

Хөрсний бохирдлыг арилгах арга зам, нөхөн сэргээх *ex situ* болон бусад технологи (цуврал №6)

Б.Мөнхжин¹, И.Туяажаргал^{2*}, Д.Батсүрэн³, Б.Дөлгөөн¹, С.Өнөрсайхан¹

¹Нийгмийн эрүүл мэндийн үндэсний төв, Улаанбаатар, Монгол улс

²Анагаахын шинжлэх ухааны үндэсний их сургуулийн Төгсөлтийн сургалтын бодлого зохицуулалтын газар, Улаанбаатар, Монгол улс

³Монгол улсын их сургуулийн Инженер, технологийн сургууль, Улаанбаатар, Монгол улс

*iimaatuyajargal@gmail.com

Түлхүүрүг: хөрсний төлөв байдал, био технологи, физик нөхөн сэргээлт, химийн нөхөн сэргээлт, дулааны нөхөн сэргээлт

НЭГ. УДИРТГАЛ

Хүний нийгмийн хөгжил, эдийн засгийн тогтвортой байдал нь хүрээлэн буй орчинтой нягт холбоотой байдгийн адилаар орчны бүрэлдэхүүн хэсэг болох ус, агаар, хөрс, амьд организмууд хоорондоо маш нарийн харилцан хамааралтай. Ялангуяа хөрс нь энэхүү экосистемийн гол холбоос бөгөөд дараах үндсэн үүргийг гүйцэтгэдэг:

1. Хүнсний бүтээгдэхүүний 95%-ийг шууд болон дам байдлаар үйлдвэрлэдэг бөгөөд үүнд ургамал, амьтны гаралтай бүтээгдэхүүнүүд бүгд багтдаг [1].
2. Агаар мандалтай CO₂, N₂O, CH₄, бусад хийн солилцоог гүйцэтгэж, хүлэмжийн хий, мөнгөн ус, радон, дэгдэмхий болон тогтвортой органик бохирдуулагч зэрэг хийн бохирдлыг хадгалах, ялгаруулахад онцгой хувь нэмэр оруулдаг [2-4].
3. Дэлхийн нийт усны нэгээс бага хувийг агуулдаг боловч энэ өчүүхэн хэмжээ нь хуурай газрын экосистемийг тогтвортой байлгахад зайлшгүй шаардлагатай. Хөрс нь хур тунадас, усалгааны усыг шүүж, хуримтлуулж, ургамал ургахад шаардлагатай усны хэрэгцээг хангаж, газрын болон гадаргын усыг дахин хуваарилдаг бөгөөд ингэснээр дэлхийн усны эргэлтийн чанар, тоо хэмжээг зохицуулдаг [5].

Хугацаа нь дууссан эм, ахуйн болон үйлдвэрийн хог хаягдал, бохир ус, ялгадас, малын сэг зэм зэрэг олон янзын эх үүсвэр, хүний үйл ажиллагаанаас шалтгаалан хөрс ноцтой бохирдох нь түгээмэл байна [6]. Тухайлбал:

- АНУ-ын Нью-Йорк хотод 1970 оны үед газарт булсан химийн аюултай хог хаягдлаас болж хөрс, гүний ус маш ихээр бохирдсон [7].
- 1986 онд Чернобылийн гамшиг буюу цацраг идэвхт бодисын цөмийн задралаас үүдэлтэйгээр зөвхөн Украинд 4,300 км² орчим талбай бохирдож, хүрээлэн буй орчинд аюул учруулсан [8].
- Гана улсад электрон хог хаягдлын овоолго үүсэж хүнд металл, хорт бодисыг ялгаруулж байгаагаас хөрсний байнгын бохирдол үүсдэг [9].
- 20-р зууны дунд үед Япон улсын Минаматагийн буланд үйлдвэрийн хаягдлаас ялгарсан мөнгөн усыг шууд асгасан нь хөрс, усыг бохирдуулж, бүс нутгийн экосистемд эрүүл мэндийн ноцтой асуудал үүсгэсэн [10].
- Хятадын Тэнжин дахь үйлдвэрийн үйл ажиллагааны дүнд Pb, Cd зэрэг хүнд металл маш их хэмжээгээр ялгарч, хөрсийг бохирдуулж, хөдөө аж ахуйн үйл ажиллагаа, хүн амын

эрүүл мэндэд сэргөөр нөлөөлж байна [11].

- Нигери улсад олон жилийн турш газрын тос дамжуулах болон өрөмдлөгийн үйл ажиллагааны дүнд асгарсан нефть нь их хэмжээний хөрсийг бохирдуулж, тариалангийн талбай, экосистемийг сүйтгэж байна [12].

Эдгээр жишээнүүд нь хөрсний бохирдолтой тэмцэхийн тулд нөхөн сэргээх, тогтвортой ажиллагааг яаралтай хэрэгжүүлэх шаардлагатайг харуулж байна. Дэлхий нийтээр 2015 оноос хөрсний бохирдлын асуудалд анхаарал хандуулж эхэлсэн бөгөөд хөрсний бохирдол нь нийгмийн эмзэг бүлгийнхэнд хүчтэй нөлөөлж, хөрөнгө

санхүү, нийгмийн хөгжил, эрүүл мэнд, нийгмийн сайн сайхан байдлын ялгааг тод харуулж байна [13]. Сүүлийн 5 жилд бохирдсон хөрсийг нөхөн сэргээх онолын болон туршилт судалгаа эрчимтэй нэмэгдэж, эрдэмтэн судлаачид анхаарал хандуулж байгаа нь сайшаалтай. Бохирдсон хөрсийг нөхөн сэргээх технологийг ерөнхийд нь 2 ангилдаг:

- 1) Байгаль (биологи, физик, химийн процесс)-д суурилсан технологи,
- 2) *In situ* (боловсруулалтын явцад хөрсийг хөндөлгүй) болон *ex situ* (хөрсийг ухаж аваад боловсруулах, цэвэрлэсэн хөрсийг солих, өөр газар тээвэрлэх) технологи [14, 15].

Ex situ технологийг 1-р зурагт үзүүлсэн байдлаар 4 ангилдаг.



1-р зураг. *Ex situ* технологийн ангилал

Манай орны хувьд *ex situ* био технологи болох био овоолго (бохирдсон хөрсийг нэгэн төрлийн овоолго болгож, бичил биетний био задралын нөхцөлийг сайжруулах), био уусган баяжуулалт (бичил биетэн агуулсан уусмалыг ашиглан бохирдсон хөрснөөс микроэлементийг уусган олборлох),

бордоо (бичил биетний агаар, чийгийн зохих түвшнийг хангахын тулд бохирдсон хөрсийг дүүргэгч бодис, сүрэл, ургамлын хаягдал зэрэг органик нэмэлтүүдээр борддог, аэробик технологи), газар тариалан (бохирдсон хөрсийг газар тариалангийн талбайд зөөвөрлөж, биологийн идэвхт газар эсвэл

ус үл нэвтрэх гадаргуу дээр нимгэн давхарга байдлаар тараадаг), биореактор (хөрсийг хөдөлгөөнд оруулж, бичил биетнийг өдөөж, бохирдуулагчийг задалдаг нээлттэй/ хаалттай технологи бөгөөд бохирдуулагч, бичил биетнээс

хамааран аэробик эсвэл агааргүй орчинд хатуу, шингэн хоёр үндсэн фазын багц процессыг хэрэглэдэг) зэрэг аргуудыг ашиглан хөрсийг нөхөн сэргээх боломжтой юм.

ХОЁР. *EX SITU* БИО ТЕХНОЛОГИ

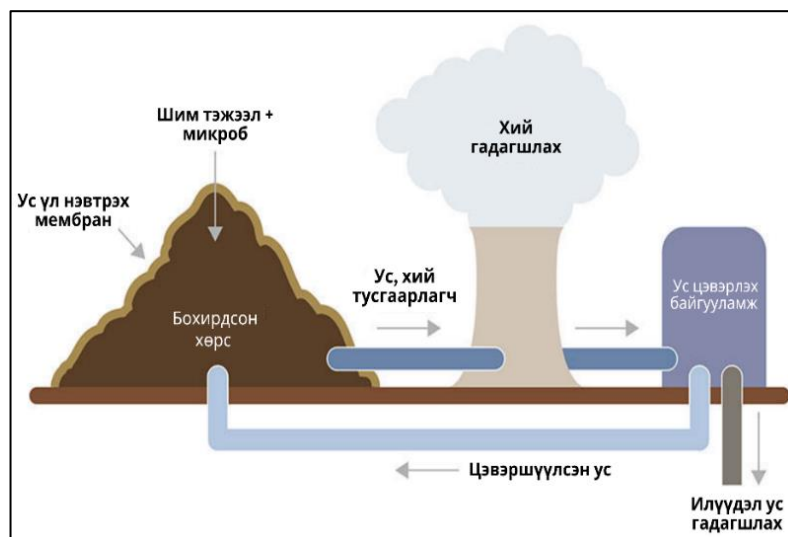
Ex situ био технологи нь хөрсийг газар дээр нь эсвэл хөрс боловсруулах байгууламжид боловсруулдаг. Био нөхөн сэргээх үйл явц нь *in situ* арга техниктэй төстэй хэдий ч *ex situ* технологи нь бохирдуулагч болон бичил биетний шим тэжээл, гадаад орчныг өөрчлөн гүйцэтгэдэг, нөхөн сэргээх үйл явцыг хянах боломжтой байдаг. *Ex situ* процесс нь хурдан хийгддэг, урьдчилан таамаглах боломжтой боловч хөрсний бүтэц, хөрсний биологийн биетэд хор хөнөөл учруулах хандлагатай, байгалийн нөхөн сэргээлтийн процесс удаан сэргэдэг сул талтай байна. Зарим *ex situ* био нөхөн сэргээлт нь 12 долоо хоногт үр дүнгээ өгдөг бол намгархаг газрын нөхөн сэргээлт олон жил үргэлжилж болно. Хөрсний шинж чанарыг сайжруулах, биологийн процессыг идэвхжүүлэх замаар нөхөн сэргээлтийг хурдасгаж болно [16, 17]. Эрдэмтэн судлаачид байгальд суурилсан технологийг бусад технологитой хослуулан хэрэглэх нь биогеохимийн процессыг хурдасгадаг болохыг батлан харуулсан [18].

