməsi və işlənmiş torpağın su ilə yuyulması hesabına reaktiv sərfiyyatının azaldılması nəzərdə tutulmuşdur.

Dissertasiya işi qarşısında qoyulmuş məqsədə nail olmaq üçün radiometrik ölçmə, analitik və fiziki-kimyəvi tədqiqat metodlarından istifadə edilməklə aşağıdakı məsələlərin həlli planlaşdırılmışdır:

- ümumi kosmik radioaktiv fonun, tikinti materiallarının yaratdıqları radioaktiv fonun və torpaq sahələrində alfa, beta, qamma və neytron detektorları ilə təmin edilmiş sayğaclarla və radiometrlərlə müvafiq radioaktiv şüalanma növlərinin monitorinqlərinin aparılması;

- radioaktiv şüalanma fonu nisbətən yüksək olan ərazilərdən götürülmüş torpaq nümunələrinin radionuklidlərlə çirklənməsinin tədqiqi;

- radionuklidlərlə çirklənmiş torpaq nümunələrindən alınmış radionuklid minerallarının sulu məhlullarının və uranil nitrat məhlullarının müxtəlif adsorbentlərdən keçirilməsindən sonra adsorbentlərdə və məhlul qalığında radionuklidlərin aktivliklərinin müqayisəli analizi, məhlulun radionuklidlərdən təmizlənmə dərəcələrinin qiymətləndirilməsi;

- uranil nitratla çirklənmiş torpaq nümunələrində uran izotoplarının aktivliklərinin təyini;

- uranil nitratla çirklənmiş torpaq nümunələrini müxtəlif ardıcılıqla və nisbətlərdə zəif turşu, qələvi məhlulları və distillə suyu ilə ekstraksiya etməklə, ekstraktların və qalıq torpaqlarının qamma spektroskopik analizi ilə tədqiq edilən torpaq nümunələrinin təmizlənmə dərəcələrinin qiymətləndirilməsi;

İddiaçı aşağıdakı müddəaları müdafiə edir:

- radioaktiv elementlərin fərdi izotoplarının sertifikatlaşdırılmış standart nümunələrinin radioaktiv parçalanma qanununa uyğun təcrübə dövründəki aktivliklərinin və müqayisəli analizlər üçün zəruri energetik spektral intensivliklərinin təyini;

- radionuklidlərlə çirklənmiş torpaq nümunələrində aşkar edilmiş fərdi radioaktiv izotopların aktivliklərinin, torpağın qamma spektroskopik analizinin nəticələrini standart fərdi izotop nümunələrinin qamma spektroskopik analizinin nəticələri ilə müqayisə etməklə təyini və radionuklidlərlə çirklənmiş torpaq

nümunələrindən alınmış radionuklid minerallarının sulu məhlullardan və uranil nitrat məhlullarından müxtəlif adsorbentlərlə adsorbsiyası;

- uranil nitratla çirklənmiş torpaq nümunələrinin,- ardıcıl olaraq zəif turşu, qələvi məhlulları və distillə suyu ilə ekstraksiya etməklə,- təmizlənmə dərəcələrinin təyini.

Tədqiqatın elmi yeniliyi:

- radionuklidlərlə, nüvə materialı ilə çirklənmiş və təbii radionuklidlərlə zəngin torpaq nümunələrində radioaktiv elementlərin aktivliklərinin - sertifikatlaşdırılmış fərdi izotop nümunələrinin təcrübə dövründəki aktivlikləri ilə müqayisə etməklə təyini və radionuklidlərlə çirklənmiş torpaq nümunələrindən alınmış radioizotop minerallarının sulu məhlullardan müxtəlif adsorbentlərlə adsorbsiya dərəcəsinin təyini;

- nüvə materiallarına aid edilən uranil nitratla çirklənmiş torpaq nümunələrinin ardıcıl olaraq duru turşu, qələvi məhlulları və distillə suyu ilə ekstraksiya etməklə və qalıq torpaq nümunələrinin təkrar analizi ilə çirklənmiş torpağın radionuklidlərdən təmizlənmə dərəcəsinin təyini;

- uranil nitratla çirklənmiş torpaq nümunələrini ardıcıl olaraq duru turşu, qələvi məhlulları və distillə suyu ilə ekstraksiya etməklə təmizlənməsi prosesinin texniki-iqtisadi qiymətləndirilməsi və optimal parametrlərinin təyini .

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Alınmış nəticələr kimya, ekologiya, radiokimya, nüvə kimyası, radiasiya kimyası, radioekologiya, radiasiya materialşünaslığı kimi sahələrdə böyük əhəmiyyət kəsb edir. Elmi tədqiqat işinin nəticələri və tədqiqat metodikaları aşağıdakı hallarda və sahələrdə istifadə oluna bilər:

- dissertasiyanın giriş, ədəbiyyat icmal hissəsində şərh edilmiş nüvə texnologiyası və energetikası obyektlərində baş vermiş qəza hadisələri ərazilərində radionuklidlərlə çirklənmiş torpaqların təmizlənməsi, bu ərazilərin canlıların təhlükəsiz yaşamasına yararlı vəziyyətə gətirilməsi üçün;

-təbii radionuklidlərlə zəngin və ya nüvə materialları tullantıları ilə çirklənmiş torpaqlardan axıb gələn çayların gətirdiyi və çayın mənsəbinə yaxın radioaktiv izotopların akkumulyasiyası nəticəsində çirklənmiş ərazilərin zəruri hallarda əkinçilik üçün yararlı kondisiyaya gətirilməsi məqsədilə;

-yüksək radioaktiv şüalanma fonu aşkar edilmiş ərazilərdə radioaktiv maddələrin

aşkarlanması, növlərinin təyini, torpaqdan ayrılması, radionuklidlərin qatı ekstraktlarının alınması və mürəkkəb izotop zənginləşdirilməsi prosesinin aparılması.

İşin aprobasiyası. Dissertasiya işinin nəticələri aşağıdakı beynəlxalq və respublika konfranslarında məruzə və müzakirə edilmiş və həmin konfransların materiallarında dərc edilmişdir:

- Beynəlxalq elmi-texnoloji konfrans. Təbii fəlakətlər və insan həyatı təhlükəsizliyi. (International scientific-technological conference. Natural disasters and human life safety). Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi və AzMİU nəzdində Elmi-praktiki konfrans, 04-06 dekabr 2017, Bakı;

- Beynəlxalq elmi-praktiki konfrans. Radiasiya və kimya təhlükəsizliyi problemləri. (International scientific-practical conference. Radiation and chemical safety problems). Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi və AzMİU nəzdində Elmi-praktiki konfrans, 05-06 noyabr 2019, Bakı;

- Scientific Achievements of Modern Society. XII International Scientific and Practical Conference, July 22-24, 2020, Liverpool, UK.

- International conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. Beijing, 28 Oktober, China, 2020.

- Modern science: problems and innovations. Abstracts of the 9th International scientific and practical conference. 17 November 2020 year, Stockholm, Sweden.

- Beynəlxalq elmi-praktiki konfrans. İşğaldan azad olunmuş ərazilərdə fəvqəladə hal riskləri. Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi və AzMİU nəzdində Elmi-praktiki konfrans. 21 may 2021-ci il.

- The I International Science Conference “Multidisciplinary Academic Explorations”. Proceedings of Conference. Amsterdam, Netherlands. January 10-12, 2022.

Nəşrlər: Tədqiqat işinin nəticələri xarici və respublika elmi jurnallarında və konfrans materiallarında çap olunmuş 22 elmi əsərdə (15 məqalə və 7 konfrans materialında) öz əksini tapmışdır.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı:

Dissertasiya işi 2015-2022-ci illərdə AMEA-nın Radiasiya Problemləri İnstitutunda

yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiya işi 4 fəsildən ibarətdir.

Birinci fəsildə Yer kürəsində baş vermiş ekoloji fəlakətlər və nüvə qəzaları nəticəsində ətraf mühit obyektlərinin çirkləndirilməsi, yaranmış ekoloji durumun analizi aparılmışdır. Böyük nüvə qəzalarından sonra geniş torpaq ərazilərinin radionuklidlərlə və nüvə yanacağı tullantıları ilə çirklənməsi hallarının araşdırılması və həmin ərazilərdə yaşayan sakinlərin və AES əməkdaşlarının radiasiya təhlükəsizliyinin təmin edilməsi məqsədilə tətbiq edilmiş təmizlənmə üsullarının müqayisəli analizi aparılmışdır. Əksərən çoxmərhələli və az rentabelli olan bu proseslərin daha effektiv dezaktivasiya üsulu ilə əvəz edilməsi təklif edilmişdir. Bu məqsədlə nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpaqların təmizlənmə dərəcəsinin istifadə edilmiş reaktivlərin (HNO_3 , HCl , onların qarışığı, NaOH , su) miqdarından asılılığı öyrənilmişdir.

İkinci fəsildə aparılmış təcrübələrin metodikası şərh edilmişdir.

Ölkə ərazisində radiomonitorinqlər zamanı “Thermo Eberline R020 SI” (Thermo Electron Co.) dozimetrlə, “PRM-470CG” (Tesla Systems Ltd.) qamma şüaları saygacıyla, “InSpector 1000” (“Canberra” Co, ABŞ) radiometr-dozimetrlə, “Radiagem 2000” (“Canberra” Co, ABŞ) alfa, beta, qamma, neytron şüalanmalar üçün radiometr-sayğacları ilə, ИСП-PM1401K-01 İP65 (Polimaster-Minsk, Belorussiya) axtarış qamma-neytron radiometr-dozimetrlə, “İdentiFINDER” (Thermo Scientific Co., AFR) ionlaşdırıcı qamma şüalanması “dozimetr–izotop təyinedici” ilə radiometrik ölçmələrin aparıldığı, alfa, beta, qamma, neytron şüalanma növlərinin mövcudluğunun qiymətləndirildiyi, mövcud şüalanma növlərinin intensivliyinin təyin edildiyi, radionuklidlərin sertifikatlaşdırılmış standart məhlulları və standart nöqtəvi mənbələrlə kalibrləmə əsasında radioizotopların növünün və aktivliklərinin təyini üçün yüksək təmizliyə malik HPGe detektorlu Qamma Spektrometrində analizlər aparıldığı və analizlərin metodikası şərh edilmişdir.

Üçüncü fəsildə radiometrik ölçmələrin nəticələri, mövcud şüalanma növləri və intensivlikləri, təyin edilmiş radionuklidlərin aktivliklərinin qiymətləri, HPGe detektorlu Qamma Spektrometrində aparılmış analizlərlə uranil nitrat (nüvə materialı) məhlulunun müxtəlif qatılıqlı standart məhlullarından müxtəlif miqdarlarda adsorbentlərlə

adsorbsiyasının qanunauyğunluqları şərh edilmişdir. Radionuklidlərlə, nüvə materialı ilə çirklənmiş və təbii radionuklidlərlə zəngin torpaq nümunələrində radioizotopların (sertifikatlaşdırılmış fərdi izotop nümunələri ilə müqayisə etməklə) təyini, kimyəvi reaktivlərlə ekstraksiya etməklə torpaqdan ayrılmış radioizotopların sulu məhlullardan müxtəlif adsorbentlərlə adsorbsiya dərəcələri göstərilmişdir. Ölkə ərazisindən götürülmüş torpaq nümunələrində mövcud radionuklidlərin növləri və aktivlikləri təyin edilmişdir.

Dördüncü fəsil nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpaq nümunələrinin effektiv dezaktivasiya proseslərinin işlənilib hazırlanmasına həsr edilmişdir. Nüvə materialı tullantıları ilə (uranil nitratla) çirklənmiş torpaqların model nümunələri hazırlanmış və həmin torpaq nümunələrinin effektiv dezaktivasiya proseslərinin işlənilib hazırlanması məqsədilə radionuklidlərin və uran izotoplarının torpaqdan reaktivlərlə ayrılması tədqiq edilmişdir. Nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpaq nümunələrinin təklif edilmiş təmizlənmə (dezaktivasiya) üsulunun effektivliyi (dezaktivasiya əmsalının müvafiq qiymətləri) qiymətləndirilmiş və nüvə tullantıları ilə çirklənmiş torpaqların təmizlənməsi üçün tətbiq edilən elmi ədəbiyyatda şərh edilmiş oxşar proseslərin (prototiplərin) effektivliyi ilə müqayisə edilmişdir. Fəslin sonunda prosesin texniki-iqtisadi qiymətləndirilməsi aparılmış, tədqiq edilmiş prosesi xarakterizə edən parametrlərin qiymətlərini, müşahidə edilmiş qanunauyğunluqlar haqqında məlumatları əks etdirən nəticələr tərtib edilmişdir.

İşin strukturu və həcmi: Dissertasiya işi 65 şəkil, 17 cədvəl, 171 səhifədə şərh edilmiş giriş hissədən, dörd fəsildən, nəticədən və ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. **Giriş** 19749 simvol, **I fəsil** 38 səhifə, 6 cədvəl, 70365 simvol, **II fəsil** 17 səhifə, 10 şəkil, 22582 simvol, **III fəsil** 48 səhifə, 37 şəkil, 8 cədvəl, 54194 simvol, **IV fəsil** 25 səhifə, 3 cədvəl, 18 şəkil, 30968 simvol, **nəticə** 3679 simvoldan ibarətdir. **Ümumi işarə sayı** 201537 simvoldan ibarətdir.

Dissertasiyada ədəbiyyat siyahısında qeyd edilmiş 204 elmi ədəbiyyat materialından istifadə edilmişdir.

I FƏSİL

ƏDƏBİYYAT İCMALI

1.1.Yer kürəsinin formalaşması, evolyusiya nəticəsində yaranmış ekosistemlər və təbii proseslərin tarazlıq durumu. Planetin qeyri-antropogen çirklənmə mənbələri

Yer üzərində canlı varlıqların həyat fəaliyyətini xarakterizə edən komponentlərə uyğun olaraq genetik, hüceyrələr, orqanizmlər, populyasiya sistemlərindən və ekosistemlərdən ibarət biosistemlər mövcuddur. Ekosistemlər - maddələrin və enerjinin daxili və xarici mübadilə tsiklləri ilə müşayət olunan ölçülərsiz dayanıqlı canlı və cansız komponentlərdən ibarət sistemlərdir. Ekologiya termini (latınca “oykos” – ev, yuva, “loqos” - elm) canlı orqanizmlərlə onların yaşadıkları ətraf mühit obyektləri arasında qarşılıqlı əlaqələr haqqında biliklər toplusunu xarakterizə edir. Ekologiya biologiya ilə kimya, fizika, geologiya, coğrafiya, riyaziyyat və s. təbii elmlərarası fəndir. Bu termin ilk dəfə XIX əsrdə alman bioloqu E.Hekkel tərəfindən təklif edilmişdir. Yer kürəsi biosferinin əsasını təşkil edən karbonlu birləşmələrin tərkiblərində təqribən $2,5 \cdot 10^{10}$ Meqaton karbon vardır. Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində bu kütlənin 40%-dən artığının kosmik mənşəli (kometlərlə, meteoritlərlə Yer səthinə düşmüş və ulduzlararası molekulyar buludlardan keçdiyi zaman və Günəş “küləkləri”ndən Yer səthinə hopmuş) karbon olması müəyyənləşdirilmişdir. Yer kütləsinin 2/3 hissəsi bərk mantiya örtüyündən, 1/3 hissəsi isə ərimiş metallik nüvədən ibarətdir [58, s.3; s.22-23].

Yerin günəş sisteminin planeti kimi formalaşması prosesi ilə yanaşı planetin ilkin atmosferi və hidrosferi yaranmışdır. Yerin mantiya örtüyündə kiçik sürətlə sürüşmə hərəkətlərində olan yer layı plastlarının qarşılıqlı toqquşmaları zamanı baş verən yeraltı təkanlar – zəlzələlər, yüksək temperaturlu ərimiş maddələr qarışığının böyük təzyiqlə yerin səthinə püskürməsi – vulkanlar, planetin Günəş ətrafında fırlanması və temperatur qradientinin dəyişmələri hesabına hidrosferdə böyük su

kütlələrinin istiqamətlənmiş hərəkətləri – sunami, su cərəyanları, daşqın və sellər, atmosfer havası kütlələrinin, buludların istiqamətlənmiş sürətli hərəkəti və qarşılıqlı toqquşması – külək, fırtına və ildırım çaxması, buxarlanmış suyun buludlarda soyuması, kondensasiyası və ya donmasından sonra yer səthinə düşməsi – yağış, qar və dolu kimi təbii proseslər planetimiz üçün xarakterik proseslər olmuşdur [58, s.31-35]. Lakin elm və texnologiyanın inkişafı, təbiət obyektlərinə qlobal müdaxilənin (mədənçilik-sənaye proseslərinin, kömür, neft-qaz sənayesi, minerallar çıxarılmasının, sənaye tullantılarının təmizlənməsinin bir-çox hallarda zəruri tələblər çərçivəsində planlaşdırılmaması), mürəkkəb texnoloji proseslərin, enerjidaşıyıcıların istismarı əsasında fəaliyyət göstərən texniki qurğuların və transfer vasitələrinin, həmçinin texnoloji fəlakətlərin ətraf mühit üçün yaratdıqları antropogen amillər planetimizdəki həyat üçün yararlı təbii proseslərin tarazlıq durumuna və ekosistemlərə real təhlükə yaradırlar [182, s.7; 171, s.1-3; 167, s.298; 71, s.350] .

1.2. Böyük məştblı texnoloji qəzalar

Böyük məştblı müasir texnoloji qəzalar təbii fəlakətlərlə müqayisə edilə biləcək məştblarda dağıntılar törətmək iqtidarındadırlar:

- 30 may 1626-cı il tarixdə Pekin şəhərində barıt zavodunda baş vermiş partlayış nəticəsində 20 mindən artıq insan həlak olmuşdur, partlayışın gücü Xirosima ilə müqayisə ediləcək məştblı olmuşdur;

- 1932-1968-ci illərdə Yaponiyanın Minamota Chisso kompaniyasının kimya zavodunun liman sularına civəmetilən atması nəticəsində 2 mindən artıq insan Minamota sindromu adlandırılan xəstəliklərə tutulmuşdur və mindən artıq insan həlak olmuşdur;

- evlərin qızdırılması və istehsalat məqsədləri üçün kütləvi şəkildə kömür istifadə edilməsi nəticəsində 1952-ci ilin 5-10 dekabr tarixlərində Londonu bürümüş qatı duman 8-12 min insanın ölməsinə səbəb olmuşdur;

- 9 oktyabr 1963-cü il tarixdə İtaliyanın Monte-Tok dağı ətəyindəki Vayont bəndinin bir qisminin dağılaraq su anbarına düşməsi nəticəsində 15 dəqiqə ərzində 2

mindən artıq insan həlak olmuşdur;

- 3 dekabr 1984-cü il tarixdə Hindistanın Bxopal şəhərində yerləşən Amerika Union Carbide şirkətinin zavodunda yüksək toksiki xassəyə malik metilozianat buxarlarının ətrafa səpilməsi baş vermişdir və nəticədə 15 min insan həlak olmuşdur, 600 min insan ziyan görmüşdür və bugünədək fiziki qüsurlu uşaqların doğuluşu davam edir;

- 1991-ci ildə İrak hərbiçilərinin Kuveytdən çıxarkən 650 neft quyusunu yandırması, 75 quyunu sıradan çıxarması nəticəsində 10 ay ərzində davam edən yanğınlar qara qurum yağışlarına, 1,5 milyard barrel neft dağılmasına səbəb olmuşdur;

- 2000-ci ildə Braziliyanın "Petrobrays" dövlət neft şirkətinin neft emalı platformasında baş vermiş qəza nəticəsində İquasu çayına 3000 qallondan artıq neft axıdılmışdır və şirkət dövlət və ştat büdcəsinə 86 milyon dollar cərimə ödəməli olmuşdur;

- 21 sentyabr 2001-ci il tarixdə Fransanın Tuluza şəhər AZF kimya kombinatında 300 ton ammonium nitrat gübrəsinin partlayışı nəticəsində 30 insan həlak olmuşdur, 3000-dən artıq insan yaralanmışdır və 40000-dən artıq əhali evsiz-işsiz qalmışdır;

- 13 noyabr 2002-ci ildə İspaniya sahillərində qəzaya uğramış tankerdən suya 77000 ton mazut dağılmışdır;

- 28 avqust 2004-cü ildə Almaniyanın Köln şəhərətrafi trasında yanacaq daşıyan avtomobilin aşması nəticəsində 32000 litr yanacaq ətrafa dağılmışdır;

- 19 mart 2007-ci ildə RF Kemerov vilayətinin "Ulyanovsk" kömür şaxtasında metan partlayışı zamanı 110 insan həlak olmuşdur. 2009-cu ildə Sayano-Şuşen HES-də baş vermiş qəza nəticəsində uzun müddətə RF-in Sibir regionunun enerji təminatı dayanmışdır;

- 4 oktyabr 2010-cu il tarixdə Macarıstanda alüminium istehsalı zavodunda baş vermiş qəza nəticəsində zəhərli tullantılar saxlanılan rezervuar platinası dağılmışdır, Budapeştin 160 kilometrliyində yerləşən Kolonter və Deçever şəhərlərini tullantı su seli basmışdır;

- 20 aprel 2010-cu il tarixdə Meksika körfəzində Deepwater Horizon neft platformasında baş vermiş partlayış və yanğın nəticəsində 11 adam həlak olmuşdur, sonrakı 87 gün ərzində açıq qalmış quyudan körfəz sularına axmış 3190000 barrel neft 13000 km² su səthini çirkləndirmişdir [27, s.1-4] .

1990-cı ildə sovet ordusunun Azərbaycanda törətdiyi qətliyəmdən sonra əhalinin hüzn içərisində olduğu günlərdə ölkənin ən böyük “Əzizbəyovneft” neft-qaz çıxarma idarəsi rezervuarlarında və işlək quyularından təmizləyici qurğuları doldurub keçən neft axını Hövsan qəsəbəsi ətrafı Xəzər dənizində böyük ərazinin çirklənməsinə səbəb olmuşdur. SSRİ dövləti dağıldıqdan sonra öz istehsalat, emal sənayesinin çirkli tullantı sularını və kanalizasiya sularını təmizləmək öhtəliklərini yerinə yetirməyən Ermənistan bu tullantı suları sanitariya normaların tələblərinə uyğun təmizləmə mərhələləri keçirmədən birbaşa Azərbaycanın əsas transsərhəd çaylarına atır. Nəticədə Ermənistan tərəfindən beynəlxalq razılaşmalarla təsbit edilmiş Avropa direktivlərin tələbləri pozularaq Azərbaycan ərazilərinə daxil olan transsərhəd çayların suları çirkləndirilir və təyinatı üzrə istifadəyə yararsız vəziyyətə gətirilir [11, s.168-172; 151, s.178-182; 147, s.68; 12, s.129; 159, s.72-79, 119, s.203-204].

1.3.Nüvə reaktorlarında baş vermiş texnoloji qəzaların yaratdıqları problemlərin tədqiqi

Çernobıl AES-də baş vermiş qəzadan 4 ay sonra 14-22 avqust 1986-cı il tarixlərində 14 km məsafədən 4-cü blokun üzərində 4 kilometrədək hündürlükdə ionlaşmış hava sütununun radiolokasiya təsviri alınmışdır [42, s.219-222].

Çernobıl AES-in 4-cü blokunun ətrafında 12 km-lik ərazidə torpaqda Am²⁴¹, Co⁶⁰, Cs¹³⁷, Cs¹³⁴ izotoplarının aşkar olunması və bu ərazidə effektiv doza gücünün Radioloji Müdafiə üzrə Beynəlxalq Komissiyanın (1991) əhali üçün dozanın yol verilən həddindən (1 mZv/il) böyük qiymətlərə malik olmasını, qismən təmizlənmiş və ya 4-cü blokdan 15 km-dən uzaq ərazilərdə doza gücünün yol verilən həddlə müqayisə edilən qiymətlərə malik olması müəyyənləşdirilmişdir. Bu təcrübənin Fukusima AES ətrafındakı ərazilərdə də tətbiqinin (radionuklidlərlə çirklənmiş

torpaqların remediatsiyası) məqsəduyğunluğu qeyd edilmişdir [196, s.3-6].

Çernobil qəzasından sonra (2000-ci və 2021-ci ildə) Cs¹³⁷ izotopunun Ukrayna meşələrinin torpaq səthlərini örtmüş xəzəl yarpaqları layından böyük sürətlə torpağın mineral qatlarına miqrasiyası, qumus və dispers hissəciklərin miqdarının azalması və torpağın turşuluğunun artması ilə radionuklidlərin torpağın mineral qatlarına miqrasiyası prosesinin sürətlənməsi müşahidə edilmişdir [133, s.64; s.68].

Çernobil AES ətrafı 5 km-lik ərazidə yerləşən “Sarışın meşə” poliqonu torpaqlarının üst 5 sm-lik layının Cs¹³⁷, Sr⁹⁰ və Am²⁴¹ izotoplarından yarım təmizlənmə periodunun 20-62 il intervalında dəyişməsi müəyyənləşdirilmişdir [22, s.381; s.383].

Çernobil AES ətrafı torpaqlarının şaquli profili üzrə radionuklidlərin paylanmasının öyrənilməsi radionuklidlərin aktivliklərinin əsasən torpağın üst 10 santimetrlik layında yayıldığı müşahidə olunur. Cs¹³⁷, Sr⁹⁰ və Am²⁴¹ radionuklidlərinin bitki örtüyü tərəfindən akkumulyasiya əmsalları hesablanmış, bu radionuklidlərin ardıcıl kimyəvi (su, 1 M ammonium asetat, 0,1 normal NaOH, 1 M və 6 M HCl) ekstraksiya metodu ilə torpaqda və bitki örtüyündə mövcudluğu formaları müəyyənləşdirilmişdir [44, s.284; s.286].

Çernobil AES-nin radionuklidlərlə çirklənmiş “Parişev” poliqonu ərazisində 2014-cü və 2015-ci illər ərzində mütəmadi olaraq bitki örtüyündə Cs¹³⁷ və K⁴⁰ izotoplarının konsentrasiyaları (aktivlikləri) təyin edilmişdir. Tədqiqatlar izotopların konsentrasiyasının bitki örtüyündə il ərzində spontan dəyişdiyini, torpaqda və göbələklərdə K⁴⁰ izotopunun konsentrasiyasının (42-210 Bq/kq) Cs¹³⁷ izotopunun konsentrasiyasından (156-9417 Bq/kq) nisbətən kiçik olmasını, bitki örtüyündə isə bir qayda olaraq K⁴⁰ izotopunun konsentrasiyasının (100-1000 Bq/kq) Cs¹³⁷ izotopunun konsentrasiyasına (50-500 Bq/kq) nisbətən böyük olmasını göstərir. Bu effekt Cs¹³⁷ izotopunun göbələklər tərəfindən tutulması və K⁴⁰ izotopunun bitkilər tərəfindən selektiv akkumulyasiyası ilə izah olunmuşdur [200, s.54; s.55].

Nüvə materialı qalıqları ilə şirklənmiş Çernobil və Çistoqalovka (qəza episentrinə yaxın ərazi) ərazilərinin torpaq örtüyündə və bu torpaqlarda yetişdirilmiş soya və kətan bitkilərində, onların gövdələrində, yarpaqlarında, toxumlarında və

yağlarında Cs^{137} və Sr^{90} izotoplarının miqdarı, radionuklidlərin torpaqdan bitkiyə transferi əmsalı təyin edilmişdir. Bu əmsalın qiymətləri radionuklidlərin miqdarının bitkilərdə “yarpaq – kök – pöhrələr – toxumlar” ardıcılığı ilə azaldığını göstərir. Çernobil ərazisi torpaqlarında Cs^{137} izotopunun miqdarı (aktivliyi) 1414 Bq/kq, Sr^{90} izotopunun aktivliyi 550 Bq/kq, Çistoqalovka ərazisi torpaqlarında Cs^{137} izotopunun miqdarı (aktivliyi) 20650 Bq/kq, Sr^{90} izotopunun aktivliyi 5180 Bq/kq təşkil etdiyi təyin edilmişdir. Çernobil ərazisi torpaqlarında yetişdirilmiş soya bitkisinə Cs^{137} izotopunun transfer əmsalının 0,008-0,021 (yəni torpaqdakı Cs^{137} izotopunun miqdarının təqribən 0,8-2,1%-i qədər), kətan bitkisinə 0,006-0,007 (yəni torpaqdakı müvafiq izotopun 0,6-0,7%-i qədər), Çistoqalovka ərazisi torpaqlarında yetişdirilmiş soya bitkisinə Cs^{137} izotopunun transfer əmsalının 0,102-0,174 (yəni torpaqdakı Cs^{137} izotopunun miqdarının təqribən 10,2-17,4%-i qədər), kətan bitkisinə 0,038-0,041 (yəni torpaqdakı Cs^{137} izotopunun 3,8-4,1%-i qədər) qiymətləri müəyyənləşdirilmişdir. Alınmış qiymətlərə əsaslanaraq “yadlaşmış” Çernobil ərazisi torpaqlarının remediya üçün bu torpaqlarda kənd təsərrüfatı bitkilərinin yetişdirilməsi təklif edilmişdir [184, s.15; s.25].

Çernobil AES-nin “Ukritie” obyektinin “Baypas” ventilyasiya sisteminin zədələnmiş 4-cü blokdan götürdüyü aerozollarla çirklənmiş havanı filtrasiya etdikdən sonra atmosfərə atdıqda aerozollardakı Cs^{137} və beta-aktiv radionuklidlərin aktivliklərinin blokdakı nüvə yanacağı qalıqları üçün hesablanmış göstəricidən 1.5 dəfə artıq olması müəyyənləşdirilmişdir [55, s.227]. Didorov gölməçələri sıralarında Cs^{137} radioizotopunun atmosferdən suya və dib çöküntülərinə miqrasiyası prosesləri tədqiq edilmiş və miqrasiya proseslərinin dinamik modeli işlənib hazırlanmışdır [43, s.296-298].

Çernobil ərazisinin radionuklidlərlə çirklənmiş qumsal və torflu-amorf torpaqlarından götürülmüş nümunələr 8 saat ərzində havada qurudulduqdan və 550 dərəcədə yandırıldıqdan sonra xlorid, flüorid və nitrat turşusu əlavə edilməklə mikrodalğalı sobada 10 dəqiqə qızdırılmaqla həll edilmişdir. Qurudulmuş və 550 dərəcədə yandırılmış torpaq nümunəsi 3 dəfə 8 M HNO_3 məhlulu ilə yuyularaq ekstrakt ion-mübadilə və xromatoqrafiya adsorbentləri ilə doldurulmuş borucuqlardan

keçirilməklə tərkib hissələrə ayrılmışdır. Ayrılmış fraksiyalar alfa spektrometriyası, maye ssintilyasiyası və qaz sayğacı ilə tədqiq edilmişdir. Tədqiqatlar nəticəsində 8 M HNO₃ məhlulu ilə torflu-amorf torpaqlardan radionuklidlərin 100% ayrılmasına nail olmaq mümkün olmamışdır [197, s.90-93].

11 mart 2011-ci il tarixdə Yaponiyada baş vermiş 9 bal maqnitudalı zəlzələ zamanı 1-3 blokları nominal gücü ilə işləyən, 4-6 blokları isə texniki qulluq və nüvə yanacağıının dəyişdirilməsi üçün dayandırılmış Fukusima AES-nin əsas elektrik enerjisi təminatı sistemi sıradan çıxmış, 49 dəqiqə sonrakı 14-15 metr hündürlüyündə 2-ci sunami dalğası isə 3, 5 və 6-cı blokların sabit cərəyan batareyaları və 6-cı blokun hava ilə soyudulan dizel generatoru istisna olunmaqla blokların zirzəmilərindəki ehtiyat dizel generatorlarının, dəniz suyu nasoslarının, əksər yangınsöndürən avtomobillərin, müxtəlif konstruksiyaların, çənlərin sıradan çıxmasına səbəb olmuşdur. 1 sutkadan sonra 1-ci blokda, 3 sutkadan sonra 3-cü blokda, 4 sutkadan sonra 4-cü blokda “par-sirkonium” termiki reaksiyası nəticəsində yaranmış hidrogenin partlaması, 2-ci blokun isə zədələnməsi nəticəsində nüvə yanacağıının zədələnmiş paneldən qismən ətrafa səpələnməsi baş vermişdir. 15 mart 2011-ci il tarixdə axşam yağmağa başlayan yağış 2-ci enerji blokundan ətrafa səpələnmiş radioaktiv materialın əsasən cənub və şimal-qərb istiqamətlərdəki ərazilərə çökməsi ilə nəticələnmişdir. 1, 3 və 4-cü enerji bloklarında partlayış və nüvə yanacağıının əriməsi zamanı ayrılmış təsirsiz qazların və tezəriyən elementlərin atmosfərə atılması baş vermişdir. Gecəriyən Sr və Pu elementlərinin səpilməsi yalnız çox məhdud miqdarlarda baş vermişdir. Bu partlayışlar zamanı atmosfərə və ətraf ərazilərə 32 PBq Kr⁸⁵, 12000 PBq Xe¹³¹, 400 PBq I¹³¹, 20 PBq Cs¹³⁷, okean sularına isə 20 PBq I¹³¹, 6 PBq Cs¹³⁷ və nisbətən az miqdarlarda digər radionuklidlər yayıldı. Qəza zamanı və sonrakı illər ərzində partlayış baş vermiş enerji bloklarında qismən ərimiş nüvə yanacağıından ayrılan qalıq istiliyin kompensasiyası məqsədilə soyutma üçün istifadə edilən suyun miqdarı (qəza dövründə dəniz suyu, sonrakı illərdə radionuklidlərdən təmizlənmə mərhələsini keçən yumşaldılmış su) reaktor ərazisində saxlanıla bilən həddi (1370000 m³) keçdikdə okeana atılır və tritiumlu suyun okeana atılması bu gün də davam edir. Bu hal Çin və Cənubi Koreya hakimiyyətlərinin haqlı

narazılıqlarına səbəb olur [25, s.1-9].

Partlayışdan sonra AES-də dozimetrik sistem və ətraflardakı radiomonitorinq məntəqələri sıradan çıxdığından Yaponiya hökumətinin 11 mart 2011-ci il tarixli əmri ilə əhalinin 3 kilometrlik ərazidən, sabahı gün isə 10 kilometrlik ərazidən və nəhayət, 15 mart 2011-ci il tarixdən AES-dən 20 kilometrədək ərazilərdən tam köçürülməsinə başlandı və 30 kilometrədək məsafələrdə yaşayan əhalinin evlərindən çıxmamaları tövsiyyə edildi. 164 000 insanın köçürülməsi 1 ayadək davam etmiş və bu proses zamanı da çoxsaylı insan itkiləri (50 nəfərdən artıq insanın qəza və köçürmə zamanı ölmələri, 2300 nəfərdən artıq adamın təbii ölüm vaxtından tez ölmələri) olmuşdur. 2020-ci ilədək köçürülmüş əhalinin 39 000 nəfərinin hələ də geri qayıtması mümkün olmamışdır. 2013-cü ildə Fukusima AES-də enerji istehsalı ilə əlaqədar işlər rəsmən dayandırıldı. Lakin, qəzanın fəsadlarının aradan qaldırılması və enerjibloklarda qalıq nüvə yanacağında qızma prosesinin qarşısının alınması məqsədilə işlər fasiləsiz olaraq davam etdirilir. Həmçinin, zədələnmiş bloklara qrunt sularının daxil olmasının qarşısının alınması məqsədilə yeraltı maneələrin inşa edilməsi, bloklara daxil olmuş qrunt sularının və soyutma üçün istifadə edilmiş suların radionuklidlərdən (tritium istisna olmaqla) təmizlənmə prosesləri davam etdirilir [139, s.122-123; 25, s.10-15].

AES ətrafındakı anbarlara yığılması, saxlanma həcmələri tam dolduqda tritiumlu suyun periodik olaraq okeana axıtılması bu gün də davam edir. 13 aprel 2021-ci il tarixdən Yaponiya hökuməti tərəfindən 2023-cü ildən başlayaraq 30 il ərzində hər il 22 TBq/il aktivliyə malik tritiumlu su okeana axıtılacaqdır.

Köçürülmüş əhalinin qaytarılması məqsədilə çirklənmiş ərazilərin təmizlənməsi və xüsusi radiometrik kriteriyalara uyğunlaşdırılmasına artıq start verilmişdir. Yapon hökumətinin planlaşdırmalarına əsasən AES-in tam təhlükəsiz vəziyyətə gətirilərək baş vermiş qəzanın bütün mənfi nəticələrinin neytrallaşdırılması üçün 40 ilədək vaxt və 22 trilyon Yapon yenası miqdarında maliyyə itkisi tələb olunacaqdır. AEBA-nın tövsiyyələrinə görə hər 10000 ildən bir nəhəng zəlzələ baş vermə ehtimalı, oxşar tektonik quruluşlu və potensial seysmik aktivlikli regionların (Çili və Alyaska zəlzələ əraziləri) təcrübələrinin nəzərə alınması, müvafiq təhlükəsizlik tədbirlərinin

reallaşdırılması zəruriliyi Fukusima AES-ni inşa edən Tokio elektroenerji kompaniyası tərəfindən ciddi qəbul edilməmiş və kompaniya əməkdaşları 9 ballıq zəlzələnin yaratdığı sunami hücumuna hazırlıqsız olmuşlar. Qəzadan sonra 50-dən artıq ölkələr tərəfindən Yaponiya sahillərindən tutulmuş balıqların, qəza ərazilərində yetişdirilmiş kənd təsərrüfatı məhsullarının alınmasına rəsmən embarqo qoyulmuşdur və ya bu məhsulların xüsusi yoxlama prosedurlarından keçirilməsi, məhsul sertifikatlarının yoxlanılması üçün göstəriş verilmişdir. Məlum olduğu kimi, Radioloji Müdafiə üzrə Beynəlxalq Komissiyanın sənədlərində və Azərbaycan Respublikası Əhalisinin Radiasiya Təhlükəsizliyi haqqında Qanunda dinc əhali üçün illik yol verilən udulan doza həddi 1 mZv/il təsbit edilmişdir [25, s.5, 11].

Yaponiya hökumətinin qərarına əsasən Fukusima qəzasından sonra köçürülmüş əhalinin geri qaytarılması üçün həmin ərazilərdə daimi infrastruktur obyektlərinin bərpasından başqa, əhali tərəfindən udulan effektiv dozanın 20 mZv/il həddindən aşağı olması üçün zəruri tədbirlərin həyata keçirilməsi zəruriliyi tələb edilmişdir. Bu məqsədlə 2012-ci ildən həmin ərazilərin dezaktivasiyası proseslərinə başlanılmışdır. Bu məqsədlə binaların divarlarının səthləri, yollar süpürülüb su şırnağı ilə yuyulmaqla təmizlənir, torpağın üst layının götürülüb yerinə təmiz torpaq layı tökülməsi tədbirləri həyata keçirilmişdir. Radionuklidlərlə çirklənmiş bu böyük həcmli torpaq layı tullantılarının yığılması üçün Fukusima AES ətrafında 1600 hektar ərazi ayrılmışdır. Tullantıların 30 ildən sonra basdırılması nəzərdə tutulmuşdur. 2017-ci ilin mart ayınadək görülmüş dezaktivasiya tədbirləri nəticəsində təbii parçalanma sürətindən böyük irəliləyişlə, yəni radioaktiv fonun 65% kiçilməsi müşahidə edildi və köçürülmüş əhalinin geri qaytarılmasına icazə verildi. 2020-ci ilin mart ayınadək yalnız 337 km² dezaktivasiyası mümkün olmayan ərazi əhalinin qaytarılması üçün yarasız olaraq qalmışdır. Bu ərazilərin dezaktivasiyası və tam təmizlənməsi bloklardakı reaktorların “soyudulub dayandırılması”, 10 il ərzində radioaktiv yanacağın bloklardan boşaldılması, ərimiş nüvə yanacağının çıxarılması və növbəti 30-40 il ərzində AES-in tam demontajı ilə müşayiət olunacaqdır [25, səh.21-32].

Qəzadan 2 il sonra Fukusima AES-dən 20 km radiusda 79 ədəd iribiuynuzlu heyvanların orqanizmlərinin analizi bütün tədqiq edilmiş nümunələrdə (tədqiq

edilmiş heyvanların bütün orqanlarında) Cs^{134} və Cs^{137} nisbətən uzunömürlü izotoplarının çöküntülərinin, qara ciyərlərində Ag^{110m} və böyrəklərində Te^{129m} qısaömürlü izotoplarının aşkar edildiyini göstərmişdir. Heyvanların saxlandığı sahələrin çirklənmə dərəcələri ilə tədqiq edilmiş heyvanların orqanlarında aşkar edilmiş radionuklidlərin miqdarı (aktivlikləri) arasında uyğunluq müşahidə olunmuşdur. [101, səh.1,6].

1.4. Ətraf mühit obyektlərinin radioaktiv maddələrlə, nüvə materialı tullantıları ilə çirklənməsinin mənfi təsirlərinin neytrallaşdırılması və ya zəiflədilməsi üsulları

Radionuklidlərin mədə-bağırsaq traktından sovrulmasının heyvanların yaşından asılılığı nəzərə alınmaqla, radionuklidlərlə çirklənmiş yemlə xroniki olaraq qidalanan iribuynuzlu heyvanların orqanizmlərinə Cs^{137} radioizotopunun daxilolma və xaricolmasının ikikameralı riyazi modeli işlənmiş, iribuynuzlu heyvanın 1 aylıq balasının orqanizminə Cs^{137} radioizotopunun sovrulmasının maksimum həddə çatması, yəni ümumi daxil olan miqdarın 56%-i qədər olması müəyyənləşdirilmişdir. Radionuklidin orqanizmə sovrulması ilə xaricolması arasında tarazlıq 2 yaşa çatmış balalarda müşahidə olunur və onlarda ilk 2 il ərzində radionuklidin mədə-bağırsaq sistemindən əzələlərə sovrulması sabiti sonrakı hər hansı 2 ildəki göstəricidən təqribən 5 dəfə böyük olur. Yaşlaşdıqca mədə-bağırsaq sistemində radionuklidlərin sovrulması zəiflədiyindən yaşlı heyvanların əzələlərinə sovrulan Cs^{137} miqdarı orqanizmə yemlə daxilolmanın yalnız 2.8%-ni təşkil edir [65, səh.214].

2013-cü ildə Yaponiya tədqiqatçıları tərəfindən Fukusima AES qəzası ərazilərində radioaktiv çirklənmənin fəsadları, radioaktiv tullantıların qablaşdırılması, daşınması, dezaktivasiyası, utilizasiyası, saxlanması haqqında və digər nüvə reaktorlarında baş vermiş qəzaların fəsadlarının aradan qaldırılması üzrə təcrübələrinin öyrənilməsi sahəsində icmal xarakterli məqalə dərc edilmişdir. Nüvə qəzasından sonra Yaponiyanın dağlıq ərazilərində radionuklidlərin yağış suları ilə yuyulub aşağı ərazilərə axmasına baxmayaraq, aşağıdakı çayların dib çöküntülərində

böyük miqdarlarda radionuklidlərin aşkar olunması su hövzələrində dib çöküntülərində çirklənmənin hissəciklərin ölçülərinə uyğun paylanması ilə izah olunmuşdur [165, s.1-8; 177, s.1-5].

Sr^{90} radioizotopunun çirklənmiş meşə torpaqlarında və yaşıl örtüyündə konsentrasiyasının dəyişmə kinetikasının öyrənilməsi məqsədilə imitasiya modeli işlənmiş, tədqiqatlar çirklənmədən sonrakı ilk 5 il ərzində üst torpaq örtüyündə, burada bitən ot və kolluqlarda Sr^{90} radionuklidinin konsentrasiyasının 5-10 dəfəyədək, sonrakı 10-15 illər ərzində isə nisbətən kiçik sürətlə (2-3 dəfəyədək) azalması, ağacların gövdəsində isə Sr^{90} radioizotopunun konsentrasiyasının faktiki dəyişmədiyi müəyyən edilmişdir [45, s.218-224]. Ukrayna Polesyası meşələrindəki ağacların gövdəsində Cs^{137} radioizotopunun konsentrasiyasının illərlə eyni kiçik sürətlə azalması müşahidə edilmişdir [134, s.394].

Pu və Am radionuklidlərinin əsasən böyük molekullu humin turşuları, digər torpaq kolloid məhlulları və torpaq hissəcikləri ilə birləşdikləri, həmçinin, humin turşularının radionuklidləri çirklənmiş məhlullarından torpaq növündən asılı olaraq 4-8 dəfəyədək daha artıq ayırdıqları təyin edilmişdir [107, s.201].

Rumıniyada Panazi gölü və su yığıcı hövzəsi ətrafında 3 zaman periodlarında (1880-1958-ci illər, 1960-1991-ci illər və sonrakı 30 il ərzində) dib çöküntüləri yığılması və torpaq istismarı işləri nəticəsində periodlara müvafiq olaraq hər il 9.2, 29.6 və 15.7 ton torpaq eroziyası, torpağın və radionuklidlərin (Pb^{210} , Cs^{137} , Ra^{226}) çökməsi müşahidə edilmişdir. Radionuklidlərin aktivliklərinin təyini ilə kalibrəmə metodu ilə aparılmış hesablamalara əsasən torpaqda eroziya proseslərinin sürət sabiti təyin edilmişdir (13.5 ton/ha.il) [186, s.1-5; s.8-17].

Çernobıl mənşəli Cs^{137} və Sr^{90} radionuklidləri ilə çirklənmiş Belorusiya Polesyası torpaqlarının kimyəvi xarakteristikaları ilə onlarda radionuklidlərin mövcudluğu, miqrasiyası arasında qarşılıqlı əlaqə tədqiq edilmişdir. Torpaqda radionuklidlərin mobilliyinin torpağın növündən və üzvi maddələrlə zənginliyindən asılı olması müəyyən edilmişdir. Tədqiq edilmiş müxtəlif stasionar müşahidə rayonlarının torpaqlarında Cs^{137} radioizotopunun zəif yayılması (mübadiləsiz sorbsiyası), Sr^{90} radioizotopunun isə böyük mobilliyə malik olması (mübadiləli

sorbsiyası) müşahidə edilmişdir [128, s.98-101].

İraqın Vasit və Qadisiyah rayonları ərazilərindəki müvafiq olaraq su ilə örtülü və səth suyu qurumuş bataqlıqların ərazilərində K^{40} , Ra^{226} , Ra^{228} və Th^{228} radionuklidlərinin aktivlikləri öyrənilmiş və radionuklidlərin torpaqdan yaşıl bitki örtüyünə transfer faktorlarının qiymətləri təyin edilmişdir [185, s.93].

Radioaktiv tullantıların basdırıldığı yerlərin və nüvə reaktorlarının yaxınlıqlarında qrunt sularının çirklənməsi mümkünlüyünün öyrənilməsi məqsədilə uranın məsaməli mühitlərdə, qumlu torpaqlarda miqrasiyası tədqiq edilmişdir. Miqrasiyanın sürətinə qum hissəciklərinin ölçüsünün az, uran məhlulunun turşuluğunun isə çox təsir etdiyi müəyyənləşdirilmişdir. Uranın güclü turş məhlullarının miqrasiya sürəti çox böyük olduğu halda, təbiətdə yaranan uranın kolloid məhlulları məsamələrdən çox kiçik sürətlə keçir. 7000 mm yağıntı ekvivalentinin torpaqla doldurulmuş borucuqdan keçməsi nəticəsində torpaqdakı uranın yalnız 1/3 hissəsini ayırmaq mümkün olmuşdur. Quraq və yarımquraq torpaqlı ərazilərdə uranın təbii miqrasiyasının cüzi olması müəyyənləşdirilmişdir [83, s.95].

İssık-Kul təbii urantərkibli ərazilərin tədqiqi nəticəsində texnogen və ayrı-ayrı lokal ərazilərdə U^{238} , Ra^{228} , Ra^{226} , Ra^{238} , Th^{228} , Pb^{210} , Sr^{90} , Cs^{137} radionuklidləri ilə çirklənmə, 88700 Bq/kq alfa şüalanma və 14700 Bq/kq beta şüalanma müşahidə edilmişdir [94, s.57-60].

Müdafiə Nazirliyinin Kimya Qoşunları tərəfindən ölkəmizin ərazi atmosferində dronlarla radiomonitorinqlər aparılmışdır. Həmçinin Metsamor AES-nin iş fəaliyyəti dövründə atmosfərə atılmış qısaömürlü qazşəkilli radionuklidlərin (H^3 , C^{14} , Ar^{41} , $Kr^{83m, 85, 85m, 87-89}$, $Xe^{133, 133m, 135, 135m, 137-140}$, $I^{131-135}$) və vaxtaşırı atmosfərə atılmış uran yanacağıının nisbətən uzunömürlü parçalanma məhsullarının (Cr^{51} , Mg^{54} , Co^{60} , Nb^{95} , Ru^{106} , Ce^{144} və s.) küləklə ətraf ərazilərə, o cümlədən Naxçıvan MR ərazilərinə yayıldığı müəyyənləşdirilmişdir [87, s.66-68].

İonlaşdırıcı radiasiyanın təsiri ilə neft-bitum mənşəli sintetik neftin radiasiya-kimyəvi çevrilmələri, ionlaşdırıcı radiasiyanın (doza gücü 0.21 Gy/san., udulan doza 3.8 – 109.5 kqy) neft komponentlərinin destruksiyasında rolu tədqiq edilmiş və alınmış şəkildəyişmiş ağır molekul kütləli amorf məhsulların radioaktiv mənbələrin

fiziki izolə edilməsi, həmçinin təyin edilmiş qanunauyğunluqların neft tullantıları ilə çirklənmiş suların təmizlənməsi proseslərində istifadə üçün tətbiqi təklif edilmişdir. [52, s.449-451; 13, s.13-15; 111, s.41].

Şəki və Zaqatala rayonları ərazilərində və yaşıl tütün bitkisi kütləsinin müxtəlif hissələrində Ra^{226} , Th^{232} , K^{40} , həmçinin Abşeron arxipelaqının bəzi sahələrində radionuklidlərinin paylanması tədqiq edilmişdir [81, s.55; 73, s.32]. Həmçinin, ölkəmizin işğaldan azad edilmiş ərazilərinin radioekoloji monitorinqi, mövcud ekoloji durumun və radioekoloji risklərin qiymətləndirilməsi aparılmışdır [4, s.119; 6, s.120; 15, s.124].

Nüvə kimyası və radiokimyası sahəsində tədqiqat texnikasının istifadəsilə insan sağlamlığı üçün əlavə təhlükələrin, xərçəng xəstəliklərinin yaranmasına səbəb olan nanotexnologiya tullantılarının, o cümlədən metallic nanohissəciklərinin ətraf mühitə yayılması riskləri öyrənilmişdir [194, s.4299-4300; 177, s.1-3].

Radioaktiv tullantıların basdırıldığı gil divarlı tranşeyalardan ətrafa yayılmasına yol verilməməsi məqsədilə Pakistan Nüvə Elmləri və Texnologiyası İnstitutunda laboratoriya şəraitində aparılmış tədqiqatlarla və nəticələrin xətti ən kiçik kvadratik səhvlər metodu ekstrapolyasiyası aparılmışdır. Tədqiqatlar nəticəsində müəyyənləşdirilmişdir ki, Cs^{137} , Sr^{90} və Co^{60} radionuklidlərinin saxlandıqları gil tranşeyaları divarları boyu müvafiq olaraq 4.33, 3.77 və 1.51 metrdən artıq diffuziya irəliləmə hərəkəti baş verənədək bu radionuklidlərinin aktivliyi AEBA tərəfindən həmin izotoplar üçün yol verilən hədlərədək (10, 100 və 10 Bq/q müvafiq olaraq) azalır. Bu nəticələr radioaktiv tullantıların yer səthindən 7 metr dərinliyində basdırıldığı və tranşeya divarlarının qalınlığı 4.33 metrdən artıq olduğu halda ətraf tez adsorbsiyaedici torpaqlara yayılması təhlükəsi olmur [123, s.720-727].

Böyük Britaniyanın Harpur Hill və Drebuşir ərazilərində radioaktiv tullantılar basdırıldığı ərazilərdə aparılmış tədqiqatlar nəticəsində torpaqların qələvi metalları ilə güclü çirklənməsinin mikroorqanizmlərin (*Clostridium*) fəaliyyəti ilə sellulozanın qələvi mühitdə parçalanmasına, izosaxarin turşularının yaranmasına və parçalanmasına, *Methanumbacterium* bakteriyalarının, *Methanomassillicoccus sp.* mikrokokklarının fəaliyyəti ilə yaranmış hidrogen və karbon qazından metan

sintezinin baş verməsinə və izosaxarinlərin radionuklidlərin miqrasiyasına təsiri öyrənilmişdir [190, s.1-4]. Aralıq dənizi və Nil çayı sahillərindəki yaşayış ərazilərində dağlıq, təpəcik və sahilyanı qara qumsal torpaqlarda uran və toriumun akkumulyasiyası, bitkilərə transferi, radionuklidlərlə çirklənmiş torpağın fitoremediasiyası prosesləri öyrənilmiş və bu dəyişikliklərin torpaqdakı üzvi maddələrdən, gil fraksiyasından, radionuklidlərin növlərindən və bitki növlərindən asılı olaraq əhəmiyyətli dərəcədə dəyişən mürəkkəb və kompleks xarakterli proseslər olması müəyyənləşdirilmişdir [112, s.140-145].

AEBA-nın Zaybersdorfdakı Kimya Bölməsinin Etalon Materiallar qrupu tərəfindən ətraf mühit obyektləri matritsalarına qamma şüalandırıcı ^{54}Mn , ^{65}Zn , ^{60}Co , ^{109}Cd , $^{134,137}\text{Cs}$, ^{210}Pb və ^{241}Am radionuklidlərin qarışdırılması proseduru işlənərək hazırlanmış və optimallaşdırılmışdır. Prosedur zamanı testlərin keyfiyyətinə, qarışdırma tamlığına, izomorfluğa və onunla bağlı qeyri-müəyyənliklərin aradan qaldırılmasına diqqət yetirilmişdir [188, s.2509-2512].

Qazaxıstanın radiasiya riskli şərq hissəsinin Semipalatinsk ərazisində torpaqda, suda, bitkilərdə, heyvandarlıq məhsullarında (süddə və ətə) ^{137}Cs , ^{241}Am , $^{239,240}\text{Pu}$ radioizotoplarının paylanması tədqiq edilmiş və radioizotopların miqdarının ən çox torpaq nümunələrində aşkar olunması və su, bitki, süd və ət nümunələrində göstərilmiş ardıcılıqla azalması müəyyənləşdirilmişdir [187, s.1988-1991]. Serbiya şaftalı bağları ərazisində qaratorpaqla gətirilmə torpaqların qarışığından yaranmış antrozol tipli torpaqlarda 0-80 cm dərinlik boyu ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th və ^{40}K radioizotopların pH, gil, humus, karbonatların miqdarından asılı olaraq paylanmaları tədqiq edilmişdir [127, s.542]. HPGe detektoru ilə təmin olunmuş qamma spektrometrdə aparılmış analizlərlə Qərbi Fələstindən götürülmüş 50 ədəd torpaq nümunələrində ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs radionuklidlərinin aktivlik konsentrasiyası səviyyəsinin müvafiq olaraq 12.7-122.3, 2.0-32.2, 12.0-183.8, 1.0-12.2 Bq/kq intervallarında dəyişdiyi müəyyənləşdirilmişdir [169, s.113].

Kar, Barents və Oxot dənizlərində 200 metrdən 1500 metrədək dərinliklərdə müşahidə edilmiş dib çöküntüləri sahələrində müxtəlif dominantlıqlarla yayılmış heterotrof bakteriyalarda, *Saccorhiza ramosa* və ya aqlütinant digər orqanizmlərdə

^{226}Ra , ^{232}Th , ^{210}Pb və ya ^{238}U radionuklidləri 20-500 Bq/kq miqdarlarında aşkar edilmişdir [95, s.189-191].

Şərqi Ural yüksək radioaktiv zolaqlarında və Yenisey çayının sahil torpaqlarında Am və Pu radionuklidlərinin əksərən humin turşuları ilə və qismən az nisbətdə fulvoturşularla assosiatlar təşkil etdikləri və müvafiq olaraq leysan daşqınları üçün xarakterik və sakit su axınları ilə müşayiət olunan filtrasiya prosesləri üçün xarakterik miqrasiya mexanizmləri ilə fərqlənirlər [176, s.2018-2023].

Hindistanın Kumayun Himalay dağlıq ərazilərindəki torpaq örtüyündən götürülmüş nümunələrin qamma-spektroskopiyası analizləri aparılmış, nümunələrdə ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{235}U , ^{238}U radioizotopları və onların slans laylı qranitlərdə, kvarsitlərdə konsentrasiyaları arasında uyğunluqlar, 1 metr hündürlükdə torpaq səthində yaratdıqları udulan doza gücü müəyyənləşdirilmişdir [183, s.906]. Təbii radionuklidlərin kiçik radiasiya səviyyəsinin təyini məqsədilə Canberra şirkətinin NaI(Tl) sintillyasiya detektorunun qamma şüa sayma effektivliyi öyrənilmişdir [129, s.430-434]. Yunanıstanın Eordea boz kömür yatağından götürülmüş nümunələrdə təyin edilmiş ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K , ^{137}Cs radionuklidləri ilə ağ ciyərlərində yeni yaranmış törəmələr nəticəsində ölüm saylarının artması arasında asılılığın öyrənilməsi sahəsində tədqiqatların aparılmasının məqsəduyğunluğu planlaşdırılmışdır [138, s.789].

Radioizotoplarla nişanlanmış aminturşuların qatılığı torpaqda ölçülmüş və planktonlarda və mikroblarda aminturşu dövriyyəsi tədqiq edilmişdir. Planktonlardakı bakteriyalar kiçik miqdarlarda (nanomolyar) aminturşularını bir neçə saat ərzində udaraq emal edir. Bu mikrobların yatmış vəziyyətdə olan metabolizminin aminturşu mühitində aktivləşməsi ilə izah olunur. Torpaqda isə oxşar proses bir neçə dəqiqə ərzində baş verir və prosesin kinetikasının öyrənilməsi mümkün olmur. Bu torpaqda aminturşuların böyük qisminin məsamələrdə, mikroköklərdə bağlı və mikroorqanizmlər üçün əlçatmaz halda olması ilə izah olunur [114, s. 343-350, 61, s.984; 170, s.237].

RF EA Kosmik Tədqiqatlar İnstitutunda Aya göndəriləcək avtomatik idarə olunan minimaşınla Ayın qütb səthlərindən nümunələrin yoxlanılaraq götürülməsinin optimallaşdırılması məqsədilə elementlərin və radionuklidlərin eyniləşdirilməsi üçün elmi tələblərə cavab verən və minimaşında yerləşdirilə bilən 30-100 kq intervalında

kütləyə malik qamma və neytron spektrometrlərin inşası üzərində sistemətik tədqiqatlar aparılır [142, s.275-284].

Yüksək təmizlikli Ge detektorunun effektiv kalibrlənməsi məqsədilə ^{60}Co məhlullarının spektrlərindəki üst-üstə düşən göstəricilərin toplanmasını nəzərə alan düzəlişlərin daxil edildiyi Monte Karlo modelləşdirilməsi aparılmışdır. Kalibrlənmiş formalı standartlardan istifadə etməklə nümunələrdə radionuklidlərin aktivlik konsentrasiyalarının qiymətləri təyin edilmişdir [131, s.69]. Həmçinin, Monte Karlo modelləşdirilməsi əsasında radionuklidlərin məsaməli materiallarda miqrasiyasının ehtimal edilən yayılma intervalında gözlənilən qiymətlərinin proqnozlaşdırılması aparılmışdır [202, s.1164].

Məhsulların emalı və deaktivləşdirməsi proseslərinin təhlükəsizliyinin təmin edilməsi məqsədilə Loparit mineralının yüksək temperaturlu xlorlanmasının aralıq məhsullarında və tullantılarında radioaktiv elementlərin (Nb, Ta, Th, U, Ra) izotopları təyin edilmişdir [136, s.547].

Krasnoyarsk dağ-kimya kombinatı ətraflarındakı və Yenisey çayındakı Beryozoviy adasının torpaq örtüyündə radionuklidlərin paylanması öyrənilmiş, radionuklidlərin yığılması bu torpaqlarda və Balçuq qəsəbəsi ərazisində torpaqlarda müxtəlif müddətlərdə sel suları altında qalması nəticəsində yaranmış gil çöküntüləri laylarının yaranması ilə izah olunmuşdur [141, s.511]. Həmçinin, Yunanıstanın elektroenerjiyə tələbatının 70%-ni təmin edən Qərbi Makedoniyanın Kozani-Ptolemissa Amunteon hövzəsindəki dörd ədəd kömür elektrik stansiyaları ətrafındakı ərazilərin torpaq örtüyündə təbii $^{226,228}\text{Ra}$, ^{40}K (müvafiq olaraq 21, 24.5, 341 Bq/kq) və süni ^{137}Cs (1 - 395 Bq/kq) radionuklidlərinin paylanması öyrənilmiş, onların miqdarının Yunanıstan torpaqlarındakı göstəricilərə uyğunluğu və süni ^{137}Cs izotoplarının miqdarı ilə təbii radionuklidləri miqdarı arasında uyğunluğun olmadığı müəyyənləşdirilmişdir [103, s.259]. Torpaq nümunələrinin ardıcıl olaraq nitrat turşusu, su, hidrogen peroksid və xlorid turşusu ilə mikrodalğalı sobada 160-210°C temperaturda ekstraksiya edilməklə və filtrasiya edilmiş ekstraktın buxarlandırılması ilə ağır metalların və radionuklidlərin effektiv ayrılması, ölkə ərazisindəki su mənbələrindən götürülmüş nümunələrdə radonun və radionuklidlərin təyini, Xəzər dənizindən götürülmüş dib çöküntülərində ağır

metalların və radionuklidlərin paylanması öyrənilmişdir [118, s.69-71; 74, s.14; 116, s.300; 117, s.83; 75, s.446]. Ölkə ərazisindən götürülmüş torpaq nümunələrində xlor-üzvi pestisidlərin təyini məqsədilə xromatoqrafik analizlər aparılmış, Kür və Araz çaylarından götürülmüş dib çöküntülərində, həmçinin, radioaktiv tullantılarda müxtəlif radionuklidlərin təyini məqsədilə qamma spektroskopiyasından istifadə edilmişdir [121, s. 310-311; 8, s.217]. İonlaşdırıcı radiasiyanın təsiri ilə neftlə çirklənmiş torpaqlarda, burdakı deqradasiyaya uğramış yağ fraksiyası qalıqlarında, xlor-üzvi pestisidlərdə, daşkömürdə, kristallarında yaranmış dəyişikliklər, toxumların şüalandırılmasının lobya bitkisinin inkişaf dinamikasına təsiri tədqiq edilmişdir [109, s.21; 172, s.57; 77, s.27; 102, s.20; 122, s.5; 110, s.20]. Qazaxıstan radionuklid monitorinq stansiyasının inşa edilmə sahəsi qismində Beynəlxalq təşkilatların nümayəndələri ilə əməkdaşlıq çərçivəsində aparılmış tədqiqatlardan sonra Kurçatov şəhəri preoritet ərazi qəbul edilmişdir [67, s.261].

