



NATIONAL UNIVERSITY OF MONGOLIA
SCHOOL OF ARTS AND SCIENCES
DEPARTMENT OF GEOGRAPHY

Geographical Issues

Газарзүйн Асуудлууд

Volume 25 (02)

ISSN: 2312-8534

2025

Ulaanbaatar

Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Soil in Uliastai soum, Zavkhan Province, Western Mongolia

Enkhtuvshin Battulga¹, Enkhchimeg Battsengel^{1*}, Davaadorj Davaasuren², Mendbayar Otgonbayar²

¹*School of Engineering and Technology, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 14200, Mongolia*

²*Department of Geography, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 210646, Mongolia*

*Corresponding author: enkhchimeg.b@num.edu.mn

Received: 2025.03.01

Revised: 2025.05.05

Accepted: 2025.05.15

Abstract

This study investigated the presence of heavy metals in the soils of Uliastai soum, Zavkhan province, and compared the findings with previous soil sample analyses from 2022. A total of 20 soil samples were collected and analyzed for 33 elements at an SGS-accredited laboratory. Particular attention was given to nine heavy metals (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn) known for their harmful effects on environmental and human health. The concentrations of these metals were compared against Mongolian national standards (MNS 5850:2019) and international benchmarks. Although all measured concentrations were below the permissible limits, geo-accumulation index (I_{geo}) and ecological risk index (Er) assessments revealed that certain elements fell within the “moderately to highly polluted” and “highly polluted” categories. Notably, elevated ecological risks were identified for arsenic (As) and lead (Pb) at specific sampling sites. Enrichment factor (EF) analysis indicated “moderate” to “more than moderate” enrichment for elements such as Cu, Zn, and Ni, suggesting anthropogenic sources of contamination. High contamination levels near a car repair shop, a boiler house, and a meat processing plant further point to insufficient environmental regulation in those areas. The lowest ecological risk value, 5.54, was observed in a sample near the car repair shop. Overall, while the current threat from heavy metals in Uliastai’s soils appears low, localized accumulation poses potential long-term risks to environmental stability.

Keywords : Heavy metals, Pollution index, Ecological risk, Uliastai soum, Zavkhan province

Завхан аймгийн Улиастай сумын хөрсний хүнд металаас экологид үзүүлэх эрсдэлийн үнэлгээ

©Баттулга Энхтүвшин¹, Батцэнгэл Энхчимэг^{1*}, Даваасүрэн Даваадорж², Отгонбаяр Мэндбаяр²

¹Инженер, Технологийн Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар 14200, Монгол Улс

²Газарзүйн тэнхим, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар
210646, Монгол Улс

*Харилцагч зохиогч: enkhchimeg.b@num.edu.mn

Хүлээн авсан: 2025.03.01

Засварласан: 2025.05.05

Зөвшөөрөгдсөн: 2025.05.15

Хураангуй

Энэхүү судалгаагаар Завхан аймгийн Улиастай сумын хөрсний хүнд элементийн судалгааг хийсэн ба судалгааны хүрээнд өмнөх 2022 онуудын хөрсний дээжний шинжилгээнүүдтэй харьцуулж, бохирдлын индекс үнэлж, экологийн эрсдэлийн үнэлгээг хийж гүйцэтгэлээ. Улиастай сумын нийт 20 цэгээс хөрсний дээж авч, SGS магадлан итгэмжлэгдсэн лабораторид 33 элементийг шинжилж, тэдгээрээс байгаль орчин, хүний эрүүл мэндэд хор хөнөөлтэй нөлөө бүхий 9 хүнд металлын (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn) агууламжийг Монгол Улсын стандарт болон олон улсын судалгаатай харьцуулан үнэлсэн. Шинжилгээний үр дүнд бүх дээжид хүнд металлын агууламж MNS 5850:2019 стандартын зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс бага байсан боловч, гео-хуримтлалын индекс (Igeo) болон экологийн эрсдэлийн үнэлгээ (Er)-гээр зарим элементүүд нь “дундаас их”, “их хэмжээний” бохирдолтой байв. Ялангуяа хүнцэл (As) болон хар тугалга (Pb)-ын хувьд тодорхой цэгүүдэд экологийн эрсдэл нэмэгдэж буйг анхаарах шаардлагатай. Баяжуулагч хүчин зүйлийн (EF) үнэлгээгээр зарим металлууд (жишээлбэл, Cu, Zn, Ni) “дунд зэрэг”, “дунд зэргээс их” баяжуулалттай гарсан нь хүний үйл ажиллагаанаас үүдэлтэй бохирдлын эх үүсвэр болохыг илтгэж байна. Мөн авто засварын газар, уурын зуух, мах комбинатын орчмоос авсан хөрсөнд бохирдлын түвшин өндөр байгаа нь тухайн бүсэд хяналт, зохицуулалт сул байгааг харуулж байна. Нүүрс болон Үнсний шинжилгээний дүнгээс харахад галлагаанд хэрэглэж буй нүүрс нь шаталтын дараа хүнд элементийг агууламж нь өссөн үр дүнтэй харагдаж байна. Экологийн эрсдэлийн үнэлгээний хамгийн бага утга нь 5.54 буюу Авто засварын газарын ойролцоох хөрсний дээжинд гарсан байна. Судалгааны үр дүн нь Улиастай сумын хөрсөнд хүнд металлын бодит аюул одоогоор бага түвшинд байгаа ч, зарим бүсүүдэд хуримтлал нэмэгдэж, урт хугацаанд байгаль орчны тогтвортой байдалд нөлөөлж болзошгүйг харуулж байна.

Түлхүүр үгс: Хүнд элемент, бохирдлын индекс, экологийн эрсдэлийн үнэлгээ, Улиастай сум, Завхан аймаг

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: Б.Энхтүвшин, Б.Энхчимэг, Д.Даваадорж: Онолын үндэслэл, аргазүй боловсруулалт, өгөгдөл боловсруулалт, үндсэн бичвэр, үр дүнгийн хяналт, Д.Даваадорж, Б.Энхтүвшин, О.Мэндбаяр: өгөгдөл цуглуулалт, боловсруулалт, үр дүнгийн хяналт.

Оршил

Сүүлийн арван жилд үйлдвэрлэл, уул уурхай, хөдөө аж ахуй болон хотжилтын эрчимтэй өсөлт нь хүрээлэн буй орчинд, тэр дундаа хөрсөнд хүнд металлын хуримтлал нэмэгдэхэд хүргэж байна. Хүнд металлууд нь задралд ордоггүй, биологийн аргаар задардаггүй, улмаар ургамал, амьтан, хүний биед хуримтлагдан хорт нөлөө үзүүлдэг онцлогтой (Radomirović et al., 2020). Иймд хөрсөн дэх хүнд металлын бохирдлын түвшин, тархалт, эх үүсвэрийг тогтоож, экологид үзүүлэх эрсдэлийг үнэлэх нь хүрээлэн буй орчны аюулгүй байдлыг хангах, цаашдын газар ашиглалтад оновчтой шийдвэр гаргахад чухал ач холбогдолтой юм.

Хөрсөн дэх хүнд металлын экологийн эрсдэлийг үнэлэхэд geoaccumulation index (Igeo), ecological risk index (Er) зэрэг олон улсын түвшинд хүлээн зөвшөөрөгдсөн аргуудыг өргөн ашигладаг (Taşpınar et al., 2025). Эдгээр үзүүлэлтүүд нь тухайн бохирдуулагч элементийн тархалт, эх үүсвэрийн гарал зүйн талаар мэдээлэл өгдөгөөс гадна экосистемд үзүүлж болзошгүй аюулыг тооцоолох боломжийг олгодог (Barbieri et al., 2015; Looi et al., 2019).

Нүүрс нь шаталтын явцад геологийн гаралтай бусад материалуудтай харьцуулахад хүнд металл (жишээлбэл, хар тугалга, кадми, мөнгөн ус, мишьяк зэрэг)-ийн агууламжийг дөрвөөс арав дахин ихэсгэдэг (Yudovich, Ketris, 2005) бөгөөд энэ нь хүний эрүүл мэндэд хортой нөлөө үзүүлэх хэмжээний концентраци бий болгодог (Finkelman et al., 2002; Chen et al., 2014). Шаталтын дараах үлдэгдэл хаягдлууд (үнс, хаягдал хий, тоосонцор) нь зөвхөн агаар мандлыг төдийгүй хөрс, гадаргын болон газрын доорх усыг бохирдуулах өндөр чадвартай (Rouhani et al., 2023). Ийм хортой элементүүд нь биологийн орчинд хуримтлагдаж, хүн, амьтан, ургамлын эрүүл мэндэд шууд болон дам нөлөөлөл үзүүлдэг (Нийслэлийн Байгаль Хамгаалах Газар, 2017; Frankel et al., 2025).

