

Байгалийн гаралтай адсорбентыг усны хүнд металлыг цэвэршүүлэхэд ашиглах нь

В.Алимаа^{a*}, Н.Пагамдулам^{b*}, У.Оюун-Эрдэнэ^b, М.Эрдэнэтуяа^c, Д.Сувд-Эрдэнэ^a

*a Шинжлэх ухаан, технологийн их сургууль, Геологи, уул уурхайн сургууль,
Газрын тос, өрөмдлөгийн инженерчлэлийн тэнхим.*

b Хөдөө аж ахуйн их сургууль, Хэрэглээний шинжлэх ухааны сургууль, Химийн тэнхим.

c Шинжлэх ухаан технологийн их сургууль, Сургалт, хөтөлбөрийн алба.

* alimaav@must.edu.mn, pagamdulam.n@mul.edu.mn

ХУРААНГУЙ. Монгол улсад 1995 оноос Тамсаг болон Дорноговийн газрын тосны сав газруудад газрын тосны өрөмдлөг, олборлолтын үйл ажиллагаа эрчимтэй явагдаж, олборлосон газрын тосыг БНХАУ руу экспортолж байна. Газрын тосны өрөмдлөг, олборлолтын явцад өрөмдлөгийн угаалгын шингэн, цооногийн гүйцээлт, туршилт, үйлчилгээний ажлын шингэн, давхарга уруу шахах усны цэвэрлэгээнээс үүсэх хаягдал, олборлосон ус зэрэг байгаль орчинд сөрөг нөлөөтэй олон төрлийн шингэн хаягдал үүсдэг. Эдгээр хаягдал ус нь тослог бохирдуулагч болон хүнд металл агуулдаг тул хөрс, усны экосистемд ноцтой эрсдэл учруулдаг. Энэхүү судалгаанд малын гаралтай хаягдал ясыг 500°C температурт пиролизын аргаар боловсруулж гарган авсан бионүүрсийг ашиглан газрын тосны талбайн ахуйн болон технологийн хаягдал уснаас хүнд металлыг шүүх боломжийг судлав. Бионүүрсийг хүхрийн хүчил (H₂SO₄) болон натрийн гидроксид (NaOH)-оор химийн идэвхжүүлэлт хийж, тос шингээх чадвар, гадаргуугийн талбай болон хүнд металлын агууламжийн өөрчлөлтийг туршилтаар үнэлэв. Судалгааны үр дүнгээр хүхрийн хүчлээр идэвхжүүлсэн бионүүрс нь тос шингээх хамгийн өндөр чадвар (26.2%) үзүүлж, никель (Ni) болон хром (Cr)-ийн агууламжийг мэдэгдэхүйц хэмжээгээр бууруулсан нь тогтоогдов. Энэхүү үр дүн нь малын хаягдал яснаас гарган авсан бионүүрсийг байгалийн гаралтай, өртөг багатай адсорбент болгон газрын тосны салбарын шингэн хаягдал усыг цэвэршүүлэхэд ашиглах боломжтойг харуулж байна.

Түлхүүр үгс: бод, бог малын яс, био нүүрс, бохирдол, хүнд металл, шүүлтүүр, бууруулах, хаягдал

I. ОРШИЛ

Монгол Улсын газрын тосны салбар нь 1941 оноос эхлэлтэй бөгөөд өдгөө 80 гаруй жилийн хөгжлийн түүхэн замналыг туулжээ. Салбарын хөгжлийн шинэ үе 1990-ээд оны эхэн үеэс эхэлж, өнөөг хүртэл эрчимтэй өргөжин хөгжиж байна. Одоогийн байдлаар Дорнод аймгийн Матад, Халхгол сумдын нутаг дэвсгэрт орших Тамсагийн орд газарт газрын тосны олборлолтын үйл ажиллагаа идэвхтэй явагдаж байна [1].

Газрын тосны өрөмдлөг, олборлолтын үйл ажиллагаа нь байгаль орчны тогтвортой байдалд тодорхой хэмжээний сөрөг нөлөө үзүүлдэг. Тухайлбал, өрөмдлөгийн явцад үүсэх шингэн хаягдал нь газрын тосны үлдэгдэл, хүнд металл, төрөл бүрийн химийн бодис агуулдаг бөгөөд эдгээр нь хөрс, гадаргын болон гүний усны экосистемд ноцтой эрсдэл үүсгэдэг [2,3,4]. Үүсэх хаягдлын хэмжээ, түүний хортой шинж чанар нь тухайн бүс нутгийн геологи-экологийн

нөхцөл, газрын тосны хайгуул, олборлолтын үйл ажиллагааны цар хүрээ, ашиглагдаж буй техник-технологийн түвшин, эдийн засгийн хүчин зүйлсээс ихээхэн хамаардаг.

Иймээс газрын тосны өрөмдлөг, олборлолтын явцад үүсэх технологийн шингэн хаягдлыг үр дүнтэй цэвэршүүлж, байгаль орчинд үзүүлэх сөрөг нөлөөг бууруулах, байгалийн гаралтай, эдийн засгийн хувьд хэмнэлттэй арга технологийг нэвтрүүлэх хэрэгцээ шаардлага улам бүр нэмэгдэж байна. Шингэн хаягдлыг цэвэршүүлэхэд ашиглагддаг шүүлтүүрийн материалууд олон төрөлтэй бөгөөд сүүлийн жилүүдэд биосуурьт шүүлтүүр болон бионүүрсэн шүүлтүүрийг олон улсын түвшинд өргөнөөр ашиглах хандлага ажиглагдаж байна [2,5,6].

Бионүүрс нь органик гаралтай түүхий эдийг өндөр температурт хүчилтөрөгчгүй орчинд задлан боловсруулж гарган авдаг, өндөр нүх сүвэн бүтэцтэй, бохирдуулагч бодисыг шингээх

чадвар сайтай материал юм. Ийм шинж чанараас шалтгаалан малын гаралтай хаягдал яснаас гарган авсан бионүүрсийг газрын тосны өрөмдлөгийн явцад үүсэх шингэн хаягдал усыг цэвэршүүлэхэд ашиглах боломжтой гэж үзэв.

