

МОНГОЛ ОРНЫ ТӨВ ХЭСГИЙН ХЭЭРИЙН ХӨРСНИЙ ОРГАНИКИЙН 90 ЖИЛИЙН ДАРААХ ӨӨРЧЛӨЛТ

О. БАТХИШИГ*, Ө.ГАНЗОРИГ

Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэн, ШУА
batkhishig@gmail.com

Central Mongolian steppe Soil Organic Matter Change after 90 years

One of first soil investigation of Mongolia made by Russian famous scientist V. Polynov in 1925, in the Uvur Jargalant area of Central aimag. In 2018 we made soil investigation on the same area with aim of soil organic matter (SOM) change issue. Average drop of steppe SOM after 90 years is following: in the 5 cm soil depth -51.5 %, in 10 cm soil depth is -33.2 % and 30 cm soil depth is about -11.1 %. In the below 30 cm soil of depth no change of SOM. By landscape positions SOM change differed. Mountain top area and valley bottom area SOM is more declining comparing to the footslope area soils. For 0-30 cm top soil layer weighed average change of SOM within 90 year is -30.9 % and SOC stock decline is 16.5% or 15.4 t/hectare. Impact of livestock pressure and climate warming on soil is significant, need to renew pasture management policy.

Түлхүүр үгс: хөрс, хөрсний органик, хөрсний органикийн өөрчлөлт, хээрийн хөрс

Оршил

Дэлхийн хөрсөнд агуулагдах органик нүүрстөрөгчийн (SOM) нийт хэмжээ нь агаар ба хуурай газрын ургамалын нүүрстөрөгчийн нийлбэрээс их байдаг (Ciais et al, 2013). Хөрсөн дэх органик нүүрстөрөгчийн агууламж, задрал, хуримталийн чиглэлээр нарийвчилсан судалгаа хангалтгүй байна (FAO, 2018). Судлаачдын тооцоогоор дэлхийн хөрсөнд нийт 1500 петаграмм (10^{15} г.) органик нүүрстөрөгч байдаг (Scharlemann, 2014). Хуурайшилт, бэлчээрийн талхагдлын нөлөөгөөр хөрс эвдрэл доройтолд орж хөрсний үржил шимийн үндсэн элемент болох органик бодисын хэмжээ багасаж байна. Хөрсний органик нүүрстөрөгчийн эрдэсжилтийн үйл явц улам бүр эрчимжиж хөрс нь агаарын нүүрсхүчлийн хийг нэмэгдүүлэх томоохон эх үүсвэр болж байна (FAO, 2017). Нийт хүний үйл ажиллагаанаас үүсэж буй хүлэмжийн хийн 14,5 % нь мал аж ахуйтай холбоотой байдаг (Gerber, 2013).

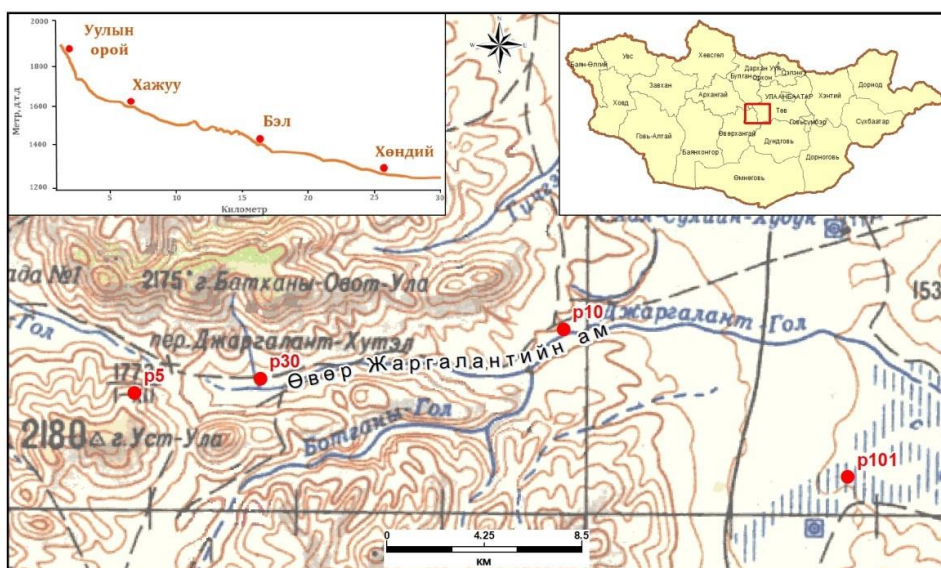
Монгол орны хөрсний органик нүүрстөрөгчийн нийт нөөц, өөрчлөлт, агаар мандалд гаргах ялгарал, органик нүүрстөрөгчийн алдралын шалтгаан гэх мэт асуудлууд одоо болтол бүрэн гүйцэд судлагдаагүй байгаа бөгөөд уур амьсгалын дулаарал, цөлжилт хуурайшилт эрчимжиж буй өнөөгийн цаг үед зайлшгүй судлах шаардлагатай сэдэв болж байна. Монгол оронд хийгдсэн анхны хөрсний судалгааны ажлын нэг болох Оросын алдарт эрдэмтэн Б.Б.Полыновын 1925 онд хөрсний судалгаа хийсэн (Полынов & Крашениников, 1926) газруудаас 2018 онд буюу 93 жилийн дараа дахин

