

## ХЭЭРИЙН ТҮЙМЭР БА ХӨРСНИЙ ОРГАНИК НҮҮРСТӨРӨГЧИЙН ӨӨРЧЛӨЛТ

Ц.БОЛОРМАА\*

Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэн, ШУА  
Bolormaa999@gmail.com

### Changes in soil organic carbon after a wildfire

Wildfires are the major disturbing factor that can affect soil organic carbon content in a grassland ecosystem and may have a particularly persistent effect on the carbon stock in the affected soils. Purpose of the study performed was to investigate the carbon content and stock changes in a soil in result of wildfire occurred on the steppe of the eastern Mongolia. The results have shown that soil organic carbon content and soil organic carbon stock decreased ( $p < 0.005$ ) as a result of wildfire. Soil organic carbon content was highest for the unburned soil (from approximately  $9.77 \text{ g kg}^{-1}$  to  $13.92 \text{ g kg}^{-1}$  and average content is  $11.27 \text{ g kg}^{-1}$  in 0-4 cm) but burned soil was lower than (from approximately  $6.82 \text{ g kg}^{-1}$  to  $9.63 \text{ g kg}^{-1}$  and average content is  $8.63 \text{ g kg}^{-1}$ ). Moreover, in burned soil organic carbon stock is also 1.3 times lower than unburned soil (in 0-4 cm). In addition, topsoil bulk density increased by  $0.10 \text{ g cm}^{-3}$ .

*Түлхүүр үг: хээрийн түймэр, хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламж, хөрсний органик нүүрстөрөгчийн нөөц, хөрсний органик нүүрстөрөгчийг өөрчлөлт*

### Оршил

Тал хээрийн ургамлын бүрхэвчийг хамран хяналтгүйгээр тархдаг галыг хээрийн түймэр гэнэ. Хээрийн түймэр газрын гадаргуугын ургамал болон ургамлын үндэс, хагдарсан органик материал, хөрсний органик үе давхаргын органик материалаар тэжээгддэг (Graham et al., 2004) бөгөөд түймрийн тархалт нь шатах материалын онцлог, чийгийн агууламж, цаг уурын нөхцөл зэргээс шалтгаална (Dominick & Chad., 2015). Түймэр нь экосистемд шим тэжээлийн бодисын эргэлтээр дамжуулан дэлхийн системийн олон түвшинд нөлөөлдөг (Smith, 1983) ба хий болон аэрозолуудыг агаар мандал руу ялгаруулна (Wiedinumer et al., 2006). Хүрээлэн буй орчны, түүний дотор бүс нутгийн уур амьсгалын өөрчлөлтийг нэмэгдүүлж буй хамгийн том хүчин зүйл нь түймэр (Westerling et al., 2007). Жил бүр түймрийн нөлөөгөөр 2-4 Pg нүүрстөрөгч агаар мандалд ялгарч, дэлхийн нүүрстөрөгчийн эргэлтэд орно (Werf et al., 2006). Хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламжид үзүүлэх түймрийн нөлөө зөвхөн түймрийн үед ирлээд дуусахгүй, түймрийн дараа ч нөлөөлсөөр байна (Fernández et al., 1999). Дэлхийн олон оронд газар ашиглалтыг нэмэгдүүлэх, доройтсон бэлчээрийг сайжруулах зорилгоор жил бүр хэдэн мянган га талбай шатааж байгаа бөгөөд ингэж шатаасан

---

\* BOLORMAA Tseden-Ish. Institute Geography-Geoecology, MAS

бэлчээрийн хөрснөөс ялгарч буй нүүрстөрөгчийн агууламж шатаагүй бэлчээрийн хөрснийхөөс 30-34%-иар их байна (Abdalla, 2016). Дунд ба их зэрэглэлтэй түймрийн дараа хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламж 10-60%-иар, харин хөрсний органик нүүрстөрөгчийн нөөц 5-40%-иар багассан (Xiaoyang et al., 2014).