Бионүүрс нь өндөр сүвэрхэг гадаргуутай тул бохирдуулагч бодисыг өөртөө үр дүнтэйгээр шингээн хуримтлуулах чадвартай бөгөөд ялангуяа хүнд металлын бохирдлыг шүүхэд өндөр үр ашигтай болохыг олон судалгаагаар тогтоосон байна. Олон улсын түвшинд бионүүрсийг бохир усыг цэвэршүүлэх, мөн зарим эмийн бүтээгдэхүүнээс гаралтай задралд тэсвэртэй, үл нийцэх бодисыг зайлуулах зорилгоор амьтан, ургамлын гаралтай түүхий эдээр үйлдвэрлэсэн идэвхжүүлсэн хэлбэрээр өргөнөөр ашиглаж байна [6].

Түүнчлэн малын ясыг физик-химийн аргаар боловсруулан ясны био бордоо, ясны шөл, ясны уураг, ясны чөмгөний тос зэрэг зах зээлд бэлэн бизнесийн бүтээгдэхүүн үйлдвэрлэх боломжтой [7]. Энэхүү судалгаанд шөл боловсруулах үйлдвэрийн үйл ажиллагаанаас үүсэх малын гаралтай хаягдал ясыг 500°C температурт пиролизын аргаар боловсруулж гарган авсан бионүүрсийг ашиглав. Уг бионүүрсийг Дорнод аймгийн нутаг дэвсгэрт орших Тамсагийн сав газрын газрын тосны XXI талбайн худгуудын унд, ахуйн ус болон технологийн хаягдал усны дээжийг цэвэршүүлэхэд хэрэглэн туршилт судалгаа явуулсан бөгөөд гарсан үр дүнг энэхүү өгүүлэлд нэгтгэн дүгнэв.

Энэхүү судалгааны ажлын шинэлэг тал нь манай орны нөхцөлд элбэг байдаг малын гаралтай хаягдлыг байгаль орчинд ээлтэй, эдийн засгийн хувьд хэмнэлттэй шүүлтүүрийн материал болгон ашиглах боломжийг судалж, туршилтаар нотолсонд оршино. Малын хаягдал ясыг бионүүрс болгон хувиргаж, газрын тосны өрөмдлөгийн үеийн шингэн хаягдлыг цэвэршүүлэхэд ашиглах нь хог хаягдлын дахин ашиглалтыг нэмэгдүүлэх, байгаль орчны бохирдлыг бууруулах, импортын өндөр өртөгтэй шүүлтүүрийн материалыг орлох боломжийг бүрдүүлж байгаа нь эдийн засаг, экологийн чухал ач холбогдолтой юм.

II. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ЗОРИЛГО, ЗОРИЛТ

Энэхүү судалгааны ажлын үндсэн зорилго нь газрын тосны өрөмдлөгийн явцад үүсэх шингэн хаягдлыг малын яснаас гарган авсан бионүүрсэн адсорбент ашиглан цэвэршүүлэх боломж, үр дүнг лабораторийн нөхцөлд туршилтаар үнэлэхэд оршино.

Уг зорилгод хүрэхийн тулд дараах судалгааны зорилтуудыг дэвшүүлсэн. Үүнд:

1. Малын гаралтай хаягдал ясыг пиролизын аргаар боловсруулж бионүүрс гарган авах;
2. Гарган авсан бионүүрсний тос шингээх чадварыг Сокслетийн аргаар тодорхойлох;
3. Малын яснаас гарган авсан бионүүрс болон хүчил, шүлтээр идэвхжүүлсэн бионүүрсний гадаргуугийн талбайг тодорхойлж харьцуулах;
4. Газрын тосны XXI талбайн ахуйн усанд ерөнхий химийн үзүүлэлт болон хүнд металлын агуулгын шинжилгээ хийх;
5. XXI талбайн худгийн ус болон технологийн хаягдал усыг бионүүрсэн шүүлтүүрээр цэвэршүүлэхийн өмнөх ба дараах хүнд металлын агууламжийн шинжилгээний үр дүнг харьцуулан үнэлэх.

Судалгааны ажлын хүрээнд малын хаягдал яснаас гарган авсан бионүүрс нь газрын тосны өрөмдлөгийн шингэн хаягдал усанд агуулагдах тослог бодис, хүнд металл болон бусад бохирдуулагчийг үр дүнтэй адсорбцлон шингээж, усны чанарыг сайжруулах боломжтой гэсэн таамаглалыг дэвшүүлэв.

III. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ БА ХЭРЭГЛЭГДЭХҮҮН

Бионүүрс (biochar) гэдэг нь ургамал, амьтны гаралтай органик түүхий эдийг хүчилтөрөгч дутмаг орчинд халаах замаар гарган авдаг, ус болон агаарыг шингээх чадвар бүхий өндөр нүх сүвийн бүтэцтэй, нүүрстэй төстэй шаталтын бүтээгдэхүүн юм [2,7,8].

Бионүүрс үйлдвэрлэхэд ашиглагдах органик түүхий эдэд бүх төрлийн модны хаягдал, төрөл бүрийн хатсан ургамал, сүрэл, навч, мөчир, иш, мөн бүх төрлийн мал, амьтны яс, бууц зэрэг биомасс орно. Аливаа биомассыг хүчилтөрөгчгүй буюу хязгаарлагдмал орчинд халааж нүүрсжүүлэх процессыг пиролиз технологи гэж нэрлэдэг.

