



Хаягдал биомассаас гарган авсан бионүүрсээр усны хатуулгийг бууруулах боломж

Чулуун Буян^{1*}, Баярцэнгэл Баяржаргал²

¹Химийн тэнхим, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар 14201, Монгол улс

²RC Inspection Asia Assayers ХХК, Улаанбаатар 17033, Монгол Улс

*E-mail: buyan@num.edu.mn

ORCID: [0000-0002-6584-6686](https://orcid.org/0000-0002-6584-6686)

Хүлээн авсан: 18.11.2022

Хяналтанд: 25.11.2022

Хэвлэлтэнд авсан: 28.12.2022

Хураангуй: Хаягдал биомассыг хүчилтөрөгч дутмаг орчинд халаах (пиролиз) замаар нүх сүвэрхэг бүтэцтэй, шүлтлэг шинж чанартай, гадаргуугийн талбай ихтэй нүүрс төст шаталтын бүтээгдэхүүн болох бионүүрсийг гарган авдаг. Бионүүрс ашиглан усан орчноос төрөл бүрийн хүнд металл, эмийн үлдэгдэл бодис, будагч бодис, фторид ион зэргийг шингээдэг судалгаа дэлхийн бусад орнуудад нэлээд хийгдсэн боловч усны гол катион, анионуудыг бууруулах туршилт төдийлөн олон хийгдээгүй байна. Энэхүү судалгааны ажлаар малын яс, аргалаас гарган авсан бионүүрсийг ашиглан усны хатуулгийг бууруулах боломжийг судлахыг зорилоо. Хонины хаягдал яс, үхрийн аргалыг TLUD-ын зуухан дотор 500-550°C-ийн температурт 1-2 цагийн турш пиролизод оруулж зохих бионүүрсийг гарган авсан. Гарган авсан бионүүрсээ шингээгч материал болгон ашиглаж, усны хатуулгийг бүрдүүлэгч кальци, магни, гидрокарбонат ионуудын агуулгыг бууруулах цуврал (batch) туршилтыг зохиомол эрдэжилттэй ус болон байгалийн усанд тус тус хийж гүйцэтгэсэн. Шингээлтэд бионүүрсний анхдагч түүхий эд, бионүүрсийг усанд холих хэмжээ (тун), шингээлт явуулах хугацаа хэрхэн нөлөөлж буй туршин шингээлтийн процессын зохист нөхцөлийг тодорхойлсон. Ясны бионүүрс аргалын бионүүрснээс илүүтэйгээр усны хатуулгийг сайн шингээж байсан бөгөөд анхны ионы концентрац өндөр байхад адсорбцын багтаамж өндөр байсан. Адсорбцын туршилтын үр дүнд кальци, магни, гидрокарбонат ионуудын агуулгыг харгалзан 38%; 19%; 34%-иар бууруулж байсан бол усны нийт хатуулгийн хэмжээг дунджаар 22%-иар бууруулж байсан. Малын хаягдал яснаас гарган авсан бионүүрс нь усны хатуулгийг бүрдүүлэгч гол ионуудыг өөртөө шингээж, хатуулгийн хэмжээг бууруулах бүрэн боломжтой.

Түлхүүр үг: малын яс, аргал, шингээгч материал, усны эрдэжилт, усны чанар

ОРШИЛ

Монгол Улсын 2022 оны 1 сарын 16-ны байдлаар 67.3 сая толгой малтай гэж Үндэсний статистикийн хорооноос мэдээлсэн [1]. Үүнээс жилд дунджаар 22 сая толгой мал нядалдаг ба нядалсан малын 40% нь мах болж хүнсэнд хэрэглэгдэж, үлдсэн 60% нь арьс шир, яс зэрэг нь хаягдал болдгоос зөвхөн арьс ширийг илүүтэйгээр ашигладаг. Харин Монгол Улсад яс цуглуулах, ясаар бүтээгдэхүүн үйлдвэрлэх зах зээл төдийлөн хөгжөөгүй тул ясны 10-15% орчмыг дахин боловсруулж ясны гурил, малын тэжээл зэргийг үйлдвэрлэж бусдыг нь ашиглалгүй хог болгон хаяж байна [2]. Үүнээс гадна таван хошуу малаас гарч буй ялгадас (аргал, хоргол, хомоол) байгальд шингэх хүртлээ азотын давхар исэл, хүлэмжийн хий, метан зэргийг ялгаруулсаар байдаг. Бэлчээрийн мал аж ахуйн нэгж толгойгоос хоногт ялгарах шивх, бууцны хэмжээг тогтоосон нормыг үндэслэн Монгол орны хэмжээнд нэг жилд тэмээг оролцуулалгүйгээр үлдсэн дөрвөн хошуу малаас жилд 57482 сая.тн хуурай бууц, шивх гардаг байна [3]. Иймээс малын гаралтай хаягдал болох хонины яс, үхрийн аргалыг үр ашигтайгаар дахин боловсруулж хэрэглэх зайлшгүй шаардлагатай байна. Гадаадын улс орны судлаачид энэхүү биохаягдлыг пиролизд оруулан бионүүрс

үйлдвэрлэн түүгээрээ хүнд металл [4], эмийн хаягдал [5], будагч бодис [6], фторид ион [7] зэргийг шингээх туршилтыг эрчимтэй явуулж байна. Ясны бионүүрсийг идэвхжүүлэн усан орчноос хүнд металл адсорбцлох туршилтыг хийсэн хэдий ч [8] усны хатуулаг бууруулах судалгаа Монголд ч бас хараахан хийгдээгүй байна. Энэхүү судалгааны зорилго нь малын хаягдал яс, аргалаас гарган авсан бионүүрсийг ашиглан ундны усны хатуулгийг бууруулах боломжийг судлах юм.

Монгол орны хувьд усны нөөц болон чанар жигд бус тархсан, говийн болон тал хээрийн бүсийн аймгуудад хур тунадас бага ордог, дулаан уур амьсгалтай учир ууршилт их явагддаг. Говийн бүсийн гурван сав газрын 8 аймгийн 72 сумын 436 худгийн 21% нь хатуулгийн хэмжээгээр MNS 0900:2018 (Ундны ус. Эрүүл ахуйн шаардлага, чанар, аюулгүй байдлын үнэлгээ) стандартын шаардлага хангахгүй байжээ [9]. Ундны усны хатуулгийг бууруулснаар хатуулгаас үүдэлтэй халдварт бус өвчлөлийн тоо, өвчлөх эрсдэлийг бууруулах боломжтой. Түүнчлэн усны хатуулгийг нь ус буцалгагч, данх зэрэгт хагжилт үүсгэж улмаар цахилгаан зарцуулалт ихэсгэх, угаалга хийхэд нунтгийн хэрэглээг ихэсгэх зэрэг сөрөг талуудтай. Тиймээс манай орны говийн бүсийн усыг

зөөлрүүлж хэрэглэвэл хүн амын эрүүл мэндэд тустайгаас гадна ахуйн зардлыг бууруулснаараа эдийн засагт хэмнэлттэй юм.

СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

Бионүүрс: Бионүүрс буюу *biochar* гэдэг нь ургамал, амьтны органик түүхий эдийг хүчилтөрөгч дутмаг орчинд халаах аргаар үйлдвэрлэсэн, ус агаар шингээх нүх сүвтэй, нунтаг, нүүрс төст, шаталтын бүтээгдэхүүн юм. Хоолны хаягдал (чанасан) хонины ясыг айл өрх, хоолны газраас цуглуулан 105°C-ийн температурт хатаав. Үхрийн аргалыг Төв аймгийн Эрдэнэ сумын нутгаас түүж цуглуулсан. Хонины яс болон үхрийн аргалыг Монгол Улс (МУ)-ын шинэ бүтээлийн патенттай TLUD буюу “Дээр нь Шатааж Доороос Агаар Татдаг” хэлбэрийн зууханд 500-550° С-ийн температурт пиролизын процессыг 1-2 цаг явуулж Европын Бионүүрсний Сангийн гаргасан зөвлөмжид нийцсэн бионүүрсийг гарган авсан [10]. Гарган авсан бионүүрсээ агаарын хуурай болтол тасалгааны температурт хатааж, механик аргаар буглан нунтаглаад, хөрсний шигшүүрээр шигшиж, ширхэглэгийн хэмжээгээр нь ангилан ялгасан. Адсорбцын туршилтны бионүүрсний зохистой ширхэглэгийн хэмжээг өмнөх судалгааны үр дүнд үндэслэн [11], шингээлтийн хамгийн өндөр утгыг үзүүлж байсан ширхэглэгийн хэмжээ болох 0.105-0.450 мм-ийн диаметрын хэмжээтэйг сонгон авч давхар нэрсэн усаар сайтар угааж, 105°C-ийн температурт 1 цагийн турш хатаах шүүгээнд хатааж шингээгч бионүүрсээ бэлдсэн. Бионүүрс гарган авах бүдүүвчийг Зураг 1-д харуулав. Гарган авсан бионүүрсний рН-ийг 1:5 усан ханданд тодорхойлж, катионы солилцолын багтаамж (КСБ) болон шүлтлэг катионы нийлбэр агуулгыг барийн ацетатын аргаар хийсэн [12]. Шүлтлэг катионы нийлбэрийг [13] нарын аргаар тодорхойлсон ба агуулгыг индукцийн холбоост плазм-оптик цацаргалтын спектроскопоор (ICP-OES; Agilent 5110, Санта Клара, АНУ) тодорхойлсон. Бионүүрсний мезо нүх сүвний гадаргуугийн талбайг метилен хөхийн шингээлтийн аргаар 1 г бионүүрсэнд шингээгдсэн метилен хөхийн дээд хэмжээгээр тооцоолж бодсон. Гадаргуугийн талбайн микро сүвэрхэг хэмжээг янз бүрийн массын тунгаар (0.01, 0.10, 1.00 г) бэлтгэсэн бионүүрсэнд



Зураг 1. Бионүүрс гарган авах процесс, дээж бэлтгэл

шингээгдэх иодын шингээлтийн тоогоор тодорхойлсон [14, 15].

Зохиомол эрдэсжилттэй ус бэлтгэл: Дан ионы уусмал нь зөвхөн кальци (Ca^{2+}), магни (Mg^{2+}), гидрокарбонат (HCO_3^-), эсвэл сульфат (SO_4^{2-}) ионыг дангаар нь агуулсан, харгалзах химийн цэвэр нэгдлээс нь бэлтгэсэн дан ганц давсны уусмал юм. Ион тус бүрт харгалзах дан ионы уусмалыг химийн цэвэр давснаас Хүснэгт 1-д заасны дагуу концентрацийн ялгарах дөрвөн түвшингээр бэлтгэсэн.

Монгол Ус ТӨҮГ-ын захиалгаар говийн бүсийн гурван сав газрын нутагт хамаарах Говь-Алтай, Баянхонгор, Өвөрхангай, Өмнөговь, Дундговь, Дорноговь, Говьсүмбэр, Сүхбаатар аймгуудад хийгдсэн судалгаа [16], Х. Цоохүү нарын “Монгол орны ундны усан дахь уран”-ы судалгаа [17], ХХТХ-гийн Өмнөговь болон Говь-Алтай аймгийн төв болон сум, суурин газрын ундны усны чанарын судалгаа [18, 19], ГГХ-ийн Сүхбаатар [20], Баянхонгор [9] аймгуудын төв болон сум, суурин газрын ундны усны чанарын судалгаануудын тайланд үндэслэн хатуулгийг бүрдүүлэгч гол ионуудын агуулгын хэлбэлзэх утгын мужид дүйцүүлэн дээрх 4 түвшинг тогтоосон. Энэ нь “Хүрээлэн буй орчин. Эрүүл мэндийг хамгаалах. Аюулгүй байдал. Ундны ус. Эрүүл ахуйн шаардлага, чанар, аюулгүй байдлын үнэлгээ” MNS 0900:2018 стандартын дагуу зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээтэй шүтэлцэж байсан.

Зохиомол эрдэсжилттэй ус гэдэг нь холимог ионы уусмал юм. Уг усыг бэлтгэхдээ концентрацийн түвшин тус бүрт харгалзах дан ионы уусмалуудаас

Хүснэгт 1. Дан ионы уусмалыг концентрацын түвшингээр ангилсан нь

Түвшин	pH	Ca^{2+} , М	Mg^{2+} , М	HCO_3^- , М	SO_4^{2-} , М
MNS дэх ЗДХ*	6.5-8.5	$1.25 \cdot 10^{-3}$	$1.25 \cdot 10^{-3}$	-	$5.20 \cdot 10^{-3}$
I түвшин	7.50	$0.63 \cdot 10^{-4}$	$0.83 \cdot 10^{-4}$	$1.02 \cdot 10^{-3}$	$6.51 \cdot 10^{-4}$
II түвшин	7.65	$1.25 \cdot 10^{-3}$	$1.67 \cdot 10^{-3}$	$2.05 \cdot 10^{-3}$	$1.30 \cdot 10^{-3}$
III түвшин	7.66	$2.50 \cdot 10^{-3}$	$3.33 \cdot 10^{-3}$	$4.10 \cdot 10^{-3}$	$2.60 \cdot 10^{-3}$
IV түвшин	7.88	$5.00 \cdot 10^{-3}$	$6.66 \cdot 10^{-3}$	$8.20 \cdot 10^{-3}$	$5.20 \cdot 10^{-3}$

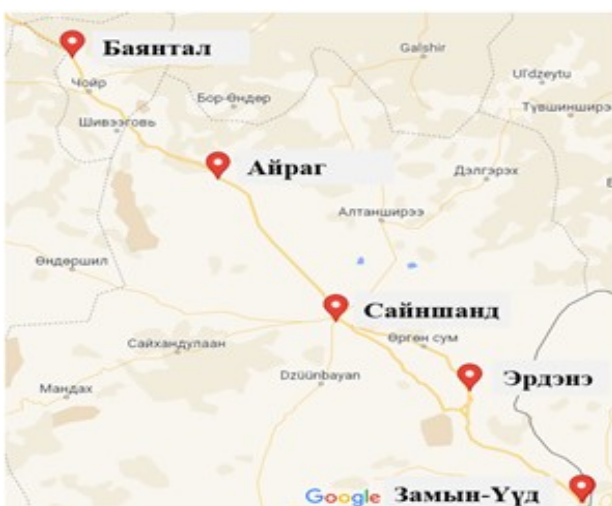
* MNS 0900:2018 “Хүрээлэн буй орчин. Эрүүл мэндийг хамгаалах. Аюулгүй байдал. Ундны ус. Эрүүл ахуйн шаардлага, чанар, аюулгүй байдлын үнэлгээ” Монгол Улсын Стандартад заагдсан зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээ (ЗДХ)

ижил хэмжээтэй авч хольсноор 4 өөр концентрацийн түвшин бүхий зохиомол эрдэсжилтэй усыг бий болгосон.