Sudanın Strateji Milli Radiasiya Monitorinqi Proqramı çərçivəsində radiasiya xəritəsinin tərtib edilməsi məqsədilə Əl-Obeyd Neft Emalı Zavodu (Sudan) ətrafındakı torpaq örtüyündən və dağlıq ərazilərin minerallarından nümunələr götürülmüş və NaI(Tl) detektorlu qamma spektrometdə analizləri aparılmışdır. ^{226}Ra , ^{232}Th və ^{40}K radionuklidlərinin aktivliklərinin torpaq nümunələrində müvafiq olaraq 30, 28 və 301 Bq/kq, dağətəyi ərazi minerallarında isə müvafiq olaraq 24, 26 və 315 Bq/kq olması təyin edilmişdir. Torpaq səthində və dağlıq ərazilərdə müşahidə edilən udulan ionlaşdırıcı radiasiya doza gücünün müvafiq olaraq 32 və 29 nQr/saat, aşkar edilmiş izotopların əhali üçün yaratdığı illik effektiv dozanın müvafiq olaraq 39 və 36 mkZv/q olması müəyyənləşdirilmişdir [175, s.8].

Şərqi Qazaxıstan vilayətinin (QR) Semipalatinsk poliqonunun "Atomnoe" gölü obyektində aparılmış nüvə sınaq partlayışlarından sonra torpaq səthindən və dərinlik boyu götürülmüş nümunələrdə tritiumun təyini (240000 Bq/kq) və Eu ilə korrelyasiyası aparılmışdır. Partlayış ərazisindəki torpaqlarda tritiumun aşkar edilmiş böyük aktivliyi partlayış zonasında yaranmış yüksək hərarətin əritdiyi və sonrakı kondensasiya prosesləri nəticəsində bərkimiş mineral hissəcikləri tərəfindən nüvə sursatındakı

tritiumun tutulması və ya torpaqdakı litium, bor və ya azot izotoplarının nüvə reaksiyası (neytron aktivasiyası) ilə izah edilmişdir [66, s.358].

Torpaq sahələrində təbii radioaktivliklə yanaşı nüvə sınaqları, nüvə energetikası və atom enrjisi sənayesi müəssisələrinin fəaliyyəti, nüvə qəzaları zamanı radioaktiv tullantıların ətrafa yayılması nəticəsində (1949-1953-cü illərdə Teç çayının çirkləndirilməsi, 1957-ci ildə cənubi Uralda Kışım qəzası və Böyük Britaniyada Uindskeyl qəzası, 1986-cı ildə Çernobil qəzası) yaranmış süni radioaktivlik, kənd təsərrüfatı təyinatlı torpaqların fitomeliorasiyası, reabilitasiyası məsələləri müzakirə edilmiş, torpaq-bitki örtüyünün çirklənmə təhlükəsinin analizləri iki istiqamətlərdə (kənd təsərrüfatı istehsalı məhsullarında radionuklidlərin aktivliklərinin təyini və onların yaratdıqları ionlaşdırıcı şüalanma dozasının təyini və bu göstəricilərin müvafiq standartların tələbləri ilə müqayisəsi) aparılmışdır [20, s.1487].

Bolqariyanın Novi Xan radioaktiv tullantılar qəbristanlığından U(VI) radioizotoplarının ətraf ərazilərdəki meşə qəhvəyi torpaqlarında yayılması və hazırlanmış model sistemdə (uran məhlulunun müxtəlif pH qiymətlərində torpaqda adsorbsiyası) uran izotopunun yayılması və torpaqdan ayrılması prosesləri Speciation proqramı ilə tədqiq edilmişdir. Uran izotoplarının məhlulda və torpaqda paylanması çoxsaylı faktorlardan, o cümlədən torpağın mineral tərkibindən asılıdır. Torpaqların mineral tərkibi 1.4.1 sayılı cədvəldə göstərilmişdir [100, s.77].

Uran izotoplarının ətraf torpaqlara yayılmasının, həmçinin həmin torpaqların radionuklidlərdən təmizlənməsi məqsədilə “nişanlanmış nöqtələr” qismində MT-25 (FLNR, JİNR elektron sürətləndirici) mikrotronda ^{238}U (γ, n) ^{237}U foto-nüvə reaksiyası ilə sintez edilmiş ^{237}U izotopundan istifadə edilmişdir.

Cədvəl 1.4.1

Torpaqda təyin edilmiş mineralların miqdarı [100, s.77]

TEİ*	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₃
5.57	76.62	10.67	3.35	0.92	2.02	0.59	0.75	0.15

Qeyd: *TEİ - Termiki emal itkisi (üzvi hissə və CO₂).

^{237}U izotopunun məhlul və torpaq arasında yayılması əmsalı onun aktivliyinin məhlulun torpaqla təmas edənədək və torpaqda sorbsiya edildikdən sonra ölçülməsi aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir (bax: Cədvəl 1.4.2 [100, s.78]):

$$K_y = (A_o - A_i)V/A_i m,$$

burada K_y – ^{237}U izotopunun məhlul və torpaq arasında yayılması əmsalı, ml/q,

A_o – ^{237}U izotopunun məhlulda torpaqla təmas edənədək aktivliyi, Bq,

A_i – ^{237}U izotopunun torpaqda sorbsiyadan sonra qalan məhlulda aktivliyi, Bq,

V – ^{237}U izotopun məhlulun həcmi, ml,

m – təcrübə üçün istifadə edilən torpaq nümunəsinin kütləsi, q.

Cədvəl 1.4.2

$1 \cdot 10^{-2}$ M qatılığında ^{237}U izotopunun pH=1-7 qiymətli məhlullarla (məhlula HNO_3 əlavə edilməklə dəyişdirilir) torpaq arasında yayılması əmsalı

pH	1	2	3	4	5	6	7
K_y , ml/q	0.4	1.7	14	28	58	14	24

^{237}U izotopunun yarımparçalanma periodu $T_{1/2}=6,75$ sutka, şüalandırdığı qamma şüaların enerjisi 59.54 keV və 208.00 keV təşkil edir. Uran radioizotoplarının torpaqda yayılmasının tədqiqi məqsədilə model sistem qismində ^{237}U radioizotopu məhlulun pH=1-7 qiymətlərində torpaqda adsorbsiyası və torpaqda digər uran izotopları ilə yanaşı adsorbsiyası prosesinin müqayisəli analizləri aparılmışdır [100, s.78]. Çernobil qəzası episentrinə yaxın meşəlik ərazilərdə 2016-2018-ci illərdə aparılmış monitorinqlər nəticəsində ^{90}Sr radioizotopunun ^{137}Cs izotopundan əhəmiyyətli dərəcədə böyük mobilliyə malik olması, ildən-ilə yerüstü üzvi substansiya miqdarının və bu səbəbdən meşə biosenozunda artan ümumi biokütlədə radionuklidlərin ümumi aktivliyinin (hər il ümumi meşə biosenozu aktivliyinin 0.9

faizi qədər) artması müəyyənləşdirilmişdir [115, s.256]. Müxtəlif torpaq ərazilərində radionuklidlərin aşkar edilməsi, qatılığı, kimyəvi xarakteristikaları, aktivliklərinin dəyişmə dinamikası, kolloidlərdə yığılması və yerdəyişməsi sahəsində tədqiqatlar aparılmışdır [176, s.2023; 38, s.288; 128, s.100; 88, s.903, 199, s.336]. Radionuklidlərlə çirklənmiş torpaqlarda becərilmiş bitkilərlə remediasiyanı, torpaqdakı radionuklidlərin törətdiyi radioloji təhlükələrin qiymətləndirilməsini öyrənən çoxsaylı elmi tədqiqat işləri mövcuddur [168, s.673; 39, s.277-279; 130, s.74; 135, s.281; 132, s.383; 126, s.258-262]. Son illər elmi ədəbiyyatda radioaktiv tullantıların bərk süxurlardan ibarət sədlərlə əhatə olunmuş ərazilərdə basdırılması haqqında tədqiqatların nəticələrinə həsr edilmiş məlumatlar dərc edilmişdir [137, s.1989-1990]. Radionuklidlərin və ağır metalların torpaqdan bitki örtüyünə keçidi öyrənilmiş, onların yaşıl çay yarpaqlarında (Banqladеш), düyüdə (Çin) qatılıqlarının öyrənilməsinə həsr olunmuş çoxsaylı elmi ədəbiyyat materialları mövcuddur [113, s.255; 99, s.20; 30, səh.256-259; 92, s.2093].

Radionuklidlərin heyvan sümüklərində (şərqi Polşada tapılmış porsuq çənəsində) konsentrasiyaları təyin edilmiş, radionuklidlərin təyini üsullarının müqayisəsi, qamma spektrometrində və $Al_2O_3:C$ termolüminessensiya dozimetrlərində alınmış nəticələrin müqayəsəli analizləri ilə tədqiq edilən süxurların yaşının təyini, qamma spektroskopiyası ilə İQ- və rentgen-spektroskopiya üsullarının nəticələrinə əsasən Ay səthindəki mineral süxurların yaşının qiymətləndirilməsi aparılmışdır [79, s.600-603; 163, s.1671; 80, s.21; 189, s.85].

Radionuklidlərin canlı orqanizmdə mövcud ola bilən xəstəlik, bədxassəli törəmələrə çatdırılması məqsədilə antibakterial və maqnit xassəli biouyğun polimerlərin, maqnit-rezonans tədqiqatlarda və rentgen üçün kontrastlı maddələrin polimer daşıyıcıların işlənilib hazırlanması məqsədilə son onilliklərdə müəyyən tədqiqatlar aparılmışdır. Mikrohissəciklərdən istifadə edərkən onların qanda dövriyyə və hədəfə çatma müddəti, biopaylanması, kimyəvi tərkibi, səth modifikasiyası və elektrik səthi yükü nəzərə alınır. Elektroforetik hərəkətilik kimyəvi və bioloji işlənməmiş molekullardan ibarət polimer hissəciyin faydalılığını proqnozlaşdırmaq üçün vacib bir parametrdir. Radionuklid terapiyasının müvəffəqiyyəti hədəf toxumasında

və ətraf normal toxumada radioaktiv izotopların miqdarları nisbətindən asılıdır. Xərçəngin müalicəsi üçün radioimmunoterapiyanın həyata keçirilməsinin ilkin olaraq gözlənilmədiyindən xeyli çətin olduğu sübuta yetirildiyindən, radionuklidlərin şişə yaxşı yönəldilməsi üçün bioloji parçalana bilən maqnit nanosferlərin venadaxili yeridilmə üçün tətbiqi təklif edilmişdir [193, s.100].

Son illər ərzində Kanada [93, s.76], Misir [97, s.257; 82, s.137], Əlcəzair [173, s.339], Kamerun [166, s.1], İraq [78, s.187; 85, s.1059], Rumıniya [164, s.160], Fələstin [169, s.113-118], Səudiyyə Ərəbistanı [106, s.864], Hindistan [143, s.153], Türkiyə [70, s.179], İtaliya [180, s.794], İngiltərə [181, s.667-669], Rusiya [96, s.81], Çin [140, s.677; 195, s.1343; 194, s.4299-4305; 201, s.1-5], Yaponiya [191, s.1-4; 178, s.29-33] torpaqlarında kiçik konsentrasiyalarda ağır metalların (Pb, Cu, Zn, As, Fe, Ca, Co, Mn, Cd, Cr, Ni, Mo, Hg), radionuklidlərin (U, Th, K, Cs, Ra, Pb, Co) aşkar edilməsi, paylanması və aktivlikləri haqqında çoxsaylı elmi araşdırmalar aparılmış və dövrü elmi ədəbiyyat səhifələrində dərc edilmişdir.

1.5. Ətraf mühit obyektlərinin radioaktiv tullantılarla çirklənməsinin mənfi təsirlərinin neytrallaşdırılması və ya zəiflədilməsi məqsədilə aparılan elmi tədqiqatlar

Çernobıl nüvə qəzası zamanı nüvə materialından başqa ətrafa səpilən Y^{131} (qalxanabənzər vəzdə daha çox yığılır), Sr^{90} (sümük toxumalarında daha çox yığılır), Cs^{137} , Co^{60} , Am^{241} (əsas biosfer çirkləndiriciləri) radionuklidlərinin yaratdıqları aktivlik 14×10^{18} Bq təşkil edirdi. Bunlardan Y^{131} , Sr^{90} , Cs^{137} izotoplarının yaratdıqları aktivlik müvafiq olaraq 1.8×10^{18} Bq, 1.0×10^{16} Bq, 8.5×10^{16} Bq təşkil edirdi.

Ətraf mühit obyektlərindən götürülmüş nümunələrin əksəriyyətində kiçik miqdarlarda təbii radioaktiv elementlər müşahidə olunduğundan insanların təbii müdafiə sistemində patoloji dəyişikliklərin baş verməməsi üçün digər radioaktiv izotopların hətta ən kiçik miqdarlarının insanların təmasda olduqları obyektlərə və ya insan orqanizminə düşməsinin qarşısı qətiyyətlə alınmalıdır. Bu məqsədlə radioaktiv mənbələrdən istifadə edilən istehsalat müəssisələrində, neftayırma zavodlarında

mütəmadi olaraq radioaktiv şüalanma fonunun monitorinqləri aparılmalı və mövcud tullantılarda radionuklidlərin miqdarına ciddi nəzarət edilməlidir [44, s.282-284; 200, s.51-56; 42, s.219; 174, s.1-4; 72, s.45; 76, s.29; 120, s.308; 163, s.1671-1677].

Tərkiblərində radioaktiv izotoplar olan radiokimya istehsalı və tədqiqatı tullantılarının birbaşa kanalizasiya xəttinə atılması məqsədəuyğun sayılmadığından bu qəbildən olan tullantıların tərkiblərinin mütləq müvafiq sanitar norma və qaydaların tələblərinə uyğunlaşdırılması zəruridir və tərkibində radionuklidlər tutulub yığılmış qatı istehsalat tullantısı kütləsi isə ayrıca qablara yığılmalıdır.

Ayrılmış radioaktiv maddələr isə nüvə materialları və radioaktiv maddələrin saxlanması üçün inşa edilmiş FHN-nin “İzotop” xüsusi kombinatına təhvil verilməlidir.

Radiasiya təhlükəsizliyinin təmin edilməsi üçün radioizotopların sulu məhlullardan ayrılması üsullarının öyrənilməsinə ehtiyac vardır. Bu məqsədlə aparılan təcrübələrdə model sistem qismində uran izotopları ilə çirklənmiş sulu məhluldan istifadə edildi.

Radiokimya istehsalı və tədqiqatı tullantılarının birbaşa kanalizasiya xəttinə atılması məqsədəuyğun olmadığından bu tullantıları ayrıca qablara yığaraq müvafiq sanitar norma və qaydalarının tələblərinə uyğunlaşdırılması məqsədlə tərkiblərindəki bütün radionuklidlər tutulduqdan sonra texnoloji prosesin tullantı suyu kimi qəbul edilə bilər. Təmizləmə prosesində ayrılmış radionuklid tullantıları, həmçinin nəzarətedici orqanlarla razılaşdırılaraq rəsmi istifadədə olmuş və istifadə müddəti keçmiş, aktivliyi azalmış radioaktiv maddələr və nüvə materialları “İzotop” xüsusi kombinatına təhvil verilməlidir.

Nüvə qəzaları və ya radioloji fəlakətlər zamanı insanların sağlamlıqları üçün yaranmış real təhlükənin mümkün qədər neytrallaşdırılması və təcili azaldılması məqsədlə radioaktiv maddələrin tozları və ya onların məhlullarının qalıqları ilə çirklənmiş ərazilərin, daldalanacaq və tikililərdəki səthlərin, məişət əşyalarının, texnikanın, üst paltarlarının, fərdi müdafiə vasitələrinin və ayaqqabıların səthlərinin fiziki (mexaniki) və ya fiziki-kimyəvi üsulla təmizlənməsi prosesləri dezaktivasiya adlanır.

Mexaniki üsulla çirklənmiş səthlərin təmizlənməsi süpürgələrlə, fırçalarla və ya süpürgə qismində istifadə edilə biləcək istənilən əşyalarla və ya materiallarla süpürməklə və ya çırpmaqla, paltarları açıq havada yelləyib çırpmaqla, su şırnağı ilə və ya səthi aktiv maddələrin (müxtəlif bərk sabunlar, maye sabunlar, yuyucu tozlar) suda məhlulları ilə yumaqla aparılır. Nisbətən uzunmüddətli tədbirlər zamanı dezaktivasiya məqsədilə radioaktiv maddələrlə çirklənmiş səthlərin çirklənməmiş torpaqla və ya təmiz örtük materialları ilə örtülməsi, çirklənmiş qar və ya torpağın üst layının kəsilib aparılması, radioaktiv maddələri güclü akkumulyasiya edən bitkilərin çirklənmiş torpaqlarda əkilib-becərilməsi də aparılır. Bir çox hallarda ultrasəs, lazerlə və ya elektrokimyəvi üsullarla da səthlərin təmizlənməsi aparılır.

Çirklənmiş səthlərin effektiv və dərindən təmizlənməsi, radioaktiv maddə qalıqlarının səthlərdən yuyulmaqla kənarlaşdırılması məqsədilə fiziki-kimyəvi üsulla, yəni xüsusi məhlullarla dezaktivasiyası tətbiq edilir. Bu məqsədlə böyük ölçülü və bərk səthlərin fiziki-kimyəvi üsulla dezaktivasiyası xüsusi texnika (yanğın avtomobilləri və ya xüsusi təyinatlı hərbi avtomobillər) tətbiqilə yaradılmış yuyucu məhlul şırnaqları və ya yüksək təzyiqli xüsusi məhlulların hava seli qarışığı ilə yumaqla aparılır.

Rusiya Federasiyası ərazilərində 2011-2015-ci illərdə əkinə yararlı torpaqların ^{137}Cs , ^{90}Sr və $^{239,240}\text{Pu}$ radionuklidləri ilə çirklənmələri tədqiq edilmişdir. Eyni çirklənmə dərəcələrinə malik əkinə yararlı torpaqlardan ^{137}Cs , ^{90}Sr izotoplarının bitkilərə miqrasiya sürətinin qeyri-münbit torpaqlardan bitkilərə keçidindən 1.5-2.0 dəfə kiçik olması müəyyənləşdirilmişdir. Radionuklidlərin bitkilərdə yığılması prosesinin zəiflədilməsi üçün bəzi tədbirlərin aparılması təklif edilmişdir. Suda həll olan kalium gübrələrinin (KCl , KNO_3 , K_2SO_4) tətbiq edilməsi torpaqda ^{137}Cs izotopu ionlarının bütün Cs izotopları, rubidium və kalium ionlarına olan nisbətlərin kiçilməsinə səbəb olur. Torpağa metallurjiya sənayesinin kaliumlu tullantılarının əlavə edilməsi bitkilərdə ^{137}Cs izotopunun akkumulyasiyası prosesini suda həll olan gübrələrə nisbətən daha çox zəiflədir. Turş reaksiyalı torpaqlara əhəng tozunun əlavə edilməsi bu torpaqlarda yetişdirilən bitkilərdə radionuklidlərin miqdarının 1.5-3.0 dəfə aşağı düşməsinə səbəb olur [56, s.42-43].

Radionuklidlərlə çirklənmiş əkin torpaqlarının fitomeliorasiya metodu, aqrokimyəvi və hidromeliorativ tədbirlərlə bərpası və rekultivasiyası məqsədilə alqoritm tərtib edilmiş, torpağın üst layının su ilə yuyulması, kimyəvi reaktivlərlə təsir etməklə radionuklidlərin torpaqda hərəkətini sürətləndirmək, üzərində radionuklidlərin yığılıb qaldığı geoloji sədlər yaratmaq, radionuklidləri akkumulyasiya edən bitkilərin əkilməsi və yığılıb qurudularaq yandırılıb-basdırılması prosedurları təhlil edilmişdir. Eyni zamanda bu metodun böyük əmək sərfiyyatı tələb edən, torpağı şoranlaşdıran, radionuklidlərin miqrasiyasını yalnız müvəqqəti dayandıran, onların ümumi miqdarını azalda bilməyən, torpağı qısa zamanda operativ dezaktivasiya etməyə imkan yaratmayan proseslərdən ibarət olması, yəni çoxsaylı mənfi cəhətlərinin olması göstərilmişdir [57, s.997-1001].

Torpaqda Pu izotoplarının pq/q səviyyəli iz miqdarının İCP-MS analizi ilə birbaşa təyini üçün izotop durulaşdırma lazer ablasiyası tətbiq edilmişdir, yəni lazer şüalarının təsiri ilə torpaqdan Pu izotoplarının ayrılması ilə İCP-MS analizləri aparılmışdır. Lazer ablasiyasını tətbiq etməklə induktiv plazma kütlə spektrometriyası (LA-İCP-MS) ilə torpaq və ya çöküntü nümunələrində Pu təyin edilmişdir. Yüksək sürətlə ablasiya apara bilən İCP-MS ilə bağlı LİNA-Spark-Atomizer (qığılıcı püskürdücü) modifikasiya edilmiş lazer ablasiya sisteminin tətbiqi bir neçə mkrq/q qatılığında uranla çirklənmiş torpaqda $3 \cdot 10^{-13}$ q/q miqdarında Pu təyin etməyə imkan verir. Kəmiyyət analizləri üçün izotop durulaşdırma üsulunun tətbiqi ilə LA-İCP-MS analizlərinin matritsa-nümunə effektləri kompensasiya edilmişdir. UH^+ , PbO_2^+ ionlarının yaratdıqları xətalardan və $^{238}U^+$ ionlarının böyük pikinin getdikcə azalan sonluğunun quru plazma tətbiqi və kütlə təyini həssaslığı hesabına kiçildilərək ayrılması aparıldı. 239 , ^{240}Pu izotoplarının xüsusi aktivliyinin LA-İCP-MS analizi ilə təyin edilmiş qiymətinin (9.8 mBq/q) standart mənbənin sertifikat göstəricisinin qiyməti ilə (10 mBq/q) qənaətbəxş uyğunluq təşkil etdiyi müəyyənləşdirilmişdir [90, s.342].

Xlorlaşdırılmış naften turşuları ilə sulu məhlullardan az miqdarda uranil ionlarının (tədqiqatlar izotopları fərqləndirilmədən ümumilikdə VI valentli uran elementinin kolorimetrik üsulla təyini üsulu ilə aparılmışdır) ekstraksiyası

öyrənilmiş və anilinin ekstraksiyanın effektivliyini artırdığı müəyyənləşdirilmişdir [145, s.55-58]

Uran nitridinin nitrat turşusunun sulu məhlullarında həll olmasının elektrokimyəvi modeli öyrənilmiş, uran nitridinin anod üzərində həll olması, daha sonra anodətrafı sahədə parçalanması və prosesin katodda nitrat turşusunun oksidləşməsi ilə müşahidə olunması göstərilmişdir. Bu modelin şüalanmış nüvə yanacağıının emalı proseslərinin elmi əsası ola biləcəyi təklif edilmişdir [37, s.207-209].

Uran heksaflüoridin qaz fazalı məhlulunun dəqiqədə 0.024 - 0.0615 litr/sm² sürətlə natrium flüorid qranulları səthində dinamik rejimdə adsorbsiyası prosesi tədqiq edilmiş və prosesin uran izotoplarının ayrılması üçün istifadə edilməsi təklif edilmişdir [31, s.65-71]

Ağır metal çöküntüləri və ionlaşdırıcı radiasiya mühitində torpaq ekosistemlərinin sağlamlığını xarakterizə edən torpaq enzimlərinin aktivlikləri tədqiq edilmiş və 1 mkrGy/saat doza gücündə çirklənmiş torpaqdakı invertaza və beta-qlükozidaza enzimlərinin aktivliklərinin doza gücündən asılı olaraq zəifləməsində sınma nöqtəsi müəyyənləşdirilmişdir. Təyin edilmiş qanunauyğunluğun radionuklidlərlə və digər ağır metallarla çirklənmiş torpaqların təmizlənməsi proseslərinin məqsədəuyğun aparılmasına və düzgün istiqamətləndirilməsinə kömək edə bilər [195, s.1345-1349]

Stabil və radioaktiv izotopların (⁹⁻¹⁰Be, ¹²⁻¹⁴C, ¹³⁻¹⁴Si, ⁸⁶⁻⁹⁰Sr və s.) torpaqda, yeraltı sulara, bitkilərdə baş verən proseslərdə rolunun tədqiqi aqrotexniki elmlərin inkişafında da mühüm əhəmiyyət kəsb edir [89, s.1458] Torpaqda, həmçinin ^{Pu238-241} və ^{Sr90} radioizotoplarının birgə təyini öyrənilmişdir [198, s.94]

Elektron sürətləndiricilərində ²³⁸U (γ, n) ²³⁷U fotonüvə reaksiyası ilə alınmış ²³⁷U izotopundan traser (müqayisəli eyniləşdirici cizgi) qismində istifadə edilməklə Bolqariyanın Novi Xan radioaktiv tullantılar qəbristanlığı ərazisindən U (IV) izotoplarının ətraf torpaqlara yayılması tədqiq edilmiş və pH=1-7 intervalında torpaq tərəfindən sorbsiya edilmiş məhlullarda U(IV) miqdarının dəyişməsi (şəkildəyişmənin öyrənilməsi proqramı ilə) tədqiq edilmişdir [100, s.77-79].

^{60}Co radioizotopunun qamma şüalarının N_2 , O_2 , CO_2 , N_2O qazlarının ion cütü yaratma enerjilərinin qiymətləri (32.7, 30.3, 33.1, 33.1 eV) təyin edilmiş və elmi ədəbiyyatda mövcud nəticələrlə uyğunluğu müəyyənləşdirilmiş, NO , NO_2 qazları üçün isə ion cütü yaratma enerjilərinin qiymətləri (müvafiq olaraq 31.6 və 31.3 eV) ilk dəfə təyin edilmişdir [23, s.28-30].

Alümosilikat tərkibli gil-qum qarışıqlı torpaq layında radionuklidlərin mobilliyinin kəskin zəifləməsi, onların miqrasiyasının yavaşması, yəni bu materialın nüvə materialları qəbristanlığının perimetrləri boyu mövcud olması radioaktiv tullantıların ətraf ərazilərə və qrunt sularına yayılmasının qarşısını almaq üçün istifadə edilə biləcəyi öyrənilmişdir [63, s.42-47]

^{137}Cs radioizotopunun torpaqda miqrasiyasına əsasən landşaftın çirklənməyə davamlılığı, radionuklidlərin dərin laylara hopma və ya landşaftın radionuklidlərdən təmizlənmə qabiliyyəti tədqiq edilmişdir [68, s.236-239].

Co və Cd ionlarının məhluldan modifikasiya olunmuş bentonitdə adsorbsiyası və onların kolloid yaratma xüsusiyyətləri tədqiq edilmişdir [124, s.34-36].

Radioaktiv tullantıların basdırıldığı yerdən ətraf torpaq sahələrinə yayılmasının təyini, adətən, torpaq plastında natrium nitratdan daha sürətlə yayılan kalsium və maqneziumun miqdarının ətraf ərazilərdə öyrənilməsilə aparılır. Bu üsulla radioaktiv tullantı duzlarının, hidrokksidlərinin filtrasiya, kapilyar qalxma və molekulyar diffuziya hesabına yayılma konturunun dəqiq təyini mümkün olmur. Torpaqda xrom birləşmələrinin az olmasına baxmayaraq radioaktiv tullantılarda bu birləşmələrə çox təsadüf olunur. İonlaşdırıcı radiasiyanın təsiri ilə suda yaranmış hidrogen peroksidlə reaksiyada 3-valentli xrom hidrokksidi 6-valentli xromadək oksidləşir. Kifayət qədər sabit maddə olan 6-valentli xrom birləşmələri torpaqda filtrasiya, kapilyar qalxma və molekulyar diffuziyaya hesabına yayılır. 24.8 q/litr natrium nitrat, 35.3 mq/litr 6-valentli xrom və $5.5 \cdot 10^{-3}$ Ku/litr aktivliyə malik radioaktiv tullantı qarışığı məhlulu radioaktiv tullantılar basdırıldığı plast-kollektorunda 338 metr dərinliyində yeridildi və bundan 55 metr aralıda həmin plastdan hər gün plast mayesi nümunəsi götürülərək tərkibində 6-valentli xrom birləşmələrinin analizi aparıldı. 6-valentli xrom birləşmələrinin aşkar

edilməsinədək çəkən müddət radioaktiv tullantıların ətraf ərazilərə yayılma sürətini və yayılma konturlarını təyin etməyə imkan yaradır. Radioaktiv tullantıların ətraf torpaq sahələrinə yayılması mövcudluğunun öyrənilməsi məqsədilə ətraf ərazilərdən və müxtəlif dərinliklərdən torpaq nümunələri götürülərək qarışdırılıb qurudulmuş, şüşə borucuğa doldurulmuş, borucuğun aşağı ucu pambıq tamponla tıxanmış və lavsan parça ilə bağlanmış və 80 qram natrium nitrat, 5 qram soda və 1 qram 6-valentli Cr duzunu 1 litr sudakı məhluluna salınmışdır. Məhlulun borucuqdakı torpaq sütunu ilə qalxma dinamikası müşahidə edilmiş və proses dayandıqdan sonra borucuq 10 bərabər hissəyə bölünüb içindəki torpağın çəkisi təyin edilmişdir. Bu torpaq hissələri qurudulub yenidən çəkilmiş və nəmişlikləri təyin edilmişdir. Bundan sonra 1:5 nisbətində suda həll edilərək tərkiblərindəki duzlar ekstraksiya edilmiş, məhlulun pH göstəricisi, ekstraktı Ca, Cr(IV) və nitratlar təyin edilmişdir. Nitratların və 6-valentli xromun yayılmasının uyğunluq təşkil etməsi müəyyənləşdirilmiş və torpaqda yalnız radioaktiv tullantıların duz çöküntülərinin sulu məhlulları ilə filtrasiya prosesləri üçün xarakterik yayılma xassəsinə malik 6-valentli xromun radioaktiv tullantıların ətraf ərazilərə yayılması nişanı qismində istifadəsi mümkünlüyünü göstərmişdir. Radioaktiv tullantıların saxlandığı sahələrin təhlükəsizliyinə nəzarət üsulunun işlənməsi məqsədilə onların ətraflarından torpaq nümunələri götürülərək, 3-valentli xromun radioaktiv şüalanma mühitində suda yaranmış hidrogen peroksidlə reaksiyada 6-valentli xroma keçməsi nəzərə alınaraq və 6-valentli xromun pH=6-11 intervalında torpaqda 60 sutka ərzində sorbsiyasının mövcud olmadığı öyrənildikdən sonra bu elementin torpaqda yalnız filtrasiya prosesləri ilə yayılması mümkünlüyü və radioaktiv tullantıların filtrasiya prosesləri hesabına torpaqda yayılmasına nəzarət üçün istifadə edilməsi mümkünlüyü müəyyənləşdirilmişdir [41, s.1-9]

Torpaqların ağır metallarla çirklənməsi böyük ekoloji problemlərə səbəb olduğundan əksər hallarda bu torpaqların təmizlənməsi tələb olunur və bu məqsədlə yuyucu reaktiv qismində polikarboksilatlardan, daha çox etilendiamintetrasirkə və nitrilüçlüsirkə turşularından istifadə edilir. Bu sintetik və

toksik reaktivlərin inert humin turşuları ilə əvəz olunması mümkünlüyünün öyrənilməsi məqsədilə aparılmış təcrübələr humin turşularının kadmium və mis birləşmələrinin, əhəngli torpaqların aktiv fraksiyalarının 45-54%-ni ekstraksiya etdiyini göstərir. Bununla yanaşı qeyd edilməlidir ki, polikarboksilatlar, etilendiamintetrasirkə və nitrilüçlüsirkə turşuları torpaqdan nikel və qurğuşun birləşmələrinin 30%-ni təmizlədiyi halda, humin turşuları ilə 4% qurğuşun və 17% nikel birləşmələrinin ekstraksiya edilib ayrılması mümkün olur. Beləliklə, kadmium, mis və nikel birləşmələri ilə çirklənmiş torpaqların ağır metallardan təmizlənməsi üçün etilendiamintetrasirkə və nitrilüçlüsirkə turşuları əvəzinə humin turşularından istifadə edilməsi mümkündür, lakin qurğuşunla çirklənmiş əhəngli torpaqların təmizlənməsi üçün polikarboksilatların humin turşuları ilə əvəzlənməsi məqsədəuyğun görünür. [179, s.577-580].

Torpağın radionuklidlərlə çirklənməsi - nüvə texnologiyasının son onilliklər ərzində inkişafının öncədən planlaşdırılmamış mənfi fəsadlarından biri qismində yaranmış planetar problemdir. Radionuklidlərlə çirklənmiş torpaqların fiziki təmizlənməsi həddən artıq bahalı və çətin proseslərin reallaşdırılmasını tələb edir. Bu qəbildən mikroskopik göbələklərin radionuklidləri torpaqda saxlayaraq onların miqراسiyasını zəiflətməsi və nəticədə qrunt sularının çirklənməsinin qarşısının alınması, radionuklidlərlə az çirklənmiş torpaqlarda əkin öncəsi mineral gübrələrin tətbiqi və nəticədə radionuklidlərin torpaqdan bitkilərə miqراسiyası proseslərini zəiflədilməsi, bioremediasiya, fitoekstraksiya barədə mövcud məlumatlar elmi ədəbiyyatda müzakirə edilərək, həmin tədbirlərin reallaşdırılması üçün bitki fizioloqların, torpaqşünasların, bioloqların birgə fəaliyyəti ilə kompleks xarakterli texnologiyaların yaradılmasına ehtiyac yaranması barədə geniş məlumatlar şərh edilmişdir [203, s.121-126].

Azərbaycanın dağlıq ərazilərində təbii radionuklidlərin paylanması, onların yaratdığı ekspozisiya dozasının gücünün tədqiqi məqsədilə elmi ekspedisiyalar keçirilmiş, həmçinin yeni funksional qruplu sellüloza tərkibli sorbentlərin uranil və radium ionlarını sorbsiya və desorbsiya etmə xassələrinə ionlaşdırıcı şüalanmanın təsiri öyrənilmişdir [14, s.61-66, 84, s.241-244].

Neft tullantıları ilə çirklənmiş Abşeron boz-qonur torpaqlarının bərpasının sürətləndirilməsi məqsədilə bu torpaqların kimyəvi tərkibi tədqiq edilmiş və bu ərazilərdə duza davamlı bitkilərin əkilməsilə yanaşı üzvi gübrələrin tətbiqinin məqsədəuyğunluğu aydınlaşdırılmışdır [1, s.122-124].

Neftlə çirklənmiş torpaqların radionuklidlərlə çirklənməsi tədqiq edilmiş, yeni üzvi tərkibli reaktivlərlə (amin turşularının duzları, poliliqandlı tərkibli birləşmələrlə torf qarışığı müxtəlif nisbətlərdə) neft tullantıları ilə çirklənmiş torpaqların bərpası təklif edilmiş və bu prosesin neft tullantılarını müşayiət edən radionuklidlərin də təmizlənməsində tətbiqi məqsədəuyğun görünür. [192, s.588-591, 51, s. 428-432]

Nüvə materiallarının ətrafa səpələnməsi hallarında, qumsal ərazilərin radionuklidlərlə çirkləndiyi hallarda və maye radioaktiv tullantıların dağıldığı ərazilərin dezaktivasiyası üçün karboksil tərkibli, hissəciklərinin ölçüsü 500 nm-dən böyük olmayan polimer kolloid qismində poliakril turşusunun, onun həll olan sopolimerlərinin, emulsiyalarının ekvivalent miqdarda Co, Ni, Fe, Cu kationları və heksasian-ferrat anionları (10^{-5} - 10^{-3} mol/l) qarışığından ibarət stabil-kolloid nanoölçülü sorbentdən istifadə edilməsi tədqiq edilmişdir. Dezaktivasiya edilən sistemdən, radionuklidlərlə çirklənmiş qumsal torpaqdan 1-100 saat ərzində stabil-kolloid nanosorbentə transfer edilərək lokallaşmış radionuklidləri, o cümlədən Cs izotopları təmizlənən sistemdən sorbentlə birlikdə poliamin kation flokulyantları vasitəsilə ilə ayrılır. Dezaktivasiya edilən sistemin, radionuklidlərlə çirklənmiş qumsal torpağın miqdarının dezaktivasiyaedici məhlulun miqdarına (tərkibində bərk faza 0.5% təşkil edən polistirolakrilat lateksli emulsiyası əsasında hazırlanmış stabil-kolloid sorbent resepturası) nisbəti təşkil edir. Bu sorbentin 1 qram quru lateksə hesablanmış sorbsiya həcmi $3.5 \cdot 10^{-5}$ mol təşkil edir. Qeyd edilmiş üsulla seziumun 81.1-99.4% transferi mümkün olmuşdur [24, s.1-12]. Lakin təmizlənən sistemin miqdarının dezaktivasiyaedici məhlulun zəruri miqdarına nisbəti 1 : (50-500) təqdim edilən üsulun istehsal-tətbiqi aspektdə rentabelli olmadığını göstərir.

Torfun mərhələlərlə pH=2-3 mühitədək işlənməsi, maye fraksiyanın kənarlaşdırılması, gel və bərk fazaları qarışdırıb, kömürləşdirib-aktivləşdirməklə alınmış, məsamələrinin ümumi həcmi 0.23-0.25 sm³/q, xüsusi səthi 68-70 m²/q təşkil edən məsaməli kömürdə çirklənmiş torpaqdan fulvoturşu məhlulları ilə ayrılmış uran və aktinoid birləşmələrinin adsorbsiyası tədqiq edilmişdir. Ekstraktan radionuklidləri adsorbsiya etmiş məsaməli kömür adsorbenti yaş portlandsement-qum qarışığı ilə sementləşdirilib nüvə tullantıları qəbristanlığında basdırılır. Misal qismində Melçev yatağının torfu 0.5%-li KON məhlulu ilə işlənilib bərk və maye fazalara ayrılmışdır. Öncədən su ilə yuyulmuş torfdan ayrılmış gəlsəkilli çöküntünü bərk torf qalığı ilə qarışdırılaraq dəqiqədə 10°C artırmaqla 30-60 dəqiqə ərzində 550-600°C temperaturda kömürləşdirildikdən sonra soyudulmuş və yenidən 830-850°C temperaturda su buxarı ilə aktivləşdirilmiş və dənəvərləşdirilmişdir.

U²³⁸ radioizotopu ilə çirklənmiş torpağın (3-15):1 nisbətində fulvoturşu məhlulu ilə yuyulmaqla alınmış ekstraktı, (20-200) : 1 nisbətində, dənəvərləşdirilmiş kömürdən keçirilir. Çirklənmiş torpaqdan və ya radioaktiv tullantılardan ekstraksiya edilməklə ayrılmış radionuklidli məhlullardan şüalanma dozası gücünün və məsaməli kömürdən keçirildikdən sonra həmin məhlullardan şüalanma dozası gücü ilə müqayisəsi 1.5.1 sayılı cədvəldə göstərilmişdir [32, s.1-6].

Cədvəl 1.5.1

Radionuklidlərlə çirklənmiş torpaqdan fulvoturşu məhlulları ilə ayrılmış uran və aktinoid birləşmələrinin torfdan alınmış məsaməli kömürdə adsorbsiyası

№	Fulvoturşu məhlulları ilə çirklənmiş torpaqlardan və radioaktiv tullantılardan ayrılmış uran və aktinoid birləşmələri məhlullarının məsaməli kömür adsorbentindən süzülməsinin xətti sürəti, m/saat	Torpaq ekstraktından şüalanma dozası gücü, mkR/saat	
		İlkin ekstrakt	Radionuklidlərin kömürdə adsorbsiyasından sonra ekstrakt qalığı
1.	1.0	440	87
2.	1.5	462	84
3.	1.5	570	95
4.	3.0	498	89
5.	2.0	580	100
6.	3.0	525	92
7.	1.2	508	85
8.	0.5	620	82

Digər patentdə radioaktiv tullantılarla çirklənmiş AES sularından $Sb^{122,124,125}$ və Tc^{99} radioizotoplarının və ya qarışıqlarının təmizlənməsi üçün nəzərdə tutulmuş yüksək selektivliyə malik dənəvər və ya toz formalı (10 nm-dən 100 mkm-dək ölçülərdə) sirkonium oksid /ZrO/ əsaslı (Tc^{99} radioizotopunun da təmizlənməsi məqsədilə Zr hissəciklərinin onların 5%-i miqdarında Sb ionları ilə legirlənməsi /leqirovanie/ aparılır, /Zr(Sb)O/) adsorbentin (ionitin) alınması və adsorbsiya borucuğunun hazırlanaraq sınaqdan keçirilməsi təsvir edilmişdir [40, s.1-18].

Cs izotopları ilə çirklənmiş torpaqların təmizlənməsi üçün əvvəlcə 1-3 mol nisbətdə sulfat və fosfat turşularının suda məhlulları qarışıqından istifadə edilməsi təklif edilmişdir. Fosfat turşusunun konsentrasiyası 0.5-2.0 M götürülmüş və torpağın ekstraksiyası 50-100°C temperaturda ekstraktın Cs izotoplarının çökdürülməsi $6 \cdot 10^{-7}$ – $7 \cdot 10^{-2}$ M konsentrasiyalı ammonium və ya qələvi metal ferrosianidi məhlulu ilə aparılmışdır. Ayrılmış radionuklid çöküntüsü basdırılmaq üçün radioaktiv tullantılar anbarına göndərilir, reaktiv qalıqlarına ilkin konsentrasiyaya çatanadək sulfat və fosfat turşular əlavə edilərək növbəti torpaq porsiyasının ekstraksiyasına göndərilirdi. Bu proses zamanı çirklənmiş torpağın Cs izotoplarından təmizlənmə dərəcəsi, yəni dezaktivasiya əmsalının qiyməti (torpaqdan şüalanma intensivliyinin, yəni torpaqdakı Cs izotoplarının aktivliyinin ekstraksiyadan sonrakı torpaq qalığındakı şüalanma intensivliyinə nisbəti) 4-ə bərabər olduğundan proses az effektiv sayılır. Eyni prosesin yenilənmiş daha effektiv variantında sulfat və fosfat turşuları qarışıqında ekstraksiya edilmiş torpaq qalığı suda qravitasiya separasiyası hesabına narın-dispers və qumsal torpaq fraksiyalarına ayrılır, tərkibində radioaktiv çirkləndirici Cs birləşmələrin 90%-dək hissəsi cəmləşmiş narın-dispers torpaq fraksiyası radioaktiv tullantılar anbarına göndərilir, qumsal torpaq fraksiyası 0.5-2.0 M konsentrasiyalı sulfat turşusu məhlulu ilə 1-4 sutka ərzində 80-95°C temperaturda perkolyasiya qurğusunda işlənərək 5-83 dəfə böyük dezaktivasiya əmsalı ilə Cs-dan təmizlənir, qalıq qumsal torpaq fraksiyası isə neytrallaşdırılaraq götürüldüyü yerə qaytarılır. Aydınlaşdırıcı misal qismində tərkibində Cs izotoplarının ilkin xüsusi aktivliyi 299 kBq/kq olan torpaqdan çəkili 60 qram olan 3 ədəd nümunələri 2M sulfat turşusu və 0.5 M fosfat turşusu qarışığı ilə (reaktivin həcminin torpaq nümunəsi

miqdarına nisbəti 0.5, 1.0 və 2.0 olmaqla) 7 saat ərzində termostatda 90°C temperaturda fasiləsiz qarışdırılaraq ekstraksiya edilmişdir. Ekstraktı su-qravitasiya separasiyası ilə ayırıb üzərinə 1 ml 10^{-3} M konsentrasiyalı kalium ferrosianid məhlulu əlavə etməklə alınmış çöküntü radioaktiv tullantılar anbarına göndərilir. Maye qalığı qatılaşıdırılaraq növbəti ekstraksiyaya yönəldilir, torpaq qalığı isə 3 hissəyə bölünərək 1-ci hissəsi aktivlik ölçməsinə yönəldilir (A_1), 2-ci və 3-cü hissələrdən su-qravitasiya separasiyası ilə ayrılmış narın-dispers torpaq qalığı radioaktiv tullantılar anbarına göndərilir, qumsal torpaq qalığı isə 0.5 M və 2.0 M sulfat turşusu məhlulu ilə 24 saat ərzində 90°C temperaturda perkolyasiya qurğusunda işlənir. Alınmış nəticələr 1.5.2 sayılı cədvəldə göstərilmişdir [34, s.1-8].

Cədvəl 1.5.2

Cs radioizotopları ilə çirklənmiş torpaq nümunəsinin (xüsusi aktivliyi 299 kBq/kq, təmizlənən torpaq nümunələrinin çəkisi 60 qram, reagentin torpaq kütləsinə nisbəti 0.5/1, 1/1, 2/1) sulfat və fosfat turşuları məhlulu qarışığı ilə dezaktivasiyasının nəticələri [34, s.7]

Torpaq nümunələri 2 M H ₂ SO ₄ + 0.5 M H ₃ PO ₄ məhlulu ilə 90°C temperaturda 7 saat ərzində ekstraksiya edilir			Narın-dispers fraksiyanın su-qravitasiya separasiyası ilə ayrılması			90°C temperaturda 24 saat ərzində H ₂ SO ₄ məhlulu ilə 10 seksiyada perkolyasiya		
Məhlul / torpaq nisbəti	A ₁ , kBq/kq	DƏ ₁	A ₂ , kBq/kq	DƏ ₂	d _i , %	H ₂ SO ₄ məhlulu, mol/litr	A ₃ , kBq/kq	DƏ ₃
0.5/1	58.1	5.3	-	-	-	-	-	-
0.5/1	58.1	5.3	39.4	7.9	3.9	0.5	5.80	52
0.5/1	58.1	5.3	39.4	7.9	3.9	2.0	1.17	256
1/1	53.4	9.2	-	-	-	-	-	-
1/1	53.4	9.2	23.3	13.4	4.2	0.5	3.43	87
1/1	53.4	9.2	23.3	13.4	4.2	2.0	0.69	433
2/1	18.8	16.3	-	-	-	-	-	-
2/1	18.8	16.3	12.1	25.7	3.8	0.5	1.80	166
2/1	18.8	16.3	12.1	19.4	3.8	2.0	0.36	830

Qeyd: A_i – torpaq nümunəsinin işlənmə mərhələlərindən sonrakı qalıqlarında Cs izotoplarının xüsusi aktivliyi;

DƏ_i – torpaq nümunəsinin işlənmə mərhələlərindən sonra dezaktivasiya əmsalı

(ilkin torpaq nümunəsinin xüsusi aktivliyinin işlənmə mərhələsindən sonrakı torpaq qalığının xüsusi aktivliyinə nisbəti);

d_i – su qravitasiya separasiyası mərhələsindən sonra alınmış narin-dispers radioaktiv torpaq fraksiyası ayrıldıqdan sonra ilkin torpaq nümunəsinin kütləsinin azalması (ilkin torpaq miqdarından faizlə) [34, s.7].

Oxşar metodika ilə radionuklidlərlə çirklənmiş torpağın təmizlənməsi torpaq nümunəsinin (Cs izotoplarının ilkin aktivliyi 94.9 kBq/kq) ilkin mərhələdə mexaniki olaraq bitki qalıqlarından və daha sonra su-qravitasiya separasiyası ilə narin-dispers gil fraksiyasından təmizlənməsindən (torpağın 15.5%-ni təşkil edən bu fraksiya əsasən dəmir birləşmələrindən və qələvisindən ibarətdir və radioaktiv tullantılar anbarına göndərilir) və qalıq qumsal fraksiyanın (aktivliyi 25.4 kBq/kq) su ilə yuyub qurudulmasından, sonra reaktorda 0.5-2.0 M sulfat turşusu məhlulu ilə 1 sutka ərzində 80-95°C temperaturda (sulfat turşusunun qumsal torpağa 2/1 nisbətində) ekstraksiya edilməsindən və separasiya suyu ilə bu reaktiv qalığı qarışığından Cs izotoplarının çökdürülməsindən ibarətdir. Çöküntü radioaktiv tullantılar anbarına göndərilir, qalıq qumsal torpaq yenidən narin-dispers gil və qum fraksiyasına ayrılır. Birinci fraksiya radioaktiv tullantılar anbarına göndərilir, ümumilikdə 10-69 dezaktivasiya əmsalınadək Cs izotoplarından təmizlənmiş qum fraksiyası isə artıq təmizlənmiş sayılır və götürüldüyü sahəyə geri qaytarılır. Alınmış nəticələr 1.5.3 sayılı cədvəldə göstərilmişdir [33, s.1-7].

Cədvəl 1.5.3

Cs radioizotopları ilə çirklənmiş torpaq nümunəsinin (xüsusi aktivliyi 289 kBq/kq, reagentin torpaq kütləsinə nisbəti 2/1) sulfat turşusu ilə dezaktivasiyasının nəticələri [33, s.1-7]

İlkin su-qravitasiya separasiyası ilə hissələrə ayırma			Reagent H ₂ SO ₄ mol/litr	Reagentlə işlənmədən sonrakı göstəricilər				Təkrar su-qravitasiya separasiyası ilə hissələrə ayırma		
A ₀ , kBq/kq	DƏ ₀	d ₀ , %		A ₁ , kBq/kq	DƏ ₁	d ₁ , %	Fe, %	A ₂ , kBq/kq	DƏ ₂	d ₂ , %
25.4	4.4	84.5	0.5	10.3	11.0	84.0	8.9	7.2	16.7	78.7
			1.0	5.6	20.3	83.3	10.6	3.4	36.2	77.2
			1.5	4.4	26.0	82.9	11.7	2.7	46.8	75.0
			2.0	3.7	31.0	82.6	13.9	1.9	68.5	72.9

Qeyd: A_i – torpaq nümunəsinin işlənmə mərhələlərindən sonrakı qalıqlarında Cs izotoplarının xüsusi aktivliyi;

$D\Theta_i$ - torpaq nümunəsinin işlənmə mərhələlərindən sonra dezaktivasiya əmsalı (ilkin torpaq nümunəsinin xüsusi aktivliyinin işlənmə mərhələsindən sonrakı torpaq qalığının xüsusi aktivliyinə nisbəti);

d_i – təmizlənmə mərhələsindən sonrakı torpaq qalığının nisbi miqdarı (ilkin torpaq miqdarından faizlə);

Fe – məhlulda dəmir hidroksidinin miqdarı (ilkin torpaq nümunəsindəki dəmirin ümumi miqdarından faizlə) [33, s.6]

Radioaktiv tullantıların basdırılma ərazilərinin lokallaşdırılması, bu ərazilərdə Ra^{226} radioizotopu ilə çirklənmiş qrunut sularının təmizlənməsi üçün ərazi,- qrunut sularının aşağı səviyyəsindən 3-4 metr aşağıdan başlayaraq suyun üst səviyyəsində,- qalın gil layı səddi ilə əhatələnmiş və gil divarında drenaj pəncərələri açılmışdır. Drenaj pəncərələrinə geokimyəvi sədd resepturası ilə doldurulmuş metallik torlu yeşiklər qoyulmuşdur. Geokimyəvi sədd resepturası qismində 60-70% 1-5 santimetr ölçülü şebəndən, karbonatsız maqmatik qranit, diorit, dunit və ya diabaz qırıntılarından ibarət doldurucudan, 10-15% gips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), 10-15% viterit ($BaCO_3$), 1-2% barit ($BaSO_4$), 5-10% qetit ($FeOOH$) və qematit (Fe_2O_3) qarışığından istifadə edilmişdir. Qrunut suları torlu metallik yeşiklərə nüfuz etdikdə Ra^{226} izotopu ilə SO_4^{2-} və Ba^{+2} ionlarının təması nəticəsində $(BaRa)SO_4$ radiobarit krisralları yaranır və suda həll olmayan doldurucular üzərinə çökür. Təcrübi nəticələrə əsaslanaraq, gil səddi ilə radioaktiv tullantıların lokallaşdırılması və Ra^{226} radioizotopunun təmiz qrunut sularına yayılmasının qarşısını almaq və ya Ra^{226} radioizotopu ilə çirklənmiş qrunut sularının təmizlənməsi üçün gil səddindəki drenaj pəncərələrinə geokimyəvi sədd resepturası ilə doldurulmuş torlu metallik yeşiklər yerləşdirilməsi təklif edilmişdir [64, s.1-11].

Cs radioizotopları ilə çirklənmiş torpaqların və ya radioaktiv tullantıların təmizlənməsi prosesinin optimal variantının tapılması məqsədilə aparılmış tədqiqatlar periodik təkrarlanmaqla aparılan proseslər daha böyük effektivlikləriylə fərqlənirlər. Belə ki, tərkibindəki Cs radioizotoplarının aktivliyi $9.48 \cdot 10^4$ Bq/kg olan 2 ədəd 15 qram çəkiddə torpaq nümunələri 2M H_2SO_4 + 1M H_3PO_4 qarışığı məhlulu ilə (reagent-torpaq

nisbəti 2:1 təşkil edir) 95°C temperaturda fasiləsiz qarışdırılmaqla ekstraksiya edildi. 1-ci nümunə reagentlə fasiləsiz olaraq 14 saat ərzində qarışdırılıb ekstraksiya edildi. Ekstraktdakı Cs radioizotopları 1ml 10^{-3} M konsentrasiyalı ferrosianid məhlulu ilə çökdürüldü və radioaktiv tullantılar anbarına göndərildi. Məhlul qalığı qatılaşıdırılıb növbəti torpaq porsiyası ekstraksiyaya istiqamətləndirildi. Qum fraksiyası 60 ml su ilə yuyuldu, 60°C temperaturda qururulduqdan sonra ondan şüalanma aktivliyi təyin edildi. Çəkisi 15 qram olan 2-ci torpaq nümunəsinin ekstraksiyası isə 2 dəfə 7 saat ərzində aparıldı. 1-ci mərhələdə bütün proses 7 saat ərzində eynilə təkrarlandı, 2-ci mərhələdə isə reagent-torpaq nisbəti 0.5 :1 qəbul edildi. Bir periodlu (14 saat) dezaktivasiya prosesindən sonra qalıq qumsal torpaq fraksiyasından şüalanma aktivliyi $1.5 \cdot 10^3$ Bq/kq, yəni dezaktivasiya əmsalı 63 təşkil etdi. 2 periodlu dezaktivasiya prosesinin ilk periodundan (7 saat) sonra qalıq qumsal torpaq fraksiyasından şüalanma aktivliyi $2.9 \cdot 10^3$ Bq/kq, 2-ci periodundan sonra isə $< 2 \cdot 10^2$ Bq/kq, yəni dezaktivasiya əmsalı 470-dən böyük oldu. Göründüyü kimi 2 periodlu proses zamanı dezaktivasiya əmsalı ən azı 7.5 dəfə böyük olur. Aktivliyi $2.99 \cdot 10^3$ Bq/kq olan radioaktiv tullantıların 7 saatlıq 1-ci periodundan sonra aktivlik $4.1 \cdot 10^3$ Bq/kq, 2-ci periodundan sonra $1.27 \cdot 10^3$ Bq/kq, 3-cü periodundan sonra isə $0.64 \cdot 10^3$ Bq/kq, yəni dezaktivasiya əmsalı 470 təşkil etdi. Tədqiqatların prototiplə müqayəsesi 1.5.4 sayılı cədvəldə göstərilmişdir [35, s.1-10].

Cədvəl 1.5.4

Cs izotopları ilə çirklənmiş torpaq nümunələrinin sulfat və fosfat turşusu məhlulları ilə dezaktivasiya üsulunun prototiplə müqayisəli analizi

Dezak-tivasiya üsulu	Reagent	T, °C	Məhlulun dezaktivasiya edilən torpaq miqdarının nisbəti	Dezaktivasiya periodlarının sayı	Nümunənin işlənmə müddəti, saat	Dezakti-vasiya əmsalı (DƏ)
Prototip	1.5M H ₂ SO ₄ + 1M H ₃ PO ₄	80	2/1	1	24	4
Təklif edilən üsul	2M H ₂ SO ₄ + 1M H ₃ PO ₄	95	2/1	2	14	470
	2M H ₂ SO ₄ + 1M H ₃ PO ₄	95	2/1	3	21	470

Qeyd: $D\Theta_i$ – torpaq nümunəsinin reagentlə işlənməsi prosesinin dezaktivasiya əmsalı (ilkin torpaq nümunəsinin xüsusi aktivliyinin işlənmədən sonrakı torpaq qalığının xüsusi aktivliyinə nisbəti) [35, s.8].

Yuxarıda şərh edilmiş tədqiqatlarda radioaktiv tullantılarla çirklənmiş torpaq nümunələrinin təmizlənməsi üsullarında bir qayda olaraq torpağın su-qravitasiya separasiyası ilə narın-dispers fraksiyaya və qumsal-dənəvər fraksiyaya ayrılması aparılır, torpağın 4-27%-ni təşkil edən radionuklidlərlə zəngin münbit narın-dispers fraksiyası birbaşa radioaktiv tullantılar anbarına göndərilirlər. Növbəti mərhələlərdə yalnız qalan dənəvər-qumsal fraksiyanın dezaktivasiyası aparılır və təmizləndikdən sonra götürüldüyü ilkin torpaq ərazisinə qaytarılır [35, səh.8-10].

1.6. Nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpaqların mövcud təmizləmə üsullarından daha effektiv yeni dezaktivasiya üsulunun işlənilib hazırlanması üçün sistemik tədqiqatlar aparılması istiqamətlərinin əsaslandırılması

Yuxarıda göstərilmiş dezaktivasiya üsullarının torpaqdan ayrılmış hissəsinin radionuklid fraksiyası ilə narın qum fraksiyasının qarışığı halında olması, yəni tullantı saxlanc-anbarlarının tez dolmasına səbəb olduğundan, ya az effektiv (kiçik dezaktivasiya əmsalına malik) ya da çoxmərhələli proseslərdən ibarət olduğundan, müvafiq olaraq az rentabelli olduğundan, çox maliyyə və vaxt sərfiyyatı tələb etdiklərindən çirklənmiş torpağın təhlükəsiz səviyyəyədək təmizlənməsini təmin edən yeni, effektiv, sürətli dezaktivasiya (təmizləmə) üsulunun elmi əsaslarının işlənilib hazırlanmasına ehtiyac vardır. Radiasiya təhlükəsizliyini təmin etmək məqsədilə çirklənmiş torpağın radioaktiv komponentlərdən təmizlənməsi üsullarının işlənilib hazırlanması radiokimyəvi tədqiqatların aktual problemlərindən biridir. Hazırkı işdə təbii radionuklidlərlə yanaşı uranil nitrat və uran izotopları ilə çirklənmiş torpağın təmizlənməsi imkanları tədqiq edilməsi nəzərdə tutulmuşdur.

Bu məqsədlə aparılan təcrübələrdə model sistem qismində uran izotopları ilə çirklənmiş sulu məhlullardan, su təmizlənməsi texnologiyada istifadə edilən

adsorbentlərdən (aktivləşdirilmiş çınqıllı qum kütləsindən, kömürdən, antrasəndən, kationitdən) istifadə edilməsi nəzərdə tutulmuşdur. Radionuklidlərlə çirklənmiş torpağın nisbətən qısa müddətdə və daha effektiv təmizlənməsi mümkünlüyünün öyrənilməsi məqsədilə, yəni radionuklidlərlə çirklənmiş torpaq nümunələrinin təmizlənməsi üçün ağır metalların, radionuklidlərin effektiv həll olmasını təmin edən reaktivlərdən (HNO_3 , HCl , onların qarışığı, NaOH), daha sonra distillə edilmiş su ilə yuyulması proseslərindən istifadəsi və bununla işlənmiş torpağın su ilə yuyulması hesabına reaktiv sərfiyyatının azaldılması planlaşdırılmışdır.