Манай орны хувьд хуурайшилт ихтэй хавар, намрын улиралд түймрийн гаралт их, түймрийн улмаас жил бүр маш их хэмжээний талбай шатдаг билээ. Зөвхөн 2016 онд гэхэд л улсын хэмжээнд 14 аймгийн 62 суманд 138 удаагийн ой, хээрийн түймэр гарч, түймрийн улмаас 31.3 мянган га ой, 3.2 сая га бэлчээр, нийт 3.2 сая га ой, хээр түймэрт өртөж, байгаль, экологид 10.7 тэрбум төгрөгийн хохирол учирсан байдаг (Ikon, 2017). Монгол орны зүүн, зүүн хойд нутгийн ой, өвслөг хээрт түймрийн гаралт ихтэй байдаг бөгөөд 2000-2015 оны хооронд 204649 км<sup>2</sup> талбай түймэрт шатсан байна (Болдбаяр, 2017). Дорнод аймгийн нутагт 2000-2017 онд нийтдээ 256 удаагийн ой, хээрийн түймрийн гарсан (Статистикийн мэдээллийн нэгдсэн сан). Манай орон түймрийн давтамж их, түймэрт шатсан талбай ихтэй боловч түймрийн хөрсөнд үзүүлэх нөлөө, түймрийн дараа хөрсний шинж чанар хэрхэн өөрчлөгддөг болохыг судалсан ажил өнөөдөр хараахан алга.

Энэхүү судалгааны гол зорилго нь хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламж болон хөрсний органик нүүрстөрөгчийн нөөцөд үзүүлэх хээрийн түймрийн нөлөөг судлах явдал юм.