Байгалийн усны дээжлэлт, химийн шинжилгээ: Х.Цоохүү нарын “Монгол орны ундны усан дахь уран” судалгааны [17] үр дүнд үндэслэн Дорноговь, Говьсүмбэр аймгуудын сумдаас хатуулаг өндөртэй 6 гүний худгийг сонгон авч, 2022 оны 04-р сарын 02 -03-ны өдрүүдэд усны дээж авах журмын дагуу дээжлэлт хийсэн. Дээж авсан худгуудын байршлын солбилцлыг Хүснэгт 2-д, газарзүйн зураглалыг Зураг 2-д тус тус үзүүллээ. Усны дээжинд дээжлэлт хийсэн даруйдаа газар дээр нь pH, исэлдэн ангижрах потенциал (ИАП), цахилгаан дамжуулах чанар (ЦДЧ), нийт ууссан бодисын агуулга (НУБ)-ыг pH/милливольтметр/кондуктометр (HI-2550, HANNA, АНУ) багажаар, карбонат (CO_3^{2-})-ионы агуулгыг Т. Булган “Усны химийн шинжилгээний аргачлал”-ын дагуу [21], гидрокарбонат (HCO_3^-) ионы агуулгыг [22] стандарт аргын дагуу хээрийн нөхцөлд тодорхойлсон. Лабораторийн нөхцөлд усны байнгын хатуулаг [23], кальци (Ca^{2+}) ионы агуулгыг [24] тус тус комплексонометрийн аргаар, магни (Mg^{2+}) ионы агуулгыг байнгын хатуулаг ба

Хүснэгт 2. Байгалийн усны дээж авсан газрын байршил

№	Аймаг, сум	Худгийн нэр	Газар зүйн байршил	Код
1	Говьсүмбэр, Баянтал	Цагаан худаг	N46°34'08.6" E108°16'42.7"	A
2	Дорноговь, Айраг	Төмөр замын худаг	N45°48'08.2" E109°18'42.1"	B
3	Дорноговь, Сайншанд	Худаг №9	N44°53'32.8" E110°08'46.7"	C
4	Дорноговь, Эрдэнэ	Худаг №3	N44°26'44.6" E111°05'41.5"	D
5	Дорноговь, Замын-Үүд	Төв худаг №2	N43°43'10.2" E111°53'45.5"	E
6	Дорноговь, Замын-Үүд	НААОНӨ худаг	N43°43'18.0" E111°53'11.5"	F



Зураг 2. Дээж авсан аймгуудын газарзүйн байршлын зураглал

кальцийн ионы агуулгын зөрүүгээр тооцооны аргаар тооцоолсон. Усны түр зуурын хатуулгийг ацидиметрийн аргаар, хлорид (Cl^-) ионы агуулгыг [25] аргентометрийн аргаар, сульфат (SO_4^{2-}) ионы агуулгыг Т.Булган “Усны химийн шинжилгээний аргачлал”-ын дагуу [21] жингийн анализын аргаар тус тус тодорхойлсон.

Байгалийн усны дээжинд натри (Na^{2+}), кали (K^+), кальци (Ca^{2+}), магни (Mg^{2+}) ионуудын агуулгыг индукцийн холбоост плазм-оптик цацаргалтын спектроскоп (ICP-OES)-ийн багажаар (Agilent 5110, АНУ) Геологийн төв лабораторид тодорхойлуулсан.

Адсорбцын туршилт:

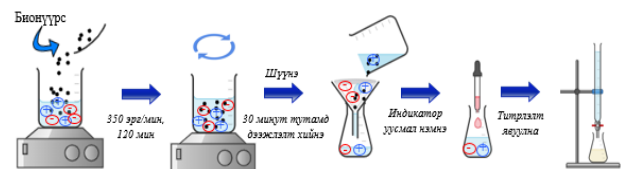
Дан ионы уусмал бэлтгэл - Кальцийн ионы 200 мг/л концентрацтай эх уусмалыг бэлдэхдээ CAS No: 10043-52-4 дугаартай, 96.0%-ийн цэвэршилтэй CaCl_2 (Xilong Scientific Co.,Ltd, БНХАУ) хуурай бодисоос 0.56 г-ыг аналитик жин дээр жинлэн авч 1 л ионгүйжүүлсэн усанд уусгасан.

Магнийн ионы 160 мг/л концентрацтай эх уусмалыг бэлдэхдээ CAS No: 10034-99-8 дугаартай, 99.0%-ийн цэвэршилтэй $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Xilong Scientific Co.,Ltd БНХАУ) хуурай бодисоос 1.64 г-ыг аналитик жин дээр жинлэн авч 1 л ионгүйжүүлсэн усанд уусгасан.

Гидрокарбонат ионы 500 мг/л концентрацтай эх уусмалыг бэлдэхдээ CAS No: 144-55-8 дугаартай, 99.5% цэвэршилтэй NaHCO_3 (Xilong Scientific Co.,Ltd БНХАУ) хуурай бодисоос 0.70 г-ыг аналитик жин дээр жинлэн авч 1 л ионгүйжүүлсэн усанд уусгасан.

Сульфат ионы 400 мг/л концентрацтай эх уусмалыг бэлдэхдээ CAS No: 7727-43-7 дугаартай, 99.0% цэвэршилтэй BaSO_4 (Xilong Scientific Co.,Ltd БНХАУ) хуурай бодисоос 0.59 г-ыг аналитик жин дээр жинлэн авч 1 л ионгүйжүүлсэн усанд уусгасан.

Адсорбцын туршилтыг дан ионы эх уусмалаас шингэрүүлэн бэлтгэсэн ажлын уусмалд явуулж, бионүүрсний төрөл, усанд холих бионүүрсний хэмжээ (тун) болон анхны ионы нөлөөг дэс дараалан судалсан. Адсорбцын туршилт явуулах хугацааг тодорхойлохын тулд 300 минутын турш урьдчилсан туршилт явуулахад шингээлтийн хэмжээ 120 минутад дээд утгадаа хүрч тэнцвэр тогтож байсан тул цаашдын туршилтын хугацааг 120 минут байхаар сонгосон. Урьдчилсан туршилтаар мөн хлорид ионыг шингээхгүй нь тогтоогдсон учраас цаашид хлорид ионы туршилтыг



Зураг 3. Адсорбцын туршилтын ерөнхий бүдүүвч

зогсоосон. Мөн сульфат ионыг шингээх туршилтын үр дүнгийн давтагдах чанар муу байсан учраас энд оруулаагүй болно. Адсорбцын туршилтын ерөнхий бүдүүвчийг Зураг 3-д харууллаа.

Бионүүрсний төрөл сонгох - Урьдчилан бэлтгэсэн ясны болон аргалын бионүүрсний 0.105-0.450 мм-ийн диаметрийн хэмжээтэй дээжээс устай холих харьцааг тогтмол 0.50% (w/v) байхаар тооцоолон жинлэж авсан. Дан ион тус бүрийн II түвшний концентрацтай уусмалыг сонгож, 1000 мл-ийн шил аяганд таслан авч, соронзон хутгагч дээр 350 эрг/мин эргэлтийн хурдтайгаар 120 минутын турш тасалгааны хэмд хутгасан. 30 минут тутам уусмалаас 50 мл-ыг таслан авч, фильтрийн цаасаар шүүж, шүүгдэст ерөнхий хатуулгийг MNS 6778:2019, Ca^{2+} ионы агуулгыг MNS ISO2572:1999, Mg^{2+} ионы агуулгыг тооцооны аргаар, HCO_3^- ионы агуулгыг MNS 6831:2020 стандарт аргын дагуу тодорхойлж, гурван зэрэгцээ туршилтын дүнг дундажлан авсан.

Усанд холих бионүүрсний хэмжээ (тун)-г тогтоох - Сонгогдсон бионүүрснээс усанд холих харьцааг 0.25%, 0.50%, 1.00%, 2.00% (w/v) байхаар тооцоолон тус тус жинлэж авсан. Дан ион тус бүрийн II түвшний концентрацтай уусмалыг сонгож, 1000 мл-ийн шил аяганд таслан аваад жинлэж авсан бионүүрсээ нэмэн соронзон хутгагч дээр 350 эрг/мин эргэлтийн хурдтайгаар 120 минутын турш тасалгааны хэмд хутгасан. 30 минут тутам уусмалаас 50 мл-ийг таслан авч, фильтрийн цаасаар шүүж, шүүгдэст ерөнхий хатуулаг, Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- ионуудын агуулгыг бионүүрсний төрөл сонгох туршилтын адил тодорхойлсон.

Дан ионы анхны концентрацын адсорбцод үзүүлэх нөлөө - Сонгосон бионүүрсээс устай холих харьцааг тогтмол 0.50% (w/v) байхаар тооцон жинлэж авсан. 1000 мл-ийн шил аяганд дан ион тус бүрийн 4 өөр түвшний концентрацтай уусмалаас ээлж дараалан таслан авч, жинлэж авсан бионүүрсээ нэмэн соронзон хутгагч дээр 350 эрг/мин эргэлтийн хурдтайгаар 120 минутын турш тасалгааны хэмд хутгасан. 30 минут тутам уусмалаас 50 мл-ыг таслан авч, фильтрийн цаасаар шүүж, шүүгдэст ерөнхий хатуулаг, Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- ионуудын агуулгыг бионүүрсний төрөл сонгох туршилтын адил тодорхойлсон.