Азийн орнуудад хүнд металлын экологийн эрсдэлийг үнэлгээг олон улсын аргачлалаар тогтоож байгаа бөгөөд судалгааны дүнгээр кадми (Cd), хар тугалга (Pb), мөнгөн ус (Hg), мишьяк (As) зэрэг элементүүд хамгийн их эрсдэлтэйд тооцогдож байна. Эдгээр нь ихэвчлэн үйлдвэрлэл, уул уурхай, газар ашиглалт, зам тээврийн нөлөөтэй холбоотойгоор тархаж буйг тогтоожээ (Chen et al., 2014; Looi et al., 2019).

2024 оны жилийн эцсийн байдлаар Завхан аймаг нийт 71,800 хүн амтай бөгөөд үүнээс 22.5% нь Улиастай суманд оршин суудаг (Завхан аймгийн статистикийн хэлтэс, 2022). Нийт 4871 өрхтэй бөгөөд 83.5% нь нүүрс түлдэг (Үндэсний статистикийн хороо, 2022) гэсэн тоо баримт бүртгэгджээ.

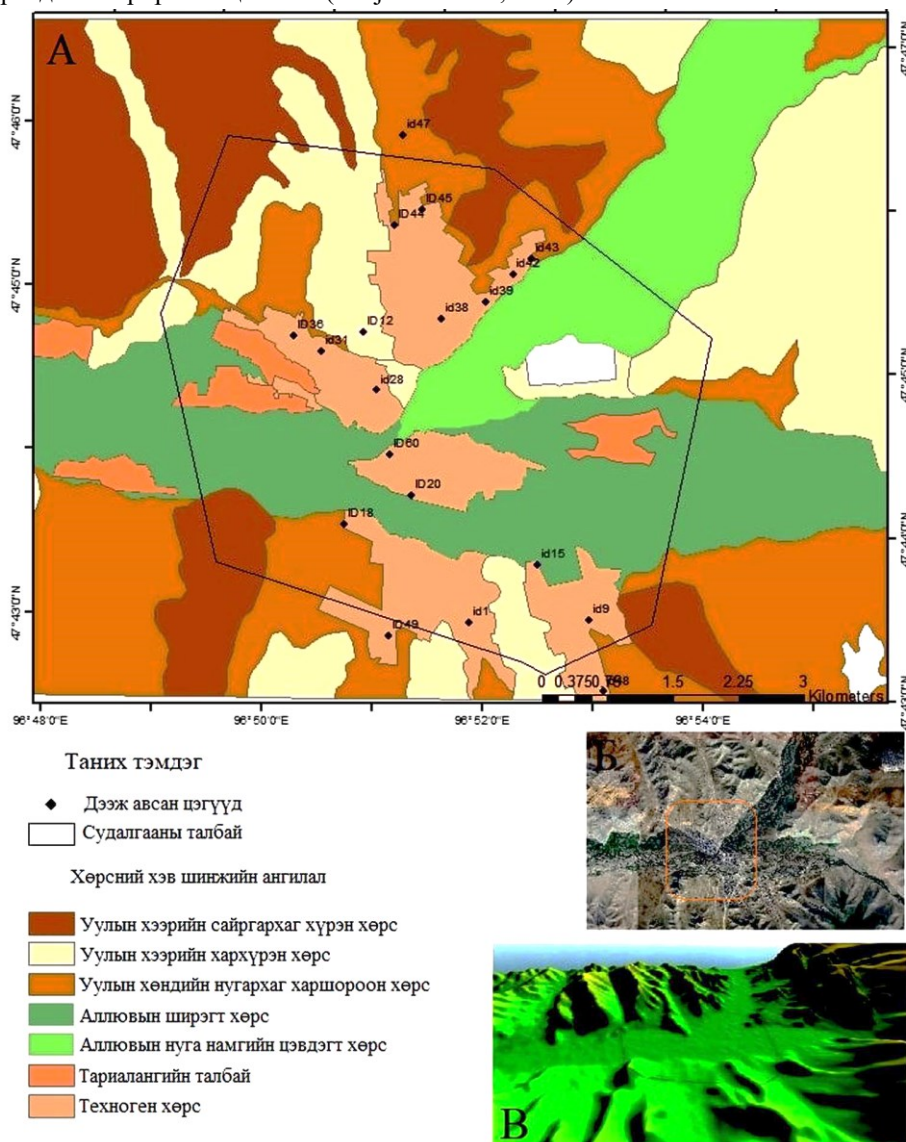
Улиастай сумын хэмжээнд нүүрсийг голчлон уурын болон ахуйн зууханд хэрэглэж байгаа нь агаарын чанарт сөргөөр нөлөөлж, хүн амын эрүүл мэндэд эрсдэл учруулж байна. Үүнтэй зэрэгцэн хог хаягдлын зохицуулалт хангалтгүй, төвлөрсөн систем дутмаг, ангилан ялгалт хийгддэггүй зэрэг хүчин зүйлс нь хөрсний бохирдлыг нэмэгдүүлж буй гол шалтгаануудын нэг болж байна. Мөн дулааны төвлөрсөн шугам сүлжээний хүчин чадал хүрэлцээгүй, шинээр холбогдох өртөг өндөр, дулааны алдагдал ихтэй, барилга байгууламжийн дулаан тусгаарлалт муу зэрэг нь нүүрсний хэрэглээг бууруулахад хүндрэл үүсгэж, улмаар агаарын бохирдлын үндсэн эх үүсвэр болж байна (Завхан аймгийн Цаг уур, орчны шинжилгээний төв, 2022).

Иймээс энэхүү судалгааны хүрээнд хөрсний хүнд элементийн бохирдлын судалгааг өмнөх онуудтай харьцуулан, хөрс-нүүрс-үнсний хоорондын хамаарлыг тооцож, экологийн эрсдэлийн үнэлгээг хийсэн. Судалгаагаар олж авсан үр дүн нь тус бүс нутгийн байгаль орчны төлөв байдлыг тодорхойлохоос гадна хөрсний бохирдлын хяналт, удирдлагын бодлого боловсруулахад бодитой суурь мэдээлэл болох юм.

Судалгааны талбай

Завхан аймгийн Улиастай сум нь Монгол Улсын баруун хэсэгт оршдог бөгөөд Завхан аймгийн төв, аймгийн хамгийн том суурин газар юм. Улиастай сум нь далайн түвшнээс дээш дунджаар 1,760 метрийн өндөрт байрладаг бөгөөд Хангай нурууны салбар уулсын зүүн захын

өндөр уулсын хооронд, Богдын гол болон Цагаан голын бэлчирт оршдог. Газарзүйн байрлалын хувьд Улиастай сум нь хойд өргөрөгийн $47^{\circ}45'$, зүүн уртрагийн $96^{\circ}52'$ орчимд байрладаг (Зураг 1). Сумын нутгийн ихэнх хэсэг уулс, уулархаг хөндийгөөр хүрээлэгдсэн ойт хээр, уулын хээрийн бүсэд хамаарна (Doljin, Yembuu, 2021). Баруун Монголын хагас хуурай, хуурай бүс нутгийн бараг заагт байрладаг газарзүйн онцлогтой (Dorjsuren et al., 2024).



Зураг 1. А. Судалгааны талбайн хөрсний хэв шинжийн ангилал, дээж авсан цэгүүдийн байршил
 Б. Улиастай сумын сансрын зурагт судалгааны талбайг тодруулсан байдал В. Судалгааны талбайн гадаргын өндөршлийн ерөнхий хэв шинж

Судалгааны талбайд уулын хээрийн сайргархаг хүрэн, уулын хээрийн харшороон, уулын хөндийн нугархаг харшороон хөрс өндөрлөг газруудад тархсан (Доржготов 1976; Батхишиг, 2016) бол гадаргын нам доор хэсгээрээ аллювын ширэгт, аллювын нуга намгийн цэвдэгт хөрс тархдаг (Доржготов, 2003; Khadbaatar, 2021; Доржготов, 2022). Харин сууршлын нөлөөгөөр тариалангийн талбай, техноген гаралтай хөрсөн бүрхэвч үүссэн онцлогтой байна.