Бионүүрсийг үйлдвэрлэх аргыг технологийн онцлогоор нь дараах хоёр үндсэн төрөлд ангилдаг. Үүнд:

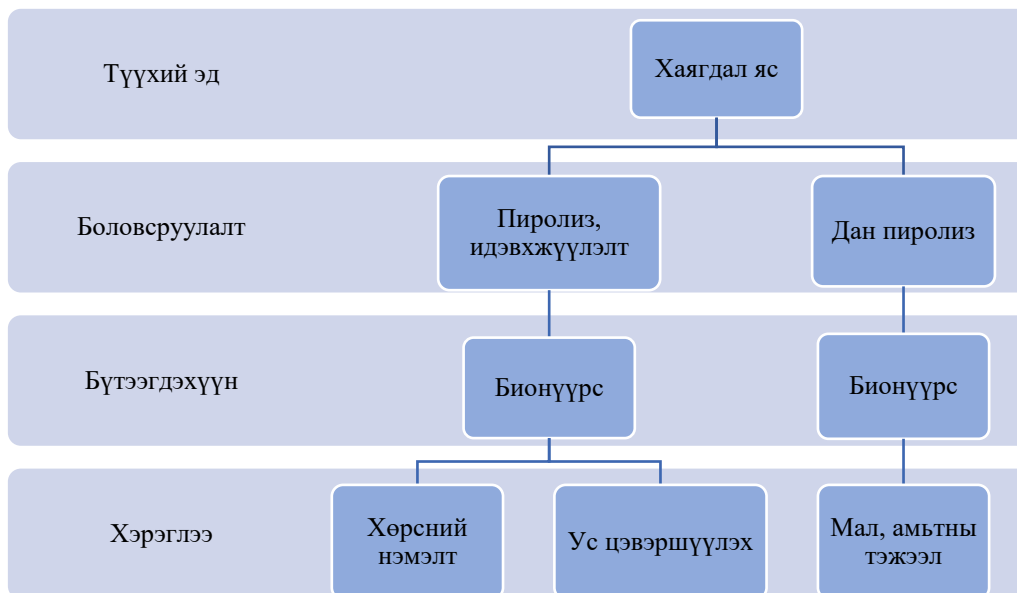
- Дэвшилтэт технологи буюу хурдан пиролизын арга,
- Энгийн хялбар технологи буюу удаан пиролизын арга.

Энэхүү судалгаанд энгийн хялбар технологи буюу удаан пиролизын аргыг ашигласан бөгөөд шөл болон бусад бэлэн бүтээгдэхүүн үйлдвэрлэх үйлдвэрээс гарах малын гаралтай хаягдал ясыг

пиролизын зууханд шатааж, бионүүрс гарган авсан (диаграмм-1).

Малын хаягдал яснаас гарган авсан бионүүрсийг химийн идэвхжүүлэлтийн аргаар боловсруулж, хүчил болон шүлтгээр идэвхжүүлэлт хийв. Хүчлээр идэвхжүүлэх арга нь бионүүрсний

гадаргуу дээр хүчиллэг функциональ бүлгүүдийг үүсгэх, мөн үлдэгдэл бохирдлыг арилгах зорилготой. Харин шүлтгээр идэвхжүүлэх нь хүчилтөрөгч агуулсан функциональ бүлгүүдийн тоог нэмэгдүүлэх, улмаар гадаргуугийн идэвхтэй талбайг өсгөх зорилготой юм [6,9].



Диаграмм-1. Бионүүрс гарган авах арга зүй

Бионүүрсийг химийн идэвхжүүлэлтийн аргаар боловсруулж, хүчлээр идэвхжүүлэхэд концентрацитай хүхрийн хүчил (H_2SO_4), шүлтгээр идэвхжүүлэхэд 200гр/л концентраци бүхий натрийн гидроксид ($NaOH$)-ыг тус тус сонгон хэрэглэв. Идэвхжүүлэлтийг $100^\circ C$ температурт 24-48 цагийн турш явуулсны дараа дээжүүдийг нэрмэл усаар сайтар угааж, хатаах шүүгээнд бүрэн хатаасан.

Тос шингээх чадварыг тодорхойлох арга

Бионүүрсний тос шингээх чадварыг дараах дарааллын дагуу тодорхойлов. Үүнд:

1. Бионүүрс тус бүрээс 0.5гр жигнэн авч бэлтгэсэн.
2. Шүүлтүүрийн цаасыг (Advantech №2S) юүлүүрт байрлуулж, бионүүрсийг хийсэн.
3. Дээр нь 10г ургамлын тос нэмж, бионүүрсэнд бүрэн шингээсэн.
4. Шингээгүй тос бүрэн шүүгдэж дуусах хүртэл шүүнэ.
5. Дараа нь Сокслетын аппарат ашиглан бионүүрсэнд шингэсэн тосыг диэтилийн эфирээр хандлан ялгав;
6. Хандлагдсан тосны хэмжээгээр бионүүрсний тос шингээх чадварыг харьцуулан үнэлсэн.

Тос шингээх чадварыг дараах томъёогоор тооцоолов:

$$M_{\text{шт}} = M_{\text{тб}} - M_{\text{хб}} \quad (1)$$

Үүнд:

$M_{\text{шт}}$ - Шингэсэн тосны жин, г

$M_{\text{тб}}$ - Тостой бионүүрсний жин, г

$M_{\text{хб}}$ - Тосгүй бионүүрсний жин, г

Бионүүрсний гадаргуугийн талбайн хэмжээг МУИС-ийн Нанотехнологийн төвийн лабораторид тодорхойлуулсан.

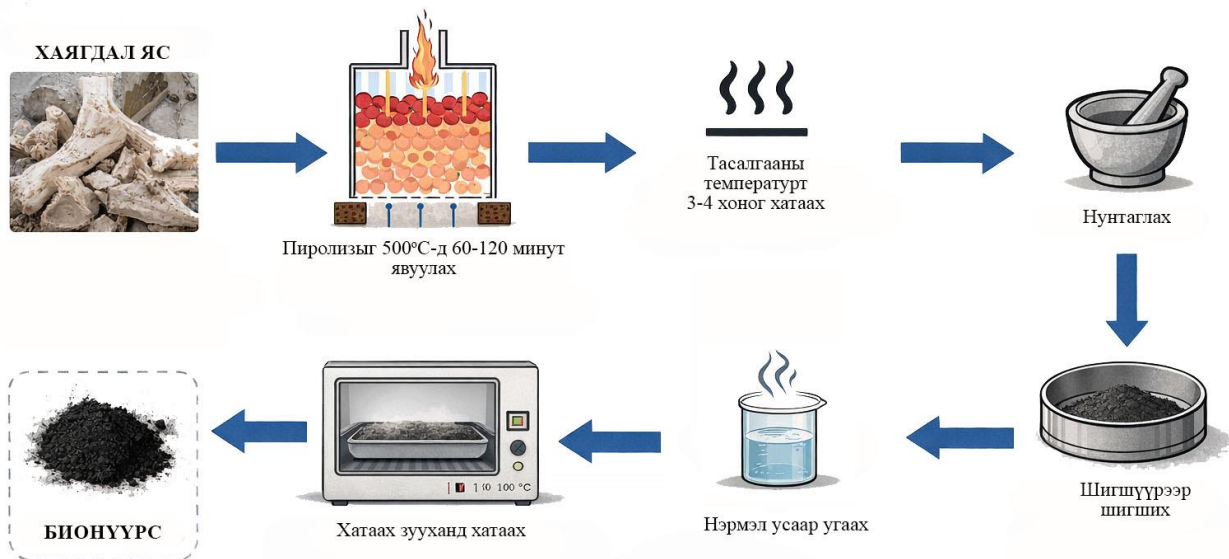
Шинжилгээг шууд харьцуулах аргаар гүйцэтгэж, идэвхжүүлсэн нүүрстөрөгчийн гадаргуугийн талбайтай харьцуулан үнэлгээ хийв.

