

Улаанбаатар хотын агаарын тоосонцрын морфологийн судалгаа

Л. Энхцэцэг¹, Н. Төвжаргал^{2*}, Д. Шагжжамба¹, П. Зузаан¹

¹Цөмийн физикийн судалгааны төв, МУИС

²Физикийн тэнхим, Шинжлэх ухааны сургууль, МУИС

Бид энэ ажлаар Улаанбаатар хотын агаарын бохирдол дахь тоосонцрын морфологи болон элементийн агуулгыг электрон микроскоп, энергиэр ялгах рентгенфлуоресценцийн аргаар судлав. Судалгааны үр дүнгээс үзэхэд янз бүрийн өсгөлттэй электрон микроскопийн зургийн тусламжтайгаар тоосонцрын ширхэгийн хэмжээний тархалт болон хэлбэр дүрсийг судалж, энергиэр ялгах рентген-флуоресценцийн арга шиглан тоосонцрын ширхэгийн элементийн агуулгыг тодорхойлж, түүний эх үүсгүүрийг нарийвчлан тогтоох боломжтой болохыг харуулав. Цаашид нарийн болон том ширхэгт тоосонцрын хувьд улирлаас хамаарсан өөрчлөлтийг нарийвчлан судлах шаардлагатай.

PACS numbers: 68.37.-d, 81.10.Aj, 78.70.En

ОРШИЛ

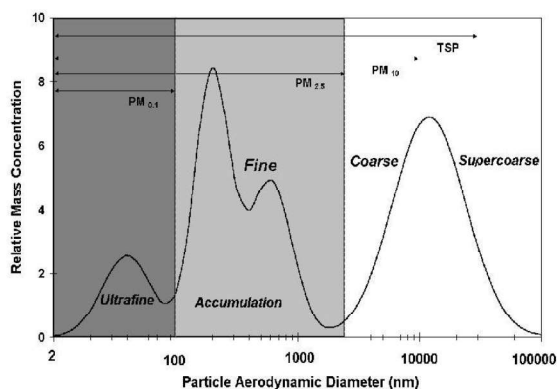
Дэлхий даяар өдөр ирэх тусам хотжилт эрчимтэй явагдаж, хот суурин газруудын хүн амын төвлөрөл нэмэгдэж байгаагаас барилга бүтээн байгуулалт, автомашины хэрэглээ зэрэг хүний өдөр тутмын үйл ажиллагаанаас үүдэлтэй агаарын бохирдлын асуудал буурахгүй байна [1]. Хүмүүсийн амьдрах орчин, амьсгалах агаар муудахын хэрээр хүний эрүүл мэндийн байдал өөрчлөгдөж, өвчлөл ихсэж байгааг Дэлхийн эрүүл мэндийн байгууллагаас гаргасан тайлан дахь Дэлхийн хэмжээнд жилд дунджаар 3 сая орчим хүн агаарын бохирдлын улмаас нас барж байна гэсэн дүн мэдээнээс харж болно [2]. Манай улсын хувьд агаарын бохирдлын улмаас хүн амын дунд амьсгалын замын эмгэг түгээмэл тохиолддог ба үүний дотор хүүхэд, өндөр настнууд мөн дархлаа султай өвчлөмтгий болоод архаг хууч өвчтэй хүмүүс илүү өртдөг байна. 2015 оны статистикийн дүнгээр нийт өвчлөлийн 35.9 %-ийг амьсгалын замын өвчлөл дангаараа эзэлж байгааг агаарын бохирдолтой холбон үзэх үндэслэлтэй юм [3]. Тэр дундаа агаар дахь тоосонцор нь хэмжээ болон химийн найрлагаас хамааран хүний эрүүл мэндэд янз бүрийн нөлөөлөл үзүүлдэг [1]. Тухайлбал, аэродинамик диаметрээрээ 10 мкм-ээс бага хэмжээтэй тоосонцрууд амьсгалын замаар нэвтрэх астма, бронхит, силикоз, эмпием зэрэг амьсгалын замын архаг өвчлөлүүдийг үүсгэн хүндрүүлж эсийн түвшинд үйл ажиллагааны болон дотоод бүтцийн доголдлыг үүсгэн хорт хавдар үүсэх шалтгаан болдог ба цаашлаад 0.5 мкм-ээс бага хэмжээтэй нь судасны хананд

