

EXPERTIZA AMPRETELOR DE MÂINI, CONTAMINATE CU PARTICULE DE MATERIAL NUCLEAR, PRELEVATE DE LA LOCUL CRIMEI RADIOLOGICE

Alina NITREAN

Doctorandă, Universitatea de Stat din Moldova,
Centrul tehnico-criminalistic și expertize judiciare, Inspectoratul General al Poliției,
Chișinău, Republica Moldova
e-mail: nitreanalina@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6700-0377>

Pentru investigarea cu succes a crimelor cu implicarea MNR este importantă examinarea și valorificarea tuturor urmelor și dovezilor materiale prelevate de la locul faptei, care necesită condiții speciale de manipulare fiind contaminate cu radionuclizi. În cadrul prezentului studiu este definită posibilitatea examinării atât a microparticulelor MNR prin metoda SEM-RMA, cât și a urmelor de mâini prin metoda fumigației cu vapori de cyanoacrylat situate pe obiecte comune, cu diferite suprafețe. Se arată că cele mai complete rezultate pot fi obținute prin analiza probelor pe obiecte cu suprafețe conductoare. Sunt stabilite suprafețele pe care se pot obține rezultate limitate, de asemenea suprafețele pe care și examinarea microparticulelor; și a urmelor papilare, nu este posibilă.

Cuvinte-cheie: *criminalistică nucleară, urme de mâini, microparticule de MNR, microscopie electronică cu scanare, microanaliză cu raze X, vapori de cyanoacrylat.*

EXPERTISE OF FINGERPRINTS CONTAMINATED WITH PARTICLES OF NUCLEAR MATERIAL COLLECTED FROM THE RADIOLOGICAL CRIME SCENE

For the successful investigation of crimes involving the MNR, it is important to examine and evaluate all traces and material evidence collected from the crime scene, which require special handling conditions as they are contaminated with radionuclides. This study establishes the possibility of examining both NRM microparticles by SEM-RMA and fingerprints by cyanoacrylate fumigation, on common objects with different surfaces. It is shown that the most complete results can be obtained by analyzing the samples on conductive objects. The surfaces of objects on which limited results can be obtained are determined, as well as the surfaces on which the examination of microparticles and fingerprints is not possible.

Keywords: *nuclear forensics, fingerprints, NRM microparticles, scanning electron microscopy, X-ray microanalysis, cyanoacrylate.*

EXPERTISE DES EMPREINTES DE MAINS, CONTAMINÉES PAR DES PARTICULES DE MATIÈRES NUCLÉAIRES, PRÉLEVÉES SUR LA SCÈNE DE CRIME RADIOLOGIQUE

Pour mener à bien une enquête sur des crimes impliquant le MRN, il est important d'examiner et de capitaliser toutes les traces et preuves matérielles prélevées sur les lieux du crime, qui nécessitent des conditions de manipulation spéciales contaminées par des radionucléides. Dans cette étude, il est défini la possibilité d'examiner à la fois les microparticules de MRN par la méthode SEM-RMA et les traces de main par la méthode de fumigation à la vapeur de cyanoacrylate situées sur des objets communs avec des surfaces différentes. Il est montré que les résultats les plus complets peuvent

être obtenus en analysant des échantillons sur des objets avec des surfaces conductrices. Les surfaces sur lesquelles des résultats limités peuvent être obtenus sont établies, ainsi que les surfaces sur lesquelles l'examen des microparticules et des traces papillaires n'est pas possible.

Mots-clés: *criminalistique nucléaire, empreintes de mains, microparticules MRN, microscopie électronique à balayage, microanalyse aux rayons X, vapour de cyanoacrylate.*

ЭКСПЕРТИЗА ОТПЕЧАТКОВ РУК, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЧАСТИЦАМИ ЯДЕРНОГО МАТЕРИАЛА, ИЗЪЯТЫХ С МЕСТА РАДИОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕСТУПЛЕНИЯ

Для успешного расследования преступлений с применением ядерного или другого радиоактивного материала (ЯРМ) важно исследовать и использовать все следы и вещественные доказательства, изъятые с места преступления, которые требуют особых условий обращения, из-за загрязнения радионуклидами. В данной работе определена возможность исследования как микрочастиц ЯРМ методом РЭМ-РМА (сканирующая электронная микроскопия в сочетании с рентгеновским микроанализом), так и отпечатков рук методом окулирования парами цианакрилата, находящихся на общих предметах с разными поверхностями. Показано, что наилучшие результаты можно получить при анализе образцов на объектах с токопроводящими поверхностями. Установлены поверхности, на которых можно получить ограниченные результаты, а также поверхности, на которых исследование микрочастиц и папиллярных узоров, невозможно.