Газрын тосны XXI талбайн худгийн ус болон технологийн хаягдал усыг бионүүрсэн шүүлтүүрээр цэвэршүүлэхийн өмнөх ба дараах хүнд металлын агууламжийн шинжилгээний дүнг харьцуулан судлав. Шинжилгээг Beer-Lambert-ийн хууль буюу гэрэл шингээлтийн хуулийг үндэслэн гүйцэтгэсэн бөгөөд дээж дэх органик бодисыг задлан уусмал хэлбэрт шилжүүлсний дараа графит зууханд шүршиж, илрэх элементийн гэрлийн шингээлтийг хэмжих зарчмыг ашиглав. Хэмжилтийг атом шингээлтийн спектроскопи (AAS) багаж ашиглан гүйцэтгэсэн.

IV. СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ҮР ДҮН

Бионүүрс гарган авсан процессыг зураг-1-т үзүүлэв. Бэлэн бүтээгдэхүүн үйлдвэрлэдэг аж ахуйн нэгжээс малын гаралтай хаягдал ясыг

цуглуулан, бионүүрс шатаах зориулалтын зууханд 500°C температурт пиролизын аргаар боловсруулж ясны бионүүрс гарган авсан.



Зураг-1. Малын яснаас бионүүрс гарган авсан процессын бүдүүвч

Гарган авсан бионүүрс тус бүрээс 0.5гр-ийг жигнэн авч, нягт шүүлтүүрийн цаасыг юүлүүрт байрлуулан бионүүрсийг хийв. Дараа нь 10мл ургамлын тос нэмж, бионүүрсэнд бүрэн шингээж, шингээгүй тос бүрэн шүүгдэж дуусах хүртэл шүүн ялгав. Үүний дараа бионүүрс агуулсан бортгон цаасыг жинлэж, тостой бионүүрсний жинг тодорхойлов.

гүйцэтгэсэн. Бионүүрсний тос шингээх чадварыг Сокслетийн аргаар тодорхойлсон бөгөөд туршилтын үр дүнг хүснэгт-1, график-1-т харуулав.

Жинлэсэн дээжийг петролейны эфирт дэвтээж хонуулан, Сокслетийн аппарат ашиглан 4 цагийн турш петролейны эфирээр хандлан угааж, улмаар хатаан дахин жинлэж тооцоог

Хүснэгт-1. Бионүүрсний тос шингээсэн үр дүн

Адсорбент	Бод малын ясны бионүүрс	Бог малын ясны бионүүрс	NaOH-оор идэвхжүүлсэн	H ₂ SO ₄ -оор идэвхжүүлсэн
Шингээсэн тосны жин, %	21.3	19.8	25.4	26.2