нэвчин цусанд орж судасны бөглөрөл үүсгэн, цусны эргэлтийн тогтолцоогоор дамжин зүрхэнд тусч даралт ихсэх нь даамжирснаар яваандаа зүрхний шигдээс үүсгэдэг байна. Агаар бохирдуулагчдаас хүний эрүүл мэндэд хамгийн аюултайд тооцогддог нь PM2.5 тоосонцрын бохирдол юм [4], [5]. Тиймээс тоосонцрын агаар дахь агуулгыг тодорхойлж зөвшөөрөгдөх түвшнээс хэтэрч байгаа эсэхийг байнга хянах, агаарын тоосонцрын хэмжээ, хэлбэр, түүн дэхь химийн элементийн агуулга, нэгдэл болон эх үүсгүүрийг тогтоон хүний эрүүл мэндэд хэрхэн нөлөөлж байгааг судлах нь агаарын бохирдлыг бууруулах арга хэмжээг авч хэрэгжүүлэхэд чухал ач холбогдолтой.

Сүүлийн жилүүдэд агаарын тоосонцрын бохирдлыг судлахад энергиэр ялгах рентген детектор бүхий электрон микроскоп нь агаар мандал дахь тоосонцрын хэлбэр хэмжээ, элементийн агуулгыг тогтоох судалгаа хийхэд өргөнөөр ашиглагдаж байгаа орчин үеийн арга юм. Агаар бохирдуулагч тоосонцорын морфологи болон химийн элементийн агуулгын судалгааны үр дүнгүүд нь нарийн тоосонцрын хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөллийг тогтоох болон бохирдлын эх үүсгүүрийг нарийвчлан тодорхойлох бололцоог олгоно. Байгалийн хүчин зүйл болон хүний үйл ажиллагаанаас үүдэлтэй том, нарийн тоосонцрууд нь агаарт тархах байдал, зөөгдөлт, хүний биед нэвтрэх зэрэг шинж чанараараа өөр хоорондоо ялгаатай. Судалгаанаас үзэхэд агаар дахь тоосонцрын хэмжээ болон массын түгэлт нь ойролцоогоор 2

* Electronic address: tuvjangal@num.edu.mn

мкм болон 10 мкм дээр хамгийн их тархалтай гардаг (Зураг.1).



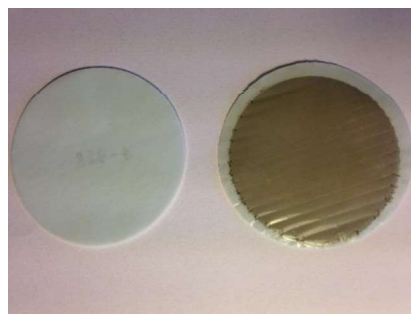
Зураг 1. Агаар дахь тоосонцрын хэмжээ, массын түгэлт.

Энэ ажлын зорилго нь Улаанбаатар хотын агаарын тоосонцрын дээжийг тусгай шүүлтүүрийн тусламжтайгаар ялган авч түүнд агуулагдах тоосонцрын ширхэгийн морфологи болон элементийн агуулгыг электрон микроскоп, энергиэр ялгах рентген-флуоресценц (SEM-EDXRF)-ийн аргаар тодорхойлоход оршино.

ТУРШИЛТ

Улаанбаатар хотын агаарын тоосонцрын бохирдлын мониторингийн судалгааны цэг болох Баянзүрх дүүргийн 13 хороонд байрлах МУИС-ийн Цөмийн физикийн судалгааны төвд тоосонцрыг Gent агаарын дээж авагч төхөөрөмж ашиглан аэродинамик диаметрээр нь нарийн-PM_{2.5}, том-PM_{10-2.5} 2 фракцаар ялган шүүж авсан дээжүүдэд SEM-EDXRF аргаар морфологийн болон элементийн шинжилгээ хийв. Улаанбаатар хотын энэ бүс нь харьцангуй өндөр агаарын бохирдол бүхий хэсэг юм.