Ключевые слова: *ядерная криминалистика, отпечатки пальцев, микрочастицы МНР, сканирующая электронная микроскопия, рентгеновский микроанализ, пары цианакрилата.*

Întroducere

Infrațiunile cu implicarea MNR reprezintă o amenințare atât pentru securitatea națională a statelor, cât și pentru securitatea globală. Fenomenul existent al traficului ilegal de MNR, precum și creșterea numărului și rezonanța incidentelor cu MNR [1], punctează necesitatea consolidării măsurilor de prevenire a acestor infrațiuni, în special, detectarea MNR care a ieșit de sub controlul reglementar, precum și investigarea cu promptitudine a incidentelor în care sunt suspiciuni de infrațiune.

Ațiunile criminale săvârșite cu MNR pot genera în câmpul infracțional dovezi materiale care reprezintă obiecte de studiu, atât pentru expertiza criminalistică "tradițională", cum ar fi: urmele de mâini, produse ale împușcăturii, urme de spargere, arme de foc, produse ale exploziilor și substanțe explozive, etc., cât și pentru expertiza criminalistică "nucleară" (MNR sau microparticulele acestora).

Unele dintre cele mai informative urme lăsa-

te la locul crimei ce permit identificarea persoanei și contribuie esențial la descoperirea infrațiunilor, sau stabilirea cercului de suspecți, sunt urmele de mâini și genomul uman - ADN [2]. Genomul uman este identificat în material biologic divers, cum ar fi: țesuturi, fire de păr, urme de sânge, salivă și alte secreții biologice, precum și în urme lăsate pe obiecte prin contactul mâinilor sau altor părți ale corpului. Avantajul investigării obiectelor purtătoare de urme de mâini, este anume posibilitatea de a identifica persoana după ADN-lui uman, chiar și atunci când urmele papilare nu sunt valabile pentru identificarea persoanei.

În cazul crimelor cu implicarea MNR, obiectele purtătoare de urme pot fi contaminate cu microparticule radioactive, care de asemenea sunt dovezi informative ale săvârșirii infracțiunii. Prin urmare, va fi necesar un studiu complex al particulelor de MNR și al urmelor aflate pe același obiect, dar examinate prin metode diferite. Totodată, examinarea trebuie

efectuată astfel încât studiul unor urme, să nu conducă la deteriorarea sau pierderea altora [3].

În acest context, este necesară adaptarea procedurilor de preparare a probelor și a metodelor pentru examinarea ulterioară a tuturor urmelor aflate pe suprafața unui obiect comun. Pentru a obține profilul genetic din urmele prelevate de la locul crimei radiologice sunt aplicate tehnici de biologie moleculară, care includ transferul mecanic al probei de pe obiectul purtător, acest proces fiind însoțit de transferul concomitent și a particulelor de MNR, în același timp și de distrugerea urmelor papilare. Prin urmare, examinarea urmelor papilare și a MNR trebuie efectuată înainte de examinarea ADN-lui uman.

Scopul prezentei lucrări a fost de a stabili condițiile de pregătire pentru ulterioara examinare și stabilirea succesiunii examinării urmelor de mâini și a microparticulelor de MNR aflate pe suprafața aceluiași obiect, și care necesită aplicarea diferitor metode de analiză.

Formularea problemei

Pentru a atinge scopul lucrării, au fost pregătite diferite obiecte pe suprafața cărora au fost create urme papilare și transferate particule de imitatori ai microparticulelor de material nuclear, și anume - oxidul de plumb.

Pentru a evita distrugerea mecanică a urmelor de mâini, a fost necesar de a aplica o metodă de studiu a microparticulelor direct pe obiectul purtător. Pentru caracterizarea microparticulelor de MNR, pe scară largă este aplicată SEM-RMA, prin urmare, această metodă a fost selectată pentru realizarea studiului prezentei lucrări. În scopul relevării urmelor papilare a fost aplicată una dintre cele mai eficiente metode și cu succes aplicate în laboratoarele de criminalistică nucleară – fumegarea cu vapori de cianoacrylat [4].