## **Судалгааны аргазүй**

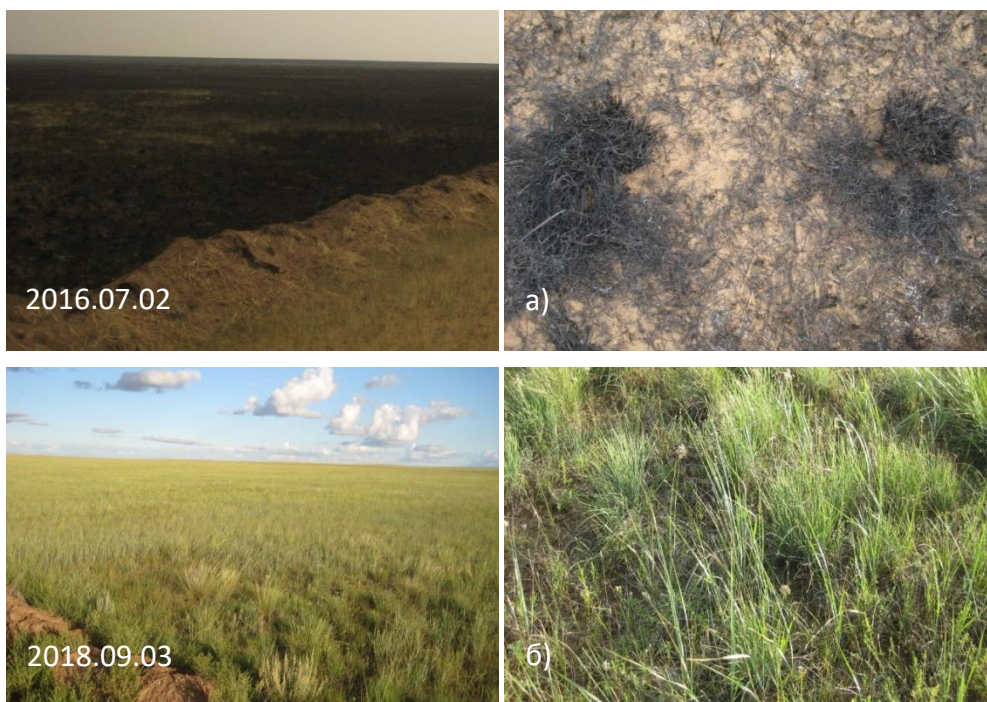
### **1. Судалгааны талбай**

Дорнод аймгийн Матад сум, газрын тосны Тосон-Уул XIX-р талбайн ашиглалт хамаарах талбайд байрлана. Уур амьсгалын мужлалаар хуурай сэрүүвтэр зун, хахирдуу өвөлтэй. Жилийн нийлбэр хур тунадас 250-300 мм, 1 дүгээр сарын агаарын харьцангуй чийгшлийн дундаж 55-65% бол 7 дугаар сарын дундаж 40-50%. Нийлбэр ууршилт 200-250 мм. Түймрийн аюулын 1-р зэргийн эрсдэлтэй нутаг (Монгол орны ой, хээрийн түймрийн аюулын зэргийн зураг). Ургамал-газарзүй мужлалаар Евроазийн хээрийн их мужийн Матад-Тамсагийн тойрог, хялганат хээр, хялгана-таанат хээрийн ургамалжилттай. Хөрс гадарзүйн мужлалаар хотгорын бүсчлэлийн Хангайн их мужийн хотгорын бүсшилтэй нутгийн Монголын дорнод мужийн Мэнэн-Матадын 19-р тойрогт хамрагдана (Монгол улсын үндэсний атлас, 2009). Хөрс усаар эвдрэх эрсдэлгүй, хөрс салхинд эвдрэх эрсдэл нэн ихтэй нутаг.

2016 оны 7-р сарын 2-ны өдөр түймэрт шатсан талбайд түймрийн шаталтын зэрэглэл тогтооход дундаас дээш буюу түймрийн нөлөөгөөр гадаргын бүх

ургамал, органик хог хаягдал бүрэн шатсан, мөн хөрсний ширэгт үе давхаргын өнгөн хэсгийн (0.5-1 см зузаан) органик шатаснаар сул элсэн хучаас үүссэн байв (Зураг 1 а).

Судалгааны талбайд Карбонатлаг хүрэн хөрс тархсан. 2018 оны 9-р сарын 03-ны өдрийн байдлаар түймэрт өртөөгүй талбайн ургамал бүрхэц 75-80%. Ялзмагт үеийн зузаан 35 см, карбонатын илрэх гүн 35 см, чулуугүй, 0-20 см-ийн гүнд чийгтэй, доод үе давхарга хуурай, 40 см-ээс доош нягт. Өнгөн хөрс нь саармаг урвалын орчинтой (рН 7.46), элсэнцэр механик бүрэлдэхүүнтэй (элс 62.1%, тоос 28.1%, шавар 9.6%).



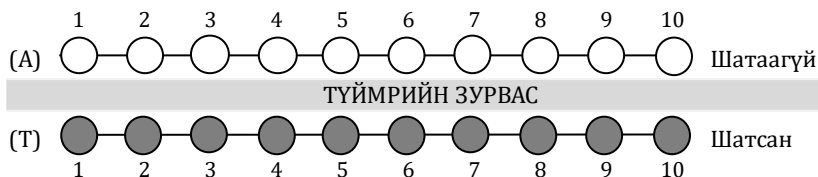
Зураг 1. Дорнод Монголын хялганат хээр. Түймэр гарснаас 7 хоногийн дараа а) ургамал бүрхэц, хагд өвс болон ширэгт үе давхаргын дээд хэсгийн органик шатаж сул элсэн хучаас үүссэн б) түймэр гарснаас хойш 2 жилийн дараах ургамалжилт, гадарга дээр бага зэргийн хагд үүссэн

### 1. Хөрсний дээж авалт

Хөрсний дээжийг 2018 оны 09-р сарын 03-ны өдөр авсан. Судалгаанд түймрийн зурвастай талбай сонгож түймэрт өртсөн талбайгаас 10 ш, зэргэлдээх түймэрт өртөөгүй талбайгаас 10 ш дээж авлаа. Ингэхдээ шугаман цэгийн аргыг сонгож түймрийн зурвастай паралель (Т) болон (А) шугамын дагуу, шугамын 0 цэгээс эхлэн 1 метрийн интервалтай 10 цэгээс хөрсний дээжлэлтийг хийхдээ гадарга дээрх ургамлын үлдэгдэл, хагд өвсийг түүж

авсны дараагаар 2.5 см-ийн диаметртэй гольцоогоор авсан (Зураг 2). Дээж авсан гүн 0-4 см. Дээж авсан цэгийн солбицол: T1 N46°55'15.058" E116°20'11.391", A1 N46°55'15.964" E116°20'11.112", үнэмлэхүй өндөр 725 метр.