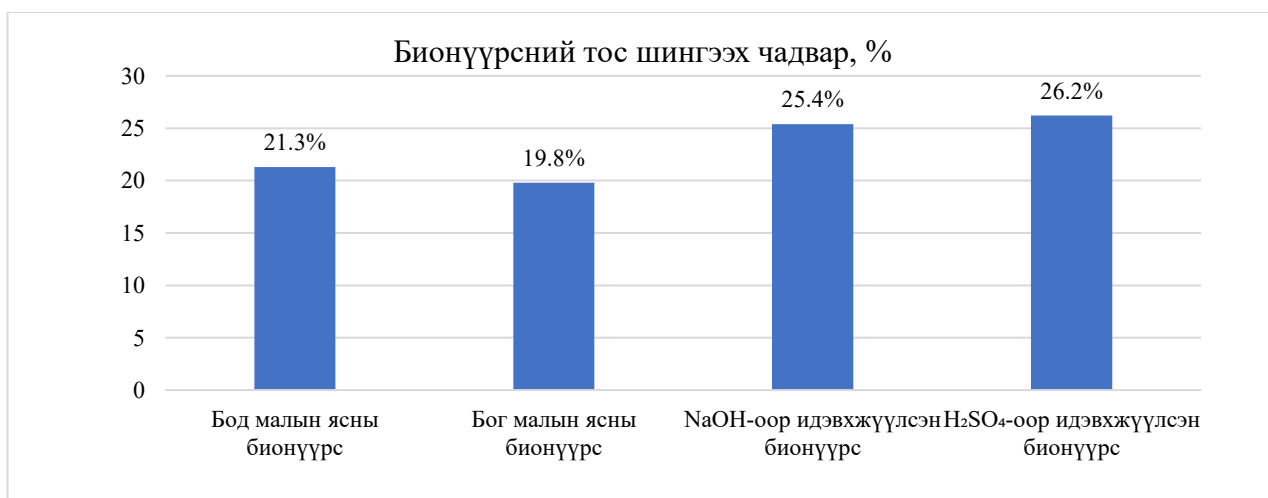


График-1. Тос шингээх чадварыг Сокслетийн аргаар тодорхойлсон үр дүн

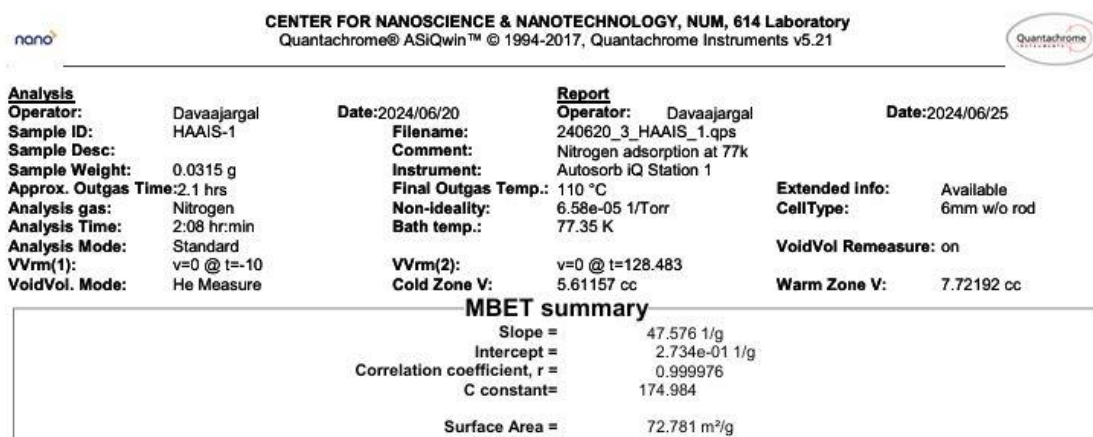
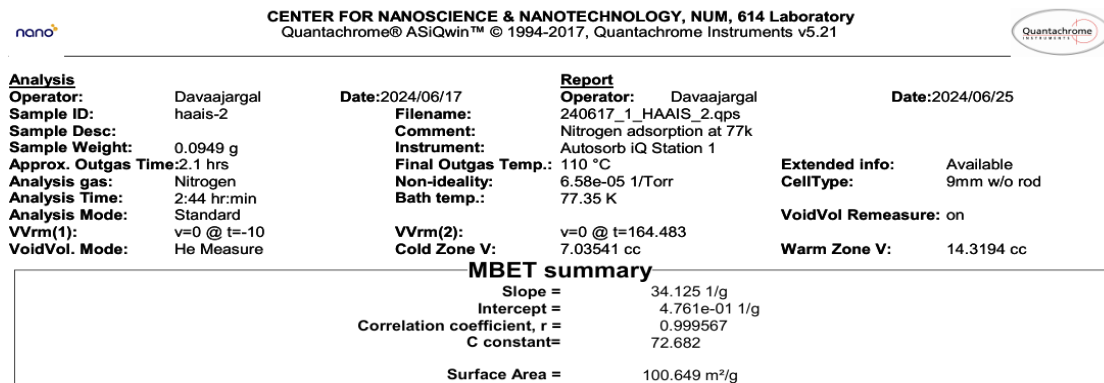
Дээрх шинжилгээний үр дүнгээс харахад бионүүрсний тос шингээх чадварыг Сокслетийн аргаар тодорхойлоход бод малын яснаас гарган

авсан бионүүрс 21.3%, бог малын яснаас гарган авсан бионүүрс 19.8%, NaOH-оор идэвхжүүлсэн бионүүрс 25.4%, харин хүхрийн хүчлээр (H₂SO₄)

идэвхжүүлсэн бионүүрс 26.2% тус тус тос шингээх чадвар үзүүлсэн. Эдгээр үр дүнгээс дүгнэхэд хүхрийн хүчлээр идэвхжүүлсэн бионүүрс нь бусад төрлийн бионүүрстэй

харьцуулахад тос шингээх чадвар хамгийн өндөр байгааг харуулж байна.

Мөн бод, бог малын яснаас гарган авсан бионүүрс болон хүчил, шүлтгээр идэвхжүүлсэн бионүүрсний гадаргуугийн талбайн хэмжээг өндөр нарийвчлал бүхий Autosorb IQ багажаар BET шинжилгээний аргаар тодорхойлуулсан бөгөөд шинжилгээний үр дүнг график-2-т, зураг-2-т харуулав.



Зураг-2. Бионүүрсний гадаргуугийн талбайг Autosorb IQ багажаар тодорхойлсон BET шинжилгээний хариуны зарим үр дүнг харуулав.

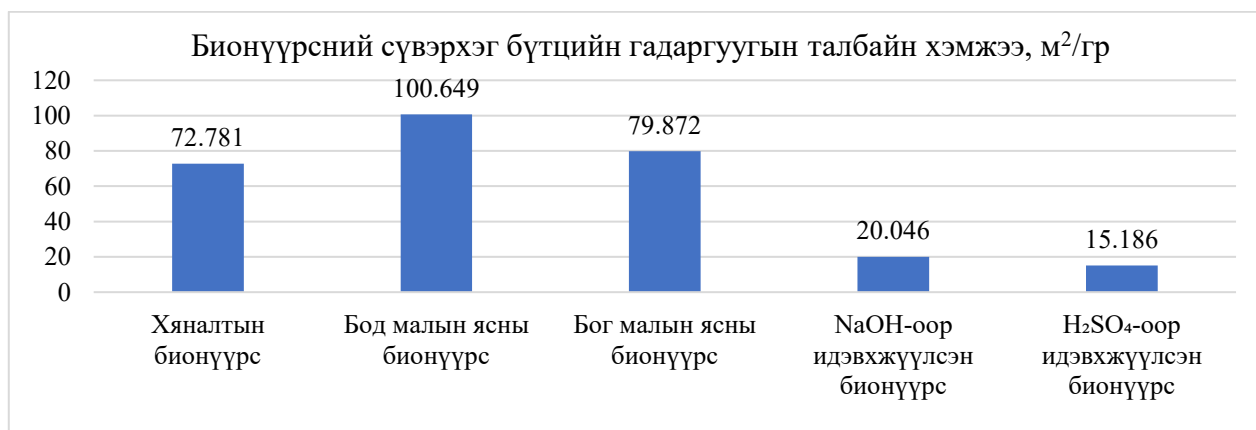


График-2. Бионүүрсний сүвэрхэг бүтцийн гадаргуугийн талбайн хэмжээ, м²/гр

Дээрх зургаас харахад бод, бог малын яснаас гарган авсан бионүүрс болон хүчил, шүлтгээр идэвхжүүлсэн бионүүрсний гадаргуугийн талбайн хэмжээг тодорхойлсон үр дүнгээс бод, бог малын ясны бионүүрс нь хамгийн их

гадаргуугийн талбайтай бөгөөд уг үзүүлэлт 79.842-100.649 м²/г-ийн хооронд хэлбэлзэж байна. Харин натрийн шүлтгээр (NaOH) идэвхжүүлсэн бионүүрсний гадаргуугийн талбай 20.046 м²/г, хүхрийн хүчлээр (H₂SO₄)

идэвхжүүлсэн бионүүрс нь хамгийн бага гадаргуугийн талбайтай бөгөөд 15.100м²/г байгааг тогтоов.