* BATKHISHIG Ochirbat, Institute Geography-Geoecology, Mongolian Academy of Sciences

хөрсний дээж авч хөрсний органикийн агууламжийн талаар харьцуулсан судалгаа хийлээ.

Судалгаа явуулсан газар, арга зүй

Хээрийн судалгаа явуулсан газар Төв аймгийн Эрдэнэсант сумын нутаг Өвөр Жаргалантын хөндий, Устын уулс орчим хээрийн бүс нутаг болно. Баруун талдаа Устын уулс 2180,3 метр (д.т.д) зүүн тийш Төхөмийн нуур хүртэл 1260 метр (д.т.д) хүртэл намсаж өндрийн ялгаа 900 гаруй метр (Зураг 1) болно. Өвөр Жаргалантын хөндий өргөрөгийн дагуу сунаж тогтсон байрлалтай баруунаас зүүн тийш 20 км орчим үргэлжилж Төхөмийн нуурын өргөн хөндий рүү аажмаар шилжинэ.



Зураг 1. Судалгаа явуулсан газар

Монгол орны төв хэсгээр жилийн нийлбэр хур тундас 256 мм, агаарын дундаж температур $-0,7^{\circ}\text{C}$ болно (Улаанбаатар станц). Монгол орны агаарын дундаж температур 1940-2016 оны хооронд дунджаар $2,26^{\circ}\text{C}$ дулаарсан, хур тунадас бага зэрэг буурах хандлагатай байна (Нацагдорж & Гомболүүдэв, 2017). Малын тоо толгой энэ хугацаанд бараг 4-5 дахин өссөн. Уур амьсгалын өөрчлөлт, хүний үйл ажиллагааны нөлөө сүүлийн 20 жилд илүү их байсан.

Хөрсний дээжийг ШУА-ийн Газарзүйн хүрээлэнгийн Хөрс судлалын лабораторид ISO 11464:2006 стандартын дагуу агаарын хуурай нөхцөлд хатааж, 2 мм-ээр шигшиж лабораторийн задлан шинжилгээнд оруулсан. Хөрсний органик (SOM)-ийн агууламжийг тодорхойлоход дэлхий даяар нийтлэг хэрэглэдэг исэлдэлтийн аргыг ашигласан. Үүнийг Тюриний эсвэл Валкли Блэкин арга гэж нэрлэдэг (Walkley & Black, 1934).

Хөрсний урвалын орчин (pH), карбонат (CaCO₃), цахилгаан дамжуулах чанар (EC), эзлэхүүн жин (BD), чулуу (>2мм), элс (2-0.05 мм), шавар (<0.002 мм) зэрэг үзүүлэлтүүдийг тодорхойлсон (ISO 11277:2009, MNS 3310:1991, MNS 4006:1987).