2.1. Био овоолго

Энэ нь газрын тосоор бохирдсон хөрсийг нөхөн сэргээхэд өргөн хэрэглэгддэг *ex situ* био нөхөн сэргээх технологи юм.

Бохирдсон хөрсийг нэгэн төрлийн овоолго болгож, бичил биетний био задралын нөхцөлийг сайжруулахыг зорьдог. Тохиромжтой нөхцөлд эрчимтэй ургадаг бичил биетний популяцийн үйл ажиллагааг аэробикийн аргаар эсвэл шим тэжээл, эрдэс бодис, чийг, рН-ийг тохируулан өдөөж, био задралыг оновчтой болгодог. Уг процесс нь хөрсийг газар дээр нь цэвэрлэж, тээврийн зардал гаргахгүйгээр илүү хурдан, өндөр хяналттайгаар нөхөн сэргээдэг давуу талтай. Био нөхөн сэргээлтийн хурдыг жигд хангахын тулд овоолго хөрсийг сайтар холих шаардлагатай [19, 20].

Нөхөн сэргээлтийн жишээ 1. 1970 онд Өмнөд Австралийн Осборн дахь Penrice Soda үйлдвэрийн талбайд ил байрлах 500 м³ багтаамжтай бодис хадгалах савнаас мазут асгарчээ. 2000 онд 3000 м³ орчим хэмжээтэй хөрс газрын тосоор бохирдсоныг тогтоосон. Нөхөн сэргээлтийг агаарын сөрөг урсгал, өндөр нягттай полиэтилен шингэнийг ашиглан био овоолгоор гүйцэтгэсэн. Урвалаар үүсэх хийг конденсацлан цуглуулж, био овоолгын агааржуулалтын сөрөг даралтыг хангах хоолойг суурилуулсан (2-р зураг).



2-р зураг. Дамжуулагч хоолой бүхий био овоолго

Дамжуулах хоолойг шүүх төхөөрөмжтэй холбосон. Бохирдсон хөрсийг ухаж гаргаж аван сайтар хольж, байгалийн нянгийн солилцооны идэвх, хөрсний сүвэрхэг чанарыг нэмэгдүүлэхийн тулд овоолгод байрлуулсан. Мөн ус цэвэршүүлэх шугам сүлжээг суурилуулж биопластыг өндөр нягттай өөр полиэтилен давхаргаар бүрхсэн. Хөрсний сүвэрхэг чанар ихэссэн нь вакум насосоор овоолгын дундуур

агаарыг татах боломжтой болгосон. Агаарын сөрөг урсгал нь үнэр, дэгдэмхий бохирдуулагчийг гадагшлуулахаас сэргийлж байв. Энэхүү нөхөн сэргээлтээр бохирдуулагчийн концентрацыг стандартын зөвшөөрөгдөх хэмжээнд хүргэж, нөхөн сэргээсэн хөрсийг анхны байрлалд буцаан шилжүүлэх хүртэл нийт зардал 9 сая ам.доллар буюу 300 \$/m³ болжээ [21, 22].

2.2. Био уусган баяжуулалт

Энэ нь бичил биет агуулсан уусмалыг ашиглан бохирдсон хөрснөөс микроэлементийг уусган олборлох технологи бөгөөд уул уурхайн салбарт бага агуулгатай хүдэр, уурхайн хаягдлаас металл гаргаж авахын тулд цианидын оронд ашигладаг. Уг технологийг хөрсний нөхөн сэргээлтийн физик-химийн боловсруулалтын үр ашигтай, зардал багатай хувилбар гэж үздэг. Тарьсан шингэн нь бохирдсон хөрсний *ex situ* овоолгын дээгүүр урсаж нэвчихэд бичил биетэн металл бохирдуулагчидтай урвалд орж, шингэнд уусан овоолгын ёроолд хуримтлагддаг. Металлыг гарган авч аюулгүй болгохын тулд шүүгдэл усыг цаашид боловсруулна. Энэ технологи нь урсцын суваг үүсэх,

зэргэлдээх хөрсийг тусгаарлах боломжгүй зэрэг сул талтай [23-25].

2.3. Бордоо

Энэ нь бичил биетний агаар, чийгийн зохих түвшнийг хангахын тулд бохирдсон хөрсийг дүүргэгч бодис, сүрэл, ургамлын хаягдал зэрэг органик нэмэлтүүдээр борддог, аэробик *ex situ* технологи юм. Ерөнхийдөө бордоо нь бохирдсон хөрсний 75%, органик фракцын 25% агуулдаг боловч хөрсний төрөл, бохирдуулагч бодис, тэдгээрийн агууламжаас хамааран өөр өөр байж болно [16, 17]. Бордооны процессыг идэвхжүүлэхийн тулд хольцыг нэгэн төрлийн болгох, агааржуулалтыг тогтмол хийх, биологийн идэвхийг жигд хангах

үүднээс овоолгыг механикаар шахаж болно (3-р зураг).



3-р зураг. АНУ-ын Техас дахь хөрсийг бордон нөхөн сэргээж буй байдал

2.4. Газар тариалан

Газар тариалангийн энэ аргаар бохирдсон хөрсийг газар тариалангийн талбайд зөөвөрлөж, биологийн идэвхт газар эсвэл ус үл нэвтрэх гадаргуу дээр нимгэн давхарга байдлаар тараадаг. Бохирдсон хөрсийг хагалж, заримд тохиолдолд бууц, бохир усны лаг зэрэг органик нэмэлтүүд нэмдэг. Газар хагалах үед бичил биетний био задрал байгалийн жамаар өдөөгдөж, эрчимждэг тул бичил биетний өсөлтийг дэмжих бүтээгдэхүүнийг нэмж өгөх нь үр дүнг нэмэгдүүлдэг байна [16, 17].

Нөхөн сэргээлтийн жишээ 2. Өмнөд Африкийн Ква Зулу-Натал мужийн мод боловсруулах компанийн 450 м³ орчим талбайн хөрс креозотоор бохирдсон байна. Модыг хатаахын тулд овоолон хөрсөнд шууд креозот хэрэглэснээс үүдэлтэйгээр бохирдол үүссэн. 2003 онд хийсэн лабораторийн судалгаагаар 250,000 мг/кг-аас дээш креозот бүхий хөрсийг C, N-ын харьцааг тэнцвэржүүлж, хүчиллэгийг саармагжуулах замаар үр дүнтэй био нөхөн сэргээх боломжтой болохыг харуулсан. Бохирдсон талбайг 0.45 м, 25 м, 40 м гүн ухаж хөрс болон бохирдсон давхаргын дээд хэсгийг хуулж авсан. Цэвэр занарын гадаргууг шаврын давхаргаар уснаас тусгаарлан барьж дээр нь бохирдсон хөрсийг байрлуулсан. Хөрсний дээжийн шинжилгээгээр креозотын концентрац 310,000 мг/кг

илэрсэн. Нөхөн сэргээх зорилго нь креозотын концентрацыг 2,000 мг/кг-аас бага болгох байв. Агааржуулах зорилгоор хөрсийг 14 хоног тутамд хагалж байсан. Бохир ус цэвэрлэх байгууламжийн лагийг 60 орчим хоногийн дараа, ашиглалтад орсноос хойш 150 хоногийн дараа дахин хөрсөнд хольсон. Зарим саруудад талбайг гараар услах замаар хөрсний чийгийг хангаж, талбайн хүчин чадлыг 70% орчимд байлгасан. CaCO₃, NH₄H₂PO₄-ыг нэмж биологийн задралыг өдөөсөн. Мөн бохир усны лагийг ашигласан нь био задралыг үр дүнг мэдэгдэхүйц нэмэгдүүлсэн. Бага молекул жинтэй органик бодисууд эхний 5 сард хурдан задарч, харин өндөр молекул жинтэй бодисын биологийн задрал удаан байсан. Жишээлбэл, хризен (C₁₈H₁₂) арав дахь сар гэхэд анхны концентрацын 25% хүртэл буурсан байна. Нөхөн сэргээлтийг 10 сарын хугацаанд амжилттай дуусгасан байна [26, 27].