Мөн газрын тосны XXI талбайн ахуйн усанд ерөнхий химийн шинжилгээ болон хүнд металлын агууламжийг тодорхойлсон бөгөөд катионы үр дүнг график-3-т, анионы үр дүнг график-4-т тусган харуулав.

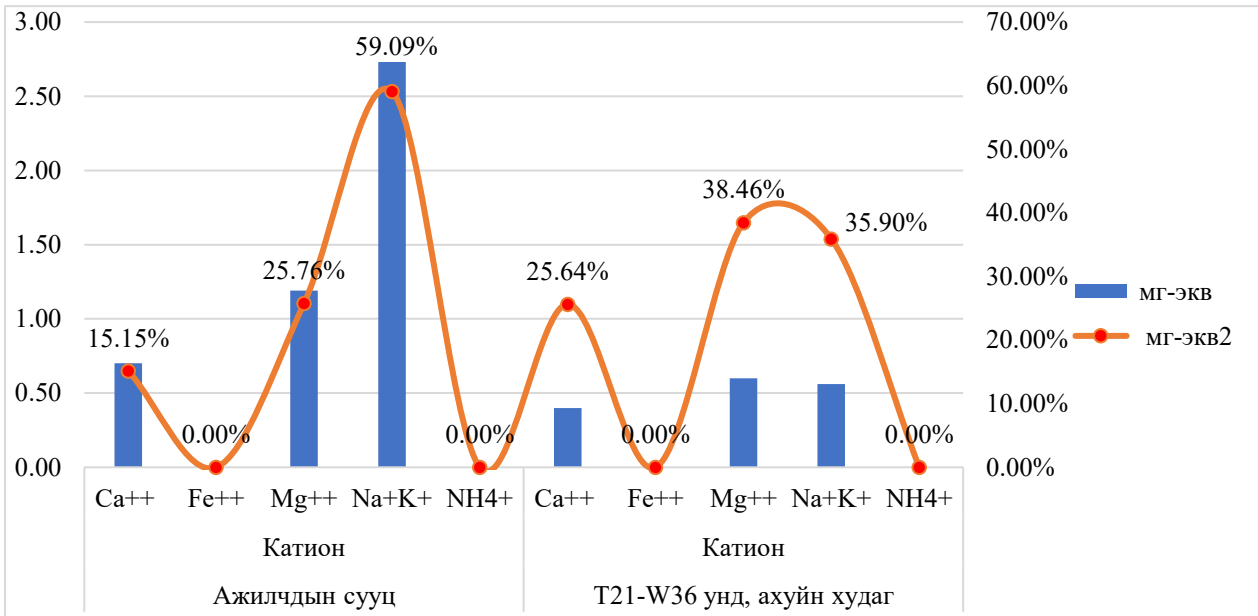


График-3. XXI-р талбайн ахуйн усан дахь катионы шинжилгээний үр дүн

Дээрх графикийн үр дүнгээс харахад шинжилгээнд хамрагдсан ус нь химийн бүрэлдэхүүний хувьд хлоридын анги, натрийн бүлэгт хамаарах, III төрлийн ус бөгөөд чанарын үзүүлэлтээрээ цэнгэгдүү, өөрөөр хэлбэл харьцангуй их эрдэсжилттэй, маш зөөлөн усны ангилалд багтаж байна. Шинжилгээнд

хамрагдсан үндсэн физик-химийн үзүүлэлтүүд нь “Ундны ус. Эрүүл ахуйн шаардлага, чанар, аюулгүй байдлын үнэлгээ” MNS 0900:2018 стандартын шаардлагыг ерөнхийд нь хангаж байгаа боловч хлоридын агууламж тухайн стандартын зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээнээс давсан үзүүлэлттэй байна.

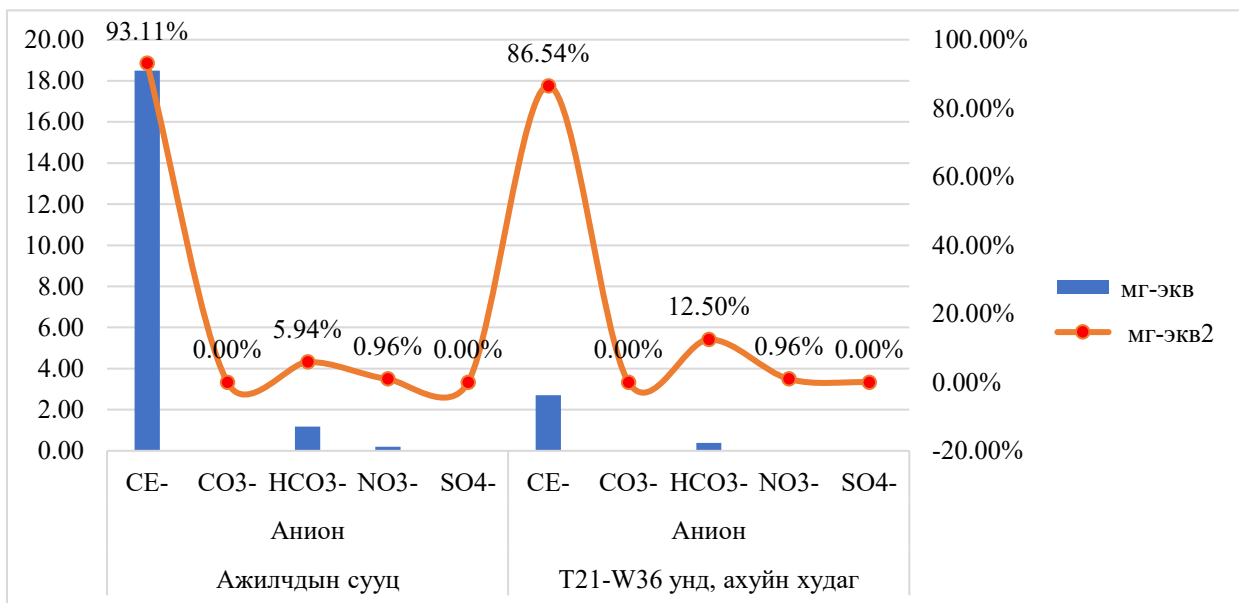


График-4. XXI-р талбайн ахуйн усан дахь анионы шинжилгээний үр дүн

Дээрх зургийн үр дүнгээс харахад шинжилгээнд хамрагдсан ус нь химийн бүрэлдэхүүний хувьд хлоридын анги, мангийн бүлэгт хамаарах, III