Статистик үзүүлэлтүүдийн ерөнхий боловсруулалт quartile, box plot, weighted average, oneway ANOVA аргуудыг SPSS 23 программ ашиглан тооцоолсон. Хөрсний органик нүүрстөрөгчийн нөөцийг тооцоход дараах томъёог ашиглалаа (Batjes, 1996).

$$SOC_{stock} = \sum_{i=1}^k \rho_i P_i D_i (1 - S_i)$$

SOC_{stock} - Хөрсний органик нүүрстөрөгчийн нөөц (Kg m⁻²), ρ_i - эзлэхүүн жин (Mg m⁻³), P_i - хөрсний органик нүүрстөрөгч (gC Kg⁻¹), D_i - үе давхаргын зузаан (m), S - 2 мм-ээс дээш чулууны эзлэхүүн.

Хөрсний органикийн нөөцийн өөрчлөлтийг тооцоход дараах томъёог ашиглалаа. Stock Difference Method (IPCC, 2006)

$$\Delta C = \frac{(C_{t2} - C_1)}{(t_2 - t_1)}$$

ΔC - Хөрсний нүүрстөрөгчийн нөөцийн өөрчлөлт (t ha⁻¹)

Судалгааны материал

Төв аймгийн Эрдэнэсант сумын Өвөр Жаргалантын хөндий орчим 1925 онд Оросын эрдэмтэн Б.Б.Полынов хөрс-газарзүйн судалгаа явуулсан байдаг (Полынов & Крашенников, 1926). Хөрсний шинжилгээг Оросын ШУА-ийн Хөрсний хүрээлэнгийн лабораторид Тюрины аргаар гүйцэтгэсэн. Дараах хөрсний зүсэлтүүд, үе давхаргуудыг ялгасан. 5-р зүсэлт: Өвөр Жаргалантын хөндийн баруун талд, Устын уулын оройн хэсэг, уулын нуга, сөөгөрхөг нугат-хээрийн ургамалтай. Харшороон хөрс. A_0 ширэг 0-5 см, A_1 5-30см, A_2 30-80см, A_3 80-90см. Хөрс давсны хүчилд буцлахгүй. 30-р зүсэлт: Өвөр Жаргалантын хөндийн ар хажуу, хээр. A_0 ширэг 0-5 см, A_1 5-30см, B_1 30-80см, B_2 80-100см. 10-р зүсэлт: Өвөр Жагалантын хөндийн зүүн хэсэг, хээр, 2-р дэнж. A_1 0-20см, A_2 20-50см, B_1 50-100см, B_2 100-110см. 101-р зүсэлт: Төхөмийн хөндийн баруун хэсэг. Карбонаттай хужир, өнгөнөөс буцална.

Бид энэ газар хээрийн судалгааг 2018 оны 6-р сард явуулсан. Хөрсний зүсэлтүүдийг аль болох 1925 оны судалгааны цэгүүдтэй ойролцоо хийх гэж оролдсон. Уулын оройн хэсэг (P05-р зүсэлт), хажуу (P30-р зүсэлт), бэл (P10-р зүсэлт), хөндий (P101-р зүсэлт) орчмын газрууд нь хөрс-ургамал бүрхэвчийн хувьд тодорхой ялгарч байна.

Р05-р зүсэлт: Өвөр Жаргалантын амны эх, Уст уулын дээд хэсгийн ар хажуу, 8° хэвгий, алаг өвст нуга, бүрхэц 70 %. Координат: N 47°02'48", E 104°14'24", өндөр 1870 метр д.т.д. АО 0-17см, АВ 17-32см, ВС 32-60см. Харшороон хөрс.

Р30-р зүсэлт: Өвөр Жаргалантын амны дунд хэсэг, хажуу 3° налуу. Улалж үмхий өвст, бүрхэц 60 %. Координат: N 47°03'10", E 104°18'44", өндөр 1673 метр д.т.д. А 0-18см, АВ 18-32см, ВС 32-60см. Хархүрэн хөрс.

Р10-р зүсэлт: Өвөр Жаргалантын амны зүүн хэсэг, тэгшивтэр. Улалж дэрс хиагт, бүрхэц 60 %. Координат: N 47°04'22", E 104°29'09", өндөр 1474 метр д.т.д. Ад 0-12см, А 12-40см, АВ 40-51см, Вса 51-60см. Хээршсэн Бараан хөрс, карбонатгүй.