Улиастай сум нь голын татмын сийрэг нийцтэй элсэнцэр хурдас дээр тогтворжсон аллювын ширэгт болон уулын түргэн урсгалтай голын хавчиг хөндийн нугархаг цэвдэгт хөрсний хэв

шинжүүдийг хамран байрших учир техноген нөлөөлөлд хялбар өртөн доройтох эрсдэлтэй нь эндээс харагдаж байна. Нөгөө талаас хүрээлэн орших өндөр уулын хажуугийн зөөгдөл болон угаагдлын үйл явц идэвхитэй ажиглагдах учир хот орчмын хөрсний бохирдол нь угаагдлаар дамжин гадаргын ус, ургамал, гүний усанд дамжих эрсдэлтэй байршилд оршдог онцлогтой. Иймд хотжилтын газар ашиглалтын эрчимд тулгуурласан хөрсний хүнд элементийн агууламжийг тодорхойлон, түүнээс үүсэх экологийн эрсдэлийн үнэлгээг хийх шаардлагатай юм.

Сумын суурьшлын бүсийн хөрсний хими, нянгийн бохирдлын судалгааг Завхан аймгийн Ус цаг уур, орчны шинжилгээний лаборатори нь хоёр жил тутамд нэг удаа, нийт 14 цэгт хяналтын шинжилгээг хийдэг байна. Хүн амын нягтаршил өндөртэй Улиастай сумын хөрсний бохирдолтын хэмжээг тодорхойлсон судалгаа, шинжилгээний ажил хүн амын эрүүл мэндэд учирч буй эрсдлийг үнэлсэн (Энхчимэг нар, 2023). Гэсэн хэдий ч хөрсний хүнд элементээр бохирдсон хөрсний үүсвэрийг тодорхойлж, экологийн эрсдэлийн үнэлгээг хийсэн судалгаа дутмаг байгаа тул асуудлыг хөндсөн.

Судалгааны материал, аргазүй

Хээрийн судалгааг 2025 оны 2 сарын 20-ноос 27-ны хооронд Завхан аймгийн Улиастай сумын 6 багийн суурьшлын бүсийг сонгож хийсэн. Судалгааны цэгийг сонгохдоо Завхан аймгийн Ус цаг уур, орчны шинжилгээний лабораторийн хоёр жил тутамд хийдэг мониторингийн 16 цэгийг оролцуулан нийт 20 дээж авсан (Зураг 1А).

Хөрсний дээж авах олон улсын стандартын дагуу (International Organization for Standardization, 2018), дугтуйн аргаар 0-10 см-ийн гүнээс авсан. Цэг тус бүрээс ойролцоогоор 300 гр хүртэлх жинтэй дээж цуглуулж, дээжүүдээ битүүмжлэлтэй тусгай уутанд хийж тэмдэгжүүлэн, олон улсын магадлан итгэмжлэгдсэн “SGS in Mongolia” лабораторид шинжлүүсэн. Тухайн газрын байгууллага, айлуудын галлагаанд ашигладаг Могойн голын нүүрсний уурхайн дээжийг авч Геологийн Судалгаа-Шинжилгээний Төв лабораторид хүнд элементүүдийг тодорхойлох шинжилгээг хийлгэсэн.

Бохирдлын индексийн үнэлгээ: Хөрсний хүнд элементийн бохирдлыг үнэлэхийн тулд баяжуулах хүчин зүйл (EF), гео хуримтлалын индекс (Igeo) зэрэг бохирдлын индексийг ашиглан үнэлсэн.

Баяжилтын хүчин зүйлийг хөрсний бохирдлын зэрэглэлийг үнэлэхэд ашигласан бол гео хуримтлалын индексг антропоген нөлөөлөл болон байгалийн хэлбэлзлийн суурь түвшинг үнэлэхэд ашиглана. Баяжилтын хүчин зүйлийг тооцооллод ихэвчлэн хөнгөнцагаан болон төмөр (Fe)-ийн дүнг суурь исэлдүүлэгч болгон ашигладаг. Төмрийн суурь агууламжийг өмнөх судалгааны суурь шинжилгээний дүнгээс авч тооцсон ба төмөр (Fe) агууламжийг 885мг/кг авч тооцсон (Энхчимэг нар, 2023). Учир нь төмөр нь байгальд хамгийн их тархсан, хөрсөн дэх хүчтэй уусгагчаас гадна хүний үйл ажиллагаанаас үүдэлтэй бохирдолд хамгийн мэдрэг байдаг. Энэ нь шаврын бүтцэд ихээр агуулагдах элемент бөгөөд төмрийн харьцаа нь дэлхийн царцдаст харьцангуй тогтмол байдаг (Wei et al., 2009; Ferreira et al., 2005). Баяжилтын хүчин зүйлийг дараах тэгштгэлээр томъёогоор бодно. Үүнд:

$$EF = \frac{\left(\frac{M}{Fe}\right)_{sample}}{\left(\frac{M}{Fe}\right)_{background}} \quad (1)$$

Энд, $\left(\frac{M}{Fe}\right)_{sample}$ нь дээж дэх хүнд металл ба дээжинд тодорхойлсон Fe-ийн концентрацийн харьцааг, $\left(\frac{M}{Fe}\right)_{background}$ нь хяналтын дээж дэх хүнд металл (M) ба Fe хоёрын суурь элементийн агуулгын харьцааг илэрхийлнэ.

Гео-хуримтлалын индекс нь хөрс болон хурдсанд агуулагдах хүнд элементийн агууламж тухайн экосистемд техноген эх үүсвэр бүхий бохирдол үүсгэж байгаа эсэхийг илэрхийлдэг бөгөөд мөн тухай бүс нутгийн хөрсөн дэх хүнд элементийн агууламж нь техноген эх үүсвэрээс нэмж хуримтлагдсан, эсвэл хөрс үүсгэгч эх чулуулагаас нэмж хуримтлагдсан эсэхийг тодорхойлдог

(Muller 1969). Гео-хуримтлалын индексийг дараах томъёогоор илэрхийлж (Томъёо 2), баяжилтын хүчин зүйл (EF) ба гео хуримтлал (I_{geo}) тооцооны ангилалын үзүүлэлтийг харуулав (Хүснэгт 1).

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5 B_n} \right) \quad (2)$$

Энд, C_n - Хүнд элементийн агууламж, B_n - бүс нутгийн суурь элементийн агууламж юм.

Хүснэгт 1. Хуримтлалын фактор (EF) ба гео хуримтлал (I_{geo}) ангилал

Хуримтлалын фактор (EF)		Гео хуримтлал (I_{geo})	
EF < 2	Баяжуулалтгүй	0 < I_{geo}	Бохирдоогүй
EF = 3–5	Дунд зэргийн баяжуулалт	0 < I_{geo} < 1	Бага зэрэг бохирдсон
EF = 5–10	Дунд зэргийн хүчтэй баяжуулалт	1 < I_{geo} < 2	Дунд зэргийн бохирдолтой
EF = 10–25	Хүчтэй баяжуулалт	2 < I_{geo} < 3	Дундаас их бохирдолтой
EF = 25–50	Маш хүчтэй баяжуулалт	3 < I_{geo} < 4	Их хэмжээний бохирдолтой
EF > 50	Туйлын хүчтэй баяжуулалт	4 < I_{geo} < 5	Маш их хэмжээгээр бохирдсон
		5 > I_{geo}	Туйлын их бохирдолтой

Хөрс-Нүүрс-Үнс хамаарлын шинжилгээний арга зүй: PCA (Principal Component Analysis) буюу Үндсэн бүрдлийн шинжилгээний аргачлал нь олон хувьсагчтай (Cr, Cu, Pb гэх мэт олон хүнд элемент) өгөгдлийг хоорондын хамаарлыг харгалзан багасгаж, үндсэн ялгаануудыг илүү ойлгомжтой 2D эсвэл 3D орон зайд дүрслэх статистик арга юм. Энэ нь бохирдлын эх үүсвэрүүдийг бүлэглэх, шалтгаан хамаарлыг тодруулах, металл элементүүдийн хандлагыг ойлгоход ашиглагддаг. Уг аргачлалаар хөрсний дээжүүдэд тодорхойлуулсан хүнд элементийн агууламжийг “Могойн голын нүүрс”-ний дээжний хүнд элементүүдийн агуулга болон тухайн нүүрсний үнсэнд агуулагдаж буй хүнд элементүүдийн хоорондын хамаарлыг тооцоолохын тулд хийсэн.