Ca purtători de urme au fost selectate obiecte cu suprafața neporoasă și semiporoasă: metal, inclusiv

acoperit cu un strat de vopsea și lac, placă de siliciu, poli carbonat, polipropilenă, lemn, sticlă și plastic. Particulele de imitatori ai MNR au fost alese de dimensiuni corespunzătoare microparticulelor caracteristice prafului industrial al întreprinderilor ciclului de combustibil nuclear [2, 5].

Obiectivele lucrării:

a) De a stabili dacă tratamentul cu vapori de cianoacrylat modifică caracteristicile microparticulelor radioactive de pe suprafața obiectului.

b) De a stabili dacă expunerea la fasciculul de electroni a microscopului electronic poate duce la deteriorarea urmelor papilare. Dacă da, în ce măsură aceste urme pot fi folosite pentru identificarea persoanei care le-a creat?

Metoda SEM-RMA este considerată nedistructivă, dar acest lucru este relevant doar pentru obiectele studiate în mod tradițional prin această metodă. Urmele papilare nu sunt examinate prin metoda SEM-RMA, iar efectul unui fascicul de electroni asupra lor nu a fost încă studiat.

Pornind de la premisa că obiectele sunt contaminate cu radionuclizi și poate avea loc contaminarea atât a mediului, echipamentului cât și a personalul care lucrează cu obiectele, a fost necesară crearea unor condiții specifice de protecție fizică. Având la bază experiența laboratoarelor de criminalistică nucleară care dezvoltă metode ale criminalisticii tradiționale în câmp "nuclearizat"¹, pentru experimentele cu aplicarea vaporilor de cianoacrylat a fost construit un box cu mânuși, în care s-au creat condițiile necesare pentru relevarea urmelor papilare (controlul temperaturii - până la 100°C, umidității – până la 80 %) [4].

¹ Laboratoare concepute pentru examinarea materialelor nucleare sau altele radioactive, care dezvoltă metodele tipice examinărilor criminalistice tradiționale, cum ar fi: relevarea urmelor de mâini prin metoda fumegării cu cianoacrylat, prin prelucrarea cu vapori de iod, ninhidrină, DFO, etc.; extragerea informației din dispozitive electronice; obținerea profilului genetic pentru ulterioara examinare ADN.

Pentru a asigura integritatea urmelor papilare pe obiect, în această lucrare nu au fost utilizate metodele clasice de preparare a probelor cu transferul microparticulelor de material nuclear pe substraturi speciale conductoare (substrat de siliciu, cu plasa de cupru). Studiul microparticulelor a fost efectuat direct pe obiectele purtătoare de urme.

Experimente efectuate și rezultatele obținute

Prima etapă a experimentelor a fost examinarea microparticulelor prin metoda SEM-RMA, utilizând microscopul electronic cu scanare TESCAN LYRA3. Examinările au fost efectuate în diferite condiții de funcționare ale microscopului: tensiuni de accelerare ale tunului de electroni de la 5 kV la 30 kV, curenții fasciculului de la unități de pA (picoamperi) la unități de nA (nanoamperi), vidul (vacuum) în camera pentru probe de la înalt (de ordinul 10^{-7} bar), la scăzut (de ordinul 10^{-3} bar).

Cele mai informative rezultate ale studiului microparticulelor: caracteristicile morfologice și

compoziția chimică, au fost obținute pentru particulele amplasate pe suprafețe conductoare: metal, placa de siliciu, fiind obținute rezultate așteptate. Studiile au fost efectuate în condiții optime de funcționare a microscopului: o tensiune de accelerare a tunului electronic de 30 kV, curenți ai fasciculului de la pA până la nA și vid înalt în camera pentru probe, de aproximativ 10^{-7} bar.