II FƏSİL

TƏCRÜBƏLƏRİN METODİKASI

2.1. Radiometrik ölçmə cihazları. Radioaktiv şüalanma mənbəyinin axtarışı, ətraf mühit obyektlərində müxtəlif növ radioaktiv şüalanmaların təyini və radiomonitorinqlər aparılması metodikası

Radiomonitorinqlər aparılması və radiometrik ölçmələrin aparılması, alfa, beta, qamma, neytron, rentgen şüalanma növlərinin mövcudluğunun qiymətləndirilməsi, mövcud şüalanma növlərinin intensivliyinin təyin edilməsi üçün “Thermo Eberline R020 Sİ” (Thermo Electron Co., ABŞ) dozimetrindən, “PRM-470CG” (Tesla Systems Ltd., ABŞ) qamma şüaları sayğacından, “InSpector 1000” (“Canberra” Co, ABŞ-Fransa) radiometr-dozimetrindən, “Radiagem 2000” (“Canberra” Co, ABŞ-Fransa) alfa, beta, qamma, neytron şüalanmalar üçün radiometr-sayğaclarından, ИСП-PM1401K-01 İP65 (Polimaster-Minsk, Belorussiya) axtarış qamma-neytron radiometr-dozimetrindən, “İdentiFINDER” (Thermo Scientific Co., AFR-ABŞ) və “GR-135 Plus” (Exploranium Co., ABŞ-Kanada) izotop təyinedici portal radiometr-dozimetrlərdən istifadə edilmişdir [159, s.73; 147, s.69; 11, s.171; 153, s.141; 119, s.203; 152, s.254; 18, s.13; 47, s.121, 48, s.90; 49, s.22; 150, s.254; 154, s.62; 155, s.377; 162, s.337; 69, s.95; 148, s.131; 149, s.77; 158, s.194; 157, s.196].

“Thermo Eberline R020 Sİ” (Thermo Electron Co., 2006-cı ildən Thermo Fisher, ABŞ şirkəti ilə birləşib) hava ionlaşma kamerası portativ dozimetri beta, qamma, rentgen şüalanmasını saatda 50 Rentgenə qədər ölçən şkala ilə təmin edilmişdir.

“PRM-470CG” (Tesla Systems Ltd., ABŞ) $8.8 \times 7.2 \times 3.1$ mm ölçülü ssintilyasiya plastik detektoru ilə təmin edilmiş sayğacı qamma şüaları mənbəyinin axtarışı üçün istifadə edilir.

“GR-135 Plus” (Exploranium Co., ABŞ-Kanada) izotop təyinedici portal cihaz Avropa Birliyində İSO 9002 standartı ilə sertifikatlaşdırılmış geniş diapozonda (ən

kiçik, orta və böyük) dozalar üçün 4 detektorlu radiometr-dozimetrdır. Cihaz 10 R/saat və ya 100 mZv/saat doza güclərini ölçmək üçün daxili Geyger-Müller (GM) kamerası, NaI (38×55 mm), kadmium-sink-tellurid Cd-Zn-Te (500 mm³) və litium-şüşəli (Li-glass) neytron detektorları ilə radiodalğalardan başlayaraq böyük enerjili qamma şüalaradək (0.02 keV-3.0 MeV) bütün şüalanma növlərini operativ ölçməyə və spektrometrik analizlər aparmağa imkan verir. -10°C-dən +50°C-dək intervalda işləmək imkanına malikdir və suyadavamlı korpusla təmin olunmuşdur. 40000-dən artıq doza ölçmələri aparmaq mümkündür və 3 MeV-dək şüalanmaları əhatə edən 187-dən artıq spektrləri saxlaya bilən yaddaş həcmi vardır.

“InSpector 1000” (“Canberra” Co, Mirian Technologies Inc., ABŞ) radiometr-dozimetri yüksək dozalar üçün daxili Geyger-Müller (GM) kameralı, səhiyyə və xüsusi xidmət orqanları tərəfindən operativ spektrometrik ölçmələr aparılması üçün nəzərdə tutulmuş həssas NaI detektorlu çoxkanallı rəqəmsal portativ analizatordur. -10°C-dən +50°C-dək intervalda 80%-dək nəmişliklərdə normal işləyir. GM kamerası üçün təyin edilən enerji diapozonu 30 keV-dən 1.4 MeV-dək, NaI detektoru üçün 50 keV-dən 3 MeV-dək, ölçülən doza gücü 10 nZv/saatdan 100 mZv/saatadək, ölçülən doza 100 nZv-dən 1 Zv-dək, yaddaş həcmi (hər biri 1024 kanaldan ibarət 512 spektri saxlaya bilən) 32 bit təşkil edir.

Alfa, beta, qamma, neytron şüalanmalar üçün detektorlarla təmin edilmiş portativ “Radiagem 2000” (“Canberra” Co, ABŞ-Fransa) radiometr-sayğacı ¹³⁷Cs izotopunun 0,662 MeV enerjili qamma şüalarına nəzərən -15%-+25% intervalında dəqiqliklə 59 keV enerjili rentgen şüalarından 1.5 MeV enerjili qamma şüalarından şüalanma növlərinin intensivliyini təyin etməyə imkan verir. -10°C-dən +50°C-dək intervalda 95%-dək nəmişliklərdə normal işləyir. Göstərilmiş temperatur intervalından kənar rejimlərdə göstəricilərində 10%-dək fluktuasiya müşahidə oluna bilər. Cihaz 0.1 mkZv/saat – 100 mZv/saat diapazonunda qamma şüalanma doza gücünü $\pm (15 + 1/\dot{I})$ dəqiqliklə təyin etməyə imkan verir (\dot{I} – cihazın mkZv/saat vahidi ilə ölçdüyü qamma şüalanma doza gücünün qiyməti). ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co və ²⁴¹Am radioizotopları ilə attestasiya-kalibrləmə səhvi $\pm 5\%$ -dən kiçikdir (bax: s.75).

ИСП-PM1401K-01 IP65 (Polimaster-Minsk, Belorussiya) axtarış qamma-

neytron radiometr-dozimetrindən -15°C-dən +50°C-dək intervalda 98%-dək nəmişliklərdə normal işləyir. Fotodiodlu 10×10×50 mm ölçülü CsJ(Tl) əsaslı qamma sintilyatoru üçün (həssaslığı 100 Bq/(mkZv/saat) ¹³⁷Cs izotopu üçün, 70 Bq/(mkZv/saat) ²⁴¹Am izotopu üçün) təyin edilən enerji diapazonu 0.033-dən 3.0 MeV-dək, ³He əsasında yavaş neytronların proporsional sayğacı bazasında neytron şüalanması detektoru üçün (həssaslığı 0.1 (impuls × sm²)/neytron) Pu-α-Be neytron şüalanmasına, 7.0 (impuls × sm²)/neytron) “isti” neytronlar üçün) təyin edilən enerji diapazonu “isti /xaotik/ neytron enerjisindən” 14 MeV-dək, ölçülən ambient rentgen-qamma şüalanması doza gücü 0.1 mkZv/saatdan 40 mkZv/saatadək təşkil edir. Cihaz səs və vibrasiya siqnalizasiya sistemləri ilə təmin edilmişdir, mənbənin hərəkət sürəti 0.5 m/san., mənbədən cihazadək məsafə 20 sm olduqda 55 kBq (1.5 mkCi), 100 kBq (2.7 mkCi) və 50 kBq (1.35 mkCi) aktivliyinə malik müvafiq olaraq ¹³³Ba, ¹³⁷Cs və ⁶⁰Co radionuklidlərini təyin edir. İstismara təhvil verilən cihazda axtarış rejimində impulsların sayılma vaxtı $\tau_a = 2$ saniyə, kalibrləmə rejimində impulsların sayılma vaxtı $\tau_k = 36$ saniyə, qamma-kanalın “n” əmsalının qiyməti 5.3 (qamma şüalanma qeydiyyatında orta-kvadratik fluktuasiyaların sayı), neytron-kanalının “n” əmsalının qiyməti 5 (neytron şüalanma qeydiyyatında orta-kvadratik fluktuasiyaların sayı - fərdi kompüterlə əlaqə rejimində daxil edilir), səs və vibrasiya, həmçinin kalibrləmə rejimləri avtomatik qoşulma vəziyyətinə nizamlanmış olurlar. Bu parametrlərin istehlakçı tərəfindən dəyişdirilməsi mümkündür. Cihaz qoşulduqdan sonra avtomatik olaraq radiasiya fonuna uyğun kalibrlənməsi aparılır, prosessor tərəfindən kalibrləmə müddətində impulsların (şüaların) orta sayılma sürəti (\dot{I}_s) və doza gücünün fondan yuxarı ölçülməyə başlandığı qiymət (\dot{I}_f) aşağıdakı asılılıqla hesablanır:

$$\dot{I}_f = (\dot{I}_s \times \tau_a + n \times \sigma)$$

$$\sigma = (\dot{I}_s \times \tau_a)^{1/2}$$

burada, τ_a – axtarış rejimində impulsların sayılma müddəti;

σ – impuls sayının Puassonov paylanması orta kvadratik fluktuasiyası;

n – orta kvadratik fluktuasiyaların sayı (“n” əmsalı 0.1 addımla 1-dən 9.9-dək dəyişdirmək mümkündür).

Göründüyü kimi “n” əmsalı kiçildikcə doza gücünün fondan yuxarı ölçülməyə başladığı qiyməti (I_f) kiçilir, yəni axtarış rejimində cihazın həssaslığı və nəticədə cihazın səhv göstərişlərinin yaranma ehtimalı artır (ona görə cihazın “n” əmsalı üçün zavod göstəricisi 5.3 seçilir).

“İdentiFINDER” (Thermo Scientific Co., AFR-ABŞ) ionlaşdırıcı qamma şüalanması dozimetr–izotop təyinedici daxili NaI(Tl) qamma şüası ssintilyasiya detektoru, daxili Geyger-Müller (GM) kamerası və daxili neytron (^3H) detektoru ilə təmin olunmuşdur, enerji ölçmə diapozonu 15 keV-dən 3.0 MeV-dək NaI(Tl) detektoru üçün, 60 keV-dən 1.6 MeV-dək GM kamerası üçün, doza ölçmə diapozonu 10 mkrem-dən 100 rem-dək, doza gücü ölçmə diapozonu 1.0 mkrem/saatdan 100 rem/saatadək, 1024 kanalda 100 spektrlər çəkilməsi mümkündür, həssaslığı 10000 cps/mrem (10000 impuls/saniyə 1 mrem-də), ekspedisiyalar və radiomontorinqlər zamanı radiometrik ölçmələr və izotop eyniləşdirilməsi üçün tətbiq edilir (müqayisəli analiz üçün cihazın kitabxana-yaddaşında 74 ədəd radionuklidin spektri vardır). Radiometrin göstəricilərinin, səs və vibrasiya siqnallarının güclənməsinə uyğun istiqamətdə axtarış apararaq ən maksimal doza gücü qiyməti aşkar edilən yerdə gün, ay və il ərzində ölçmələr apararaq keçirilən monitorinqlərin nəticələrinə əsasən torpağın çirklənmə dərəcəsi təyin edilir və ya çirklənmə dinamikası qiymətləndirilir.

Təsvir edilmiş cihazlar Avropa Birliyi və Azərbaycan Respublikası Antiinhisar və İstehlak Bazarına Nəzarət Dövlət Agentliyinin Metrologiya İnstitutu tərəfindən ölçmə vasitələrinin yoxlanılması haqqında İSO 9001 standartına uyğun sertifikatlaşdırılmışdır.

“GR-135 Plus” (Exploranium Co., ABŞ-Kanada) izotop təyinedici portal cihaz Avropa Birliyində İSO 9002 standartı ilə sertifikatlaşdırılmış geniş diapazonda (ən kiçik, orta və böyük) dozalar üçün 4 detektorlu radiometr-dozimetrdir. Cihaz 10 R/saat və ya 100 mZv/saat doza güclərini ölçmək üçün daxili Geyger-Müller (GM) kamerası, NaI (38×55 mm), kadmium-sink-tellurid Cd-Zn-Te (500 mm³) və litium-şüşəli (Li-glass) neytron detektorları ilə radiodalğalardan başlayaraq böyük enerjili qamma şüalaradək (0.02 keV-3.0 MeV) bütün şüalanma növlərini operativ ölçməyə və spektrometrik analizlər aparmağa imkan verir. -10°C-dən +50°C-dək intervalda

işləmək imkanına malikdir və suyardavamlı korpusla təmin olunmuşdur. 40000-dən artıq doza ölçmələri aparmaq mümkündür və 3 MeV-dək şüalanmaları əhatə edən 187-dən artıq spektrləri saxlaya bilən yaddaş həcmi vardır.

Radioaktiv mənbənin axtarışı zamanı cihaz şkalasının göstərişi artdıqda, səs və ya vibrasiya siqnalları yarandıqda mənbənin tapılması üçün şkala göstəricisinin artması, səs və ya vibrasiya siqnallarının güclənməsi istiqamətinə hərəkət etməklə maksimal siqnal və ya şkala göstəricisi müşahidə olunan nöqtədə detektoru yuxarı və aşağı aparmaqla radioaktiv mənbənin basdırıldığı və ya gizlədildiyi yer aşkar edilir.

Tələb olunan ümumi vaxt, zaman intervalında (gün, ay, il, illər) radiomonitirinqlər aparılması üçün isə bütün ölçmələr monitoring aparıldığı eyni yerdə (eyni yerlərdə) nisbətən kiçik (radiomonitinq üçün tələb olunan ümumi vaxtdan bir-neçə dəfə kiçik) vaxt intervalları ilə aparılır. Sonrakı müqayisəli analizlər aparılması və məntiqi nəticələr alınmasında istifadə edilməsi üçün alınmış göstəricilər dərhal monitoring jurnalına qeyd edilir.

2.2. Tədqiqatlar üçün nümunələr götürülməsi və nümunələrin analiz üçün hazırlanması

Ölkə rayonlarında keçirilmiş radiomonitirinqlər zamanı torpağın üst layından, səthdən 15 sm dərinliyədək qazılaraq götürülmüş nümunələrin stasionar laboratoriya şəraitində analitik kimyəvi və fiziki-kimyəvi tədqiqat üsullarından istifadə etməklə analizləri aparılmışdır. Bu məqsədlə “analiz üçün kimyəvi təmiz” reaktivlərin sulu məhlulları ilə ekstraksiya, filtrasiya, sentrifuqada ayırma, aktivləşdirilmiş və ion-mübadiləsi adsorbentlərindən keçirtmə, reaktivlə çökdürmə, qaynadaraq buxarlandırmaqla mineralı məhluldan ayırma, keyfiyyət reaksiyaları, “HANNA instrument” Hİ 96707, Hİ 96708, Hİ 96728 spektrometrlərində standart testlərlə kation və anionların konsentrasiyalarının təyini, torpaq minerallarının, o cümlədən ağır metalların “Expert-3L” (Ukrayna) və “XRF” (ABŞ) rentgen-flüoresent spektrometrləri və “AA-6800” (Shimadzu, Yaponiya) atom-absorbsiya spektrometri ilə təyini, torpaqdakı radionuklidlərin eyniləşdirilməsi üçün radiometrik ölçmələr və

qamma spektrometrik (HPGe detektorlu qamma spektrometr, “Canberra”, ABŞ) analizlər aparılmışdır [160, s.132-135]. Ölkə rayonları ərazilərindən götürülmüş və ya model nümunə qismində hazırlanmış nüvə materialı ilə çirklənmiş torpaq nümunələrinin kompleks analizləri üçün İSO 9001 və 9002 standartlarının tələblərinə cavab verən testlərdən və reaktivlərdən (“HANNA Instruments, Hİ 93728-01, Hİ 93707-01, Hİ 93708-01 /Rumıniya-ABŞ/, Merck kqaA /Almaniya/, VWR PROLABO /Fransa/, Lachema /Çexiya/, АО “База №1 Химреактивов” /RF/) istifadə edilmişdir.

Radionuklidlərin standart məhlulları ilə kalibrləmə əsasında uran radioizotopların növünün və analiz zamanı aktivliklərinin təyini üçün radioaktiv parçalanma qanunu əsasında hesablamalar aparılmış və “GENIE 2000” spektroskopik sistemi ilə təmin olunmuş, yüksək təmizliyə malik HPGe detektorlu Qamma Spektrometridə analizlər aparılmışdır.

Analizlər üçün istifadə edilən nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş model torpaq nümunələri ölkə rayonları ərazilərindən götürülmüş torpaqların 200 qramlıq hissələrinə aktivliyi öncədən təyin edilmiş uranil nitrat məhlulu əlavə edilməklə hazırlanmışdır.

2.3. Sertifikatlaşdırılmış nöqtəvi mənbələrin aktivliklərinin analiz vaxtı üçün radioaktiv parçalanma qanununa əsasən qiymətinin hesablanması və qamma spektroskopiya piklərinin intensivliklərinə uyğun kalibrlənməsi

AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutuna AEBA tərəfindən verilmiş nöqtəvi radioaktiv mənbələr və onların aktivliyinin alındıqları zamana uyğun təyin edildiyi qiymətləri qeyd edilmiş sertifikatlar əsasında radioaktiv parçalanma qanununa uyğun analiz zamanı aktivlik qiymətləri müəyyənləşdirilmişdir. Nüvə materialı nümunələrinin və radioaktiv maddələrin standart məhlulları nümunələrinin sertifikatlaşdırılması (^{209}Po , $^{238-242}\text{Pu}$, $^{241, 243}\text{Am}$, $^{234-238}\text{U}$, ^{252}Cf , ^{137}Cs , $^{57, 60}\text{Co}$, ^{109}Cd , ^{203}Hg , $^{85, 90}\text{Sr}$, ^{88}It , ^{139}Ce , ^{113}Sn , ^{40}K , ^{14}C , ^3H) ABŞ Kommersiya Departamentinin Standartlar və Texnologiya Milli İnstitutu, Kaliforniya “Eckert&Zeigler” İzotopların

Tibbi Müayinə Laboratoriyası, ABŞ PerkinElmer şirkətinin radiometrik kalibrəmə laboratoriyası, Böyük Britaniya Milli Fizika və AEBA Dəniz Mühiti Laboratoriyaları, Almaniya “Radiasiya və Radioaktivlik Kalibrənməsi” laboratoriyası tərəfindən, müqayisəli tədqiqat üçün Nöqtəvi Radioaktiv Mənbələrin (NRM) sertifikatlaşdırılması Rusiya Federasiyası Texniki Nizamlama və Metrologiya Federal Agentliyinin D.İ.Mendeleyev Metrologiya İnstitutu, Federal Atom Enerjisi Agentliyinin V.G.Xlopin adına Radium İnstitutunun İzotop departamenti (RITVERC müəssisəsi) tərəfindən aparılmışdır. Radioaktiv mənbələrin analiz vaxtına uyğun aktivlikləri sertifikat göstəriciləri əsasında radioaktiv parçalanma qanununa uyğun olaraq təyin edilmişdir. HPGe detektorlu Qamma Spektrometrdə aparılmış analizlər zamanı radionuklidlərdən, onların izotoplarından emissiya edən şüaların enerjiləri (elementi və ya izotopunu xarakterizə edən göstərici) və şüaların sayı (aktivliyi xarakterizə edən göstərici) haqqında məlumatlar çəkilən spektrdəki müvafiq pikin yerləşdiyi sahəyə (şüa enerjisinin qiyməti), hündürlüyə və qeydiyyat əmsalına əsasən (həssaslıq əmsalı nəzərə alınmaqla analiz müddətində detektorda qeyd edilən şüaların sayı) təyin edilir. Radionuklidlərdən emissiya edən şüaların (elektromaqnit dalğalarının) və ya şüalanan hissəciklərin növləri, enerjiləri haqqında məlumatlarla Qamma Spektrometrin Radionuklid Arxivi proqramında və radiokimya kataloqlarında tanış olmaq mümkündür. Ölçmənin həssaslıq əmsalı, tədqiq edilən nümunələrin fiziki parametrlərinin, həndəsi ölçülərinin və ölçülmə parametrlərinin eyniliyi nəzərə alınmaqla eyni enerjili şüalanmanın yaratdığı pikin hündürlüyü ilə şüaların sayı (aktivlik) arasında uyğunluğun alınması kalibrəmə prosedurudur. Qeyd edilməlidir ki, ölçmə vaxtından asılı olaraq radioaktiv maddənin aktivliyi dəyişir, yəni zaman keçdikcə aktivliyi yarımparçalanma perioduna uyğun olaraq zəifləyir.

Radioaktiv parçalanma qanunu Frederik Soddi və Ernest Rezerford tərəfindən aşkar edilmişdir və radioaktiv atomların və onların parçalanma intensivliyinin zamandan eksponensial asılılığını ifadə edir.

$$dN/dt = -\lambda N; \quad N_t = N_0 \times e^{-\lambda t} = N_0 \times e^{-t \times \ln 2 / T_{1/2}};$$

$$(N_0 / N_{T_{1/2}} = 2 = e^{\lambda T_{1/2}}; \lambda = \ln 2 / T_{1/2});$$

$$\dot{I}_t = -dN/dt;$$

$$\dot{I}_t = d(N_0 \times e^{-\lambda t})/dt = \lambda N_0 \times e^{-\lambda t} = \dot{I}_0 \times e^{-\lambda t} = \dot{I}_0 \times e^{-t \times \ln 2 / T_{1/2}}$$

burada

N – radioaktiv atomların sayı;

λ – parçalanma sabiti (müsbətdir, atom nüvəsinin vahid zamanda parçalanma ehtimalını göstərir, vahidi san-1), qarşısındakı “-” işarəsi atomların zaman keçdikcə parçalanıb azaldığını göstərir;

dN/dt – atomların parçalanma tezliyi;

N_0 və N_t – müvafiq olaraq atomların əvvəlki ($t=0$) və t – zamanından sonrakı sayı;

\dot{I}_0 və \dot{I}_t – müvafiq olaraq atomların əvvəlki ($t=0$) və t – zamanından sonrakı parçalanma sürəti (vahid zamanda parçalanmaların sayı);

$T_{1/2}$ – radioaktiv izotopun yarımparçalanma periodu.

Göründüyü kimi hər iki differensial tənliyin həlli həm parçalanmamış atomların sayını, həm də parçalanma intensivliyinin zamandan eksponensial asılı olaraq kiçildiklərini göstərir. Radioaktiv maddənin aktivliyi onun yarımparçalanma perioduna bərabər zaman intervalı ərzində 2 dəfə azalır.

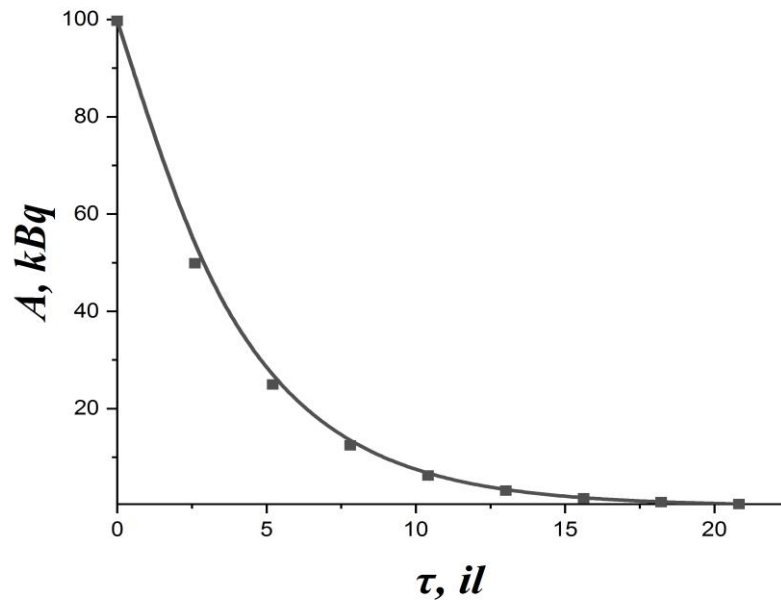
Təcrübədə ölçülmüş yarımparçalanma periodunun ən kiçik qiyməti ^{212}Po üçün (3×10^{-7} san.), ən böyük qiyməti isə ^{128}Te üçün (2.2×10^{24} il) müşahidə edilmişdir. Radionuklid yaranması 4.5 milyard il əvvəl ulduz nüvə sintezi reaksiyasında yarandığından radioaktiv parçalanma qanununa əsasən planetimizdə artıq kiçik yarımparçalanma periodlu radionuklidlər mövcud olmamalı idi. Lakin ^{235}U , ^{238}U və ^{232}Th izotoplarının yarımparçalanma periodunun qiyməti müvafiq olaraq 7.038×10^8 il, 4.468×10^9 il, 1.4×10^{10} il təşkil etdiklərindən və alfa və beta parçalanma aktları hesabına 20-dək mərhələli zəncirlə müvafiq olaraq get-gedə daha kiçik və nisbətən kiçik yarımparçalanma periodlu radionuklidlərin yaranmasına səbəb olurlar, yəni bu zəncirlərin ən böyük yarımparçalanma

perioduna malik başlanğıc (“ana”) radionuklidlə parçalanma zənciri üzrə yaranmış (“qız”) radionuklidlər arasında sekulyar (əsrlik) tarazlıq mövcud olur.

Radioaktiv parçalanma qanunu ehtimal təbiətli və statistik xüsusiyyətlidir, yəni yarımparçalanma periodu ərzində radioaktiv maddə atomlarının kifayət qədər böyük dəqiqliklə (orta hesabla) yarısı miqdarında parçalanmış olmasına baxmayaraq hər-hansı ixtiyari götürülmüş kiçik zaman ərzində hesablama ilə parçalanma üçün təyin edilən qiymətdən 5%-dək ($\pm 5\%$) fərqli qiymət müşahidə oluna bilər, yəni ixtiyari kiçik zaman intervalları ərzində parçalanma sayında, cihazın göstəricisində müəyyən fluktuasiyalar mümkündür (bax: səh.72-75).

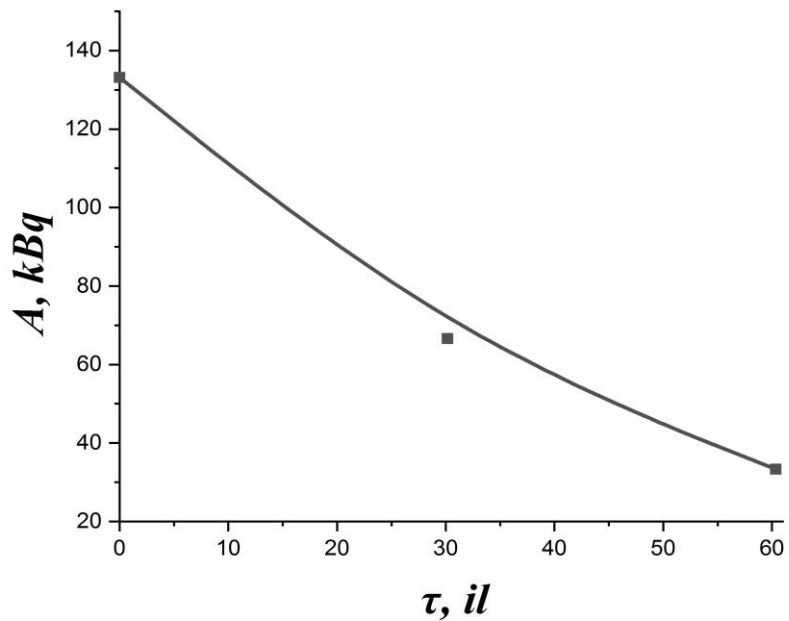
Radioaktiv mənbələrin aktivliklərinin analiz vaxtına uyğun qiymətinin sertifikat göstəriciləri əsasında radioaktiv parçalanma qanununa uyğun olaraq təyin edilməsinə aid bir-neçə nümunələr 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4 və 2.3.5-cu şəkillərdə təsvir edilmişdir. Ordinat oxundakı başlanğıc aktivlik qiyməti sertifikat göstəricisidir və bütün radioaktiv mənbələr üçün sertifikat kalibrləməsi 15.03.2006-cı il tarixində aparılmışdır.

Şəkillərdə standart nöqtəvi mənbələrin $\tau = 0$ vaxtına uyğun aktivlik qiyməti sertifikatlaşdırma vaxtı (2006-cı ilin 15 mart tarixində) təyin edilərək sertifikata daxil edilmiş qiymətdir. Mənbənin analiz vaxtı (2016-2022-ci illər) aktivlik qiyməti isə absis oxundakı konkret analiz vaxtına uyğun ordinat qiymətidir. Absis oxundakı analiz tarixi ilə sertifikatlaşdırma tarixi arasındakı fərq göstəricinə uyğun ordinat göstəricisi nöqtəvi mənbənin cari analiz tarixinə uyğun aktivlik qiymətidir. Həmin nümunələrin HPGe-qamma spektrləri kinetik asılılıqlardan (şəkil 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5) sonrakı şəkillərdə (müvafiq olaraq şəkil 2.3.6, 2.3.7, 2.3.8, 2.3.9, 2.3.10) göstərilmişdir.

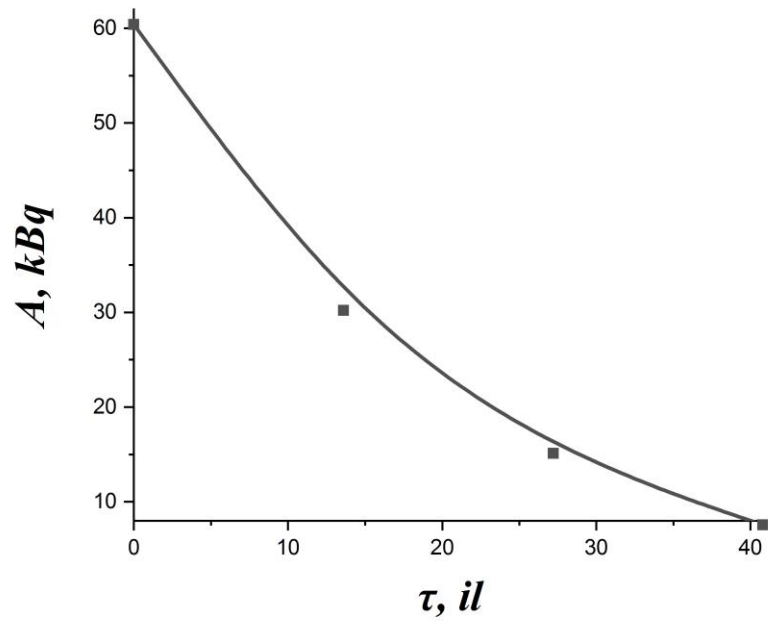


Şəkil 2.3.1. $^{22}\text{Na}_{11}$ radioizotopunun aktivliyinin radioaktiv parçalanma qanununa uyğun vaxt keçdikcə zəifləməsi*.

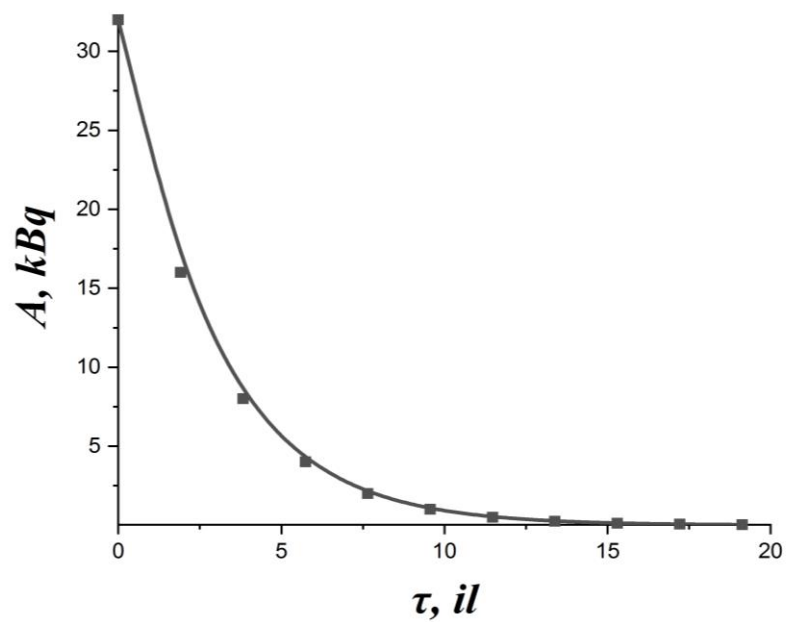
(* – aparılmış bütün təcrübələrin ən kiçik kvadratlar metodu ilə təyin edilmiş xətaları $\pm 5\%$ təşkil edir /bax: səh.72-75/).



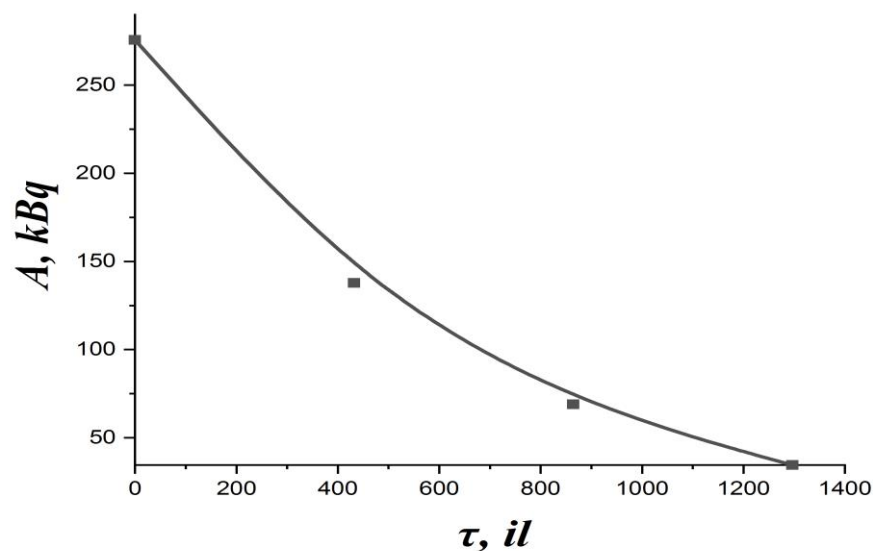
Şəkil 2.3.2. $^{137}\text{Cs}_{55}$ radioizotopunun aktivliyinin radioaktiv parçalanma qanununa uyğun vaxt keçdikcə zəifləməsi.



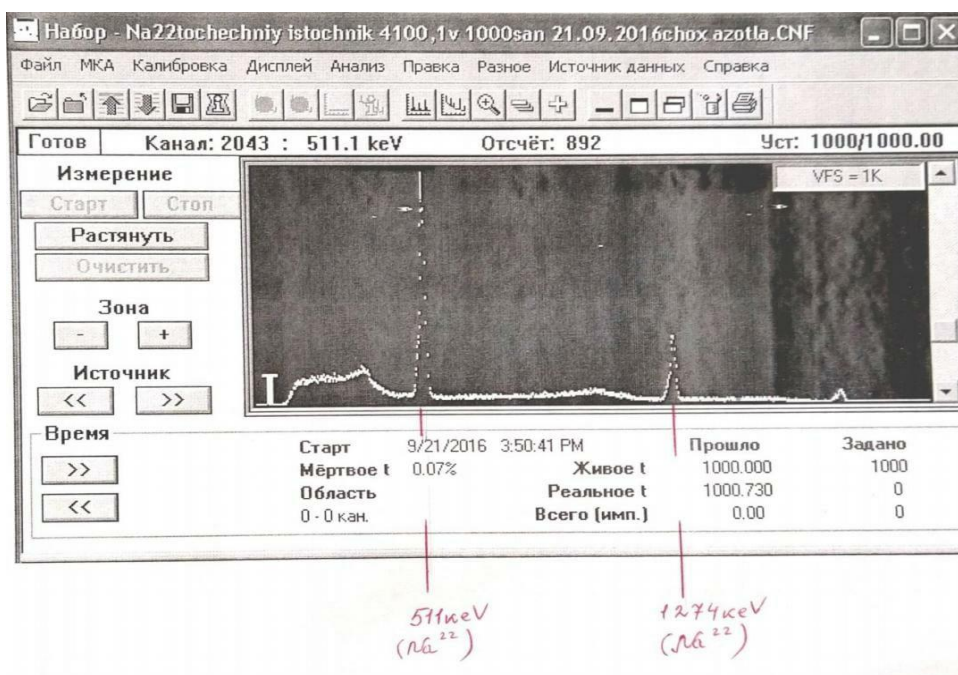
Şəkil 2.3.3. $^{152}\text{Eu}_{63}$ radioizotopunun aktivliyinin radioaktiv parçalanma qanununa uyğun vaxt keçdikcə zəifləməsi.



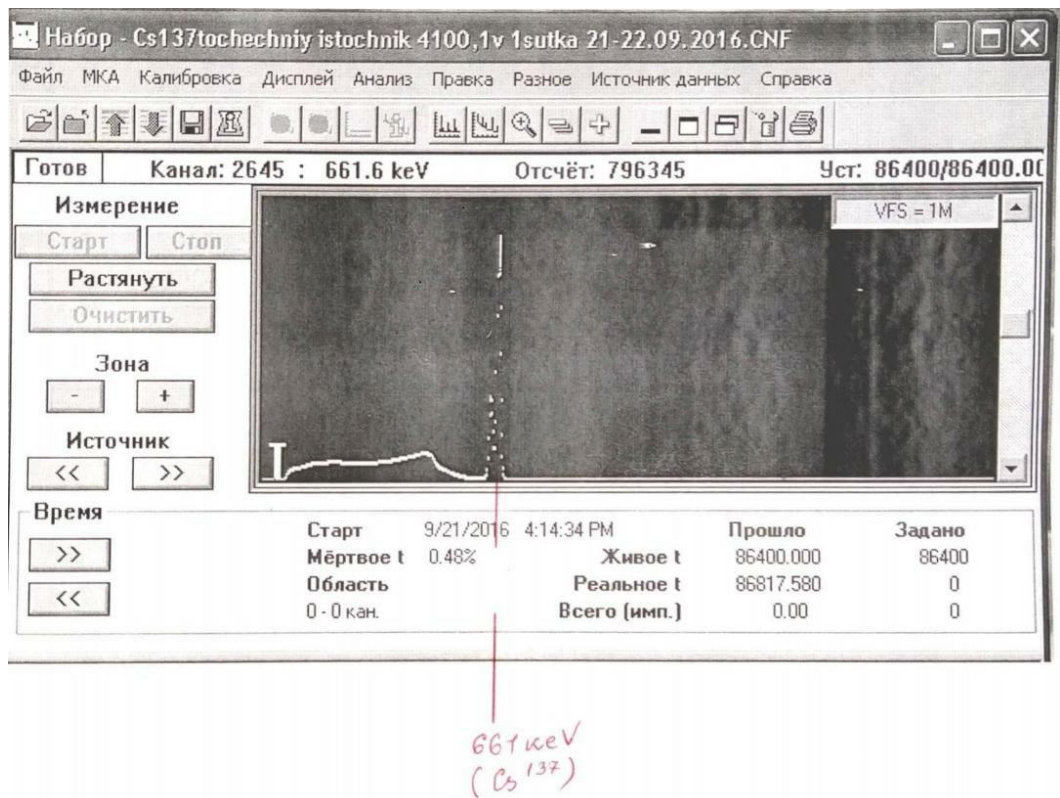
Şəkil 2.3.4. $^{228}\text{Th}_{90}$ radioizotopunun aktivliyinin radioaktiv parçalanma qanununa uyğun vaxt keçdikcə zəifləməsi.



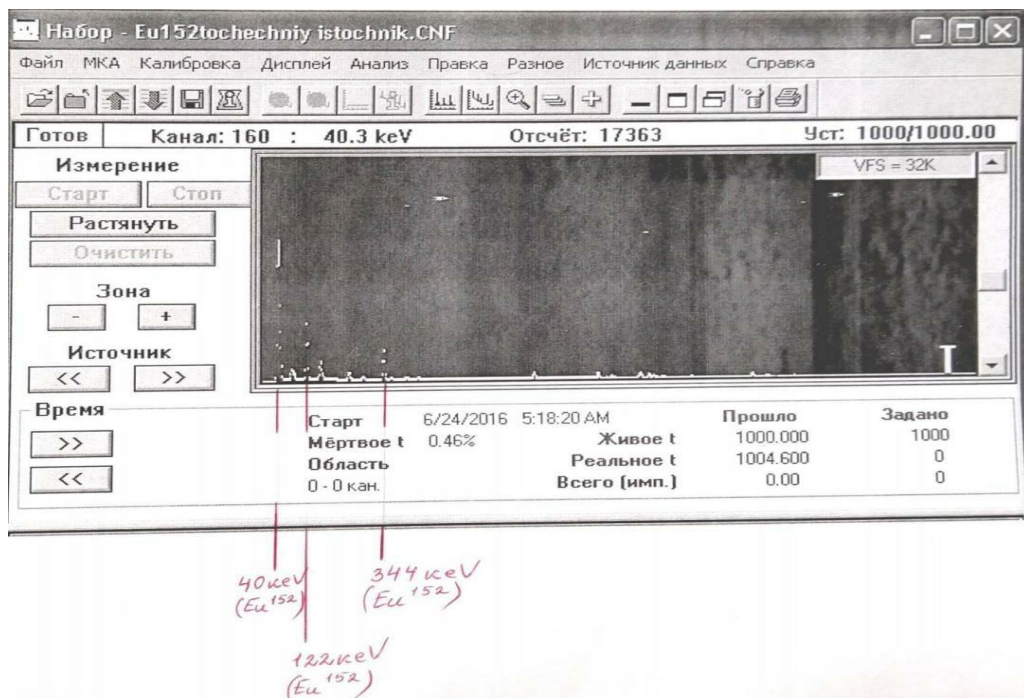
Şəkil 2.3.5. $^{241}\text{Am}_{95}$ radioizotopunun aktivliyinin radioaktiv parçalanma qanununa uyğun vaxt keçdikcə zəifləməsi.



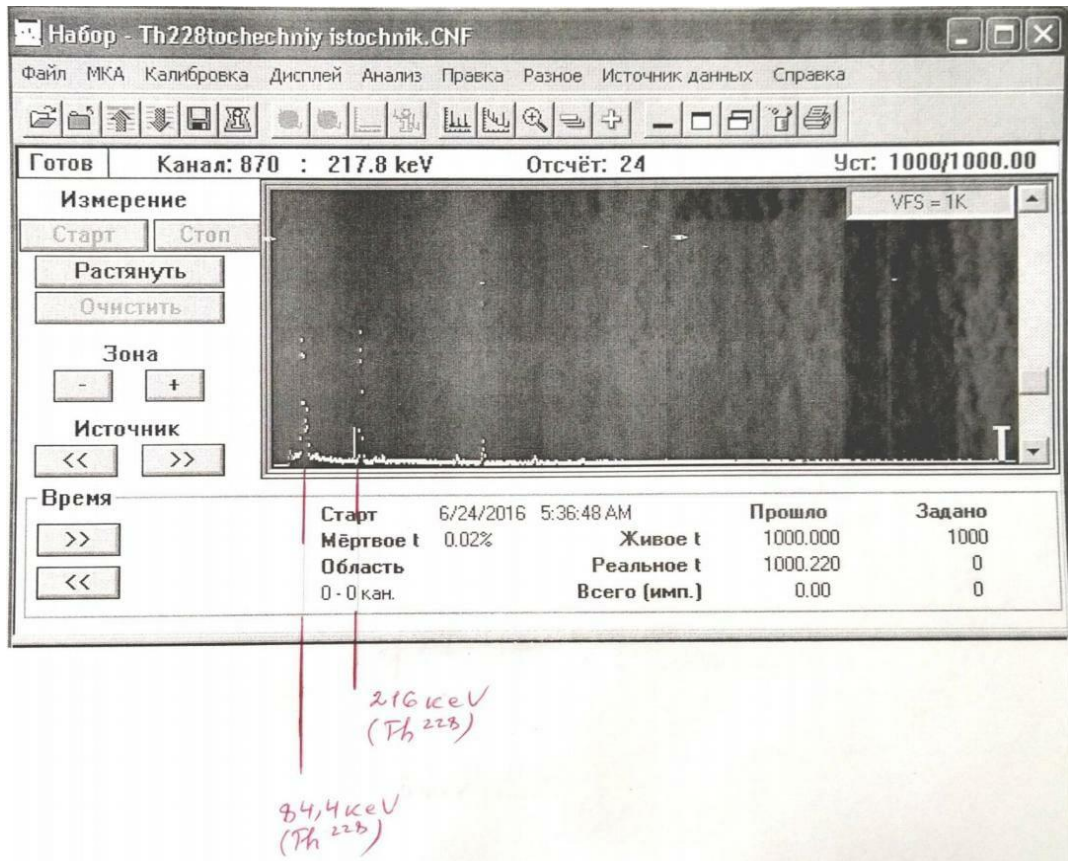
Şəkil 2.3.6. $^{22}\text{Na}_{11}$ radioizotopunun nöqtəvi mənbəyinin təcrübə vaxtı HPGe-Qamma Spektrometrində çəkilmiş spektri (511 və 1274 keV).



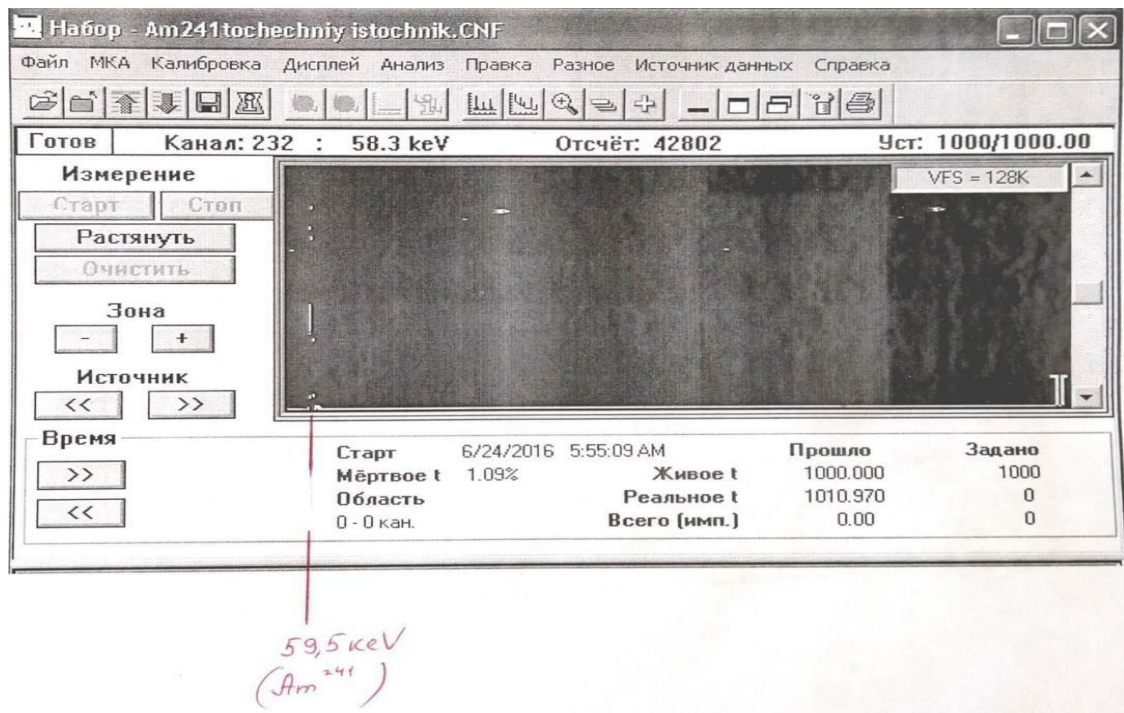
Şəkil 2.3.7. $^{137}\text{Cs}_{55}$ radioizotopunun nöqtəvi mənbəyinin təcrübə vaxtı HPGe-Qamma Spektrometrində çəkilmiş spektri (661 keV).



Şəkil 2.3.8. $^{152}\text{Eu}_{63}$ radioizotopunun nöqtəvi mənbəyinin təcrübə vaxtı HPGe-Qamma Spektrometrində çəkilmiş spektri (40, 122 və 344 keV).



Şəkil 2.3.9. $^{228}\text{Th}_{90}$ radioizotopunun nöqtəvi mənbəyinin təcrübə vaxtı HPGe-Qamma Spektrometrində çəkilmiş spektri (84.4 və 216 keV).



Şəkil 2.3.10. $^{241}\text{Am}_{95}$ radioizotopunun nöqtəvi mənbəyinin təcrübə vaxtı HPGe-Qamma Spektrometrində çəkilmiş spektri (59.5 keV).

Sertifikatlaşdırılmış nöqtəvi mənbənin aktivliyinin kalibrlənməsi maye azot mühitində tam dondurulmuş HPGe detektoru ilə 30 keV-dən 2.0 MeV-dək intervalda çəkilmiş qamma spektrə, çəkilişin həssaslıq əmsalına, eyni enerjili şüaların cəmindən formalaşan pikin hündürlüyünə əsasən aparılır. Aktivlikləri müəyyənləşdirilmiş nöqtəvi radionuklid mənbələrin spektrlərinin eyni ölçülü, eyni çəkili, eyni aqreqat formalı naməlum tərkibli mineralın qamma spektri ilə müqayisəli analizinə əsasən həmin mineralın tərkibində hansı radionuklidlərin və nə miqdarda olması (hansı aktivliyə malik olmasını) radionuklid naviqatoru proqramı və radiokimya kataloqlarının köməkliyi ilə təyin edilir.

2.4. Qamma spektroskopik analizlə tədqiq edilən nümunələrdə radioaktiv elementlərin, onların izotoplarının və aktivliklərinin təyini. Radioaktiv şüalanmanın udulan doza gücünün və ionlaşdırıcı şüalanma mənbələrinin aktivliklərinin təyini üçün aparılmış təcrübələrin xətasının ən kiçik kvadratlar metodu ilə hesablanması

Radioizotopların sertifikatlaşdırılmış standart nöqtəvi mənbələrlə kalibrlənməsi əsasında naməlum radionuklidlərin növünün və aktivliklərinin təyini üçün analizlər “GENIE 2000” spektroskopik sistemi və “Labsocs” proqramı ilə təmin edilmiş, yüksək təmizliyə malik HPGe detektorlu Qamma Spektrometrində aparılmışdır.

Sertifikatlaşdırılmış nüvə materialı nümunələrinin, radioaktiv məhlulların və nöqtəvi radioaktiv mənbələrin sertifikat göstəricilərini və Qamma Spektrometriya analizinin nəticələrini tədqiq edilən nüvə materialı məhlullarındakı və torpaq nümunələrinin mineral kütləsindəki radionuklidlərdən şüalanmaların enerji qiymətləri ilə və intensivlikləri (aktivlikləri) ilə müqayisə etməklə radionuklidlərin, onların izotoplarının eyniləşdirilməsi (təyini) aparılmış və aktivlikləri (mühitdə, məhlulda, mineralda) təyin edilmişdir. Qeyd edildiyi kimi, radionuklidlərin və ya onların izotoplarının təyini onlardan şüalanın kvantın (kvantların) və ya hissəciyin (hissəciklərin) enerjisinin qiymətinə əsasən (kataloqla müqayisə etməklə) aparılır, həmin şüalanmanın intensivliyi (şüalanma mənbəyinin aktivliyi) isə vahid zamanda

həmin şüalanmanın (kvantların və ya hissəciklərin) sayı və yaxud qamma spektrdə üst-üstə yığılaraq yaratdıqları pikin hündürlüyü ilə (standart nöqtəvi mənbənin yaratdığı pikin hündürlüyü ilə müqayisə etməklə) təyin edilir.

Radioaktiv şüalanmanın statistik və ehtimal xarakteri daşmasına əsaslanaraq aparılan təcrübələrin müəyyən xətalara malik olması qaçılmazdır. Bu səbəbdən təcrübələr və ölçmələr zamanı alınmış nəticələrin qiymətləri mövcud ola biləcək xəta intervalının qiymətləri əlavə edilməklə yazılır. Beləliklə, radioaktiv şüalanmanın udulan doza gücünün və ionlaşdırıcı şüalanma mənbələrinin aktivliklərinin təyini üçün aparılmış ölçmələrin və təcrübələrin xətalalarının qiyməti ən kiçik kvadratlar metodu ilə hesablanmışdır [142, səh.2-18].

Ehtimal təbiətli və statistik xüsusiyyətli radioaktiv parçalanma qanununa əsasən radioaktiv maddə atomlarının kiçik zaman intervalında parçalanma sayında baş verən fluktuasiyalar ($\pm 5\%$ civarında xətalər) fonunda radiometrik cihazlar tərəfindən düzgün qiymətin qeydə alınması məqsədilə istehsalçı tərəfindən 1-dən 9.9-dək 0.1 addımla dəyişdirilə bilən “n” əmsalının optimal qiyməti (5.3 - qamma şüalanma qeydiyyatında orta-kvadratik fluktuasiyaların sayı, 5.0 - neytron şüalanma qeydiyyatında orta-kvadratik fluktuasiyaların sayı) seçilir. Qeyd edilmiş nizamlaşdırma nəticəsində, həmçinin, monitorinq müddəti (udulan doza) böyüdükcə radioaktiv parçalanma qanununa əsasən hesablanmış qiymətdən kənarlaşmaların qiyməti (flüktuasiyalar) dəfələrlə kiçilir. Bu səbəbdən radiasiya-kimyəvi təcrübələrin sistemativ xətalalarının maksimal qiyməti $\pm 5\%$ -i ötmür. Təcrübələrdə baş verə biləcək təsadüfi xətalərin də qeyd edilmiş maksimal qiymət intervalını aşmaması məqsədilə ən kiçik kvadratlar metodu ilə hesablamalar üçün ölçmələr sayının (n), etibarlılıq ehtimalının (P) və Styudent əmsalının (t) radiasiya-kimyəvi təcrübələrin sistemativ xətalalarının maksimumuna uyğun qiymətləri seçilir.

“n” sayda ölçmələrin nəticəsi: $D = (D_1 + D_2 + \dots D_n)/n$;

$D = (90 + 92 + 91 + 88 + 89)/5 = 450/5 = 90.0$;

Ölçmə fərqləri: $d_1 = D_1 - D$; $d_2 = D_2 - D$; ... $d_n = D_n - D$;

$d_1 = 90 - 90 = 0$; $d_2 = 2.0$; $d_3 = 1.0$; $d_4 = -2.0$; $d_5 = -1.0$;

Dispersiya: $S^2 = [(D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_n^2) - n \times D^2] / (n-1)$;

$S^2 = [(90^2 + 92^2 + 91^2 + 88^2 + 89^2) - 5 \times 90.0^2] / (5-1) = (8100 + 8464 + 8281 + 7744 + 7921) - 5 \times 8100 / 4 = 40510 - 40500 / 4 = 10 / 4 = 2.5$;

Standart kənarlaşma (xəta): $S = (S^2)^{1/2}$; $S = (2.5)^{1/2} = 1.5811388$.

Etibarlılıq intervalının yarımənliyi: $\Delta D = t(P, n-1) \times S$;

$\Delta D = t(P, n-1) \times S = 2.78 \times 1.5811388 = 4.395566 = 4.4$.

($P = 95\%$ etibarlılıq ehtimalı və $n = 5$ ədəd ölçmələr üçün Styudent əmsalı $t(P, n-1) = 2.78$);

$\Delta D = t(P, n-1) \times S = t(P, n-1) \times [(D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_n^2) - n \times D^2] / (n-1)^{1/2}$;

Nisbi xətanın qiyməti (E) etibarlılıq intervalının yarımənliyindən (ΔD) və ölçmələrin nəticəsindən (D) asılıdır:

$\Delta D = (E/100\%) \times D$; $E = (\Delta D / D) \times 100\%$.

$E = (\Delta D / D) \times 100\% = (4.4 / 90.0) \times 100\% = 0.048888 \times 100\% = 4.9\%$.

Göründüyü kimi radiometrik ölçmələrin sistematik xətalарının maksimal qiyməti $\pm 4.9\%$ təşkil edir, yəni $\pm 5\%$ -i ötmür.

$\Delta D = (E/100\%) \times D = (4.9\% / 100\%) \times 90.0 = 4.4$; $D = 90.0 \pm 4.4$.

2.5. 2-ci fəsilə aparılmış araşdırmaların nəticələri

1. Aktivlikləri təyin edilmiş nöqtəvi radionuklid mənbələrin spektrlərinin eyni ölçülü, eyni çəkili, eyni aqreqat formalı naməlum tərkibli mineralın qamma spektri ilə müqayisəli analizinə əsasən həmin mineralın tərkibində hansı radionuklidlərin və nə miqdarda olması radionuklid naviqatoru proqramı və radiokimya kataloqları ilə təyin edilmişdir.

2. Aparılmış radiometrik ölçmələr və spektrometrik analizlər zamanı (ehtimal təbiətli və statistik xüsusiyyətli radioaktiv parçalanma qanununa uyğun olaraq) yarımparçalanma periodu ərzində radioaktiv maddə atomlarının orta hesabla yarısı miqdarında parçalanmalarına baxmayaraq hər-hansı ixtiyarı kiçik zaman intervalında hesablama ilə alınmış qiymətlə cihaz göstəricisi arasında 5%-dək ($\pm 5\%$) fərq, yəni təbii radioaktiv şüalanma üçün xarakterik fluktusiyalar müşahidə olunmuşdur.

III FƏSİL

ADSORBENTLƏRDƏ RADİONU KLİDLƏRİN ADSORBSİYASI

QANUNAUYGUNLUQLARININ ÖYRƏNİLMƏSİ

Yüksək xüsusi səth sahəsinə və yüksək dispersliyə malik təbii və sintetik materiallar adsorbentlər adlanır. Qazlardan və ya mayelərdən maddələrin səthləri ilə təmasda olduqları adsorbentlərdə udulması adsorbsiya adlanır. Məsaməli cisimlərin və ya dispers sistemin üyüdülmüş fazasında mövcud hissəciklərin daxili məsamələrinin, kanalların, boşluqların ölçülərini xarakterizə edən göstəricinin orta qiyməti xüsusi səth sahəsi adlanır. Xüsusi səth sahəsi məsaməli və üyüdülmüş cismin ümumi səthinin onun həcminə və ya kütləsinə olan nisbəti göstərir və üyüdülmə dərəcəsi ilə düz mütənasib, dispers fazanın hissəciklərinin ölçülərinə tərs mütənasibdir. Adsorbentlərin udma qabiliyyəti, bərk katalizatorların effektivliyi, materialların filtrasiya qabiliyyəti xüsusi səth sahəsinin qiymətindən asılıdır. Xüsusi səth sahəsi aktivləşdirilmiş kömürün hər qramı üçün 500-1500 m² civarında dəyişən, silikagellərin hər qramında 800 m²-dək, makroməsaməli ion-mübadilə qətranlarının hər qramında 70 m²-dək, qaz-mayə xromatoqraflarının diatomlu daşıyıcılarının hər qramında 10 m²-dək qiymətlərə malik olur. Adsorbentlər əsasən suyun metallardan və qarışıqlardan təmizlənməsi, əleyhqazlarda katalizator daşıyıcı kütlə qismində, qazların və spirtlərin təmizlənməsi, spirtlərin ayrılması, sistemlərdə həll olmuş kənar qazların və zəhərli qarışıqların udulması üçün istifadə edilir.

3.1. Ölkə ərazisində aparılmış radiomonitorinqlərin nəticələrinin müqayisəli analizi

Azərbaycan Respublikasında əhali üçün orta illik dozanın icazə verilən qiyməti 1 mZv təşkil edir ki, bu da şüalanma mənbəyi ilə daim təmasda olan (bu ərazidə yaşayan) insanlar üçün doza gücünün 0,115 və ya təxminən 0,12 mkZv/saat qiymətinə uyğundur [5, səh.5] .

Ölkə ərazilərində aparılmış radiometrik ölçmələrin nəticələri göstərir ki, ölkənin bir çox ərazilərində ümumi radioaktiv şüalanmanın intensivliyi, yəni udulan dozanın gücü (0,03-0,12 mkZv/saat) Yol Verilən Həddi /YVH = 0,12 mkZv/saat) / ötmür. Ölkə rayonlarının torpaqları üçün alfa şüalanma səviyyəsi 0-0,03 Bq_{eq}/sm² təşkil edir [46, s.33; 156, s.36; 161, s.30; 160, s.132; 12, s.132; 146, s.377; 151, s.179].

3.1.1 sayılı şəkildə ölkə ərazilərində aparılmış radiomonitorinqlər zamanı istifadə edilmiş cihazların, torpaqdan götürülmüş nümunələrdən ayrılmış radionuklidlərlə zəngin mineralların, onların HPGe-detektorlu qamma spektrometrdə çəkilmiş spektrinin ümumi görünüşü göstərilmişdir.

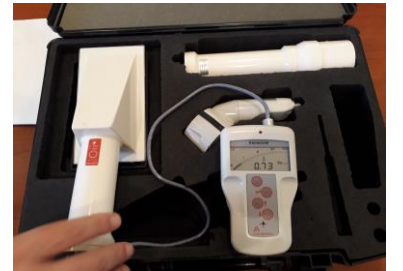
Radiometrik ölçmələr İnSpector-1000 və Radiagem-2000 radiometrləri, İdentiFINDER radiometr identifikatoru ilə aparılmışdır. Torpaq nümunələrinin iki həftəlik qurumasından sonra kütləsinin 1,4-1,5 dəfə azalması müəyyən edilmişdir. 3.1.2 və 3.1.3 sayılı şəkillərdə müvafiq olaraq kalibrləmə üçün etalon şüalanma mənbəyi qismində nöqtəvi ¹³⁷Cs və ⁴⁰KCl duzu doldurulmuş Marinelli qabının və Sumqayıt ərazisindən götürülmüş torpaq nümunəsinin qamma spektrləri göstərilmişdir.