Нарийн тоосонцрыг шүүх шүүлтүүрийн нүхний диаметр нь 0,4 мкм, том тоосонцрыг шүүх шүүлтүүрийн нүхний диаметр нь 8 мкм байна. Энэ нь Ази, Номхон далайн бүсийн хэлэлцээрийн орнуудын хамтын судалгааны ажилд хэрэглэж буй стандарт шүүлтүүр юм. Дээжийг 7 хоногт 2 удаа, 24 цаг хүртэлх хугацаагаар дунджаар 16 л/мин хурдтайгаар агаарыг соруулан дээжийг авдаг. Зураг.2-г цэвэр болон агаарын дээж авсан шүүлтүүрийг үзүүлэв.



Зураг 2. Нарийн тоосонцрын 0.4 мкм диаметр нүхтэй шүүлтүүр.

ЦФСТ-д тогтмол хийгддэг тоосонцрын судалгааны дээжнээс 1, 5, 7, 8 ба 12-р саруудын PM_{2.5}, PM_{10-2.5} тоосонцрын тус тус 1 дээж сонгон авч БНХАУ-ийн ӨМӨЗО-ны Багшийн их сургуулийн функциональ материалын физик химийн төв лабораторийн Hitachi фирмийн SU8010 сканнин электрон микроскоп (SEM) ашиглан тоосонцрын ширхэгийн хэмжээ, хэлбэрийг судалж, энергиэр ялгах рентген флуоресценцийн аргаар тоосонцрын элементийн агуулгыг тогтоосон болно. Энэхүү төхөөрөмж нь электроны үүсгүүр буюу электрон буунаас гарсан электроныг анод, катодын хооронд хурдасган соронзон линзүүдээр фокуслан судалгааны дээж дээр тусгаж электрон бодистой харилцан үйлчлэх процессын дүнд үүсэх хоёрдогч электрон болон рентген цацрагийг бүртгэх замаар Be-U хүртэлх өргөн мужид элементийн анализ хийж дээжийн хэлбэр, хэмжээ, химийн агуулгыг тодорхойлдог [6].

ҮР ДҮН

Агаарын PM_{2.5}, PM_{10-2.5} тоосонцрын дээжийг нэгэн зэрэг авч, дээж авахын өмнөх болон дараах шүүлтүүрийн жингийн зөрүүгээр агаарын тоосонцрын агуулга C-г тодорхойлно.

Шүүлтүүрт шүүгдсэн тоосонцрын масс Δm ,

$$\Delta m = m_0 - m_x \text{ [мг]}$$

- m_0 - фильтрийн анхны жин
- m_x - фильтрийн дээжтэй жин

Нийт соруулсан агаарын эзэлхүүн V,

$$V = \frac{[(l_i + l_f)/2] \cdot t}{1000} \text{ [м}^3\text{]}$$

- l_i - Агаар сорох анхны хурд (18 л/мин)
- l_f - Хэмжилт салгах үеийн агаар сорох хурд
- t - Агаар сорсон хугацаа

Эндээс нэгж эзэлхүүн дэх тоосонцрын агуулгыг олбол:

$$C = \frac{\Delta m \cdot 1000}{V} \text{ [мкг/м}^3\text{]} \quad (1)$$

Дээрх томьёог ашиглан $PM_{2.5}$, $PM_{10-2.5}$ тоосонцруудын хувьд бодож эдгээрийн нийлбэрээр PM_{10} агаар дахь тоосонцрын нийт агуулгыг тодорхойлно.