Imaginea 1, reprezintă fotografiile ale unei microparticule de oxid de plumb, care aderă la un fragment al liniei papilare din urma de mâini de pe o suprafață conductoare. Fotografierea a fost efectuată în regimul de înregistrare atât a electronilor secundari (Imaginile 1a, 1c) cât și reflectați (Imaginile 1b, 1d). Studiul probei în regimul de electroni reflectați permite prin contrastul imaginii, selectarea particulelor care conțin elemente chimice grele: plumb, uraniu, plutoniu, poloniu și altele. Fotografiile în regimul de electroni secundari adaugă informații despre morfologia particulelor, acest lucru este subliniat în special de compararea Imaginilor 1a și 1b.

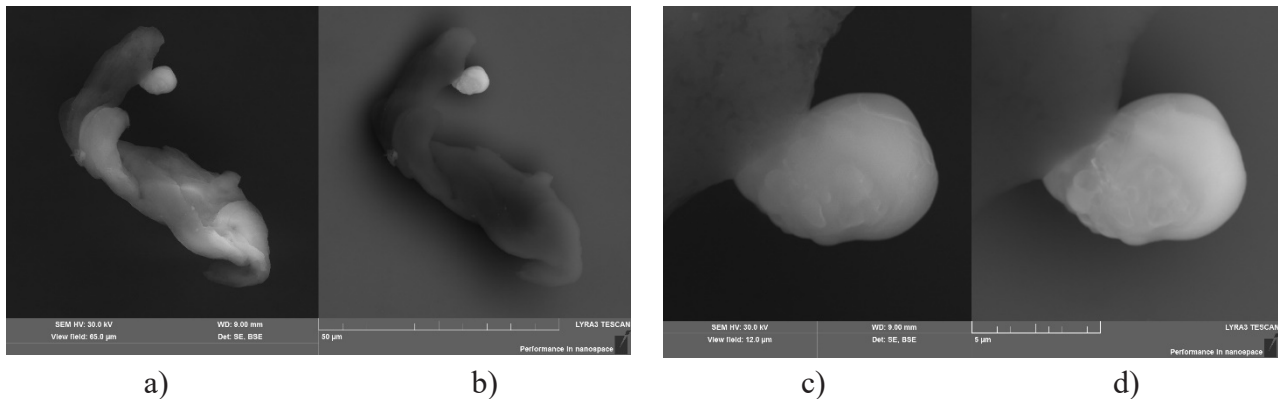


Fig. 1. Particulă de oxid de plumb în camera probei cu vid înalt, la diferite mărimi, în regimul de înregistrare a electronilor secundari (a, c) și reflectați (b, d).

O fotografie a aceleiași particule obținute la vid scăzut și o tensiune de accelerare de 5 kV este prezentată în Imaginea 2. Se poate observa că aceas-

tă imagine, deși are o rezoluție spațială mai slabă, adaugă și o perspectivă asupra morfologiei microparticulelor.

Trebuie remarcat faptul că la vid scăzut în camera probei, detectorul de electroni secundari nu funcționează și nu este posibil să se obțină o imagine în regim de electroni secundari.

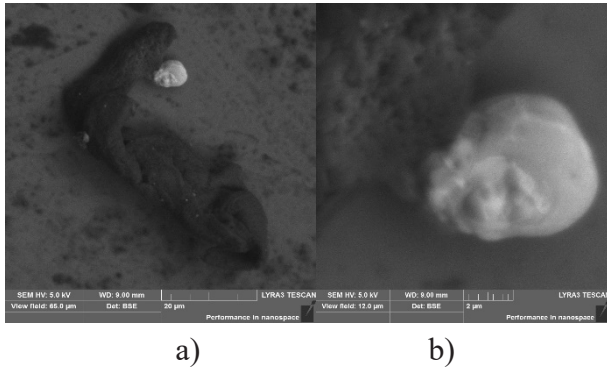


Fig. 2. Particulă de oxid de plumb fotografiată la vid scăzut și la diferite mărimi în modul de înregistrare a electronilor reflectați.

Este evident faptul că, condițiile optime, atât pentru studierea caracteristicilor morfologice ale particulelor de MNR, cât și pentru determinarea compoziției chimice, sunt o tensiune de accelerare a tunului de electroni de 20-30 kV și un vid înalt în camera probei. Curentul fasciculului este setat la minim pentru studierea caracteristicilor morfologice și aproximativ 1 nA la determinarea compoziției chimice.