Мөн түймэрт өртөөгүй талбайд хөрсний зүсэлт хийж морфологи шинж чанарыг тодорхойлон, 10 см, 30 см, 50 см-ийн гүнээс эзлэхүүн жингийн, хөрсний генетик үе давхарга тус бүрээс үндсэн дээж авсан.



Зураг 2. Түймэрт өртсөн болон түймэрт өртөөгүй талбайгаас шугаман цэгийн аргаар дээж авсан аргазүйн схем.

## 2. Лабораторийн анализ ба статистик боловсруулалт

Хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламж (soil organic carbon content)-ийг И.В.Тюрины аргаар ШУА-ийн Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэнгийн Хөрс судлалын лабораторид хийсэн. Хөрсний дээжийг шинжилгээнд бэлтгэхдээ агаарын хуурай нөхцөлд хатааж, 1 мм-ээс том хэмжээтэй ургамлын үлдэгдэл, үндсийг түүж, шаазан ууранд хийж, шаазан нухуураар нухаад 2 мм-ийн диаметртэй шигшүүрээр шигшинэ. Шигшигдээд гарсан дээжийг 0.25 мм-ээс нарийн болтол нухаж нунтаглана. Шинжилгээний чанар, үнэмшлийг сайжруулах зорилгоор нэг дээжийг гурван давталттай хийлээ.

Хөрсний органик нүүрстөрөгчийн нөөцийг (0-4 см) дараах томъёогоор олно (Xiaoyang et al., 2014).

$$SOCD = SOCC \times d \times D \times (1 - G) \times 10^{-2} \quad (1)$$

Үүнд: SOCD хөрсний органик нүүрстөрөгчийн нөөц (кг м<sup>-2</sup>), SOCC хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламж (г кг<sup>-1</sup>), d хөрсний эзлэхүүн жин (г см<sup>-3</sup>), D хөрсний үе давхаргын гүн (см), G чулууны агууламж эзлэхүүний хувиар (%).

Түймрийн нөлөөгөөр алдарсан органик нүүрстөрөгчийн хэмжээг дараах томъёогоор олно (Xiaoyang et al., 2014).

$$RSOCC = \frac{(SOCC_T - SOCC_A)}{SOCC_A} \quad (2)$$

Үүнд: RSOCC хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламжийн өөрчлөлт (г кг<sup>-1</sup>), SOCC<sub>T</sub> түймэрт өртсөн хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламж (г кг<sup>-1</sup>), SOCC<sub>A</sub> түймэрт өртөөгүй хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламж (г кг<sup>-1</sup>).

Түймрийн нөлөөгөөр алдарсан органик нүүрстөрөгчийн нөөцийг дараах томъёогоор олно.

$$RSOCD = \frac{(SOCD_T - SOCD_A)}{SOCD_A} \quad (3)$$

Үүнд: RSOCD хөрсний органик нүүрстөрөгчийн нөөцийн өөрчлөлт (кг м<sup>-2</sup>), SOCD<sub>T</sub> түймэрт өртсөн хөрсний органик нүүрстөрөгчийн нөөц (кг м<sup>-2</sup>), SOCD<sub>A</sub> түймэрт өртөөгүй хөрсний органик нүүрстөрөгчийн нөөц (кг м<sup>-2</sup>).

Судалгааны дээжийг шатаагүй ба шатсан хөрс гэж ангилан ерөнхий тодорхойлогч статистикуудийг тооцсон. Шатсан болон шатаагүй хөрсний үр дүнгийн ялгаанд түймрийн нөлөө байгаа эсэхийг нэг хүчин зүйл ANOVA LCD t-test-ээр шалгав. Ялгаатай хоёр бүлгийн ач холбогдлын босго P<0.05.