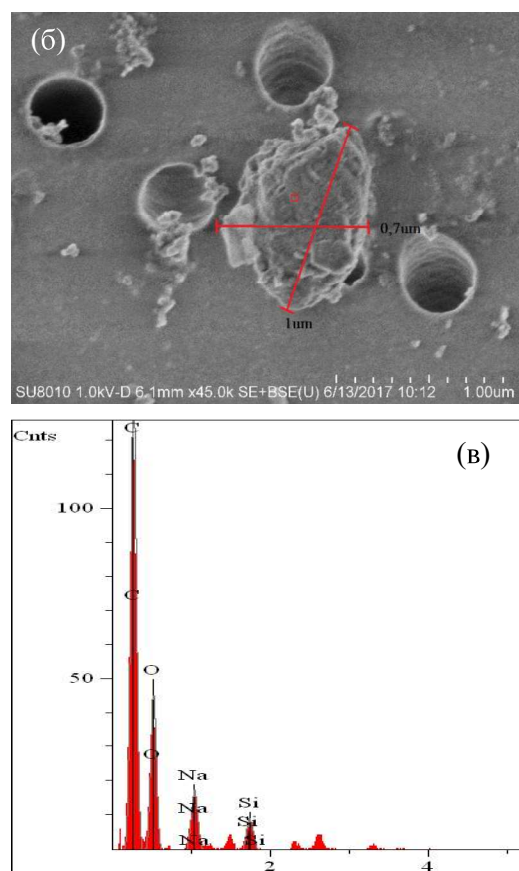
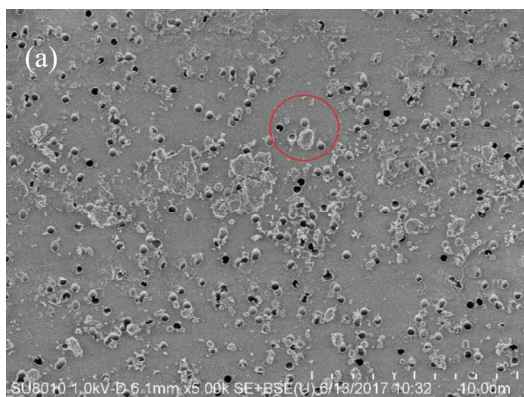
$$PM_{2.5} + PM_{10-2.5} = PM_{10}$$

Сонгож авсан дээжүүдийн үзүүлэлтийг хүснэгт 1-д харуулав.

Хүснэгт. 1. Агаар дахь $PM_{2.5}$, $PM_{10-2.5}$ тоосонцрын агуулга

Нарийн ширхэгт (f)	Дээж авсан өдөр	PM _{2.5} (мкг/м³)	Том ширхэгт (c)	Дээж авсан өдөр	PM ₁₀ (мкг/м³)
f-746	17/ҮII 2014	699.7	c-746	17/ҮII 2014	61.9
f-752	18/ҮIII 2014	39.7	c-752	18/ҮII I 2014	
f-773	08/XII 2014	52.2	c-773	08/XII 2014	163.3
f-780	12/I 2015	154.5	c-780	12/I 2015	38.2
f-800	04/Y 2015	149.9	c-800	04/Y 2015	192.6

Дэлхийн улс орон бүр өөрсдийн агаарын чанарын стандартыг дагаж мөрддөг бөгөөд дэлхий нийтийн стандарт гэж байдаггүй. Гэхдээ ДЭМБ-аас агаарын чанарын зөвлөмж утгуудыг гаргасан байдаг. Энэ зөвлөмжийн дагуу манай улс MNS 2007:4585 стандартыг батлан мөрддөг. Агаарын чанарын стандарт MNS2007:4585-д заасан 24 цагийн зөвшөөрөгдөх дундаж агуулга $PM_{2.5}$ тоосонцрынх 50 мкг/м^3 , PM_{10} тоосонцрынх 100 мкг/м^3 гэж заасан байна. Дээрх дүнд 2014 оны 12 сарын 8 өдрийн $PM_{2.5}$ тоосонцор зөвшөөрөгдөх дундаж утганд байсан бол PM_{10} тоосонцор зөвшөөрөгдөх дундаж утгаас их агуулгатай бүртгэгдсэн байна. Улирлын өөрчлөлтийг судлах үүднээс сонгон авсан зуны f-752, с-752, болон өвлийн f-773, с-773 шүүлтүүрийн SEM-EDXRF анализ хийсэн дүнг доор үзүүлэв.



Зураг 3. f-752 дээжийн электрон микроскопоор томруулсан зураг болон рентген спектр: а. 5000, б.45000 дахин өсгөлттэй зураг в. дээжийн рентген спектр