Р101-р зүсэлт: Төхөмийн хөндий, Шархотгор, дов сондуултай. Дэрс хиагт, бүрхэц 20 %. Координат: N 47°00'56", E 104°00'56", өндөр 1356 метр д.т.д. Хучаас 0-2см, А 2-9см, Вса 9-31см, С 31-60см. Хужир.

Хүснэгт 1. Хөрсний ерөнхий хими, физик шинж чанар (2018 он)

#	Гүн	pH	CaCO ₃	Органик (SOM)	Сорг.	ЕС	Чулуу	Элс	Шавар	Эзлэхүүн жин
	см		————— % —————	————— % —————		dS m ⁻¹	————— % —————			g cm ⁻³
P05	5	6.2	0.0	4.07	2.36	0.05	5.2	60.7	15.9	1.03
	10	6.4	0.0	3.45	2.00	0.03	5.4	67.3	15.2	1.15
	17	6.6	0.0	3.13	1.82	0.02	4.8	72.4	13.0	1.24
	32	6.7	0.0	2.51	1.45	0.02	5.4	72.4	14.4	1.32
	60	6.7	0.0	2.19	1.27	0.03	67.1	71.7	14.4	1.56
P30	5	6.8	0.2	3.76	2.18	0.17	2.9	41.7	15.2	1.13
	18	7.2	0.2	3.45	2.00	0.03	11.8	51.9	17.4	1.29
	25	7.1	0.0	3.24	1.88	0.23	34.0	62.1	16.6	1.38
	32	7.4	0.0	2.92	1.70	0.08	75.9	59.9	16.6	1.57
	60	7.5	0.6	3.03	1.76	0.04	57.0	56.3	15.9	1.68
P10	5	6.2	0.0	2.51	1.45	0.04	0.0	57.0	15.2	1.06
	12	6.4	0.0	2.30	1.33	0.03	0.0	65.1	15.1	1.10
	40	7.0	0.0	2.09	1.21	0.03	0.9	65.1	15.3	1.18
	50	7.0	0.0	1.67	0.97	0.03	0.6	70.2	15.0	1.27
	60	6.9	0.0	4.18	2.42	0.17	0.6	59.9	14.9	1.34
P101	9	8.3	2.5	0.63	0.36	0.29	24.9	66.5	15.9	1.46
	31	8.9	17.5	0.52	0.30	0.26	34.9	55.6	15.2	1.53
	60	9.1	1.8	0.42	0.24	0.26	54.9	69.5	15.1	1.52

Өвөр Жаргалант орчмын нутаг нь Хархүрэн хөрс зонхилсон хээрийн бүс нутаг болно. Хархүрэн хөрс нь манай орны хөдөө аж ахуйн эдэлбэрийн үндсэн гол хөрс (Доржготов, 2003). Дундаж өндөр уулсын ар хажуугийн дээд хэсэг 1700 метрээс дээш газраар Харшороон хөрстэй. Хөндийн доод хэсгийн бэл Өвөр Жаргалантын голын эрэг орчмын газраар зузаан ялзмагт давхаргатай Бараан хөрстэй. Төхөмийн хөндийгөөр хужир мараалаг хөрс тархана. Хөрсний шинж чанарын үзүүлэлтүүдийг Хүснэгт 1-д үзүүлэв.