Холмог ион (зохиомол эрдэсжилттэй ус)-ны болон байгалийн усны адсорбцын туршилт - Дан ионы адсорбцын туршилтуудын үр дүнгээс олж тогтоосон зохист нөхцөлийг ашиглан зохиомол эрдэсжилттэй ус болон байгалийн усанд адсорбцын туршилт явуулсан. 1000 мл-ийн шил аяганд усны дээжээс таслан авч, сонгогдсон бионүүрснээс устай холих харьцааг тогтмол 0.50% (w/v) байхаар тооцоолон жинлэн авч нэмээд соронзон хутгагч дээр 350 эрг/мин эргэлтийн хурдтайгаар 120 минутын турш

тасалгааны хэмд хутгасан. 30 минут тутам уснаас 50 мл-ийг таслан авч, фильтрийн цаасаар шүүж, фильтрийн цаасаар шүүж, шүүгдэст ерөнхий хатуулаг, Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- ионуудын агуулгыг бионүүрсний төрөл сонгох туршилтын адил тодорхойлсон.

ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Гарган авсан бионүүрсний шинж чанар.

Ясны ба аргалын бионүүрс хоёул шүлтлэг шинж чанар үзүүлсэн бөгөөд Park нарын тахианы яснаас гарган авсан бионүүрсний pH-ын утга (7.84-8.24) [26], Yang нарын хийсэн үхрийн аргалаас гарган авсан бионүүрсний pH утга (8.48-10.36)-тай бидний судалгааны үр дүн тохирч байсан [27].

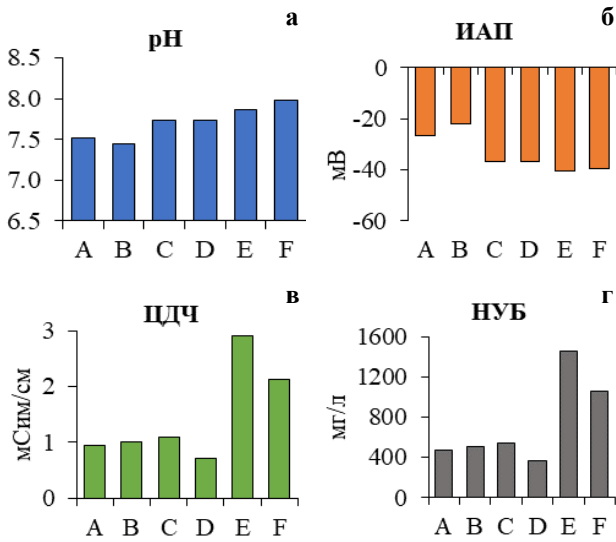
Бионүүрсний катион солилцлын багтаамж нь хэдий хэмжээний катионтой солилцоонд орох боломжтойг илэрхийлэх бөгөөд энэ утга өндөр байх тусмаа хатуулгийг бууруулахад сайнаар нөлөөлөхийг илтгэнэ. Бидний гарган авсан ясны бионүүрсний КСБ 1.7±0.00 моль/г, аргалын бионүүрснийх 2.02±0.01 байсныг бусад судлаачдын үр дүнтэй харьцуулахад шинэсний бионүүрсний КСБ 1.19 моль/г [28], гахайн ялгадаснаас гарган авсан бионүүрсний КСБ 8.28 моль/г [27] тус тус байдаг байна. Амьтны гаралтай бионүүрс нь ерөнхийдөө ургамлын гаралтай бионүүрстэй харьцуулбал КСБ өндөртэй байдаг байна.

Шүлтлэг катионы агуулгаар ясны бионүүрс хамгийн ихээр Ca^{2+} ионыг (95.65%), бусад шүлтлэг катионыг 0-2% хүртэл агуулж байсан нь түүхий эдийн шинж чанартай шууд холбоотой юм. Харин аргалын бионүүрсний хувьд Ca^{2+} ионыг 66.64%, K^+ ионыг 17.38%, Mg^{2+} ионыг 11.97%, Na^+ ионыг 4.01% тус тус агуулж байсан нь сарлагийн аргалаас гарган авсан бионүүрсний судалгааны үр дүнтэй нийцэж байна [29].

Ясны бионүүрсний метилен хөхийн шингээлт нь хамгийн их шингээлтийн багтаамж (Q_{max}) 216.82 мг/г үзүүлсэн бөгөөд мезо нүх сүвний гадаргуугийн талбай (S_{MB}) $6.89 \cdot 10^{-3}$ км²/кг байв. Гадаргуугийн талбайн микро сүвэрхэг хэмжээг янз бүрийн массын тунгаар (0.01, 0.10, 1.00 г) иодын шингээлтийн тоогоор тодорхойлоход ясны иодын шингээлтийн тоо харгалзан (172, 451, 3419 мг/г), аргалынх (45, 153, 349 мг/г) байв.

Байгалийн усны дээжийн химийн шинжилгээ: Дорноговь, Говьсүмбэр аймгийн 6 гүний худгийн усны дээжний чанарын үзүүлэлтүүдийг MNS 0900:2018 МУ-ын үндэсний стандартад заагдсан шаардлагын дагуу үнэлсэн болно.

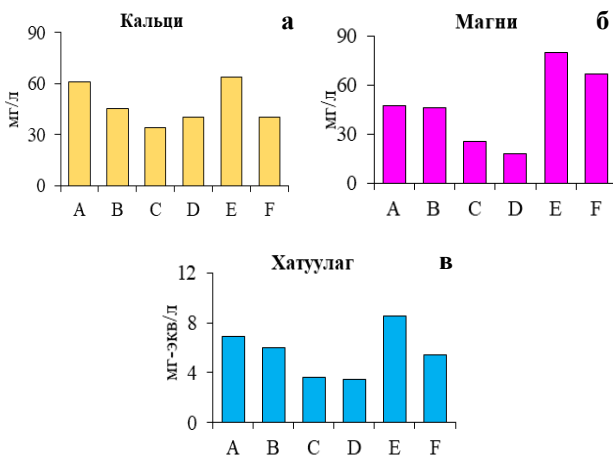
Туршилтын үр дүнгээс харахад нийт байгалийн усны дээжийн pH-ийн утга 7.86-7.98-ийн хооронд хэлбэлзэж байсан буюу сул шүлтлэг байсан нь бүгд стандартын шаардлагад нийцэж байв. Дорноговь аймгийн Замын-Үүд сумын хоёр худгийн усны pH



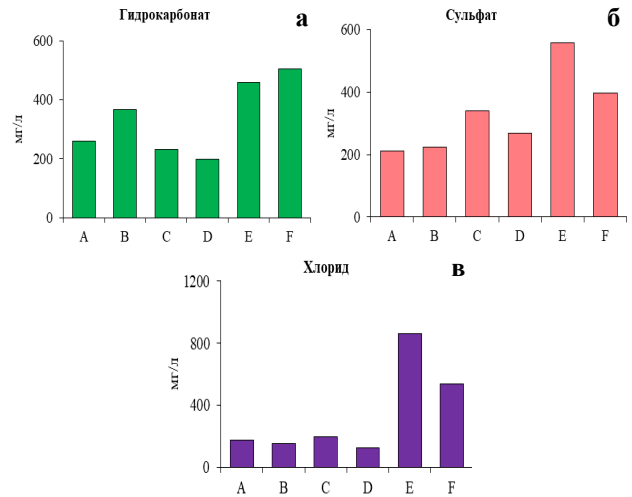
Зураг 4. Байгалийн усны дээжийн (а) рН, (б) исэлдэн ангижрах потенциал, (в) цахилгаан дамжуулах чанар, (г) нийт ууссан бодисын агуулга

бусад худгуудынхаас харьцангуй өндөр гарсан. Байгалийн усны дээжний исэлдэн ангижрах потенциал (ИАП)-ын утга бүгд сөрөг утгатай гарсан нь гүний ус болохыг илтгэнэ. Усны цахилгаан дамжуулах чанар (ЦДЧ) болон нийт ууссан бодисын агуулга хоорондоо шууд хамааралтай байдаг нь усанд ууссан бодисууд голчлон иончлогдсон байдлаар оршдогоос болно. Нийт ууссан бодис нь цэнэглэгдсэн хөдөлгөөнт ионууд, органик болон органик биш бодисын нийлбэр агуулга байдаг. Гүний худгийн усыг газар доорх чулуулгийн хооронд орших уст давхаргаас дээш татаж гаргадаг учраас ууссан эрдсээр баялаг байдаг. Харин цэнгэг ус ЦДЧ багатай байдаг [17].