Экологийн эрсдэлийн үнэлгээ (Re): Хөрсний экологийн эрсдэлийн үнэлгээ нь бохирдуулагч бодисууд хөрс болон түүнээс шалтгаалан ус, ургамал, амьтан, хүн зэрэг экосистемийн бүрэлдэхүүнд үзүүлэх сөрөг үр дагаврын хэмжээг тодорхойлдог шинжлэх ухаанч, дүн шинжилгээний аргачлал юм. Тус арга зүйн үндсэн зорилго нь хөрсний бохирдлын түвшинг илрүүлэх, бохирдуулагч бодисуудын эх үүсвэрийг тодорхойлох, байгаль орчинд үзүүлж буй сөрөг нөлөөг тооцох, шаардлагатай бол нөхөн сэргээх төлөвлөгөө гаргах шаардлагатай байдаг.

Хүнд металлын экологийн болзошгүй эрсдэлийг энэхүү судалгаанд Хакасоны загвараар боловсруулсан болно (Hakanson, 1980). Энэ загварын дагуу бохирдлын индекс (CLi)-ийг томъёо 3-аар тооцоолсон. Үүнд:

$$CLi = \frac{Ci}{RCi} \quad (3)$$

Энд, CLi - Хүнд металлын бохирдлын индекс, Ci - Энэхүү судалгаанд хэмжсэн хөрсний хүнд металлын хэмжээ, RCi - Хөрсөн дэх хүнд металлын суурь агууламж юм.

Бохирдлын индекс нь хөрсний бохирдол, экологийн болзошгүй эрсдэлийг үнэлнэ. Бохирдлын индексийг хөрсний дээжинд агуулагдах хүнд металлын өмнөх болон одоогийн хэмжсэн элементийн харьцаагаар тооцдог. Бохирдлын индексийг тооцоолоход ашигласан суурь элементийн агуулгыг 2-р хүснэгтэд харуулав (Энхчимэг нар, 2023). Бохирдлын индексийг бохирдлын түвшингээр тодорхойлж харуулав (Хүснэгт 3).

Хүснэгт 2. Бохирдлын индексийг тооцоолоход ашигласан суурь элементийн агуулга [мг/кг].

Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	As
0.25	4	62	26	3	0.26

Хүснэгт 3. Бохирдлын индексийн ангилал (Backman, 1998)

<i>CLi</i>	Бохирдлын түвшин	
1	$CLi < 1$	Бохирдолгүй
2	$1 \leq CLi < 2$	Бохирдлын түвшин бага
3	$2 \leq CLi < 3$	Дунд зэргийн бохирдол
4	$3 \leq CLi < 5$	Бохирдлын түвшин өндөр
5	$CLi > 5$	Маш хүчтэй бохирдол

Бохирдлын индексийн мэдээллийг ашигласнаар нэг элементийн экологийн эрсдэлийн индекс (*eRPI*) томъёо 4-өөр тооцоолсон. Үүнд:

$$eRPI_i = TRFi * CL_i \quad (4)$$

Энд, *eRPI* - Хөрсний дээж дэх *i*-р элементийн экологийн эрсдэл, *TRFi* - Хүнд металлын хордлогын хариу урвал (TRF) юм.

TRF-Pb = 5, Cd = 30, As = 10, Cu = 5, Zn = 1 (Huang, X. 2009), Cr = 2 (Saddik et al., 2021).

Эцэст нь боломжит экологийн эрсдэл (*ERP*)-ийг томъёо 5-аар тооцоолсон. Үүнд:

$$^P ER = \sum_{i=1}^n eRPI_i \quad (5)$$

Элемент бүрийн болзошгүй экологийн эрсдэлийн индекс (*eRPI*), экологийн болзошгүй эрсдэл (*ERP*), бохирдлын түвшин хоорондын хамаарлыг Хүснэгт 4-д харуулав.

Хүснэгт 4. *eRPI*, *ERP* бохирдлын түвшин хоорондын хамаарал (Hakanson, 1980)

Элемент бүрийн болзошгүй экологийн эрсдэлийн индекс (<i>ERP_i</i>)	Экологийн эрсдэлийн түвшин	Экологийн болзошгүй эрсдэл (<i>ERP</i>)	Экологийн болзошгүй эрсдэлийн ерөнхий түвшин
$ERP_i < 40$	Бага эрсдэлтэй	$PER < 150$	Бага эрсдэлтэй
$40 < ERP_i < 80$	Дунд зэргийн эрсдэлтэй	$150 < PER < 300$	Дунд зэргийн эрсдэлтэй
$80 < ERP_i < 160$	Илүү өндөр эрсдэлтэй	$300 < PER < 600$	Илүү өндөр эрсдэлтэй
$160 < ERP_i < 320$	Өндөр эрсдэлтэй	$PER > 600$	Өндөр эрсдэлтэй
$ERP_i > 320$	Маш өндөр эрсдэлтэй	-	-

Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг

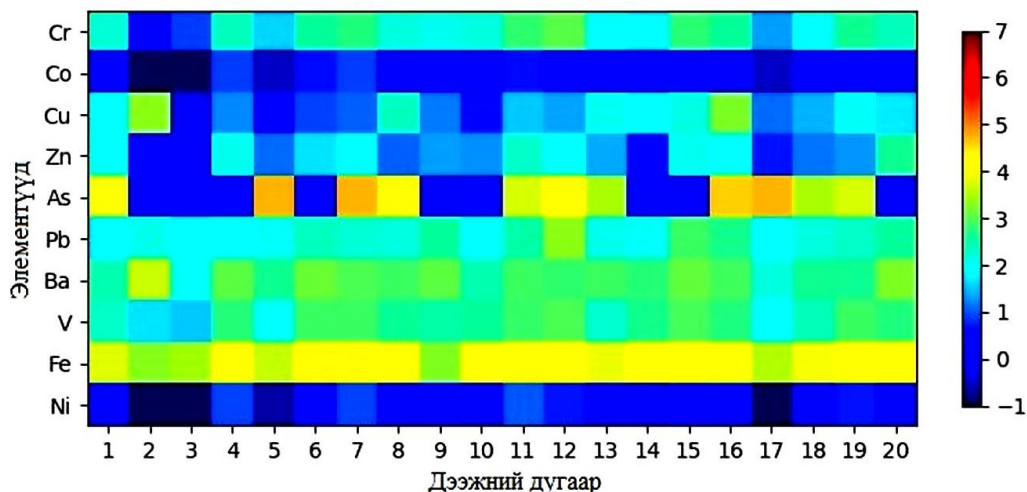
Хөрсний хэмжилтийн шинжилгээ: Хөрсний дээжинд нийт 33 хүнд элементийг ICP-OES багажаар тодорхойлсон. Шинжилгээний үр дүнгээр Монгол улсын стандарт (MNS 5850: 2019 MNS)-тай харьцуулж үзэхэд зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс өндөр гарсан үр дүн байхгүй. 2023 оны судалгаатай Cr, Co, As, Cd, Cu, Pb, Zn элементүүдийг харьцуулж үзсэн ба ерөнхий агуулгын хувьд ойролцоо, стандартаас өндөр гарсан элементгүй болохыг тогтоосон. Элемент бүрийн утгуудыг Монгол Улсын стандарт харьцуулан харуулсан (Хүснэгт 5).