A



B



C



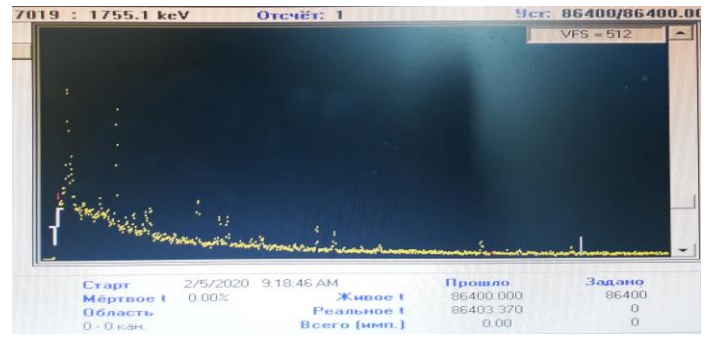
D



E

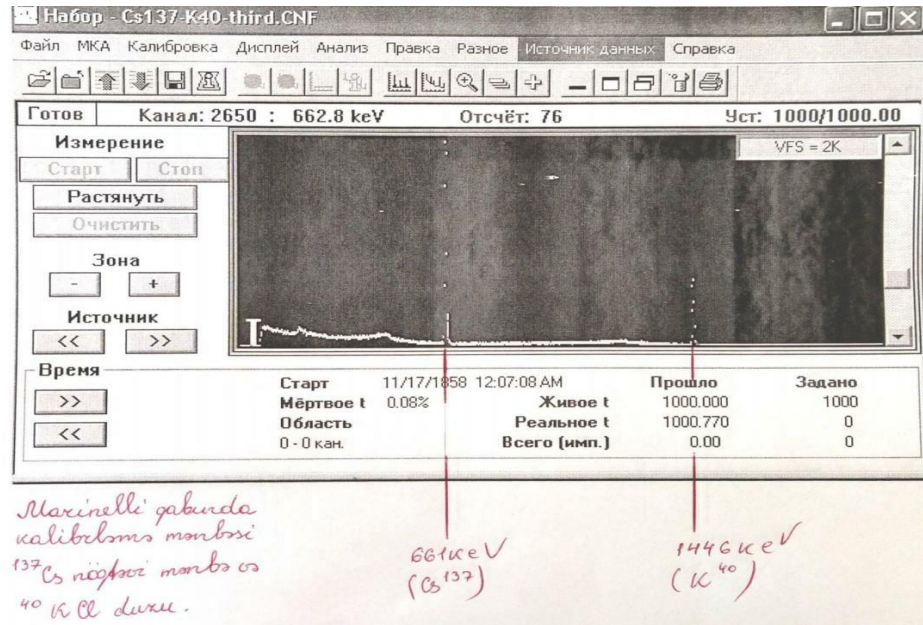


F

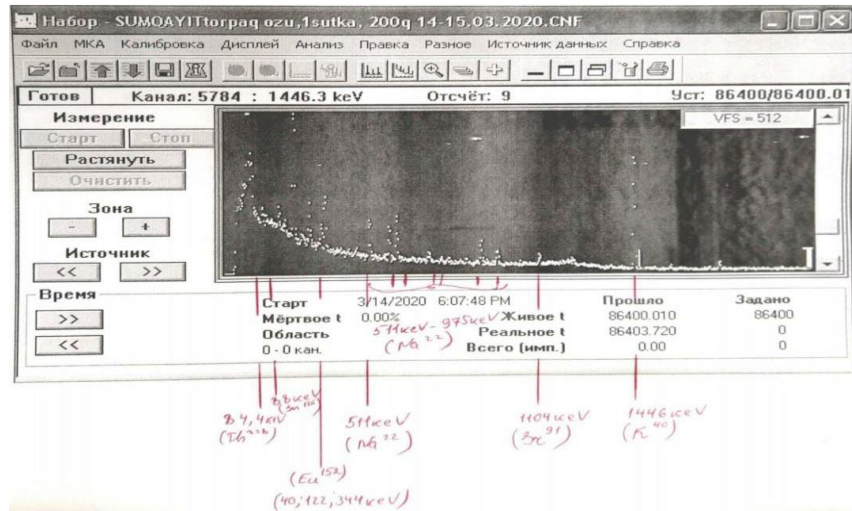


J

Şəkil 3.1.1. Sayğac-dozimetr-radiometrlərin (Thermo Eberline R020 Sİ, PRM-470CG, İnSpector 1000, İdentiFİNDER, GR-135 Plus) və XRF-rentgen spektrometrin (A), HPGe detektorlu qamma-spektrometrin (B), Radiagem 2000 alfa, beta, qamma, neytron şüalanmalar üçün radiometr-sayğacının (C), ИСП-PM1401К-01 İP65 axtarış radiometr-dozimetrinin (D), monitoring “RESA” radiometrinin (E), çirklənmiş torpaqdan ekstraksiya edilib qurudulmuş uranil nitrat duzu /nüvə materialı/ (F) və onun HPGe-Qamma spektrometrində çəkilməmiş spektrinin (J) ümumi görünüşü.



Şəkil 3.1.2. Kalibrləmə üçün etalon şüalanma mənbəyi qismində nöqtəvi ¹³⁷Cs və ⁴⁰KCl duzu doldurulmuş Marinelli qabının qamma spektri.



Şəkil 3.1.3. Sumqayıt ərazisindən götürülmüş torpaq nümunəsinin qamma spektri.

Radiometrik ölçmələr nəticəsində ümumi radioaktiv şüalanmanın udulan doza gücünün ($0.15-3.75 \mu\text{Zv/saat}$) YVH-dən xeyli yüksək olduğu, alfa şüalanma səviyyəsinin $0.03-0.35 \text{ Bq}_{\text{eq}}/\text{sm}^2$ təşkil etdiyi lokal ərazilərin mövcud olduğu da aşkar edilmişdir. Yüksək doza gücü yaradan mənbələrə ölkənin qərb ərazilərindəki hündür dağ massivlərindən süzülüb gələn turşulu radioaktiv radonlu soyuq və termal bulaqlar aşkar edilmiş ərazilər ($0.85-3.75 \mu\text{Zv/saat}$), yeraltı nəqliyyat kommunikasiyalarının (Bakı Metropoliteni stansiyalarının) interyer qranit-mərmər üzlükləri və daş tikinti materiallarında radionuklidlər, bir neçə ölkə əhəmiyyətli (əsasən Bakı şəhərində) memarlıq binalarının giriş pilləkənlərinin və çöl divarlarının boz, qəhvəyi-qırmızı və qara qranit-mərmər örtükləri, xatirə lövhələri, abidələr, obelisklər ($0.15-0.85 \mu\text{Zv/saat}$), sənaye, təhsil və elmi-tədqiqat müəssisələrində, məişətdə istifadə olunan istehsalat və istehlak təyinatlı radioaktiv mənbələr aiddirlər.

Radiokimya istehsalı və tədqiqatı tullantılarının birbaşa kanalizasiya xəttinə atılması məqsəduyğun olmadığından bu tullantıları ayrıca qablara yığaraq müvafiq sanitariya norma və qaydalarının tələblərinə uyğunlaşdırılması məqsədilə tərkiblərindəki bütün radionuklidlər tutulduqdan sonra texnoloji prosesin tullantı suyu kimi qəbul edilə bilər. Təmizləmə prosesində ayrılmış radionuklid tullantıları, həmçinin nəzarətedici orqanlarla razılaşdırılaraq rəsmi istifadədə olmuş və istifadə müddəti keçmiş, aktivliyi azalmış radioaktiv maddələr və nüvə materialları "İzotop" xüsusi kombinatına təhvil verilməlidir.

3.2. Nüvə materialı məhlullarının hazırlanması. Təbii radionuklidlərlə zəngin ərazilərdən götürülmüş torpaq nümunələrinin kimyəvi və qamma spektroskopik analizlər üçün hazırlanması

Ətraf mühit obyektlərindən götürülmüş nümunələrdən radionuklidlərin ayrılması stasionar laboratoriyada dozimetrik və masspektroskopik nəzarət şəraitində ənənəvi analitik-kimyəvi metodlardan, defraqmentasiya, blenderdə məhlul halına gətirmə, bidistillə suyu ilə durulaşdırıb həlletmə, termiki və aqressiv maddələrlə emal, dekantasiya, sedimentasiya, filtrasiya, sentrifuqada çökdürmə, ekstraksiya, buxarlandırma üsullarından istifadə etməklə aparılır.

Bu prosesin böyük həcmli istehsalat tullantıları, xüsusilə xam neftin fiziki emalı mərhələsinin tullantı suları ilə aparılması öyrənilməmişdir. Neftin getdikcə daha dərin plastlardan çıxarıldığını və neftlə çirklənmiş torpaq sahələrində radioaktiv şüalanma fonunun digər sahələrlə müqayisədə nisbi yüksəkliyi bu mövzu üzrə radiokimyəvi tədqiqatların aparılmasına ehtiyac olduğunu göstərir.

Aparılan təcrübələrdə torpaq nümunələrindən radionuklidlərin və ağır metalların ayrılması üçün turşuların və qələvilərin zəif məhlullarından istifadə edilmişdir. Ekstraktların süzülməsi və buxarlanmasından sonra alınmış minerallarda radioaktiv elementlərin ümumi aktivliyinin tədqiq edilən öyrənilmiş ilkin torpaq nümunələrində radionuklidlərin aktivliyi ilə eyni olduğu müəyyən edilmişdir.

Radionuklidlərlə və ya nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpaq nümunələrindən radionuklidlərin və ağır metalların ayrılması məqsədilə tərəfimizdən müxtəlif (torpağın çirklənmə dərəcəsindən asılı olaraq) qatılıqlarda turşu və qələvi məhlulları ilə yeni təmizlənmə üsulu işlənib hazırlanmışdır. Bu üsulun düzgün tətbiqi çirklənmiş torpaqların dezaktivasiyasının səmərəliliyinin və rentabelliyyətinin yüksəldilməsindən başqa, torpağın münbitlik üçün zəruri olan bəzi mineral duzlarla zənginləşdirilməsinə də imkan yaradır.

Radionuklidlərlə çirklənmiş torpaq nümunələrinin ardıcıl olaraq zəif turşu və qələvi məhlulları ilə işlənilməsindən sonra alınmış mineralların qamma spektroskopik

analizlərinə əsasən dezaktivasiya prosesinin effektivliyi haqqında nəticə çıxarılmışdır.

Analizlər üçün istifadə edilən nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş model torpaq nümunələri ölkə rayonları ərazilərindən götürülmüş torpaqların 200 qramlıq hissələrinə aktivliyi öncədən təyin edilmiş uranil nitrat məhlulu əlavə edilməklə hazırlanmışdır.

3.3. Radionuklidlərlə zəngin torpaq nümunələri ekstraktlarının tərkibi, təbii radioizotopların aktivliklərinin təyini. Radionuklidlərin torpaqdan ayrılması proseslərinin tədqiqi

Radiometrik ölçmələrdən sonra torpaqdan ekstraksiya edilərək ayrılmış mineralın tərkibi analitik-kimyəvi tədqiqat üsulları, rentgen-flüoressent, qamma və atom absorpsiya spektroskopiyası, elektron mikroskopiyası ilə öyrənilmişdir.

Torpaq nümunələrinin təhlilinin nəticələri (makroelementlərin və mikroelementlərin konsentrasiyası) 3.3.1 və 3.3.2 sayılı cədvəllərdə göstərilmişdir.

Səhifənin həndəsi ölçüləri nəzərə alınmaqla və asan qavranma məqsədilə 3.3.1 və 3.3.2 sayılı cədvəl sütunlarında regionlar üzrə konsentrasiyası dəyişməyən elementlər göstərilməmişdir və təyin edilmiş yalnız bəzi makro- və mikroelementlər göstərilmişdir.

Cədvəl 3.3.1.

Ölkə rayonlarının torpaq sahələrindən götürülmüş nümunələrin tərkibində komponentlərin konsentrasiyası.

Rayon	Komponentlər, <i>mq/kq</i> *								
	Sulfat	Xlorid	Na; K	Ca, karbonat	Sr	NO ₃ ; NO ₂	Fe; Mn	Zn	As
Kürdəmir	638	208	290; 5900	4070	80	69; 1,8	92; 25	1,8	0,003
Zərdab	655	161	270; 6100	4640	70	72; 1,8	111; 23	1,7	0
Xızı	240	472	210; 5010	4316	52	38; 1,8	55; 9	2,2	0,009
Siyəzən	300	428	208; 5630	4997	47	42; 1,9	51; 10	2,3	0,003
Şabran	690	407	191; 5470	5283	42	72; 1,9	61; 8	2,4	0,002
Quba	780	305	172; 8350	6454	40	125; 2,0	57; 8	2,2	0,002

* – apardığımız bütün təcrübələrin ən kiçik kvadratlar metodu ilə təyin edilmiş xətalrı 5% təşkil edir /bax: səh.66-68/.

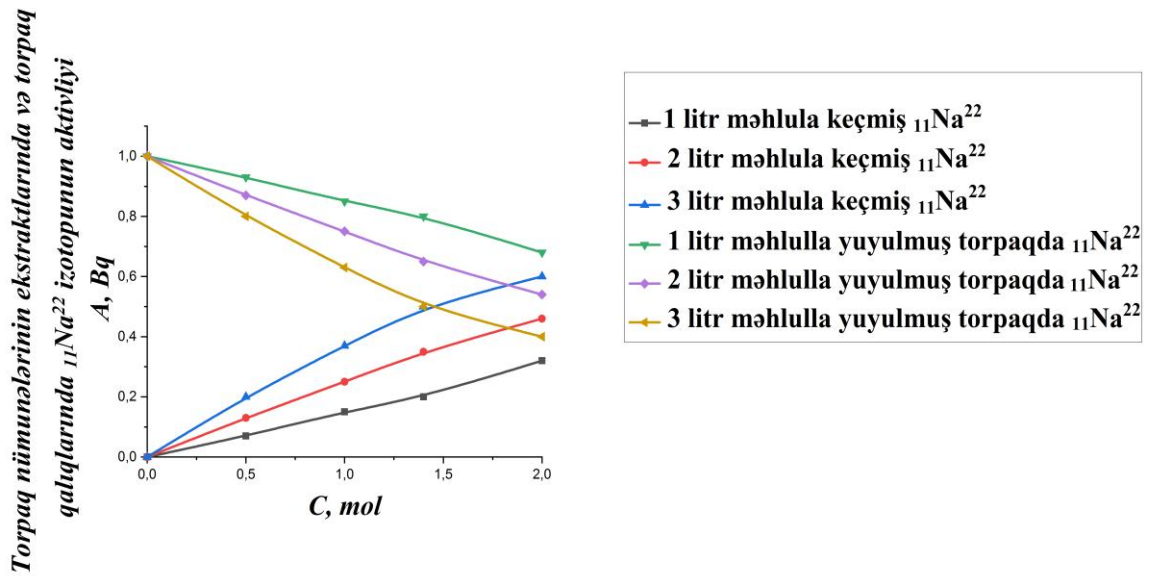
Ölçmələrin nəticələri göstərdi ki, torpaq nümunələrinin ümumi kütləsinin təxminən 30-35%-i (300-350 q/kq) sudan ibarətdir. Qurudulmuş torpaq nümunələrinin tərkibində oksigenin miqdarı 240-260 q/kq, yaş torpaqda bu göstərici təxminən 50% təşkil edir və ya 500 q /kq, karbonun miqdarı 18-20 q/kq, silisiumun miqdarı 310-330 q/kq, alüminiumun miqdarı 62-80 q/kq, yəni nəmişliyin, oksigenin, karbonun, silisiumun, alüminiumun ümumi miqdarı 980 - 990 q /kq təşkil edir (350 + 240 + 18 + 310 + 62 = 980 q. və ya 300 + 260 + 20 + 330 + 80 = 990 q). Torpaq nümunələrində Mg elementinin birləşmələri 80-90 mq/kq konsentrasiyalarda, As, Sn, Cu, Cr, Ti, Zr, Mo, Br, Ba mikroelementlərinin konsentrasiyası 1 mq/kq-dan aşağı müşahidə olunur. 3.3.1 sayılı cədvəldən görüldüyü kimi torpağın münbitliyini təyin edən mikroelementlərin ümumi miqdarı cəmi 10-20 q/kq təşkil edir və ölkə rayonları üzrə ümumi radioaktiv şüalanmanın ölçülməsi, radioaktiv şüalanma növlərinin qiymətləndirilməsi və radionuklidlərin torpaqda yayılmasının öyrənilməsinin nəticələri verilmişdir [156, s.37; 148, s.132; 149, s.77; 18, s.14]. Ölkə rayonlarında oxşar yaşıl örtüklü aran sahələrindən və otlaplardan götürülmüş torpaq nümunələrində radiometrik ölçmələrin nəticələri və radionuklidlərin aktivliyi 3.3.2 sayılı cədvəldə göstərilmişdir.

Cədvəl 3.3.2.

Radiometrik ölçmələrin nəticələri və ölkə rayonlarında yaşıl düzənliklərdə və otlaplardan götürülmüş torpaq nümunələrində radionuklidlərin aktivliyi.

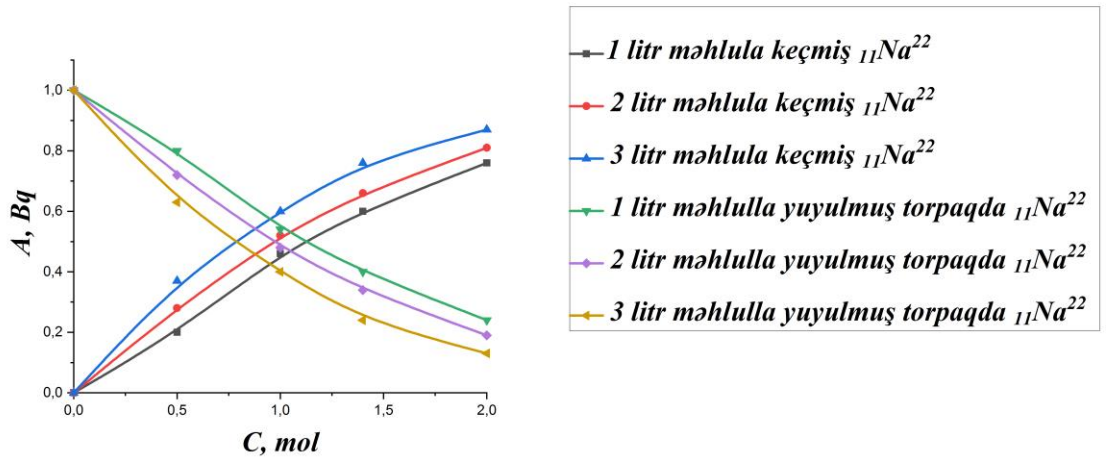
Rayonlar, (fon, μZv / saat; alfa şüalanma, Bq_{eq} / sm^2)	Izotoplar, Bq / kq								
	$^{22}_{11}Na$	$^{40}_{19}K$	$^{60}_{26}Fe$	$^{57}_{27}Co$, $^{60}_{27}Co$	$^{65}_{30}Zn$	$^{91}_{38}Sr$	$^{113}_{50}Sn$, $^{126}_{50}Sn$	$^{226}_{88}Ra$	$^{228}_{90}Th$
Kürdəmir (0,05; 0)	1,8	2,0	0,88	0,76	0,13	0,38	0,12; 0,15	0,67	0,05
Zərdab (0,04; 0)	2,0	2,0	0,88	0,73	0,13	0,30	0,12; 0,15	0,60	0,04
Xızı (0,04; 0)	1,5	2,0	0,97	0,70	0,16	0,68	0,18; 0,30	0,88	0,07
Siyəzən (0,04; 0)	1,5	2,2	0,82	0,72	0,16	0,68	0,14; 0,30	0,70	0,05
Şabran (0,04; 0)	1,6	2,2	0,82	0,72	0,16	0,68	0,14; 0,30	0,68	0,05
Quba (0,07; 0)	1,5	2,2	0,82	0,77	0,16	0,24	0,13; 0,23	0,72	0,05

Nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpaqların zəif turşu qarışıqları və qələvi məhlulları ilə dezaktivasiyasının mümkünlüyünün və effektivliyinin yoxlanılması məqsədilə ölkənin ixtiyari üç rayonu (Şabran, Sumqayıt, Ağstafa) ərazilərində götürülmüş torpaq nümunələrində mövcud təbii radionuklidlərin miqdarı (aktivliyi) təyin edildi və qeyd edilən reaktivlərlə ekstraksiya prosesləri aparıldı [149, 76-83; 148, s.130-138, 156, s.34-40]. 3.3.1-3.3.21 sayılı şəkillərdən görüldüyü kimi Şabran, Sumqayıt və Ağstafa rayonları ərazisindən götürülmüş çəkili 200 qram olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda nitrat turşusunun və ya natrium qələvisinin 1, 2 və 3 litr distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonrakı torpaq qalıqlarında ^{22}Na , $^{91}\text{Sr}_{38}$ radioizotoplarının aktivliyi təqribən eyni dərəcədə (2 - 10 dəfə), ^{40}K radioizotopunun aktivliyi təqribən 1.2 dəfə zəifləyir, müxtəlif miqdarlarda nitrat və xlorid turşusu qarışığının 1, 2 və 3 litr distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonrakı torpaq qalıqlarında ^{22}Na , $^{91}\text{Sr}_{38}$ radioizotoplarının aktivliyi isə onlardan əhəmiyyətli dərəcədə artıq (2 - 20 dəfə), ^{40}K radioizotopunun aktivliyi isə 1.5 dəfə zəifləyir.



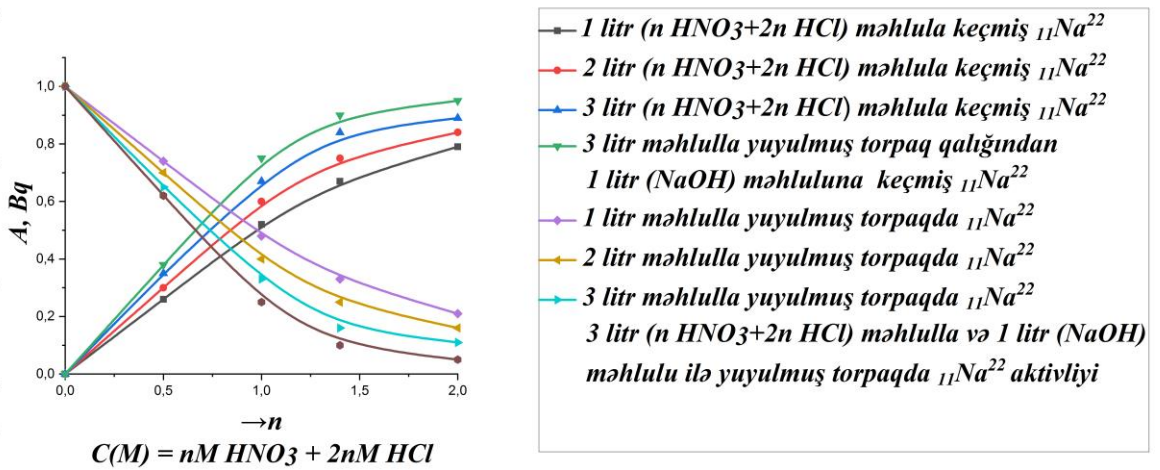
Şəkil 3.3.1. Şabran şəhəri ərazisindən götürülmüş çəkili 200 qram olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda nitrat turşusunun 1, 2 və 3 litr distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra ayrılmış ekstraktlarda və torpaq qalıqlarında $^{22}\text{Na}_{11}$ radioizotopunun aktivliyi.

Torpaq nümunələrinin ekstraktlarında və torpaq qalıqlarında $^{22}\text{Na}_{11}$ izotopunun aktivliyi

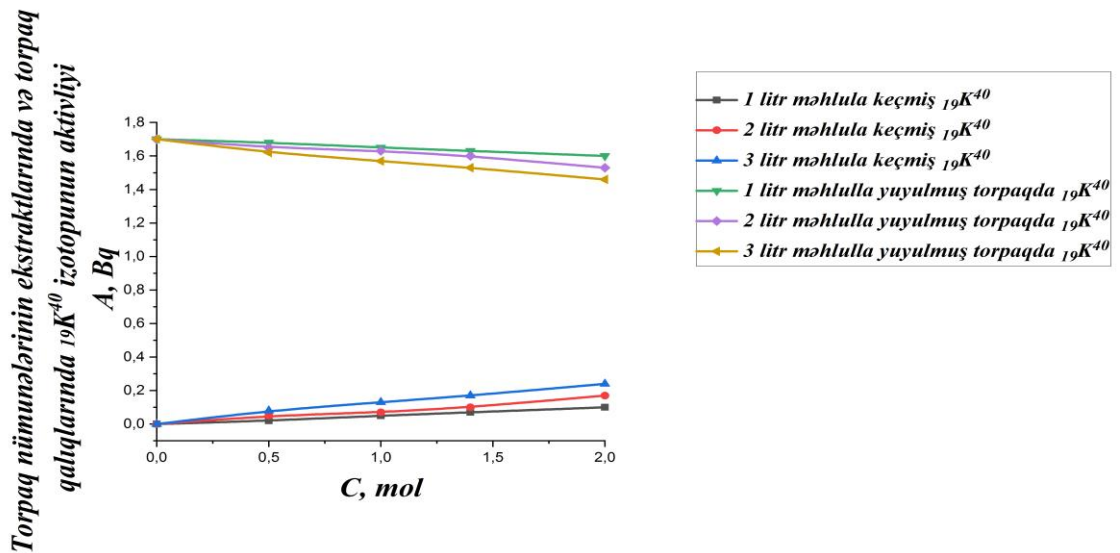


Şəkil 3.3.2. Şabran şəhəri ərazisindən götürülmüş çəkiləri 200 qram olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda natrium qələvisinin 1, 2 və 3 l. distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra ayrılmış ekstraktlarda və torpaq qalıqlarında $^{22}\text{Na}_{11}$ radioizotopunun aktivliyi.

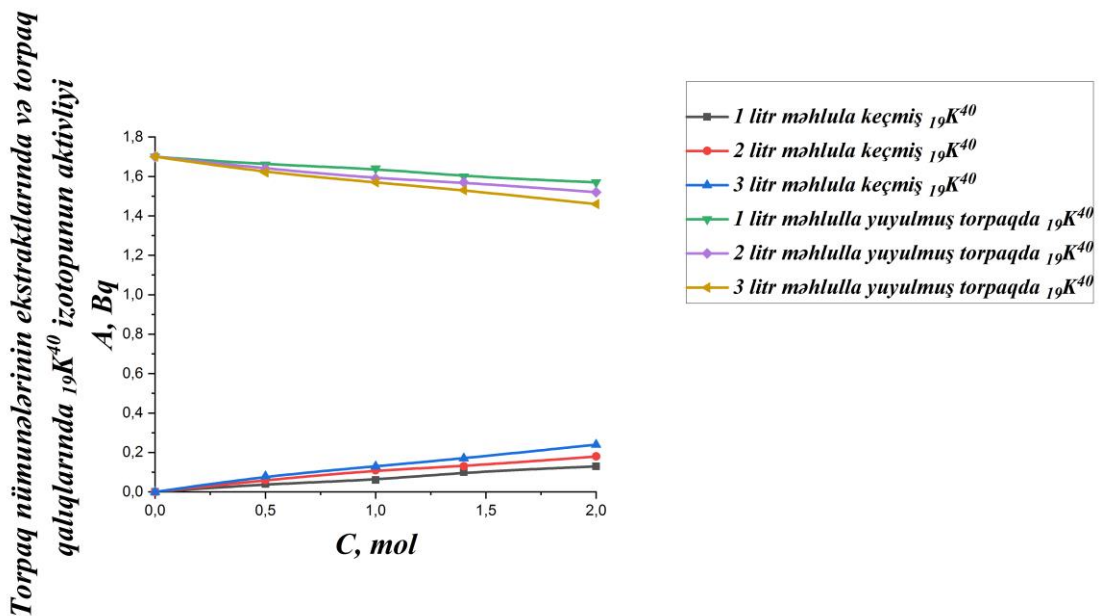
Torpaq nümunələrinin ekstraktlarında və torpaq qalıqlarında $^{22}\text{Na}_{11}$ izotopunun aktivliyi



Şəkil 3.3.3. Şabran şəhəri ərazisindən götürülmüş çəkiləri 200 qram olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda nitrat və xlorid turşusu qarışığının 1, 2 və 3 litr distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra ayrılmış ekstraktlarda və torpaq qalıqlarında $^{22}\text{Na}_{11}$ radioizotopunun aktivliyi.

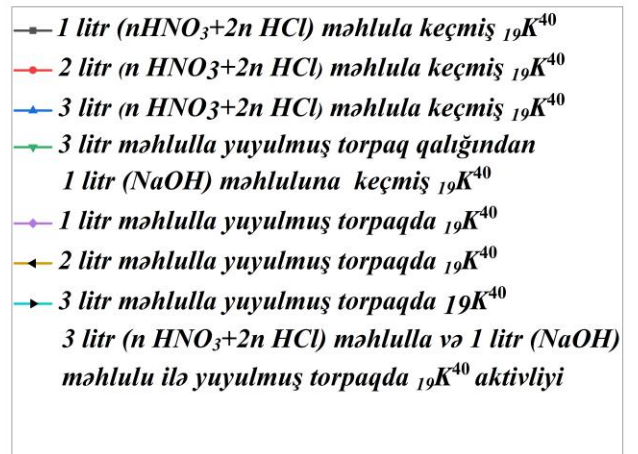
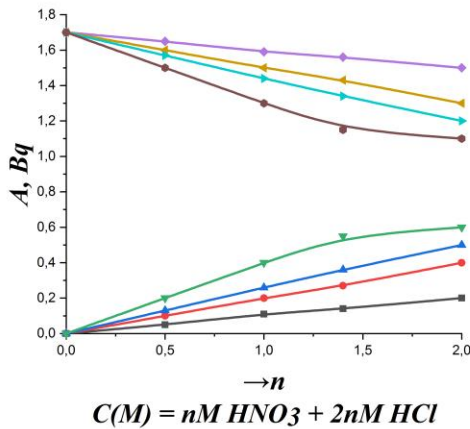


Şəkil 3.3.4. Şabran şəhəri ərazisindən götürülmüş çəkiləri 200 qram olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda nitrat turşusunun 1, 2 və 3 litr distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra ayrılmış ekstraktlarda və torpaq qalıqlarında $^{40}\text{K}_{19}$ radioizotopunun aktivliyi.



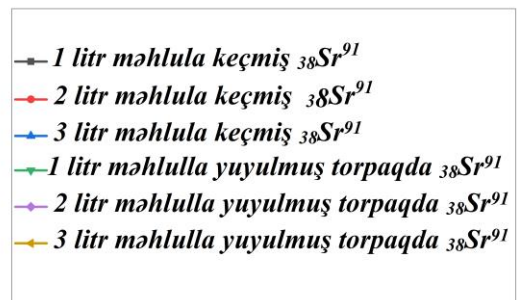
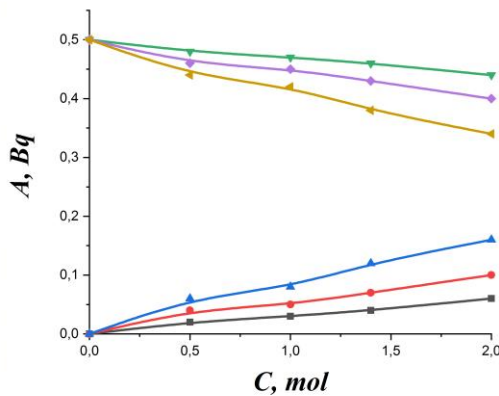
Şəkil 3.3.5. Şabran şəhəri ərazisindən götürülmüş çəkiləri 200 qram olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda natrium qələvisinin 1, 2 və 3 l. distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra ayrılmış ekstraktlarda və torpaq qalıqlarında $^{40}\text{K}_{19}$ radioizotopunun aktivliyi.

Torpaq nümunələrinin ekstraktlarında və torpaq qalıqlarında $^{19}\text{K}^{40}$ izotopunun aktivliyi



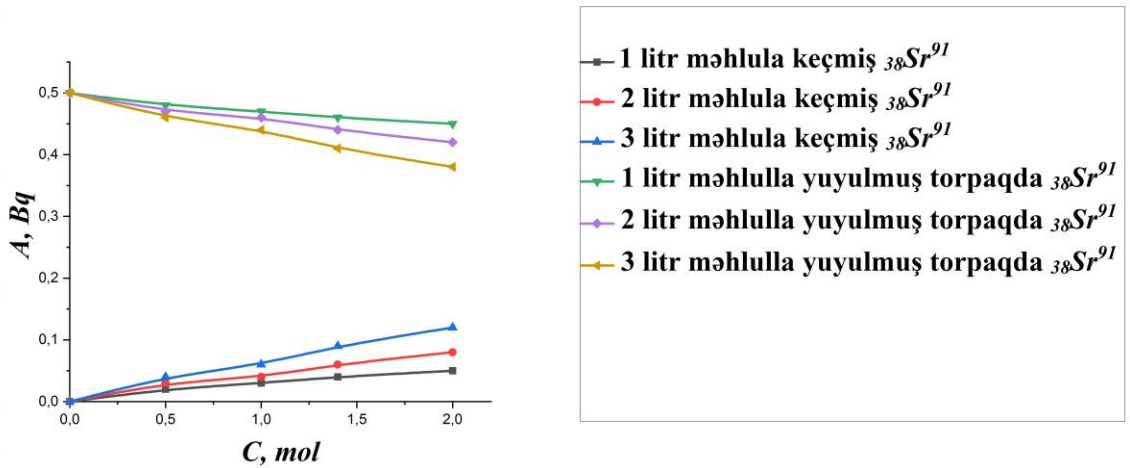
Şəkil 3.3.6. Şabran şəhəri ərazisindən götürülmüş çəkiləri 200 qram olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda nitrat və xlorid turşusu qarışığının 1, 2 və 3 litr distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra ayrılmış ekstraktlarda və torpaq qalıqlarında $^{40}\text{K}_{19}$ radioizotopunun aktivliyi.

Torpaq nümunələrinin ekstraktlarında və torpaq qalıqlarında $^{38}\text{Sr}^{91}$ izotopunun aktivliyi



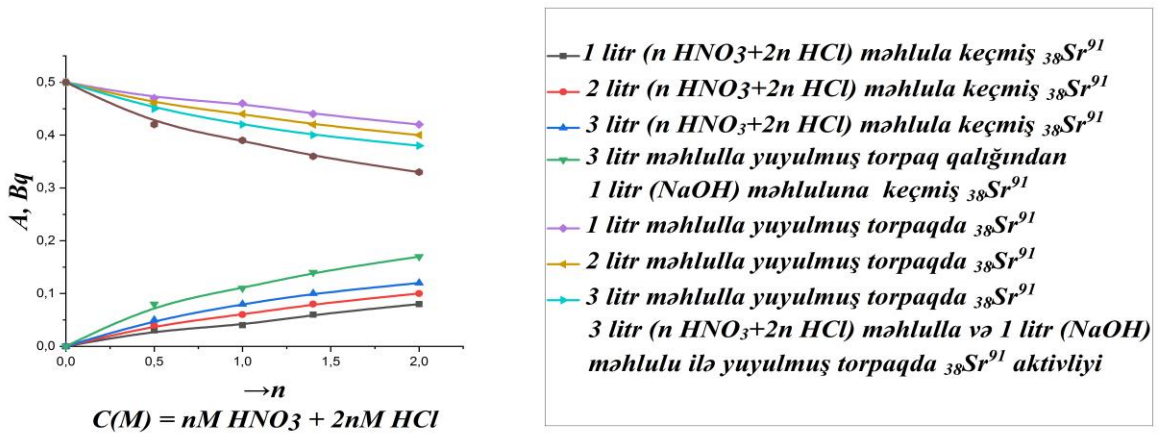
Şəkil 3.3.7. Şabran şəhəri ərazisindən götürülmüş çəkiləri 200 qram olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda nitrat turşusunun 1, 2 və 3 litr distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra ayrılmış ekstraktlarda və torpaq qalıqlarında $^{91}\text{Sr}_{38}$ radioizotopunun aktivliyi.

Torpaq nümunələrinin ekstraktlarında və torpaq qalıqlarında $^{91}\text{Sr}_{38}$ izotopunun aktivliyi



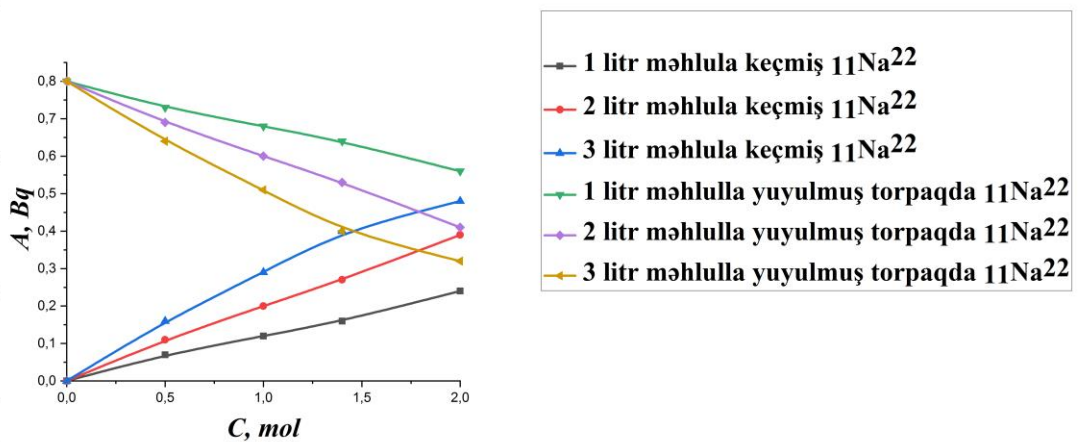
Şəkil 3.3.8. Şabran şəhəri ərazisindən götürülmüş çəkiləri 200 qram olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda natrium qələvisinin 1, 2 və 3 l. distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra ayrılmış ekstraktlarda və torpaq qalıqlarında $^{91}\text{Sr}_{38}$ radioizotopunun aktivliyi.

Torpaq nümunələrinin ekstraktlarında və torpaq qalıqlarında $^{91}\text{Sr}_{38}$ izotopunun aktivliyi



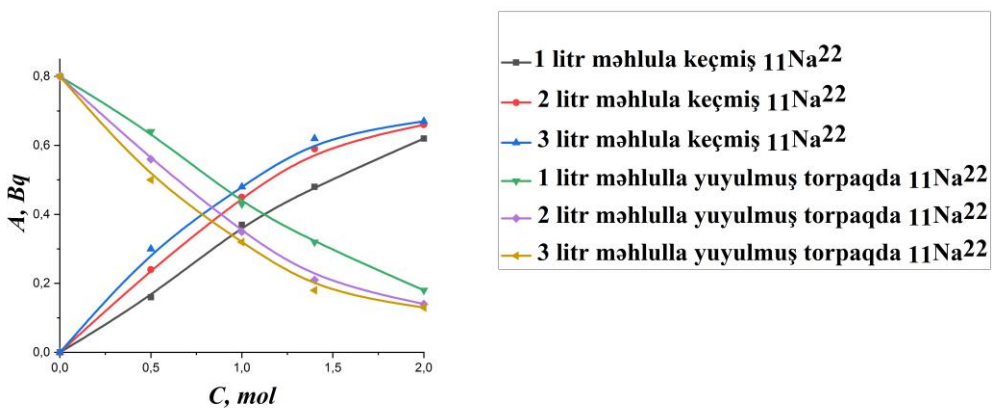
Şəkil 3.3.9. Şabran şəhəri ərazisindən götürülmüş çəkiləri 200 qram olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda nitrat və xlorid turşusu qarışığının 1, 2 və 3 litr distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra ayrılmış ekstraktlarda və torpaq qalıqlarında $^{91}\text{Sr}_{38}$ radioizotopunun aktivliyi.

Torpaq nümunələrinin ekstraktlarında və torpaq qalıqlarında $^{11}\text{Na}^{22}$ izotopunun aktivliyi

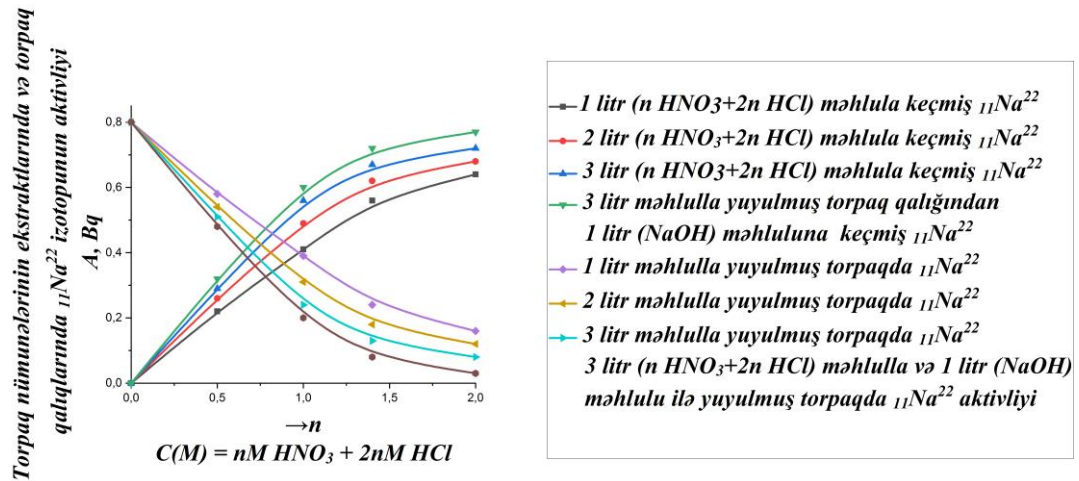


Şəkil 3.3.10. Sumqayıt və Ağstafa şəhərləri ərazilərindən götürülmüş çəkiləri 200 q. olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda nitrat turşusunun 1, 2 və 3 litr distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra ayrılmış ekstraktlarda və torpaq qalıqlarında $^{22}\text{Na}_{11}$ radioizotopunun aktivliyi (hər iki şəhər ərazisinin torpaqlarında $^{22}\text{Na}_{11}$ radioizotopunun aktivliyi eyni qiymətə malikdir /0.8 Bq/).

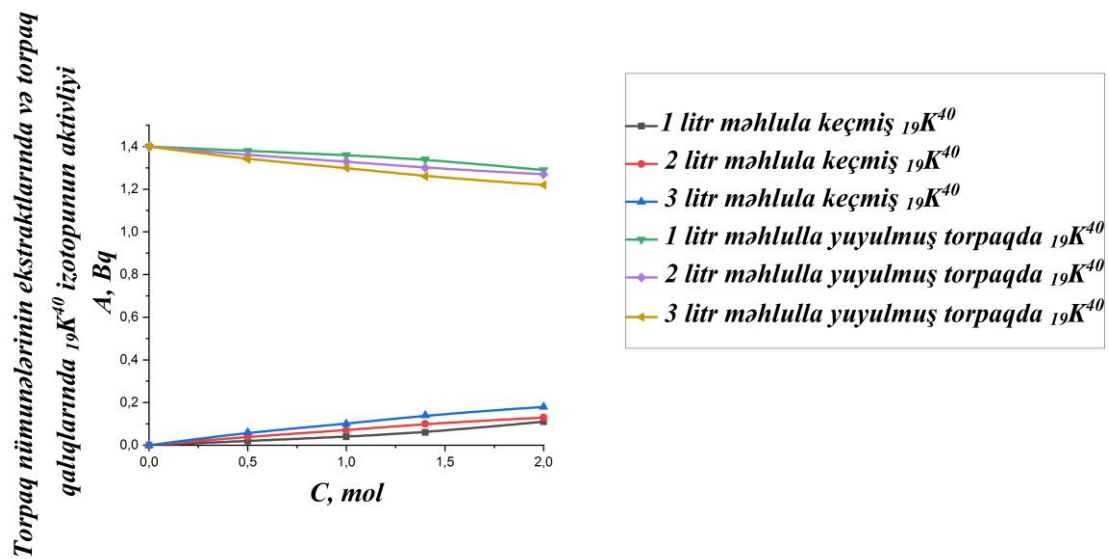
Torpaq nümunələrinin ekstraktlarında və torpaq qalıqlarında $^{11}\text{Na}^{22}$ izotopunun aktivliyi



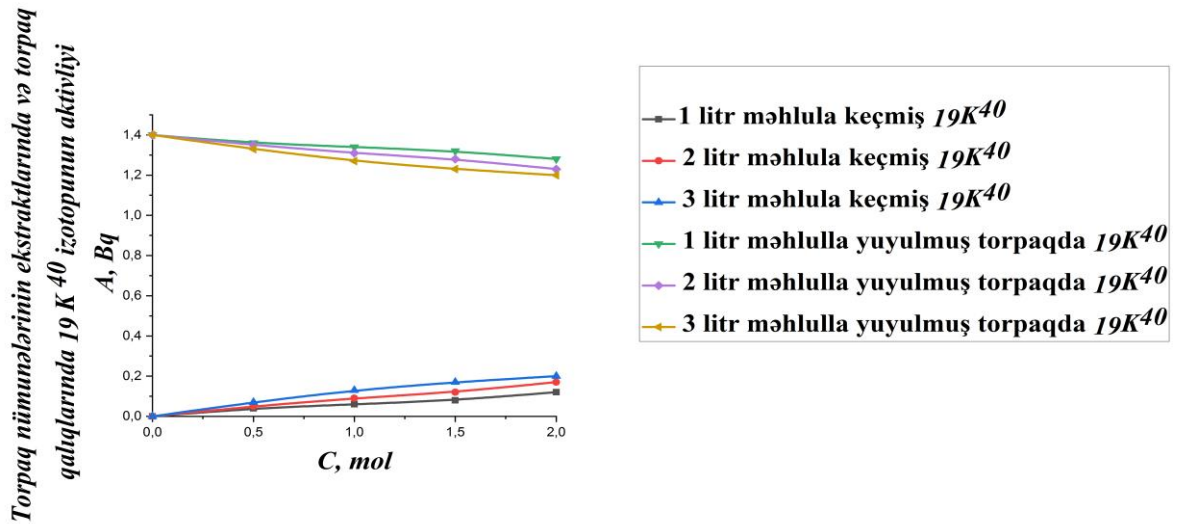
Şəkil 3.3.11. Sumqayıt və Ağstafa şəhərləri ərazilərindən götürülmüş çəkiləri 200 q. olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda natrium qələvisinin 1, 2 və 3 litr distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra ayrılmış ekstraktlarda və torpaq qalıqlarında $^{22}\text{Na}_{11}$ radioizotopunun aktivliyi (hər iki şəhər ərazisinin torpaqlarında $^{22}\text{Na}_{11}$ radioizotopunun aktivliyi eyni qiymətə malikdir /0.8 Bq/).



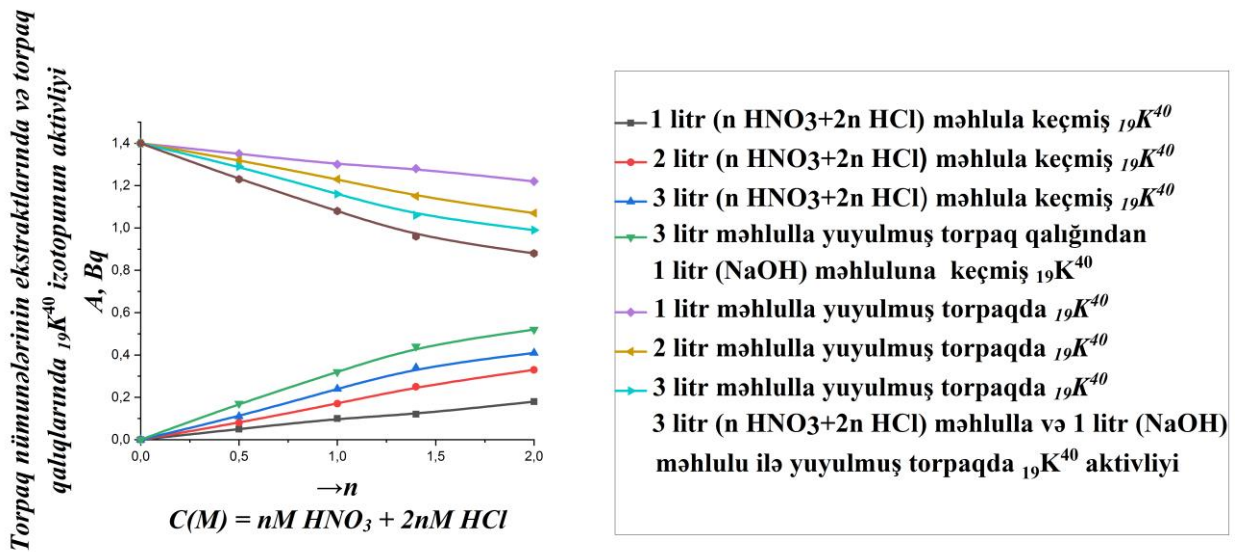
Şəkil 3.3.12. Sumqayıt və Ağstafa şəhərləri ərazilərindən götürülmüş çəkiləri 200 q. olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda nitrat və xlorid turşusu qarışığının 1, 2 və 3 litr distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra ayrılmış ekstraktlarda və torpaq qalıqlarında $^{22}\text{Na}_{11}$ radioizotopunun aktivliyi (hər iki şəhər ərazisinin torpaqlarında $^{22}\text{Na}_{11}$ radioizotopunun aktivliyi eyni qiymətə malikdir /0.8 Bq/).



Şəkil 3.3.13. Sumqayıt və Ağstafa şəhərləri ərazilərindən götürülmüş çəkiləri 200 q. olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda nitrat turşusunun 1, 2 və 3 litr distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra ayrılmış ekstraktlarda və torpaq qalıqlarında $^{40}\text{K}_{19}$ radioizotopunun aktivliyi (hər iki şəhər ərazisinin torpaqlarında $^{40}\text{K}_{19}$ radioizotopunun aktivliyi eyni qiymətə malikdir /1.4 Bq/).

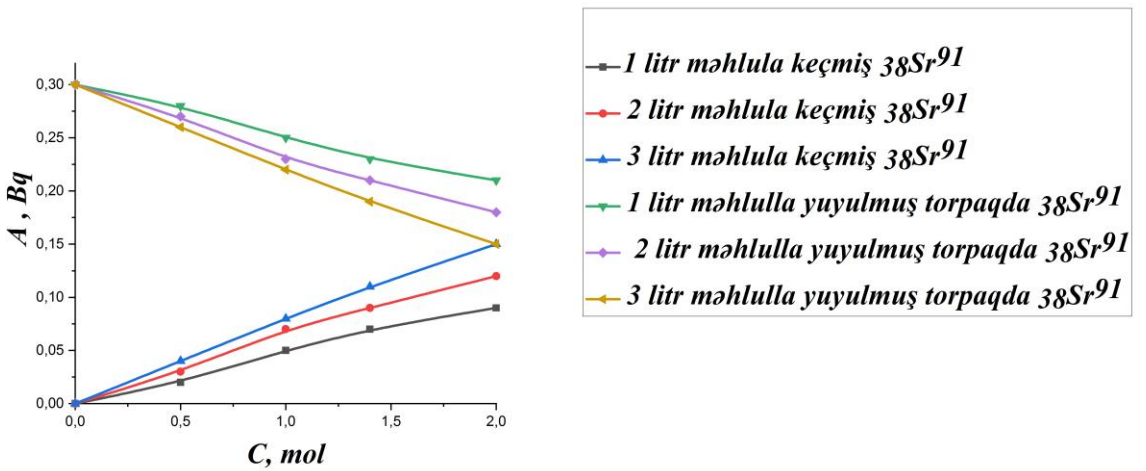


Şəkil 3.3.14. Sumqayıt və Ağstafa şəhərləri ərazilərindən götürülmüş çəkili 200 q. olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda natrium qələvisinin 1, 2 və 3 litr distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra ayrılmış ekstraktlarda və torpaq qalıqlarında $^{40}\text{K}_{19}$ radioizotopunun aktivliyi (hər iki şəhər ərazisinin torpaqlarında $^{40}\text{K}_{19}$ radioizotopunun aktivliyi eyni qiymətə malikdir /1.4 Bq/).



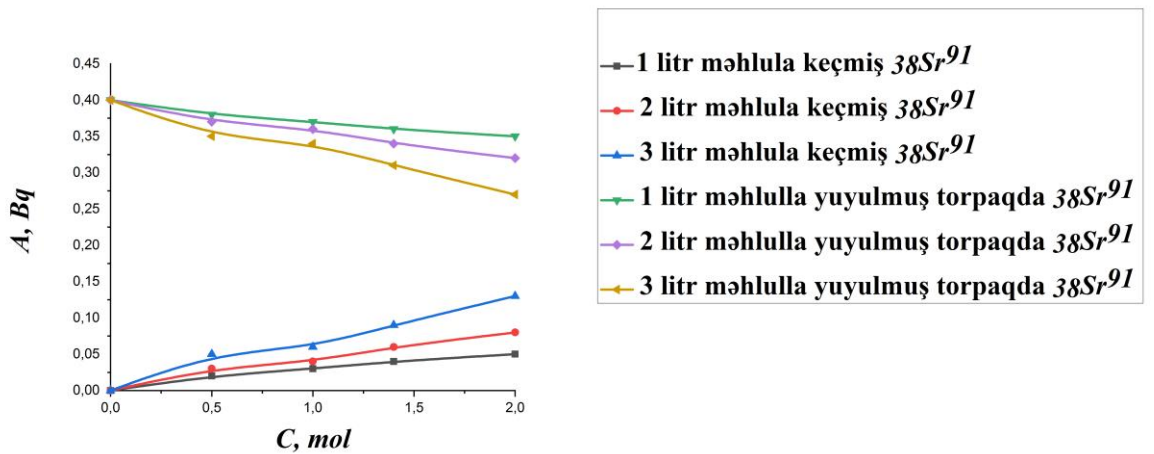
Şəkil 3.3.15. Sumqayıt və Ağstafa şəhərləri ərazilərindən götürülmüş çəkili 200 q. olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda nitrat və xlorid turşusu qarışığının 1, 2 və 3 litr distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra ayrılmış ekstraktlarda və torpaq qalıqlarında $^{40}\text{K}_{19}$ radioizotopunun aktivliyi (hər iki şəhər ərazisinin torpaqlarında $^{40}\text{K}_{19}$ radioizotopunun aktivliyi eyni qiymətə malikdir /1.4 Bq/).

Torpaq nümunələrinin ekstraktlarında və torpaq qalıqlarında ^{91}Sr izotopunun aktivliyi



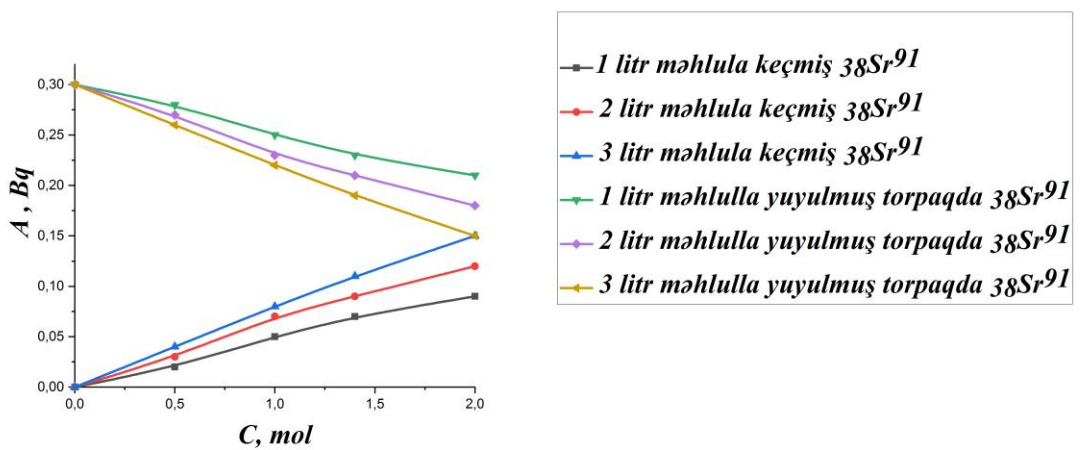
Şəkil 3.3.16. Sumqayıt şəhəri ərazisindən götürülmüş çəkili 200 qram olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda nitrat turşusunun 1, 2 və 3 litr distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra ayrılmış ekstraktlarda və orpaq qalıqlarında ^{91}Sr radioizotopunun aktivliyi.

Torpaq nümunələrinin ekstraktlarında və torpaq qalıqlarında ^{91}Sr izotopunun aktivliyi



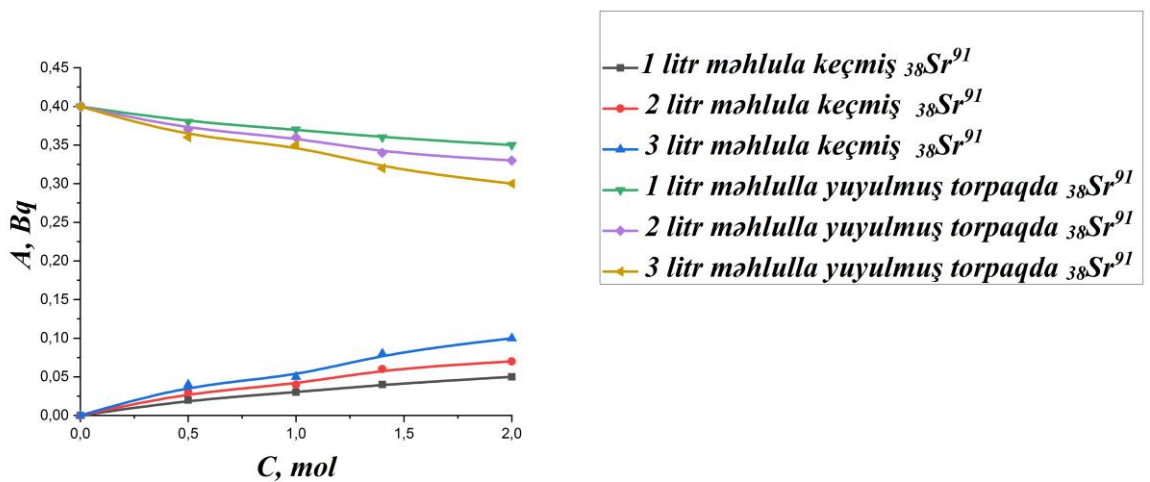
Şəkil 3.3.17. Ağstafa şəhəri ərazisindən götürülmüş çəkili 200 qram olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda nitrat turşusunun 1, 2 və 3 litr distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra ayrılmış ekstraktlarda və torpaq qalıqlarında ^{91}Sr radioizotopunun aktivliyi.

Torpaq nümunələrinin ekstraktlarında və torpaq qalıqlarında $^{38}\text{Sr}^{91}$ izotopunun aktivliyi



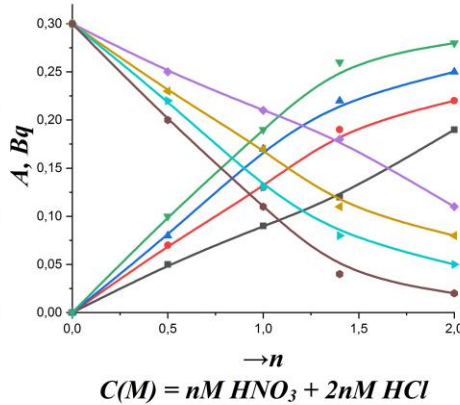
Şəkil 3.3.18. Sumqayıt şəhəri ərazisindən götürülmüş çəkiləri 200 qram olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda natrium qələvisinin 1, 2 və 3 l. distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra ayrılmış ekstraktlarda və torpaq qalıqlarında $^{91}\text{Sr}_{38}$ radioizotopunun aktivliyi.

Torpaq nümunələrinə ekstraktlarında və torpaq qalıqlarında $^{38}\text{Sr}^{91}$ izotopunun aktivliyi



Şəkil 3.3.19. Ağstafa şəhəri ərazisindən götürülmüş çəkiləri 200 qram olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda natrium qələvisinin 1, 2 və 3 l. distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra ayrılmış ekstraktlarda və torpaq qalıqlarında $^{91}\text{Sr}_{38}$ radioizotopunun aktivliyi.

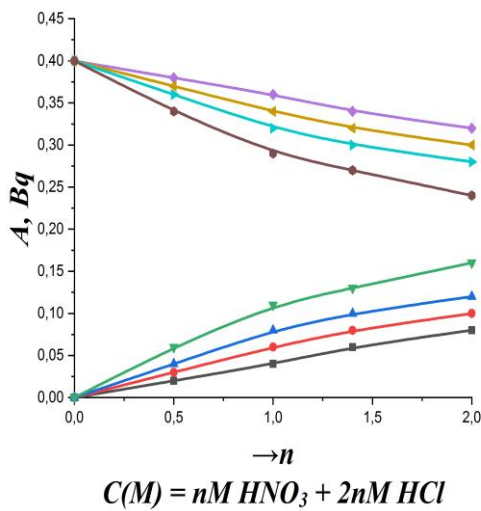
Torpaq nümunələrinin ekstraktlarında və torpaq qalıqlarında $^{91}\text{Sr}_{38}$ izotopunun aktivliyi



- 1 litr ($n \text{ HNO}_3 + 2n \text{ HCl}$) məhlulə keçmiş $^{91}\text{Sr}_{38}$
- 2 litr ($n \text{ HNO}_3 + 2n \text{ HCl}$) məhlulə keçmiş $^{91}\text{Sr}_{38}$
- 3 litr ($n \text{ HNO}_3 + 2n \text{ HCl}$) məhlulə keçmiş $^{91}\text{Sr}_{38}$
- 3 litr məhlulə yuyulmuş torpaq qalığından 1 litr (NaOH) məhlulünə keçmiş $^{91}\text{Sr}_{38}$
- 1 litr məhlulə yuyulmuş torpaqda $^{91}\text{Sr}_{38}$
- 2 litr məhlulə yuyulmuş torpaqda $^{91}\text{Sr}_{38}$
- 3 litr məhlulə yuyulmuş torpaqda $^{91}\text{Sr}_{38}$
- 3 litr ($n \text{ HNO}_3 + 2n \text{ HCl}$) məhlulə və 1 litr (NaOH) məhlulü ilə yuyulmuş torpaqda $^{91}\text{Sr}_{38}$ aktivliyi

Şəkil 3.3.20. Sumqayıt şəhəri ərazisindən götürülmüş çəkiləri 200 qram olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda nitrat və xlorid turşusu qarışığının 1, 2 və 3 litr distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra ayrılmış ekstraktlarda və torpaq qalıqlarında $^{91}\text{Sr}_{38}$ radioizotopunun aktivliyi.