Байгалийн усны дээжийн рН-ийн утгыг Зураг 4-ийн (а)-д, исэлдэн ангижрах потенциал (ИАП)-ын хэмжилтийн утгыг (б)-д, цахилгаан дамжуулах чанар (ЦДЧ)-ыг хэмжсэн үр дүнг (в)-д, нийт ууссан бодис (НУБ)-ын агуулгын хэмжсэн үр дүнг (г)-д тус тус үзүүлээ.



Зураг 5. Байгалийн усны дээжийн (а) кальци, (б) магни ион, (в) ерөнхий хатуулагийн агуулга

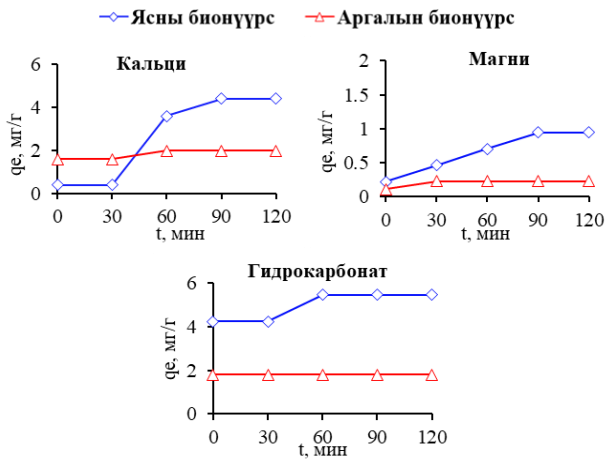


Зураг 6. Байгалийн усны дээжийн (а) гидрокарбонат, (б) сульфат ион, (в) хлорид ионы агуулга

Байгалийн усны дээж дэх кальци (Ca^{2+}) ионы агуулгыг Зураг 5-ийн (а)-д, магни (Mg^{2+}) ионы агуулгыг (б)-д, ерөнхий хатуулгийн хэмжээг (в)-д тус тус харууллаа.

Кальци ионы хэмжээ Говьсүмбэр аймгийн Баянтал сумын худаг болон Замын-Үүд сумын 1-р худгийн усанд бусад худгуудаас өндөр агуулгатай байсан хэдий ч Ca^{2+} -ионы агуулгыг 25 мг/л-ээс багагүй байвал хүний биед зохимжтой гэж үздэг бөгөөд эдгээр худгууд нь 100 мг/л-ээс ихгүй байгаа нь MNS 0900:2018 МУ-ын үндэсний стандартын техникийн шаардлагад нийцэж байсан. Харин магни ионы агуулга Дорноговь аймгийн Сайншанд болон Эрдэнэ сумдын худгуудаас бусад бүх худгийн усанд MNS 0900:2018 МУ-ын үндэсний стандартын техникийн шаардлагад нийцэхгүй байна. Магни ионы ундны усанд зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээг 30 мг/л хэмээн тогтоосон байдаг ч Дорноговь аймгийн Замын-Үүд сумын 1 ба 2-р худаг харгалзан ЗДХ-ээс 2.2 болон 2.7 дахин их агуулгатай байсан. Дорноговь аймгийн Замын-Үүд сумын 1-р худгийн дээж хатуулгийн агуулгаар MNS 0900:2018 МУ-ын үндэсний стандартын техникийн шаардлагад нийцэхгүй байсан.

Байгалийн усны дээжний гидрокарбонат ионы агуулгыг Зураг 6-гийн (а)-д, сульфат ионы агуулгыг (б)-д, хлорид ионы агуулгыг (в)-д тус тус үзүүлэв. Усны хатуулгийг бүрдүүлэгч гол ионуудаас карбонат (CO_3^{2-}) ион аль ч дээжинд илрээгүй болно. Гидрокарбонат ионы агуулгын зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээг MNS 0900:2018 стандартад заагаагүй тул харьцуулалт хийх боломжгүй байв. Дорноговь, Замын-Үүд сумын хоёр худаг гидрокарбонат ион ихээр агуулж байсан нь Х.Цоохүү нарын судалгааны үр дүнгээр ДГ-3Y1 худгийн усанд 459.68 мг/л, ДГ-3Y2 худгийн усанд 502.40 мг/л агуулгатай тус тус тодорхойлогдсон нь бидний судалгааны үр дүнтэй нийцэж байсан [17].

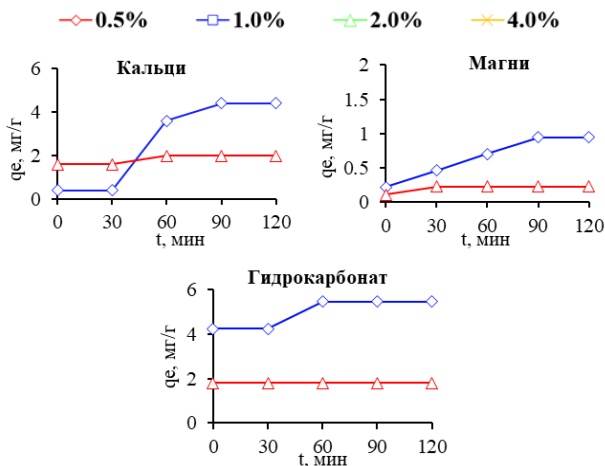


Зураг 7. Бионүүрсний төрөл сонголт

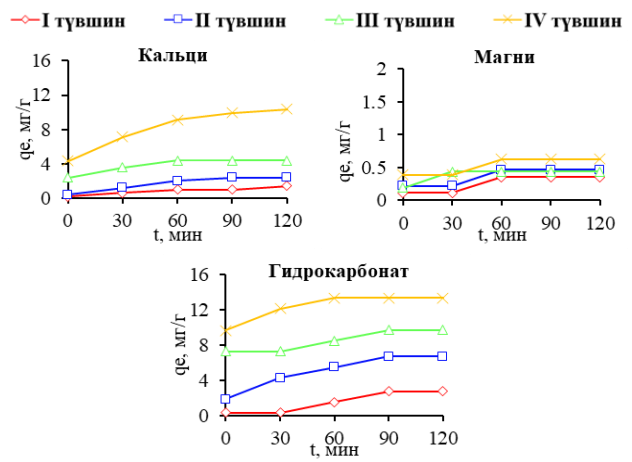
Ундны усны сульфатын агуулга нь байгалийн гаралтай химийн үзүүлэлт байдаг. Зураг 6-аас харахад Замын-Үүд сумын 1-р худгийн усны сульфат ионы агуулга MNS 0900:2018 стандартад заагдсан зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээг давсан байна. Мөн хлорид ионы агуулгаараа Замын-Үүд сумын хоёр худгийн ус хоёулаа MNS 0900:2018 МУ-ын үндэсний стандартад заагдсан зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээг давсан байна. Энэхүү үр дүн нь Х.Цоохүү нарын хийсэн судалгааны үр дүнтэй мөн адил нийцэж байсан [17].

Адсорбцын туршилт

Бионүүрсний төрөл сонгох: Усны хатуулгийг бүрдүүлэгч гол ионуудыг адсорбцлоход хамгийн тохиромжтой бионүүрсний төрөл сонгох туршилтын үр дүнг Зураг 7-д үзүүлэв. Туршилтын явцад адсорбцын багтаамж хугацаа явах тусам өссөн ба ясны бионүүрс аргалынхтай харьцуулахад тухайн ионыг илүү шингээж байв. Тухайлбал кальци ионы хувьд 60 минутаас цааш 1.0 г ясны бионүүрсний кальцийн ионыг шингээх шингээлтийн багтаамж (q_e)-ийн утга 1.0 г аргалын бионүүрсний шингээлтийн багтаамжаас хоёр дахин ихэссэн тул адсорбцын туршилтад ясны бионүүрсийг тохиромжтой гэж үзэж цаашдын туршилтад сонгов.