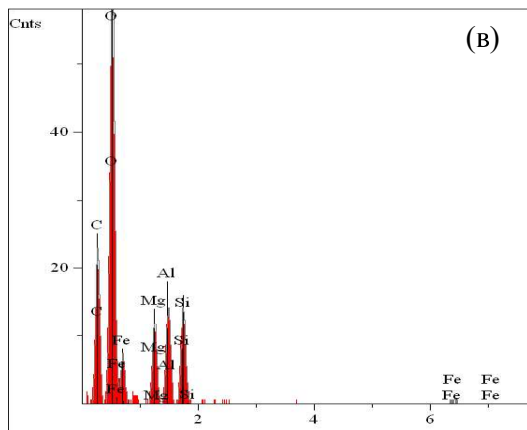
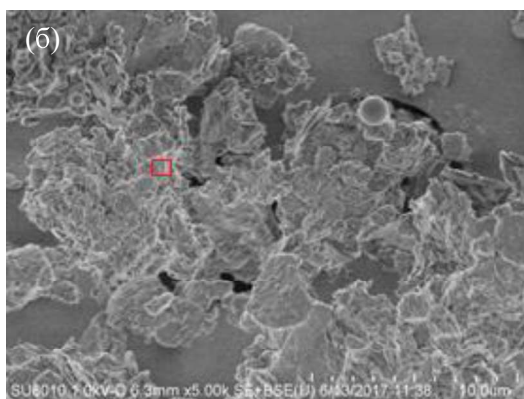
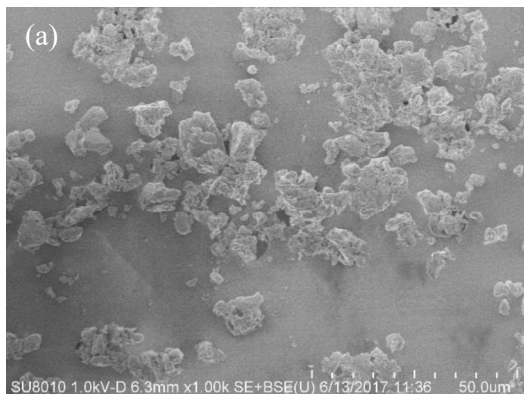
2014 оны 8-р сарын 18 өдрийн нарийн тоосонцрын дээжийн электрон микроскопоор томруулсан зураг болон рентген спектрийг Зураг.3-г харуулав. Зураг3а-д 5000 дахин өсгөлттэй үед тоосонцрын тархалтыг үзүүлсэн бол 3.б-д 45000 дахин өсгөлттэй үед тоосонцрын ширхэгийн хэмжээ, хэлбэрийг үзүүлэв. 3.в зурагт 3.б-д тоосонцрын рентген спектрийг үзүүлэв. Хүснэгт.2–т зураг.3б дахь тоосонцрын элементийн агуулгыг атомын болон жингийн хувиар үзүүлэв.

Зураг.3б-ээс үзэхэд бидний сонгож авсан тоосонцор нь 0,7мкм өргөн, 1мкм урттай эллипсоид хэлбэрийн харагдаж байна. Зураг.3в-д үзүүлсэн f-752 дээжид илэрсэн элементүүдийн рентгенфлуоресценцийн шинжилгээгээр тоосонцрын ширхэглэгт жингийн 89,7 хувийг нүүрстөрөгч ба хүчилтөрөгч эзэлж байгаа нь энэ эгэл хэсэг органик бодисоос үүсэлтэй гэж үзэж болохоор байна.

Хүснэгт 2. Зураг.3б дахь тоосонцрын элементийн агуулга.

Элемент	Эрчим (с/с)	Агуулга At. %	Агуулга (wt.%)
C	126.83	67.110	58.33
O	43.33	27.139	31.42

Na	19.71	3.938	6.55
Si	11.75	1.813	3.68
Нийт		100.0	100.0



Зураг 4. с-752 дээжийн электрон микроскопоор томруулсан зураг болон рентген спектр а. 1000, б.5000 дахин өсгөлттэй зураг в.дээжийн рентген спектр.