Studiul probelor de pe suprafețe neconductive: poli carbonat, polipropilenă, lemn, sticlă și plastic, a arătat că sub vidul înalt, care este optim pentru studiul microparticulelor de MNR, suprafața este încărcată rapid sub influența fasciculului de electroni, indiferent de tensiunea de accelerație și curentul electronilor. Studiul microparticulelor în acest caz este imposibil.

Dar totuși, atunci când presiunea din camera microscopului este setată la 10^{-4} bar, se minimizează încărcarea suprafețelor din sticlă, poli carbonat, polipropilenă și pot fi supuse examinării particulele de pe aceste obiecte. Cu toate acestea, încărcătura din unele particulele de oxid de plumb nu se scurge, acestea rămân încărcate, se mișcă de-a lungul substratului și nu pot fi examinate. Rămân rigid atașate de suprafață doar particulele de oxid de plumb care aderă la secretul sudoripar sau particulele adipoase din urmele papilare (Imaginea 3).

Pe suprafețele metalice acoperite cu un strat de vopsea și lac, sub acțiunea fasciculului de electroni, particulele de oxid de plumb atașate rigid de secretul sudoripar s-au adâncit, ulterior au fost acoperite în întregime și nu au putut fi examinate. Studiul microparticulelor de imitatori ai materialului nuclear de pe suprafața obiectelor din plastic și lemn, s-a dovedit a fi imposibil sub orice parametri ai microscopului electronic.

Prin urmare, la examinarea unor astfel de probe, va trebui făcută alegerea: de a obține informații despre MNR sau de a identifica persoanele implicate în săvârșirea crimei. Pentru studiul deplin a MNR se va aplica metoda clasică de pregătire a probei prin transferul mecanic al acestora de pe obiectul prezentat la examinare pe un substrat conductor și examinarea prin metode tipice aplicate într-un laborator de criminalistică nucleară. În acest caz, bineînțeles că se vor distruge urmele papilare de pe suprafața obiectului. Pentru identificarea persoanelor se vor aplica metodele corespunzătoare, tipice domeniului dactiloscopic, cu respectarea cerințelor de securitate fizică, într-o boxă cu mănuși.

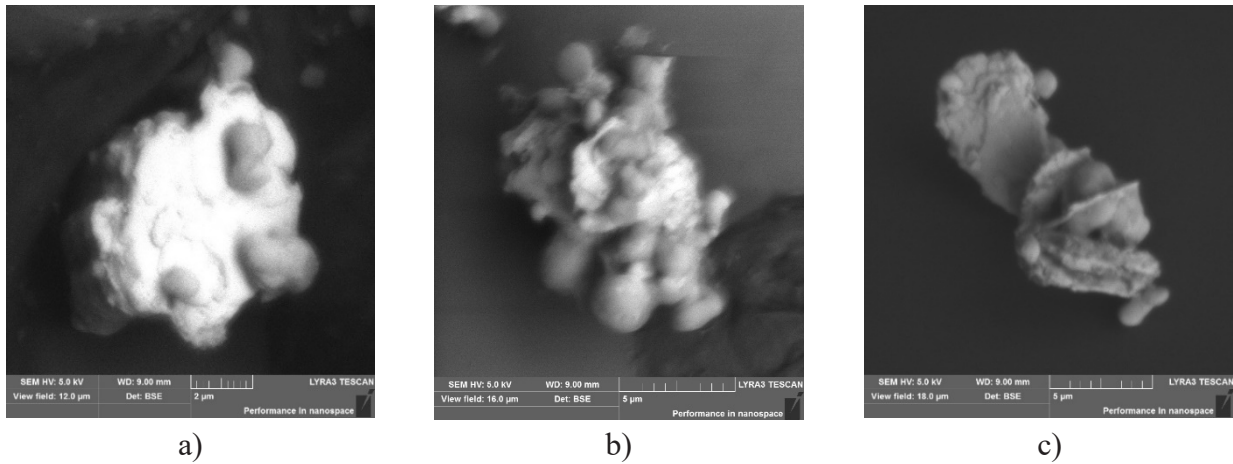


Fig. 3. Particule de oxid de plumb în camera pentru probe cu vid scăzut pe suprafațele din policarbonat (a), polipropilenă (b) și sticlă (c).