2.5. Биореактор

Биореакторууд нь хөрсийг хөдөлгөөнд оруулж, бичил биетнийг өдөөж, бохирдуулагчийг задалдаг технологи юм. Бохирдуулагч, бичил биетнээс хамааран тэдгээрийг аэробик эсвэл агааргүй орчинд хатуу ба шингэн гэсэн хоёр үндсэн фазын багц процессыг хэрэглэдэг. Хатуу, шингэн фазын биореакторын био

задралын үйл явц нь материал нэгэн төрлийн байж бичил биетүүд бохирдуулагчтай шууд харьцдаг тул үр дүнтэй, хяналт өндөр, хурдан хийгддэг давуу талтай

- Хатуу фазын биореактор нь дотоод хутгуур бүхий хаалттай урвалын камерт хийгддэг. Уг процессоор газрын тосны нүүрсустөрөгчөөр 35% бохирдсон халуун орны

ГУРАВ. *EX SITU* ФИЗИК НӨХӨН СЭРГЭЭЛТ

3.1. Тусгаарлалт

Энэ аргыг ихэнх бохирдуулагчид хөрсний шороо тоостой физик, химийн харилцан үйлчлэл явуулдаг гэсэн дүгнэлтэд үндэслэсэн. Хэмжээгээр ялгах нь шавраас том ширхэгтэй элс, хайрганы хэсгийг бохирдсон хөрснөөс зайлуулж, бохирдуулагчийг бага хэмжээний хөрсөнд цацаж цаашид боловсруулах, өөр *ex situ* технологи ашиглан устгах, угаах үйл явцын хамгийн эхний алхам юм. Бүрэн цэвэрлэсэн том ширхэгтэй хэсэг, элс, хайргыг талбай руу буцааж болно [29, 30].

Тусгаарлан ялгах 3 үндсэн арга байдаг:

- *Хувийн жингээр ялгах*

Хувийн жингээр ялгах нь хатуу, шингэн орчинд хэрэглэдэг процесс юм. Энэ технологийн үр дүн биетийн тунах хурд буюу хөрсний ширхгийн хэмжээ, нягтын зөрүү, шингэний зуурамтгай чанар, концентрацаас хамаардаг. Энэ тусгаарлах аргыг газрын тосны холилдохгүй бүрдэл хэсгийг зайлуулах, хөрсний ширхгийн хэмжээгээр янз бүрийн фракц болгоход ашигладаг. Улмаар нарийн ширхэгтэй тоосонцрыг коагуляц хийн бөөгнөрүүлэх замаар хэмжээг нь ихэсгэж тунгаан ялгадаг.

- *Соронзон орноор ялгах*

Соронзон тусгаарлалт нь ус, хөрс, агаараас бага зэрэг соронзон шинжтэй

хөрсийг 42 хоногийн турш цэвэрлэхэд үр дүнтэй болох нь батлагдсан.

- Шингэн фазын биореакторт бохирдсон хөрсөнд ус цацаж, холигчоор хутгана. Бохирдол зохих түвшинд хүрэх үед хөрсний хатуу хэсгийг шүүж, талбай руу буцаан, дараагийн багцад усыг хадгалах боломжтой болдог [16, 17, 28].

уран, плутонийн нэгдлүүдийг ялган гаргаж авахад хэрэглэгддэг. Ихэнх бохирдуулагчид соронзон биш шинж чанартай байдаг. Энэ процессоор бохирдсон шингэнийг соронзлогдсон орчноор дамжуулж соронзон бохирдлын тоосонцрыг гаргаж авдаг байна.

- *Шигшин ялгах*

Шигших ялгах нь бохирдуулагчийн үндсэн шинж чанараас хамаарч тохирох шигшүүрийг ашигладаг арга юм.

3.2. Хөрсийг угаах

Бохирдсон хөрсийг *ex situ* цэвэрлэх зориулалтын ус ашиглан угааж бохирдуулагчийг физик, химийн хосолсон аргаар зайлуулдаг. Химийн аргаар хүчил, шүлт, буфер уусмал, уусгагч, гадаргуугийн идэвхтэй бодисын усан уусмалыг холимог байдлаар хэрэглэн бохирдсон хөрснөөс олон төрлийн микроэлемент, радионуклид, органик бохирдуулагчийг зайлуулан хөрсийг угаан бохирдуулагчийг уусмал байдалд шилжүүлэн хөрсний тоосыг цэвэрлэнэ. Үүний дараа ууссан цэвэршүүлсэн тоосыг усан уусмалаас салгана. Энэ уусмалаас бохирдуулагчийг арилгахын тулд нэмэлт боловсруулалт хийдэг. Харин хөрсний физик угаалтын үед хөрсний ширхгийн хэмжээ, тунах хурд, хувийн жин, гадаргуугийн хими

болон соронзон шинж чанарын ялгааг ашиглан ихэнх бохирдуулагчийг ялгана [31-34].

Нөхөн сэргээлтийн жишээ 3. БНСУ-ын Жанхан хайлуулах үйлдвэрт 1989 оныг

хүртэл 50 гаруй жил Cu, Sn, Au, Ag зэрэг өнгөт металлыг тасралтгүй цэвэршүүлдэг байсан. Хайлуулах үйлдвэрийн яндангаас ялгарах үнс, түүхий эд нь хүрээлэн буй орчныг As, Cd, Cu, Pb, Ni, Zn-аар бохирдуулсан байна (4-р зураг).



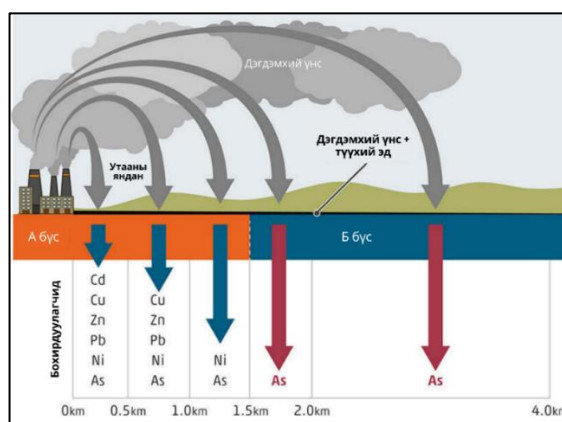
4-р зураг. БНСУ-ын Жанхан хайлуулах үйлдвэр орчмын ул мөр элементийн бохирдол

Энэ бохирдол нь орон нутгийн хүн амын эрүүл мэнд, хөдөө аж ахуйн бүтээгдэхүүний чанарт сөргөөр нөлөөлж байв.

Тус үйлдвэр нь 1971 онд хувьчлагдах хүртлээ төрийн өмчид байсан бөгөөд нөхөн сэргээлтийн стратегийг санхүүжүүлэхийн тулд "Бохирдуулагч төлнө" зарчмыг баримталж, зардлыг засгийн газраас гаргажээ. 2011 онд Солонгосын байгаль орчны корпорац бохирдлын хэмжээ,

тархалтыг тогтоохоор байгаль орчны үнэлгээ хийжээ. Бохирдол нь үйлдвэрийн яндангаас 4 км зайг хамарсан бөгөөд эхний 0.5 км хөрс хамгийн их бохирдолтой байв. Бохирдлыг бүсчлэн авч үзвэл:

- А бүс: яндангаас 1.5 км зайтай 1 сая м² орчим талбайд As, Pb, Cd, Cu, Zn, Ni их хэмжээтэй илэрсэн.
- Б бүс: яндангаас 1.5-4.0 км зайтай 234,000 м² талбайд As бага хэмжээтэй илэрсэн (5-р зураг).