Хүснэгт 5. Хэмжилтийн үр дүн ба Монгол улсын стандарт (MNS 5850: 2019 MNS)-тай харьцуулсан байдал

№	Хүнд элементүүд	Хамгийн бага утга	Хамгийн их утга	Дундаж утга	Монгол Улсын стандарт (MNS 5850: 2019)		
	N = 20 дээж	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	Зөвшөөрөгдөх хэмжээ	Хортой түвшин	Аюултай түвшин
1	Cr	6	36	20.95	150	400	1500
2	Co	2	8	4.85	50	500	1000

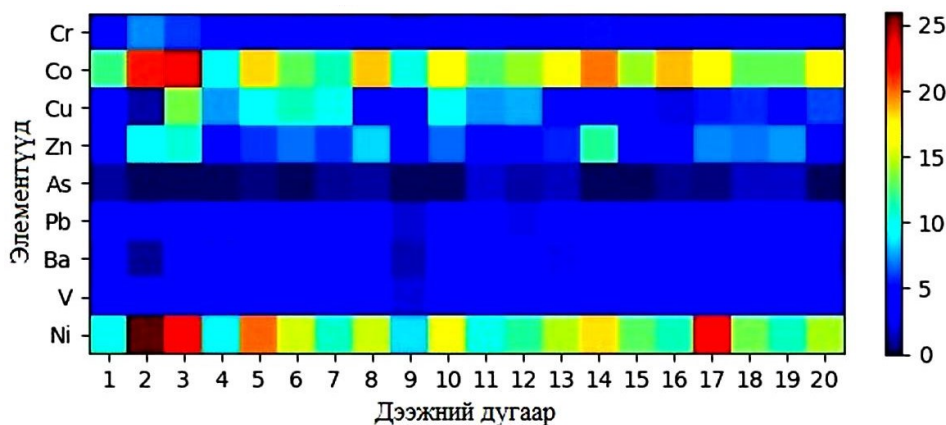
3	Cu	5.4	66	23.3	100	500	1000
4	Zn	127	21	61.25	300	600	1000
5	As	5	12	8.5	20	50	100
6	Cd	-	-	-	3	10	20
7	Pb	15	44	21.9	100	500	1200
8	V	21	58	43.6	150	600	1000
9	Sr	201	597	419.5	800	3000	6000

Бохирдлын индексийн буюу гео хуримтлалын индексийн үр дүн: Хром (Cr)-ын хувьд бүх дээжний утга нь 0-аас бага буюу “бохирдоогүй” гэсэн ангилалд хамаарч байна. Кобальт (Co)-ын хувьд бүх дээжний утга “Бага зэргийн бохирдолтой” гэсэн ангилалд хамаарч байгаа бөгөөд 2 цэг дээр буюу 4-р дээж “Гал командын зүүн тал” болон 7-р дээж “МСҮТ-ийн уурын зуух”-ны ойролцоогоос авсан дээжнүүд нь тус бүр хамгийн өндөр утга буюу 0.9-тэй гарсан байна. Зэс (Cu)-ийн хувьд нийт дээжний 15% нь “Бага зэргийн бохирдолтой”, 50% нь “Дунд зэргийн бохирдолтой”, 20 хувь нь “Дунд зэргээс их бохирдсон”, бусад дээжнүүд бохирдолгүй гэсэн ангилалд тус тус хамаарч байна. Дээрх ангилалд хамааралтай цэгүүд нь “Нефть бааз”, “Улиастай зочид буудлын уурын зуух”, “Шинэ хороо”, “Завхан сургууль, баруун хойд гэр хороолол”, “Мах комбинатын зүүн тал”, “Богдын гол багийн гэр хороолол”-ын ойролцоогоос авсан хөрсөнд тус тус гарсан байна. Цайр (Zn)-ын хувьд нийт дээжний 20% нь “Бага зэргийн бохирдсон”, 60% нь “Дунд зэргийн бохирдолтой”, 20% нь “Дунд зэргээс их бохирдсон” ангилалд тус тус байсан ба эдгээр нь Гал командын зүүн тал, Нэгдсэн эмнэлэгийн баруун тал, Шинэ хороо, Ундрах уурын зуух зэрэг газруудаас авсан хөрсөнд тус тус илэрсэн. Хүнцэл (As)-ийн хувьд “Их хэмжээгээр бохирдсон” гэсэн ангилалд нийт дээжний 20% хамаарч, “Маш их хэмжээгээр бохирдсон” гэсэн ангилалд 55% тус тус тооцоологдсон. Хар тугалга (Pb)-ын хувьд нийт дээжний 1-аас бага утгад харгалзан үзэх дээж байхгүй. Харин “Дунд зэргийн бохирдолтой” гэсэн ангилалд 35%, “Дунд зэргээс их бохирдсон” гэсэн ангилалд нийт дээжний 60%-д хамаарч байна. Үлдсэн 1 дээж болох Цэвэрлэх байгууламжийн ойролцоогоос авсан хөрс “Их хэмжээгээр бохирдсон” ангилалд тус тус хамааралтай байна. Бари (Ba)-ын хувьд 1-ээс бага утгатай цэг байхгүй. “Дунд зэргийн бохирдолтой” гэсэн ангилалд нийт дээжний 5%, “Дунд зэргээс их бохирдсон” гэсэн ангилалд 60%-д тус тус хамаарч байна. Үлдсэн 35% нь “Их хэмжээгээр бохирдсон” ангилалд тус тус хамааралтай байна. Ванади (V)-ийн хувьд 1-ээс бага утга бүхий цэг байхгүй ба “Дунд зэргийн бохирдолтой” гэсэн ангилалд нийт дээжний 20%, үлдсэн 60% нь “Их хэмжээгээр бохирдсон” ангилалд тус тус хамааралтай байна. Никель (Ni)-ийн хувьд нийт дээжний хүрээнд “Бохирдоогүй” гэсэн ангилалд 20%, үлдсэн 60% нь “Бага зэрэг бохирдсон” гэсэн ангилалд тус тус хамаарч байна. Геохуримтлалын индексийн үнэлгээний үр дүнг харуулав (Зураг 2).



Зураг 2. Геохуримтлалын индексийн үнэлгээ

Баяжуулагч хүчин зүйлсийн шинжилгээ: Хром (Cr)-ын 3-аас бага утга буюу “Баяжуулалтгүй” ангилалд нийт дээжний 35%, “Бага зэргийн баяжуулагчтай” ангилалд нийт дээжний 50%, “Дунд зэрэгт дөхсөн баяжуулагч”-тай ангилалд нийт дээжний 15%-д хамаарч байгаа бөгөөд тус ангилалд “Мах комбинатын зүүн тал”, “Авто засварын газар”, “Театрын ойролцоох уурын зуух” -ны ойролцоогоос авсан хөрсөнд тус тус гарсан байна. Кобальт (Co)-ын “Дунд зэрэгт дөхсөн баяжуулагч”-тай ангилалд нэг дээж буюу “Гал командын зүүн тал”-аас авсан хөрсний дээжинд хамааралтай байсан бол үлдсэн бүх дээж нь “Дунд зэргийн баяжуулагч”-тай гэсэн ангилалд хамаарч байна. Зэс (Cu)-ийн “Баяжуулалтгүй” гэсэн ангилалд нийт дээжний 10%, “Бага зэргийн баяжуулагчтай” гэсэн ангилалд 30%, “Дунд зэрэгт дөхсөн баяжуулагч”-тай 40%, “Дунд зэргийн баяжуулагч”-тай гэсэн ангилалд 20% нь тус тус хамаарч байна. “Дунд зэргийн баяжуулагчтай” гэсэн ангилалд “Авто засварын газар”, “СМИТ-ын уурын зуух”, “МСҮТ-ын Уурын зуух”, “Хаан банкны зүүн тал”-аас авсан хөрсний дээжинд хамаарна. Цайр (Zn)-ын хувьд “Бага зэргийн баяжуулагчтай” гэсэн ангилалд нийт дээжний 40%-д, “Дунд зэрэгт дөхсөн баяжуулагчтай” ангилалд 50%-д, “Дунд зэргийн баяжуулагчтай” гэсэн ангилалд 10%-ийг тус тус эзэлж байна. “Дунд зэргийн баяжуулагчтай” ангилалд “Авто засварын газар”, “Театрын ойролцоох уурын зуух” ойролцоох авсан хөрсний дээжинд хамааралтай байв. Хүнцэл (As)-ийн хувьд нарийвчлалд багтсан 11 дээжний үр дүнг боловсруулан гаргасан. Тус дээжүүд бүгд “Баяжуулалтгүй” гэсэн ангилалд хамааралтай байсан. Хар тугалга (Pb)-ын хувьд нийт дээжний “Баяжуулалтгүй” гэсэн ангилалд 25%, “Бага зэргийн баяжуулагчтай” ангилалд үлдсэн 75%-д хамаарч байна. Бари (Ba)-ын хувьд нийт дээжнүүд “Баяжуулалтгүй” гэсэн ангилалд хамаарсан. Ванади (V)-ийн хувьд нийт дээжний “Баяжуулалтгүй” гэсэн ангилалд 80%, “Бага зэргийн баяжуулагчтай” гэсэн ангилалд 20% нь хамаарч байна. Тус дээжүүд нь “Мах комбинатын зүүн тал”, “Авто засварын газар”, “Баруун бүсийн худалдааны төв”, “МУИС-ийн урд талын авто угаалга”-ын ойролцоох хөрсөнд гарсан байна. Никель (Ni)-ийн хувьд нийт дээжний “Дунд зэргээс бага баяжуулагч”-тай ангилалд 10%, “Дунд зэргийн баяжуулагч”-тай гэсэн ангилалд 85%, “Маш хүчтэй баяжуулагч” гэсэн ангилалд 1 дээж буюу “Мах комбинатын зүүн тал”-аас авсан хөрсний дээжүүд тус тус хамаарч байна. Баяжуулагч хүчин зүйлсийн үнэлгээний үр дүнг харуулав (Зураг 3).