### Судалгааны үр дүн

#### 1. Хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламж

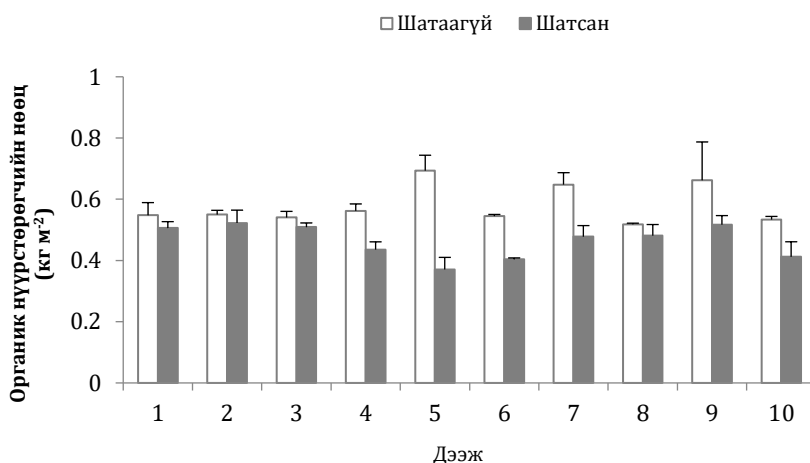
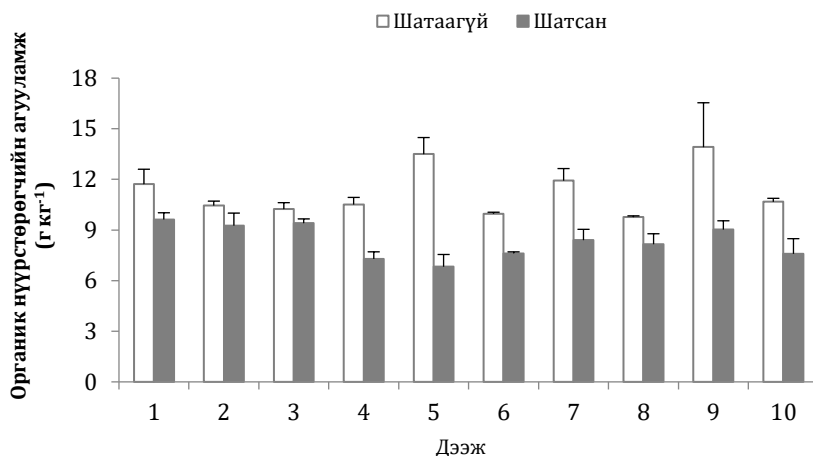
Түймэрт өртсөн талбайгаас 10 ш, зэргэлдээх түймэрт өртөөгүй талбайгаас 10 ш. дээж авч хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламжийг И.В.Тюрины аргаар 3 давталттай тодорхойлж, үр дүнг Хүснэгт 1, Зураг 3-т үзүүлсэн бол органик нүүрстөрөгчийн нөөцийг Зураг 3-т үзүүлэв.

Хүснэгт 1. Хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламж, г кг<sup>-1</sup>

Хөрс	Дундаж	Хамгийн их	Хамгийн бага	Стандарт хазайлт	Медиан
Шатсан (n=10)	8.32	9.63	6.82	0.98	8.28
Шатаагүй (n=10)	11.27	13.92	9.77	1.46	10.59

Түймэрт өртөөгүй талбайгаас авсан өнгөн хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламж 9.77 г кг<sup>-1</sup>-аас 13.92 г кг<sup>-1</sup>-ийн хооронд хэлбэлзэж дундаж нь 11.27 г кг<sup>-1</sup>, стандарт хазайлт 1.46 г кг<sup>-1</sup> байна. Харин түймэрт өртсөн талбайн өнгөн хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламж 6.82 г кг<sup>-1</sup>-аас 9.63 г кг<sup>-1</sup>-ийн хооронд хэлбэлзэж дундаж нь 8.32 г кг<sup>-1</sup>, стандарт хазайлт 0.98 г кг<sup>-1</sup> буюу шатаагүй хөрснийхөөс бага байгаа нь түймрийн нөлөөгөөр өнгөн хөрсний органик шатаснаар (Т) шугамын дагуу дээж авсан 10 цэгийн органик нүүрстөрөгчийн агууламжийн ялгаатай байдал буурсан (P<0.05) болохыг харуулж байна. Шатсан хөрсний 0-4 см-ийн гүн дэх органик нүүрстөрөгчийн агууламж нь шатаагүй хөрснийхөөс дунджаар 1.4 дахин бага байна.