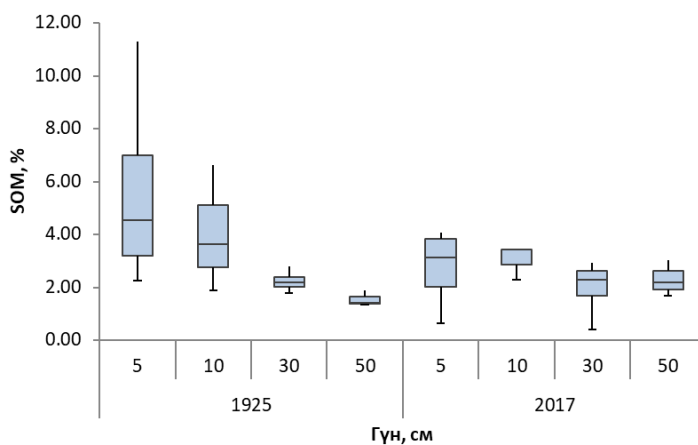
Хэлэлцүүлэг

Өвөр Жаргалант орчмын хөрсний 0-60 см гүн дэх органикийн дундаж агууламж 2018 оны байдлаар 2,46 % байна. 1925 онд хийсэн судалгааны дүнгээр органикийн агууламж дунджаар 3,33 % буюу одоогийнхоос их байсан (Хүснэгт 2).

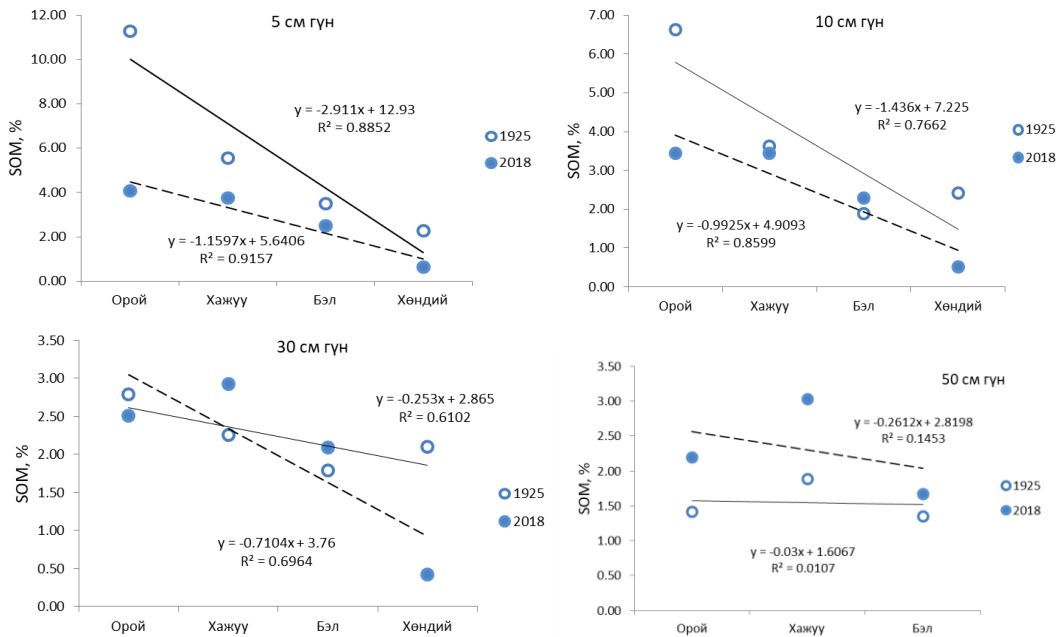
Хүснэгт 2. Статистик үзүүлэлтүүд, SOM % (n=34)

Year	Mean	Median	SD	Range	Min	Max	CV,%
1925	3.33	2.41	2.49	9.94	1.35	11.29	74.5
2018	2.46	1.11	1.12	3.65	0.42	4.07	45.4

Хөрсний органикийн агууламжийн утгуудын хэлбэлзэл 1925 оны судалгааны дүнд илүү (CV 74.5 %) байна. “Oneway ANOVA” анализаар хоёр бүлгийн дундаж утгуудыг харьцуулахад ($\alpha=0.05$, $p=0.237$) хоорондоо статистик таарц бага буюу мэдэгдэхүйц ялгаатай байна.