Зураг 8. Усанд холих ясны бионүүрсний тун тогтоолт



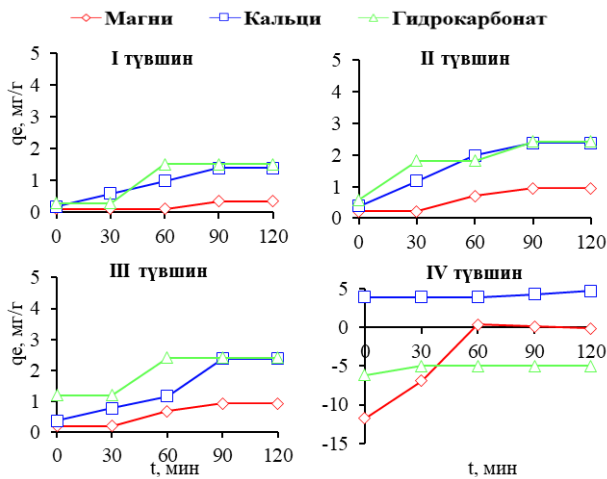
Зураг 9. Дан ионы анхны концентрацын адсорбцод үзүүлэх нөлөө тогтоолт

Усанд холих бионүүрсний хэмжээ (тун)-г тогтоох: Адсорбц дахь ясны бионүүрсний усанд холих зохист хэмжээг тодорхойлж дүнг Зураг 8-д үзүүлэв.

Адсорбцын багтаамжийн дээд, доод утгын зөрүү адсорбентын тун хамгийн бага тун буюу 0.50% (w/v) байхад хамгийн өндөр байсан. Өөрөөр хэлбэл, адсорбентын тунгийн хэмжээ ихсэх тусам нэгж адсорбентэнд оногдох адсорбцын багтаамж буурч байсан. Иймд усанд нэмэх ясны бионүүрсний зохист тунг 0.50% (w/v) байхаар сонгож, цаашдын туршилтаандаа хэрэглэсэн бөгөөд ийм бага тун нь эдийн засгийн хувьд ч хэмнэлттэй юм.

Дан ионы анхны концентрацын адсорбцод үзүүлэх нөлөө - Өгөгдсөн ионы анхны концентрацын адсорбцод үзүүлэх нөлөөг дан ионы уусмалд тодорхойлсон туршилтын үр дүнг Зураг 9-д үзүүлэв. Уусмал дахь ионы анхны концентрац их байхын хэрээр адсорбцын багтаамж ихсэж байгаа нь ажиглагдсан. Анхны концентрац өндөр байхад адсорбцын багтаамжийн утга хамгийн их утгандаа хүрч байсан.

Холимог ион (зохиомол эрдэсжилттэй ус)-ны адсорбц - Дан ионы шингээлтийн үр дүнд үндэслэн ясны бионүүрсийг усанд холих хэмжээг 0.50% (w/v) байхаар жинлэн авч, 4 түвшний холимог ионууд (зохиомол эрдэсжилттэй ус)-ын уусмалд нэмж хугтан адсорбцын туршилтыг явуулж, үр дүнг Зураг 10-д харуулав. Зохиомол эрдэсжилттэй усан дахь холимог ионуудын ясны бионүүрсэнд шингээгдэх хэмжээ дан ионы шингээгдэх хэмжээ (Зураг 9)-нээс бага байгаа нь бионүүрсний гадаргуу дээрх ионуудын баригдах байрлалын өрсөлдөөн болон ионууд хоорондын харилцан үйчлэлийн улмаас шалтгаалсан байх магадлалтай юм. Ясны бионүүрс нь XRD-ийн шинжилгээгээр кальцийн гидроксипатит болон кальцийн гидрофосфат гидроксидоос тогтоно [11]. Кальци болон магни ион бионүүрсний гадаргуу дээрх гидроксил болон фосфатын бүлэгтэй, гидрокарбонат ион кальцийн ионтой таталцана. Холимог ионы уусмал дахь



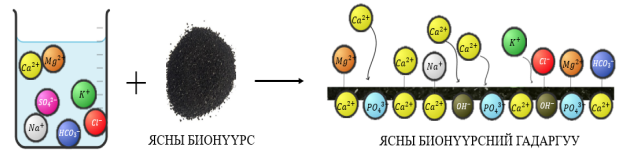
Зураг 10. Холимог ионууд (зохиомол эрдэсжилттэй ус)-ын адсорбц

кальци ба гидрокарбонат ионууд хоорондоо харилцан үйлчилснээр бионүүрсэнд шингээгдэх байдал буурч болно.

Шингээлт I-III түвшний концентрацтай зохиомол эрдэсжилттэй усанд сайн явагдаж боловч ионуудын концентрац IV түвшинд хүрэхэд кальци ионоос бусад ионууд шингээгдэж чадахгүйд хүрсэн. IV түвшний ионуудын концентрац бүхий зохиомол эрдэсжилттэй ус ганц хоногийн дотор, III түвшний концентрацтай зохиомол эрдэсжилттэй ус 3-4 хоногийн дараа булингартаж тунадасжсан. Үүнийг кальци ба сульфат ионууд хоорондоо харилцан үйлчилж, CaSO₄-ийн тунадас үүсгэсэн гэж үзэж байна. Үүнийг CaSO₄-ийн уусахын үржвэрийн утгаас тайлбарлаж болно ($УУ_{CaSO_4}=2.4 \cdot 10^{-5}$) [30].

Үүнээс гадна магни, кальци болон гидрокарбонат ионуудын радиус харгалзан 0.072 нм; 0.100 нм; 0.156 нм байдаг. Иймд эхний 3 түвшингийн бага хэмжээний эрдэсжилттэй усанд өгөгдсөн ионуудын хэмжээ бага тул бионүүрсний микро нүх сүв (<2.0 нм)-нд чөлөөтэй багтаж, сайн шингээгдсэн байх гэж үзэж байна. Харин IV түвшингийн их хэмжээний эрдэсжилттэй усны ионуудын концентрац өндөр учраас бионүүрсний гадаргууд солилцох боломжгүйд хүрч, магни ба гидрокарбонат ионы шингээлт явагдаагүй байж болно.

Ясны бионүүрсний гадаргуу дээр явагдаж буй усны хатуулгийг бүрдүүлэгч гол ионуудын шингээгдэх процессын механизмыг дараах байдлаар таамаглан Зураг 11-д дүрслэн харуулав. Энэхүү шингээлтийн



Зураг 11. Ясны бионүүрсэнд явагдах таамаглаж буй шингээлтийн механизм

механизмыг ионы радиус болон George нарын судалгаанд үндэслэн зурагласан болно [31].

Байгалийн усны адсорбц - Байгалийн усны дээжид ясны бионүүрсний усанд холих хэмжээг 0.50% (w/v) байхаар жинлэн авч нэмээд, усны хатуулгийг бүрдүүлэгч гол ионуудын адсорбцын туршилтыг гүйцэтгэв. Адсорбцын туршилтын өмнөх болон дараах гол ионуудын агуулгыг эзлэхүүний анализын аргаар тодорхойлсон үр дүнг Хүснэгт 3-д харууллаа. Хүснэгт 3-аас үзэхэд байгалийн усны гол ионуудын ясны бионүүрсэнд шингээгдэх байдал дээж бүрт ялгаатай байсан бөгөөд шингээлтийн хэмжээ кальцийн ионы хувьд 27.8-44.1%, магнийн ионы хувьд 2.6-47.0%, гидрокарбонат ионы хувьд 27.0-40.6% байсан. Энэ нь магад байгалийн усны төрөлх шинж чанартай холбоотой байж болох юм.

Ясны бионүүрсийг адсорбент материал болохын хувьд бид бусад адсорбент материалуудтай харьцуулж үзсэн (Хүснэгт 4) болно.