2016 оны 6-р сарын 26-ны өдөр гарсан хээрийн түймэрт шатсан хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламж болон органик нүүрстөрөгчийн нөөц зэргэлдээх шатаагүй хөрснийнөөс багассан (P<0.005) болохыг судалгааны үр дүн харуулав.

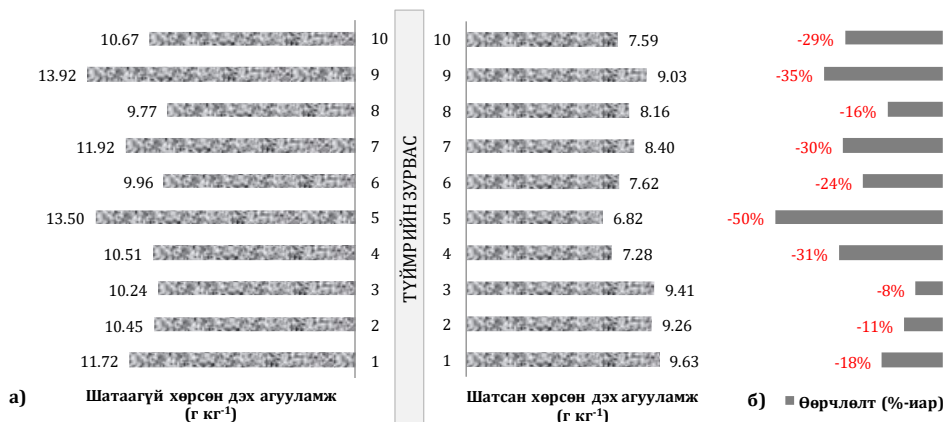


Зураг 3. Хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламж ( $г кг^{-1}$ ) болон хөрсний органик нүүрстөрөгчийн нөөц ( $кг м^{-2}$ ). Дундаж утга ба дундаж утгаас хазайсан хэлбэлзэл

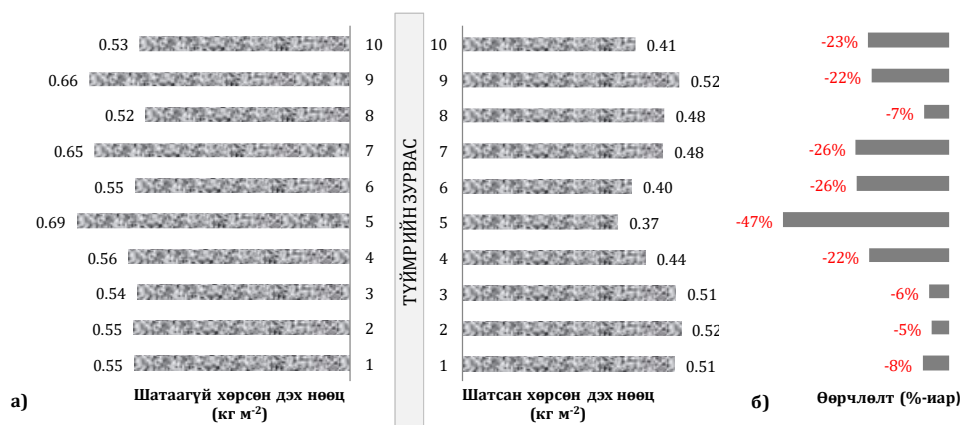
## 2. Түймрийн нөлөөгөөр хөрснөөс алдарсан органик нүүрстөрөгч

Түймрийн нөлөөгөөр өнгөн хөрснөөс алдарсан органик нүүрстөрөгчийн агууламжийн өөрчлөлтийг Зураг 4-т, органик нүүрстөрөгчийн нөөцийн өөрчлөлтийг Зураг 5-д харуулав.