төрлийн ус бөгөөд чанарын үзүүлэлтээрээ нэн цэнгэг, өөрөөр хэлбэл ялимгүй эрдэсжилттэй, маш зөөлөн усны ангилалд багтаж байна.

Шинжилгээнд хамрагдсан үндсэн физик-химийн үзүүлэлтүүд нь “Ундны ус. Эрүүл ахуйн шаардлага, чанар, аюулгүй байдлын үнэлгээ” MNS 0900:2018 стандартын шаардлагыг бүрэн хангаж байгааг тогтоов.

Мөн газрын тосны XXI талбайн усны гурван төрлийн дээжийг бионүүрсэн шүүлтүүрээр шүүхийн өмнөх болон шүүсний дараах хүнд металлын агууламжийг тодорхойлсон шинжилгээний үр дүнг хүснэгт-2, график-5 болон хүснэгт-3, график-6-д харуулав.

Хүснэгт 2. Бионүүрсээр шүүхээс өмнөх усан дахь хүнд металлын агуулга, мг/кг

Дээжийн төрөл	Cr	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni
XXI талбайн ажилчдын сууцны ус*	18.17	16.67	0.00	29.47	12.43	70.83
XXI талбайн ажилчдын сууцны ус **	21.10	6.10	0.00	13.50	0.90	49.00
XXI талбайн унд, ахуйн худгийн ус *	42.43	18.17	0.00	43.93	25.30	36.53
XXI талбайн унд, ахуйн худгийн ус **	16.50	0.90	6.00	13.00	0.20	26.00
XXI талбай - Технологийн хаягдал ус	0.10	4.30	0	56.20	0.50	21.00

Тайлбар – *ХААИС – Хөдөө аж ахуйн их сургуулийн Химийн лабораторид хийгдсэн туршилтын үр дүн

**ХАБҮЛ – Хүнсний аюулгүй байдлын үндэсний лавлагаа лабораторийн хяналтын шинжилгээний үр дүн



График-5. Бионүүрсээр шүүхээс өмнөх усан дахь хүнд металлын агуулга, мг/кг

Хүснэгт 3. Бионүүрсээр шүүсний дараах усан дахь хүнд металлын агуулга, мг/кг

Туршилтын төрөл	Cr	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni
H ₂ SO ₄ идэвхжүүлсэн бионүүрс	5.60	0.60	0.10	3.50	0.30	17.00
NaOH идэвхжүүлсэн бионүүрс	10.90	0.30	0.00	8.40	0.30	29.60
Хяналтын бионүүрс	27.00	0.20	0.00	0.20	0.30	21.00
Бод малын ясны бионүүрс	29.00	0.00	0.00	0.60	0.60	26.00
Бог малын ясны бионүүрс	24.00	0.00	0.00	0.50	0.20	30.00

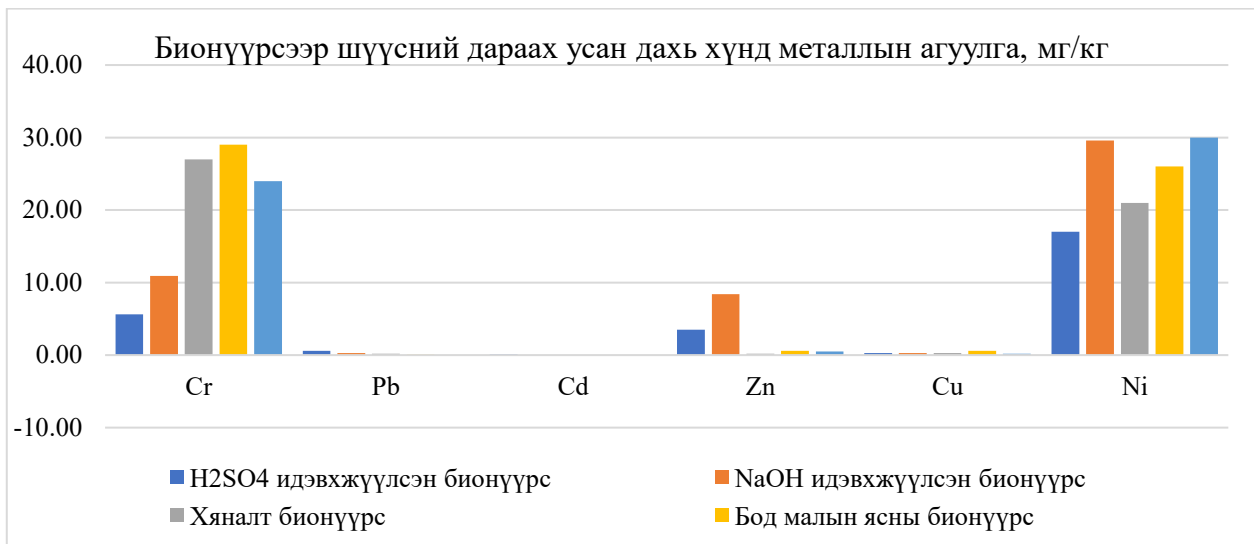


График-6. Бионүүрсээр шүүсний дараах усан дахь хүнд металлын агуулга, мг/кг

Газрын тосны өрөмдлөгийн цооногийн хаягдал усанд агуулагдах никелийн (Ni) хэмжээ бионүүрсэн шүүлтүүрээр цэвэршүүлсний дараа 70.82мг/кг-ээс 17.00мг/кг хүртэл буурсан үр дүнтэй байв. Үүнтэй адил хромын (Cr) агууламж 42.43мг/кг-ээс 27.00мг/кг болж мэдэгдэхүйц хэмжээгээр буурсан нь бионүүрсэн адсорбент нь хүнд металлыг үр дүнтэй шингээх чадвартайг харуулж байна.