Зураг 2. SOM статистик үзүүлэлтүүд (median, quartile, min, max)



Зураг 3. Хөрсний зүсэлтийн байрлал (орой, хажуу, бэл, хөндий) ба гүнээр (5,10,30,50см) ялгаатай SOM дундаж үзүүлэлтүүд, 1925 ба 2018 оноор

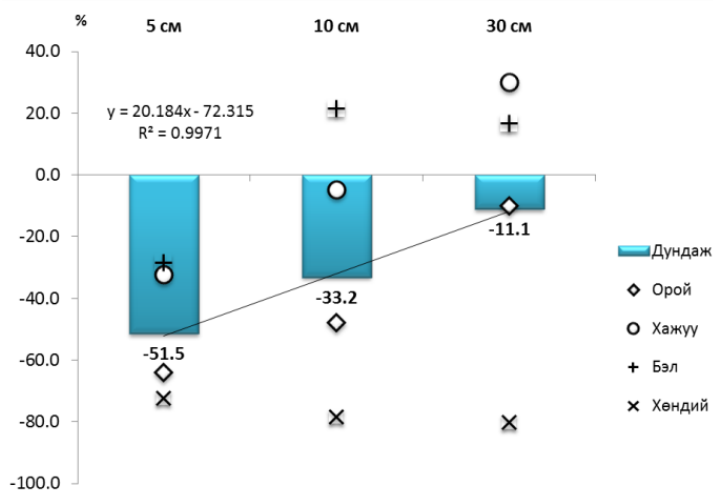
Хөрсний өнгөн хэсгээс доошоо SOM утгуудын хэлбэлзэл далайц багасаж байна (Зураг 2). Хөрсний 30 ба 50 см гүнд хөрсний органикийн утгууд хэлбэлзэл багасаж байгаа нь органикийн агууламж бага байгаатай холбоотой.

Хөрсний янз бүрийн гүн дэх органикийн агууламж нь гадаргын байрлалаас хамааран харилцан адилгүй байна (Зураг 3). Хамгийн дээд хэсэгт буюу 5 см-ийн гүнд SOM утга уулын оройн хэсгийн Харшороон хөрсөнд хамгийн их ялгаатай доошоо хажуу бэл хөндийд ялгаа багасаж, детерминацийн коэффициент их ($r^2=0.88$) байна. 10 см-ийн гүн дэх SOM утгын хуваарьлалт 5 см-ийн гүнийхтэй төстэй байгаа боловч детерминацийн коэффициент багасаж ($r^2=0.76$) байна. Хөрсний 30 см-ийн гүнд байрлалын ялгаа багасаж, 50 см-ийн гадаргын байрлал ямар ч нөлөөгүй болж байна. Хөрсний өнгөн хэсэг дэх органикийн агууламжийн өөрчлөлт их 30 см-аас доош өөрчлөлт бага байна.

Б.Б.Полыновын 1925 онд судалсан хөрсний органикийн агууламжийг 2018 онд буюу 93 жилийн дараа хийсэн судалгааны дүнтэй харьцууллаа (Хүснэгт 3). Судалгааны дүнгээр хээрийн бүсийн 0-30 см үе давхарга дахь хөрсний органикийн агууламж дунджаар 30,9 % буурсан байна. 10 жилийн дундаж бууралт -3,4 %, 1 жилийн дундаж бууралт -0,34 % байна.

Хүснэгт 3. Хөрсний органик(SOM)-ийн агууламж (%)-ийн өөрчлөлт

Гүн, см	Он	Орой, 1870 м	Хажуу, 1673 м	Бэл, 1474 м	Хөндий, 1356 м	Дундаж	10 жилийн дундаж өөрчлөлт
5	1925	11.29	5.55	3.50	2.27	5.65	0.63
	2018	4.07	3.76	2.51	0.63	2.74	0.30
	өөрчлөлт, %	-63.9	-32.3	-28.4	-72.4	-51.5	-5.7
10	1925	6.62	3.62	1.89	2.41	3.64	0.40
	2018	3.45	3.45	2.30	0.52	2.43	0.27
	өөрчлөлт, %	-47.9	-4.8	21.6	-78.4	-33.2	-3.7
30	1925	2.79	2.25	1.79	2.10	2.23	0.25
	2018	2.51	2.92	2.09	0.42	1.98	0.22
	өөрчлөлт, %	-10.2	30.0	16.7	-80.1	-11.1	-1.2
50	1925	1.41	1.88	1.35		1.55	0.17
	2018	2.19	3.03	1.67		2.30	0.26
0-30	1925	5.48	3.26	2.11	2.23	3.27	0.36
	2018	3.08	3.24	2.23	0.49	2.26	0.25
	өөрчлөлт, %	-43.8	-0.6	5.7	-78.2	-30.9	-3.4