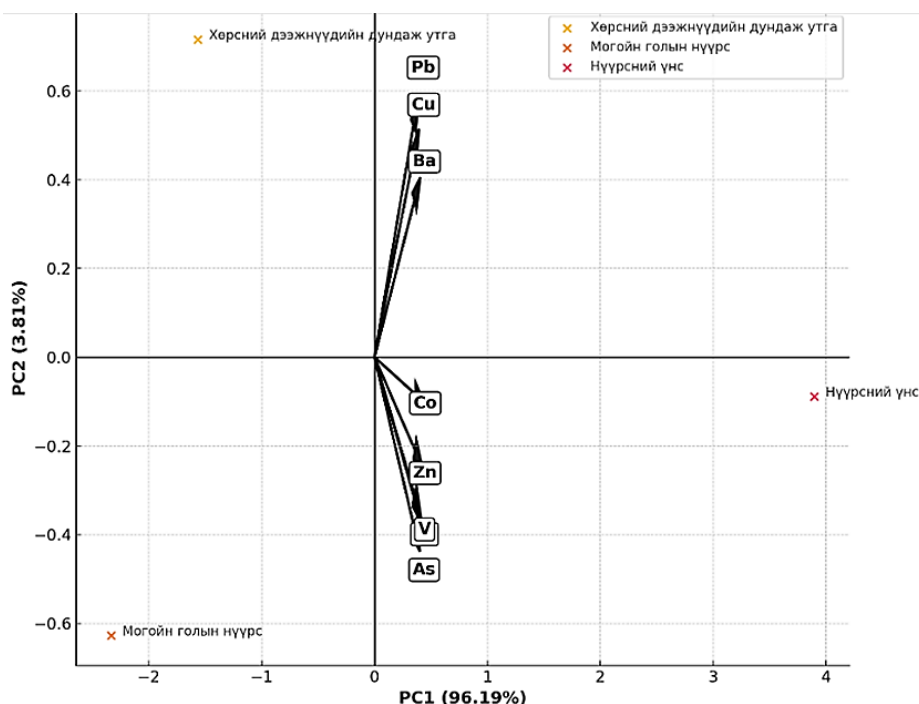
Зураг 3. Баяжуулагч хүчин зүйлсийн үнэлгээ

Хөрс-нүүрс-үнсний PCA хамаарлын шинжилгээ: Хөрсний дээжийн хувьд графикт PC1 болон PC2 тэнхлэгийн төв хэсэгт байрласан нь тухайн дээж харьцангуй бага агууламжтай, бохирдол багатай байгааг илтгэж байна.

Нүүрсний дээжийн хувьд PCA графикт хөрстэй ойр байрласан боловч PCA2 тэнхлэгийн дагуу бага зэрэг хазайлттай байна. Энэ нь нүүрсний бүтэц нь хөрстэй зарим талаараа төстэй ч, тодорхой элементүүд буюу Хүнцэл (As), Ванади (V), Молибден (Mo)-ийн хувьд ялгаатай байгааг илэрхийлж байна. Үүнийг нүүрс байгальд агуулгаараа төстэй боловч шаталт явагдаагүй, харьцангуй эх бүтэцтэйгээ төстэй гэдгээр тайлбарлаж болно.

Үнсний дээжний хувьд PCA графикт PC1 тэнхлэгийн дагуу хамгийн алс байрлалд оршиж буй нь энэ дээж бусад хоёр төрлөөс эрс ялгаатай химийн найрлагатайг тод харуулж байна. Үнсэнд Бари (Ba), Ванади (V), Молибден (Mo), Никель (Ni) зэрэг хүнд элементийн агууламж өндөр байгаа нь үндсэн бүрэлдэхүүн шинжилгээний (PCA)-ийн хамгийн чухал ялгаа нь болсон. Энэ нь нүүрс шатах үед хүнд элементийн баяжилт хүчтэй явагддаг болохыг баталж, хүрээлэн буй орчны хувьд үнс нь бохирдлын ноцтой эх үүсвэр болохыг харуулж байна.

Шинжилгээний дүнгээс харахад галлагаанд хэрэглэж буй нүүрс нь шаталтын дараа хүнд элементийг агууламж нь өссөн үр дүнтэй харагдаж байна.



Зураг 4. Хөрс-нүүрс-үнс хамаарлын шинжилгээ

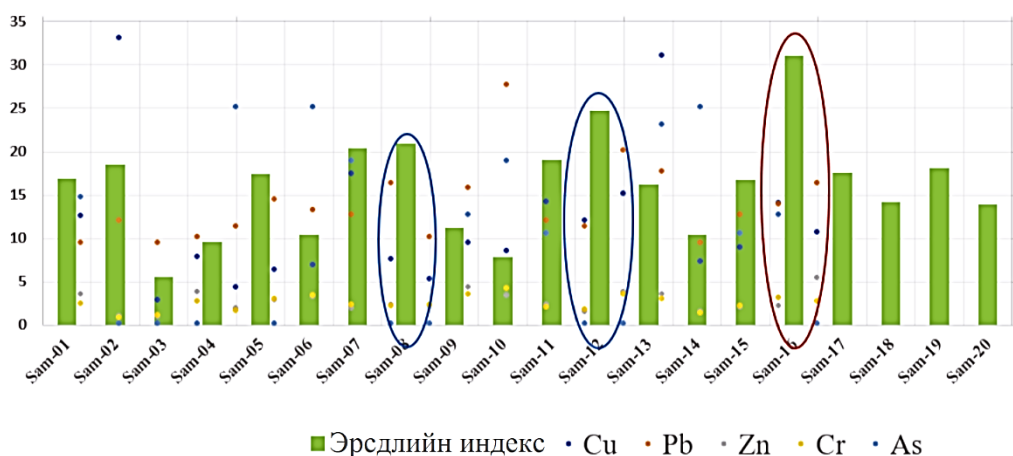
Хром (Cr)-ийг агууламж нь хөрс болон нүүрсний дээжинд стандартын зөвшөөрөгдөх утгаас хэтрээгүй ч үнсэнд 35%-иар зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс хэтэрсэн. Энэ нь хортой хавдар үүсгэгч бодис бөгөөд амьсгалын зам, арьс, бөөр, элэг зэрэг эрхтэнд хор нөлөөтэйгээс гадна, шаталтын дараах үнсэнд баяжиж буй хром нь хөрс, усаар дамжин хүний эрүүл мэндэд эрсдэл үүсгэх аюултай. Кобальт (Co)-ийн агууламж мөн хөрс, нүүрсний дээжинд стандарт хэмжээнээс хэтрээгүй бөгөөд үнсэнд 32%-иар зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс хэтэрсэн. Тус хүнд элемент нь бага хэмжээгээр амин дэм B12-ийн бүрэлдэхүүн хэсэг боловч их хэмжээгээр байвал уушги, арьс, мэдрэлийн систем, бөөрөнд гэмтэл үүсгэж болзошгүй. Үнсэнд хуримтлагдах нь байгаль орчинд хуримтлагдах эрсдэлийг мөн үүсгэж байна. Зэс (Cu)-ийн хувьд хөрс, нүүрс, үнсэнд зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс давсан агуулга байхгүй. Уг элемент шим тэжээлийн элемент боловч хэт их хэмжээгээр хуримтлагдвал ургамлын ургалтад саад учруулж, хөрсний бичил биетний үйл ажиллагааг саармагжуулж, цаашилбал элгэнд гэмтэл үүсгэдэг. Цайр (Zn)-ийн хувьд зөвхөн үнсэнд зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс 10%-иар давсан үзүүлэлттэй байв. Тус элемент нь ургамал, амьтанд шаардлагатай микроэлемент боловч хэт их хэмжээ нь ургамлыг өсөлтийг зогсоох нөлөөтэй, харин хүний биед орвол бөөлжих, гэдэс гүйлгэх, дархлааны тогтолцоонд сөрөг нөлөөтэй. Хүнцэл (As)-ийн хувьд нүүрсэнд 20%-иар үнсэнд 26%-иар тус тус зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс давсан үзүүлэлттэй гарсан. Хүнцэл нь байгальд байдаг ч маш хортой, хавдар үүсгэгч бодис юм. Хөрсөнд хуримтлагдах үед ундны усаар дамжин хүний биед орж, уушги, давсагны хорт хавдрын гол шалтгаан болдог. Хар тугалга (Pb)-ийн хувьд хөрс, нүүрс, үнсэнд зөвшөөрөгдөх хэмжээнд байгаа үзүүлэлттэй гарсан. Хар тугалга нь тархи, мэдрэлийн тогтолцоо, бөөр, ясны сийрэгжилт зэрэгт хор нөлөөтэй, ялангуяа хүүхдүүдэд оюуны хөгжил саатах эрсдэлтэй. Улмаар урт хугацаанд экосистемд сөрөг нөлөө үзүүлдэг. Бари (Ba) хүнд элемент нь хөрсөнд 28%-иар, үнсэнд 63%-иар зөвшөөрөгдөх хэмжээг давсан үзүүлэлттэй гарсан. Бари нь булчингийн агшилт, зүрхний хэм алдалт, төв мэдрэлийн тогтолцооны саатал үүсгэж болзошгүй. Цэвэр барийн нэгдлүүд нь амьсгалын болон хоол боловсруулах эрхтэнд хортой нөлөө үзүүлдэг. Ванади (V)-ийн хувьд хөрс, нүүрс, үнсэнд зөвшөөрөгдөх хэмжээг давсан үзүүлэлт байхгүй. Дээрх үр дүнгүүдийг харахад үнс