Torpaq nümunələrinin ekstraktlarında və torpaq qalıqlarında $^{91}\text{Sr}_{38}$ izotopunun aktivliyi



- 1 litr ($n \text{ HNO}_3 + 2n \text{ HCl}$) məhlulə keçmiş $^{91}\text{Sr}_{38}$
- 2 litr ($n \text{ HNO}_3 + 2n \text{ HCl}$) məhlulə keçmiş $^{91}\text{Sr}_{38}$
- 3 litr ($n \text{ HNO}_3 + 2n \text{ HCl}$) məhlulə keçmiş $^{91}\text{Sr}_{38}$
- 3 litr məhlulə yuyulmuş torpaq qalığından 1 litr (NaOH) məhlulünə keçmiş $^{91}\text{Sr}_{38}$
- 1 litr məhlulə yuyulmuş torpaqda $^{91}\text{Sr}_{38}$
- 2 litr məhlulə yuyulmuş torpaqda $^{91}\text{Sr}_{38}$
- 3 litr məhlulə yuyulmuş torpaqda $^{91}\text{Sr}_{38}$
- 3 litr ($n \text{ HNO}_3 + 2n \text{ HCl}$) məhlulə və 1 litr (NaOH) məhlulü ilə yuyulmuş torpaqda $^{91}\text{Sr}_{38}$ aktivliyi

Şəkil 3.3.21. Ağstafa şəhəri ərazisindən götürülmüş çəkiləri 200 qram olan torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda nitrat və xlorid turşusu qarışığının 1, 2 və 3 litr distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra ayrılmış ekstraktlarda və torpaq qalıqlarında $^{91}\text{Sr}_{38}$ radioizotopunun aktivliyi.

3.3.1-3.3.21 sayılı şəkillərdən görüldüyü kimi, həm turş və həm də qələvi mühitdə torpaq nümunələrindən ^{40}K radioizotopunun ayrılması sürəti həmin torpaq nümunələrindən ^{22}Na , ^{91}Sr radioizotoplarının ayrılması sürətindən əhəmiyyətli dərəcədə kiçikdir. Bütün hallarda torpaq nümunələrindən radionuklidlərin nitrat və xlorid turşuları qarışığı ilə ekstraksiyası daha böyük sürətli ekstraksiya (dezaktivasiya) prosesi kimi fərqlənir.

Beləliklə, aşkar edilmiş kifayət qədər böyük dezaktivasiya əmsalları, yəni torpaq nümunələrində izotopların aktivliklərinin (2 - 20 dəfə) kiçilməsi istifadə edilmiş reaktivlərlə nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpaqların dezaktivasiyası mümkünlüyünü göstərir.

3.4. Nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpaq ekstraktlarından (nüvə materialı məhlullarından) radioizotopların adsorbentlərdə udulmasının tədqiqi

Müasir istehsalat müəssisələrindən böyük su hövzələrinə atılan tullantı sularının kimyəvi, fiziki-kimyəvi və bakterioloji göstəricilərinin müvafiq sanitariya normativlərinin göstəricilərinə uyğunlaşdırılması, zərərli məişət və istehsalat tullantılarının yaşayış məntəqələrindən kənardakı poliqonlara xaotik atılmasının dayandırılması, texnoloji proseslərlə ayrılması və utilizasiyası tələb olunur. Bakı şəhərinin bütün məişət tullantılarını qəbul edib zərəsizləşdirən Balaxanı zibil utilizasiya zavodu və daha əvvəllər istifadəyə verilmiş Hövsan tullantı suları təmizləyici kompleksi müasir tikinti və texnoloji standartların tələblərinə uyğun inşa edilərək istifadəyə verilmiş, hal-hazırda da müvəffəqiyyətlə fəaliyyət göstərirlər. Böyük su hövzələrinə atılan tullantı sularının kimyəvi, fiziki-kimyəvi və bakterioloji göstəricilərinin müvafiq sanitariya normativlərinin göstəricilərinə uyğunlaşdırılması ilə yanaşı zərərli məişət və istehsalat tullantılarının yaşayış məntəqələrindən kənardakı poliqonlara xaotik atılmasının dayandırılması, texnoloji proseslərlə ayrılması və utilizasiyası müasir texnologiyalarla irəli sürülən əsas tələblərdəndir.

Ətraf mühit obyektlərindən götürülmüş nümunələrin əksəriyyətində kiçik miqdarlarda təbii radioaktiv elementlər müşahidə olunduğundan insanların təbii müdafiə

sistemində patoloji dəyişikliklərin baş verməməsi üçün digər radioaktiv izotopların hətta ən kiçik miqdarlarının insanların təmasda olduqları obyektlərə və ya insan orqanizminə düşməsinin qarşısı qətiyyətlə alınmalıdır. Bu məqsədlə radioaktiv mənbələrdən istifadə edilən istehsalat müəssisələrində, neftayırma zavodlarında mütəmadi olaraq radioaktiv şüalanma fonunun monitorinqləri aparılmalı və mövcud tullantılarda radionuklidlərin miqdarına ciddi nəzarət edilməlidir [162, s.336-341; 154, s.62-69; 150, s.253-257; 144, s.1-5; 145, s.55-58; 146, s.376].

Tərkiblərində radioaktiv izotoplar olan radiokimyə istehsalı və tədqiqatı tullantılarının birbaşa kanalizasiya xəttinə atılması məqsədəuyğun sayılmadığından bu qəbildən olan tullantıların tərkiblərinin mütləq müvafiq sanitariya norma və qaydaların tələblərinə uyğunlaşdırılması zəruridir və tərkibində radionuklidlər tutulub yığılmış qatı istehsalat tullantısı kütləsi isə ayrıca qablara yığılmalıdır.

Ayrılmış radioaktiv maddələr isə nüvə materialları və radioaktiv maddələrin saxlanması üçün inşa edilmiş FHN-nin “İzotop” xüsusi kombinatına təhvil verilməlidir.

Radiasiya təhlükəsizliyinin təmin edilməsi üçün radioizotopların torpaq nümunələrindən və torpağın ekstraksiya edilməsi ilə alınmış sulu məhlullardan ayrılması üsullarının işlənilib hazırlanması radiokimyəvi tədqiqatların aktual mövzularındandır və bu cür üsulların öyrənilməsinə ehtiyac vardır. Bu məqsədlə aparılan təcrübələrdə model sistem qismində uran izotopları ilə çirklənmiş torpaqların sulu ekstraktlarından, su təmizlənməsi texnologiyasında istifadə edilən adsorbentlərdən (dənəvər aktivləşdirilmiş kömürdən, antrasitdən, çinqilli qum kütləsindən, DOWEX HCR-S/S kationitindən) və böyük həcmli ehtiyatlara malik yerli xammaldan (kərpic istehsalı zavodlarının tullantısı olan keramzit) istifadə edilmişdir.

Təcrübələrdə nüvə materialı qismində nüvə reaktorlarında geniş istifadə edilən uranil nitrat ($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$) duzu nümunələrindən (İCGS - Əmtəə və Xidmətlərin Beynəlxalq Sinifləşdirilməsinin 1-ci qrup əmtəə kateqoriyasına aid edilmiş “uranium nitrate”) istifadə edilmişdir. Uranil nitrat duzunun tərkibində hansı izotopların (^{238}U , ^{235}U , $^{234,236,237}\text{U}$) və hansı qatılıqda olması HPGe detektorlu qamma spektrometridə aparılmış analizlərlə təyin edilmişdir.

Ölkə rayonlarında keçirilmiş radiomonitorinqlər zamanı götürülmüş torpaq

nümunələri çəkili 200 qram olmaqla hissələrə bölünmüşdür. Bu torpaq nümunələrindən nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş model torpaq nümunələri alınması məqsədilə onların uranil nitrat məhlulu ilə qarışdırılması, nüvə tullantıları ilə çirklənmiş torpaq nümunələrinin təmizlənməsi məqsədilə isə nitrat turşusu, xlorid turşusu, natrium hidrokسيد məhlulları və distillə suyu ilə ekstraksiyası aparılır.

Müxtəlif adsorbentlərdə uran izotoplarının adsorbsiyası qanunauyğunluqlarının öyrənilməsi üçün aparılmış təcrübələr zamanı uranil nitrat duzunun sulu məhlullarında ^{238}U , ^{235}U , $^{234,236,237}\text{U}$ izotoplarının aktivliyinin (aktivlik konsentrasiyasının) 90:60:3 nisbətində olması müəyyənləşdirilmişdir.

Uran izotoplarının aşkar edilməsi və təbii adsorbentlərlə tutulub ayrılması məqsədilə torpaq ekstraktlarının Canberra şirkətinin Genie 2000 spektrometrik sistemi ilə təmin edilmiş, yüksək təmizlikli germanium detektorlu HPGe qamma-spektrometri ilə analizləri aparılmışdır. Nüvə materialı ilə çirklənmiş model torpaq nümunələrinin ekstraktlarında ^{238}U və ^{235}U izotoplarının aktivliklərinin müvafiq olaraq 90 Bq və 60 Bq, $^{234,236,237}\text{U}$ izotoplarının ümumi aktivliyinin 3 Bq olması müəyyənləşdirildi. Analitik kimyəvi analizlər tədqiq edilən model torpaq nümunəsinin çirkləndirildiyi nüvə materialının tərkibində iz miqdarında U^{234} , U^{236} , U^{237} qalıqları olan $^{92}\text{U}^{238}$ və $^{92}\text{U}^{235}$ izotoplarının nitratlı duzu $/\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2/$ olduğunu göstərdi.

İçməli su təmizləmə qurğularında geniş istifadə edilən aktivləşdirilmiş kömür, antrasit, aktiv çınqıllı qum kütləsi, DOWEX HCR S/S kationiti 100°C temperaturda qurudulduqdan sonra sulu məhluldan uran izotoplarının adsorbsiyası üçün istifadə edilmişdir.

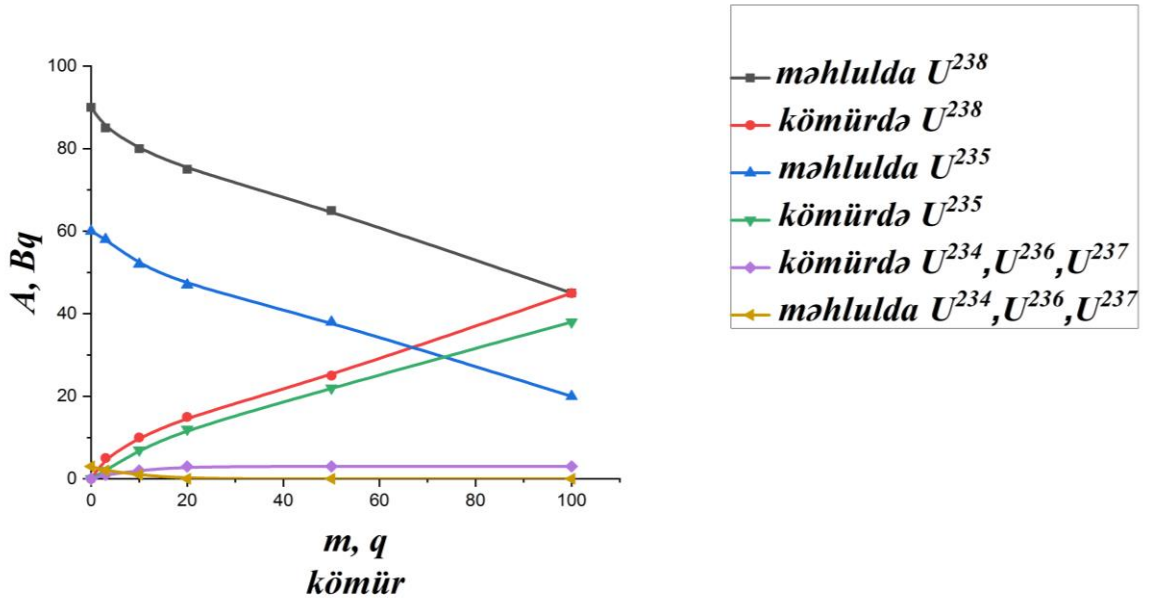
Təcrübələrdə 3 q, 10 q, 20 q, 50q və 100 q miqdarında adsorbentlər 30 dəqiqə ərzində məhlulda saxlanıldıqdan sonra çıxarılıb 1 saat ərzində qurudulmuşdur. Adsorbent kütləsi ilə tutulmuş izotopların miqdarları (qamma spektroskopiyası ilə təyin edilmiş aktivlikləri) təyin edilmişdir [18, s.13; 147, s.68-75; 148, s.130-138; 149, s.76-82; 153, s.140; 154, s.62-68; 156, s.34-38; 157, s.196-197; 160, s.132-134].

3.4.1. Uranil nitrat məhlullarından uran izotoplarının aktivləşdirilmiş dənəvər kömürdə adsorbsiyasının tədqiqi

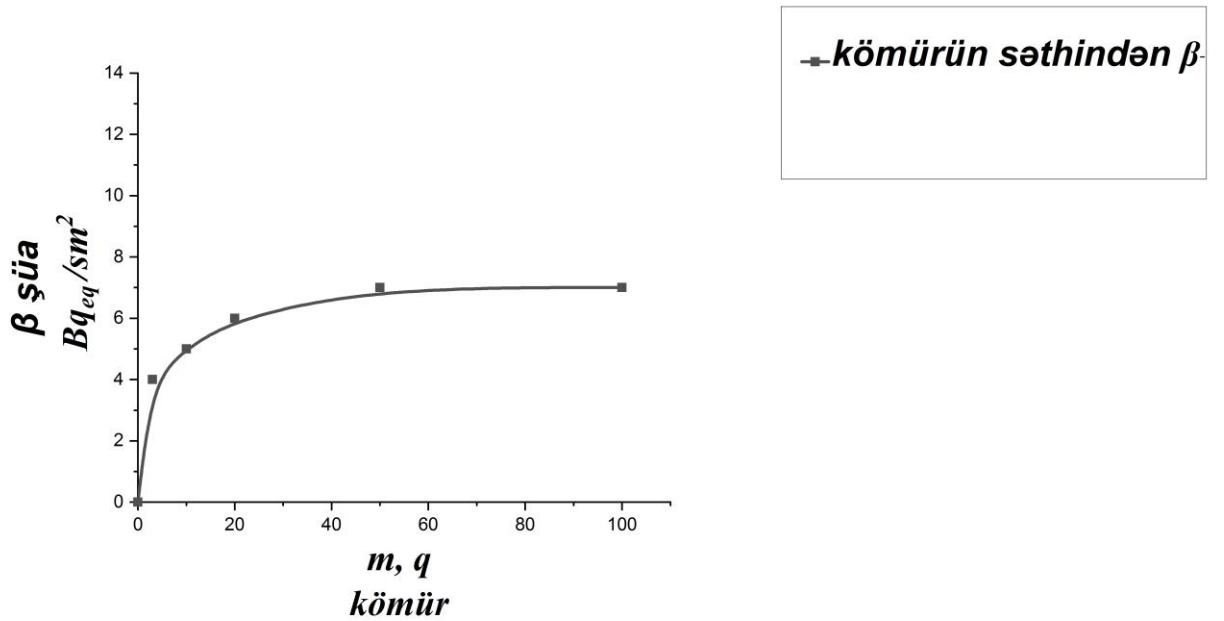
Adsorbentlər səthləri ilə təmasda olan qazlardan və mayelərdən maddələri adsorbsiya edən (udan) böyük xüsusi səth sahəsinə və yüksək dispersiyə malik təbii və ya sintetik materiallardır. Adsorbentlər suyun metal ionlarından və qazların, spirlərin qarışıqlardan təmizlənməsi, spirlərin ayrılması üçün, əleyhqazlarda katalizator daşıyıcıları qismində, sistemlərdən kənar qazların və zəhərli birləşmələrin udulması üçün geniş istifadə edilir.

Məsaməli cismin və ya dispers fazadakı üyüdülmüş hissəciklərin daxili boşluqlarının, məsamələrin, kanalların ölçülərinin orta qiymətlərini xarakterizə edən kəmiyyət xüsusi səth sahəsi adlandırılır və məsaməli və ya bu mühitdə dispersiya edilmiş cismin ümumi səthinin onun həcmünə və ya çəkisinə olan nisbəti kimi qəbul edilir. Onun qiyməti disperslik dərəcəsinə düz və ya dispers fazadakı hissəciklərin ölçülərinə əks proporsionaldır. Adsorbentlərin udma qabiliyyəti, katalizatorların və filtrlərin effektivliyi, xüsusi səth sahəsinin qiymətindən asılıdır. Aktivləşdirilmiş kömürlərin, silikagellərin, makroməsaməli ion-mübadiləsi qətranlarının və qaz-maye xromatoqrafiyası üçün diatomlu daşıyıcıların 1 qramının xüsusi səth sahəsinin qiymətləri müvafiq olaraq 500–1500 m², 800 m², 70 m², 10 m² təşkil edirlər.

3.4.1.1 şəkildə və 3.4.1.1 sayılı cədvəldə uranil nitrat məhlulundan uran izotoplarının aktivləşdirilmiş kömür kütlələrində adsorbsiyası, 3.4.1.2 sayılı şəkildə aktivləşdirilmiş kömürün səthində β-şüalanma aktivliyi yaranması qanunauyğunluğu göstərilmişdir [150, s.253-256; 162, s.336-340].



Şəkil 3.4.1.1. Uranil nitrat məhlulundan uran izotoplarının aktivləşdirilmiş kömür kütlələrində adsorbsiyası nəticəsində adsorbent kütləsində və məhlulda izotoplarının aktivliklərinin dəyişməsi.



Şəkil 3.4.1.2. Uranil nitratın sulu məhlulundan uran izotoplarının aktivləşdirilmiş kömür kütlələrində adsorbsiyası nəticəsində adsorbentin səthində yaranmış β -şüalanma intensivliyi.

Cədvəl 3.4.1.1.

Xüsusi aktivlikləri müvafiq olaraq 90 və 60 Bq olan ^{238}U və ^{235}U radioizotoplarının uranil nitrat məhlulundan aktivləşdirilmiş kömür kütləsində adsorbsiyası və prosesin dezaktivasiya əmsalı ($D\Theta = A_{\text{ilkin məhlul}}/A_{\text{məhlul qalığı}}$).

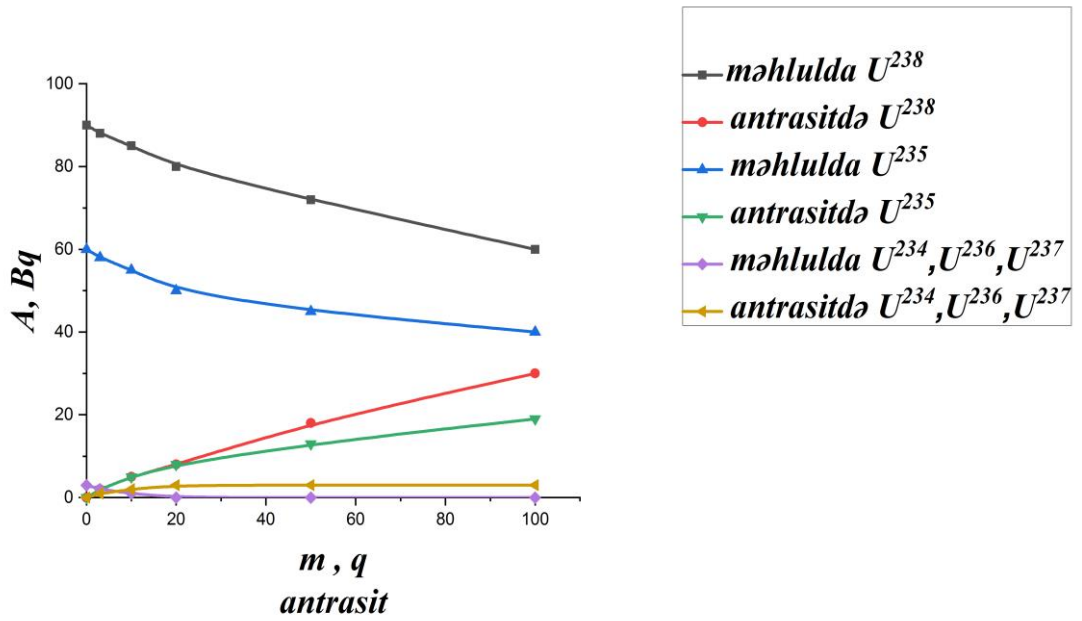
Adsorbentin miqdarı, q	Uran izotoplarının 1 saat ərzində uranil nitratın sulu məhlulundan aktivləşdirilmiş kömür kütləsinə adsorbsiyası və müvafiq prosesin dezaktivasiya əmsalının dəyişməsi			
	$A_{\text{adsorbent}}(^{238}\text{U})$ və ya $/A_{\text{ilkin məhlul}} - A_{\text{qalıq məhlul}}/$	$D\Theta(^{238}\text{U}),$ $(A_{i.m.}/A_{q.m.})$	$A_{\text{adsorbent}}(^{235}\text{U})$ $(A_{i.m.} - A_{q.m.})$	$D\Theta(^{235}\text{U}),$ $(A_{i.m.}/A_{q.m.})$
3	5	1.06	2	1.03
10	10	1.13	7	1.13
20	15	1.20	12	1.25
50	25	1.38	22	1.58
100	45	2.00	38	2.73

3.4.1.1 sayılı şəkildən görüldüyü kimi uranil nitrat məhlulundakı iz miqdarında U^{234} , U^{236} , U^{237} izotopları aktivləşdirilmiş kömür kütləsinin kiçik miqdarları ilə tam udulur.

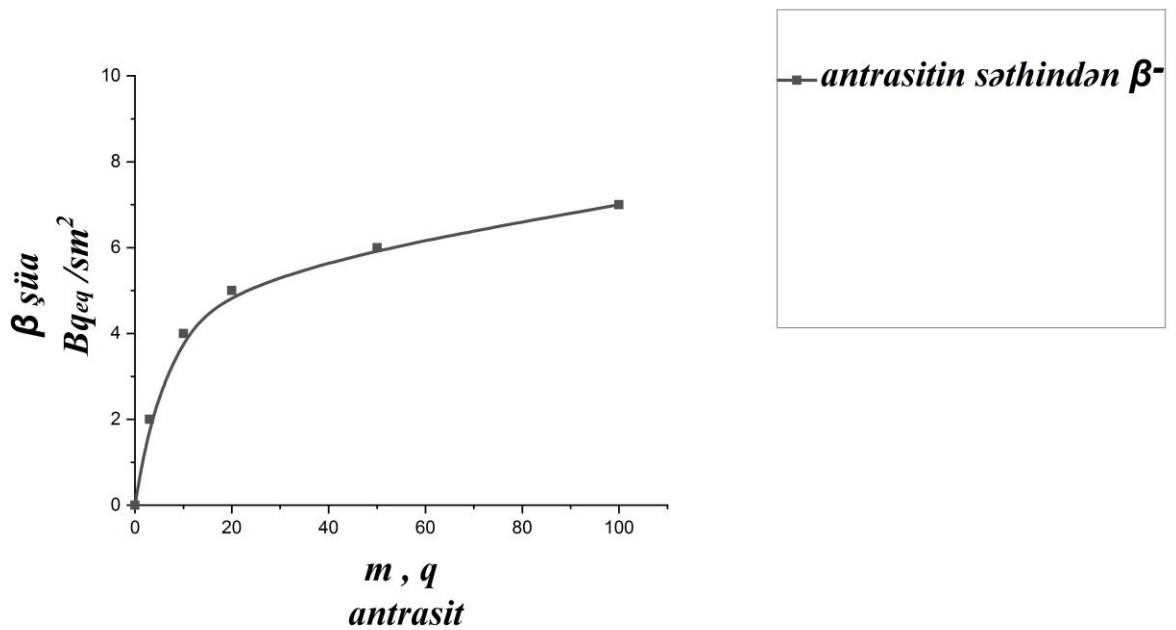
3.4.1.1 sayılı cədvəldən görüldüyü kimi, 100 q aktivləşdirilmiş kömür kütləsində uranil nitrat məhlulundakı U^{238} izotopunun 50%-i ($A_{\text{ads.}} \times 100\% / A_{i.m.} = 45 \text{ Bq} \times 100\% / 90 \text{ Bq} = 50\%$), U^{235} izotopunun isə 63%-i ($A_{\text{ads.}} \times 100\% / A_{i.m.} = 38 \text{ Bq} \times 100\% / 60 \text{ Bq} = 63\%$) adsorbsiya edir.

3.4.2. Uranil nitrat məhlullarından uran izotoplarının dənəvər antrasit kütləsində adsorbsiyasının tədqiqi

3.4.2.1 şəkildə və 3.4.2.1 sayılı cədvəldə uranil nitrat məhlulundan uran izotoplarının dənəvər antrasit kütlələrində adsorbsiyası, 3.4.2.2 sayılı şəkildə dənəvər antrasit kütləsinin səthində β -şüalanma aktivliyi yaranması qanuna uyğunluğu göstərilmişdir.



Şəkil 3.4.2.1. Uranil nitrat məhlulundan uran izotoplarının dənəvər antrasit kütlələrində adsorbsiyası nəticəsində adsorbent kütləsində və məhlulda izotoplarının aktivliklərinin dəyişməsi.



Şəkil 3.4.2.2. Uranil nitratın sulu məhlulundan uran izotoplarının antrasit kütlələrində adsorbsiyası nəticəsində müvafiq kütlənin səthində yaranmış β -şüalanma intensivliyi.

Cədvəl 3.4.2.1.

Xüsusi aktivlikləri müvafiq olaraq 90 və 60 Bq olan ^{238}U və ^{235}U radioizotoplarının uranil nitrat məhlulundan dənəvər antrasit kütlələrində adsorbsiyası və prosesin dezaktivasiya əmsalı ($D\Theta = A_{\text{ilkin məhlul}}/A_{\text{məhlul qalığı}}$).

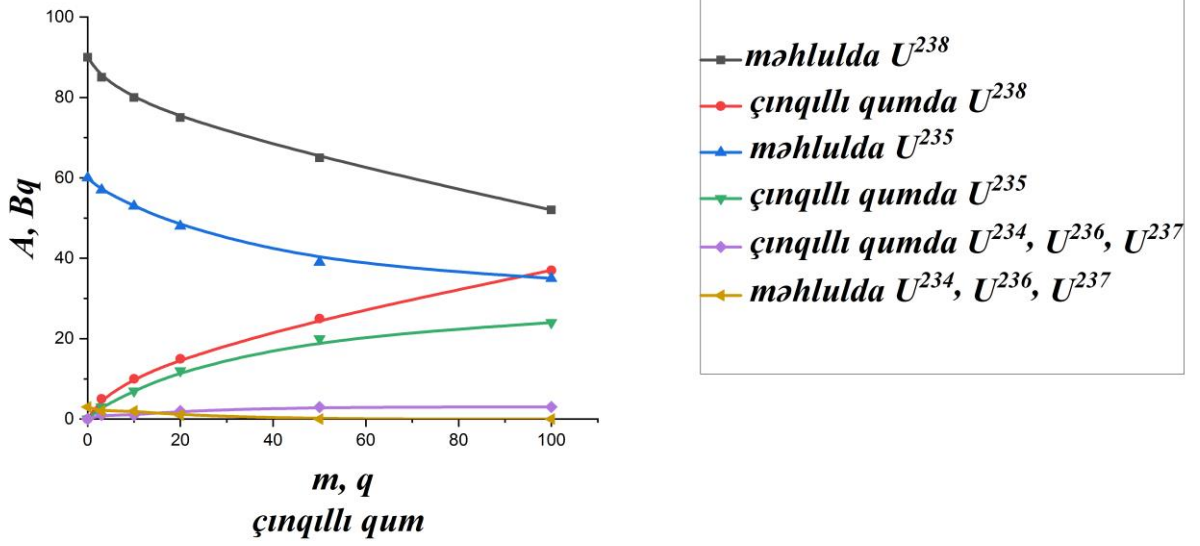
Adsorbentin miqdarı, q	Uran izotoplarının 1 saat ərzində uranil nitratın sulu məhlulundan dənəvər antrasit kütləsinə adsorbsiyasına uyğun dezaktivasiya əmsalının dəyişməsi			
	$A(^{238}\text{U})$	$D\Theta(^{238}\text{U})$	$A(^{235}\text{U})$	$D\Theta(^{235}\text{U})$
3	2	1.02	2	1.03
10	5	1.06	5	1.09
20	8	1.10	8	1.15
50	18	1.25	13	1.27
100	30	1.5	19	1.46

3.4.2.1 sayılı şəkildən görüldüyü kimi uranil nitrat məhlulundakı iz miqdarında U^{234} , U^{236} , U^{237} izotopları antrasit kütləsinin kiçik miqdarları ilə tam udulur.

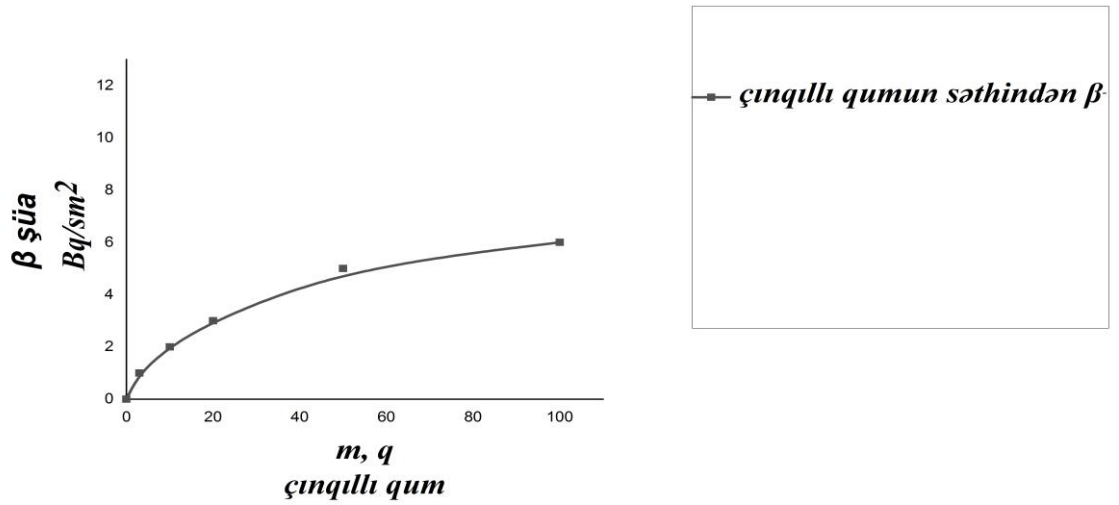
3.4.2.1 sayılı cədvəldən görüldüyü kimi, 100 q antrasit kütləsində uranil nitrat məhlulundakı U^{238} və U^{235} izotoplarının 33%-i adsorbsiya edir.

3.4.3. Uranil nitrat məhlullarından uran izotoplarının aktiv çınqıllı qum kütləsində adsorbsiyasının tədqiqi.

3.4.3.1 şəkildə və 3.4.3.1 sayılı cədvəldə uranil nitrat məhlulundan uran izotoplarının aktiv çınqıllı qum kütlələrində adsorbsiyası, 3.4.2.2 sayılı şəkildə aktiv çınqıllı qum kütləsinin səthində β -şüalanma aktivliyi yaranması qanunauyğunluğu göstərilmişdir.



Şəkil 3.4.3.1. Uranil nitrat məhlulundan uran izotoplarının aktiv çınqıllı qum kütlələrində adsorbsiyası nəticəsində adsorbent kütləsində və məhlulda izotoplarının aktivliklərinin dəyişməsi.



Şəkil 3.4.3.2. Uranil nitratın sulu məhlulundan uran izotoplarının çınqıllı qum kütlələrində adsorbsiyası nəticəsində adsorbent səthində yaranmış β -şüalanma intensivliyi.

Cədvəl 3.4.3.1.

Xüsusi aktivlikləri müvafiq olaraq 90 və 60 Bq olan ^{238}U və ^{235}U radioizotoplarının uranil nitrat məhlulundan çınqıllı qum kütlələrində adsorbsiyası və prosesin dezaktivasiya əmsalı ($D\Theta = A_{\text{ilkiln məhlul}}/A_{\text{məhlul qalıqı}}$).

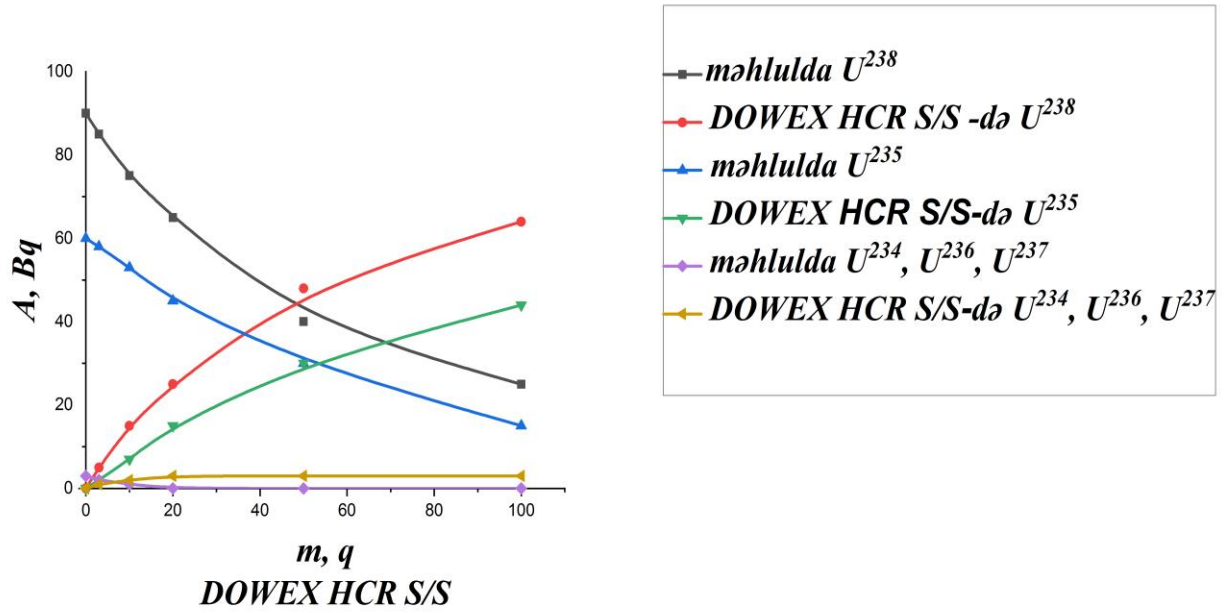
Adsorbentin miqdarı, q	Uran izotoplarının 1 saat ərzində uranil nitratın sulu məhlulundan çınqıllı qum kütləsinə adsorbsiyasına uyğun dezaktivasiya əmsalının dəyişməsi			
	$A(^{238}\text{U})$	$D\Theta(^{238}\text{U})$	$A(^{235}\text{U})$	$D\Theta(^{235}\text{U})$
3	5	1.06	3	1.05
10	7	1.08	7	1.13
20	13	1.20	12	1.25
50	25	1.38	20	1.50
100	37	1.70	24	1.70

3.4.3.1 sayılı şəkildən göründüyü kimi uranil nitrat məhlulundakı iz miqdarında U^{234} , U^{236} , U^{237} izotopları çınqıllı qum kütləsinin kiçik miqdarları ilə tam udulur.

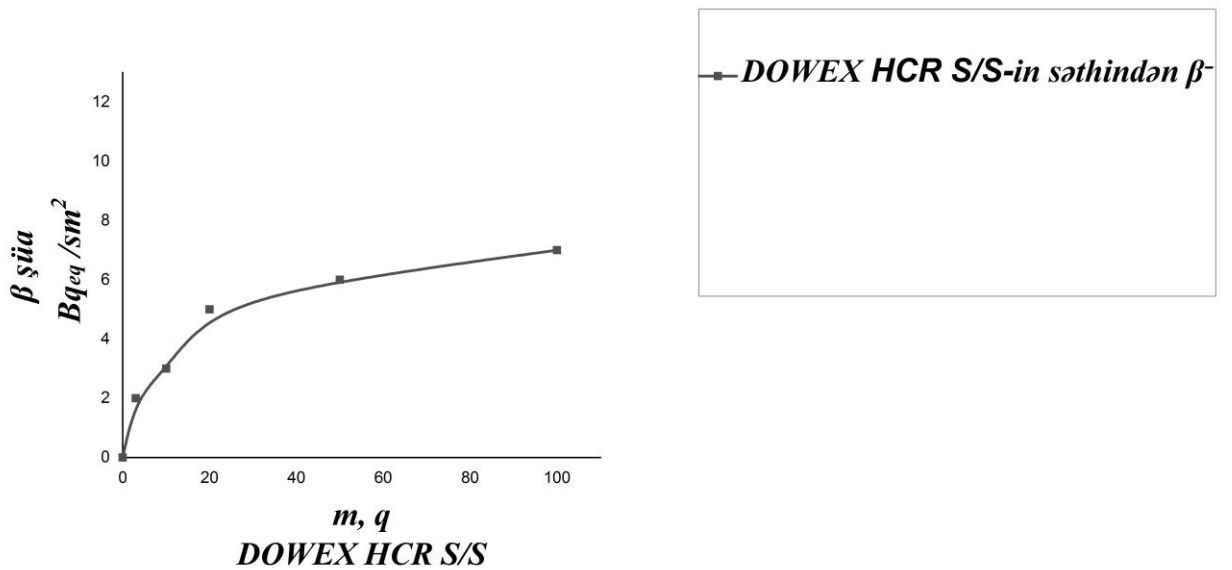
3.4.3.1 sayılı cədvəldəngöründüyü kimi, 100 q çınqıllı qum kütləsində uranil nitrat məhlulundakı U^{238} və U^{235} izotoplarının 41%-i adsorbsiya edir.

3.4.4. Uranil nitrat məhlullarından uran izotoplarının ion-mübadiləsi qətranında (DOWEX HCR S/S kationitində) adsorbsiyasının tədqiqi

3.4.4.1 şəkildə və 3.4.4.1 sayılı cədvəldə uranil nitrat məhlulundan uran izotoplarının ion-mübadiləsi qətranında (DOWEX HCR S/S kationitində) adsorbsiyası, 3.4.2.2 sayılı şəkildə DOWEX HCR S/S kationit kütləsinin səthində β -şüalanma aktivliyi yaranması qanunauyğunluğu göstərilmişdir.



Şəkil 3.4.4.1. Uranil nitrat məhlulundan uran izotoplarının DOWEX HCR S/S kationitində adsorbsiyası nəticəsində adsorbent kütləsində və məhlulda izotoplarının aktivliklərinin dəyişməsi.



Şəkil 3.4.4.2. Uranil nitratın sulu məhlulundan uran izotoplarının DOWEX HCR S/S kationitində adsorbsiyası nəticəsində adsorbent səthində yaranmış β -şüalanma intensivliyi.

Cədvəl 3.4.4.1.

Xüsusi aktivlikləri müvafiq olaraq 90 və 60 Bq olan ^{238}U və ^{235}U radioizotoplarının uranil nitrat məhlulundan DOWEX HCR S/S kationitində adsorbsiyası və prosesin dezaktivasiya əmsalı ($D\Theta = A_{\text{ilk}} / A_{\text{mahlul qalıqı}}$).

Adsorbentin miqdarı, q	Uran izotoplarının 1 saat ərzində uranil nitratın sulu məhlulundan dənəvər DOWEX HCR S/S kationit kütləsinə adsorbsiyasına uyğun dezaktivasiya əmsalının dəyişməsi			
	$A(^{238}\text{U})$	$D\Theta(^{238}\text{U})$	$A(^{235}\text{U})$	$D\Theta(^{235}\text{U})$
3	5	1.06	2	1.03
10	15	1.20	7	1.13
20	25	1.38	15	1.33
50	48	2.14	30	2.00
100	64	3.46	44	3.75

3.4.4.1 sayılı şəkildən görüldüyü kimi uranil nitrat məhlulundakı izotoplarında U^{234} , U^{236} , U^{237} izotopları DOWEX HCR S/S kationit kütləsinin kiçik miqdarları ilə tam udulur.

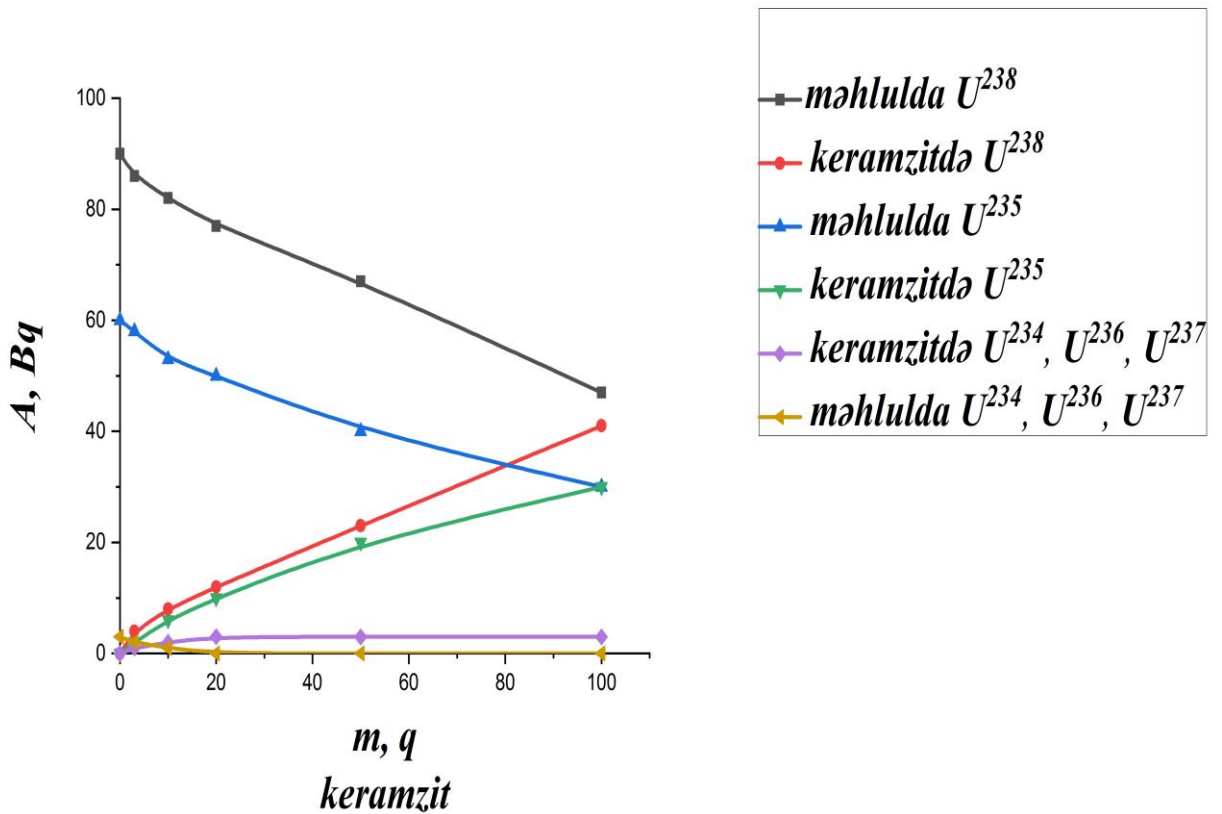
3.4.4.1 sayılı cədvəldən görüldüyü kimi, 100 q DOWEX HCR S/S kationit kütləsində uranil nitrat məhlulundakı U^{238} izotopunun 72%-i və U^{235} izotopunun 75%-i adsorbsiya edir.

3.5. Ölkə ərazisində geniş yayılmış xammalların radioizotopların adsorbsiyası proseslərində tətbiqi imkanlarının müzakirəsi

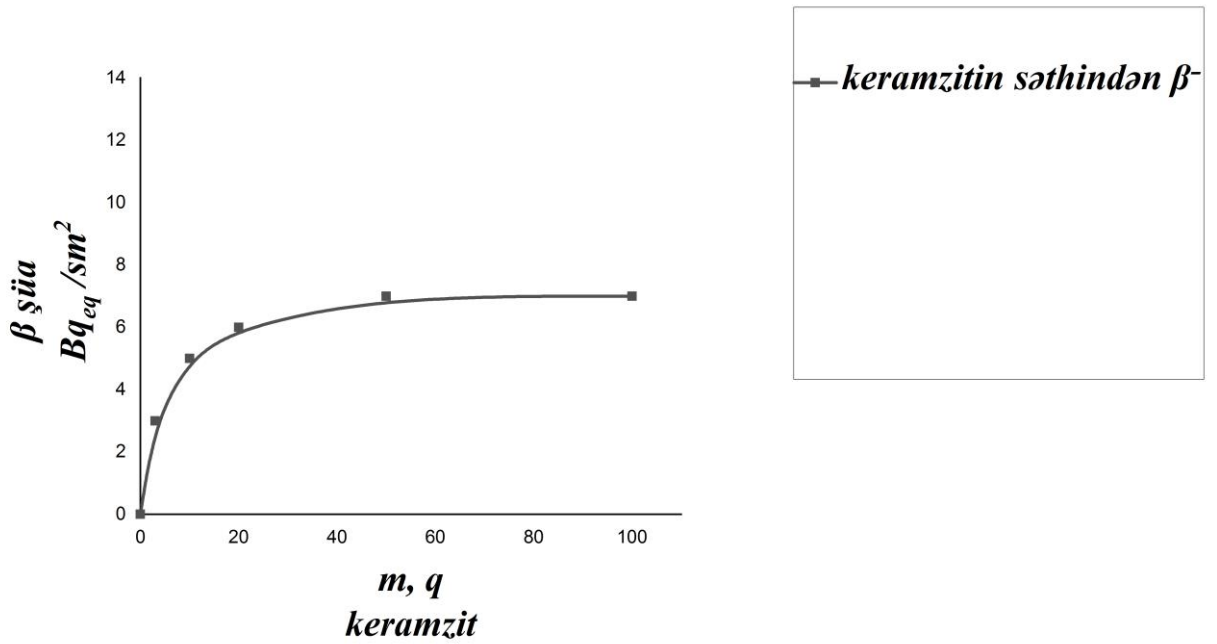
Ölkə ərazisində fəaliyyət göstərən böyük məştblı istehsalat sahələri arasında kərpic, şüşə, şüşə qablar, sement, bentonit, alüminium, mişar daşları, travertin, mərmər və qranit üzlüklər və s. istehsalı, qara və əlvan metallurgiya, elektrotexnika, kimya, neft-kimya və s. sənayeləri xüsusi çəkiyə malikdirlər. Bu istehsalat sahələrinin məhsulları və tullantıları içərisində ən yüksək adsorbsiya xassəsinə malik maddə Bakının Suraxanı rayonunda və ölkənin əksər rayonlarında fəaliyyət göstərən kərpic istehsalı zavodlarının tullantısı qismində ətraf ərazilərdə yığılıb qalmış “yüksək temperaturda bişmiş məsaməli gil qalıqları qırıntıları” -

keramzit kütləsidir. Böyük xammal ehtiyatına malik kərpic “bişirilməsi” sənayesi üçün xarakterik yüksək temperaturlarda işlənmiş məsaməli dənəvər bişmiş gil tullantıları (keramzit kütləsi) adsorbent qismində istifadəyə yararlı olduğundan uranil nitrat məhlullarından uran izotoplarının adsorbsiyası qanunauyğunluqlarının öyrənilməsi təcrübələrində istifadə edilmişdir.

3.5.1 şəkildə və 3.5.1 sayılı cədvəldə uranil nitrat məhlulundan uran izotoplarının keramzit kütləsində adsorbsiyası, 3.5.2 sayılı şəkildə keramzit kütləsinin səthində β -şüalanma aktivliyi yaranması qanunauyğunluğu göstərilmişdir.



Şəkil 3.5.1. Uranil nitrat məhlulundan uran izotoplarının keramzit kütləsində adsorbsiyası nəticəsində adsorbentdə və məhlulda uran izotoplarının aktivliklərinin dəyişməsi.



Şəkil 3.5.2. Uranil nitratın sulu məhlulundan uran izotoplarının keramzit kütləsində adsorbsiyası nəticəsində adsorbent səthində yaranmış β -şüalanma intensivliyi.

Cədvəl 3.5.1.

Xüsusi aktivlikləri müvafiq olaraq 90 və 60 Bq olan ^{238}U və ^{235}U radioizotoplarının uranil nitrat məhlulundan keramzit kütlələrində adsorbsiyası və prosesin dezaktivasiya əmsalı ($D\Theta = A_{\text{ilkın məhlul}}/A_{\text{məhlul qalığı}}$).

Adsorbentin miqdarı, q	Uran izotoplarının 1 saat ərzində uranil nitratın sulu məhlulundan keramzit kütləsinə adsorbsiyasına uyğun dezaktivasiya əmsalının dəyişməsi			
	A (^{238}U)	D Θ (^{238}U)	A (^{235}U)	D Θ (^{235}U)
3	4	1.05	2	1.03
10	8	1.10	6	1.10
20	12	1.15	10	1.20
50	23	1.34	20	1.50
100	41	1.84	30	2.00

3.5.1 sayılı şəkildən görüldüyü kimi uranil nitrat məhlulundakı iz miqdarında U^{234} , U^{236} , U^{237} izotopları keramzit kütləsinin kiçik miqdarları ilə tam udulur.

3.5.1 sayılı cədvəldən görüldüyü kimi, 100 q keramzit kütləsində uranil nitrat məhlulundakı U^{238} izotopunun 47%-i və U^{235} izotopunun 50%-i adsorbsiya edir.

Beləliklə, tədqiqat işində dənəvər aktivləşdirilmiş kömürdə, antrasitdə, çınqıllı qumda, DOWEX HCR S/S kationitində, keramzit kütlələrində radioizotopların sulu məhlullardan adsorbsiyası qanunauyğunluqları öyrənilmişdir. Qeyd edilmiş adsorbentlərdən ən yüksək adsorbsiya xassəsini dənəvər DOWEX HCR S/S kationit (72-75%), aktivləşdirilmiş kömür (50-65%) və keramzit (47-50%) nümunələri, ən zəif adsorbsiya xassəsini isə çınqıllı qum (41%) və dənəvər antrasit (33%) nümunələri göstərmişdir.

Kiçik həcmərdə məhlullardan radionuklidlərin ayrılması suyun tam buxarlandırılması ilə mümkün olur. Alınmış ağ duz şəklində mineralların (quru qalıqın) spektroskopik analizi sulardakı və torpaqdakı təbii radionuklidlərlə (Na^{22} , K^{40}) yanaşı ətraf mühitin konkret sahəsində mövcud radioizotopların da quru qalıqda toplandığını göstərir. Böyük miqdarda tullantı sularının radionuklidlərdən təmizlənməsi üçün isə effektiv adsorbentlərin tapılmasına ehtiyac duyulur.

Nüvə materialının sulu məhlullardan izotopların adsorbent kütlələrində təyin edilmiş adsorbsiyası qanunauyğunluqları neftin fiziki təmizlənməsi mərhələsinin və ya digər radiokimyəvi proseslərin tullantı sularının təhlükəsizlik normalarına uyğunlaşdırılması üçün orijinal təmizləmə üsulu qismində istifadə edilə bilər.

Məhlullardan radioizotopları adsorbsiya etmiş aktivləşdirilmiş kömürün və antrasitin energetik sobalarda asanlıqla yandırılması mümkünlüyünü nəzərə alaraq radionuklidlərin sobanın dibinə ərinti xəlitə şəklində çökmüş kütlədə yığılıb qalacağı aydınlaşır. Aktivləşdirilmiş kömürün və antrasitin termiki emal prosesindən sonra qalıq kütlə şəklində ayrılmış qatılaşmış radioaktiv maddələr radiasiya təhlükəsizliyi qaydalarına uyğun olaraq basdırılması üçün “İzotop” xüsusi kombinatına təhvil verilməlidir.

Beləliklə, aparılan tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, istifadə edilən adsorbentin miqdarından asılı olaraq prosesin dezaktivasiya əmsalı adsorbentin növləri üzrə aşağıdakı ardıcılıqla dəyişir: DOWEX HCR S/S kationiti - aktivləşdirilmiş kömür – keramzit - çınqıllı qum - dənəvər antrasit.

Bərk maddənin səthi tərəfindən məhluldan və ya qazdan maddənin və ya maddələrin udulması prosesi adsorbsiya və eynilə mayenin səthi tərəfindən

məhluldan və ya qazdan maddənin və ya maddələrin udulması prosesi adsorbsiya, əksinə fazaların ayrılma səthindən maddənin və ya maddələrin həcmə keçməsi isə desorbsiya adlanır. Qaz fazadan maye fazaya adsorbsiya edən adsorbentin (mayədə udulan qazşəkilli komponentin) molyar konsentrasiyası Henri qanunu ilə təyin edilir və mayədə udulan adsorbentin miqdarı maye üzərindəki qazşəkilli komponentin təzyiqi ilə düz proporsionaldır [53, s.5-14; 59, s.58-61; s.74; 62, s.148-151; s.175; 36, s.8-15]:

$$C = k \cdot p \quad (1)$$

burada, p – maye üzərində qaz fazadakı qazşəkilli maddənin parsial təzyiqi;

k – Henri əmsalı;

C – məhlula adsorbsiya edən maddənin molyar konsentrasiyası.

Adsorbat və adsorbent hissəcikləri arasında yaranan qarşılıqlı əlaqə formasından asılı olaraq fiziki və kimyəvi adsorbsiya növləri fərqləndirilir.

Fiziki adsorbsiya prosesi adsorbent və adsorbat hissəcikləri arasında yaranan Van-der-Vaals zəif molekullararası qüvvələri ilə xarakterizə olunur. Nəticədə adsorbsiya və desorbsiya əks istiqamətli proseslərinin mövcudluğu, temperaturun artması ilə adsorbsiyanın zəifləməsi və adsorbsiya istiliyi üçün xarakterik kiçik qiymətlər müşahidə olunur.

Kimyəvi adsorbsiya yeni kimyəvi rabitələr yaranması ilə müşayiət olunur, proses dönməz xarakter alır, temperatur artdıqca prosesin sürəti artır və kimyəvi sorbsiya üçün xarakterik yüksək istilik effekti müşahidə olunur.

Adsorbsiya (A , mol/m², mol/kq) adsorbentin miqdarının (n , mol) adsorbentin vahid səthinə (S , m²) və ya vahid kütləsinə ($m_{ads.}$, kq) nisbəti ilə ifadə olunur:

$$A = n / S \quad (2)$$

və ya

$$A = n / m_{ads.} \quad (3).$$

Adsorbentin xüsusi səth sahəsi (S_x) adsorbentin bütün səthinin (S) adsorbentin kütləsinə ($m_{ads.}$, kq) olan nisbəti ilə ifadə olunur:

$$S_x = S / m_{\text{ads.}} \quad (4).$$

Bu bərabərliyin (1) sayılı tənlikdə nəzərə alınması amerika alimi C.Lenqmyurun monomolekulyar adsorbsiya nəzəriyyəsinə əsaslanaraq adsorbsiya prosesini kəmiyyətə təsvir edən tənliyin alınmasına kömək edir:

$$A = n / S = n / S_x \cdot m_{\text{ads.}} \quad (5).$$

Bu nəzəriyyəyə əsasən adsorbsiya yalnız adsorbentın səthindəki biri digərindən asılı olmayan müstəqil və eyni xüsusiyyətli aktiv mərkəzlərdə baş verir. Konkret sorbentın səthi üçün aktiv mərkəzlərin sayı sabitdir və bu səth energetik olaraq eynicinslidir. Hər aktiv mərkəz yalnız 1 adsorbat molekulu ilə əlaqədə ola bilər və səth üzrə yerini dəyişə bilməz və adsorbsiya etmiş molekulların yalnız 1 adsorbsiya layı (monomolekulyar lay) yarana bilər. Aktiv mərkəzdə adsorbsiya etmiş molekul bir müddət sonra desorbsiya edə bilər və nəticədə müəyyən müddətdən sonra bu proseslər arasında dinamik tarazlıq yaranır, yəni adsorbsiya prosesi dönərliyi və tarazlığı ilə xarakterizə olunur. Lenqmyur nəzəriyyəsi nisbətən kiçik təzyiqlərdə qazların və həll olmuş maddələrin kiçik miqdarlarının adsorbsiyasının təsvir edilməsi üçün tətbiq edilə bilər.

Beləliklə, adsorbsiya prosesi adsorbentın və adsorbatın təbiətindən, temperaturdan və adsorbatın həcmdə konsentrasiyasından (parsial təzyiqindən) asılıdır. Adsorbatın məhlulda konsentrasiyasından və ya qaz fazasında təzyiqindən asılı olaraq sabit temperaturda adsorbsiyanın $A = f(C)$ və $A = f(p)$ izotermələrini fərqləndirirlər. Riyazi asılılıqla adsorbsiyanın təsvir edilə bilməsi məqsədilə əslində tam eynicinsli olmayan adsorbent səthi eynicinsli kimi və adsorbat ideal qaz kimi qəbul edilir. Bu zaman Lenqmyur nəzəriyyəsinə uyğun olaraq monomolekulyar adsorbsiya layının yaranması da qəbul olunur. Monomolekulyar layın müəyyən qalınlığa malik olması və bu layda aktiv mərkəzlərin və ya adsorbsiya edilən molekulların sayının məhdud bir qiymətə malik olması hər bir adsorbent üçün adsorbsiya həddi adlanan müəyyən maksimal adsorbsiya qiymətinin (A_{max}) mövcud

olması ilə şərtlənir. Lenqmyur nəzəriyyəsinə görə adsorbsiya etmiş adsorbat molekulları lokallaşmış halda olur (yerini digər aktiv mərkəzə dəyişmir), növbəti adsorbat molekulu yalnız boş aktiv mərkəzlər tərəfindən udula bilər və desorbsiya prosesi yalnız adsorbsiya etmiş aktiv mərkəzlərdə baş verə bilər. Adsorbentın səthinin adsorbat molekulları ilə dolma dərəcəsi (U) müəyyən adsorbsiya qiymətinin (A) həmin adsorbent üçün adsorbsiya həddinə (A_{∞}) nisbəti kimi qiymətləndirilir:

$$U = A / A_{\infty} \quad (6).$$

Bu mülahizələrə əsasən adsorbentın adsorbat molekullarından azad qalmış səthi, yəni boş yerlərin payı “1-U” qiymətinə malik olmalıdır. Adsorbat molekullarının adsorbentın səthinə toqquşmalarının sayı onların konsentrasiyası ilə, azad aktiv mərkəzlərə toqquşması ehtimalı isə boş yerlərin payı ilə proporsional olduğundan adsorbsiya prosesinin sürəti (W_{ads}) aşağıdakı tənliklə ifadə edilir:

$$W_{ads} = k_{ads} \cdot C \cdot (1 - U) \quad (7)$$

burada, k_{ads} – adsorbsiya sürətinin sabiti.

Desorbsiya sürəti (W_{des}) adsorbentın səthinin dolma dərəcəsinə, yəni adsorbat molekullarını udmuş aktiv mərkəzlərin (yalnız bu mərkəzlərdən desorbsiya baş verir) ümumi sayında payına proporsionaldır:

$$W_{des} = k_{des} \cdot U \quad (8)$$

burada, k_{des} – adsorbsiya sürətinin sabiti.

Adsorbentın səthindəki aktiv mərkəzlərə udulan molekulların sayı artdıqca digər boş aktiv mərkəzlərə udulma ehtimalı, yəni adsorbsiya sürəti azalır və əksinə, desorbsiya sürəti artır. Nəhayət, adsorbsiya və desorbsiya proseslərinin sürətləri bərabərləşdikdə adsorbsiya tarazlığı vəziyyəti yaranır:

$$W_{ads} = W_{des} \quad (9)$$

Bu zaman adsorbatın həcmi fazada ilkin C konsentrasiyasının müəyyən dərəcədə (adsorbsiya dərəcəsinə müvafiq) azalması müşahidə olunur. Adsorbsiya tarazlığı vəziyyəti Le Şatelye prinsipinə əsasən dəyişə bilər, yəni adsorbsiya tarazlığı vəziyyətində olan sistemə kənar müdaxilə nəticəsində (temperaturu, təzyiqlə, konsentrasiyanın, ətraf elektromaqnit sahəsinin dəyişdirilməsi və s.) sistemdə bu müdaxilənin əksinə yönəlmiş proseslərin güclənməsi müşahidə olunur.

Belə ki, Le Şatelye prinsipinə əsasən adsorbatın həcmi fazada ilkin C konsentrasiyası artdıqca sabit miqdarda adsorbentdə adsorbsiya sürəti artır, sabit C qatılıqlı məhlulda adsorbent miqdarı artdıqda (yəni adsorbent vahid kütləsinə düşən məhlulun miqdarı azalır) adsorbentdə adsorbsiya sürəti azalır.

Zəif ekzotermikliyə malik fiziki adsorbsiya prosesləri zamanı temperaturun artması adsorbsiya sürətinin azalmasına və desorbsiya sürətinin artmasına səbəb olur.