După studiul particulelor de oxid de plumb prin metoda SEM-RMA, a doua etapă a experimentelor a fost tratamentul obiectelor cu vapori de cyanoacrylat în boxa cu mănuși. Pe fiecare dintre obiectele exa-

minate au fost relevate urme de mâini, care au fost examinate ulterior și s-a stabilit că, majoritatea sunt valabile pentru identificarea persoanelor care le-au creat (Imaginile 4a, 4b și 4c).

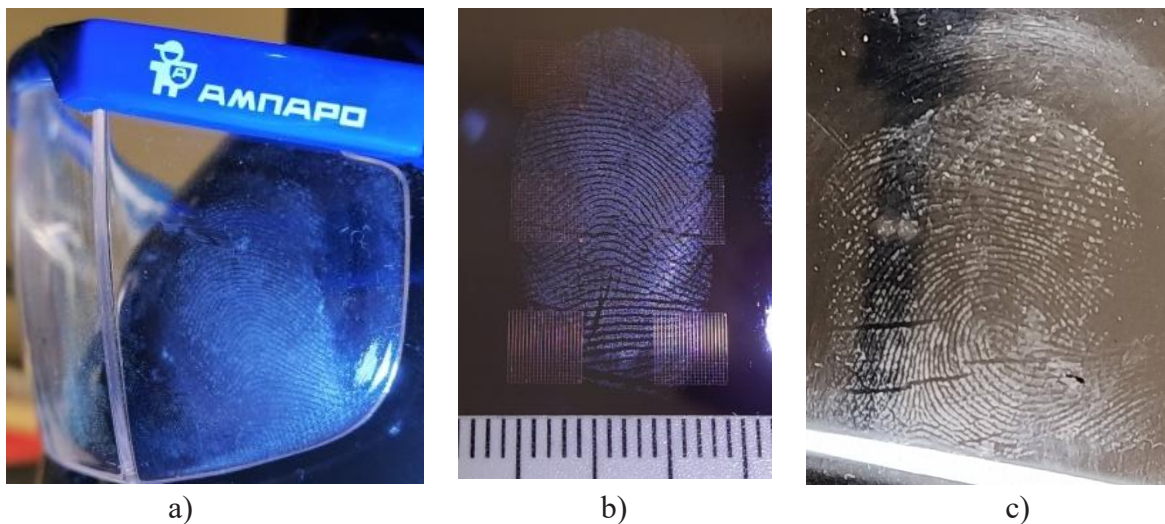


Fig. 4. Urme de degete relevate prin fumigarea cu vapori de cyanoacrylat pe suprafețe din policarbonat (a), placa de siliciu (b) și polipropilenă (c).

Prin urmare, rezultatele experimentelor au arătat că examinarea particulelor MNR de pe suprafața obiectelor conductoare aplicând SEM-RMA, în diferite condiții de funcționare a microscopului, nu conduce la modificări semnificative (distorsiune, distrugere) a urmelor papilare, și acestea pot fi examinate după analiza particulelor MNR, cu ușurință.

Procesul de distrugere a depunerilor din urmele papilare este evident, dar suprafața deteriorată este

de dimensiuni foarte mici, comparativ cu suprafața totală a urmelor. Rezultatul acestui studiu poate fi urmărit în Imaginile 5a, 5b – localizarea zonei din urma papilară pe placa de siliciu până la examinarea prin SEM-RMA, și Imaginile 6a, 6b – vedere a fragmentelor de linii papilare după examinarea particulelor de imitatori prin SEM-RMA (Imaginile 5a, 5b au fost efectuate la microscopul electronic, Imaginile 6a, 6b au fost efectuate cu ajutorul microscopului optic).

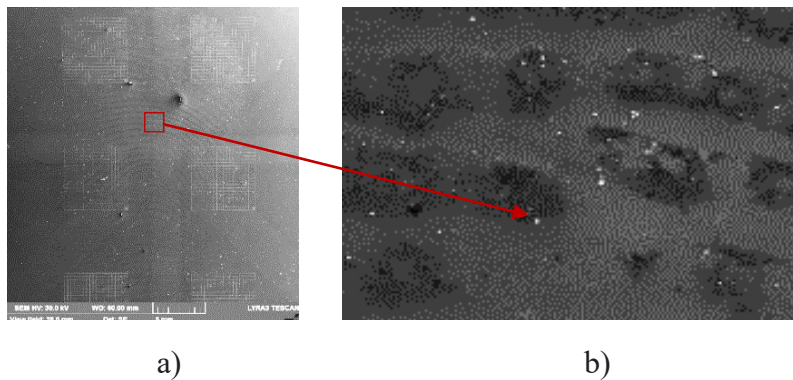


Fig. 5. Localizarea zonei unei urme papilare pe substrat de siliciu, pentru studiul ulterior prin SEM-RMA.