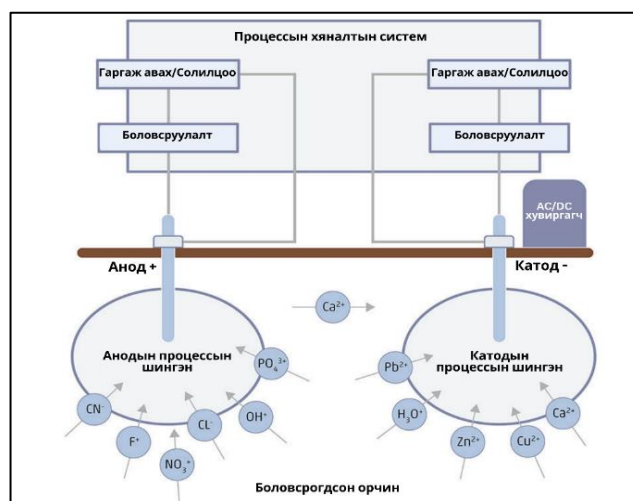
5-р зураг. Жанхан хайлуулах үйлдвэрийн орчмын бохирдуулагчийн тархалтын бүдүүвч

Бохирдлын хэмжээнээс шалтгаалан нөхөн сэргээлтийг 2 замаар

хэрэгжүүлсэн. А бүсийн оршин суугчдын эрүүл мэндэд өртөх эрсдэлийг бууруулах

зорилгоор нүүлгэн шилжүүлсэн. Харин В бүсэд тариаланчид амьдардаг, нүүлгэн шилжүүлэх боломжгүй тул нөхөн сэргээх нь нэн тэргүүний асуудал болсон. Б бүсийн нөхөн сэргээлтийн ажлыг 2012 онд эхлүүлж, 20 м³/цаг, өдөрт 8 цагаар ажиллаж 3 жилийн хугацаанд дуусгасан. Тухайн газрыг 3 хэсэгт хувааж хэсэг тус бүрд нь хөрс угаах/химийн олборлолтыг ашигласан. Бохирдоогүй хайрга, чулууг зайлуулахын тулд хөрсийг ухаж, шигшсэн. 2 хэсгийн нарийн ширхэгтэй хөрсийг H₂SO₄ болон H₃PO₄-р угаасан. H₃PO₄ илүү үр дүнтэй болох нь тогтоогдсон ч өртөг өндөр байсан тул H₂SO₄ ашигласан. Харин 3 дахь хэсэгт NaHSO₃ ашигласан. 2 хэсэгт 2,040 м³ ба 900 м³ хүчин чадалтай *ex situ* цахилгаан кинетик нөхөн сэргээх төхөөрөмж ажиллуулж байсан (6-р зураг). Нэг хэсгийг нөхөн сэргээхэд 5 сарын хугацаа шаардагдсан байна. Газар тариалан эрхлэх боломжгүй болсон гэж үзээд тариаланчдад нөхөн сэргээлтийн үйл ажиллагааны хугацаанд засгийн газраас нөхөн олговор олгосон.

А бүсийн нөхөн сэргээлтийн ажлыг 2016 онд эхлүүлж 2020 онд дуусгасан. Бүсийг 3 хэсэгт хуваан 2 хэсэгт H₂SO₄, 3 дахь хэсэгт H₂C₂O₄ ашиглан шигших, хөрс угаах/химийн олборлолт хийх ижил төстэй нөхөн сэргээлтийг явуулсан. Цэвэрлэсэн хөрсний дийлэнхийг малтлагын талбайд буцаан оруулах боломжтой байсан ч ойролцоогоор 15% нь хогийн цэгт хаягдаж цэвэр хөрсөөр нөхөн сэргээлтийг дуусгасан. Төслийн туршид оролцогч талуудад мэдээлэл өгөх, аюулгүй байдлын талаарх мэдээллийг олон нийтэд түгээх зорилгоор харилцааны тусгай хөтөлбөр хэрэгжүүлсэн. Мөн байгаль орчны мониторингийн төлөвлөгөөний дагуу хөндлөнгийн оролцооны үр нөлөөг хянасан. Нөхөн сэргээлтээр хөрсний бохирдуулагчдын хэмжээг улсын стандартын босго түвшинтээс бага болгож чадсан. Нөхөн сэргээлтийн зардал 360 сая ам.доллар болсон байна [22, 35].



6-р зураг. Электрокинетик процесс

3.3. Тогтворжуулагч

Ex situ тогтворжуулагч бодис нь *in situ* процессын нэгэн адил тогтворжсон масс үүсгэх (физик үзэгдэл), эсвэл

тогтворжуулагч, бохирдуулагчийн хооронд явагдах урвалаар (химийн үзэгдэл) бохирдуулагчийн хөдөлгөөнийг бууруулж тогтворжуулдаг. Бохирдсон

хөрсийг тогтворжуулахад бохирдуулагчийн шинж чанараас хамааран цемент, битум зэрэг олон төрлийн материалыг ашигладаг [16, 36-38].

ДӨРӨВ. *EX SITU* ХИМИЙН НӨХӨН СЭРГЭЭЛТ

4.1. Химийн олборлолт

Химийн олборлолт нь хөрснөөс бохирдуулагчийг ялгах, дахин боловсруулах шаардлагатай аюултай хог хаягдлын хэмжээг багасгах арга юм. Технологийн явц нь хөрс угаахтай төстэй боловч усны оронд олборлогч химийн нэгдэл, гадаргуугийн идэвхжүүлэгч зэрэг угаагдах чанарыг сайжруулдаг нэмэлт бодис хэрэглэн хүчтэй органик биш хүчил, органик уусгагчид уусгах, хелат нэгдэл үүсгэх зэрэг процесс ашигладаг. Нөхөн сэргээлтэд ашигласан химийн бодис, тоног төхөөрөмжийн төрөл, үйл ажиллагааны горим зэргээс хамаарч ялгаатай үр дүнтэй. Химийн олборлолтыг

ихэвчлэн бохирдуулагчийг биет байдлаар нь ялган баяжуулсны дараа ашигладаг [16, 17, 39, 40].

4.2. Химийн исэлдүүлэлт

Ex situ химийн исэлдэлтийн процесс нь *in situ* үйл явцтай ижил боловч механикаар хольж хяналтыг хялбар гүйцэтгэн урвалыг илүү хурдан, үр дүнтэй байлгах боломжийг олгодог давуу талтай [41, 42].

4.3. Галогенийг арилгах

Бохирдсон хөрсийг шигшиж, бутлуур, тээрмээр боловсруулж, тохирох урвалжтай хольж, хольцыг 180-300°C-ын реакторт халаана. Галогенийг арилгах үйл явц нь галогений молекулуудыг солих, бохирдуулагчийг задлах, хэсэгчлэн ууршуулах замаар хийгддэг. Энэ аргад C_6Cl_6 , $C_{12}H_{10-x}Cl_x$, C_4H_4O зэрэг уусдаггүй хлорт органик нэгдлийг бохирдсон хөрсийг цэвэрлэхэд ашигладаг [43, 44].

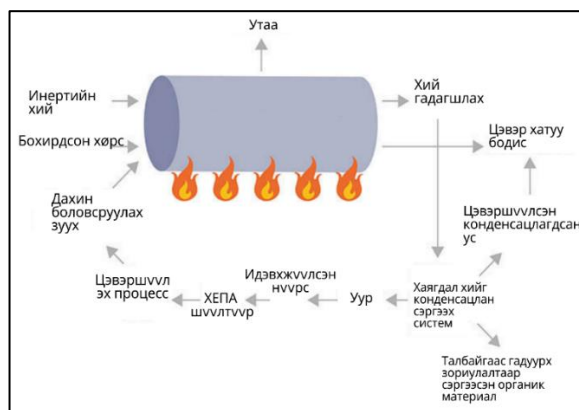
ТАВ. *EX SITU* ДУЛААНЫ НӨХӨН СЭРГЭЭЛТ

Дулааны боловсруулалт нь химийн аюултай бодисыг устгах, бохирдол ихтэй хөрсийг нөхөн сэргээх батлагдсан технологи юм. Уг процессын дүнд бий болсон хөрсний бохирдлын үлдэгдэл зөвшөөрөгдөх түвшин байгаа тохиолдолд хөдөө аж ахуйн зорилгоор ашиглах цэвэр хөрстэй хольж хэрэглэж болно [16, 45].

5.1. Дулааны десорбц

Дулааны десорбц нь физик аргаар хөрсийг ялгах процесс юм. *In situ* дулааны десорбцын нэгэн адил энэ процесс нь дулааны аргаар нүүрсустөрөгч, хлоржуулсан органик

бодис, мөнгөн ус, ул мөр элемент зэрэг дэгдэмхий бохирдуулагчийг зайлуулдаг. *Ex situ* дулааны десорбцыг овоолгын болон тасралтгүй тэжээлийн эргэлтээр боловсруулах үйлдвэр гэсэн хоёр үндсэн аргачлалаар гүйцэтгэдэг. Овоолгын дулааны десорбц нь бохирдсон хөрсөнд ойрхон газарт битүүмжилсэн цэвэрлэх талбайг барих юм. Бохирдсон хөрсийг дулаан олборлох шугам сүлжээний хамт цэвэрлэх байгууламжид оруулдаг. Хөрсний овоолгыг олборлох бүрээсээр битүүмжлэн олборлосон бохирдуулагчийг исэлдүүлэгчтэй урвалд оруулан шүүнэ.