нь хөрсний бохирдлын гол эх үүсвэр болж, шаталтын дараах хүнд элементийн баяжилтыг харуулж байв.

Экологийн эрсдэлийн үнэлгээ: Нийт 5 элемент дээр экологийн эрсдэлийн үнэлгээ хийсэн. Үүнд: Зэс (Cu), Хар тугалга (Pb), Цайр (Zn), Хром (Cr), Хүncэл (As) гэсэн элементүүдийг авч үзсэн. Экологийн эрсдэлийн үнэлгээний дагуу нийт дээжинд үнэлгээ хийхэд бүгд бага эрсдэлтэй ангилалд гарсан. Тус дээжнүүдээс хамгийн өндөр утга нь 31 буюу Богдын гол багийн гэр хороолол, дараагийн өндөр утга нь 24.7 буюу Цэвэрлэх байгууламжийн ойролцоогоос авсан хөрсний дээжнүүдэд гарсан. Экологийн эрсдэлийн үнэлгээний хамгийн бага утга нь 5.54 буюу авто засварын газрын ойролцоох хөрсний дээжинд гарсан. Экологийн эрсдэлийн үнэлгээгээр эрсдэлгүй гарсан цэгүүд нь судалгааны суурь цэг болгон ашиглаж болохоор байв (Хүснэгт 6, Зураг 5).

Хүснэгт 6. Хүнд элементүүдийн экологийн эрсдэлийн хэмжээ

№	Cu	Pb	Zn	Cr	As
Их	13.200	11.000	2.117	1.600	10.000
Бага	1.080	3.750	0.350	0.267	0.000
Дундаж	4.660	5.475	1.021	0.931	3.917



Зураг 5. Эрсдэлийн үнэлгээний үр дүнгийн шинжилгээ

Энэхүү судалгааны үр дүнгээс Улиастай сумын хэмжээнд хөрсөн дэх хүнд металлын бохирдлын түвшин одоогоор харьцангуй бага байгаа нь экологийн хувьд нааштай үзүүлэлт боловч зарим хэсэгт хүнд металлын хуримтлал нэмэгдэх хандлагатай байгааг анхааралдаа авах шаардлагатай байна. Тухайлбал, зарим үйлдвэрлэл, ахуйн нөлөө бүхий бүсүүдэд хүнд металлын агууламж үндэсний хязгаарлалтаас давсан үзүүлэлттэй гарсан нь цаашид байгаль орчны тогтвортой байдалд сөрөг нөлөө үзүүлэх эрсдлийг бий болгож болзошгүй юм. Иймд дараах бодлогын болон практик арга хэмжээг авч хэрэгжүүлэхийг санал болгож байна. Үүнд:

1. Хүнд металлын бохирдолтой бүсүүдэд хөрсний нөхөн сэргээлт хийх, дахин үнэлгээ хийх механизмыг боловсронгуй болгох хэрэгтэй. Хөрсийг дахин үнэлэх замаар эрсдэлтэй бүсүүдийг нарийвчлан тодорхойлж, нөхөн сэргээлтийн технологийг бохирдуулагч элементийн онцлогт тохируулан хэрэгжүүлэх шаардлагатай.
2. Нүүрс түлшний хэрэглээг үе шаттайгаар бууруулах, уурын зуухны үнс хадгалах байгууламжийн стандартыг сайжруулах шаардлагатай. Агаарын бохирдол, үнсний хаягдлаас шалтгаалан хүнд металл хөрсөнд шингэх эрсдэл өндөр тул үнсний агуулахын битүүмжлэл, хамгаалалт, аюулгүй ажиллагааны стандартыг шинэчлэх нь зүйтэй.

3. Авто засварын болон үйлдвэрлэл, үйлчилгээний байгууллагуудад хог хаягдлын хяналт, аюулгүй ажиллагааг сайжруулах шаардлагатай. Эдгээр салбарууд нь хүнд металлын гол эх үүсвэр болох хандлагатай тул тэдгээрийн үйл ажиллагаанд тавих байгаль орчны хяналтыг чангатгах, хог хаягдлын ангилал, хадгалалт, зайлуулах стандартыг мөрдүүлэх хэрэгтэй.
4. Хөрсний бохирдлын мониторингийн сүлжээг өргөтгөх, судалгааны давтамжийг нэмэгдүүлэх хэрэгтэй. Өнөөгийн байдлаар хөрсний бохирдлыг хянах мониторингийн сүлжээ хангалтгүй байгаа тул орон нутгийн түвшинд жил бүр тогтмол хяналт хийх, улирал тутам давтамжтай судалгаа зохион байгуулах хэрэгцээ тулгарч байна.
5. Ирээдүйн судалгааны чиглэлд хөрсний гүн давхаргын шинжилгээ, улирлын нөлөөлөл болон усны нэвчилттэй уялдуулсан нарийвчилсан үнэлгээ хийх шаардлагатай. Энэ нь бохирдуулагч бодисын хөрсөнд дамжин нэвчих механизм, тархалтын гүн зэргийг ойлгож, урьдчилан сэргийлэх арга хэмжээ боловсруулахад чухал ач холбогдолтой юм.

Энэхүү судалгаа нь Улиастай сумын хөрсөн дэх хүнд металлын бохирдлын тархалт, эх үүсвэр, түвшний талаарх суурь мэдээллийг бүрдүүлснээр орон нутгийн байгаль орчны төлөв байдлыг үнэлэх, экологийн эрсдэлийг бууруулах бодлого боловсруулахад үнэтэй хувь нэмэр оруулж байна. Цаашид тухайн бүс нутгийн нийгэм, эдийн засгийн онцлог, газар ашиглалтын өөрчлөлтийг харгалзан өргөн хүрээтэй, олон жилийн судалгааг үе шаттай хэрэгжүүлэх нь зүйтэй.

Дүгнэлт

Шинжилгээний үр дүнд бүх дээжид хүнд металлын агууламж MNS 5850:2019 стандартын зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс бага байсан боловч, гео-хуримтлалын индекс (Igeo) болон экологийн эрсдэлийн үнэлгээ (Er)-гээр зарим элементүүд нь “дунд зэргээс их”, “их хэмжээний” бохирдолтой гэж ангилагдаж байна. Ялангуяа хүнцэл (As) болон хар тугалга (Pb)-ын хувьд тодорхой цэгүүдэд экологийн эрсдэл нэмэгдэж буйг анхаарах шаардлагатай.