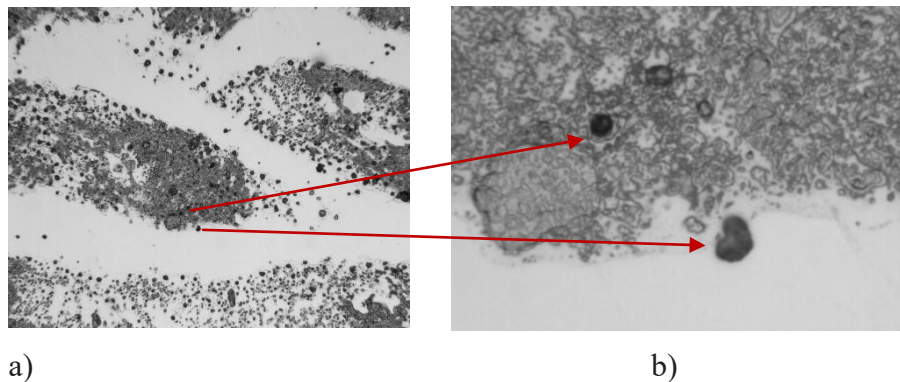


Fig. 6. Vedere a unor fragmente de linii papilare după examinarea a două particule de imitatori ai materialului nuclear prin SEM-RMA.

Pentru a testa efectul utilizării cyanoacrylatului asupra caracteristicilor microparticulelor de MNR, a fost realizată etapa următoare a experimentelor, și anume studiul microparticulelor de oxid de plumb, după relevarea și examinarea urmelor papilare.

Forma, dimensiunea, structura suprafeței și

compoziția chimică a majorității particulelor examinate după tratarea substratului cu cyanoacrylat, au fost asemănătoare cu cele ale microparticulelor care au fost studiate pe substrat, înainte de tratarea cu cyanoacrilat (Imaginile 7a și 7b).

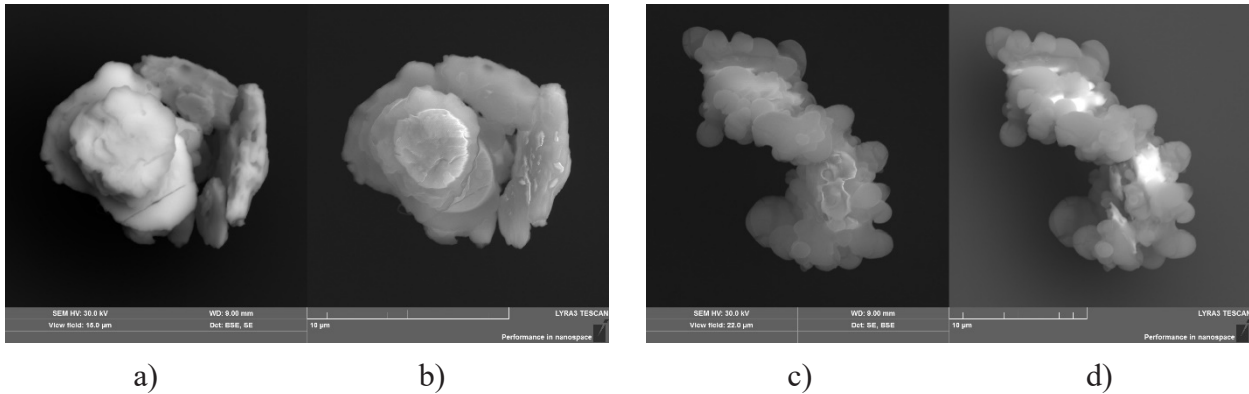


Fig. 7. Particule de oxid de plumb după tratarea substratului cu cyanoacrylat în regimul electronilor secundari (a, c) și reflectați (b, d).