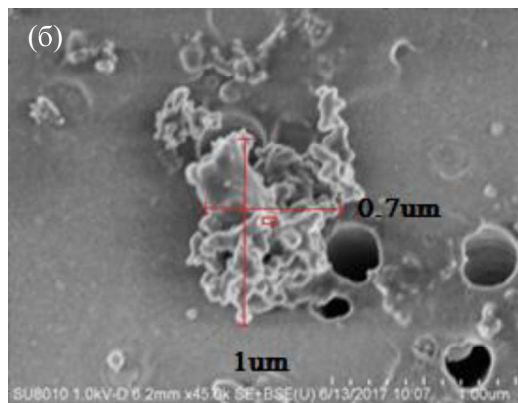
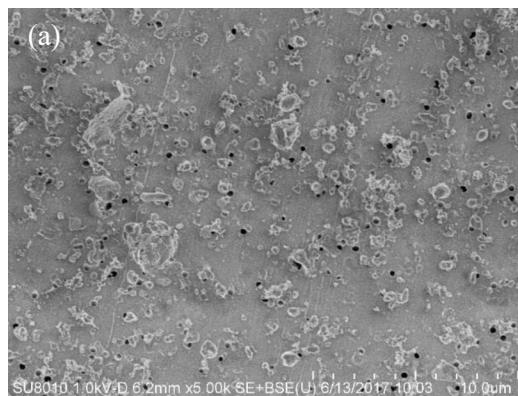
Зураг.4-г 2014 оны 8-р сарын 18 өдрийн том ширхэгт тоосонцрын дээжийн электрон микроскопоор томруулсан зургийг үзүүлэв. 4.а-д 1000 дахин өсгөлттэй үед тоосонцрын тархалтыг үзүүлсэн бол 4.б-д 5000 дахин өсгөлттэй үед нэг ширхэг тоосонцрын хэмжээ, хэлбэрийг үзүүлэв. 4.в зурагт 4.б-д үзүүлсэн тоосонцруудын сонгож авсан цэг дээрх рентген спектрийг үзүүлэв. Хүснэгт.3–г зураг.4б дахь

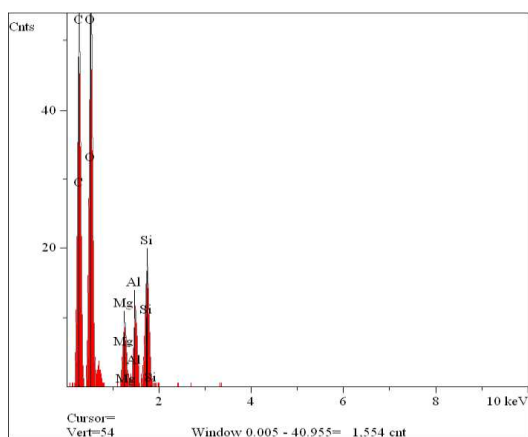
тоосонцрын элементийн агуулгыг атомын болон жингийн хувиар үзүүлэв.

Хүснэгт 3. Зураг.4б дахь тоосонцрын элементийн агуулга.

Элемент	Эрчим (с/с)	Агуулга At. %	Агуулга (wt.%)
C	22.55	33.63	22.51
O	65.73	47.98	42.77
Mg	13.61	4.313	5.84
Al	15.98	4.631	6.96
Si	16.73	4.833	7.56
Fe	2.84	4.608	14.34
		100.0	100.0

Тодорхойгүй хэлбэр дүрс бүхий тоосонцрын ширхэгт хийсэн элементийн шинжилгээгээр нүүрстөрөгч болон хүчилтөрөгч их хэмжээгээр агуулагдаж байгаагийн зэрэгцээ Fe, Si, Al ба Mg зэрэг элементүүдийг тодорхой хэмжээгээр агуулж байна. Эндээс үзвэл энэхүү тоосонцрын ширхэг нь органик болон эрдсийн эх үүсэлтэй тоосонцрууд холилдсон байж болохоор байна.





Зураг 5. *f*-773 дээжийн электрон микро스코поор томруулсан зураг болон рентген спектр а. 1000, б.45000 дахин өсгөлттэй в.дээжийн рентген спектр.

Хүснэгт 4. Зураг.5б дахь тоосонцрын элементийн агуулга.