Хүснэгт 4-с харахад идэвхжүүлсэн нүүрс усны хатуулгийг 96% хүртэл, синтетик цеолит 90%, цэвэр байгалийн цеолит 13%-иар тус тус бууруулдаг байна. Харин бидний гаргаж авсан хонины ясны бионүүрс байгалийн усны хатуулгийг дунджаар 22%-иар бууруулж байсан. Бусад адсорбент материалуудтай харьцуулахад шингээлт бага байгаа нь түүхий эдийн онцлог, гарган авах аргын ялгаатай байдал болон туршилтын арга, нөхцөл өөр өөр байснаас шалтгаална. Хэрэв ясны бионүүрсээ физикийн эсвэл химийн аргаар идэвхжүүлбэл гадаргуугийн талбай болон адсорбцын багтаамж ихсэж, улмаар шингээлтийн хувь ч мөн адил нэмэгдэх боломжтой гэж үзэж байна.

ДҮГНЭЛТ

Хонины хаягдал яс, үхрийн аргалаас бионүүрс гарган авч, усны хатуулгийг бүрдүүлэгч гол ионуудыг адсорбцлох боломжийг судлах ажлын хүрээнд дан ионы уусмалд ясны бионүүрсийг 0.5%

Хүснэгт 3. Байгалийн усан дахь ионуудын адсорбцын шингээлтийн үр дүн

Дээжийн №	Ca ²⁺ , мг/л			Mg ²⁺ , мг/л			HCO ₃ ⁻ , мг/л		
	өмнө	дараа	шингээлт, %	өмнө	дараа	шингээлт, %	өмнө	дараа	шингээлт, %
A	60.8	40.1	34.1	47.4	46.2	2.6	260.4	190.8	27.0
B	45.4	25.4	44.1	45.8	39.3	14.2	366.1	228.6	37.6
C	34.4	20.0	41.7	25.1	23.1	8.1	230.9	155.6	32.6
D	40.4	24.1	40.5	17.6	13.4	24.1	198.3	122.0	38.6
E	63.8	46.1	27.8	79.9	63.2	20.8	458.7	272.6	40.6
F	40.1	24.1	40.0	66.5	35.3	47.0	505.5	366.1	27.6

Хүснэгт 4. Бусад адсорбент материалуудтай харьцуулсан байдал

Адсорбент	pH	Адсорбат	Шингээлт, %	S _{гад} , м ² /г	Q _{max} , мг/г	Эх сурвалж
Нарсны бионүүрс	9.66	NH ₄ ⁺ PO ₄ ³⁻	90±4 87±2	152.3	-	[24]
Идэвхжүүлсэн нүүрс	8.22	NH ₄ ⁺ PO ₄ ³⁻	67±6 79±4	895.5	-	
Худалдааны ясны бионүүрс	-	F ⁻	-	73.0	1.65	[25]
Загасны ясны бионүүрс	-	F ⁻	-	111.0	4.85	
Наргил модны самрын ясны идэвхжүүлсэн нүүрс	6.30	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	55	-	-	[26]
Кешью самрын ясны идэвхжүүлсэн нүүрс	-	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	96	-	384.0	[27]
Цэвэр байгалийн цеолит	-	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	13	24.9- 40.0	-	[28]
Синтетик цеолит	-	Нийт хатуулаг	90	83.3	294.60	[29]
		Ca ²⁺ +Mg ²⁺ (2:1)	89			
		Ca ²⁺ +Mg ²⁺ (1:1)	92			
		Ca ²⁺	80			
		Mg ²⁺	18			
Хонины ясны бионүүрс	8.04	Хатуулаг	22	175	18.5 0.1 52.4	Энэ судалгаа
		Ca ²⁺	38			
		Mg ²⁺	19			
		HCO ₃ ⁻	34			

(w/v)-иар нэмж, 120 минутын турш хутгахад шингээлтийн багтаамжийн хамгийн их утга (q_{max}) кальци (Ca²⁺), магни (Mg²⁺), гидрокарбонат (HCO₃⁻) ионуудын хувьд харгалзан 18.54 мг/г; 0.08 мг/г; 52.36 мг/г тус тус болохыг тогтоосон. Байгалийн усны дээжний адсорбцын туршилтаар усны хатуулгийг бүрэлдүүлэгч гол ионууд (Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻)-ын агуулга 38%; 19%; 34%-иар тус тус буурсан ба усны нийт хатуулаг хэмжээг 22%-иар бууруулав. Бидний гарган авсан хонины ясны бионүүрс нь байгалийн цеолитоос илүү усны хатуулгийг бууруулсан ч цаашид идэвхжүүлж хэрэглэвэл усны хатуулгийг бууруулах боломж нэмэгдэх өндөр магадлалтай юм.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг P2020-3979 бүртгэлийн дугаартай “Хаягдал биомассыг ашиглан бохирдсон хөрс/усыг нөхөн сэргээхэд хэрэглэх сорбент бионүүрс гарган авах судалгаа” сэдэвт Залуу судлаачдын багийн төслийн тэтгэлэг, “Амьтан, ургамлын гаралтай био-хаягдлаас бионүүрс үйлдвэрлэж, хөрсний чанарыг сайжруулахад хэрэглэх” сэдэвт БНСУ-ын Korea Institute of Science and Technology (KIST)-ийн төслийн тэтгэлэг, МУИС-ийн хүндэт профессор, гавьяат багш А.Мөнгөнцэцэгийн нэрэмжит тусгай байрын тэтгэлгийн санхүүжилтээр МУИС-ийн Орчны шинжилгээний лабораторид хийж гүйцэтгэсэн болно.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

1. Үндэсний статистикийн хороо, “Мал тооллогын дүн,” 2021. Мал аж ахуй (1212.mn)
2. Байгаль орчин аялал жуулчлалын яам, Улаанбаатар хотын ахуйн хог хаягдлын бүтцийн судалгаа, 2018.

3. Б.Мөнхбат, С.Дугарсүрэн, М.Сайнзаяа. (2022) Монгол орны нөхцөлд бионүүрсний үйлдвэрлэлээр хүлэмжийн хийг бууруулах боломж, *Хөдөө аж ахуйн инженер технологийн сэтгүүл*, 6-15.
4. J.Xiao, R.Hu, G.Chen (2020). Micro-nano-engineered nitrogenous one biochar developed with a ball-milling technique for high-efficiency removal of aquatic Cd(II), Cu(II) and Pb(II). *Journal of Hazardous Materials*. 387:121980. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121980>
5. Y.Tong, B.Mayer, P.J.McNamara (2019). Adsorption of organic micropollutants to biosolids-derived biochar: estimation of thermodynamic parameters, *Environmental Science: Water Research Technology*. 1-33. <https://doi.org/10.1039/C8EW00854J>
6. P.Srivatsav, B.S.Bhargav (2020). Biochar as an eco-friendly and economical adsorbent for the removal of colorants (Dyes) from aqueous environment: A Review. *Water*. 12(12):3561. <https://doi.org/10.3390/w12123561>
7. N.Medellin-Castillo, R.Leyva-Ramos, E.Padilla-Ortega, R.O.Perez, J.Flores-Cano (2014). Adsorption capacity of bone char for removing fluoride from water solution. Role of hydroxyapatite content, adsorption mechanism and competing anions. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 20(6):4014-4021. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.12.105>
8. B.Purevsuren, B.Avid, J.Narangerel, T.Gerelmaa, Y.Davaajav (2004). Investigation on the pyrolysis products from animal bone. *Journal of Materials Science*. 39:737-740. DOI:[10.1023/B:JMSC.0000011545.51724.ad](https://doi.org/10.1023/B:JMSC.0000011545.51724.ad)
9. Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэн, Баянхонгор аймгийн төв болон сум, суурин газрын ундны