Totuși, pe suprafața obiectelor au fost identificate și particule parțial sau complet acoperite cu particule sferice de dimensiunea unui micron sau conglomerate ale acestora (Imaginile 7c și 7d). Particulele sferice ale substanței depuse pe suprafața particulelor de oxid de plumb în experiment, apar probabil ca urmare a condensării apei și a formării picăturilor acesteia, care ulterior inițiază procesul de polimerizare și depunerea cyanoacrylatului pe suprafața lor.

Analiza compoziției și cartografierea acestor particule au confirmat prezența plumbului în unele dintre conglomerate.

Au fost identificate de asemenea conglomerate de particule în compoziția cărora n-au putut fi identificate particulele de imitatori, acestea probabil au fost acoperite de un strat masiv de cyanoacrylat ce a servit drept o ecranare a particulelor.

Studiul particulelor acoperite cu cyanoacrylat este

dificil și mai puțin informativ. Prin urmare, se poate concluziona că rezultatele examinării microparticulelor de MNR după tratarea probei cu cyanoacrylat, sunt imprevizibile. În consecință, în schema de examinare a obiectelor purtătoare de microparticule de MNR și urme papilare, analiza microparticulelor ar trebui să precedă relevarea urmelor papilare cu vapori de cyanoacrylat.

După examinarea microparticulelor de MNR și a urmelor de mâini, poate fi examinat și genomul uman, care va trebui separat de particulele radioactive, pentru a evita contaminarea echipamentelor și utilajului corespunzător.

Concluzii

Rezultatele experimentelor efectuate ne permit să facem următoarele concluzii:

a) Un studiu exhaustiv al microparticulelor de

MNR de pe obiectele ce conțin și urme de mâini, este posibil numai pe probe conductoare și setări optime ale microscopului electronic.

b) Obținerea de informații atât despre microparticulele de MNR, cât și despre urmele de mâini este posibilă și pe unele probe neconductoare: sticlă, poli carbonat și polipropilenă. Cu toate acestea, informații pot fi obținute, dar nu despre toate microparticulele de MNR de pe suprafața unor astfel de probe.

Pe suprafața unor probe, în special pe plastic și pe lemn, nu este posibilă examinarea microparticulelor de MNR folosind metodele de analiză existente în prezent.

c) Tratarea probei de examinare cu cyanoacrylat, poate duce la ecranarea microparticulelor de MNR. Prin urmare, în acele cazuri în care este necesar și posibil să se obțină informații atât despre microparticule, cât și despre urmele papilare de pe suprafața probei, în primul rând trebuie analizate microparticulele de MNR prin metoda SEM-RMA. Ulterior, pot fi examinate și urmele de mâini prin fumigație cu cyanoacrylat.

d) În cazul când în sarcina experților este pusă și examinarea genomului uman din urma papilară contaminată cu radionuclizi, această examinare va urma doar după ce se vor obține rezultatele examinării MNR și a urmelor de mâini.

Referințe bibliografice

1. IAEA incident and trafficking database (ITDB) Incidents of nuclear and other radioactive material out of regulatory control 2020, Regim de acces cu parolă: <https://nusec.iaea.org/portal/User-Groups/Nuclear-Forensics> (03.01.2023).

2. MAYER, K., WALLENUS, M., RAY, I. *Nuclear forensics methodology providing clues on the origin of illicitly trafficked nuclear materials*. Analyst 2005;130:443–1.

3. NITREAN, A. Aplicarea metodei SEM-RMA la examinarea obiectelor contaminate cu material nuclear sau altul radioactiv, prelevate de la locul crimei. In: *Legea și Viața*. 2021, nr. 1(SVol.II), pp. 257-261.

4. NITREAN, A. *Adaptarea metodelor de relevare a urmelor papilare într-un mediu „nuclearizat”*. În: *Tendențe contemporane ale dezvoltării științei: viziuni ale tinerilor cercetători*, Ediția 9, Vol.2, 2020, Chișinău, Moldova, pp. 205-211.

5. NITREAN, A. *Determinarea particulelor-imitatori ai materialului nuclear sau altul radioactiv pentru exerciții cu explozii radiologice*. În: *Materiale masă rotundă internațională, Dezvoltarea expertizei judiciare ecologice - obiectiv esențial în protecția mediului* In: *Legea și Viața*. 2022, ediție specială, pp. 175-182, ISSN 2587-4365.