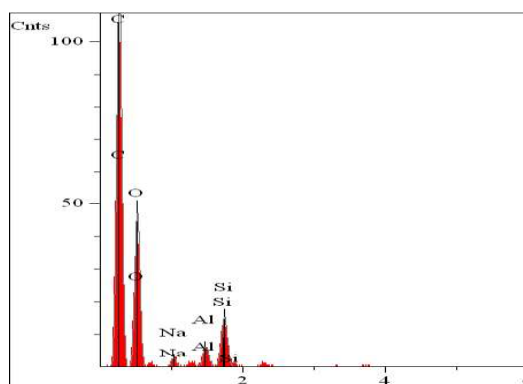
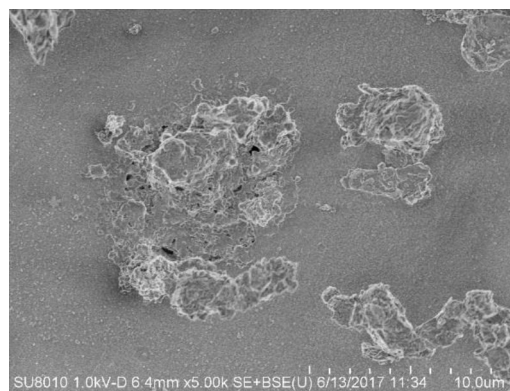
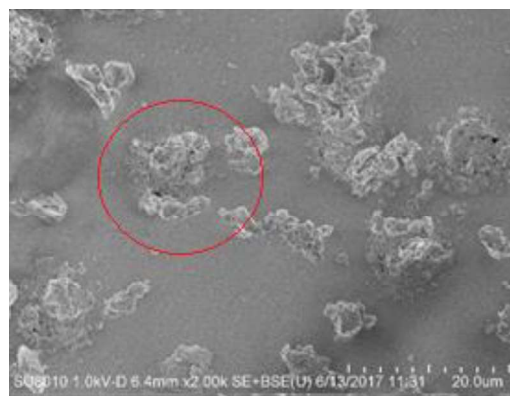
Элемент	Эрчим (с/с)	Агуулга At. %	Агуулга (wt.%)
C	50.53	50.84	40.62
O	55.51	39.30	41.82
Mg	11.16	2.529	4.08
Al	13.40	2.813	5.04
Si	21.23	4.507	8.41
		100.0	100.0

Зураг.5-д 2014 оны 12-р сарын 8 өдрийн нарийн тоосонцрын дээжийн электрон микроскопоор авсан зургийг үзүүлэв. Энд 5.а-д 1000 дахин өсгөлттэй үед тоосонцрын тархалтыг үзүүлсэн бол 5.б-д 45000 дахин өсгөлттэй үед нэг ширхэг тоосонцрын хэмжээ, хэлбэрийг үзүүлэв. Зургаас үзэхэд бидний сонгож авсан тоосонцрын ширхэг нь 0,7 мкм өргөн, 1мкм урттай тодорхойгүй буюу арзгар хэлбэрийн харагдаж байна. 5.в зурагт 5.б-д үзүүлсэн тоосонцрын рентген спектрийг үзүүлэв. Хүснэгт.4-т зураг.5.б дахь тоосонцрын элементийн найрлагыг атомын болон жингийн хувиар үзүүлэв.

Ийм хэмжээтэй (0.7-1 мкм) тоосонцрууд амьсгалын замын өвчлөлийг үүсгэдэг [5]. Мөн элементийн агуулгын 82,4 хувь нүүрстөрөгч болон хүчилтөрөгч гарсан нь энэ ширхэгийн дийлэнх нь органик үүсэлтэй болохыг үзүүлж байна. Хөрснөөс үүдэлтэй элементүүд бүртгэгдсэн байгаа нь цасан бүрхүүл тогтсон ч, хучилтгүй хөрс, замаас дэгдэх тоосонцрын нөлөө гэж үзэж болох юм.

Зураг.6-д 2014 оны 12-р сарын 8 өдрийн том ширхэгт тоосонцрын дээжийн электрон микроскопоор томруулсан зургийг үзүүлэв. Энд 6.а-д 2000 дахин өсгөлттэй үед тоосонцрын тархалтыг үзүүлсэн бол 6.б-д 5000 дахин өсгөлттэй үед нэг ширхэг тоосонцрын хэмжээ,

хэлбэрийг үзүүлэв. 6.в-д 6.б-д үзүүлсэн тоосонцрын рентген спектрийг үзүүлэв.



Зураг 6. *c*-773 дээжийн электрон микроскопоор томруулсан зураг болон рентген спектр: а. 2000, б.5000 дахин өсгөлттэй зураг в.дээжийн рентген спектр.

Хүснэгт.5-т зураг.5б дахь тоосонцрын элементийн агуулгыг атомын болон жингийн хувиар үзүүлэв.