Зураг 4. Хээрийн бүсийн (Өвөр Жаргалант) уулын орой, хажуу, бэл, хөндийн хөрсний 5см, 10см, 30 см-ийн гүн дэх органикийн агууламжийн дундаж бууралт, %-иар, (1925 ба 2018 хоорондох)

Хөрсний органикийн агууламжийн бууралт хөрсний гүнээс шалтгаалан харилцан адилгүй байна: 5 см-ын гүнд хөрсний органикийн агууламж дунджаар 51,5 %, 10 см-д 33,2 %, 30 см-д 11,1 % тус тус багассан байна (Зураг 4). Туул голын сав газар хийсэн судалгааны дүнгээр Хархүрэн хөрсний өнгөн хэсгийн SOM агууламж 30 (1987-2017) жилийн хугацаанд 10.3 % багассан байдаг (Батхишиг ба бусад, 2017).

Хөрсний органик нүүрстөрөгчийн нөөц (SOCstock)-ийг тооцооллоо (Хүснэгт 4). Эзлэхүүн жин, чулууны агууламжийн үзүүлэлтийг 1925 оны судалгаанд тодорхойлоогүй учраас 2018 оны судалгааны дүнг ашигласан. Уулын Харшороон, хөндийн Хужир хөрсний өнгөн хэсгийн SOCstock утга хамгийн их байна. 90 гаруй жилийн хугацаанд хээрийн хөрсний органик нүүрстөрөгчийн нөөц 30 см хөрсөнд дунджаар 16,5 % буюу 14,5 т/га-аар буурсан байна. Хээрийн бүсийн хөрсний органикийн бууралтанд бэлчээрийн талхагдал голлох нөлөө үзүүлж байна. 1990-ээд оноос хойш малын тоо толгойн огцом өссөн. Хуурайшилт дулаарал мөн багагүй нөлөөтэй. Өндөрлөг газрын хөрсний элэгдэл эвдрэл, усны угаагдал нь хөрсний органикийн алгадлыг ихэсгэх нэмэлт хүчин зүйл болно.

Хүснэгт 4. Хөрсний органик нүүрстөрөгчийн нөөц (SOCstock) ба өөрчлөлт

#	Байрлал	Хөрс	Зузаан	SOCstock			
				1925	2018	өөрчлөлт, өөрчлөлт 1 жилд	өөрчлөлт, өөрчлөлт 1 жилд
			cm	— t-C/ha —		%	
P05	Уулын орой, 1870 м	Харшороон	10	52.9	22.4	-57.6	-0.62
			30	95.2	61.1	-35.9	-0.39
			60	117.1	83.0	-29.2	-0.31
			100	119.7	85.5	-28.5	-0.31
P30	Хажуу, 1673 м	Хархүрэн	10	29.6	23.3	-21.2	-0.23
			30	54.2	56.7	4.6	0.05
			60	91.0	93.5	2.7	0.03
			100	96.5	99.0	2.6	0.03
P10	Бэл, 1474 м,	Хээршсэн Бараан	10	16.8	15.0	-10.5	-0.11
			30	40.9	43.5	6.2	0.07
			60	99.6	102.2	2.5	0.03
P101	Хөндий, 1356 м,	Хужир	100	136.9	139.4	1.9	0.02
			10	14.4	3.9	-73.0	-0.79
			30	38.6	9.9	-74.4	-0.80
			60	43.8	15.0	-65.7	-0.71
Дундаж			100	45.0	16.3	-63.8	-0.69
			10	28.4	16.2	-43.1	-0.46
			20	57.3	42.8	-25.3	-0.27
			30	87.9	73.4	-16.5	-0.18