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгаанд малын гаралтай хаягдал ясыг 500°C температурт пиролизын аргаар боловсруулж бионүүрс гарган авч, хүчил болон шүлтгээр химийн идэвхжүүлэлт хийсний дараа түүний адсорбцийн шинж чанарыг лабораторийн нөхцөлд үнэлсэн. Сокслетийн аргаар тодорхойлсон тос шингээх чадварын үр дүнгээс харахад хүхрийн хүчлээр идэвхжүүлсэн бионүүрс хамгийн өндөр үзүүлэлт (26.2%) үзүүлсэн нь гадаргуугийн функциональ бүлгүүдийн өөрчлөлт адсорбцийн чадварыг нэмэгдүүлж байгааг илтгэнэ.

Бионүүрсний гадаргуугийн талбайн хэмжээг тодорхойлоход идэвхжүүлэлт хийгдээгүй малын ясны бионүүрс хамгийн их талбайтай (79.842–100.649 м²/г) байсан боловч тос шингээх чадвар нь химийн идэвхжүүлсэн дээжүүдээс харьцангуй бага байв. Энэ нь гадаргуугийн талбайгаас гадна функциональ бүлгүүдийн шинж чанар адсорбцийн үр ашигт чухал болохыг харуулж байна.

Газрын тосны өрөмдлөгийн хаягдал усыг бионүүрсэн шүүлтүүрээр цэвэршүүлэх туршилтаар никелийн (Ni) агууламж 70.82 мг/кг-ээс 17.00 мг/кг, хромын (Cr) агууламж 42.43мг/кг-ээс 27.00мг/кг хүртэл буурсан нь малын хаягдал яснаас гарган авсан бионүүрс нь

газрын тосны өрөмдлөгийн шингэн хаягдлыг цэвэршүүлэхэд ашиглах боломжтой адсорбент болохыг нотолж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛЫН ЖАГСААЛТ

[1] <https://mmhi.gov.mn/>

[2] Crombie, Kyle; Mašek, Ondřej; Sohi, Saran P.; Brownsort, Peter; Cross, Andrew (21 December 2012). "The effect of pyrolysis conditions on biochar stability as determined by three methods" (PDF). *Global Change Biology Bioenergy*. 5 (2): 122– doi:10.1111/gcbb.12030. ISSN 1757-1707. S2CID 54693411. Archived (PDF) from the original on 6 July 2021. Retrieved 1 September 2020.

[3] В.Алимаа, Н.Мөнхцэнгэл. Газрын тос агуулсан хаягдлууд байгаль орчинд үзүүлэх нөлөө, хоргүйжүүлэх аргуудын харьцуулсан судалгаа. Газрын тос -2024.

[4] В.Алимаа, Г.Танан. Газрын тосны өрөмдлөг, олборлолтын үеийн байгаль орчны асуудал. Хүрээлэн буй орчин 2023

[5] Lehmann, J., Joseph, S. (2009). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London.

[6] Чулуун Буян, Баярцэнгэл Баяржаргал нарын “Хаягдал биомассаас гарган авсан бионүүрсээр усны хатуулгийг бууруулах боломж” бүтээл. УБ. 2022.

[7] Xiao, G., et al. (2024). New technologies and products for livestock and poultry bone processing: Research progress and application prospects. *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114031>

[8] Tomczyk, A., Sokołowska, Z., Boguta, P. (2020). Biochar physicochemical properties: pyrolysis

temperature and feedstock kind effects. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 19, 191–215. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09523-3>

[9] Самрын яснаас гаргаж авсан бионүүрсийг идэвхжүүлж, төрөл бүрийн химийн нэгдлийг

шингээх чадварыг тодорхойлох О.Болормаа 2024 бакалаврын судалгааны ажил.

Application of Natural Adsorbents for Heavy Metal Removal from Wastewater

V.Alimaa^{a*}, N.Pagamdulam^{b*}, U.Oyun-Erdene^b, M.Erdenetuya^c, D.Suvd-Erdene^a

a Department of Petroleum and Drilling Engineering, School of Geology and Mining Engineering, Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar, Mongolia.

b Department of Chemistry, School of Applied Sciences, Mongolian University of Life Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia.

c Office of Academic Affairs (Training and Curriculum Office), Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar, Mongolia.

* alimaav@must.edu.mn, pagamdulam.n@mul.s.edu.mn

ABSTRACT. Since 1995, intensive oil exploration and production activities have been carried out in the Tamsag and Dornogovi oil basins of Mongolia, with the produced crude oil being exported to China. These operations generate significant quantities of liquid wastes, including drilling fluids, well completion and testing fluids, service fluids, produced water, and wastewater from water injection treatment processes. Such wastewaters often contain petroleum hydrocarbons and heavy metals, posing considerable risks to soil quality and aquatic ecosystems.

This study investigates the potential use of biochar derived from animal bone waste as a natural adsorbent for the removal of heavy metals from domestic and technological wastewater generated in oil fields. The bone-derived biochar was produced via pyrolysis at 500°C and subsequently subjected to chemical activation using sulfuric acid (H₂SO₄) and sodium hydroxide (NaOH) to enhance its adsorption properties. The adsorption performance was evaluated by measuring oil adsorption capacity, surface characteristics, and changes in heavy metal concentrations.

The experimental results indicate that H₂SO₄-activated biochar exhibited the highest oil adsorption capacity (26.2%) and effectively reduced the concentrations of nickel (Ni) and chromium (Cr) in the wastewater. These findings demonstrate that biochar produced from animal bone waste can serve as an environmentally friendly and cost-effective natural adsorbent for treating liquid waste generated in the petroleum industry.

Keywords: animal bone waste, biochar, wastewater treatment, heavy metals, adsorption, oil contamination.