Хүснэгт.5. Зураг.6б дахь тоосонцрын элементийн агуулга.

Элемент	Эрчим (с/с)	Агуулга At. %	Агуулга (wt.%)
C	111.20	65.80	56.66
O	46.01	28.96	33.23
Na	4.47	0.910	1.50
Al	8.70	1.345	2.60
Si	19.17	2.978	5.99
		100.0	100.0

Элементийн анализын дүнгээр нүүрстөрөгч ба хүчилтөрөгчийн агуулга 89,89% гэж гарсан нь шаталтын дүнд үүссэн тоосонцор гэж болохоор байна. Зурагт харагдаж байгаачлан шүүлтүүрийн нүхнүүд тоосонцроор бөглөрсөн нь дээж авах хугацаанд шүүлтүүрийн ханалт болсныг үзүүлж байна. Энэ нь хүйтэн сэрүүний улиралд байнга давтагддаг учраас дээжийг богино хугацаагаар авахад хүргэдэг [2].

ДҮГНЭЛТ

Бид энэ ажлаар Улаанбаатар хотын агаарын тоосонцрын бохирдлын морфологи болон элементийн агуулгыг SEM-EDXRF-ийн аргаар судлав. Янз бүрийн өсгөлттэй SEM-ийн зургийн тусламжтайгаар тоосонцрын ширхэгийн хэмжээгээрээ тархах болон хэлбэр дүрсийг судлах, тоосонцрын ширхэгийн элементийн агуулгыг тодорхойлж түүний эх үүсгүүрийг нарийвчлан тогтоох боломжтой болох нь харагдаж байна. Цаашид нарийн болон том ширхэгт тоосонцрын хувьд улирлаас хамаарсан өөрчлөлтийг нарийвчлан судлах шаардлагатай гэж үзэж байна. Ингэснээр агаарын тоосонцрын нарийвчилсан судалгааг системтэйгээр хийж тоосонцрын ширхэгийн хэлбэр, хэмжээ, элементийн агуулга нь хүний эрүүл мэндэд хэрхэн нөлөөлхийг судлаж болох юм. Ийнхүү дээрх чиглэлийн судалгааны үр дүн нь Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлыг бууруулах тодорхой арга хэмжээг авч хэрэгжүүлэх нэг үндэслэл болж өгнө.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааг хийхэд дэмжлэг үзүүлсэн “Хотын агаарын тоосонцрын агаарын чанарт үзүүлэх нөлөөг үнэлэх” RAS7029 судалгааны төслийг хэрэгжүүлж буй ОУАЭА, Ази, Номхон далайн бүсийн хэлэлцээрийн байгууллага, SEM-EDXRF-ийн хэмжилтийг хийх нөхцөлөөр хангасан БНХАУ-ын ӨМӨЗО-ны Багшийн их сургуулийн функциональ материалын физик-химийн лабораторийн хамт олонд талархал илэрхийлж байна.

НОМЗҮЙ

- [1] Roberto Ramirez-Leal, Maryanna Valle-Martinez, Martin Cruz-Campas, ‘Chemical and Morphological Study of PM10 analysed by SEM-EDS, 2014, 3, 121-129, Mexico
- [2] Air pollution in Ulaanbaatar (proposed assessment of current situation and effects of

abatement measures) Discussion Paper, World Bank, Ulaanbaatar, Mongolia. 2009

- [3] Агаарын бохирдлын хүний эрүүл мэндэд нөлөөлж буй байдлыг эрүүл мэндийн статистикийн үзүүлэлтээр дүгнэсэн байдал, НЭМГ, 2011 он. www.ubhealth.mn
- [4] Dockery, D.W. and Pope, Acute Respiratory Effects of Particulate Air Pollution. Annual Review of Public Health, 1994, 15, 107-132, C.A.
- [5] Schwartz, J. (1994) Air Pollution and Daily Mortality: A Review and Meta-Analysis. Environmental Research, 64, 36-52. <http://dx.doi.org/10.1006/enrs.1994.1005>
- [6] Bob Hafner, Energy Dispersive Spectroscopy on the SEM, Chapter 1, Characterization Facility, University of Minnesota-Twin cities, 2009.