7-р зураг. Ex situ дулааны десорбцын механизм

Дулааны десорбцын станц нь бохирдсон хөрсөөр тасралтгүй тэжээгддэг, эргэлтэт халаагуур юм. Хөрс эргэдэг халаагуураар дамжин өнгөрөхөд дэгдэмхий бохирдуулагч нэгдлүүд зайлуулагдана. Уг процесс нь вакум эсвэл зөөвөрлөгч хийн тусламжтайгаар агааргүй орчинд явагддаг. Гарсан хийн шинж чанараас хамааран тэдгээрийг конденсацлах, цуглуулах, хоёрдогч шаталтын камерт оруулах, катализаторын исэлдэлтээр устгах боломжтой. Агаарт ялгарч буй хийн тоос, хүчиллэг хольцыг зайлуулахын тулд цэвэрлэх шаардлагатай. Ихэнх дулааны десорбцын үед шаталтын эрсдэлээс зайлсхийж шууд бус аргаар халаадаг (7-р зураг). Дулааны десорбцыг бохирдсон хөрсний талбай болон өндөр температурт шатаах

зуух, цементийн зуух зэрэгт явуулж болно. Эргэдэг дулааны десорбцыг талбай дээр гүйцэтгэснээр ухсан хөрсийг зөөвөрлөхгүйгээр боловсруулсан хөрсийг талбайд буцаан шилжүүлэх, өөр газарт дахин ашиглах, хогийн цэгт хаях зэрэг давуу талтай [45-48].

Нөхөн сэргээлтийн жишээ 4. 2010 онд Сербийн Крагуевац дахь хуучин үйлдвэрийн 134,000 м³ хөрс их хэмжээний (5,000-70,000 мг/кг) нүүрсустөрөгчөөр бохирдсоныг тогтоож, уг хөрсийг газар дээр нь эргүүлэн боловсруулах дулааны десорбцын аргаар нөхөн сэргээсэн байна (8-р зураг). Нөхөн сэргээлтийг гүйцэтгэн нүүрсустөрөгчийн концентрацыг 750 мг/кг-аас бага хэмжээнд хүргэхийг зорьсон.



8-р зураг. Үйлдвэрийн талбай

Нөхөн сэргээлтийг хурдан хугацаанд гүйцэтгэхийн тулд дэгдэмхий нүүрсустөрөгчийг зайлуулахад эргүүлэх дулааны десорбц, дулааны исэлдэлтийн

технологийг хэрэглэсэн. Нөхөн сэргээх байгууламжийг газар дээр нь угсарч хөрсийг ухаж, шигшин 50 мм-ээс доош фракцыг шууд бус халаалттай эргэдэг

дулааны десорбцоор боловсруулж, нүүрсустөрөгчийг дулааны исэлдүүлэгчээр ууршуулж, устгасан (9-р

зураг). Боловсруулсан хөрсийг үйлдвэрийн талбай руу буцаан шилжүүлсэн.



9-р зураг. Нөхөн сэргээх байгууламж

Нэг сард 7500 м³ хөрс цэвэршүүлсэн бөгөөд нийт 134,000 м³ талбайг цэвэрлэхэд 18 сар зарцуулсан. Нөхөн сэргээлтийн явцад ялгарсан хий, дуу чимээний түвшин зэрэгт хүрээлэн буй орчны хяналт, боловсруулсан хөрсөнд чанарын хяналтын хөтөлбөрийг тус тус хэрэгжүүлсэн [22].

5.2. Овоолгын дулааны десорбц

Энэ технологи нь *in situ* дулааны десорбцын үйл ажиллагаатай маш төстэй. Овоолгын дулааны десорбц нь бохирдсон хөрсөнд ойрхон газар дээр битүүмжилсэн, цэвэрлэх талбайг барьснаар эхэлдэг. Бохирдсон хөрсийг ухаж гарган дулаан, олборлолтын шугам сүлжээнд нөхөн сэргээлтийг гүйцэтгэнэ. Овоолгын дулааны десорбцын давуу тал нь хөрсийг нэгэн төрлийн болгож,

шаардлагатай бол урвалж нэмэх боломжтой юм. Гадагш барих явцад дулаалгатай, ус нэвтрэхгүй доторлогоо, олборлох систем, халаалтын худгийг суурилуулснаар процесс илүү үр ашигтай, илүү хялбар, хяналттай болдог [46].

Нөхөн сэргээлтийн жишээ 5. Францын Харнес дахь аж үйлдвэрийн 34 га талбай бүхий хуучин үйлдвэрийн хөрс нь газрын тос, бактериар голчлон бохирдсон ба жижиг талбайн хэсэг шөрмөсөн чулуу, микроэлементийн өндөр агууламжтай байв. Талбайн бохирдлын нэг төрлийн бус байдал, орон зайн ялгаатай тархалтаас болж *in situ* дулааны десорбцыг хэрэглэх боломжгүй болсон (10-р зураг).



10-р зураг. Халаагуур бүхий олборлох, цэвэрлэх системийн зарим хэсэг

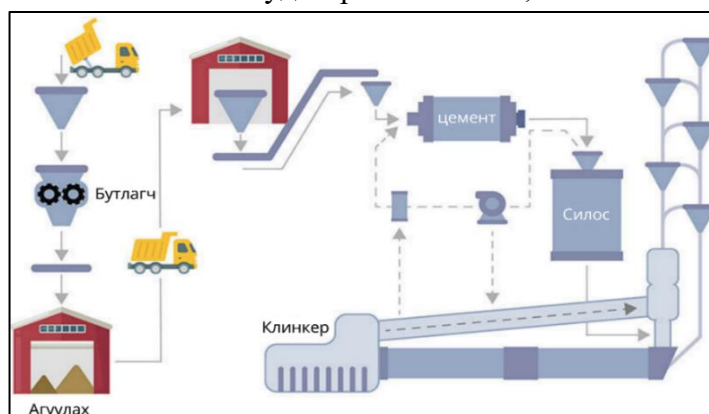
Гурван овоолго, уур цэвэрлэх байгууламж бүхий 7566 м² талбайтай цэвэрлэх бүсийг байгуулсан. Шороон овоолго босгон цэвэрлэх талбай руу хөрсийг ухаж зөөвөрлөсөн. Нэг овоолгод 2000 м³ бохирдсон хөрс байв. Овоолгын ажил 3-4 сар үргэлжилсэн бөгөөд малтлага, барилга угсралтад 30 хоног, боловсруулалтад 50 хоног, хөргөх ажиллагаанд 15 хоног, нөхөн сэргээсэн хөрсийг буулгаж дүүргэхэд 20 хоног зарцуулсан. 1.5 жилийн хугацаанд нийт 12,000 м³ бохирдсон хөрсийг амжилттай нөхөн сэргээсэн байна [22, 49].

5.3. Цементийн түүхий эд

Цементийн үйлдвэрүүд анхдагч түүхий эдийг хоёрдогч материал, дайвар бүтээгдэхүүнээр орлуулах замаар үйлдвэрлэлийн тогтвортой байдлаа сайжруулахыг улам бүр эрмэлзэж байна. Цементийн зуухны өндөр температур, ажиллах хугацаа нь бохирдсон хөрсийг боловсруулахад тохиромжтой арга хэрэгсэл юм. Органик бохирдуулагч нь исэлдэж, дэгдэмхий бус микроэлемент, эрдэс бодисууд нь цементийн үндсэн найрлагад орж болдог байна. Харин Hg зэрэг дэгдэмхий элементээр бохирдсон хөрс нь энэ аргаар боловсруулахад тохиромжгүй. Цементийн эцсийн бүтээгдэхүүний чанарыг хадгалахын тулд хөрсний эрдсийн найрлага, бохирдуулагчийн концентрацыг шинжилнэ. Ингэснээр шаардлага хангаагүй материалыг урьдчилан боловсруулах боломжтой болдог. Хөрсийг нунтаглан хатааж, дэгдэмхий бодисыг ялгах зорилгоор хэд хэдэн циклон, шүүлтүүр бүхий зууханд шатаадаг. Сүүлийн 10 жилд Хятадын цементийн компаниуд хөрсийг хатааж,

нунтаглах технологийг маш амжилттай боловсруулж байна. Улмаар Вьетнам, Хятад зэрэг оронд бохирдсон хөрсийг цементийн хоёрдогч түүхий эд болгон өргөн ашиглаж байна [46, 47].

Нөхөн сэргээлтийн жишээ 6. C₁₄H₉Cl₅ (DDT дихлордифенилтрихлорэтан), C₆H₆Cl₆ (HCH, гексахлорциклогексан)-аар бохирдсон Хятадын Хубэй мужийн Nuaxin Cement үйлдвэр орчмын 400,000 т хөрсний био нөхөн сэргээлтийг 11-р зурагт үзүүлсэн схемийн дагуу бусад түүхий эдтэй хамт эргэдэг зуухаар дамжуулан цементийн түүхий эд болгон хувиргасан.