(9) sayılı bərabərlikdə (7) və (8) sayılı tənlikləri nəzərə aldıqda adsorbsiya tarazlığı sabitinin (K_C) tədqiq edilən temperaturda reagentin molyar konsentrasiyası ilə ifadə olunmuş asılılığı alınır:

$$(k_{ads}/k_{des}) = K_C = U / C \cdot (1 - U) \quad (10).$$

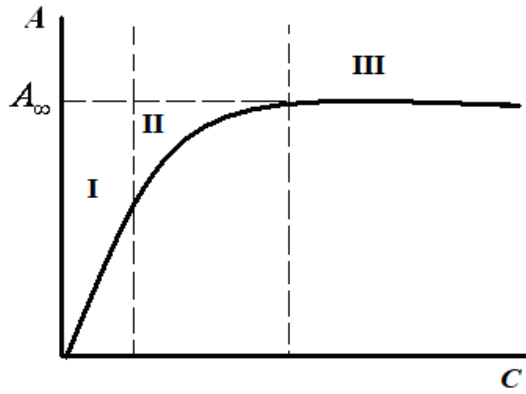
Bu tənlikdən və (5) sayılı tənliyi nəzərə aldıqda Lenqmyur adsorbsiya izotermi (bax: Şəkil 3.5.3) üçün aşağıdakı ifadələr alınır [53, s.5-14; 59, s.58-61; s.74; 62, s.148-151; s.175; 36, s.8-15]:

$$U = K_C \cdot C / (1 + K_C \cdot C) \quad (11)$$

$$A = A_\infty \cdot K_C \cdot C / (1 + K_C \cdot C) \quad (12)$$

və ya tədqiq edilən temperaturda qaz fazasında adsorbsiya tarazlıq vəziyyətində reagentin parsial təzyiqi və adsorbsiya tarazlığı sabiti (K_p) ilə ifadə olunduqda:

$$A = A_\infty \cdot K_p \cdot p / (1 + K_p \cdot p) \quad (13).$$



Şəkil 3.5.3. Monomolekulyar adsorbsiya izoterminin qrafik əyrisi.

3.5.3 sayılı şəkildəki qrafik əyrinin 1-ci sahəsi üçün $K_C \ll 1$ kiçik konsentrasiyalarda ($K_p \ll 1$ kiçik təzyiqlərdə), adsorbentın səthindəki aktiv mərkəzlər faktiki azad olduqlarından 11 və 12 sayılı tənliklər aşağıdakı şəkil alır:

$$A = A_{\infty} \cdot K_C \cdot C \quad (14)$$

və ya

$$A = A_{\infty} \cdot K_p \cdot p \quad (15).$$

Göründüyü kimi adsorbsiya üçün Henri qanununu ifadə edən 15 sayılı bərabərlik qaz fazadan maye fazaya adsorbsiya edən adsorbatın molyar konsentrasiyasının təyini üçün (1) sayılı tənliklə uyğunluq təşkil edir. Hər iki halda bərabərliklərdəki əmsal (Henri əmsalı və ya adsorbsiya tarazlığı əmsalı) konsentrasiyadan asılı deyil və yalnız temperaturdan asılıdır. 3.5.3 sayılı şəkildəki qrafik əyrinin 2-ci sahəsini xarakterizə edən əyri adsorbentın səthindəki aktiv mərkəzlərin qismən dolduğu mərhələni təsvir edir, 12 və 13 sayılı tənliklərlə və ya Freyndlix izoterm tənliyi (16) ilə hesablanır:

$$A = b \cdot C^{1/n} \quad (16)$$

burada, b və $1/n$ – adsorbatın təbiətindən və temperaturdan asılı sabitlərdir.

Bu sabitlər həll olmuş maddənin tarazlıq konsentrasiyasından və ya qaz fazasının udulan komponentinin tarazlıq təzyiqindən asılı deyildir. $n > 0$, $(1/n) < 0$,

qazlar üçün $1/n = 0.2\text{--}0.9$ intervalında, məhlullar üçün $1/n = 0.2\text{--}0.5$ intervalında dəyişir. $1/n$ sabiti izoterm xətilikdən kənarlaşma dərəcəsini xarakterizə edir.

3.5.3 sayılı şəkiləki qrafik əyrinin 3-cü sahəsi absis oxuna paralel düz xətdir və adsorbsiya tarazlığı vəziyyətinin yarandığını, yəni adsorbsiya dərəcəsinin maksimal mümkün həddə çatdığını göstərir. Adsorbsiya dərəcəsi böyük olduğundan $K_C \gg 1$ və nəticədə 12 və 13 sayılı tənliklər aşağıdakı forma alır:

$$A = A_\infty \quad (17).$$

Lenqmyur adsorbsiya izotermi tənliyinin bərk cisimlə qaz fazanın təmas səthləri üçün tərtib edilməsinə baxmayaraq bu qanunun əsasını təşkil edən kinetik təsviri müddələrin ümumi təyinatlı olması, onun nəticələrinin digər “maye-qaz” və “bərk cisim-maye” təmas səthləri üçün də tətbiq edilməsinə imkan verir.

Monomolekulyar adsorbsiya izotermi 1-ci düzxətli sahəsində $1/n$ sabitinin qiyməti 1-ə bərabər olduğundan, yəni adsorbsiya artımı xətiliyindən kənarlaşma olmadığından Freyndlix izoterm tənliyi (16) aşağıdakı forma, yəni Henri qanununu ifadə edən forma alırlar:

$$A = b \cdot C \quad (18)$$

və ya

$$A = b \cdot p \quad (19).$$

Monomolekulyar adsorbsiya izotermi 3-cü üfüqi düzxətli sahəsində $1/n$ sabitinin qiyməti sıfıra bərabər olduğundan, yəni adsorbsiya artımı tam dayandığından Freyndlix izoterm tənliyi (16) aşağıdakı forma, yəni Lenqmyur adsorbsiya izotermi üçün ifadə forması (17) alır:

$$A = bC^0 = b \quad (20).$$

Bu bərabərlikdəki “b” (17) sayılı tənlikdə adsorbsiya həddini (A_∞), yəni “monolayın həcmi” əvəz edir.

$$b = A_\infty \quad (21).$$

Beləliklə, Freyndlix izoterm tənliyi əsasən monomolekulyar adsorbsiya izoterminin 3-cü əyrixətli sahəsi üçün yararlıdır. Bu sahədə $1/n$ əmsalı müxtəlif konsentrasiya intervalları üçün getdikcə 1-dən aşağı düşməklə və daha sonra sıfıra yaxınlaşmaqla $1 \rightarrow 0$ civarında qiymətlər alması izotermin 2-ci hissəsinin parabolik forma almasını təmin edir.

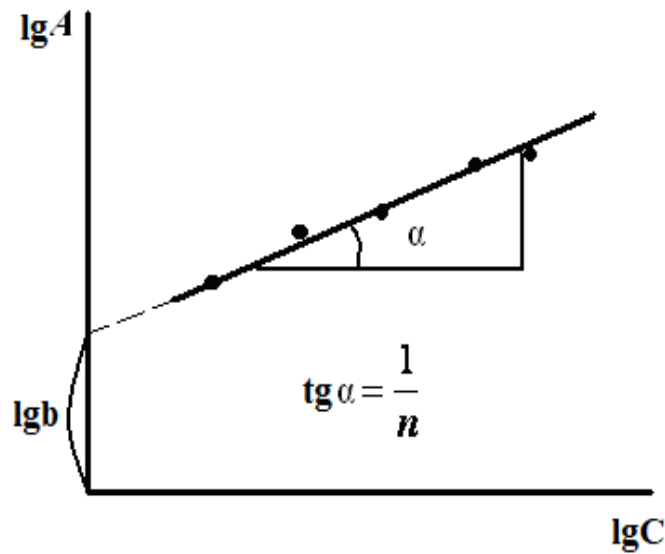
Freyndlix tənliyini loqarifmləməklə aşağıdakı ifadə alınır [53, s.5-14; 59, s.58-61; s.74; 62, s.148-151; s.175; 36, s.8-15]:

$$\lg A = \lg b + (1/n)\lg C \quad (22)$$

və ya

$$\lg A = \lg A_{\infty} + (1/n)\lg C \quad (23).$$

Bu tənlik $\lg A$ ordinat və $\lg C$ absis koordinatlarında ordinat oxunu $\lg b$ nöqtəsində kəsən düz xəttin tənliyidir (bax: Şəkil 3.5.4).



Şəkil 3.5.4. Loqarifmik koordinatlarda adsorbsiya izoterminin qrafik əyrisi.

Düz xətlə absis oxunun inikası arasındakı bucağın tangensi $1/n$ sabitinin qiymətidir. $\lg b$ və ya adsorbsiya həddinin loqarifmi ($\lg A_{\infty}$ qiyməti) isə (10) sayılı tənlikdəki adsorbsiya tarazlığının sabitini (K_C) xarakterizə edir, yəni adsorbatın və adsorbentin təbiətindən asılıdır. "n" sabitinin qiyməti kiçik, " $1/n$ " nisbətinin qiyməti böyük olduqca konsentrasiyanın dəyişməsi adsorbsiya tarazlığına daha kəskin təsir edir.

Hər hansı kimyəvi prosesin sürəti reaksiya mühitindəki aktiv molekulların, yəni enerjisi reaksiyanın getməsi üçün zəruri olan aktivləşmə enerjisindən böyük olan molekulların konsentrasiyası (C_A^*) ilə şərtlənmiş olur. Enerji udmaqla, yəni endotermik prosesdə E_a enerjisi almış aktiv molekulların nisbi kiçik miqdarı təqribi olaraq Bolsman vuruğu ilə qiymətləndirilir:

$$N_{(E>E_a)} = \exp(-E_a/RT). \quad (24)$$

Tarazlıq halında aktiv molekullarla bütün molekullar (C_A) arasında aşağıdakı asılılıq vardır:

$$C_A^* = K^T \cdot C_A \quad (25)$$

Aktiv molekulların iştirakı ilə gedən prosesin sürəti (W) və ya reaksiya sabiti (K) temperaturdan asılı deyildir:

$$W = K \cdot C_A^* = K \cdot K^T \cdot C_A = k \cdot C_A \quad (26)$$

K^T tarazlıq əmsalı temperaturdan asılı olduğundan ümumi reaksiya sürəti əmsalı da temperaturdan asılı olur və Vant-Hoff izoxorunun tənliyi ilə təyin edilir:

$$(d \ln k / dT) = (d \ln K^T / dT) = (\Delta Q / RT^2) \quad (27)$$

burada, ΔQ – sabit həcmdə aktivləşmə reaksiyasının istilik effekti, yəni aktivləşmə enerjisidir.

(25) sayılı bərabərliyi inteqralladıqda Arrhenius tənliyi alınır:

$$k = k_0 \exp(-E/RT) \quad (28)$$

Reaksiyanın sürət sabitini iki temperaturda ölçdükdə və ya qurulan müvafiq qrafikdən aktivləşmə enerjisini təyin etmək olur:

$$E_A = (R \cdot T_1 \cdot T_2 / (T_2 - T_1)) \ln k_2 / k_1 \quad (29),$$

$$\ln k = \ln k_0 - E_a / RT \quad \text{və ya} \quad \text{tg} \alpha = [(\ln k_1 - \ln k_2) / (1/T_1 - 1/T_2)] = -E_a / R \quad (30)$$

Eksperimental “k” sabiti birmərhələli reaksiyaya aiddirsə, Arrenius bərabərliyi ilə tapılmış E_a – həqiqi aktivləşmə enerjisi sayılır.

Çoxmərhələli reaksiyanın bir neçə parametri temperaturdan asılıdırsa, Arrenius koordinatında təyin edilmiş aktivasiya enerjisi effektiv və ya görünən (müşahidə olunan) aktivləşmə enerjisi adlanır.

Başlanğıc (ilkin) sürətlər metodu ilə sürətin temperaturdan asılılığına görə aktivləşmə enerjisi təyin edilə bilər. Reaksiyanın getməyə başladığı şəraitdə (reagentlərin təzyiqi, konsentrasiyası və s.) temperatur dəyişməsi müşahidə edilirsə reaksiyanın ilkin sürəti yalnız temperaturdan asılı olur.

$$W = k \cdot (C_A)^n \cdot (C_B)^m \quad (31)$$

və ya

$$W_o = k \cdot (C_{Ao})^n \cdot (C_{Bo})^m \quad (32)$$

(32) sayılı tənliyin laqorifmlənməsi ilə aşağıdakı ifadə alınır:

$$(\ln W_o / dT) = (d \ln k / dT) \quad (33)$$

Alınmış ifadəni aşağıdakı Arrenius bərabərliyi ilə:

$$(d \ln k / dT) = E_a / RT^2 \quad (34)$$

müqayisə etdikdə:

$$(d \ln W_o / dT) = E_a / RT^2 \quad (35)$$

və ya

$$\ln W_o = -(E_a / RT) + \text{const.} \quad (36)$$

ifadəsi alınır. Başqa cür $\ln W_o = f(1/T)$ koordinat sistemində adsorbsiya üçün qurulmuş qrafikdən [53, s.5-14; 59, s.58-61; s.74; 62, s.148-151; s.175; 36, s.8-15]:

$$\text{tg} \alpha = -E_a / R = [(\ln W_o)_1 - (\ln W_o)_2] / (1/T_1 - 1/T_2) \quad (37)$$

və ya desorbsiya üçün aktivləşmə enerjisi üçün əks işarə ilə eyni ifadə alınır.

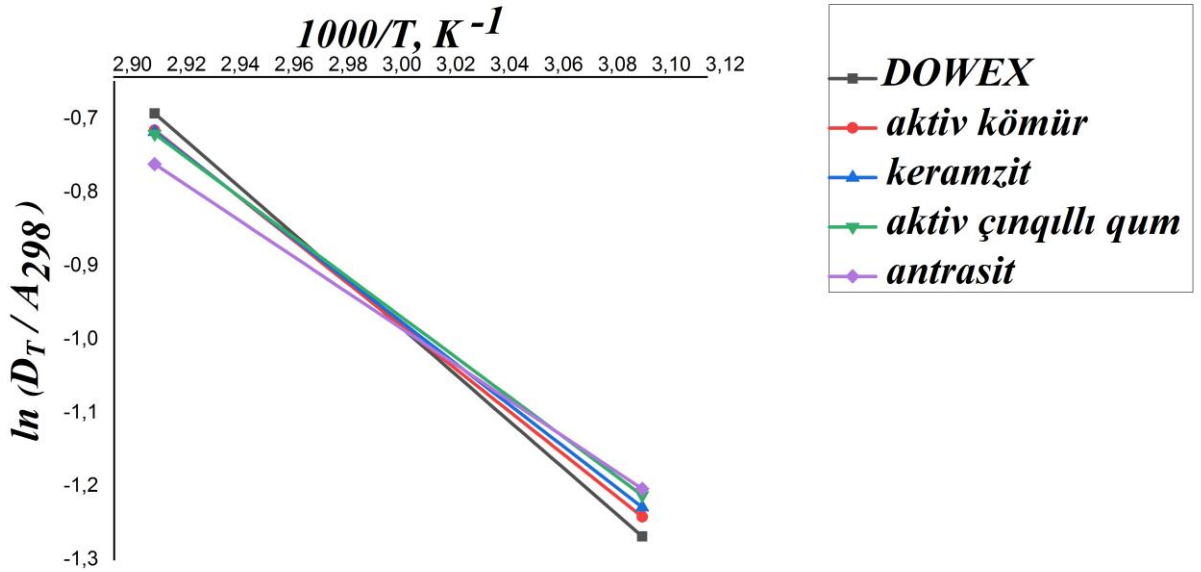
298 K temperaturda uranil nitrat məhlulundan adsorbentə (100 q) adsorbsiya etmiş ^{238}U izotopu atomlarının temperatur artımına mütənasib desorbsiyasını təyin (hər temperaturda adsorbentdəki ^{238}U aktivliyi) etməklə (37) sayılı bərabərliyin yuxarıda qeyd edilmiş adsorbentlər üçün qrafiki interpretasiyası tərtib edilmişdir (bax: Şəkil 3.5.5). 3.5.5 sayılı şəkildəki qrafik asılılıqların tərtib edilməsi üçün 3.5.2 sayılı cədvəldəki desorbsiya dərəcəsinin təcrübi qiymətlərindən istifadə edilmişdir.

3.5.2 sayılı cədvəlin “aktivləşmə enerjisi qiyməti” sütununda tədqiqat işində istifadə edilmiş adsorbentlərdən ^{238}U izotoplarının desorbsiya prosesinin aktivləşmə enerjisinin 3.5.5 sayılı şəkildəki qrafik asılılıqlar əsasında hesablanmış qiymətləri göstərilmişdir.

Cədvəl 3.5.2.

Uranil nitrat məhlullarından ^{238}U izotoplarının tədqiq edilmiş 100 q adsorbentlərdə müxtəlif temperaturlarda adsorbsiyası.

Adsorbentin növü	Otaq temperaturunda adsorbentdə adsorbsiya etmiş ^{238}U izotopunun temperatur artımına mütənasib olaraq qismən desorbsiyası, Bq/100 q.					^{238}U izotopunun adsorbentlərdən desorbsiyasının aktivləşmə enerjisinin qiyməti, E_a (kC/mol).
	298 K	323 K		343 K		
	A_{298}	D_{323}	$\ln(D_{323}/A_{298})$	D_{343}	$\ln(D_{343}/A_{298})$	
DOWEX HCR S/S kationiti	64	18	-1.269	32	-0.693	26.5
Aktivləşdirilmiş kömür	45	13	-1.242	22	-0.716	24.2
Keramzit	41	12	-1.229	20	-0.718	23.5
Çınqıllı qum	37	11	-1.213	18	-0.721	22.6
Antrasit	30	9	-1.204	14	-0.762	20.3



Şəkil 3.5.5. 298 K temperaturda uranil nitrat məhlullarından adsorbentlərə (100 q) adsorbsiya etmiş ²³⁸U izotoplarının temperatur artımına mütənasib desorbsiyası.

$$-E_a/R = [\ln(D_{343}/A_{298}) - \ln(D_{323}/A_{298})]/[(1000/T_1) - (1000/T_2)] = [\ln(18/64) - \ln(32/64)]/[(1000/323) - (1000/343)] = -1.269 - (-0.693)/(3.096 - 2.915) = -0.576/0.181 = -3.18;$$

$$-E_a/R = -3.18; \quad E_a = 3.18 \times 8.3144 = 26.5 \text{ kC/mol}$$

Digər adsorbentlər üçün də eyni alqoritmlə hesablamalar aparıldıqdan sonra təcrübələrdə istifadə edilən bütün adsorbentlər üçün (E_a/R) kəmiyyətinin qiymətinin 2.44-3.19 intervalında və aktivləşmə enerjisinin (E_a) qiymətinin 20.3-26.5 kC/mol intervalında dəyişdiyi müəyyənləşdirildi (bax: Cədvəl 3.5.2).

Bu qiymətlər adsorbsiya prosesinin zəif ekzotermik proses olmasına rəğmən, desorbsiya prosesinin əksinə zəif endotermik proses olduğunu təsdiqləyir.

3.5.2 sayılı cədvəldən görüldüyü kimi DOWEX HCR S/S kationitində otaq temperaturunda (298 K) adsorbsiya etmiş (zəif ekzotermik proses) ²³⁸U izotopunun temperaturun 323 K və 343 K-dək yüksəlməsi nəticəsində qismən desorbsiyası baş verir (zəif endotermik proses). Desorbsiya prosesi üçün təyin edilmiş aktivləşmə

enerjisinin qiymətinin 8-40 kC/mol intervalında olması, təcrübələrdə istifadə edilən bütün 5 növ adsorbentlərdə, o cümlədən DOWEX HCR S/S kationitində adsorbsiya prosesinin fiziki xarakter daşdığı (fiziki sorbsiya), yəni kimyəvi sorbsiya ilə müşayiət olunmadığını, udulan uran izotopları ilə adsorbent arasında yalnız zəif Van-der-Vaals qüvvələrinin mövcud olduğunu göstərir.

Radioaktiv çirklənməyə məruz qalmış və ya radioaktiv buludun yayılma cəbhəsi ilə təmaslanmış ərazilərin, ətraf mühit obyektlərinin, tikililərin, əşyaların, avadanlıqların, texniki yolların, paltarların, silah-sursatların və fərdi müdafiə vasitələrinin, şəxsi heyətin və ya əhalinin ilkin təxirəsalınmaz dezaktivasiya tədbirlərinin aparılması nəzərdə tutulur. Bu məqsədlə hərbi və ya mülki qurumların, mobil dəstələrin, təşkilatların arsenalında mövcud olan bütün səthtəmizləyici, yuyucu vasitələrin istifadəsi nəzərdə tutulur, yəni radioaktiv səthi çirklənməyə məruz qalmış yuxarıda sadalanmış bütün obyektlərin səthlərinin əlaltında olan istənilən süpürücü-üfürücü vasitələrlə (süpürgələr, təmiz kol budaqları, fırçalar, hava üfürücü, kompressor xətti, əski və ya bərk yelpiklər və s.) tozşəkilli radioaktiv çöküntülərdən təmizlənməsi aparılır. Bundan sonra səthlərin su ilə, mövcud olduğu halda səthi-aktiv maddələrin, sulu məhlulları (sabun, yuyucu toz, şampun və.s) və ya sodalı zəif məhlullarla yuyulması nəzərdə tutulur və yalnız bundan sonra təmiz və ya yuyulub-qurudulmuş paltarda mülki-müdafiə qurumları tərəfindən əhalinin təhlükəsiz müvəqqəti daldalanacaqdan yerdəyişmə marşrutları ilə məqsədli təxliyyəsi təşkil edilir. Növbəti təhlükəsizlik tədbirləri fəvqəladə hallar və səhiyyə orqanları tərəfindən həyata keçirilir.

Hərbi kimya-kəşfiyyatı qurumları tərəfindən planlı şəkildə qeyd olunmuş tədbirlərlə yanaşı professional səviyyədə planlı şəkildə hərbi xüsusi texnikanın tətbiqi ilə su və xüsusi resepturalarla şəxsi heyətin çimizdirilməsi, onların paltarlarının yuyulub-qurudulması, fərdi mühafizə vasitələrinin, silah-sursatın və texnikanın növbəli şəkildə xüsusi kimyəvi resepturalarla yüksəktəzyiqli hava-maye seli üfürücü texnikaların köməkliyi ilə növbəli dezaktivasiyası aparılır.

Nüvə materialı (uranil nitratla) çirklənmiş torpaq nümunələrinin təmizlənməsi məqsədilə onların su ilə yuyulması və ya kimyəvi reaktivlərlə ekstraksiyası üsulları

tətbiq edilir.

İlk növbədə tərəfimizdən nüvə materialı ilə çirklənmiş torpaq nümunələrinin daha böyükhəcmli su ilə yuyulması aparılmışdır. Bu zaman uranil nitratin yalnız qismən sulu fazaya keçməsi müşahidə olunmuşdur. Alınmış sulu məhluldakı uranil nitrat duzunun su təmizləmə texnologiyasında geniş istifadə edilən müxtəlif adsorbentlərə (çınqıllı qum, antrasit, aktivləşdirilmiş kömür, ion-mübadilə qətranı DOWEX HCR S/S kationiti) adsorbsiyası qanunauyğunluqlarının öyrənilməsi bu prosesin prototip qismində tətbiq edilmiş reaktivlərlə (H_3PO_4 , H_2SO_4) dezaktivasiya prosesindən kiçik dezaktivasiya əmsalına malik olduğunu, yəni adsorbentlər aparılan dezaktivasiya proseslərin az effektiv və aşağı rentabelli proseslər olduğunu göstərir.

Alınmış qanunauyğunluqlardan görünür ki, eyni növ adsorbentdən istifadə zamanı adsorbentin miqdarının artmasına tərs mütənəsb olaraq məhluldan uranil nitratin azalması baş verir.

Belə ki, tədqiq edilmiş adsorbentlərin tətbiqi ilə aparılmış təmizləmə proseslərinin dezaktivasiya əmsalı (1.01 - 3.75) qiymətlərinə malik olduğu halda elmi ədəbiyyatda təsvir edilmiş digər təmizləmə üsullarının dezaktivasiya əmsalı 4 və daha böyük qiymətlərlə xarakterizə edilir [32, s.1-6; 33, s.1-7; 34, s.1-8; 35, s.1-9].

Yalnız ölkəmizdə təbii xammal ehtiyatları böyük olan keramziddən istifadə, xammalın faktiki havayı başa gəlməsi səbəbindən nisbətən yuxarı rentabelliyi ilə fərqlənir. Lakin, bu halda da prototiplərdə mövcud bir sıra çatışmazlıq, yəni nüvə materialının adsorbsiya edildiyi kütlənin böyük həcmə malik olması kimi çatışmazlıq mövcuddur. Bu çatışmazlıq istehsalat məsələlərində radioaktiv tullantıların basdırılması üçün çox böyük əraziləri, böyük həcmli kanyonların, radioaktiv maddələr üçün yeni və böyük həcmli qəbristanlıqların yaradılmasını tələb edir. Beləliklə, tədqiq edilmiş adsorbentlərdən yalnız təbii, xammal olan keramzitin adsorbent qismində istifadə edilməsi radioaktiv maddələrlə çirklənmiş nisbətən kiçik ərazilərin təmizlənməsi üçün və böyük həcmli radioaktiv maddə qəbristanlıqları mövcud olduğu hallarda mümkündür.

Buna görə növbəti tədqiqatlarda müxtəlif kimyəvi reaktivlərlə daha böyük effektivliyə malik ola bilən dezaktivasiya prosesləri tədqiq edilmişdir.

3.6. 3-cü fəsilə şərh edilmiş tədqiqatların yekun nəticələri

1. Azərbaycan Respublikası ərazisində [5, səh.5] əhali üçün orta illik dozanın icazə verilən qiyməti 1 mZv təşkil edir ki, bu da şüalanma mənbəyi ilə daim təmasda olan (bu ərazidə yaşayan) insanlar üçün udulmuş 0,115 (təxminən 0,12) mkZv/saat doza gücünə proporsionaldır. Ölkə ərazilərində aparılmış radiometrik ölçmələrin nəticələri göstərir ki, ölkənin əksər ərazilərində ümumi radioaktiv şüalanmanın intensivliyi, yəni udulan dozanın gücü (0,03-0,12 mkZv/saat) Yol Verilən Həddi /YVH = 0,12 mkZv/saat/ ötmür. Ölkə rayonlarının torpaqları üçün alfa şüalanma səviyyəsi 0-0,03 Bq_{eq}/sm² təşkil edir. Bununla yanaşı ölkə ərazisində ümumi radioaktiv şüalanmanın udulan doza gücünün (0.15-3.75 mkZv/saat) YVH-dən dəfələrlə yüksək olduğu, alfa şüalanma səviyyəsinin 0.03-0.35 Bq_{eq}/sm² təşkil etdiyi lokal sahələrin mövcud olduğu da aşkar edilmişdir.

2. Tərkiblərində müxtəlif konsentrasiyalarda təbii radioaktiv elementlər aşkar edilmiş torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda nitrat turşusunun və ya natrium qələvisinin, həmçinin nitrat və xlorid turşuları qarışığının distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra aşkar edilmiş dezaktivasiya əmsalları, yəni torpaq nümunələrində izotopların aktivliklərinin (2 - 20 dəfə) kiçilməsi çirklənmiş torpaqların kimyəvi reaktivlərlə dezaktivasiyasının mümkünlüyünü göstərir. Eyni növ adsorbentdən istifadə zamanı adsorbentin miqdarının artmasına tərs mütənasib olaraq məhluldan uranil nitratın azalması baş verir.

3. Nüvə materialı tullantılarının sulu məhlullarından radioizotopların dənəvər aktivləşdirilmiş kömürdə, antrasitdə, çınqıllı qumda, DOWEX HCR S/S kationitində, keramzit kütlələrində adsorbsiyası qanunauyğunluqları öyrənilmişdir. Qeyd edilmiş adsorbentlərdən ən yüksək adsorbsiya xassəsini dənəvər DOWEX HCR S/S kationit (72-75%), aktivləşdirilmiş kömür (50-65%) və keramzit (47-50%) nümunələri, ən zəif adsorbsiya xassəsini isə çınqıllı qum (41%) və dənəvər antrasit (33%) nümunələri göstərmişdir. Tədqiq edilmiş adsorbentlərin tətbiqi ilə aparılmış təmizləmə proseslərinin dezaktivasiya əmsalının (1.05 - 3.75) qiymətlərinin elmi ədəbiyyatda göstərilmiş mövcud təmizləmə üsullarının dezaktivasiya əmsallarından

($D\Theta > 4$) kiçik olmasına baxmayaraq ölkəmizdə təbii xammal ehtiyatları böyük olan keramzitdən istifadə etməklə neftin fiziki təmizlənməsi mərhələsinin və ya digər radiokimyəvi proseslərin tullantı sularının təhlükəsizlik normalarına uyğunlaşdırılması üçün təmizləmə üsulu qismində istifadə edilə bilər.

4. Tədqiq edilmiş adsorbentlərdən temperatur yüksəlməsi ilə baş verən uran izotoplarının desorbsiya prosesinin aktivləşmə enerjisinin (E_a) qiymətinin 20.3-26.5 kC/mol intervalında dəyişdiyi təyin edilmişdir. Bu qiymətlər ekzotermik adsorbsiya prosesinin əksinə olaraq desorbsiya prosesinin zəif endotermik proses olduğunu göstərir. Desorbsiya prosesi üçün təyin edilmiş aktivləşmə enerjisinin qiymətləri təcrübələrdə istifadə edilən bütün 5 növ adsorbentlərdə adsorbsiya prosesinin fiziki xarakter daşdığını (fiziki sorbsiya), udulan uran izotopları ilə adsorbent arasında yalnız zəif Van-der-Vaals qüvvələrinin mövcud olduğunu göstərir.

IV FƏSİL

NÜVƏ MATERIALI TULLANTILARI İLƏ ÇİRKLƏNMİŞ TORPAQLARIN RADIOİZOTOPLARDAN TƏMİZLƏNMƏSİ

Təcrübələr zamanı “analiz üçün kimyəvi təmiz” reaktivlərdən (Merck kqaA /Almaniya/, VWR PROLABO /Fransa/, Lachema /Çexiya/, AO “База №1 Химреактивов” /RF/) istifadə edilmişdir. Analizlər üçün “GFL-2304” bidistillyatorundan alınmış bidistillə suyunda sıxlığı 20°C-də 1.4 q/sm³, 67%-li nitrat turşusunun və kristallik dənəvər natrium hidrogenoksidin 0.2 M, 0.5 M, 1.0 M və 2.0 M, sıxlığı 20°C-də 1.19 q/sm³, 38%-li xlorid turşusunun 0.4 M, 1.0 M, 2.0 M və 4.0 M məhlulları hazırlanmışdır. Uranil nitrat duzunun tərkibində hansı izotopların və hansı qatılıqda olması HPGe detektorlu qamma spektrometriya ilə təyin edilmişdir.

Ölkə rayonlarında aparılmış radiomonitorinqlər zamanı götürülmüş torpaq nümunələrini çəkili 200 qram olmaqla bərabər hissələrə bölündü. Nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş model nümunələr alınması məqsədilə bu torpaq nümunələri uranil nitrat məhlulu ilə qarışdırıldı. Model nümunə qisminə nüvə tullantıları ilə (uranil nitratla) çirkləndirilmiş torpaq (200 q.) nümunələrinə hopdurulmuş uranil nitrat duzu məhlulunda ²³⁸U, ²³⁵U, ^{234,236}U izotoplarının aktivliyinin (aktivlik konsentrasiyasının) 1200:400:20 nisbətində olması təyin edilmişdir.

Bu torpaq nümunələrindən radioizotopların ayrılması üçün nitrat turşusu, xlorid turşusu, natrium hidrogenoksid məhlullarından və distillə suyundan istifadə edilmişdir. Hər bir nümunəni ardıcıl olaraq qeyd edilmiş məhlullarla ekstraksiya etdikdən sonra ekstraktları qarışdırıb buxarlandırmaqla alınmış quru mineralın analitik kimyəvi və spektroskopik analizləri aparılmışdır [18, s.13; 147, s.68-75; 148, s.130-138; 149, s.76-82; 153, s.140; 154, s.62-68; 156, s.34-38; 157, s.196-197; 160, s.132-134].

Radioaktiv maddələr, o cümlədən nüvə materiallarının əsasını təşkil edən elementlər metal xassələrinə malik olduqlarından onların digər qeyri-radioaktiv, stabil metallik xassəli elementlər kimi müxtəlif qatılıqlı nitrat və xlorid turşuları məhlulları ilə reaksiyası, bu turşu məhlullarında və ya onların qarışıqlarında həll olması gözləniləndir.

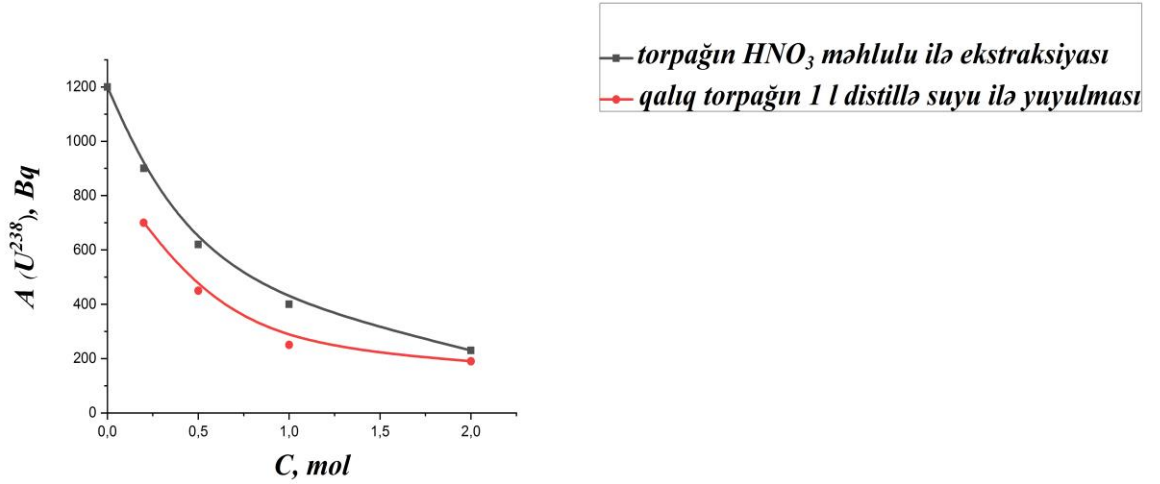
Bu səbəbdən təcrübələrimizdə radionuklidlər üçün ekstraksiya nitrat turşusunun 0.2 M, 0.5 M, 1.0 M və 2.0 M konsentrasiyalı məhlullarından, həmçinin ekstraksiya edilmiş torpaq nümunələri qalıqlarının neytral reaksiyalı xassəsinin bərpası məqsədilə təcrübələrin sonuncu mərhələsində 0.2 M, 0.5 M, 1.0 M və 2.0 M konsentrasiyalı natrium hidrokسيدin sulu məhlulları ilə yenidən ekstraksiya aparılmışdır.

Radionuklidlərin daha effektiv ekstraksiyası məqsədilə tərəfimizdən həmçinin 1:2 nisbətində nitrat və xlorid turşularının sulu məhlullarından istifadə edilmişdir.

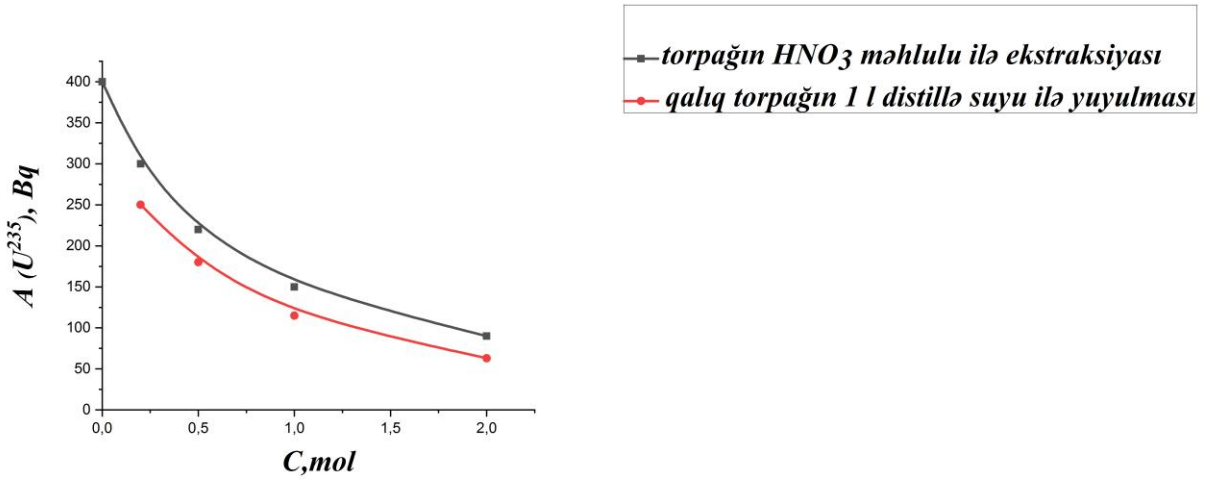
Kimyəvi reaktiv məhlulları ilə reaksiyada həll olmuş radioaktiv maddənin ekstraksiyadan sonra süzülmə zamanı tamamilən məhlula keçməməsini, bir qisminin qalıq torpaqda qalması nəzərə alınaraq reaktivlə ekstraksiyadan sonra torpaq qalığının 1 litr distillə suyu ilə yuyulması, torpaq qalığının və alınmış ekstraktın qamma-spektroskopik analizləri aparılmışdır (bax: paragraf 4.1, 4.2, 4.3, 4.4).

4.1. Nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpaq nümunələrinin nitrat turşusu məhlulları ilə ekstraksiyası

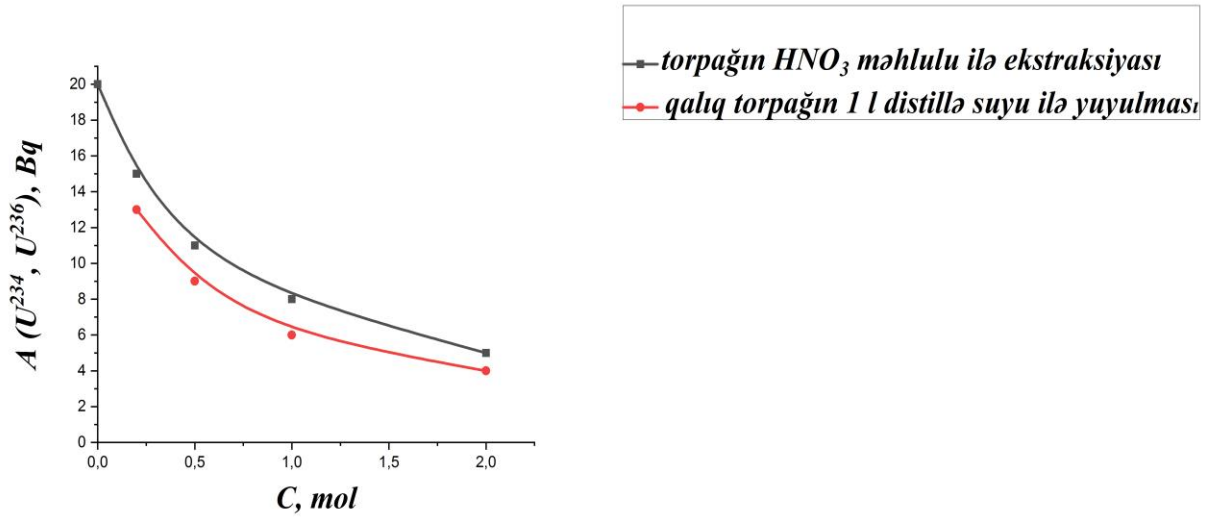
Model nümunə qisminə uranil nitratla çirkləndirilmiş və tərkiblərində ^{238}U , ^{235}U , $^{234,236}\text{U}$ izotoplarının aktivliyi (aktivlik konsentrasiyası) 1200:400:20 nisbətində olan torpaq (200 q.) nümunələrinin nitrat turşusunun sulu məhlulları ilə 2 mərhələli dezaktivasiyası proseslərinin qanunauyğunluqları aşağıdakı şəkillərdə (şəkil 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3 /1-ci mərhələ/, şəkil 4.1.4, 4.1.5, 4.1.6 /2-ci mərhələ/) təqdim edilmişdir.



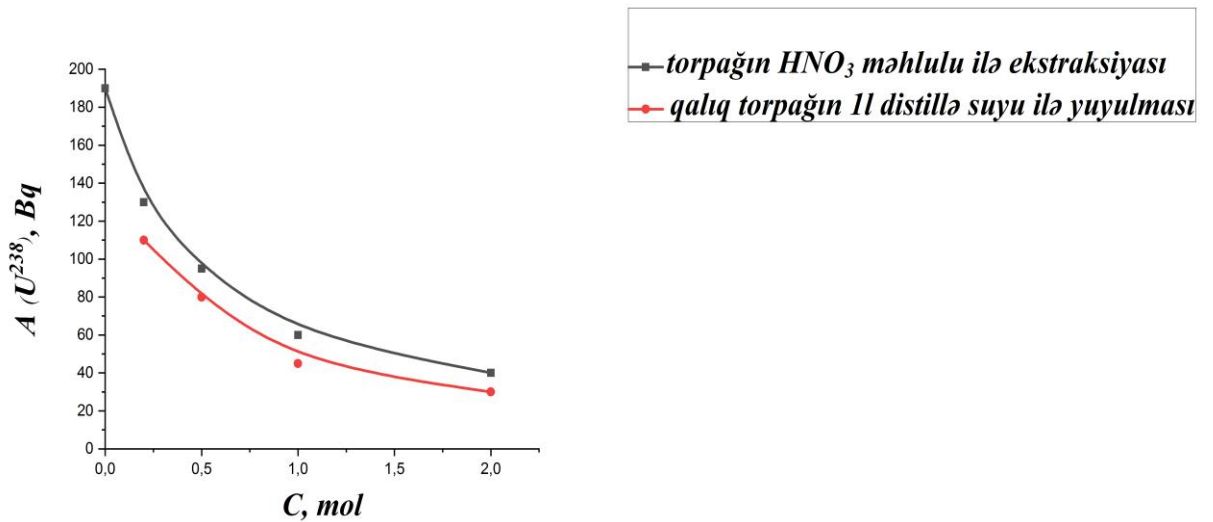
Şəkil 4.1.1. Uranil nitratla çirklənmiş torpaq (200 q.) nümunələrinin nitrat turşusu məhlulu ilə ekstraksiyasından (1 saat) sonra və daha sonra 1 l. distillə suyu ilə yuyulmasından (1 saat) sonra torpaqda ²³⁸U izotopunun miqdarının azalması.



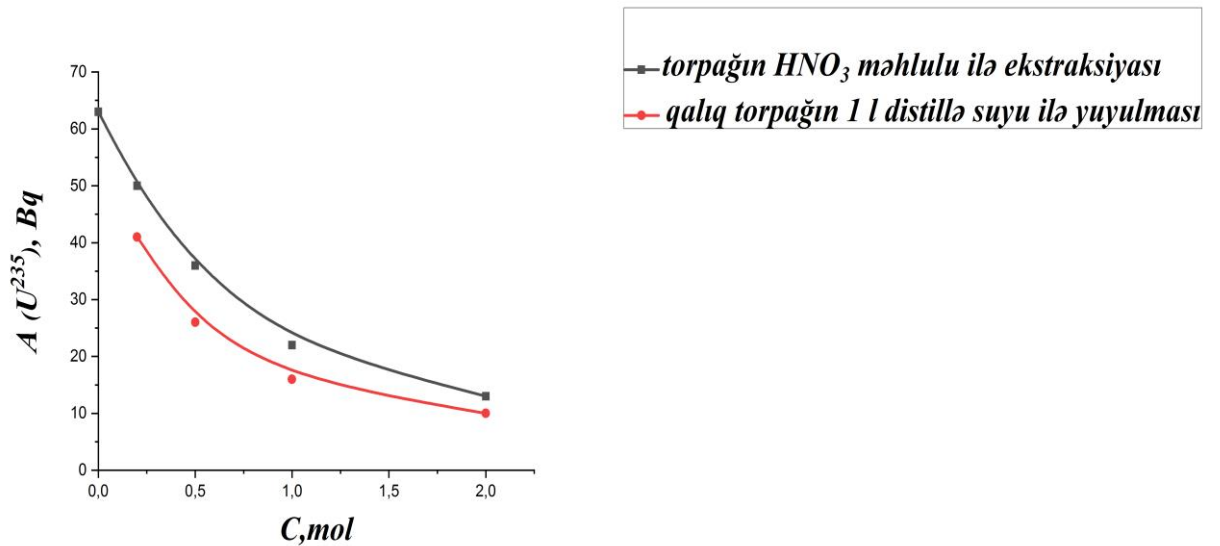
Şəkil 4.1.2. Uranil nitratla çirklənmiş torpaq (200 q.) nümunələrinin nitrat turşusu məhlulu ilə ekstraksiyasından (1 saat) sonra və daha sonra 1 l. distillə suyu ilə yuyulmasından (1 saat) sonra torpaqda ²³⁵U izotopunun miqdarının azalması.



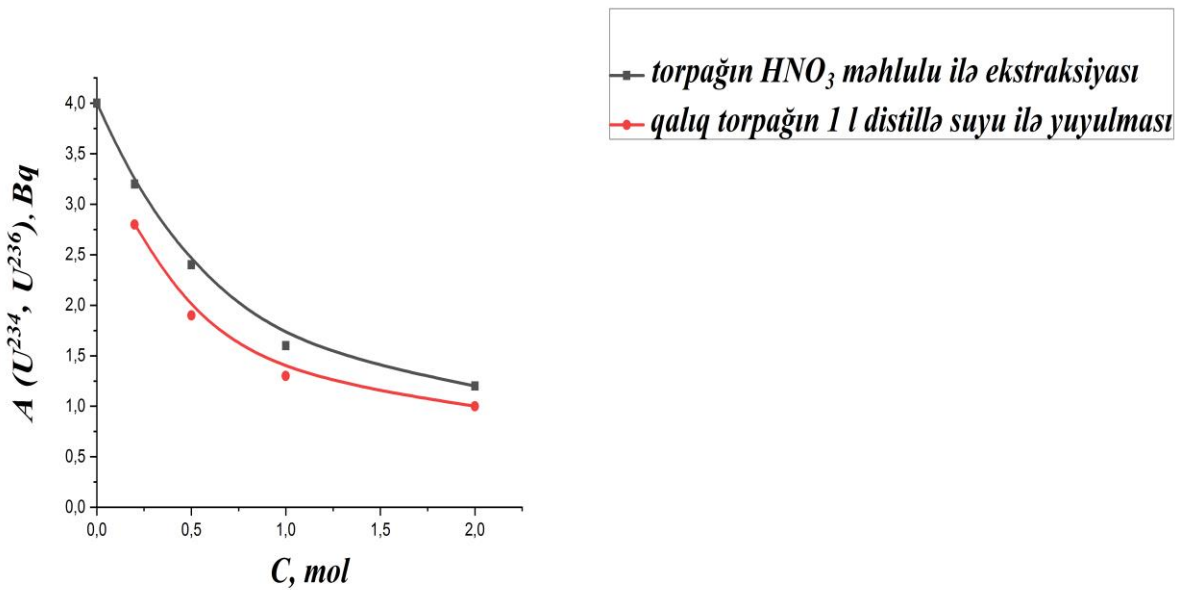
Şəkil 4.1.3. Uranil nitratla çirklənmiş torpaq (200 q.) nümunələrinin nitrat turşusu məhlulu ilə ekstraksiyasından (1 saat) sonra və daha sonra 1 l. distillə suyu ilə yuyulmasından (1 saat) sonra torpaqda ²³⁴U, ²³⁶U izotoplarının miqdarının azalması.



Şəkil 4.1.4. Uranil nitratla çirklənmiş torpaq (200 q.) nümunələrinin nitrat turşusu məhlulu ilə ekstraksiyasından (1 saat) sonra və daha sonra 1 l. distillə suyu ilə yuyulmasından (1 saat) sonra torpaqda ²³⁸U izotopunun miqdarının azalması.



Şəkil 4.1.5. Uranil nitratla çirklənmiş torpaq (200 q.) nümunələrinin nitrat turşusu məhlulu ilə ekstraksiyasından (1 saat) sonra və daha sonra 1 l. distillə suyu ilə yuyulmasından (1 saat) sonra torpaqda ²³⁵U izotopunun miqdarının azalması.

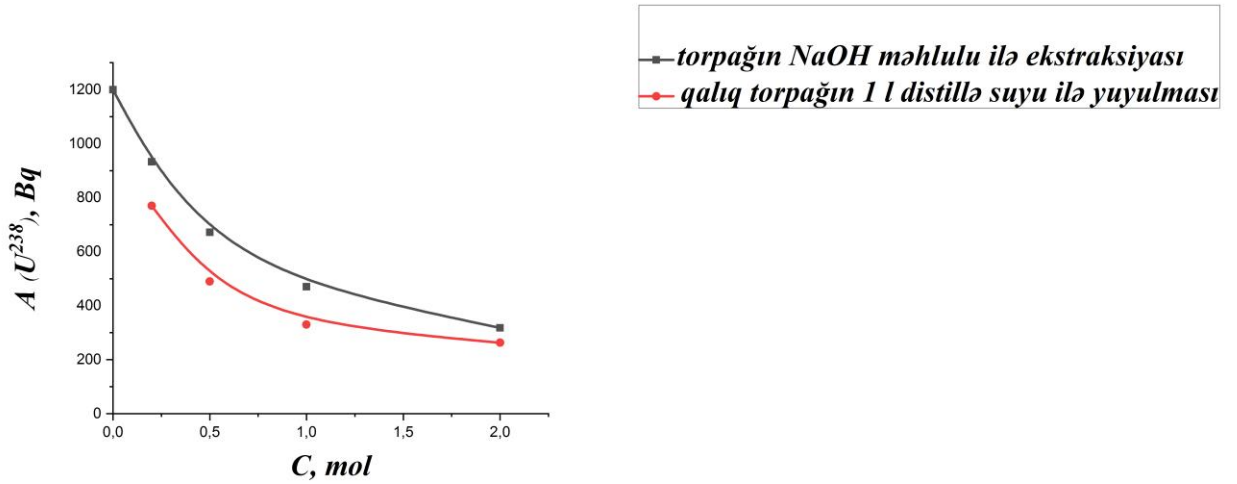


Şəkil 4.1.6. Uranil nitratla çirklənmiş torpaq (200 q.) nümunələrinin nitrat turşusu məhlulu ilə ekstraksiyasından (1 saat) sonra və daha sonra 1 l. distillə suyu ilə yuyulmasından (1 saat) sonra torpaqda ²³⁴U, ²³⁶U izotoplarının miqdarının azalması.

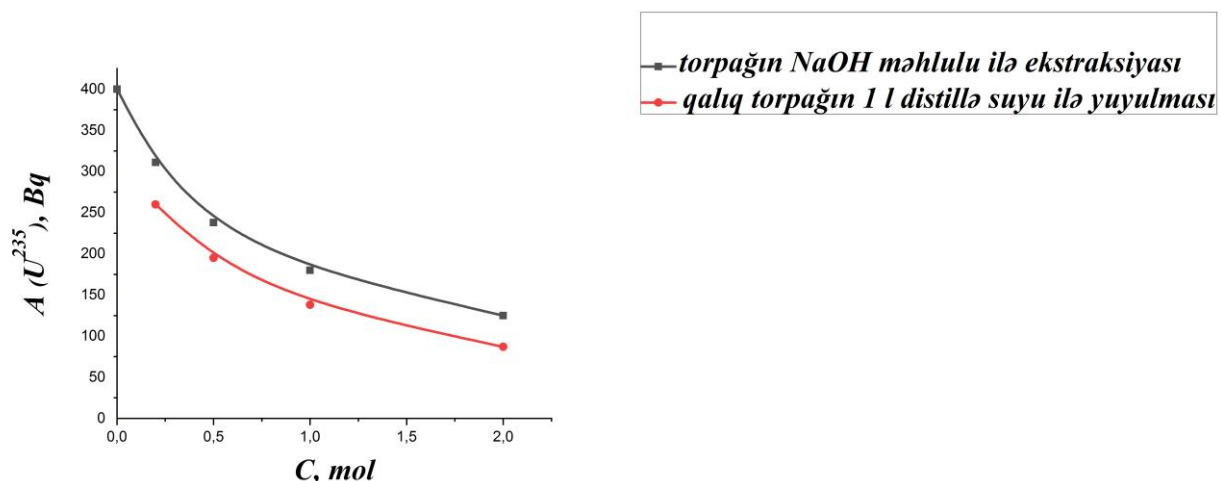
Yuxarıda göstərilmiş uranil nitratla çirkləndirilmiş və tərkiblərində ^{238}U , ^{235}U , $^{234,236}\text{U}$ izotoplarının aktivliyi (aktivlik konsentrasiyası) 1200:400:20 nisbətində olan torpaq (200 q.) nümunələrinin nitrat turşusunun sulu məhlulları ilə 2 mərhələli dezaktivasiyası prosesləri ilə həmin torpaqlarda uran izotoplarının miqdarını 20 dəfəyədək azaltmaq mümkündür.

4.2. Nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpaq nümunəsinin natrium qələvisi məhlulları ilə ekstraksiyası

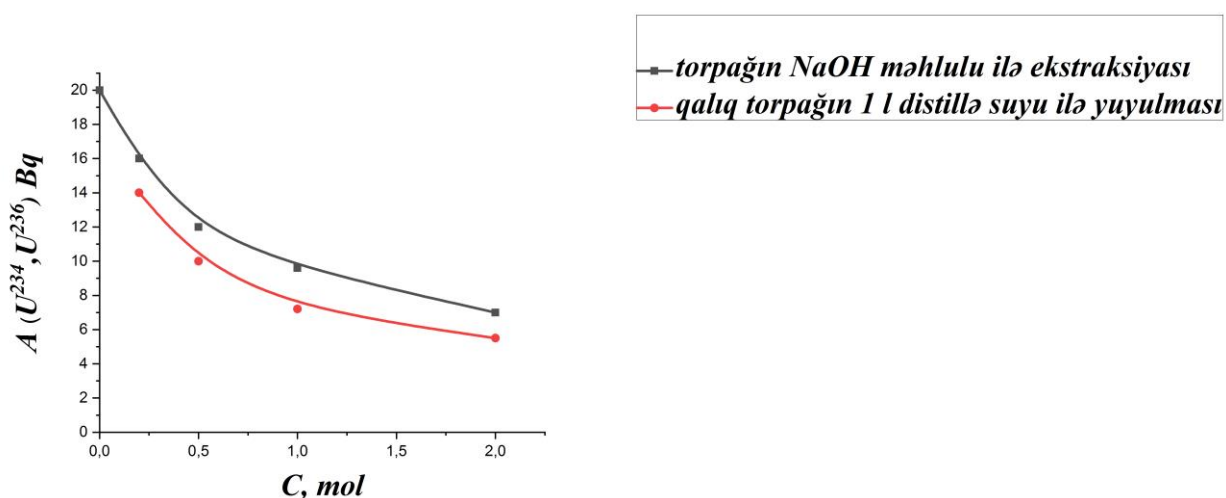
Model nümunə qismində uranil nitratla çirkləndirilmiş və tərkiblərində ^{238}U , ^{235}U , $^{234,236}\text{U}$ izotoplarının aktivliyi (aktivlik konsentrasiyası) 1200:400:20 nisbətində olan torpaq (200 q.) nümunələrinin natrium qələvisinin sulu məhlulları ilə 2 mərhələli dezaktivasiyası proseslərinin qanunauyğunluqları aşağıdakı şəkillərdə (şəkil 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3 /1-ci mərhələ/, şəkil 4.2.4, 4.2.5, 4.2.6 /2-ci mərhələ/) təqdim edilmişdir.



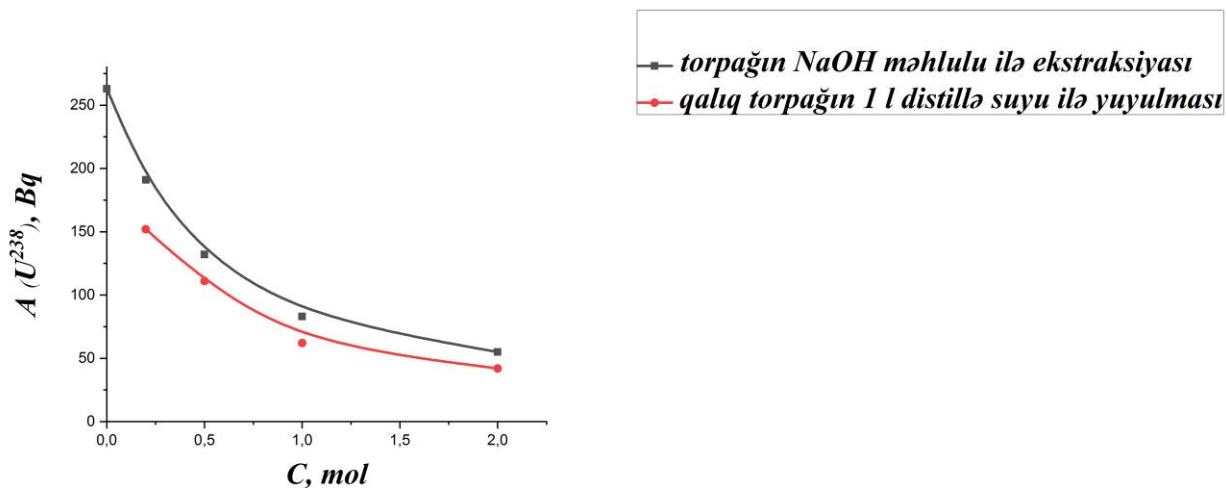
Şəkil 4.2.1. Uranil nitratla çirklənmiş torpaq (200 q.) nümunələrinin natrium qələvisi məhlulu ilə ekstraksiyasından (1 saat) sonra və daha sonra 1 l. distillə suyu ilə yuyulmasından (1 saat) sonra torpaqda ^{238}U izotopunun miqdarının azalması.



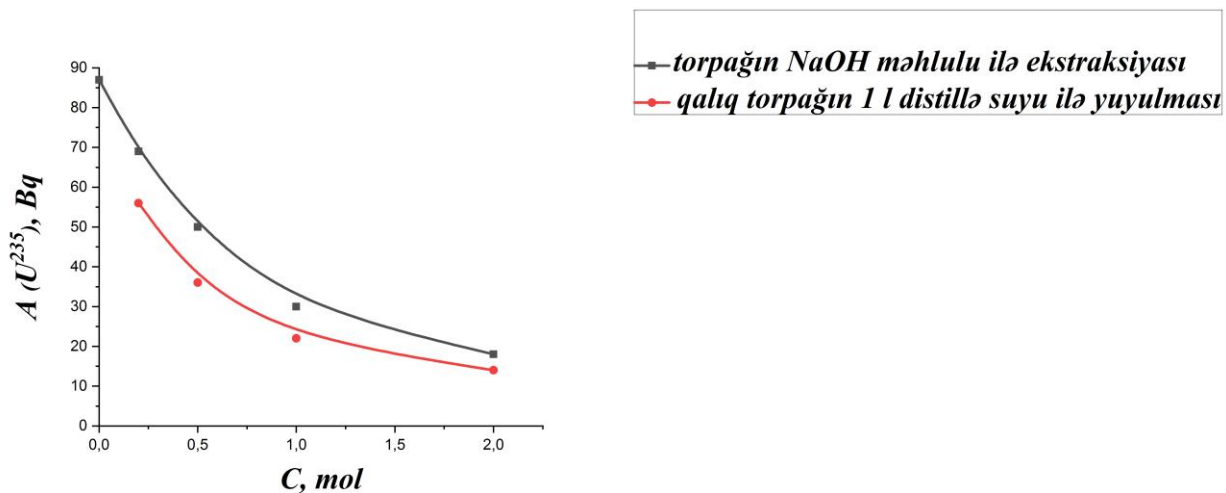
Şəkil 4.2.2. Uranil nitratla çirklənmiş torpaq (200 q.) nümunələrinin natrium qələvisi məhlulu ilə ekstraksiyasından (1 saat) sonra və daha sonra 1 l. distillə suyu ilə yuyulmasından (1 saat) sonra torpaqda ²³⁵U izotopunun miqdarının azalması.



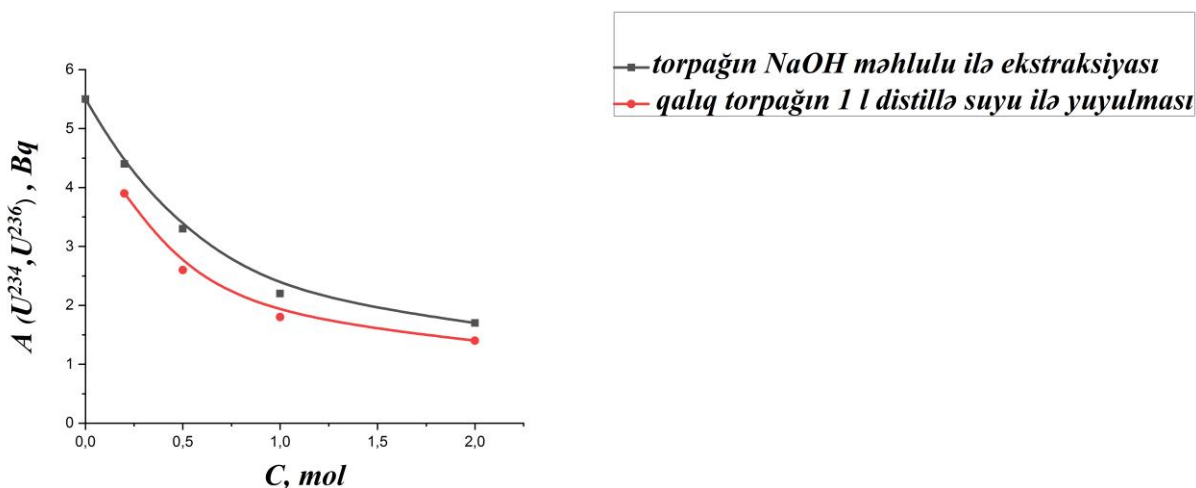
Şəkil 4.2.3. Uranil nitratla çirklənmiş torpaq (200 q.) nümunələrinin natrium qələvisi məhlulu ilə ekstraksiyasından (1 saat) sonra və daha sonra 1 l. distillə suyu ilə yuyulmasından (1 saat) sonra torpaqda ^{234,236}U izotoplarının miqdarının azalması.