Өнгөн хөрсний органик материал түймэрт шатаснаар 0-4 см-ийн гүн дэх хөрсний эзлэхүүн жин нэмэгдсэн. Шатаагүй хөрсний эзлэхүүн жингийн дундаж нь  $1.29 г см^{-3}$  (хамгийн бага нь  $1.17 г см^{-3}$ , хамгийн их нь  $1.37 г см^{-3}$ ) байхад шатсан хөрсний эзлэхүүн жин ойролцоогоор  $0.10 г см^{-3}$ -аар нэмэгдэж дундаж нь  $1.39 г см^{-3}$  (хамгийн бага нь  $1.31 г см^{-3}$ , хамгийн их нь  $1.49 г см^{-3}$ ) болсон байна.



Зураг 4. а) Шатсан болон шатаагүй хөрсөн дэх нүүрстөрөгчийн агууламж (г кг<sup>-1</sup>)  
 б) түймрийн нөлөөгөөр өнгөн хөрснөөс алдарсан органик нүүрстөрөгчийн агууламж (%-иар)



Зураг 5. а) Шатсан болон шатаагүй хөрсөн дэх нүүрстөрөгчийн нөөц (кг м<sup>-2</sup>)  
 б) Түймрийн нөлөөгөөр өнгөн хөрснөөс алдарсан органик нүүрстөрөгчийн нөөц (%-иар)

2016 онд гарсан хээрийн түймрийн нөлөөгөөр 0-4 см-ийн гүн дэх хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламж 8-50%-иар багассан ба тэдгээрийн дундаж нь 25% байна. Харин түймэрт шатсан хөрсний 0-4 см-ийн гүн дэх органик нүүрстөрөгчийн нөөц 5-47%-иар багассан бөгөөд тэдгээрийн дундаж нь 19%-д хүрнэ. Түймэрт өнгөн хөрсний органик шатаж, дээж авсан 0-4 см-ийн гүний эзлэхүүн жин нэмэгдсэн учраас органик нүүрстөрөгчийн нөөцийн өөрчлөлт нь агууламжийн өөрчлөлтөөс харьцангуй бага байв.

### Дүгнэлт

Хээрийн түймрийн хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламж болон хөрсний органик нүүрстөрөгчийн нөөцөд үзүүлэх нөлөөг илрүүлэх зорилгоор энэхүү судалгааг Дорнод аймгийн Матад сумын нутаг, 2016 оны 6-р сарын 26-ны өдөр түймэрт өртсөн талбайд хийсэн. Энэ талбай түймрийн зурвастай учраас бидэнд түймэрт өртсөн болон түймэрт өртөөгүй талбайгаас хөрсний дээж авах, шатсан ба шатаагүй хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламжийг харьцуулах боломж бүрдсэн юм.

Хээрийн түймэрт гадаргын бүх ургамал, органик хог хаягдал бүрэн шатаж, хөрсний ширэгт үе давхаргын дээд хэсгийн органик материал шатаснаар 0.5-1 см зузаан сийрэг элсэн хучаас үүссэн. Иймээс түймэрт өртсөн талбайн хөрсний өнгөн хэсгийн (0-4 см) эзлэхүүн жин нэмэгдэж, органик нүүрстөрөгчийн агууламж болон органик нүүрстөрөгчийн нөөц багассан.

Хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламж шатаагүй хөрсний 0-4 см-ийн гүнд 9.77 г кг<sup>-1</sup>-аас 13.92 г кг<sup>-1</sup>-ийн хооронд хэлбэлзэж дундаж нь 11.27 г кг<sup>-1</sup> байхад түймэрт шатсан хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламж 6.82 г кг<sup>-1</sup>-аас 9.63 г кг<sup>-1</sup>-ийн хооронд хэлбэлзэж дундаж нь 8.32 г кг<sup>-1</sup> буюу шатсан хөрсний органик нүүрстөрөгчийн агууламж шатаагүй хөрснийхөөс 1.4 дахин бага байна. Шатсан хөрсний стандарт хазайлт шатаагүй хөрснийхөөс бага байгаа нь түймрийн нөлөөгөөр хөрсний 0-4 см-ийн гүн дэх органик нүүрстөрөгчийн агууламжийн зөрүү багасаж, ойролцоо болсныг судалгааны үр дүн харуулав.