11-р зураг. Nuaxin Cement үйлдвэрийн бохирдсон хөрс боловсруулах ерөнхий схем

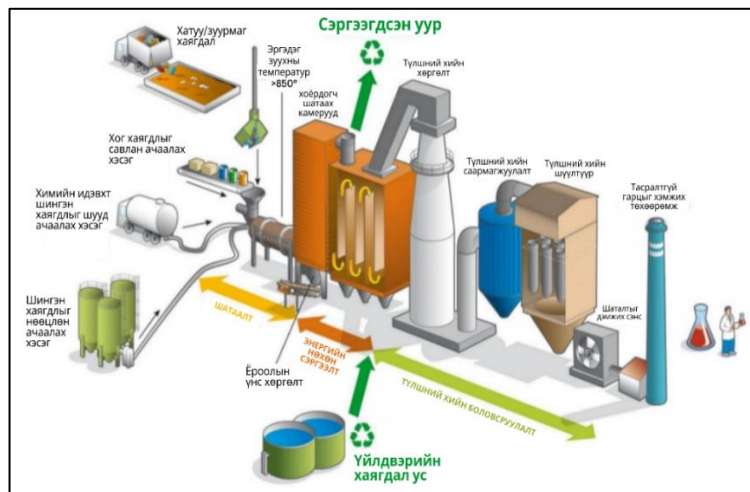
Цементийн зууханд DDT (243-429 мг/кг), HCH (37.9- 60.6 мг/кг)-н өндөр

агууламжтай хөрсийг дулаанаар исэлдүүлэн цементийн түүхий эд болгон ашиглахаар шийдсэн. Энэ зорилгоор

үйлдвэрийг тусгайлан засаж хөрсийг нунтаглан хатаах урьдчилсан боловсруулалтын хэсэг барьсан. Клинкер хөргөгчөөс халуун хий ($300-350^{\circ}\text{C}$) дамжин DDT, HCH бохирдуулагчдыг хэсэгчлэн ууршуулж, хөрсийг хатаана. Боловсруулалтын хэсэг дэх бөмбөлөгт тээрэм нь хөрсийг 200 мкм-ээс бага хэмжээтэй болтол нунтагладаг бөгөөд хөрс бусад түүхий эдтэй хамт эргэдэг зуухаар дамжин цементийн чулуунцар болон хувирна. Туршилтын шатаалт нь уг процессын үр нөлөөг харуулсан бөгөөд бохирдлыг устгах, зайлуулах үр ашиг 99.9% дээш, яндангаас ялгарах хийн агууламж Хятад болон Европын холбооны дүрэм журмын дагуу 0.1 нг/Нм^3 -аас бага байна. Тус үйлдвэр нь 2 жилийн дотор DDT, HCH-ээр бохирдсон 400,000 тонн хөрсийг амжилттай боловсруулжээ [22, 50].

5.4. Шатаах

Өндөр температурт шатаах нь олон төрлийн аюултай хог хаягдлыг устгах батлагдсан технологи юм. Ашиглагдах үйлдвэр, байгууламжууд нь байгаль орчныг хамгаалах хууль тогтоомжийн дагуу боловсруулах боломжтой хог хаягдлын төрөл, бохирдуулагчийн шинж чанар, агаар, усанд ялгарах хэмжээг тодорхой тогтоосон, хуулийн дагуу үйл ажиллагаа эрхлэх тусгай зөвшөөрөлтэй байдаг давуу талтай. Өндөр температурт шатаах арга нь хөрсөнд хамгийн удаан хадгалагддаг, өндөр агууламжтай, аюултай бохирдуулагчийг ч цэвэрлэж чаддаг. Энгийн түгээмэл загварт хатуу, шингэн хог хаягдлыг тэжээх систем бүхий эргэдэг зуухны анхдагч шаталтын камер заавал багтдаг байна (12-р зураг). Шатаалтын дараа хийн хольц агаар мандалд орохоос өмнө заавал шүүнэ. Бохирдуулагч бодисыг шатаах зууханд устгахын тулд дулааны десорбц хийх нь илүү үр дүнтэй гэж үздэг [49, 51].



12-р зураг. Өндөр температурт шатаах энгийн зуухны загвар

Нөхөн сэргээлтийн жишээ 7. Бохирдсон талбай нь Италийн хамгийн том газрын тосны үйлдвэрийн нэг болох Мантова дахь 90 га талбайг хамарч байв (13-р

зураг). Бохирдол нь үйлдвэрлэлийн хлоржуулсан шүлтийн процесс, органик хаягдлаас үүссэн.



13-р зураг. Нөхөн сэргээх талбай болон боловсруулах байгууламж

Бохирдсон хөрсний хувьд тогтвортой хлоржуулсан органик бохирдуулагч, мөнгөн усны агууламж өндөртэй байсан тул хөрсийг ухаж аван, өндөр температурт шатаах зууханд устгах цорын ганц арга тохирч байсан. Итали улсад ийм төрлийн үйл ажиллагаатай, тусгай зөвшөөрөлтэй шатаах зуух байгаагүй тул хөрсийг тээвэрлэн Франц дахь SARP Industries-Veolia группийн өндөр температурт шатаах зуухыг ашигласан. Эдгээр байгууламжууд нь хлоржуулсан органик бодисыг дулаанаар исэлдүүлж, хийн цэвэрлэх систем дэх Нг бохирдлыг арилгасан. Бохирдол багатай хөрсийг Франц дахь GRS Valtech-ийн

шууд галладаг дулааны десорбцын цэвэрлэх байгууламжид боловсруулсан. Малталтыг эхлэхдээ талбайн дээгүүр ган хүрээтэй дээврийг битүүмжлэн барьж, ажлын талбайгаас үүсэх уур, хийг агаар мандалд нэвтрэхээс өмнө тусгаарлан цэвэрлэсэн (13-р зураг). Малталтын машинуудыг шатамхай орчинд ажиллахад аюулгүй байхаар бүтээсэн нь онцлогтой байсан.

Төслийн ажил 2017 оны 7-р сард эхэлсэн бөгөөд 2025 онд дуусах төлөвтэй байна. Төслийн нийт өртөг нь 300 тэрбум ам.доллар байх бөгөөд үүнд өндөр температурт шатаах, дулааны десорбцоор устгах 70 сая ам.доллар багтжээ [22].

ЗУРГАА. БУСАД ТЕХНОЛОГИ

6.1. Нанотехнологи

Нөхөн сэргээлтийн энэ аргад бохирдуулагчийг хувиргах, концентрацыг багасгах, хоргүйжүүлэх зорилгоор химийн урвалын идэвхтэй нано материалуудыг ашигладаг. *In situ* нано нөхөн сэргээлтийн үед гүний усыг оролцуулахгүй, хөрсийг өөр газар руу зөөвөрлөн зайлуулахгүйгээр нөхөн сэргээлтийг гүйцэтгэдэг давуу талтай [52]. Нано материалууд нь *in situ* хэрэглээнд маш тохирсон бөгөөд жижиг хэмжээтэй, ухаалаг үйлчлэлтэй учраас онолын хувьд нано бөөмс нь хөрсний

гүндэх маш жижиг орон зайнд нэвчиж, илүү өргөн тархах боломжтой боловч өнөөдрийн байдлаар, нөхөн сэргээлтэд ашиглаж буй нано материалууд нь эхлэл цэгээс өөр зайд шилжихгүй хэвээр байна [53].

Цеолит, металлын исэл, нүүрстөрөгчийн нано хоолой, утас, фермент, төрөл бүрийн үнэт металл, диметаллын нано хэсгүүд, титаны давхар исэл зэрэг олон төрлийн нано хэмжээст материалуудыг хэрэглэж байна. Эдгээрээс нано хэмжээт Fe(0) одоогоор хамгийн өргөн хэрэглэгдэж байна [54].

6.2. Механик-химийн нөхөн сэргээлт

Энэ аргыг хлорорганик болон бусад тогтвортой органик бохирдуулагчаар бохирдсон хөрсийг цэвэрлэхэд ашигладаг. Бохирдсон хөрсний гадаргуу нь механик химийн боловсруулалтаар эвдэрч, урвалын идэвх өндөртэй талбайг үүсгэдэг. Энэ идэвхтэй цэгүүд нь бохирдуулагчийн молекултай харилцан үйлчилж радикал үүсгэх бөгөөд тэдгээр жижиг ионууд эцэст нь хоргүй төлөвт шилждэг [46, 55].