Şəkil 4.2.4. Uranil nitratla çirklənmiş torpaq (200 q.) nümunələrinin natrium qələvisi məhlulu ilə ekstraksiyasından (1 saat) sonra və daha sonra 1 l. distillə suyu ilə yuyulmasından (1 saat) sonra torpaqda ^{238}U izotopunun miqdarının azalması.



Şəkil 4.2.5. Uranil nitratla çirklənmiş torpaq (200 q.) nümunələrinin natrium qələvisi məhlulu ilə ekstraksiyasından (1 saat) sonra və daha sonra 1 l. distillə suyu ilə yuyulmasından (1 saat) sonra torpaqda ^{235}U izotopunun miqdarının azalması.

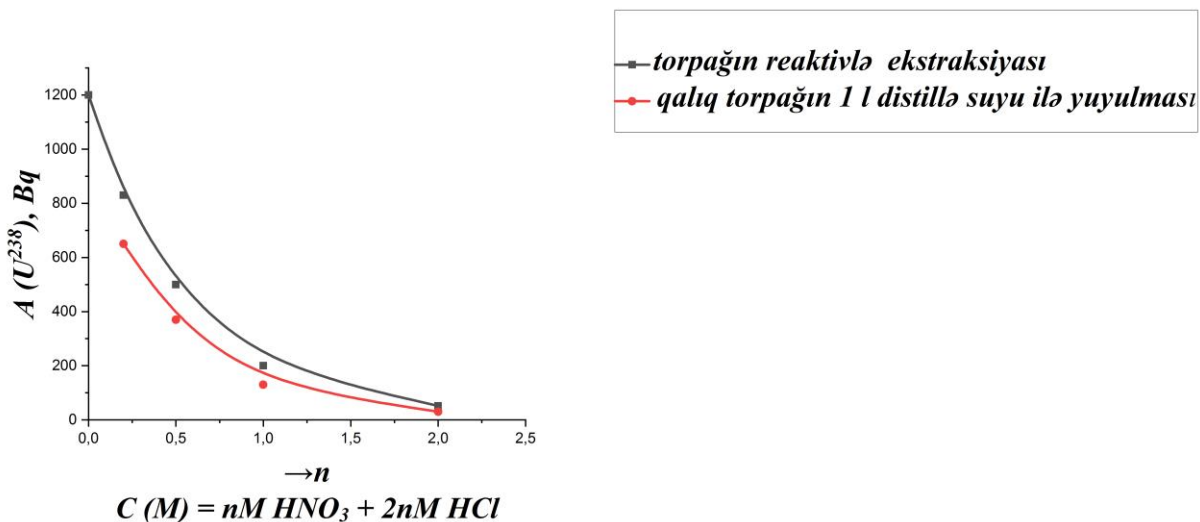


Şəkil 4.2.6. Uranil nitratla çirklənmiş torpaq (200 q.) nümunələrinin natrium qələvisi məhlulu ilə ekstraksiyasından (1 saat) sonra və daha sonra 1 l. distillə suyu ilə yuyulmasından (1 saat) sonra torpaqda $^{234,236}\text{U}$ izotoplarının miqdarının azalması.

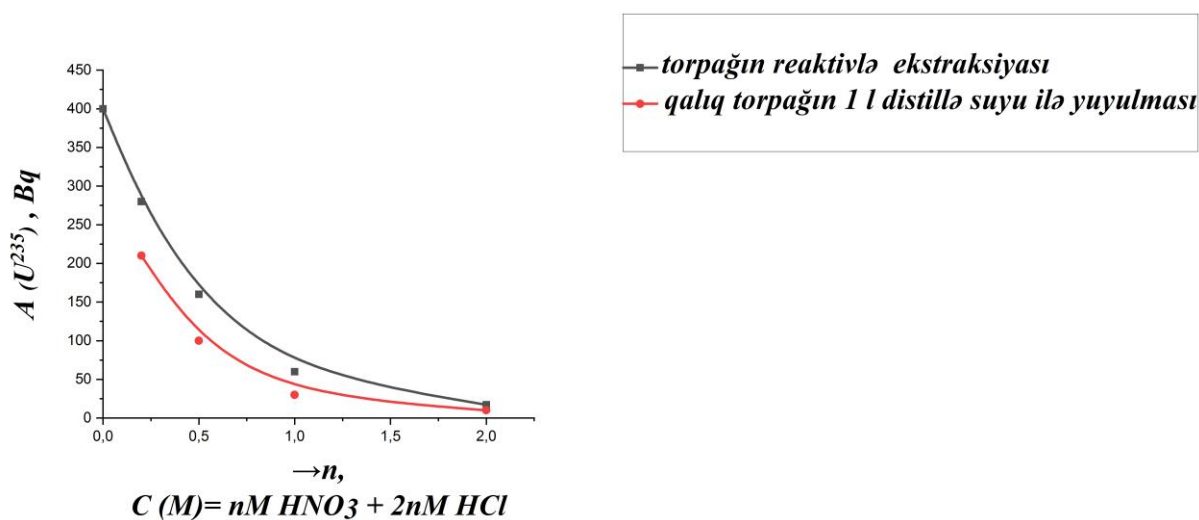
Yuxarıda göstərilmiş uranil nitratla çirkləndirilmiş və tərkiblərində ^{238}U , ^{235}U , $^{234,236}\text{U}$ izotoplarının aktivliyi (aktivlik konsentrasiyası) 1200:400:20 nisbətində olan torpaq (200 q.) nümunələrinin natrium qələvisinin sulu məhlulları ilə 2 mərhələli dezaktivasiyası prosesləri ilə həmin torpaqlarda uran izotoplarının miqdarını 15 dəfəyədək azaltmaq mümkündür.

4.3. Nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpaq nümunəsinin nitrat və xlorid turşuları məhlulları qarışığı ilə ekstraksiyası

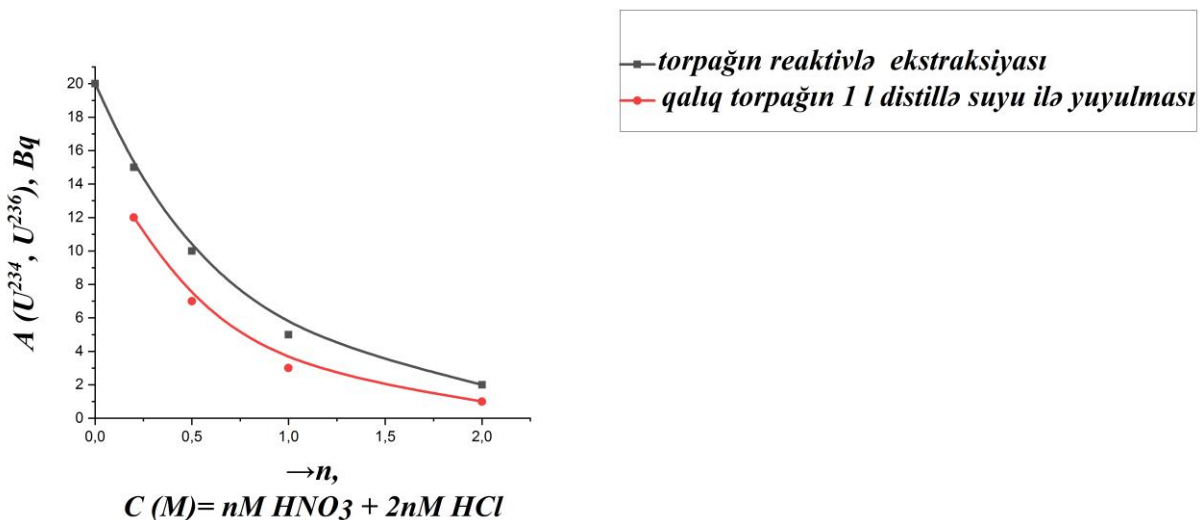
Model nümunə qismində uranil nitratla çirkləndirilmiş və tərkiblərində ^{238}U , ^{235}U , $^{234,236}\text{U}$ izotoplarının aktivliyi (aktivlik konsentrasiyası) 1200:400:20 nisbətində olan torpaq (200 q.) nümunələrinin nitrat və xlorid turşusu məhlulları qarışığı ilə 2 mərhələli dezaktivasiyası proseslərinin qanunauyğunluqları aşağıdakı şəkillərdə (şəkil 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3 /1-ci mərhələ/, şəkil 4.3.4, 4.3.5, 4.3.6 /2-ci mərhələ/) təqdim edilmişdir.



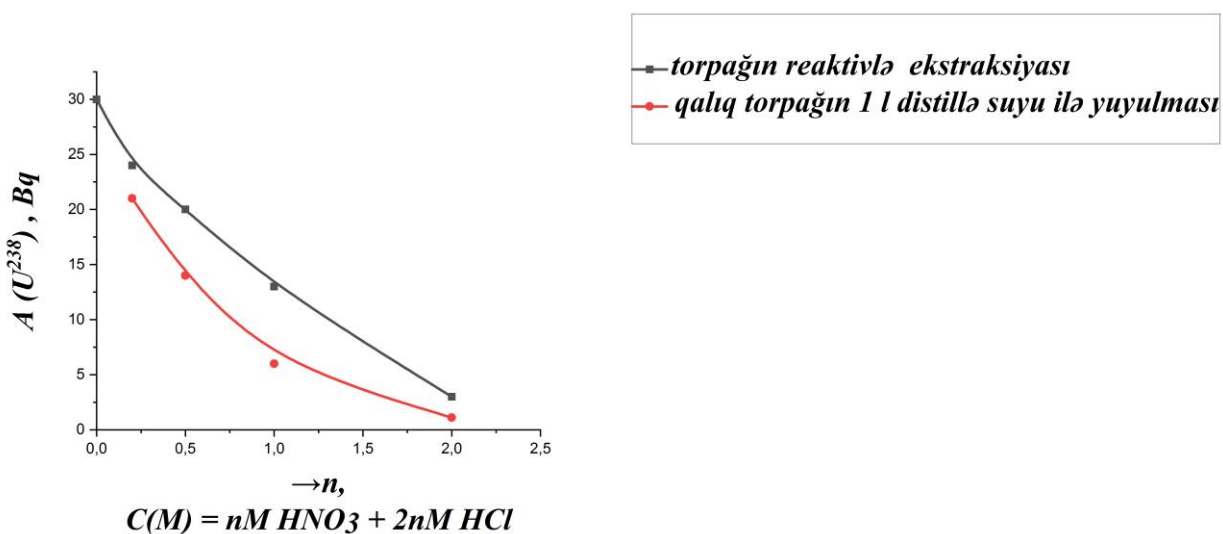
Şəkil 4.3.1. Uranil nitratla çirklənmiş torpaq (200 q.) nümunələrinin nitrat və xlorid turşusu məhlulları qarışığı ilə ekstraksiyası (1 saat) və sonra 1 l. distillə suyu ilə yuyulması (1 saat) nəticəsində torpaqda ^{238}U izotopunun miqdarının azalması.



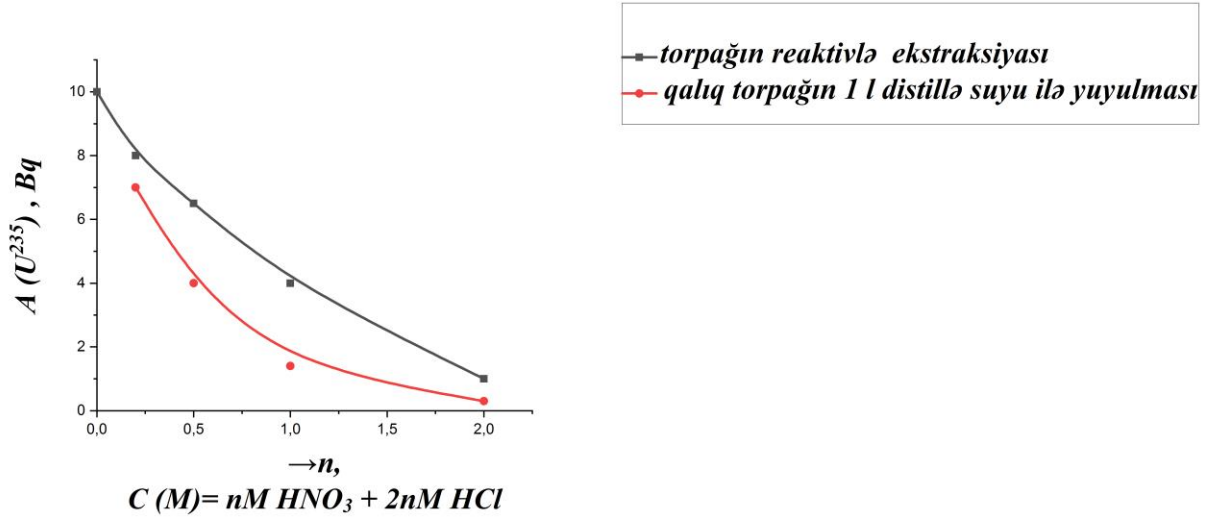
Şəkil 4.3.2. Uranil nitratla çirklənmiş torpaq (200 q.) nümunələrinin nitrat və xlorid turşusu məhlulları qarışığı ilə ekstraksiyası (1 saat) və sonra 1 l. distillə suyu ilə yuyulması (1 saat) nəticəsində torpaqda ^{235}U izotopunun miqdarının azalması.



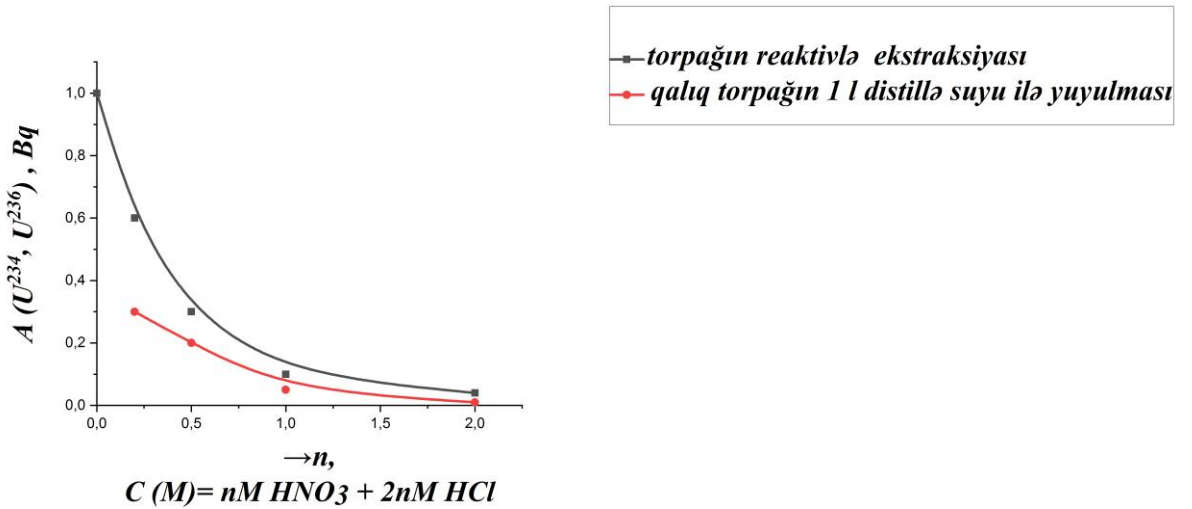
Şəkil 4.3.3. Uranil nitratla çirklənmiş torpaq (200 q.) nümunələrinin nitrat və xlorid turşusu məhlulları qarışığı ilə ekstraksiyası (1 saat) və sonra 1 l. distillə suyu ilə yuyulması (1 saat) nəticəsində torpaqda $^{234,236}U$ izotoplarının miqdarının azalması.



Şəkil 4.3.4. Uranil nitratla çirklənmiş torpaq (200 q.) nümunələrinin nitrat və xlorid turşusu məhlulları qarışığı ilə ekstraksiyası (1 saat) və sonra 1 l. distillə suyu ilə yuyulması (1 saat) nəticəsində torpaqda ^{238}U izotopunun miqdarının azalması.



Şəkil 4.3.5. Uranil nitratla çirklənmiş torpaq (200 q.) nümunələrinin nitrat və xlorid turşusu məhlulları qarışığı ilə ekstraksiyası (1 saat) və sonra 1 l. distillə suyu ilə yuyulması (1 saat) nəticəsində torpaqda ²³⁵U izotopunun miqdarının azalması.



Şəkil 4.3.6. Uranil nitratla çirklənmiş torpaq (200 q.) nümunələrinin nitrat və xlorid turşusu məhlulları qarışığı ilə ekstraksiyası (1 saat) və sonra 1 l. distillə suyu ilə yuyulması (1 saat) nəticəsində torpaqda ^{234,236}U izotoplarının miqdarının azalması.

Yuxarıda göstərilmiş uranil nitratla çirkləndirilmiş və tərkiblərində ^{238}U , ^{235}U , $^{234,236}\text{U}$ izotoplarının aktivliyi (aktivlik konsentrasiyası) 1200:400:20 nisbətində olan torpaq (200 q.) nümunələrinin nitrat və xlorid turşusu məhlulları qarışığı (1 saat) və sonra 1 l. distillə suyu ilə (1 saat) 2 mərhələli dezaktivasiyası prosesləri ilə həmin torpaqlarda uran izotoplarının miqdarını 1100-2000 dəfəyədək azaltmaq mümkündür.

Alınmış qanunauyğunluqlardan görünür ki, çirklənmiş torpaqların ekstraksiyası üçün bir reaktivdən (HNO_3 , HCl və ya NaOH) və ya qarışıqdan ($\text{HNO}_3\text{-HCl}$) istifadə etdikdə reaktivin miqdarının və ya qatılığının artmasına, həmçinin sonra həmin torpağın yuyulduğu suyun miqdarının artmasına tərs mütənəsb olaraq torpaqda radionuklidlərin miqdarının azalması baş verir [148, s.137; 149, s.78-82]. Uranil nitrat tullantıları ilə çirklənmiş torpağın nitrat və xlorid turşusu məhlulları qarışığı və daha sonra distillə suyu ilə (və ya natrium qələvisinin sulu məhlulu ilə) 2 mərhələli dezaktivasiyası prosesinin tək nitrat turşusunun, xlorid turşusunun və ya natrium qələvisinin sulu məhlulları ilə dezaktivasiya ilə müqayisədə, həmçinin mövcud bütün prototiplərlə müqayisədə daha effektiv təmizləmə üsulu olması təyin edilmişdir. Bu üsulla nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpaqların tam dezaktivasiya aparılması mümkün olur.

4.4. Nəticələrin müzakirəsi. Nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpaqların yeni işlənilib hazırlanmış dezaktivasiya metodunun mövcud təmizlənmə metodları ilə müqayisəli analizi

Uranil nitratla çirklənmiş hər birinin çəkisi 200 qram olan torpaq nümunələrinin müxtəlif qatılıqlı nitrat turşusu və natrium qələvisi ilə, həmçinin 1:2 nisbətində nitrat və xlorid turşuları qarışığı ilə ekstraksiyasının qamma-spektroskopiya ilə öyrənilən və izlənən nəticələri 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3 sayılı cədvəllərdə geniş şərh edilmişdir.

Model nümunə qisminə uranil nitratla çirkləndirilmiş və tərkiblərində ^{238}U , ^{235}U , $^{234,236}\text{U}$ izotoplarının aktivliyi (aktivlik konsentrasiyası) 1200:400:20 nisbətində olan torpaq (200 q.) nümunələrinin nitrat turşusunun sulu məhlulları ilə və daha sonra distillə suyu ilə 2 mərhələli dezaktivasiyası proseslərinin (torpağın müvafiq olaraq

1200 Bq aktivliyə malik ^{238}U izotopundan, 400 Bq aktivliyə malik ^{235}U izotopundan və 20 Bq ümumi aktivliyə malik $^{234,236}\text{U}$ izotoplarından təmizlənməsi) effektivlik göstəricilərinin (dezaktivasiya əmsalının) müqayisəli analizləri 4.4.1 sayılı cədvəldə göstərilmişdir.

Model nümunə qismində uranil nitratla çirkləndirilmiş və tərkiblərində ^{238}U , ^{235}U , $^{234,236}\text{U}$ izotoplarının aktivliyi (aktivlik konsentrasiyası) 1200:400:20 nisbətində olan torpaq (200 q.) nümunələrinin natrium qələvisinin sulu məhlulları ilə və daha sonra distillə suyu ilə 2 mərhələli dezaktivasiyası proseslərinin effektivlik göstəricilərinin müqayisəli analizləri 4.4.2 sayılı cədvəldə göstərilmişdir.

Cədvəl 4.4.1.

Uranil nitratla çirklənmiş 200 qram çəkili torpaq nümunələrinin (^{238}U , ^{235}U və $^{234,236}\text{U}$ radioizotoplarının xüsusi aktivliyi müvafiq olaraq 1200, 400 və 20 Bq) nitrat turşusu məhlulu ilə dezaktivasiyasının nəticələri.

HNO ₃ məhlulu, M	1-ci mərhələ				2-ci mərhələ			
	Torpaq nümunəsi HNO ₃ məhlulu ilə 1 saat ərzində ekstraksiya edilir və torpaq qalığı 1 saat ərzində 1 litr distillə suyu ilə yuyulur				Torpaq qalığı HNO ₃ məhlulu ilə 1 saat ərzində ekstraksiya edilir və torpaq qalığı 1 saat ərzində 1 litr distillə suyu ilə yuyulur			
	A ₁ (²³⁸ U),Bq	A ₁ (²³⁵ U),Bq	A ₁ (^{234,236} U),Bq	DƏ ₁	A ₂ (²³⁸ U),Bq	A ₂ (²³⁵ U),Bq	A ₂ (^{234,236} U),Bq	DƏ ₂
0.2	700			1.7	110			10.9
		250		1.6		41		9.8
			13	1.5			2.8	7.1
0.5	450			2.7	80			15.0
		180		2.2		26		15.4
			9	2.2			1.9	10.5
1.0	250			4.8	45			26.7
		115		3.5		18		22.2
			6	3.3			1.3	15.4
2.0	190			6.3	30			40
		63		6.3		10		40
			4	5.0			1.0	20

Cədvəl 4.4.2.

Uranil nitratla çirklənmiş 200 qram çəkili torpaq nümunələrinin (^{238}U , ^{235}U və $^{234,236}\text{U}$ radioizotoplarının xüsusi aktivliyi müvafiq olaraq 1200, 400 və 20 Bq) natrium qələvisi məhlulu ilə dezaktivasiyasının nəticələri.

NaOH məhlulu, M	1-ci mərhələ				2-ci mərhələ			
	Torpaq nümunəsi NaOH məhlulu ilə 1 saat ərzində ekstraksiya edilir və torpaq qalığı 1 saat ərzində 1 litr distillə suyu ilə yuyulur				Torpaq qalığı NaOH məhlulu ilə 1 saat ərzində ekstraksiya edilir və torpaq qalığı 1 saat ərzində 1 litr distillə suyu ilə yuyulur			
	A1 (^{238}U), Bq	A1 (^{235}U), Bq	A1 ($^{234,236}\text{U}$), Bq	DƏ1	A2 (^{238}U), Bq	A2 (^{235}U), Bq	A2 ($^{234,236}\text{U}$), Bq	DƏ2
0.2	730			1.6	152			7.9
		260		1.5		56		7.1
			14	1.4			3.9	5.1
0.5	490			2.5	111			10.1
		195		2.1		36		11.1
			10	2.0			2.6	7.7
1.0	330			3.6	62			19.4
		138		2.9		22		18.2
			7.2	2.8			1.8	11.1
2.0	263			4.6	42			28.6
		87		4.6		14		28.6
			5.5	3.6			1.4	14.3

Model nümunə qisminə uranil nitratla çirkləndirilmiş və tərkiblərində ^{238}U , ^{235}U , $^{234,236}\text{U}$ izotoplarının aktivliyi 1200:400:20 nisbətində olan torpaq (200 q.) nümunələrinin nitrat və xlorid turşusu məhlulları qarışığının və daha sonra distillə suyu ilə 2 mərhələli dezaktivasiyası proseslərinin effektivlik göstəricilərinin müqayisəli analizləri 4.4.3 sayılı cədvəldə göstərilmişdir.

Cədvəl 4.4.3.

Uranil nitratla çirklənmiş 200 qram çəkili torpaq nümunələrinin (^{238}U , ^{235}U və $^{234,236}\text{U}$ radioizotoplarının xüsusi aktivliyi müvafiq olaraq 1200, 400 və 20 Bq) nitrat və xlorid turşuları qarışığı məhlulu ilə dezaktivasiyasının nəticələri.

n, mol (n HNO_3 +2n HCl 1 litr suda)	1-ci mərhələ				2-ci mərhələ				Digər 2-ci mərhələ			
	Torpaq nümunəsi $n\text{HNO}_3+2n\text{HCl}$ məhlulu ilə 1 saat ərzində ekstraksiya edilir və torpaq qalığı 1 saat ərzində 1 litr distillə suyu ilə yuyulur				Torpaq qalığı $n\text{HNO}_3+2n\text{HCl}$ məhlulu ilə 1 saat ərzində ekstraksiya edilir və son torpaq qalığı 1 saat ərzində 1 litr distillə suyu ilə yuyulur				Torpaq qalığı $n\text{HNO}_3+2n\text{HCl}$ məhlulu ilə 1 saat ərzində ekstraksiya edilir və son torpaq qalığı 1 saat ərzində $n\text{NaOH}$ (M) məhlulu ilə ekstraksiya edilir			
	A_1 ^{238}U , Bq	A_1 ^{235}U , Bq	A_1 $^{234,236}\text{U}$, Bq	$D\Theta_1$	A_2 ^{238}U , Bq	A_2 ^{235}U , Bq	A_2 $^{234,236}\text{U}$, Bq	$D\Theta_2$	A_2' ^{238}U , Bq	A_2' ^{235}U , Bq	A_2' $^{234,236}\text{U}$, Bq	$D\Theta_2'$
0.2	650			1.85	21			57	17			70
		210		1.9		7		57		5		80
			12	1.7			0.3	70			0.2	100
0.5	370			3.3	14			85	11			110
		100		4.0		4		100		3		133
			7	2.9			0.2	100			0.1	200
1.0	130			9.2	6			200	4			300
		30		13		1.4		333		1		400
			3	6.7			0.05	400			0.03	667
2.0	30			40	1.1			1100	1			1200
		10		40		0.3		1330		0.3		1330
			1	20			0.01	2000			0.01	2000

Qeyd: A_i – torpaq nümunəsinin işlənmə mərhələlərindən sonrakı qalıqlarında Cs izotoplarının xüsusi aktivliyi;

$D\Theta_i$ – torpaq nümunəsinin işlənmə mərhələlərindən sonra dezaktivasiya əmsalı (ilkin torpaq nümunəsinin xüsusi aktivliyinin işlənmə mərhələsindən sonrakı torpaq qalığının xüsusi aktivliyinə nisbəti).

Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpağın nitrat və xlorid turşusu məhlulları qarışığı və daha sonra distillə suyu ilə (və ya natrium qələvisin sulu məhlulu ilə) 2 mərhələli dezaktivasiyası prosesinin tədqiq edilmiş müxtəlif reaktivlərlə (nitrat turşusunun, xlorid turşusunun, natrium qələvisinin müxtəlif qatılıqlı sulu məhlulları) dezaktivasiya prosesləri ilə və mövcud

bütün prototiplərlə müqayisədə daha böyük dezaktivasiya əmsalına malik olması təyin edilmişdir.

4.5. Nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpağın işlənilib hazırlanmış yeni dezaktivasiya metodunun tətbiqinin effektivliyinin texniki-iqtisadi əsaslandırılması

Dissertasiyanın 1-ci fəslində elmi ədəbiyyatda dərc edilmiş ^{137}Cs izotopları ilə çirklənmiş torpaq nümunələrinin təmizlənməsi üsulları arasında ən böyük dezaktivasiya əmsalı ilə ($D\Theta=830$) seçilən və yüksək effektivliyə malik 3 mərhələli dezaktivasiya metodu (bax: cədvəl 1.5.2) təsvir edilmişdir [34, s.7]. Göründüyü kimi prosesin reallaşdırılması üçün sulfat və fosfat turşularının sulu məhlullarından istifadə edilmişdir. ^{137}Cs izotopları ilə çirklənmiş torpaq nümunələrindən şüalanma aktivliyinin (299 kBq/kq) 830 dəfə azaldılması ($D\Theta=830$) məqsədilə 1-ci mərhələdə 60 qram torpaq kütləsinin 90°C temperaturadək qızdırılmış 2M H_2SO_4 və 0.5M H_3PO_4 sulu məhlulları ilə 7 saat ərzində ekstraksiyası aparılmış 1-ci mərhələdən sonra çirklənmiş torpaqdan şüalanma aktivliyi 16.3 dəfə azalmışdır ($D\Theta_1=16.3$). 2-ci mərhələdə torpağın su-qravitasiya separasiyası üsulu ilə qumsal və narın-dispers (gil) fraksiyalara ayrılması nəticəsində ümumi torpaq kütləsinin 3.8%-ni təşkil edən və izotoplarla daha zəngin ikinci (narın-dispers gil) fraksiyanın birbaşa nüvə tullantıları qəbristanlığına göndərilmişdir. Nəticədə 2-ci mərhələnin dezaktivasiya əmsalının qiyməti 25.7-dək artmışdır. 3-cü mərhələdə torpağın qalıq qumsal fraksiyasının 10 seksiyalı perkolyasiya qurğusunda 90°C temperaturda 2M H_2SO_4 məhlulu ilə 24 saat ərzində ekstraksiyasından sonra qalıq torpaqdan şüalanma aktivliyinin 830 dəfəyədək azalması müəyyənləşdirilmişdir.

Tərəfimizdən işlənilib hazırlanmış nüvə materialı tullantıları ilə (uranil nitratla) çirklənmiş torpaq nümunələrinin kimyəvi reaktivlərlə (nitrat və xlorid turşuları və natrium qələvisi məhlulları) dezaktivasiya üsulu daha yüksək dezaktivasiya əmsalı ($D\Theta_i=1200-2000$) ilə xarakterizə olunur. Prosesin 1-ci mərhələsində 200 qram torpaq kütləsi otaq temperaturunda 2M HNO_3 və 4M HCl turşularının sulu məhlulları

qarışıqı ilə 1 saat ərzində ekstraksiya edilmiş (məhlul filtdən süzülmüşdür), sonra 1 litr distillə edilmiş su ilə 1 saat ərzində yuyulub süzülmüşdür və qalıq torpağın analizi aparılmışdır. 2-ci mərhələdə otaq temperaturunda qalıq torpaq eyni miqdarda qarışıq məhlulla (2M HNO₃ və 4M HCl turşularının sulu məhlulları qarışıqı) 1 saat ərzində ekstraksiya edilmiş (məhlul filtdən süzülmüşdür), sonra qalıq torpaq 1 saat ərzində 2M NaOH məhlulu ilə yuyulmuşdur. Hər iki mərhələdə torpağın ekstraksiyasından sonra süzülüb yığılmış 2M HNO₃ və 4M HCl turşularının sulu məhlulları qarışıqı qalığında (1-ci mərhələdə 1 litr distillə suyu ilə qalıq torpağın yuyulmasından sonra süzülüb ayrılmış su qalığında və 2-ci mərhələdə 2M NaOH məhlulu ilə qalıq torpağın yuyulmasından sonra süzülüb ayrılmış qələvi məhlulu qalığında) həll olmuş uranil nitrat duzunun tərkibindəki ²³⁸U, ²³⁵U, ^{234,236}U izotopları maye fazanın tam buxarlandırılması ilə və ya məhlulların üzərinə 10 ml 10⁻³ M konsentrasiyalı kalium ferrosianid məhlulu əlavə etməklə,- mineral şəklinə salınaraq radioaktiv tullantılar anbarına göndərilir.

Müqayisəli analiz üçün istifadə edilən və həmçinin, tərəfimizdən işlənilib hazırlanmış dezaktivasiya prosesləri üçün istifadə edilmiş reaktivlərin istehsalçıları və topdansatış qiymətləri haqqında məlumatlar aşağıda göstərilmişdir:

- Rusiya Federasiyası “MR MAGNA” MMC-nin Rusiyada (Kazan, Ufa, Samara, Nijniy Novqorod, Stavropol, Çelyabinsk /“Texnoximiya”/) və Azərbaycanda topdansatış qiymətlə satdığı “texniki” (QOST 2184-2013) sulfat turşusu 6500-12900 Rubl/ton, “kimyəvi təmiz” (QOST 4204-77) sulfat turşusu 12900-26500 Rubl/ton qiymətinə təklif edilir. Digər ölkələrin istehsal etdiyi müvafiq reaktivlər daha baha qiymətlərlə təklif edilir.

- Rusiya Federasiyası “Ximspetsializatsiya” MMC-nin Rusiyada (Yaroslavl), Qazaxstanın Ust-Kamenenoqorskda və Azərbaycanda topdansatış qiymətlə satdığı “texniki” (QOST 7664-38-2, 73-75%) ortofosfat turşusu 85000-86000 Rubl/ton, “termiki yeyinti sənayesi üçün - kimyəvi təmiz” (QOST 10678-76, 85-96%) fosfat turşusu 151000 Rubl/ton qiymətinə təklif edilir. Digər ölkələrin istehsal etdiyi müvafiq reaktivlər daha baha qiymətlərlə təklif edilir.

- Rusiya Federasiyası “MR MAGNA” MMC-nin Rusiyada və Azərbaycanada topdansatış qiymətlə satdığı 73%-li “OCT 113-03-265-90” tələblərinə uyğun “kimyəvi təmiz” nitrat turşusunun 1 tonu 32500 Rusiya rubluna təklif edilir. Digər ölkələrin istehsal etdiyi müvafiq reaktivlər daha baha qiymətlərlə təklif edilir.

- Rusiya Federasiyası “LenReaktiv” və “MR MAGNA” MMC-nin Rusiyada və SNQ ölkələrində topdansatış qiymətlə satdığı 35%-li “QOST 857-95” tələblərinə uyğun “təmiz, kimyəvi təmiz, analiz üçün təmiz” xlorid turşusunun 1 tonu 18500 Rusiya rubluna təklif edilir. Digər ölkələrin istehsal etdiyi müvafiq reaktivlər daha baha qiymətlərlə təklif edilir.

- Rusiya Federasiyası “MR MAGNA” MMC-nin Rusiyada və SNQ ölkələrində topdansatış qiymətlə satdığı “təmiz, kimyəvi təmiz, analiz üçün təmiz” dənəvər-kristallik natrium qələvisinin 1 tonu 23900-24300 Rusiya rubluna təklif edilir. Digər ölkələrin istehsal etdiyi müvafiq reaktivlər daha baha qiymətlərlə təklif edilir.

Elmi ədəbiyyatda təsvir edilmiş mövcud ən effektiv dezaktivasiya üsulunun tətbiqi ilə şüalanma aktivliyi (299 kBq/kq) olan ^{137}Cs izotopları ilə çirklənmiş torpaq nümunələrinin 60 qramının dezaktivasiyası ($D\Theta=830$) məqsədilə torpaq kütləsinin 90°C temperaturadək qızdırılmış 2M H_2SO_4 və 0.5M H_3PO_4 sulu məhlulları ilə 7 saat ərzində ekstraksiyası aparılmış və çirklənmiş torpaqdan şüalanma aktivliyi 16.3 dəfə azalmışdır, ($D\Theta_1=16.3$). 2-ci mərhələdə torpağın su-qravitasiya separasiyası üsulu ilə qumsal və narın-dispers (gil) fraksiyalara ayrılması nəticəsində ümumi torpaq kütləsinin 3.8%-ni təşkil edən və izotoplarla daha zəngin ikinci (narın-dispers gil) fraksiyanın birbaşa nüvə tullantıları qəbristanlığına göndərilmişdir, yəni 2-ci mərhələnin dezaktivasiya əmsalının qiyməti 25.7-dək artmışdır. 3-cü mərhələdə torpağın qalıq qumsal fraksiyasının 10 seksiyalı perkolyasiya qurğusunda 90°C temperaturda 2M H_2SO_4 məhlulu ilə 24 saat ərzində ekstraksiyasından sonra qalıq torpaqdan şüalanma aktivliyinin 830 dəfəyədək azalması müəyyənləşdirilmişdir.

Nüvə materialı ilə çirklənmiş torpaq ərazisinin üst layının dezaktivasiyasının aparılması üçün tələb olunan maliyyə sərfiyyatı aşağıdakı enerjidaşıyıcılara, əməliyyatlara, reaktivlərə, anbarlara sərf edilən maliyyə xərclərinin cəmi kimi təyin edilir [204, s.9-11]:

$$S = \tau + E + R + \Delta s \quad (38)$$

burada

S – dezaktivasiya aparılması görülcək bütün işlərə sərf edilən və radiasiya təhlükəsizliyinin təmin edilməsi üçün zəruri maliyyə vəsaitinin (valyuta) ümumi miqdarı (RF Rublu və ya AZN ilə);

τ – dezaktivasiya aparılmasına sərf edilən iş saatlarının valyuta ekvivalenti (RF Rublu və ya AZN ilə);

E – dezaktivasiya aparılmasına, torpaq qazıntı və daşınma işlərinə sərf edilən enerjinin valyuta ekvivalenti (RF Rublu və ya AZN);

R – dezaktivasiya aparılmasına sərf edilən reaktivlərin valyuta ekvivalenti ilə dəyəri (RF Rublu və ya AZN ilə);

Δs – dezaktivasiya nəticəsində torpaqdan ayrılmış radioaktiv maddənin və ya radionuklidlərlə zənginləşdirilmiş torpaq fraksiyasının nüvə tullantıları saxlanclarında (“qəbristanlığında”) saxlanma xərclərinin valyuta ekvivalenti ilə dəyəri (RF Rublu və ya AZN ilə).

^{137}Cs izotopları ilə çirklənmiş 60 qram torpaq nümunələrinin 830 dəfəyədək dezaktivasiyasının aparılması üçün:

- 7 saat iş vaxtı sərf edilmişdir (7000 RF Rublu və ya 105 AZN);

- torpaq nümunələrinin 7 saat ərzində 90°C temperaturadək qızdırılmış 2M H_2SO_4 və 0.5M H_3PO_4 sulu məhlulları ilə ekstraksiyası aparılmışdır, yəni məhlulun qızdırılmasına $1.4 \text{ kVts} \times 7 \text{ saat} = 9.8 \text{ kVt}$ elektrik enerjisi sərf edilmişdir. Bu enerjinin ölkəmizdə müəssisələr üçün satış qiyməti $0.13 \times 9.8 = 1.3$ AZN (87 RF Rublu) təşkil edir;

60 qram çirklənmiş torpağın 1-ci mərhələdə dezaktivasiyasına (ekstraksiyasına) 2M H_2SO_4 və 0.5M H_3PO_4 sulu məhlulları, yəni çirklənmiş torpağın təmizlənməsi üçün cəmi 196 qram sulfat turşusu ($(13\text{-:}-26.5) / 5 = 2.6\text{-:}-5.3$ RF Rublu və ya $0.04\text{-:}-0.08$ AZN), 49 qram fosfor turşusu ($86/20 = 4.3$ RF Rublu və ya 0.07 AZN) sərf edilmişdir. Bu göstəricilər 200 qram çirklənmiş torpaq üçün müvafiq olaraq 653 q sulfat turşusu ($8.7\text{-:}-17.7$ RF Rublu və ya $0.13\text{-:}-$

0.27 AZN), 163 qram fosfor turşusu (14.3 RF Rublu və ya 0.23 AZN) təşkil edirlər;

2-ci mərhələdə su-qravitasiya üsulu ilə torpağın 3.8%-ni təşkil edən izotoplarla daha zəngin narın-dispers gil fraksiyanın ayrılaraq birbaşa nüvə tullantıları qəbristanlığına göndərilməsi üçün 3 saat iş vaxtı (3000 RF Rublu və ya 45 AZN), 6 kVt elektrik enerjisi sərf edilmişdir. Bu enerjinin ölkəmizdə müəssisələr üçün satış qiyməti 0.8 AZN (54 RF Rublu) təşkil edir (torpağın 3.8%-ni təşkil edən izotoplarla daha zəngin narın-dispers gil fraksiyanın nüvə tullantıları qəbristanlığında saxlanması xərcləri fasiləsiz artan xərclərə aiddir);

3-cü mərhələdə 24 saat iş vaxtı sərf edilmişdir (24000 RF Rublu və ya 360 AZN). Bu mərhələdə torpaq nümunələrinin 24 saat ərzində 90°C temperaturadək qızdırılmış 2M H₂SO₄ sulu məhlulu ilə ekstraksiyası aparılmışdır, yəni məhlulun qızdırılmasına 34 kVt elektrik enerjisi sərf edilmişdir. Bu enerjinin ölkəmizdə müəssisələr üçün satış qiyməti 4.5 AZN (300 RF Rublu) təşkil edir; 60 qram çirklənmiş torpağın 3-cü mərhələdə dezaktivasiyasına (ekstraksiyasına) 2M H₂SO₄ sulu məhlulu, yəni çirklənmiş torpağın təmizlənməsi üçün cəmi 196 qram sulfat turşusu ((13:-26.5) / 5 = 2.6:-5.3 RF Rublu və ya 0.04-0.08 AZN) sərf edilmişdir. Bu göstəricilər 200 qram çirklənmiş torpaq üçün müvafiq olaraq 653 q sulfat turşusu üçün 8.7:-17.7 RF Rublu və ya 0.13:-0.27 AZN təşkil edirlər;

Beləliklə, ¹³⁷Cs izotopları ilə çirklənmiş 60 qram torpaq nümunələrinin 830 dəfəyədək dezaktivasiyasının aparılması üçün $\tau = 7000 + 3000 + 24000 = 34000$ RF Rublu və ya $\tau = 105 + 45 + 360 = 510$ AZN dəyərində iş vaxtına, $E = 87 + 54 + 300 = 441$ RF Rublu və ya $E = 1.3 + 0.8 + 4.5 = 6.6$ AZN dəyərində enerjiyə və $R = 5.3 + 4.3 + 5.3 = 14.9$ RF Rublu və ya $R = 0.08 + 0.07 + 0.08 = 0.23$ AZN dəyərində reaktivlərə maliyyə sərfiyyatı tələb olunur;

¹³⁷Cs izotopları ilə çirklənmiş 20 ton = 20000000 q torpaq nümunələrinin 830 dəfəyədək dezaktivasiyasının aparılması üçün $7000 + 3000 + 24000 = 34000$ RF Rublu və ya $105 + 45 + 360 = 510$ AZN dəyərində iş vaxtına, $441 \times 20000000/2000 = 4410000$ RF Rublu və ya 66000 AZN dəyərində enerjiyə (eyni

həcmli sobada olan 2 kq torpağın və ya 60 q torpağın 90°C qızdırılmasına şəbəkədən təqribən eyni enerji sərf edilir) və $14.9 \times 20000000/60 = 4966667$ RF Rublu və ya $0.23 \times 20000000/60 = 76667$ AZN dəyərində reaktivlərə maliyyə sərfiyyatı tələb olunur;

^{137}Cs izotopları ilə çirklənmiş 2000 ton = (20×100) ton və ya 1 ha = 10000 m² torpaq ərazinin 15 sm dərinliyində çirklənmiş üst layının 830 dəfəyədək dezaktivasiyasının aparılması üçün $34000 \times 100 = 3400000$ RF Rublu və ya $510 \times 100 = 51000$ AZN dəyərində iş vaxtına, $4410000 \times 100 = 441000000$ RF Rublu və ya $66000 \times 100 = 6600000$ AZN dəyərində enerjiyə və $4966667 \times 100 = 496666700$ RF Rublu və ya $76667 \times 100 = 7666700$ AZN dəyərində reaktivlərə maliyyə sərfiyyatı tələb olunur.

Uranil nitratla çirklənmiş 200 qram torpaq nümunəsinin 1200-2000 dəfəyədək (^{238}U izotopu üçün DƏ=1200, ^{235}U izotopu üçün DƏ=1333, $^{234,236}\text{U}$ izotopları üçün DƏ=2000) dezaktivasiyasının aparılması üçün:

- 4 saat iş vaxtı sərf edilmişdir (4000 RF Rublu və ya 60 AZN);
- torpaq nümunələrinin ekstraksiyası otaq temperaturunda aparılmışdır, yəni məhlulun qızdırılmasına enerji sərf edilməmişdir;
- 200 qram çirklənmiş torpağın 2 mərhələdə dezaktivasiyasına (ekstraksiyasına) 4 M HNO₃, 8 M HCl və 2 M NaOH, yəni çirklənmiş torpağın təmizlənməsi üçün cəmi 252 qram nitrat turşusu ($32.5 / 4 = 8.2$ Rusiya Rublu və ya 0.12 AZN), 292 qram xlorid turşusu ($18.5/3 = 6.2$ Rusiya Rublu və ya 0.1 AZN) və 80 qram natrium hidroksid ($24/12 = 2$ Rusiya Rublu və ya 0.03 AZN) sərf edilmişdir.

Nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş 200 qram torpaq nümunəsinin 1200-2000 dəfəyədək (^{238}U izotopu üçün DƏ=1200, ^{235}U izotopu üçün DƏ=1333, $^{234,236}\text{U}$ izotopları üçün DƏ=2000) dezaktivasiyasının aparılması üçün 4000 Rusiya Rublu və ya 60 AZN dəyərində iş vaxtına, 1.6 RF Rublu və ya 0.03 AZN dəyərində torpağın qazılıb və daşınması işlərinə sərf edilən enerjiyə və 16.4 Rusiya Rublu və ya 0.246 AZN dəyərində reaktivlərə maliyyə sərfiyyatı tələb olunur;

-nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş 20 ton = 20000000 q torpaq nümunələrinin 1200-2000 dəfəyədək dezaktivasiyasının aparılması üçün 4000 RF Rublu və ya 60 AZN dəyərində iş vaxtına, torpağın qazılıb və daşınması işlərinə sərf edilən 2667 RF Rublu və ya 40 AZN dəyərində enerjiyə və $16.4 \times 20000000/200 = 1640000$ RF Rublu və ya $0.246 \times 100000 = 24600$ AZN dəyərində reaktivlərə maliyyə sərfiyyatı tələb olunur;

-2000 ton və ya 1 ha = 10000 m² ərazinin 15 sm dərinliyində nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpağın üst layının tam (1200-2000 dəfəyədək) dezaktivasiyasının aparılması üçün $4000 \times 2000/20 = 400000$ RF Rublu və ya $60 \times 100 = 6000$ AZN dəyərində iş vaxtına, torpağın qazılıb və daşınması işlərinə sərf edilən $2667 \times 100 = 266700$ RF Rublu və ya 4000 AZN dəyərində enerjiyə və $1640000 \times 100 = 164000000$ RF Rublu və ya 2460000 AZN dəyərində reaktivlərə maliyyə sərfiyyatı tələb olunur.

Beləliklə, elmi ədəbiyyatda mövcud ən effektiv dezaktivasiya üsulu ulə ¹³⁷Cs izotopları ilə çirklənmiş 2000 ton = (20 × 100) ton və ya 1 ha = 10000 m² torpaq ərazinin 15 sm dərinliyində çirklənmiş üst layının 830 dəfəyədək dezaktivasiyasının aparılması və ayrılmış ¹³⁷Cs izotoplarının, həmçinin radionuklidlərlə zəngin 3.8% torpaq fraksiyasının nüvə tullantıları saxlancında 1 il ərzində saxlanması üçün: $S = \tau + E + R + \Delta s = 51000 + 6600000 + 7666700 + 1300 = 14\ 319\ 000$ AZN və ya 954 600 000 RF Rublu valyuta ekvivalentində maliyyə sərfiyyatı tələb olunur.

İşlənib hazırlanmış yeni dezaktivasiya üsulu ilə nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş 2000 ton = (20 × 100) ton və ya 1 ha = 10000 m² torpaq ərazinin 15 sm dərinliyində çirklənmiş üst layının tam (1200 dəfəyədək) dezaktivasiyasının aparılması və ayrılmış uran izotopları fraksiyasının nüvə tullantıları saxlancında 1 il ərzində saxlanması üçün işə: $S = \tau + E + R + \Delta s = 400000 + 266700 + 164000000 + 8670 = 164\ 675\ 370$ RF Rublu və ya 2 470 131 AZN valyuta ekvivalentində maliyyə sərfiyyatı tələb olunur.

4.6. Nüvə reaktorlarında baş vermiş qəzalar nəticəsində nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş ərazilərin təmizlənməsi üçün işlənib hazırlanmış yeni dezaktivasiya metodunun tətbiqi mümkünlüyünün qiymətləndirilməsi

Elmi əsasları işlənib hazırlanmış, dissertasiya işində geniş şərh olunmuş yeni dezaktivasiya üsulu ilə radioaktiv maddə tullantılarıyla çirklənmiş 2000 ton və ya 1 ha = 10000 m² torpaq ərazinin 15 sm dərinliyində çirklənmiş üst layının tam (1200 dəfəyədək) dezaktivasiyası üçün 164 675 370 RF Rublu (2 470 131 AZN) valyuta ekvivalentində maliyyə sərfiyyatı, elmi ədəbiyyatda mövcud ən effektiv dezaktivasiya üsulu ilə eyni ərazinin torpaqlarının 830 dəfəyədək dezaktivasiyası üçün 954 600 000 RF Rublu (14 319 000 AZN) valyuta ekvivalentində maliyyə sərfiyyatı tələb olunur.

Göründüyü kimi işlənib hazırlanmış yeni dezaktivasiya üsulu mövcud ən effektiv dezaktivasiya üsulundan (954 600 000 RF Rublu/ 164 675 370 RF Rublu) = (14 319 000 AZN / 2 470 131 AZN) = 5.8 dəfə daha effektiv və rentabellidir.

Tərəfimizdən işlənib hazırlanmış nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş sahəsi 1 ha, 100 ha və 1000 ha olan torpaq ərazilərin tam (1200-2000 dəfə) dezaktivasiyasının aparılması üçün müvafiq olaraq yalnız 2.47 mln AZN, 247 mln AZN və 2 470 mln AZN milli valyuta sərfiyyatı tələb olunur.

Nüvə reaktorlarında baş vermiş qəzalar zamanı və yağışlar nəticəsində ətraf ərazilərdəki torpaqların əsasən üst 5 sm qalınlıqlı layının çirklənməsi nəzərə alındıqda yuxarıda göstərilmiş prosesə daha az maliyyə sərfiyyatı tələb ediləcəkdir [133, s.64; 22, s.383; 25, s.18].

Nitrat və xlorid turşuları qarışığı ilə dezaktivasiyası aparılmış çirklənmiş torpağın istehsalat həcminə uyğun ilk partiyasına sərf edilən maliyyə vəsaiti növbəti təmizlənəcək torpaq partiyalarına sərf edilən maliyyə vəsaitindən ən azı 100 dəfə artıq olduğundan, yəni növbəti təmizlənəcək torpaq kütləsinin ekstraksiyası ilkin ekstraksiyadan sonra ayrılıb qalmış turşu qarışığı qalığı ilə (yalnız 1% miqdarında ilkin təmiz məhlul əlavə edilmək şərtilə) aparıldığından, qeyd edilmiş son 2 arqument nəzərə alınmaqla (torpağın 15 sm deyil, 5 sm

qalınlığında üst layı təmizlənir və təmizlənən növbəti torpaq partiyalarına əvvəlki təmizlənmiş torpaq kütləsindən ayrılmış qalıq turşu qarışığı məhlulu əlavə edilir), - 2,47 milyard AZN maliyyə sərfiyyatı ilə 100-300 dəfəyədək böyük torpaq ərazinin dezaktivasiyası mümkündür. Bu isə ölkə ərazisinin hətta 20 % ərazisi çirkləndiyi halda 14,3 milyard AZN maliyyə vəsaiti hesabına həmin torpaqların tam bərpa edilməsi mümkünlüyünü göstərir.

4.7. 4-cü fəsilə şərh edilmiş tədqiqatların nəticələri

1. Radionuklidlərlə çirklənmiş torpaqların ekstraksiyası üçün bir reaktivdən (HNO_3 , HCl və ya NaOH) və ya qarışıqdan (HNO_3 - HCl) istifadə etdikdə reaktivin miqdarının və ya qatılığının artmasına, həmçinin sonra həmin torpağın yuyulduğu suyun miqdarının artmasına tərs mütənasib olaraq torpaqda radionuklidlərin miqdarının azaldığı müəyyənəşdirilmişdir. Mövcud ən effektiv dezaktivasiya üsulu (prototip) ilə ^{137}Cs izotopları ilə çirklənmiş 1 ha torpaq ərazinin 15 sm dərinliyində çirklənmiş üst layının 830 dəfəyədək dezaktivasiyasının aparılması və ayrılmış ^{137}Cs izotoplarının, həmçinin radionuklidlərlə zəngin 3.8% torpaq fraksiyasının nüvə tullantıları saxlancında 1 il ərzində saxlanması üçün 14 319 000 AZN maliyyə sərfiyyatı tələb olunur. İşlənib hazırlanmış yeni dezaktivasiya üsulu ilə çirklənmiş 1 ha torpaq ərazinin 15 sm dərinliyində çirklənmiş üst layının tam (1200-2000 dəfəyədək) dezaktivasiyasının aparılması üçün 2 470 131 AZN maliyyə sərfiyyatı tələb olunur. Yeni dezaktivasiya üsulu mövcud ən effektiv dezaktivasiya üsulundan (prototip) 5.8 dəfə daha effektiv və rentabellidir.

2. Yeni dezaktivasiya üsulu ilə nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş sahəsi 1000 ha olan torpaq ərazilərin tam (1200-2000 dəfə) dezaktivasiyasının aparılması üçün yalnız 2,47 milyard AZN maliyyə sərfiyyatı tələb olunur. Alınmış nəticələr nüvə reaktorlarında baş verə biləcək qəzalar nəticəsində ətraf ərazilərin nüvə materialı tullantıları ilə çirklənməsi baş verdiyi hallarda həmin ərazilərin yeni dezaktivasiya üsulunun tətbiqi ilə tam təmizlənməsi mümkünlüyünü göstərir. Nüvə reaktorlarında baş vermiş qəzalardan sonra yağışlar nəticəsində ətraf

ərazilərdəki torpaqların əsasən üst 5 sm qalınlıqlı layının çirkləndiyi təmizlənən torpağın ilkin təmizlənən partiyasından fərqli olaraq növbəti partiyalarına işlənmiş turşu qalıqlarının geri qaytarılması hesabına 100 dəfəyədək az reaktiv sərfiyyatı tələb olunduğu nəzərə alındıqda işlənib hazırlanmış yeni dezaktivasiya prosesinə daha az maliyyə sərfiyyatı tələb ediləcəkdir, yəni nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş ərazilərin yeni dezaktivasiya üsulunun tətbiqi ilə təmizlənməsi mümkündür.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR:

1. Ölkə ərazilərində aparılmış radiometrik ölçmələrin nəticələri göstərir ki, ölkənin əksər ərazilərində ümumi radioaktiv şüalanmanın intensivliyi (0,03-0,12 mkZv/saat) yol verilən həddi /YVH = 0,12 mkZv/saat/ ötmür. Ölkə rayonlarının torpaqları üçün alfa şüalanma səviyyəsi 0-0,01 Bq_{eq}/sm² təşkil edir. Bununla yanaşı, ölkə ərazisində ümumi radioaktiv şüalanmanın intensivliyinin (0.15-3.75 mkZv/saat) YVH-dən dəfələrlə yüksək olduğu, alfa şüalanma səviyyəsinin 0.03-0.35 Bq_{eq}/sm² təşkil etdiyi lokal sahələr də aşkar edilmişdir.

2. Tərkiblərində müxtəlif konsentrasiyalarda təbii radioaktiv elementlər aşkar edilmiş torpaq nümunələrinin müxtəlif miqdarlarda nitrat turşusunun və ya natrium qələvisinin, həmçinin nitrat və xlorid turşuları qarışığının distillə suyunda məhlulları ilə yuyulduqdan sonra təyin edilmiş dezaktivasiya əmsallarının qiymətləri, yeni torpaq nümunələrində izotopların aktivliklərinin 2 - 20 dəfə kiçilməsi çirklənmiş torpaqların kimyəvi reaktivlərlə dezaktivasiyasının mümkünlüyünü göstərir.

3. Nüvə materialı tullantılarının sulu ekstraktlarından izotopların adsorbentlərdə adsorbsiyası qanunauyğunluqlarının öyrənilməsi dənəvər DOWEX HCR S/S kationit (72-75%), aktivləşdirilmiş kömür (50-65%) və keramzit (47-50%) nümunələrinin yüksək adsorbsiya xassəsinə, çınqıllı qum (41%) və dənəvər antrasit (33%) nümunələrinin isə nisbətən zəif adsorbsiya xassəsinə malik olduqlarını göstərmişdir. Tədqiq edilmiş adsorbentlərin tətbiqi ilə aparılmış təmizləmə proseslərinin dezaktivasiya əmsalının elmi ədəbiyyatda göstərilmiş mövcud təmizləmə üsullarının dezaktivasiya əmsallarından kiçik olmasına baxmayaraq ölkəmizdə təbii xammal ehtiyatları böyük olan keramziddən neftin fiziki təmizlənməsi mərhələsinin tullantı sularının təhlükəsizlik normalarına uyğunlaşdırılması üçün istifadə edilə bilər.

4. Tədqiq edilmiş adsorbentlərdən uran izotoplarının termiki desorbsiyası prosesinin aktivləşmə enerjisinin 20.3-26.5 kC/mol intervalında dəyişdiyi təyin edilmişdir. Desorbsiya prosesi üçün təyin edilmiş aktivləşmə enerjisinin qiymətləri təcrübələrdə istifadə edilən adsorbentlərdə adsorbsiya prosesinin fiziki xarakter

daşdığı (fiziki sorbsiya), udulan uran izotopları ilə adsorbent arasında yalnız zəif Van-der-Vaals qüvvələrinin mövcud olduğunu göstərir.

5. Nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpaqların ekstraksiyası üçün bir reaktivdən (HNO_3 , HCl və ya NaOH) və ya qarışıqdan (HNO_3 - HCl) istifadə etdikdə reaktivin miqdarının və ya qatılığının artmasına, həmçinin sonra həmin torpağın yuyulduğu suyun miqdarının artmasına tərs mütənasib olaraq torpaqda uranil nitratın miqdarının azaldığı müəyyənəşdirilmişdir. Nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş torpağın nitrat və xlorid turşusu məhlulları qarışığı və daha sonra distillə suyu ilə (və ya natrium qələvisin sulu məhlulu ilə) 2 mərhələli dezaktivasiya prosesinin tədqiq edilmiş müxtəlif reaktivlərlə (nitrat turşusunun, xlorid turşusunun, natrium qələvisinin müxtəlif qatılıqlı sulu məhlulları) dezaktivasiya prosesləri ilə və ya mövcud bütün prototiplərlə müqayisədə daha böyük dezaktivasiya əmsalına ($D\Theta = 1200-2000$) malik olması təyin edilmişdir.

6. Aparılmış texniki-iqtisadi qiymətləndirmələr əsasında nitrat (2 M) və xlorid (4 M) turşusu məhlulları qarışığı və daha sonra natrium qələvisinin (2 M) sulu məhlulu ilə 2 mərhələli dezaktivasiya prosesinə nüvə materialı tullantıları ilə çirklənmiş 1000 ha torpaq sahəsinin tam (1200-2000 dəfə) dezaktivasiyasının aparılması üçün yalnız 2,47 milyard AZN maliyyə sərfiyyatı tələb olunduğu müəyyənəşdirilmişdir. İşlənilib hazırlanmış yeni dezaktivasiya üsulu mövcud ən effektiv dezaktivasiya üsulundan (prototip) 5.8 dəfə daha effektiv və rentabellidir. Nüvə reaktorlarında baş vermiş qəzalardan sonra yağışlar nəticəsində ətraf ərazilərdəki torpaqların əsasən üst 5 sm qalınlıqlı layının çirkləndiyi təmizlənən torpağın ilkin təmizlənən partiyasından fərqli olaraq növbəti partiyalarına işlənilmiş turşu qalıqlarının geri qaytarılması hesabına 100 dəfəyədək az reaktiv sərfiyyatı tələb olunduğu nəzərə alındıqda işlənilib hazırlanmış yeni dezaktivasiya prosesinə daha az maliyyə sərfiyyatı tələb ediləcəkdir.