Түймрийн нөлөөгөөр хөрсний 0-4 см-ийн гүн дэх органик нүүрстөрөгчийн агууламж 25 хувиар (хамгийн бага нь 8%, хамгийн их нь 50%-иар), органик нүүрстөрөгчийн нөөц 19 хувиар (хамгийн бага нь 5%, хамгийн их нь 47%-иар) багассан байна.

#### АШИГЛАСАН ХЭВЛЭЛ

- Аринушкина Е.В. (1970). Руководство по химическому анализу почв. Издательство Московского Университета. стр 130-139.
- Болдбаяр Р. (2017). Монгол, Орос, Хятад гурван улсын хил залгаа нутгийн ой, хээрийн түймрийн харьцуулсан судалгааны үр дүнгээс. Хүрэлтогоот-2017.
- Дорнод аймагт гарсан ой, хээрийн түймрийн тоо. (2000-2017). Статистикийн мэдээллийн нэгдсэн сан 1212.
- Монгол орны ой, хээрийн түймрийн аюулын зэргийн зураг. Байгаль орчин, ногоон хөгжлийн яам, ШУА-ийн Ботаникийн хүрээлэн, Монгол-Оросын хамтарсан биологийн иж бүрэн экспедици.
- Хөрс-газарзүйн мужлалт. (2009). Монгол улсын үндэсний атлас. Зураг 105, ху 122.



MNS ISO11464:2002. Физик-химийн шинжилгээ хийх дээжийг урьдчилан боловсруулах. 5.2.1. Агаарт хатаах, 5.3. Бутлах ба гадны хольцыг цэвэрлэх, 5.4. Шигших.

Ой хээрийн түймрийн 96 хувь нь хүний буруутай үйл ажиллагаанаас болж гардаг. 2017.03.24. ikon үндэсний портал.

Dominick A. DellaSala., Chad T. Hanson. (2005). The Ecological Importance of Mixed-Severity fires. Copyright© 2015 Elsevier Inc.All. ISBN978-0-12-802749-3.

Fernández L., Cabaneiro A., Carballas T. (1999). Carbon mineralization dynamics in soils after wildfires in two Galician forests. *Soil Biol Biochemistry* 31, 1853-1865.

French N.H.F., Goovaerts P., Kasischke E.S. (2004). Uncertainty in estimating carbon emissions from boreal forest fires. *Geophys. Res. Atmos.*109, D14S08.

Khatab A., Pauline C., Colin E., Olivier M., Mathieu T., Vincenet C. (2016). Long-term annual burning of grassland increases CO<sub>2</sub> emissions from soils. *Geoderma* 282 (2016) 80-86.

Hongmei Zhao., Daniel Q.Tong., Qianxin Lin., Xianguo Lu., Guoping Wang. (2012). Effect of fire on soil organic carbon pool and mineralization in a Northeastern China wetland. *Geoderma* 189-190 (2012) 532-539.

Russell T. Graham., Sarah McCaffrey., Theresa B. Jain. (2004). Science basis of changing forest structure to modify wildfire behavior and severity. U.S. Department of Agriculture Forest Service. April 2004.

Xiaoyang C., Fei G., Jinfeng S., Ying S., Jinbing S., Xueying D. (2014). Changes in soil organic carbon after an experimental fire in a cold temperate coniferous forest: A sequenced monitoring approach. *Geoderma* 226-227(2014) 260-269.

Werf G.R., Randerson J.T., Giglio L., Collatz G.J., Kasibhatla P.S., Arellano A.F. (2006). Interannual variability in global biomass burning emissions method for method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol Biochemistry* 19, 703-707.

Westerling A.L., Betancourt J.L., Schwartz M.D. (2007). Reevaluation of the spring onset/fore association in the western U.S. using phenological vs. hydrological models. Proceedings of the American Geophysical Union 2007 Fall Meeting.

Wiedinmyer C., Quayle B., Geron C., Belote A., McKenzie D., Zhang X., O'Neill S., Wynne K.K. (2006). Estimating emissions from fires in North America for air quality modeling. *Atmospheric Environment* 40. 3419-3432.