Нөхөн сэргээлтийн жишээ 8. Шинэ Зеландын Маруа дахь пестицидийн үйлдвэрлэлийн талбайн микроэлементээр бохирдсон хөрсийг нөхөн сэргээх зорилгоор механик-химийн нөхөн сэргээлтийг нано хэмжээст диметаллын нэгдэлтэй хамт ашигласан нь өндөр үр дүнтэй байсан. 2004 оноос хойш 30 сарын турш нөхөн сэргээлтийг гүйцэтгэсэн. Бохирдсон хөрсийг яаралтай арилгах, талбайг дахин ашиглах, цэвэрлэх, нөхөн сэргээх арга, технологийг хэрэгжүүлэх боломжгүй байгаа тохиолдолд бохирдсон хөрсөнд малтлага хийж, инженерийн нарийн зохион байгуулалттай хогийн цэгт хаях нь зүйтэй. Ялангуяа цацраг идэвхт изотоп зэрэг амархан цэвэрлэх боломжгүй бохирдуулагчтай хөрсөнд энэ нь хамгийн боломжит хувилбар юм. Бохирдсон хөрсийг аюултай хог хаягдал гэж үзнэ. Аюултай хог хаягдлыг тээвэрлэх, устгах үйл ажиллагаа нь тухайн улсын аюултай хог хаягдлын талаар баримтлах дүрэм

ДҮГНЭЛТ

Ex situ нөхөн сэргээх технологи нь хөрсний бохирдуулагчийн олон янз байдалд тохирсон олон аргыг багтаасан, хөрсний бохирдлыг арилгах үр дүнтэй арга юм. *Ex situ* технологийн давуу тал нь үр дүнтэй, илүү хурдан явагддаг (*in*

Ашиглалтын 2.5 жилийн хугацаанд нийт ухсан 55,250 м³ хөрсний 5500 м³-ийг механик-химийн хлоргүйжүүлэх аргаар бүрэн цэвэрлэсэн. Төслийн нийт өртөг, бүтээн байгуулалт 8 сая ам.доллар болжээ.

Нөхөн сэргээлтийн жишээ 9. 2012 онд Вьетнамын Bien Hoa агаарын баазад полихлорт дибензодиоксиноор бохирдсон 495,000 м³ хөрс, хурдас цэвэрлэх боломжит технологи болох механик-химийн хлоржуулалтыг туршсан. Туршилтын явцад дөрвөн бөмбөлөгт тээрмийн цувааг ашиглан 6 т/цаг хурдтайгаар 100 т хөрсийг амжилттай боловсруулжээ. Дараа нь хөрсөнд агуулагдах полихлоржуулсан дибензодиоксиний концентрацыг 70,000 нг/кг-аас 914 нг/кг хүртэл бууруулах нэмэлт туршилтыг гүйцэтгэсэн нь мөн амжилттай болжээ [56, 57].

6.3. Хог хаягдлыг булшлах

журмыг дагуу явагдана. Бохирдсон хөрсийг хогийн цэгт эргэдэг зууханд шууд шатааж болох хэдий ч хөрсийг урьдчилан тогтворжуулах нь зүйтэй. Шатаах зуух нь хий гадагшлуулахгүй бүрэн битүүмжлэгдсэн, тусгай зориулалтын олборлох, цэвэрлэх системтэй, хяналт тавих, засвар үйлчилгээ хийх урт хугацааны хөтөлбөртэй байх ёстой. Гэхдээ бүх улс оронд хогийн цэгийн хүчин чадал хязгаарлагдмал байдаг тул бохирдсон хөрсийг булшлах явдлыг багасгахыг эрмэлзэж байна [58, 59].

situ технологитой харьцуулахад нөхөн сэргээлтийн нөхцөлийг сайжруулах боломжтой), өөрчлөх боломжтой (органик бохирдуулагчаас эхлээд хүнд металл хүртэл олон тооны, төрөл бүрийн бохирдуулагчдын нөхөн сэргээлтийг

гүйцэтгэх боломжтой), хяналт сайтай (үр дүнтэй, таамаглал өндөр, баталгаажсан процессыг хэрэглэх, шалгах боломжтой) байдаг бол дутагдалтай тал нь өртөг өндөр (малтлага, тээвэрлэлт, онцлог тоног төхөөрөмжийн хэрэглээ зэргээс шалтгаалж ихэвчлэн өртөг зардал ихтэй), ХБО-ны сөрөг нөлөө (хөрсийг малтах, тээвэрлэх нь экосистемд сөргөөр нөлөөлж, 2-догч бохирдлыг үүсгэх эрсдэлтэй), хэрэглээний шаардлага өндөр (зарим арга нь ур чадвартай, мэргэшсэн мэргэжилтэн, дэд бүтэц шаарддаг) зэрэг болно.

Бохирдуулагчийн төрөл, хөрсний төлөв байдал, экологийн нөхцөл, төсөв зэргээс хамаарч хэрэглэх аргыг сонгох боловч бид энэ удаа ангилал тус бүрээс үр дүнтэй, онцлог технологиудыг авч үзлээ. Үүнд:

1. Био овоолго нь нүүрсустөрөгчөөр бохирдсон хөрсийг үр дүнтэй нөхөн сэргээдэг, бохирдуулагчийг арилгах

зорилгоор бичил биетнийг ашигладаг бөгөөд эдийн засгийн хэмнэлттэй, хүрээлэн буй орчинд ээлтэй.

2. Хөрс угаах физик технологи нь хүнд металл, органик бохирдуулагчдад өндөр үр дүнтэй, бохирдуулагч тус бүрээр ялгадаг сайн талтай боловч хаягдал их үүсгэдэг.
3. Химийн исэлдүүлэлт нь органик бохирдуулагчдыг зайлуулахад маш үр дүнтэй боловч өртөг өндөр, төлөвлөлт хангалтгүй үед эрсдэлтэй.
4. Дулааны десорбц нь тогтворгүй органик нэгдлийг арилгахад үр дүнтэй боловч эрчим хүч их шаарддаг, өртөг өндөр.

Эдгээр аргуудыг хавсран хэрэглэх нь хүрээлэн буй орчинд үзүүлэх сөрөг нөлөөг бууруулж, хэрэглээний үр дүнтэй байдлыг нэмэгдүүлэх сайн талтай байна.

АШИГЛАСАН ХЭВЛЭЛ

1. Brevik, Eric C., et al. "Soil and human health: Current status and future needs." *Air, Soil and Water Research* 13 (2020): 1178622120934441.
2. Chataut, Gopi, et al. "Greenhouse gases emission from agricultural soil: A review." *Journal of Agriculture and Food Research* 11 (2023): 100533.
3. Nave, Lucas E., et al. "Land use change and forest management effects on soil carbon stocks in the Northeast US." *Carbon Balance and Management* 19.1 (2024): 5.
4. Paz-Ferreiro, Jorge, et al. "Soil pollution and remediation." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15.8 (2018): 1657.
5. Lambert, F. H., et al. "Changes in the regional water cycle and their impact on societies." *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 16.2 (2025): e70005.
6. Anspaugh, Lynn R., et al. "Movement of radionuclides in terrestrial ecosystems by physical processes." *Health Physics* 82.5 (2002): 669-679.
7. Shayler, Hannah, Murray McBride, and Ellen Harrison. "Sources and impacts of contaminants in soils." (2009).
8. Nieder, Rolf, et al. "Health risks associated with radionuclides in soil materials." *Soil Components and Human Health* (2018): 451-501.

9. Kyere, Vincent Nartey, et al. "Spatial assessment of potential ecological risk of heavy metals in soils from informal e-waste recycling in Ghana." *Environmental health and toxicology* 32 (2017): e2017018.
10. Ganguly, Jacky, Dinkar Kulshreshtha, and Mandar Jog. "Mercury and movement disorders: the toxic legacy continues." *Canadian journal of neurological sciences* 49.4 (2022): 493-501.
11. Shifaw, Eshetu. "Review of heavy metals pollution in China in agricultural and urban soils." *Journal of Health and Pollution* 8.18 (2018): 180607.
12. Sakib, S. M. "The impact of oil and gas development on the landscape and surface in Nigeria." *Asian Pacific Journal of Environment and Cancer* (2021).
13. Feigin, Valery L., et al. "Global burden of stroke and risk factors in 188 countries, during 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013." *The Lancet Neurology* 15.9 (2016): 913-924.
14. Gruiz, K. "Contaminated site remediation: Role and classification of technologies." *Engineering Tools for Environmental Risk Management–4: Risk Reduction Technologies and Case Studies*. CRC Press, 2019. 1-37.
15. Williams, Jera. "Bioremediation of contaminated soils: a comparison of in situ and ex situ techniques." *Engineering Biology* (2006).
16. Kuppusamy, Saranya, et al. "Ex-situ remediation technologies for environmental pollutants: a critical perspective." *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume* 236 (2016): 117-192.
17. Tomei, M. Concetta, and Andrew J. Daugulis. "Ex situ bioremediation of contaminated soils: an overview of conventional and innovative technologies." *Critical reviews in environmental science and technology* 43.20 (2013): 2107-2139.
18. Aparicio, Juan Daniel, et al. "The current approach to soil remediation: A review of physicochemical and biological technologies, and the potential of their strategic combination." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 10.2 (2022): 107141.
19. Adetunji, Charles Oluwaseun, and Osikemekha Anthony Anani. "Bioaugmentation: a powerful biotechnological technique for sustainable ecorestoration of soil and groundwater contaminants." *Microbial Rejuvenation of Polluted Environment: Volume 1* (2021): 373-398.c
20. Muter, Olga. "Current trends in bioaugmentation tools for bioremediation: a critical review of advances and knowledge gaps." *Microorganisms* 11.3 (2023): 710.
21. Errington, Ingrid, et al. "Ecosystem effects and the management of petroleum-contaminated soils on subantarctic islands." *Chemosphere* 194 (2018): 200-210.
22. FAO, UNEP. "Global assessment of soil pollution: report. Rome." 2021,