İSTİFADƏ EDİLMİŞ ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Ağayev, R.Ə. Abşeronun neftlə çirklənmiş torpaqlarının bərpasında üzvi gübrələrin rolu /R.Ə.Ağayev //AMEA-nın Xəbərləri (biologiya və tibb elmləri), –2016, cild 71, №2, –s.122-125.
2. Bağirov, H.C., Bağirova, B.C. Torpaqların kimyəvi çirklənməsi və mühafizəsi //Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Aqrar Elmlər Bölməsi, Azərbaycan Torpaqşünaslar Cəmiyyəti, –Bakı: Elm, –2012, Cild XII, –s.163-165.
3. Cəlilova, L.Z. Muğan düzü şəraitində təcrübə sahəsi torpaqlarında duzların miqdarı //Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Aqrar Elmlər Bölməsi, Azərbaycan Torpaqşünaslar Cəmiyyəti, –Bakı: Elm, –2012, Cild XII, –s.302-305.
4. Elimxan, Cəfərov, Cəlal, Nağıyev, Famil, Hümbətov. Zəngilan rayonu ərazisinin kompleks radioekoloji monitorinqi //"Qarabağın biomüxtəlifliyi, torpaq və su ehtiyatları: keçmişi, bugünü və gələcəyi" mövzusunda onlayn konfrans. –2021, –s.119.
5. Əhalinin radiasiya təhlükəsizliyi haqqında Azərbaycan Respublikasının Qanunu. Azərbaycan Respublikasının Prezidenti Heydər Əliyev. Bakı şəhəri, 30 dekabr 1977-ci il. №423-İQ. “Azərbaycan Respublikasının Qanunvericilik Toplusu”nda dərc edilmişdir. 31.03.1998-ci il, 25.03.2003-cü il, 04.03.2005-ci il, 03.03.2006-cı il tarixli dəyişikliklərlə /Vnesh Expert Service/. –11s.
6. Famil, Hümbətov, Səttar, Məmmədzadə, Gültəkin, Aslanova, Fərhad, Səmədov. İşğaldan azad edilmiş Zəngilan rayonu ərazisində radioekoloji risklərin qiymətləndirilməsi //"Qarabağın biomüxtəlifliyi, torpaq və su ehtiyatları: keçmişi, bugünü və gələcəyi" mövzusunda onlayn konfrans. – 2021, –s.120.
7. Həkimova N.F., İbrahimov Ə.H. Abşeronda neftlə müxtəlif dərəcədə çirklənmiş torpaqların ekoloji parametrləri rekultifikasiya üsulları və qiymətləndirilməsi //Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Aqrar Elmlər

- Bölməsi, Azərbaycan Torpaqşünaslar Cəmiyyəti, –Bakı: Elm, –2012, Cild XII, –s.206–209.
8. Kərimov, E.Ə Radioaktiv tullantılarda alfa- və beta-şüalanan radionuklidlərin tərkibinin qiymətləndirilməsi /E.Ə.Kərimov, S.N.Musayeva, P.R.Zülfüqarlı // Journal of Radiation Researches, –Baku: –2018, v.5, №2, –p.213-218.
 9. Quliyev, E.İ., Hüseynova, A.H., Məmmədov, X.F., Qəribov, R.Q. İşğaldan azad olunmuş ərazilərdə yaranmış şəraitin mənfi təsirlərinin neytrallaşdırılması üçün profilaktik tədbirlər //“İşğaldan azad olunmuş ərazilərdə radioloji və kimyəvi risklər” mövzusunda Respublika Elmi-texniki Konfransı, AMEA FRTE Bölməsi və Radiasiya Problemləri İnstitutu, 28-29 oktyabr, –2022, –s.60-63.
 10. Mahmudov, R.N., Dadaşova, F.S., Bayramov, Ş.P. Neftlə çirklənmiş torpaqların təmizlənməsi üsulu //Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Aqrar Elmlər Bölməsi, Azərbaycan Torpaqşünaslar Cəmiyyəti, –Bakı: Elm, –2012, Cild XII, –s.318-320.
 11. Məmmədov, X.F. Araz çayına axıdılan suların qeyri-üzvi ksenobiotiklərlə və patogen mikroorqanizmlərlə çirkləndirilmə mənbələrinin təyini /X.F.Məmmədov, S.G.Xasayeva, R.X.Məmmədov [və b.] // Pedaqoji Universitetin Xəbərləri. Riyaziyyat və Təbiət Elmləri seriyası. –2020, C.68, №3, –s.168-185.
 12. Məmmədov, X.F., Xasayeva, S.G., Şirəliyeva, H.N., Quliyev, E.İ., Hüseynova, A.H., Mehtiyev, E.İ.. Tərtərçayın çirkləndirilmə mənbələrinin aşkarlanması //İşğaldan azad olunmuş ərazilərdə fəvqəladə hal riskləri. AMEA RPİ və AzMİU-nun nəzdində Elmi-praktiki Konfrans. 21 may, –2021, –s.129-132.
 13. Mustafayev, İ.İ. Neftlə çirklənmiş torpaqlar və neft-bitumlu qumlarda radiasiya-kimyəvi çevrilmələrin kinetika və mexanizmi / İ.İ.Mustafayev //AMEA RPİ-nin 2010-cu ildə elmi və elmi-təşkilatı fəaliyyəti haqqında hesabatı. –2010, –s.13-15.
 14. Nağıyev C.Ə. Torpaqda və suda radionuklidlərin, neft məhsullarının və digər

- üzvi və qeyri-üzvi qarışıqların iştirakı ilə gedən radiasiya-fiziki və radiasiya-kimyəvi proseslərin tədqiqi /C.Ə.Nağıyev //AMEA RPI-nin 2010-cu ildə elmi və elmi-təşkilatı fəaliyyəti haqqında hesabatı, –2010, –s.61-67.
15. Əhmədova, S. İşğaldan azad olunmuş ərazilərin mövcud ekoloji durumu // "Qarabağın biomüxtəlifliyi, torpaq və su ehtiyatları: keçmişi, bugünü və gələcəyi" mövzusunda onlayn konfrans. –2021, –s.124.
 16. Səlimova, Ş.C. Mikroelementlərin torpaq-bitki sistemində miqrasiyası və bioloji udma əmsalı (BUƏ) //Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Aqrar Elmlər Bölməsi, Azərbaycan Torpaqşünaslar Cəmiyyəti, –Bakı: Elm, –2012, Cild XII, –p.492494.
 17. Süleymanova, A.S., Qəribov, A.A., Səmədov, P.A., Nağıyev, C.Ə., Fərəcov M.F. Abşeron yarımadasının radionuklidlərlə çirklənmiş torpaqlarının aborigen soxulcanlar vasitəsi ilə biomonitorinqi və bioremediasiyası imkanları //Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Aqrar Elmlər Bölməsi, Azərbaycan Torpaqşünaslar Cəmiyyəti, –Bakı: Elm, –2012, Cild XII, –p.536-539.
 18. Şirəliyeva, H.N. Kürdəmir rayonu ərazisindəki torpaqlarda radionuklidlərin və mineralların təyini / H.N. Şirəliyeva // Gənc tədqiqatçı, – 2020, Cild 6, №2, –s.13-15.
 19. Абдуллаев, М.А. Естественные и искусственные радионуклиды в почвах Кура-Араксинский низменности Азербайджана (на примере Саатлинского района) / М.А. Абдуллаев //The Azerbaijan National Academy of Sciences the Department of Agrarian Sciences the Azerbaijan Soil Scientists Society, –Baku: Elm, –2012, v.12, –p.58-60.
 20. Алексахин, Р.М. Радиоактивное загрязнение почв как тип их деградации / Р.М. Алексахин //Почвоведение, –2009, №12, –с.1487-1498.
 21. Бахшиева, Ч.Т. Компоненты нефти и их действие на почвенные экосистемы /Ч.Т.Бахшиева //Национальная Академия Наук Азербайджана, Отделение Аграрных наук, Общество Почвоведов Азербайджана, –Баку: Элм, –2012, Ч.1, –с.170173.

22. Бондарьков, Д.М. Изучение Поведения Радионуклидов на Сильнозагрязненных Полигонах 5-Километровой Зоны ЧАЭС / Д.М.Бондарьков, И.Н.Вишневский, В.А.Желтоножский [и др.] // Ядерна Фізика Та Енергетика, –2016, т. 17, № 4, –р.381-387.
23. Бразовский, И.И. Экспериментальное определение средней энергии ионизации в оксидах азота в поле γ -излучения ^{60}Co / И.И.Бразовский //Химия высоких энергий, –2011, т.45, 31, –с.28-31.
24. Братская, С.Ю. Коллоидно-устойчивый наноразмерный сорбент для дезактивации твердых сыпучих материалов и способ дезактивации твердых сыпучих материалов с его использованием. Патент RU 2401469. С2, –с.1-12. 10.10.2010, Бюл. №28 /Авраменко В.А., Сергиенко В.И., Кочаргин Ю.П., Егорин А.М.
25. Википедия. Авария на АЭС Фукусима-1. –11 марта –2011, –с.1-32.
26. Википедия. Войска РХБ защиты, –2022, –с.1–7.
27. Википедия. Техногенная катастрофа, 25 августа –2021, –с.1-4.
28. Википедия. Дезактивация, –2022, –с.1-2.
29. Википедия. Список радиационных аварий, 24 февраля –2022, –с.1-5.
30. Голяка, Д.М. Вміст ^{90}Sr ТА ^{137}Cs в депо і біогенних потоках типових Насаджень Чорнобильської Зони Відчуження / Д.М.Голяка, С.Є.Левчук, В.І.Йощенко [et al.] //Ядерна Фізика Та Енергетика, –2020, т.21, №3, –с.256-264; DOI: 10.15407/jnpae.
31. Громов, О.Б. Исследования сорбции гексафторида урана на фториде натрия в динамических условиях / О.Б.Громов, Д.В.Утробин // Акционерное общество "Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени акад. А.А.Бочвара". Вопросы атомной науки и техники. Серия: Материаловедение и новые материалы, –2018, Вып.1(92), –с.65-74.
32. Дегтярев, В.В. Сорбент и сорбционно-десорбционный способ выделения урана и соединений актиноидов с его использованием. Патент RU 2256497 С1.–20.07.2005, –с.1-6, Бюл. №20 / Апканеев А.В.

33. Дмитриев, С.А. Способ очистки песчаных грунтов от радионуклидов /Патент RU 2388084 С1. –27.04.2010, –с.1-7, Бюл. №12/ Баринов А.С., Купцов В.М.
34. Дмитриев, С.А. Способ реагентной дезактивации грунтов от радионуклидов цезия. Патент RU 2399975 С1. -20.09.2010, –с.1-8, Бюл. №26/ Баринов А.С., Купцов В.М.
35. Дмитриев, С.А. Способ реагентной очистки грунтов от радионуклидов цезия /Патент RU 2361301 С1. –10.07.2009, –с.1-9, Бюл. №19 /Прозоров Л., Купцов В.М.
36. Ермакова, Т.А. Адсорбция на поверхности твердого тела. Учебник / Т.А.Ермакова, В.В. Акатьев, Е.С.Дрючков [и др.] – Волгоград: Издательство ВолГУ, –2021. – 32 с.
37. Ершов, Б.Г., Электрохимическая модель растворения нитрида урана в азотной кислоте / Б.Г.Ершов, С.А.Кулюхин //Атомная Энергия, –2015, т.118, Вып.4, –с.207-210.
38. Иванов, Ю.А. Подвижность ^{90}Sr и ^{137}Cs в контрастных по свойствам почвах / Ю.А.Иванов, С.Е.Левчук, Ю.В.Хомутинин, [и др.] // Ядерна Фізика Та Енергетика –2013, т. 14, № 3, – с.288-294.
39. Иванов, Ю.О. Імобілізація ^{90}Sr і ^{137}Cs у контрастних за властивостями грунтах / Ю.О. Иванов, І.М.Малоштан, І.В.Кулик [и др.] В.В.Павлюченко. // Ядерна Фізика Та Енергетика, – 2014, т. 15, № 3, – с.277-284.
40. Койвула Р., Харйюла Р., Манни Х. Новый сорбент, способ его получения и его применение /Патент RU 2551495 С2. –с.1-18. 27.05.2015, Бюл. №15 /Харйюла Р., Манни Х.
41. Кондаков, В.М. Способ контроля безопасности мест хранения радиоактивных отходов. Патент RU 2260215 С2. –с.1-9. 10.09.2005, Бюл. №25 / Козырев А.С., Зубков А.А., Семенов Е.Н., Ващенко Е.Б.
42. Котов, Ю.Б. Микроволновое излучение при крупных авариях на АЭС / Ю.Б.Котов, Т.А.Семенова //Атомная энергия, –2015, т.118, Вып.4, –

- с.219-224.
43. Кравець, М.О. Моделювання розподілу радіонукліда ^{137}Cs в каскаді дідорівських ставків / М.О. Кравець, А.О. Побийпеч, Ю.О. Кутлахмедов. // Ядерна Фізика Та Енергетика, – 2016, – т. 17, № 3, – с.296-301.
 44. Липська, А.І.Техногенні Радіонукліди Аварійного Викиду Чаес Та Їхні Фізико-Хімічні Форми / І.Липська, В.І.Ніколаєв, В.А.Шитюк [и др.] // Ядерна Фізика Та Енергетика. – 2015, т. 16, № 3, –р.282-286.
 45. Мамихин, С.В. Имитационная модель поведения ^{90}Sr в почве и древесном ярусе соснового леса /С.В.Мамихин, М.В.Никулина //Радиационная биология. Радиоэкология, –2005, т.45, №2, –с.218-226.
 46. Маммадов, Хагани, Алиева-Джаббарлы, Ульвия, Ширалиева, Хаджар. Изучение роли ионизирующего излучения в протекающих в растениях химических процессах //The I International Science Conference " MULTIDISCIPLINARY ACADEMIC EXPLORATIONS". European Conference. –Amsterdam, –Netherland. January 10-12, –2022, –р.33-37.
 47. Маммадов, Х.Ф. Изучение влияния ионизирующего излучения на хранение овощей / Х.Ф. Маммадов, З.З.Халилов, С.М.Алиев [и др.] // Kimya Problemleri, –2021, №2(19), –с.120-128.
 48. Мамедов, Х.Ф. Способ предотвращения распространения и испарения пролитой нефти/ Х.Ф. Мамедов, Х.Н. Ширалиева, Г.Р.Аллахвердиев [и др.] // Естественные и технические науки, – 2018, –р. №2, –с.89-92.
 49. Маммадов, Х.Ф. Эффективный метод тушения горячей колонны нефтяного фонтана / Х.Ф.Маммадов, Х.Н.Ширалиева, Р.Г.Гарибов [и др.] // Журнал "Естественные и Технические Науки", – 2020, т.5, №143, –с.20-27.
 50. Минкина, Т.М., Пинский, Д.Л., Антоненко, Е.М., Бауэр, Т.В. Влияние анионного состава почвенного раствора на сорбцию тяжелых металлов твердыми фазами почвы /Сборник материалов Международной конференции "Почвы Азербайджана: генезис, география, мелиорация,

рациональное использование и экология", –Баку, –8 июня –2012, –с.921-925.

51. Мусаев, Р.А. Нефтедобыча в Апшероском полуострове и радиационное загрязнение / Р.А.Мусаев, К.Дж.Тарзило //Journal of Radiation Reserches, –Баку: –2018, v.5, №2, –р.428-434.
52. Мустафаев, И.И. Исследование радиационно-химического превращения синтетической нефти из нефтебитуминозной породы /И.И.Мустафаев, Л.Ю.Джаббарова, З.О.Набизаде [и др.] //Химия высоких энергий, –2013, т.47, №6, –с.449-455.
53. Нецкина О.В. Практикум по физической химии НГУ. Химическая термодинамика и кинетика. Адсорбция из растворов на твердой поверхности / О.В.Нецкина. – Новосибирск: РИЦ НГУ, – 2015. – 17 с.
54. Низамзаде, Т.Н. Характеристика нефтезагрязненных земель Абшеронского полуострова и проблемы их рекультивации /Т.Н.Низамзаде, //Национальная Академия Наук Азербайджана, Отделение Аграрных наук, Общество Почвоведов Азербайджана, – Баку: Элм, –2012, Ч.1, –с.393-395.
55. Огородников, Б.И. Выброс радиоактивных аэрозолей из объекта "УКРЫТИЕ" при сильных ветрах /Б.И.Огородников, А.К.Будыка, Н.И.Павлюченко //Радиационная биология. Радиоэкология, –2005, т.45, №2, – с.227-235.
56. Орлов, П. Радиохимические и агрохимические аспекты снижения последствий радиоактивного загрязнения почв / П.Орлов, Н.Аканова, А. Шхапацев // International Agricultural Journal, –2017, №2, –с.42-46.
57. Рахимова, Н.Н. Восстановление почв загрязненных радионуклидами методом фитомелирации //Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской Научно-методической конференции. –Оренбург: –29-31 января, –2014, – с.997–1002. (Электронный источник).
58. Руднев А.В. Радиационная экология. Учебное пособие / А.В.Руднев. –

Москва: – Издательство МГУ, –1990. – 88 с.

59. Савицкая, Т. А. Практикум по коллоидной химии. Часть 1. Поверхностные явления. / Т. А. Савицкая, М.П. Шиманович – Минск: – Белорусский Государственный Университет, –2003. – 100 с.
60. Сапаров, А.С., Досбергенова, С., Сапаров, Г.А. Экологическая оценка нефтезагрязненных почв прикаспия /Сборник материалов Международной конференции "Почвы Азербайджана: генезис, география, мелиорация, рациональное использование и экология", – Баку, –8 июня –2012, –с.728-730.
61. Селицкая, О.В., Люлин, С.Ю. Динамика интродуцированной популяции *ESHERICHIA COLI* в растениях и почве, загрязненной нефтепродуктами и тяжелыми металлами /Сборник материалов Международной конференции "Почвы Азербайджана: генезис, география, мелиорация, рациональное использование и экология", –Баку, –8 июня –2012, –с.984-987.
62. Семиохин, И.А. Физическая химия. Учебник. / И.А. Семиохин. – Москва: Издательство МГУ, –2001. –272 с.
63. Сергеев, В.И. Оценка эффективности песчано-гелевого материала как сорбционного экрана на пути миграции радионуклидов / В.И.Сергеев, Н.Н.Данченко, М.Л.Кулешова [и др.] //Российский научный центр "Курчатовский институт", Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов, –2009, Вып.1. –с.42-49.
64. Собко, А.А. Способ локализации радиоактивных загрязнений. Патент RU 2586072 С1. –10.06.2016, Бюл. №16 / Копейкин В.А.
65. Спирин, Е.В. Математическая модель поступления и выделения ¹³⁷Cs из организма крупного рогатого скота при хроническом потреблении загрязненного корма /Е.В.Спирин //Радиационная биология. Радиэкология, –2005, т.45, №2, –с.214-217.
66. Тимонова, Л.В. Распределение трития в почвах на территории "Атомного" озера Семипалатинского испытательного полигона /

- Тимонова Л.В., Ляхова О.Н., Лукашенко С.Н. [и др.] //Почвоведение, – 2020, №3, –с.358-365; <https://doi.org/10.31857/S0032180X2003009>.
67. Турченко, Д.В. Комплексные исследования в месте предполагаемого размещения радионуклидной станции мониторинга в Казахстане / Д.В.Турченко, А.О.Айдарханов, О.Н.Ляхова [и др.] // Journal of Radiation Researches, –Баку: –2018, v.5, №2, –р.261-262.
68. Фрид, А.С. Миграция как один из показателей буферности ландшафта к загрязнению радиоцезием /А.С.Фрид //Радиоационная биология. Радиоэкология, –2005, т.45, №2, –с.236-240.
69. Ширалиева, Х. Н. Способ снижения скорости распространения разлитой нефти //Контактна інформація організаційного комітету конференції, – 2018, –с. 94-96.
70. Abbasia, Akbar. Risk assessment due to various terrestrial radionuclides concentrations scenarios / Akbar Abbasia and Seyedeh Fatemeh Mirekhtiary // International Journal of Radiation Biology, –2019, v. 95, № 2, –р.179-185; <https://doi.org/10.1080/09553002.2019.1539881>.
71. Abbasov, Sh. M., Suleymanov, B.A., Mikailova A.C., Lisanova, E.V. Distribution of radionuclides in Yevlakh region area //The Fourth Eurasian Conference "Nuclear Science and and its Application", –Baku: –31 yanuary-03 February, –2006, –р.350-352.
72. Abbasova D. Element content of soils of Sheki region, Azerbaijan //The Azerbaijan National Academy od Sciences the Deparment of Agrarin Sciences the Azerbaijan Soil Sciemtisis Society, –Baku, Elm, –2012, v.12, – р.45.
73. Abdullayev, M.A. Distribution and migration of natural and artificial radionuclides in biogeocenoses of Absheron /M.A.Abdullayev, S.R.Khudaverdiyeva // Journal of Radiation Researches, –Baku: –2015, v.2, №2, –р.32-40.
74. Ahmadov, M.M. Asswssment of heavy metal and radionuclide contamination in water samples taken from Nakhchivan region of Azerbaijan /

- M.M.Ahmadov, F.Y.Humbatov, A.Sh.Mammadzada [et al.] // Journal of Radiation Researches, –Baku: –2019, v.6, №2, –p.14-23.
75. Ahmadov, M.M. Determination of radionuclides and metals concentration in Caspian sea sediments /M.M.Ahmadov, F.Y.Humbatov // Journal of Radiation Researches, –Baku: –2018, v.5, №2, –p.442-448.
 76. Ahmadov, M.M. Microwave decomposition of soil samples for analysis of the heavy metals and radionuclides /M.M.Ahmadov, F.Y.Humbatov, V.S.Balayev [et al.] // Journal of Radiation Researches, –Baku: –2019, v.6, №1, –p.29-33.
 77. Akhundov, R.G Radiation-initiated processes of activation of charcoal / R.G.Akhundov, I.I.Mustafayev // Journal of Radiation Researches, –Baku: –2020, v.7, №1, –p.27-34.
 78. Alsaedi, Jamal K. Ntaural Radioactivity In Soil Samples From Selected Areas In Nineveh Governorate, Iraq /Jamal K. Alsaedi, Nada M. Hasan, Ali A. Abdulhasan. // Nuclear Physics And Atomic Energy, –2020, v. 21, № 2, –p. 187-194; <https://doi.org/10.15407/jnpae2020.02.187>.
 79. Andrzej, Komosa. Concentration of selected radionuclides in skulls of European badger Meles meles from eastern Poland / Komosa Andrzej, Kitowski Ignacy, Orzeł Jolanta [et al.] // Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences. –2015, v. 39, –p.600-605; doi: 10. 3906/vet-1402-20.
 80. Arzu EGE, Elcin EKDAL TEKIN, Turgay KARALI, Nurdogan CAN. Annual dose measurement for luminescence dating in Salihli, Turkey // Turkish J. Eng. Env. Sci. 33 (2009) , 21 – 29; doi:10.3906/muh-0810-10.
 81. Asadova, I.B. Regularities of the distribution of radionuclides in soil samples and tobacco plants in the Sheki-Zagatala zone of the Republic of Azerbaijan / I.B.Asadova // Journal of Radiation Researches, –Baku: –2020, v.7, №2, –p. 55-61.
 82. Atef, El-Taher. Effect of Cement Factory Exhaust on Radiological Contents of Surrounding Soil Samples in Assuit Province, Egypt / Atef El-Taher, Laith Ahmed Najam, Afrah Hassoon Oraibi [et al.] // Journal of Physical Science, –

- 2017, v. 28, № 3, –p.137–150; <https://doi.org/10.21315/jps2017.28.3.9>.
83. Avraham, Dody. Uranium migration in sandy soil: Controlled experiments / Dody Avraham, Sapheir Magal, Weiner David [et al.] // Israel Journal of Earth Sciences. –2006, v. 55, – p.95-101.
84. Ayçık, G.A., Gürellier, R. Kinetic studies of uranyl ion adsorption on acrylonitrile (AN)/Polyethylene glycol (PEG) interpenetrating networks (INP) //Proceedings of the Third Eurasian Conference "Nuclear Science and its Application", –Tashkent: –October 5-6, –2004, –p.241-244.
85. Azeez, Hiwa H. Effect of Using Chemical Fertilizers on Natural Radioactivity Levels in Agricultural Soil in the Iraqi Kurdistan Region / Hiwa H. Azeez, Habeeb Hanna Mansour, Saddon T. Ahmad. // Pol. J. Environ. Stud. –2020, v. 29, № 2, –p.1059-1068; DOI: 10.15244/pjoes/106032.
86. Babain, V., Pokhitonov, Yu. Alyapyshev, M., Khlopin V.G. Experience of Non-Technological Waste Solidification with Polymers at radium Institute-13530 //WM2013 Convergence, Phoenix, –Arizona: USA, –february 24-28, –2013, –p. 1-7.
87. Bayramov, A.A. Radiation pollution of atmosphere during Metsamor nuclear power station operation and radiation monitoring on the territory of Azerbaijan Republic by using drones / A.A.Bayramov, G.G.Mansiyev // Journal of Radiation Reserches, –Baku: –2016, v.3, №1, –p.66-74.
88. Belivermis, Murat. Radioactivity concentrations in topsoil samples from the Thrace region of Turkey and assessment of radiological hazard /Murat Belivermisa, Önder Kılıça, Yavuz Çotuka [et al.] // Radiation Effects & Defects in Solids –2008, v. 163, № 11, –p.903-913; DOI: 10.1080/10420150801899927.
89. Bhat, M.I. Applications of stable and radioactive isotopes in soil science / M.I.Bhat, Faisul-ur-Rasool and M.A.Bhat. // Current Science, –2010, v. 98, № 11, 10 june, – p.1458-1471.
90. Boulyga, Sergei F. Application of isotope-dilution laser ablation ICP–MS for direct determination of Pu concentrations in soils at pg g⁻¹ levels /Sergei F.

Boulyga, Markus Tibi & Klaus G. Heumann // Analytical and Bioanalytical Chemistry, – 2004, v.378, –p.342-347; DOI 10.1007/s00216-003-2193-6.

91. Bychenko, A.N., Guseva, N.V., Zheltov, D.A., Ryazanova, L.A., Edomskaya, M.A. Assessing the possibility of direct determination of ^{239}Pu in soil acid digestion solutions by ICP-MS //VII Eueasian Conference "Nuclear Science and and its Application", –Baku: –21-24 October, –2014, –p.337-338.
92. Chenghui, Han. Evaluating the Heavy Metal Risks of Soil and Rice from a Farmland in a Nanjing Suburb through In-vitro Simulation Tests / Chenghui Han, Weifang Xie, Chen Chen [et al.] // Pol. J. Environ. Stud. –2021, v. 30, №3 –p.2093-2105; DOI: 10.15244/pjoes/127553.
93. Diane, Saint-Laurent. Hydrocarbons, Pb-Concentrations, and Pb-Isotope Ratios in Contaminated Alluvial Soils (Southern Quebec, Canada) / Diane Saint-Laurent, Francis Baril, Marlies Hahni [et al.] // Soil and Sediment Contamination, –2014, v.23, –p.76-93, DOI: 10.1080/15320383.2013.779632
94. Djenbaev, B.M. Radiation monitoring of soil cover of natural uranium in the Issyk-Kul province / B.M.Djenbaev, T.E.Toktoeva, B.K.Kaldibaev [et al.] // Journal of Radiation Reserches, –Baku: –2015, v.2, №2, –p.57-64.
95. Domanov, M.M. Benthic Foraminifera in Deep Trenches of the Kara Sea and the Relation of Saccorhiza ramosa (Brady) to the Distribution of Natural Radionuclides /M.M.Domanov, T.A.Khusid, and N.V.Libina // Biology Bulletin, –2017, v. 44, № 2, –p.187-192; DOI: 10.1134/S1062359017020054.
96. Dregulo, Andrey Mikhailovich. Heavy Metals and Arsenic Soil Contamination Resulting from Wastewater Sludge Urban Landfill Disposal /Andrey Mikhailovich Dregulo, Nicolai Gennadievich Bobylev // Pol. J. Environ. Stud. –2021, v. 30, № 1, p.81-89; DOI: 10.15244/pjoes/121989.
97. Fawzia, Ahmad. Comparative study of natural radioactivity concentrations in soil samples from the newly developed Tushki and Giza Regions in Egypt / Ahmad Fawzia, A. Shousha Hany and M. Diab Hassan // Radiation Effects & Defects in Solids. –2006, v.161, №4, –p.257–266; DOI:

10.1080/10420150600652816.

98. Fedor Macášek. Sorption and Leaching Properties of the Composites and Complexes of Natural Microporous Materials //NATO Advanced Research Workshop, –Smolenice, –October 26–30, –1998, –p.1-27.
99. Ferdous, Bangladesh Jannatul. Assessment of Radionuclide Concentrations in Tea Samples Cultivated in Chittagong Region / Bangladesh Jannatul Ferdous, Munmun Nahar Nipa and A.K.M.Rezaur Rahman // International Journal of Life Sciences and Technology, –2018, v.11, Issue 3, –p.20-30; DOI:<http://doi.org/10.5281/zenodo.1625628>.
100. Filippov, M.F. Sorption of U(VI) with Soil from the Region of Location of the Novi Khan Radioactive Waste Repository in Bulgaria /M.F.Filippov, O.D.Maslov, G.A.Bozhikov [et al.] // Radiochemistry, –2009, v. 51, № 1, – p. 77-79; DOI: 10.1134/S1066362209010172.
101. Fukuda, Tomokazu. Distribution of Artificial Radionuclides in Abandoned Cattle in the Evacuation Zone of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant /Tomokazu Fukuda. Yasushi Kino, Yasuyuki Abe [et al.] //PLOS ONE – 2013, v.8, № 1, –p.1–7; – e54312. doi:10.1371/journal.pone.0054312.
102. Gahramanova, S.M. Dielectric relaxation in gamma-irradiated tis crystals / S.M.Gahramanova // Journal of Radiation Researches, –Baku: –2021, v.8, №1, –p.19-23.
103. Ganatsios, Stergios S. Natural ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{40}K , and artificial ^{137}Cs radionuclides distribution in soil in areas of lignite power plants of western Macedonia / Stergios S. Ganatsios, Lazaros I. Tsikritzis, Octavian G. Dului [et al.] //J. Trace and Microprobe Techniques, –2001, v.19, №2, –p.259-266.
104. Garibov, A.A., Mahmudov, H.M., Muradov, F.R., Musayeva, Sh.Z., Asgarova, V.R. The study of radionuclide distribution law in the area of "GUM ADASY" ogen and in oil extracting layers //The Fourth Eurasian Conference "Nuclear Science and and its Application", –Baku: –31 yanuary-03 February, –2006, –p.314-317.

105. Garibov, A.A., Mahmudov, H.M., Muradov, F.R., Velibeyov, G.Z. Distribution of radionuclides in polluted soils, lake and oil-field waters //The Fourth Eurasian Conference "Nuclear Science and its Application", –Baku: – 31 January-03 February, –2006, –p.383-387.
106. Ghrefat, Habes. Assessment of Heavy Metal Contamination in the Soils of the Gulf of Aqaba (Northwestern Saudi Arabia): Integration of Geochemical, Remote Sensing, GIS, and Statistical Data /Habes Ghrefat, Haider Zaman, Awni Batayneh [et al.] //Journal of Coastal Research, Coconut Creek, Florida, —021, v.37, №4, –p.864-872; DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-20-00137.
107. Goryachenkova, T.A. Association of Radionuclides with Colloids in Soil Solutions /T.A.Goryachenkova, I.E.Kazinskaya, E.V. Kuzovkina [et al.] // Radiochemistry, –2009, v. 51, № 2, –p.201-210. DOI: 10.1134/S1066362209020209.
108. Groppi, Flavia. The role of nuclear chemistry and radiochemistry in nanosafety studies / Flavia Groppi, Enrico Sabbioni and Simone Manenti. // Radiation Effects & Defects in Solids, –2019, v. 174, №11–12, –p.965-972 <https://doi.org/10.1080/10420150.2019.1683835>.
109. Guliyeva, N.G. Degradation of petroleum in the soil / N.G.Guliyeva, G.İ.İmanova, Sh.H.Hajiyev [et al.] // Journal of Radiation Researches, –Baku: –2017, v.4, №1, –p.18-23.
110. Guliyeva, N.G. The effect of various γ -ray doses on the development dynamics of bean (phaseolus) plants grown from seeds exposed to presowing irradiation / N.G.Guliyeva // Journal of Radiation Researches, –Baku: –2020, v.7, №1, –p.17-26.
111. Hajiyeva, S.R. Influence of degradation rate of oil its radiation stability / S.R.Hajiyeva, N.K.Guliyeva, A.A.Samadova [et al.] // Journal of Radiation Researches, –Baku: –2015, v.2, №2, –p.41-46.
112. Hegazy, A.K. Accumulation and Soil-to-Plant Transfer of Radionuclides In The Nile Delta Coastal Black Sand Habitats / A.K.Hegazy and M.H.Emam //International Journal of Phytoremediation, –2011, v. 13, –p.140-155; DOI:

10.1080/15226511003753961 T.

113. Hegazy, A.K. Soil characteristics influence the radionuclide uptake of different plant species /A.K.Hegazy, S.Y.Afific, A.A.Alatara, [et al.] // Chemistry and Ecology, –2013, v.29, №3, –p.255-269, <http://dx.doi.org/10.1080/02757540.2012.744827>.
114. Hobbie, John E. Amino acid cycling in plankton and soil microbes studied with radioisotopes: measured amino acids in soil do not reflect bioavailability /John E.Hobbie, Erik A.Hobbie //Biogeochemistry, –2012, v.107, –p.339-360; DOI 10.1007/s10533-010-9556-9.
115. Holiaka, D.M. ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs inventories in the depots and biogenic fluxes of the typical forest stands in the Chernobyl exclusion zone / D.M.Holiaka, S.E.Levchuk, V.I.Yoschenko [et al.] //Nuclear physics and atomic energy, – 2021, v.21, №3, –p.256-264; <https://doi.org/10.15407/jnpae2019.03.278>.
116. Humbatov, F.Y. Determination of radioactivity produced water samples / F.Y.Humbatov // Journal of Radiation Researches, –Baku: –2018, v.5, №2, – p. 300-306.
117. Humbatov, F.Y. Determination of radionuclides in bottom sediment samples taken from the central part of Azerbaijan sector of the Caspian sea /F.Y.Humbatov // Journal of Radiation Researches, –Baku: –2020, v.7, №2, –p. 81-86.
118. Humbatov, F.Y. Investigation of radon concentration in drinking water samples /F.Y.Humbatov // Journal of Radiation Researches, – Baku: – 2020, v.7, №1, –p.69-73.
119. Huseynova A.H., Mammadov, Kh.F. Alihuseynova, A.R., Shiraliyeva, H.N. Change of microbiological indicators of underground and surface waters // International scientific-practical conference. Radiation and chemical safety problems. – November 05-06, Azerbaijan, –Baku, –2019, –p.203-204.
120. Huseynov, V.I., Guliyev, R.I., Guliyev, E.G., Naghiyev, J.A., Jafarov, Y.D. Pollution of oil fields by norm and related doses //The Fourth Eurasian Conference "Nuclear Science and its Application", – Baku: – 31 January-03

february, – 2006, – p.308-313.

121. Ibadov, N.A. Determination of organochlorine pesticides and radionuclides in soil and sediment samples taken from the Kura-Aras river systems / N.A.Ibadov, F.Y.Humbatov, M.A.Samedov [et al.] // Journal of Radiation Researches, –Baku: –2018, v.5, №2, –p.307-315.
122. Ibadov, N.A. Chromatographic study of radiolytic decomposition of organochlorine pesticides in soils under gamma radiation / N.A.Ibadov, M.A.Gurbanov, M.A.Samadov [et al.] // Journal of Radiation Researches, – Baku: –2021, v.8, №1, –p.5-11.
123. Iqbal, Tahir. Simulation of Diffusive Transport of Radionuclides in the Soil of a Radioactive Waste Disposal Site / Tahir Iqbal, Farooq Rashid, Perveen Akhter [et al.] // Soil and Sediment Contamination, –2012, v.21, –p.720-731; DOI: 10.1080/15320383.2012.691130.
124. Ilyasova, Kh.N. Colloidal characterization and sorption of cobalt (II) and cadmium ions from model solutions on modified bentonite / Kh.N.Ilyasova, A.I.Yagubov, M.M.Muradova [et al.] // Azerb. Chemical Journal, –2017, №1, –p.34-37.
125. Iskandarli, R.C., Ahmadova, R.R., Jafarov, E.S. Study of contamination degree of soil industrial sector of Sumgait with heavy and radioactive metals //VII Eueasian Conference "Nuclear Science and and its Application", –Baku: –21-24 October, –2014, –p.389-390.
126. Ivana, Smičiklas. Radioactive Contamination of the Soil: Assessments of Pollutants Mobility with Implication to Remediation Strategies /Ivana Smičiklas, Marija Sljivic-Ivanovic //Radioactive Contamination of the Soil: Assessments of Pollutants Mobility with Implication to Remediation Strategies, –2016, –p.256-276; <http://dx.doi.org/10.5772/64735>.
127. Ivana, Vukašinović, Distribution of natural radionuclides in anthrosol-type soil / Ivana Vukašinović, Aleksandar Đorđević, Miloš B.Rajković, [et al.] // Turk J Agric For, –2010, v.34, –p.539-546; doi:10.3906/tar-0911-59.
128. Ivashkevich, L.S. Effect of Basic Chemical Characteristics of Soils on

- Mobility /L.S.Ivashkevich, Yu.I.Bondar //Radiochemistry, –2008, v.50, №1, –p.98-102; DOI: 10.1134/S1066362208010105.
129. Kadum, A. Efficiency Calculation of NaI (Tl) 2×2 Well-Shaped Detector /A. Kadum and B. Dahmani // Instruments and Experimental Techniques, –2015, v. 58, № 3, –p.429-434; DOI: 10.1134/S0020441215030070.
130. Khomutinin, Yu.V. Operative assessment of radioactive contamination of agricultural land for their return to use / Yu.V.Khomutinin, S.E.Levchuk, V.V.Pavlyuchenko. //Nucl. Phys. At. Energy, –2021, v. 22, Issue 1, –p.74-84; <https://doi.org/10.15407/jnpae2021.01.074>.
131. Konstantinova, M. D. Efficiency calibration of high-purity germanium detector using monte carlo simulations including coincidence-summing corrections: volume source /M.Konstantinova, D.Germanas, A.Gudelis [et al.] // Lithuanian Journal of Physics, – 2021, v. 61, № 1, –p.66-73.
132. Krasnov, V.P. ¹³⁷Cs content in European blueberry (Vaccinium Myrtillus L.) in forests of Ukrainian Polissia in different periods after the accident at ChNPP / V.P.Krasnov, O.O.Orlov, O.V.Zborovska [et al.] // Nucl. Phys. At. Energy, –2018, v.19, Issue 4, –p.383-391; <https://doi.org/10.15407/jnpae2018.04.383>.
133. Krasnov, V.P. ¹³⁷Cs Redistribution in Time in Wet Bory and Sugrudy Soils in Forests of Ukrainian Polissia / V.P. Krasnov, T.V. Kurbet, Z.M. Shelest [et al.] // Ядерна Фізика Та Енергетика, – 2016, т. 17, № 1, –p.63-68.
134. Krasnov, V.P. ¹³⁷Cs Distribution in the Wood of Scots Pine Radial Growth in the Forests Ukrainian Polissia / V.P.Krasnov, T.V.Kurbet, Z.M. Shelest. // Nuclear Physics And Atomic Energy, – 2016, v. 17, № 4, – p.394-399.
135. Krasnov, V.P. Dynamics of ¹³⁷Cs specific activity in Convalaria Majalis L. in Polissia forests of Ukraine after the accident at Chornobyl Nuclear Power Plant / V.P.Krasnov, V.V.Melnik, T.V.Kurbet [et al.] // Nuclear Physics and Atomic Energy. –2019, т. 20 № 3, –p.278-284.
136. Kudryavskii, Yu.P. Distribution of Natural Radionuclides throughout Intermediate Products from Chlorination of Loparite Concentrate / Yu.P.

- Kudryavskii, O.V. Rakhimova, S.M. Grashchenko [et al.] // Radiochemistry, –2007, v. 49, №. 5, –p.545-548; DOI: 10.1134/S1066362207050189.
137. Laverov, N.P. Crystalline Rocks as a Medium for Nuclear Waste Disposal / N.P.Laverov, B. I.Omel'yanenko and S.V.Yudintsev // Russian Journal of General Chemistry, –2011, v.81, №9, –p.1980-1993; DOI: 10.1134/S1070363211090441.
138. Lazaros, T. Deaths from Neoplasms and Detection of Radionuclides in Excised Human Lungs in the Eordea Basin, Greece / Lazaros Sichletidis Ioannis Tsiotsios Agapios Gavriilidis Diamantis Chloros [et al.] // Archives of Environmental Health. –2003, v. 58, № 12, –p.789-793.
139. Lehto, Jukka. Removal of Radionuclides from Fukushima Daiichi Waste Effluents / Jukka Lehto, Risto Koivula, Heikki Leinonen [et al.] // Separation & Purification Reviews, –2019, v.48, –p.122-142, DOI: [https://doi.org/ 10.1080/15422119.2018.1549567](https://doi.org/10.1080/15422119.2018.1549567).
140. Lingqing, Wang. Natural radionuclide concentrations in soils around Baoji coal-fired power plant, China /Wang Lingqing and Lu Xinwei // Radiation Effects & Defects in Solids, – 2007, v. 162, №9, –p.677–683; DOI: 10.1080/10420150601143153.
141. Linnik, V.G. Distribution of Technogenic Radionuclides in Alluvial Sediments and among Fractions of the Soil in the Near Zone of the Krasnoyarsk Mining and Chemical Combine / V.G.Linnik, A.G.Volosov, E.M.Korobova [et al.] // Radiochemistry, –2004,v. 46, № 5, –p.508-514.
142. Litvak, M.L. Gamma and Neutron Spectrometers Designed for Installation Onboard the Lunar Rover /M.L.Litvak, D.V.Golovin, M.V.Djachkova [et al.] //Solar System Research, –2020, v. 54, №4, –p.275-287; DOI: 10.1134/S0038094620040073.
143. Lokesh, N. Distribution of Radionuclides in Kodachadri Hills of Western Ghats /N.Lokesh, Y.Narayana, C.Kaliprasad [et al.] // Nitte University Journal of Health Science. NUJHS Special Issue, October, – 2018, v. 8, ISSN 2249-7110, –p.153-165.

144. Mallampati, S.R., Mitoma Y., Simion C. Potential Nano-Fe/Ca/CaO Enabled Environmental Remediation Technologies for Radioactive Waste / S.R. Mallampati, Y.Mitoma, C.Simion //Post-Accident Waste Management – Lessons Learned and Preparednes, 04-05/ID 46, – p.1-5.
145. Mamedova, S.R. Extraction of uranile-ions out of water solutions by the chlorinated naphthenic acids / S.R.Mamedova // Azerb. Chemical Journal, – 2016, №2, –p.55-58.
146. Mamedov Kh.F. Research into causes of rise in the level of beta radiation in atmospheric air on the territory of Azerbaijan / Kh. F. Mamedov, H.N .Shiraliyeva, U.S.Aliyeva [et al.] // Chemical problems, –2018, №3, –p.376-380; DOI: 10.32737/2221-8688-2018-3-376-380.
147. Mamedov, Kh.F. Research of pollution’s level of the Araz river by xenobiotics and pathogenic microorganisms, chemical and radiological ways of purification of water’s samples / Kh.F.Mamedov, A.M.Gulamirov, R.G.Garibov [et al.] //Azerbaijan chemical journal, –2018, № 4, –p.68-76.
148. Mammadov, Khagani Farzulla, Shiraliyeva, Hajar Nuhbala. Processes of soil cleaning from radionuclides //Scientific research of the SCO countries: synergy and integration. –Beejing, –China: 28 October, –2020, –p.130-138; DOI 10.34660/INF.2020.60.86.020.
149. Mammadov, Khagani, Shiraliyeva, Hajar, Mehtiyev, Elnur. Cleaning of Shabran regions soil from natural radionuclides //Modern science: problems and innovations. Abstracts of the 9th International scientific and practical conference. SSPG Publish. Stockholm, 15-17 November, –Sweden, –2020, – p. 76-83.
150. Mammadov, Kh.F. Adsorption of uranium isotopes by activated sand and exchanger resin / Kh.F.Mammadov, H.N.Shiraliyeva, I.A.Huseynova //Journal of Radiation Researches, –2018, v. 5, №2, –p.253-257.
151. Mammadov, Kh.F. Assesment of the radiation situation in the white phosphorus explosion pit / Kh.F.Mammadov, A.M.Gulamirov, G.R.Allanverdiyev [et al.] //Azerbaijan Technical University, Scientific

works, – 2019, №3, –p.178-183.

152. Mammadov, Kh.F., Huseynova, A.H., Shiraliyeva, H.N., Guliyev, E.I. Studying the efficiency of cleaning methods of reservoirs contaminated with organic emissions // International scientific-practical conference. Radiation and chemical safety problems. – November 05-06, Azerbaijan, –Baku: –2019, –p.253-255.
153. Mammadov, Kh.F., Mirzayev, N.A., Shiraliyeva, H.N., Khasayeva, S.G. Development of effective methods for cleaning of soil contaminated by heavy metals and radionuclides. //International scientific-practical conference. Radiation and chemical safety problems. – November 05-06, Azerbaijan, – Baku: –2019, –p.140-141.
154. Mammadov Kh.F. Purification of soil from natural isotopes / Kh.F. Mammadov, H.N.Shiraliyeva //Journal of Radiation Researces.–2020, V.7, №2, – p.62-69.
155. Mammadov, Kh.F. Radiation cross-linking of molecules of organic impurities of reservoirs on the surface of small-cat wooden-chips, the prevention of evaporation of the spilled oil / Kh.F.Mammadov, M.N.Mirzayev, H.N.Shiraliyeva [et al.] // Journal of Radiation Researches; –2018, v.5, №2, –p.376-381.
156. Mammadov, Kh.F, Shiraliyeva, H.N., Allahverdiyev, R.G., Garibov, G.R. Research of radiation background and distribution of radioactive elements in soil areas of Azerbaijan // Scientific Achievements of Modern Society. XII International Scientific and Practical Conference, –Liverpool, –July 22-24, – 2020, –p.34-40.
157. Mammadov, Kh.F., Shiraliyeva, H.N., Mirzayev, N.A., Garibov, R.G., Allahverdiyev, G.R., Aliyeva, U.S., Farajova A.D. Method for purification of environmental objects, contaminated with radioactive substances as a result of natural disasters /Natural disasters and human life safety, December 04-06, –2017, –p.196-197.
158. Mammadov, Kh.F., Shiraliyeva, H.N., Sadigova, A., Alihuseynova, A.R.

Reducing the rate of pollution of environmental objects by oil products spilled as a result of natural disasters //International scientific-technological conference. Natural Disasters and Human Life Problems. – Baku, Azerbaijan. –December 04-06, – 2017, –p.194-195.

159. Mammadov, Kh.F. Sources of pollution by xenobiotics and pathogenic microorganisms of cross-border rivers of Azerbaijan / Kh.F. Mammadov, R.G. Garibov, H.N. Shiraliyeva [et al.] // Journal of Radiation Researches, – 2017, v.4, №2, –p.72-79.
160. Mammadov, Kh. F. Study of purification processes of soil contaminated with uranyl nitrate / Kh.F.Mammadov, H.N.Shiraliyeva, E.I.Mehtiyev [et al.] //Вопросы Атомной Науки и Техники, ВАНТ, –2021, v.133, №3, –p.132-135.
161. Mammadov, K.F. Studying the treatment processes of soil samples from radionuclides / K.F. Mammadov, H.N. Shiraliyeva, E.I. Mehtiyev [et al.] // Journal of Science Rise, Estoniya, –Tallinn: –2021, V.3, №74, –p.29-33.
162. Mammadov, Kh.F. The study of adsorption of uranium isotopes by activated carbon and anthracite for water treatment / K.F.Mammadov, H.N. Shiraliyeva, M.N. Mirzayev [et al.] // Journal of Radiation Researches, – 2018, v. 5, №2, –p.336-341.
163. Manakhov, D.V. Comparison of Methods for Assessment of Radionuclide Speciation in Soils / D.V.Manakhova, A.M.Emelyanov , M.M.Karpukhin [et al.] // Biology Bulletin, –2019, v. 46, №12, –p.1671-1678; DOI: 10.1134/S1062359019120057.
164. Marinescu, Mariana, Petroleum Fractions Distribution in a Crude Oil Polluted Soil from Braila County / Mariana Marinescu, M.Toti, Eugenia Gament [et al.] // Research Journal of Agricultural Science, –2014, v.46, № 2, –p.160-165.
165. Masaki, Tsukamoto. Review of Characteristics of Post-Accident Waste Generated in Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Site and Issues to be Addressed in Processing and Disposal Stages /Masaki Tsukamoto, Daisuke Sugiyama, Takeshi Yamamoto [et al.] // Journal of Nuclear Energy Science

& Power Generation Technology S1, –2013, –p.1-10; DOI:[10.4172/2325-9809.S1-002](https://doi.org/10.4172/2325-9809.S1-002).

166. Maurice, Moyo Ndontchueng, Eric Jilbert Mekongtso Nguelem, Augustin Simo, Gamma Emitting Radionuclides in Soils from Selected Areas in Douala-Bassa Zone, Littoral Region of Cameroon / Maurice Moyo Ndontchueng, Eric Jilbert Mekongtso Nguelem, Augustin Simo [et al.] // Hindawi Publishing Corporation ISRN Spectroscopy Volume 2014, Article ID 245125, –p.1-8; <http://dx.doi.org/10.1155/2014/245125>.
167. Mehdieva, R.N., Suleymanov, B.A., Abaszade, R.Q. Migration properties of radionuclides in the soils polluted //The Fourth Eurasian Conference "Nuclear Science and and its Application", –Baku: –31 yanuary-03 february, –2006, –p.298-300.
168. Mittal, Sudhir. Estimation of natural radionuclides in the soil samples and its radiological impact on human health / Sudhir Mittal, Asha Ranib, Rohit Mehrac [et al.] // Radiation Effects & Defects In Solids, –2018, v. 173, № 7–8, –p.673-682; <https://doi.org/10.1080/10420150.2018.1493482>.
169. Mohammed, Mahmud Abu Samreh. Khalil Mohammed Thabayneh, Fatima Waleed Khrais. Measurement of activity concentration levels of radionuclides in soil samples collected from Bethlehem Province, West Bank, Palestine / Samreh Mohammed Mahmud ABU, Thabayneh Khalil Mohammed, Khrais Fatima Waleed // Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences. –2014, v. 38, – p.113–125; doi:10.3906/muh-1303-8.
170. Mukhamedshina, N.M., Mirsagatova, A.A., Bekmukhamedova, N.K., Khamidova, Kh.M., Rakhimova, M.S. Inaa study of U sorption from technological solution by different microorganisms //Proceedings of the Third Eurasian Conference "Nuclear Science and its Application", –Tashkent: – October 5-8, –2004, –p.237-240.
171. Murdoch, R.N. Physicochemical characteristics of radionuclides associated with sediment from a contaminated fresh water stream / R.N.Murdoch,

- M.S.Johnson, J.D.Hemingway [et al.] //Environmental Technology, –1993, v.14, Issue 7, –p. 639-648; <https://doi.org/10/1080/09593339309385333>.
172. Mustafayev, I.I. Influence of gamma-radiation on oil fraction of petroleum degraded in soil /I.I.Mustafayev, N.A.Ibadov, N.G.Guliyeva // Journal of Radiation Researches, –Baku: –2016, v.3, №1, –p.53-59.
173. Nadri, M. Soil depth profile of ^{137}Cs , ^{210}Pb and ^{40}K in Algeria / M.Nadria, C.-E.Khairi and A.Ioannidou. // Radiation Effects & Defects In Solids, – 2019, v. 174, № 3–4, –p.339-348; <https://doi.org/10.1080/10420150.2019.1570515>.
174. Nikolaev, A.N. Assessment of ^{137}Cs decontamination of concrete by thye reagent method /A.N.Nikolaev, O.K.Karlina, A.Yu.Yurchenko [et al.] //Atomic Energy, –2012, v.112, –p.57-62.
175. Nooreldin Fadol, Assessment of natural radioactivity in soil and rock samples round El-Obeid refinery, Sudan / Nooreldin Fadol, Elfadil Mahmoud Yousef // Journal of Radiation Researches, –Baku: –2017, v.4, №1, –p.5-12.
176. Novikov, A.P. Colloid Transport of Radionuclides in Soils / A.P.Novikov, S.N.Kalmykovb, T.A.Goryachenkovaa [et al.] // Russian Journal of General Chemistry, –2011, v.81, №9, –p.2018-2028; DOI: 10.1134/S1070363211090489.
177. Ohnuma, Tohru. Study of soil particles contaminated with radioactive cesium in pond sediment /Tohru Ohnuma and Keizo Ishii. // Cogent Engineering –2019, v.6, 1662573, – p.1-11; <https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1662573>.
178. Ohnuma, Tohru. Study of soil particles containing radioactive cesium in paddy field soil using an energy-dispersive X-ray spectroscopy and autoradiogram method /Tohru Ohnuma and Keizo Ishii.// International Journal of PIXE, –2018. v. 28, № 1&2, –p.29-33; DOI: 10.1142/S0129083519500050.
179. Ole, K. Borggaard. Cleaning heavy metal contaminated soil with soluble humic substances instead of synthetic polycarboxylic acids / Ole K. Borggaard, Peter E. Holm, Julie K. [et al.] // Acta Agriculturae Scandinavica

Section B Soil and Plant Science, –2011, v.61, – p.577-581; DOI: 10.1080/09064710.2010.515602.

180. Padovani, S. Analysis of the vertical distribution and size fractionation of natural and artificial radionuclides in soils in the vicinity of hot springs / S.Padovani, I.Mitsios, M.Anagnostakis [et al.] // Radiation Effects & Defects in Solids – 2018, v. 173, №. 9–10, – p.794-806 <https://doi.org/10.1080/10420150.2018.1528605>.
181. Pittman, Jon K. Specific arbuscular mycorrhizal fungal–plant interactions determine radionuclide and metal transfer into *Plantago lanceolata* /Jon K. Pittman, Clare H. Robinson, Jeanette Rosas-Moreno //Plants People Planet. – 2021, v.3, – p.667-678.
182. Ramamoorthy, N., Haji-Saeid, M. Industrial applications radioisotopes and radiation technology and agency’s role //Proceedings of the Third Eurasian Conference "Nuclear Science and its Application", –Tashkent: –October 5-6, –2004, –p.7-16.
183. Ramola, R.C. Radionuclide analysis in the soil of Kumaun Himalaya, India, using gamma ray spectrometry /R.C.Ramola, V.M. Choubey, Ganesh Prasad, [et al.] // Current Science, –2011, v. 100, №6, 25 march, – p. 906-914.
184. Rashydov, N., The problems sustainable remediation of the Chernobyl alienation areas / N. Rashydov, O.Nesterenko // Journal of Radiation Reserches, –Baku: –2018, v. 5, №2, –p.13-25.
185. Rifaah, Zahrah Madhat. Natural Radioactivity Transfer Factors from Soil to Plants in Wasit Governorate Marsh /Zahrah Madhat Rifaah, Heiyam Najy Hady Alkafajy. //Nucl. Phys. At. Energy, –2021, v. 22, Issue 1, –p.93-98; <https://doi.org/10.15407/jnpae2021.01.093>.
186. Robert-Csaba, Begy. Investigation of the effect of anthropogenic land use on the Pănzii Lake (Romania) catchment area using Cs-137 and Pb-210 radionuclides / Robert-Csaba Begy, Codrin F. Savin, Szabolcs Kelemen [et al.] //PLOS ONE, –2021, v. 0251603 June 17, p.1-19; <https://doi.org/10.1371/journal.pone>.

187. Sergazy, Duysembaev. Radionuclide Content in the Soil-Water Plant-Livestock Product System in East Kazakhstan / Duysembaev Sergazy, Łozowicka Bożena, Serikova Aygerim [et al.] // *Pol. J. Environ. Stud.* –2014, v. 23, № 6, –p.1983-1993.
188. Shakhashiro, A. Matrix materials for proficiency testing: optimization of a procedure for spiking soil with gamma-emitting radionuclides / A.Shakhashiro & A.M.Gondin da Fonseca Azeredo & U. Sansone & A. Fajgelj // *J. Anal. Bioanal. Chem.*, –2007, v. 387, –p.2509–2515; DOI 10.1007/s00216-006-0772-z.
189. Shevchenko, V.V. Comparison of Physical and Chemical Properties of the Surface in the Regions of Operation of the Lunokhod1 and Yutu Rovers on the Moon /V.Shevchenko, Ya Lub, and T.P.Skobeleva // *Solar System Research*, –2016, v. 50, № 2, –p.81-89; DOI: 10.1134/S0038094616020052.
190. Simon, P. Rout. Garratt, Evidence of the Generation of Isosaccharinic Acids and Their Subsequent Degradation by Local Microbial Consortia within Hyper Alkaline Contaminated Soils, with Relevance to Intermediate Level Radioactive Waste Disposal / Simon P. Rout, Christopher J. Charles, Eva J. Garratt, // *Isosaccharinic Acids within Hyper-Alkaline Soils.* – 2015, –p.1/13-13/13; DOI:10.1371/journal.pone.0119164.
191. Tohru, Ohnuma. Elemental analysis on the particle cross-section of the radioactive cesium contaminated soil by PIXE / Tohru Ohnuma, Keizo Ishii, Shigeo Matsuyama [et al.] // *International Journal of PIXE*, –2016, v. 26, № 1, –p.1-6; DOI: 10.1142/S0129083516500017.
192. Tsivadze, A.Yu. Prospective Preparations for Accelerated Bioremediation of Oil-Contaminated Soils /A.Yu.Tsivadze, A.Ya.Fridman, B.P.Tumanyan, [et al.] // *Chemistry & Technology of Fuels & Oils* is a copyright of Springer, – 2020, v. 56, Issue 4, –p.588-592; DOI 10.1007/s10553-020-01171-1.
193. Wolfgang, Schütt. Biocompatible Magnetic Polymer Carriers for In Vivo Radionuclide Delivery / Schütt Wolfgang, Grüttner Cordula, Teller Joachim

- [et al.] // *Artificial Organs*, –1999, v. 23, № 1, –p.98-103, Blackwell Science, Inc. International Society for Artificial Organs.
194. Xu, Jiyong. Quantitative Contributions of the Sources, Contamination and Ecological Risk of Heavy Metals in Soils from a Closed Coal Mine of Huaibei Coalfield, Eastern China / Jiyong Xu, Herong Gui, Hongxia Fang [et al.] // *Pol. J. Environ. Stud.* –2021, v. 30, № 5, –p. 4299-4309; DOI: 10.15244/pjoes/132812.
195. Yang, Gang. Interactive Effect of Radioactive and Heavy-Metal Contamination on Soil Enzyme Activity in a Former Uranium Mine / Gang Yang, Faqin Dong, Mingxue Liu. // *Pol. J. Environ. Stud.* –2018, v. 27, №3, –p.1343-1351; DOI: 10.15244/pjoes/7618.
196. Yasuyuki, Taira. Vertical Distribution and Estimated Doses from Artificial Radionuclides in Soil Samples around the Chernobyl Nuclear Power Plant and the Semipalatinsk Nuclear Testing Site / Yasuyuki Taira, Naomi Hayashida, Rimi Tsuchiya [et al.] // *PLoS ONE*. Vishal Shah, Dowling College, United States of America, –2013, v.8, №2, –p.1-8, e57524. doi:10.1371/journal.pone.0057524.
197. Zabrodskii, V.N. Determination of ^{90}Sr , ^{238}Pu , $^{239, 240}\text{Pu}$, ^{241}Pu , and ^{241}Am in Soils of Chernobyl Region Using Various Sample Preparation Techniques / V.N. Zabrodskii, Yu.I. Bondar' // *Radiokhimiya*, –2006, v. 48, № 1, –p.90-93; DOI: 10.1134/S1066362206010188.
198. Zabrodskii, V.N. Joint Determination of ^{238}Pu , $^{239, 240}\text{Pu}$, ^{241}Pu , and ^{90}Sr in Soil / V.N.Zabrodskii, Yu.I.Bondar', A.S.Komarovskaya [et al.] // *Radiochemistry*, –2006, v. 48, № 1, –p.94-98; DOI: 10.1134/S106636220601019X.
199. Zamanova, A. Purification of oil-contaminated soils from heavy metals using plants // VII Eueasian Conference "Nuclear Science and and its Application", –Baku: –21-24 October, –2014, –p.336.
200. Zarubina, N.E. ^{137}Cs and ^{40}K in the needles and branches of scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) on the territory of Chornobyl Exclusion Zone /N.E.

Zarubina // Nucl. Phys. At. Energy, –2019, v. 20, Issue 1, –p.51-59;
<https://doi.org/10.15407/jnpae2019.01.051>.

201. Zhang, Jun. Ecological risk and source analysis of soil heavy metals pollution in the river irrigation area from Baoji, China / Jun Zhang, Yu Gao, Ningning Yang [et al.] //PLOS ONE, August –2021|, v.2, –p.1-15, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253294>.
202. Zhemzhurov, M.L. Probability Estimation of the Distribution of Expected Results for Prediction Models of Radionuclide Migration in Porous Media / M.L.Zhemzhurov and G. Z. Serebryanyi. //Journal of Engineering Physics and Thermophysics, – 2006, v. 79, № 6, – p.1164-1168.
203. Zhu, Y.G. Soil contamination with radionuclides and potential remediation / Y.G.Zhu, G.Shaw //Chemosphere, – 2000, v.41, – p.121-128.
204. Zhou, Y. A basic study of optimal investment of power sources considering environmental measures: Economic evaluation of CCS through a real options approach. / Y. Zhou, M. Kato // Electrical Engineering in Japan. - 2010, v. 174, Issue 3, - p.9-17, February 2011, First published: 29 November 2010, <https://doi.org/10.1002/eej.21065>.