Богдын гол багийн гэр хороолол, Цэвэрлэх байгууламжийн орчмын хөрсөнд экологийн эрсдэлийн үнэлгээ хамгийн өндөр ($P=31$, $P=24.7$) гарсан бөгөөд энэ нь тухайн орчинд хүнд металлын хуримтлал нэмэгдэж, байгаль орчин болон хүний эрүүл мэндэд сөрөг нөлөө үзүүлэх нөхцөл бүрдсэн болохыг харуулж байна.

Баяжуулагч хүчин зүйлийн (EF) үнэлгээгээр зарим металлууд (жишээлбэл, Cu, Zn, Ni) “дунд зэрэг”, “дунд зэргээс их” баяжуулалттай гарсан нь хүний үйл ажиллагаанаас үүдэлтэй бохирдлын эх үүсвэр болохыг илтгэж байна. Мөн авто засварын газар, уурын зуух, мах комбинатын орчмоос авсан хөрсөнд бохирдлын түвшин өндөр байгаа нь тухайн бүсэд хяналт, зохицуулалт сул байгааг харуулж байна.

Экологийн эрсдэлийн үнэлгээний дагуу нийт дээжинд үнэлгээ хийхэд бүгд бага эрсдэлтэй ангилалд гарсан. PCA шинжилгээний дүнгээр хэрэглэж буй нүүрс нь шаталтын дараа хүнд элементийг агууламж нь өссөн үр дүнтэй байв.

Хөрсөн дэх хүнд металлын экологийн эрсдэлийн үнэлгээ нь орон нутгийн байгаль орчны удирдлага, хөрс хамгаалалтын бодлогыг тодорхойлох үндсэн мэдээллийг бүрдүүлдэг. Цаашид үнэлгээний арга зүйг сайжруулж, металлын био-үр нөлөө болон хүнсний гинжин хэлхээ дэх шилжилтийг илүү нарийвчлан судлах нь чухал байна.

Ном зүй

1. Батхишиг, О. (2016). Монгол орны хөрсний ангилал. *Монголын хөрс судлал сэтгүүл*, 1, 1-18.
2. Доржготов, Д. (1976). *Монгол орны хөрс газарзүйн мужлалт*, Шинжлэх Ухааны Академи, Улаанбаатар
3. Доржготов, Д. (2003). *Монгол орны хөрс*, Улаанбаатар, 56-58
4. Доржготов, Д. (2022). *Хөрс-газарзүйн мужлалт*. Монгол Улсын үндэсний атлас, х.122, ШУА. Улаанбаатар.

5. Завхан аймгийн статистикийн хэлтэс, (2022). *Завхан аймгийн статистикийн эмхэтгэлийн тайлан*, Улиастай
6. Завхан аймгийн Цаг уур орчны шинжилгээний газар, (2022). Завхан аймгийн Цаг уур орчны шинжилгээний төвийн эмхэтгэл, Улиастай
7. Нийслэлийн байгаль хамгаалах газар, (2017). *Нийслэлийн байгаль хамгаалах газрын үйл ажиллагааны тайлан*, Улаанбаатар
8. Үндэсний статистикийн газар, (2022). *Монгол Улсын статистикийн эмхэтгэл*, Улаанбаатар
9. Энхчимэг, Б., Пүрэвсүрэн, Б., Даваадорж, Д., Баасансүрэн, Г., Балжинням, Б., Алтанхуяг, Д., Бямбадорж, Л., Бямбагэрэл, С., Лхагважаргал, Б., Мөнхзул, Б. (2023). Завхан аймгийн Улиастай сумын хөрсний хүнд металаас хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх эрсдлийн үнэлгээ, *Монгол орны хөрс судлал сэтгүүл*, 8, 23-34
10. Barbieri, M., Nigro, A., & Sappa, G. (2015). Soil contamination evaluation by enrichment factor (EF) and geoaccumulation index (Igeo). *Senses & Sciences*, 2(3), 94-97.
11. Chen, J., Liu, G., Kang, Y., Wu, B., Sun, R., Zhou, C., & Wu, D. (2014). Coal utilization in China: environmental impacts and human health. *Environmental Geochemistry and Health*, 36, 735-753.
12. Dorjsuren, B., Zemtsov, V. A., Batsaikhan, N., Demberel, O., Yan, D., Hongfei, Z., ... & Siyu, W. (2024). Trend analysis of hydro-climatic variables in the Great Lakes Depression region of Mongolia. *Journal of Water and Climate Change*, 15(3), 940-957.
13. Doljin, D., & Yembuu, B. (2021). Division of the physiographic and natural regions in Mongolia. In *The physical geography of Mongolia* (pp. 177-193). Cham: Springer International Publishing.
14. Ferreira, P. J., Shao-Horn, Y., Morgan, D., Makharia, R., Kocha, S., & Gasteiger, H. A. (2005). Instability of Pt/C electrocatalysts in proton exchange membrane fuel cells: a mechanistic investigation. *Journal of the Electrochemical Society*, 152(11), A2256.
15. Finkelman, R. B., Orem, W., Castranova, V., Tatu, C. A., Belkin, H. E., Zheng, B., ... & Bates, A. L. (2002). Health impacts of coal and coal use: possible solutions. *International Journal of Coal Geology*, 50(1-4), 425-443.
16. Frankel, T. E., Crowell, C., Orledge, S., Giancarlo, L., & Odhiambo, B. K. (2025). Identifying potential trace metal contamination impacts of a coal ash landfill on the largest Chesapeake Bay tributary (Chester, VA, USA). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 44(3), 802-811.
17. Frankel, T. E., Crowell, C., Orledge, S., Giancarlo, L., & Odhiambo, B. K. (2025). Identifying potential trace metal contamination impacts of a coal ash landfill on the largest Chesapeake Bay tributary (Chester, VA, USA). *Environmental Toxicology and Chemistry*, vgae073.
18. Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*, 14(8), 975-1001.
19. Huang, X., Hu, J., Li, C., Deng, J., Long, J., & Qin, F. (2009). Heavy-metal pollution and potential ecological risk assessment of sediments from Baihua Lake, Guizhou, PR China. *International Journal of Environmental Health Research*, 19(6), 405-419.
20. International Organization for Standardization. (2018). *ISO 18400-104:2018: Soil quality — Sampling — Part 104: Strategies*. <https://www.iso.org/standard/63347.html>
21. Khadbaatar, S. (2021). Soils of Mongolia. In *The Physical Geography of Mongolia* (pp. 135-160). Cham: Springer International Publishing.
22. Looi, L. J., Aris, A. Z., Yusoff, F. M., Isa, N. M., & Haris, H. (2019). Application of enrichment factor, geoaccumulation index, and ecological risk index in assessing the elemental pollution status of surface sediments. *Environmental geochemistry and health*, 41, 27-42.
23. Muller, C. H. (1969). Allelopathy as a factor in ecological process. *Vegetatio*, 348-357.
24. Nyam-Osor, T., Tsetsegmaa, G., & Akhmedi, K. (2024). Organic carbon stocks of desertification monitoring sites. *Mongolian Journal of Geography and Geoecology*, 61(45), 179-186.

25. Radomirović, M., Ćirović, Ž., Maksin, D., Bakić, T., Lukić, J., Stanković, S., & Onjia, A. (2020). Ecological risk assessment of heavy metals in the soil at a former painting industry facility. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 560415.
26. Rouhani, A., Skousen, J., & Tack, F. M. (2023). An overview of soil pollution and remediation strategies in coal mining regions. *Minerals*, 13(8), 1064.
27. Saddik, M., Fadili, A., & Makan, A. (2021). Geochemical assessment of environmental health in the shoreline between Nador and Al Hoceima, North East of Morocco. *Environmental Earth Sciences*, 80(7), 251.
28. Taşpınar, K., Ateş, Ö., Yalçın, G., Kizilaslan, F., Pinar, M. Ö., Toprak, S., ... & Dınek, İ. (2025). Soil contamination, pollution indices, and ecological risk in agricultural areas of important mining region of Türkiye. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 105(4), 746-755.
29. Wei, Z., Xu, C., & Li, B. (2009). Application of waste eggshell as low-cost solid catalyst for biodiesel production. *Bioresource technology*, 100(11), 2883-2885.
30. Yudovich, Y. E., & Ketris, M. P. (2005). Mercury in coal: a review Part 2. Coal use and environmental problems. *International journal of coal geology*, 62(3), 135-165.