23. Park, Stephen, and Yanna Liang. "Bioleaching of trace elements and rare earth elements from coal fly ash." *International Journal of Coal Science & Technology* 6.1 (2019): 74-83.
24. Fathollahzadeh, Homayoun, et al. "Role of microorganisms in bioleaching of rare earth elements from primary and secondary resources." *Applied microbiology and biotechnology* 103 (2019): 1043-1057.
25. Sarkodie, Emmanuel Konadu, et al. "A review on the bioleaching of toxic metal (loid) s from contaminated soil: Insight into the mechanism of action and the role of influencing factors." *Frontiers in microbiology* 13 (2022): 1049277.
26. Atagana, H. I. "Bioremediation of creosote-contaminated soil in South Africa by landfarming." *Journal of Applied Microbiology* 96.3 (2004): 510-520.
27. Munyengabe, Alexis. "Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in the water, soils and surface sediments of the Msunduzi River, KwaZulu-Natal, South Africa". *Diss. University of KwaZulu-Natal, Pietermaritzburg*, 2016.
28. Govani, Janki, et al. "New generation technologies for solid waste management." *Current developments in biotechnology and bioengineering*. Elsevier, 2021. 77-106.
29. Sohi, Saran P., et al. "A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling." *Soil Science Society of America Journal* 65.4 (2001): 1121-1128.
30. Tang, Zhiyun, et al. "Size fractionation and characterization of nanocolloidal particles in soils." *Environmental geochemistry and health* 31 (2009): 1-10.
31. Zheng, Xiao-Jun, et al. "Remediation of heavy metal-contaminated soils with soil washing: a review." *Sustainability* 14.20 (2022): 13058.
32. Karthika, N., K. Jananee, and V. Murugaiyan. "Remediation of contaminated soil using soil washing-a review." *Journal of Engineering Research and Applications* 6.1–2 (2016): 13-18.
33. Gu, Fei, et al. "A review for recent advances on soil washing remediation technologies." *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 109.4 (2022): 651-658.
34. Zhu, Zhihua, et al. "Comparative study on washing effects of different washing agents and conditions on heavy metal contaminated soil." *Surfaces and Interfaces* 27 (2021): 101563.
35. Identification of Soil Pollution and Human Health Risk Assessments of Soil Heavy Metals in Abandoned Mine Area in the Republic of Korea. *Diss.*, 2023.
36. Cui, Wenwen, et al. "Heavy metal stabilization remediation in polluted soils with stabilizing materials: a review." *Environmental geochemistry and health* 45.7 (2023): 4127-4163.
37. Haghsheno, Hamed, and Mahyar Arabani. "The effect of primary stabilizers for stabilization/solidification of oil-polluted soils—a

- review." *Environmental Technology Reviews* 12.1 (2023): 337-358.
38. Tajudin, SA Ahmad, MA Mohammad Azmi, and A. T. A. Nabila. "Stabilization/solidification remediation method for contaminated soil: a review." *IOP conference series: materials science and engineering*. Vol. 136. No. 1. IOP Publishing, 2016.
39. Vaxevanidou, Katerina, Nymphodora Papassiopi, and Ioannis Paspaliaris. "Removal of heavy metals and arsenic from contaminated soils using bioremediation and chelant extraction techniques." *Chemosphere* 70.8 (2008): 1329-1337.
40. Lee, Chun-Shu, and Ming-Muh Kao. "Effects of extracting reagents and metal speciation on the removal of heavy metal contaminated soils by chemical extraction." *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 39.5 (2004): 1233-1249.
41. Sirguey, Catherine, et al. "Impact of chemical oxidation on soil quality." *Chemosphere* 72.2 (2008): 282-289.
42. Ranc, B., et al. "Selection of oxidant doses for in situ chemical oxidation of soils contaminated by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): A review." *Journal of hazardous materials* 312 (2016): 280-297.
43. Shazia, Akhtar, Iram Shazia, and Ul-Hassan Mahmood. "Effect of chelating agents on heavy metal extraction from contaminated soils." *Res J Chem Sci* 2231 (2014): 606X.
44. Mohamed, Mahmoud Ahmed, et al. "Extraction of heavy metals from a contaminated soil by reusing chelating agent solutions." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 1.3 (2013): 363-368.
45. Chen, Zefeng, et al. "A review on remediation of chlorinated organic contaminants in soils by thermal desorption." *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 133 (2024): 112-121.
46. Zhao, Cheng, et al. "Thermal desorption for remediation of contaminated soil: A review." *Chemosphere* 221 (2019): 841-855.
47. Kristanti, Risky Ayu, et al. "A review on thermal desorption treatment for soil contamination." *Tropical Aquatic and Soil Pollution* 2.1 (2022): 45-58.
48. Troxler, William L., et al. "Treatment of nonhazardous petroleum-contaminated soils by thermal desorption technologies." *Air & Waste* 43.11 (1993): 1512-1525.
49. Guemiza, Karima, et al. "Thermal desorption and incineration." (2020).
50. Yu, Jingjing, et al. "Remediation technologies of contaminated sites in China: Application and spatial clustering characteristics." *Sustainability* 16.4 (2024): 1703.
51. Vidonish, Julia E., et al. "Thermal treatment of hydrocarbon-impacted soils: a review of technology innovation for sustainable remediation." *Engineering* 2.4 (2016): 426-437.
52. Zhang, Tong, et al. "In situ remediation of subsurface contamination: opportunities and

- challenges for nanotechnology and advanced materials." *Environmental Science: Nano* 6.5 (2019): 1283-1302.
53. New, Wei Xuen, Joseph Ekhebuma Ogbezode, and Paran Gani. "Nanoparticles in soil remediation: Challenges and opportunities." *Industrial and Domestic Waste Management* 3.2 (2023): 127-140.
54. Ghazaryan, Karen, et al. "Soil pollution: an agricultural and environmental problem with nanotechnological remediation opportunities and challenges." *Discover Sustainability* 5.1 (2024): 1-33.
55. Yao, Zhenzhen, et al. "Mechanochemical remediation of the chlorinated compounds contaminated soil depending on the minerals inside-the most reasonable approach." *Chemosphere* 313 (2023): 137449.
56. Jovcic, Alexander. "Applications of aerobic and anaerobic bacteria in the fields of biological degradation of contaminants and biological wastewater treatment". *Diss. Universität Würzburg*, 2002.
57. Van Thuong, Nguyen, et al. "Transport and bioaccumulation of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans at the Bien Hoa Agent Orange hotspot in Vietnam." *Environmental Science and Pollution Research* 22.19 (2015): 14431-14441.
58. Orloff, Kenneth, and Henry Falk. "An international perspective on hazardous waste practices." *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 206.4-5 (2003): 291-302.
59. Goel, Sudha. "Solid and hazardous waste management: an introduction." *Advances in Solid and Hazardous Waste Management* (2017): 1-27.

Strategies in the remediation of soil pollution, *ex situ* and other technologies

B.Munkhjin¹, I.Tuyajargal^{2*}, D.Batsuren³, B.Dulguun¹, S.Unursaikhan¹

¹National Center for Public Health, Ulaanbaatar, Mongolia

²Department for Graduate Education Policy and Management, Mongolian National university of Medical Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia

³School of Engineering and Technology, National university of Mongolia, Ulaanbaatar, Mongolia

*iimaatuyajargal@gmail.com

Abstract. Soil is the key link in the functioning of ecosystems. It is recommended that countries maintain a database of contaminated sites, which can assist in decision-making on priorities and funding. Therefore, given the possibility of permanent degradation of land, the risks to public health and the environment, and the expense and complexity of remediation, the avoidance of soil pollution is an obvious priority. It is important to eliminate or reduce potential sources of soil pollution before the contaminants start to disperse into the environment. Since 2015, soil pollution has increased world wide, especially affecting the most vulnerable groups, highlighting the gap in

development, health, and well-being between differences in social classes. In Mongolia, as well as worldwide, soil pollution and its impact on the ecosystem receive less attention than other environmental issues such as water and air pollution. As human beings, our well-being is closely related to the environment, consequently all the components of the environment- water, air, soil, and living organisms- are interdependent.

Ex situ technologies for remediating polluted soils include biological, physical, chemical, and thermal treatment methods, all conducted outside the contaminated site. *Ex situ* technologies involve the removal of contaminated soil from its original location for treatment. These methods are implemented off-site or at a designated area near the contamination source and include many technologies such as biopiles, bioleaching, solidification/stabilization, chemical reduction/oxidation, dehalogenation and in pile thermal desorption techniques to clean and restore the soil. The main motives for taking action to investigate and address a polluted site are social responsibility and financial and legal compliance. In both cases, the aim is to break any possible links where the pollution source has an exposure pathway to affect the receptor.

Keywords: *soil health, bio technologies, physical remediation, chemical remediation, thermal remediation*

© Author (s), 2024



Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>