- усны чанарын судалгаа, дүгнэлт, зөвлөмж, Улаанбаатар, 2019.
10. H.S.Peter, T.Bucheli, C.Kammann, B.Glaser, S.Abiven, J.Leifeld (2015). European biochar certificate - Guidelines for a sustainable production of biochar. *European Biocahr Foundation*, Switzerland.
 11. B.Bayarjargal, E.Nomuunzaya, B.Sainzaya, T.Saurjan, J.Erdenedalai, B.Munkhbat, S.Buyan (2021). Characterization of biochars produced from various biowastes. *Atlantis press part of Springer Nature*. 1-9. <https://doi.org/10.2991/ahcps.k.211004.012>
 12. G.Kharel, O.Sacko, X.Feng, J.R.Morris, C.L.Phillips, K.Trippe, S.Kumar. J.W.Lee (2019). Biochar surface oxygenation by ozonization for super high cation exchange capacity. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*. 7(19):16410-16418. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b03536>
 13. J.F.Rippy, P.V.Nelsson (2007). Cation exchange capacity and base saturation variation among Alberta, Canada, Moss Peats. *HortScience*. 24 (2):349-352. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.2.349>
 14. A.Itodo, F.Abdulrahman, L.Hassan, S.Maigandi, H.Itodo (2010). Application of methylene blue and iodine adsorption in the measurement of specific surface area by four acid and salt treated activated carbons. *New York Science Journal*. 3(5):25-33.
 15. C.Nunes, M.Guerreiro (2011). Estimation of surface area and pore volume of activated carbons by methylene blue and iodine numbers. *Quimica Nova*. 34(3):472-476. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000300020>
 16. Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэн, Говийн бүсийн гурван сав газрын нутагт хамаарах сумдын төв, суурин газруудын ундны усны чанарын судалгааны ажлын нэгдсэн тайлан, 2019.
 17. Х.Цоохүү, О.Болормаа, Н.Тэгшбаяр (2020). Монгол орны ундны усан дахь уран, Улаанбаатар, ISBN:978-9919-24-213-8.
 18. Хими, химийн технологийн хүрээлэн, Өмнөговь аймгийн төв болон сум, суурин газрын ундны усны чанарын судалгаа, дүгнэлт, зөвлөмж, 2021.
 19. Хими, химийн технологийн хүрээлэн, Говь-Алтай аймгийн төв болон сум, суурин газрын ундны усны чанарын судалгаа, дүгнэлт, зөвлөмж, Улаанбаатар, 2020.
 20. Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэн, Сүхбаатар аймгийн төв болон сум, суурин газрын ундны усны чанарын судалгаа, дүгнэлт, зөвлөмж, Улаанбаатар, 2021.
 21. Т.Булган (2004). Усны химийн шинжилгээний аргачлал, Улаанбаатар.
 22. MNS 6831:2020, Байгаль орчин. усны чанар. Усан дахь гидрокарбонатын агууламжийг тодорхойлох урвуу титрлэлтийн арга. *Монгол Улсын стандарт*. 1-4
 23. MNS 6778:2019, Ундны ус. Хатуулаг тодорхойлох арга. *Монгол Улсын стандарт*. 1-6
 24. MNS ISO 6059:2005, Усны чанар-кальци ба магнийн нийт агуулгыг тодорхойлох - Трилон Б-гээр титрлэх арга. *Олон Улсын стандарт*.
 25. MNS ISO 9297:2005, Усны чанар. хлоридын агууламжийг тодорхойлох. Хромат илрүүлэгчийн оролцоотойгоор мөнгөний нитратаар титрлэх (Морын арга). *Олон Улсын стандарт*.
 26. J.H.Park, J.J.Wang, S.H.Kim, S.W.Kang, J.S.Cho, R.D.Delaune (2018). Lead sorption characteristics of various chicken bone part-derived chars. *Environmental Geochemistry and Health*. 41:1675-1685. <https://doi.org/10.1007/s10653-017-0067-7>
 27. J.Qin, S.Qian, Q.Chen, L.Chen, L.Yan, G.Shen (2019). Cow manure-derived biochar: Its catalytic properties and influential factors. *Journal of Hazardous Materials*. 371:381-388. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.03.024>
 28. M.P.Sika, A.G.Hardie (2013). Effect of pine wood biochar on ammonium nitrate leaching and availability in a South African sandy soil. *European Journal of Soil Science*. 65(1):113-119. <https://doi.org/10.1111/ejss.12082>
 29. J.Zhang, B.Huang, L.Chen, Y.Li, W.Li, Z.Luo (2018). Characteristics of biochar produced from yak manure at different pyrolysis temperatures and its effects on the yield and growth of highland barley. *Chemical Speciation and Bioavailability*. 30 (1):67-67. <https://doi.org/10.1080/09542299.2018.1487774>
 30. D.C.Harris (2010). Quantitative Chemical Analysis, New York, W.H. Freeman and Company.
 31. S.George, D.Mehta, V.K.Saharan (2018). Application of hydroxyapatite and its modified forms as adsorbents for water defluoridation: an insight into process synthesis. *Reviews in Chemical Engineering*. 36(3):369-400. <https://doi.org/10.1515/revce-2017-0101>
 32. T.M.Huggins, A.Haeger, J.C.Biffinger, Z.J.Ren (2016). Granular biochar compared with activated carbon for wastewater treatment and resource recovery. *Water Research*. 94(1):225-232. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.02.059>
 33. S.S.Alkurdi, R.A.Al-Juboori, J.Bundschuh, I.Hamawand (2019). Bone char as a green sorbent for removing health threatening fluoride from drinking water. *Environment International*. 127:704-719. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.065>
 34. C.Rolence (2014). Water hardness removal by coconut shell activated carbon. *International Journal of Science, Technology and Society*. <https://doi.org/10.11648/j.ijsts.20140205.11>

35. C. Rolence (2016). Adsorption studies on water hardness removal by using cashewnut shell activated carbon as an adsorbent. *African Journal of Science and Research*. 5(4):78-81.
36. M.M. Abdel Rahim (2017). Sustainable use of natural zeolites in aquaculture: A short review. *Oceanography and Fisheries*. 2(24):1-7.
37. S.El-Nahas, A.I.Osman, A.S.Arafat, A.H.Al-Muhtasab, H.M.Salman. (2020). Facile and affordable synthetic route of nano powder zeolite and its application in fast softening of water hardness. *Journal of Water Process Engineering*. 33:101104. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101104>

Possibility of reducing water hardness with biochar derived from waste biomass

Chuluun Buyan^{1*}, Bayartsengel Bayarjargal²

¹Department of Chemistry, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 14201, Mongolia

²RC Inspection Asia Assayers LLC, Ulaanbaatar 17033, Mongolia

*Email: buyan@num.edu.mn

ORCID: [0000-0002-6584-6686](https://orcid.org/0000-0002-6584-6686)

Submitted: 18.11.2022

Reviewed: 25.11.2022

Accepted: 28.12.2022

Abstract: By heating waste biomass in an oxygen-deficient environment (pyrolysis), biochar is produced, which is a carbon-like combustion product with a porous structure, alkaline properties, and a large surface area. Research on the absorption of heavy metals, drug residues, dyes, and fluoride ions from the aquatic environment using biochar has been conducted in other countries of the world, but limited experiments have been conducted to reduce the major ions that compose water hardness. This research aims to investigate the possibility of reducing water hardness using biochar derived from animal waste bones and dung. Sheep waste bones and cow dung were pyrolyzed in a TLUD furnace at a temperature of 500-550°C for 1-2 hours to obtain appropriate biochar. To reduce the content of calcium, magnesium, and hydrocarbonate ions, which compose water hardness, the biochar obtained was used as adsorbent material in series (batch) experiments in synthetic (artificially mineralized) water and natural (well) water, respectively. The optimal conditions for the adsorption process were determined with the type of primary raw materials, the mixing amount (dosage) of biochar with water, and the time of adsorption. Bone char adsorbed water hardness better than dung char, and the adsorption capacity was higher when the initial ion concentration of ions was higher. As a result of the adsorption test, taking into account the content of calcium, magnesium and hydrogen carbonate ions, 38%; 19%; was reduced by 34%, while total water hardness was reduced by an average of 22%. Biochar derived from animal waste bones can reduce water hardness by adsorbing the major ions.

Keywords: animal waste bones, dung, adsorbent, water minerals, water quality

© The Author(s). 2022 **Open Access** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

DOI: <https://doi.org/10.5564/bicct.v10i10.2596>