Дүгнэлт

Монгол оронд хийгдсэн анхны хөрсний судалгааны ажлын нэг болох Оросын алдарт эрдэмтэн Б.Б.Полыновын 1925 оны хөрсний судалгаа хийсэн Төв аймгийн Эрдэнэсант сумын нутаг Өвөр Жаргалант орчим 2018 онд буюу 93 жилийн дараа дахин хөрсний харьцуулсан судалгаа хийлээ. Судалгааны дүнгээр хээрийн бүсийн 0-30 см үе давхарга дахь хөрсний органикийн агууламж дунджаар 30,9 % буурсан байна. Хөрсний органикийн агууламжийн бууралт хөрсний гүнээс шалтгаалан харилцан адилгүй байна: 5 см-ын гүнд хөрсний органикийн агууламж дунджаар 51,5 %, 10 см-д 33,2 %, 30 см-д 11,1 % тус тус багассан байна. 90 гаруй жилийн хугацаанд хээрийн хөрсний органик нүүрстөрөгчийн нөөц 30 см хөрсөнд дунджаар 16,5 % буюу 14,5 т/га-аар буурсан байна. Монгол орны төв хэсгийн хээрийн хөрсний үржил шим 90 гаруй жилд доройтож багасаж байгаа үндсэн шалтгаан нь бэлчээрийн талхагдал ба уур амьсгалын дулаарал болно. Хөрсний үржил шимийн доройтлыг багасгахын тулд бэлчээрийн мал аж ахуйг хөгжүүлэх бодлого, зохицуулалтыг шинэчлэх шаардлагатай байна.

АШИГЛАСАН ХЭВЛЭЛ

Батхишиг, О., Нямсамбуу, Н., Бямбаа, Г., Ганзориг, Ө., (2017). Хөрс ба хөрсөн бүрхэвч. Монгол орны байгаль орчин. IV боть. “Монгол орны бэлчээр, хөрс, ашиглалт ба хамгаалалт”. БОАЖЯ. ШУА. “Мөнхий үсэг” УБ. 71 х.

Доржготов, Д., (2003). Монгол орны хөрс. УБ, 140 х.

Нацагдорж, Л., Гомболүүдэв, П., (2017). Монгол орны уур амьсгал, түүний өөрчлөлт. “Монгол орны байгаль орчин. I боть”. БОАЖЯ. ШУА. УБ. 45 х.

Полынов, Б.Б., Крашениников, И.М., (1926). Физико-географические и почвенно-ботанические исследование в области бассейна реки Убер-Джаргалант и вховье Ара-Джаргалант. “Северная Монголия. I. Предварительные отчеты геологической геохимической и почвенно-географической экспедиций о работах, произведенных в 1925 году”. Ком. по иссл. Монгольской и Тувинской республики, изд-во АН СССР, Ленинград.

MNS 4006 : 1987. Хөдөлгөөнт фосфор, калийг тодорхойлох Мачигины арга.

MNS 3310 : 1991. Хөрсний агрохимийн үзүүлэлтийг тодорхойлох арга.

Batjes, N.H., (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science* 47, 151–163.

Ciais, P., C. Sabine, G. Bala, L. Bopp, V. Brovkin, J. Canadell, (2013). Carbon and other biogeochemical cycles. In: T.F. Stocker et al., editors, *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK. p. 465–570

Deb, S., Bhadoria, P. B. S., Mandal, B., Rakshit, A. & Singh, H. B. (2015). Soil organic carbon: Towards better soil health, productivity and climate change mitigation. *Climate change and Environmental Sustainability*, 3(1): 26-34.

- FAO, (2018). Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems – Guidelines for assessment (Draft for public review). Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. FAO, Rome, Italy.
- FAO, (2017). Soil Organic Carbon: the hidden potential. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy.
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock - A global assessment of emissions and mitigation opportunities. FAO, Rome. 115 pp.
- IPCC, (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. p. 2.10
- ISO 11277:2009. Soil quality - determination of particle size distribution in mineral soil material - method by sieving and sedimentation.
- ISO 11464:2006 Soil quality-Pretreatment of samples for physico-chemical analysis.
- Scharlemann, J., Edmund, T., Roland, H., Valerie, K., (2014). Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool, Carbon Management, 5:1, 81-91, DOI: 10.4155/cmt.13.77
- Walkley, A., Black, I. A., (1934). An examination method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. J. Soil Sci. 37: 29–37.