

**Д.Сайнбаяр, Н.Болдбаатар, Ж.Өнөрням
Д.Амарсайхан, Б.Баяртунгалаг**

**Зайнаас тандан судлалын
мэдээнд тулгуурласан
геоэкологийн нөхцөлийн
зураглал**



Улаанбаатар хот
2026 он

ДАА-550
ННА-26
3-16

Зохиогчид:

Доктор (Ph.D) Д.Сайнбаяр,
Магистр (MSc) Н.Болдбаатар,
Магистр (MSc) Ж.Өнөрням,
Академич, ШУ-ны доктор (Sc.D), профессор Д.Амарсайхан,
Доктор (Ph.D) Б.Баяртунгалаг

Зохиогчийн эрх : © Д.Сайнбаяр, Н.Болдбаатар, Ж.Өнөрням,
Д.Амарсайхан, Б.Баяртунгалаг

Энэхүү номын агуулгыг ШУА-ийн Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэнгийн Эрдмийн зөвлөлийн хурлаар хэлэлцсэн бөгөөд тус номыг геоэкологи, газарзүй, хүрээлэн буй орчин, зураглалын чиглэлээр ажилладаг мэргэжилтнүүд, эрдэмтэд, судлаачид, их, дээд сургуулийн багш нар, оюутнууд болон хэрэглэгчдэд зориулав.

Редактор:

Академич, ШУ-ны доктор (Sc.D), профессор Д. Амарсайхан, ШУА-ийн Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэн

Цаасны хэмжээ: 2010x297

Хэвлэлийн хуудас: 5.2 хх

Хавтасны дизайн бэлтгэсэн: Н.Болдбаатар

Хэвлэлийн эх бэлтгэсэн: Э.Жаргалдалай

ISBN: 978-9919-0-6907-0

ГАРЧИГ

ӨМНӨХ ҮГ	3
НЭГДҮГЭЭР БҮЛЭГ. ГЕОЭКОЛОГИ, ТҮҮНИЙ ХӨГЖЛИЙН ЧИГ ХАНДЛАГА	5
1.1. Геоэкологийн судалгааны чиг хандлага	5
1.2. Геоэкологийн судалгааны тойм	12
1.3. Хүрээлэн буй орчны судалгаанд олон шалгуурт шийдвэр гаргалтын аргыг ашигласан байдал	18
ХОЁРДУГААР БҮЛЭГ. ГЕОЭКОЛОГИЙН НӨХЦӨЛИЙГ ЗУРАГЛАХ АРГА ЗҮЙ ...	22
2.1. Судалгааны талбай	22
2.1.1. Дархан орчмын талбай	22
2.1.2. Сайншанд орчмын талбай	23
2.2. Геоэкологийн нөхцөлийг үнэлэх арга зүй.....	24
2.2.1. Алхам 1	28
2.2.2. Алхам 2	29
2.2.3. Алхам 3	29
2.2.4. Алхам 4	31
ГУРАВДУГААР БҮЛЭГ. ГЕОЭКОЛОГИЙН НӨХЦӨЛИЙН СЭДЭВЧИЛСЭН ДАВХАРГУУД.....	32
3.1. Дархан орчмын геоэкологийн нөхцөл	32
3.2. Сайншанд орчмын геоэкологийн нөхцөл.....	44
ДӨРӨВДҮГЭЭР БҮЛЭГ. ГЕОЭКОЛОГИЙН НӨХЦӨЛИЙН ҮНЭЛГЭЭ	55
4.1. Дархан орчмын геоэкологийн нөхцөлийн үнэлгээ.....	55
4.1.1. Үнэлгээнд ашиглагдсан хувьсагчдын орон зайн бүтэц, шинж чанар.....	55
4.1.2. Энтропи жингийн үр дүн	58
4.1.3. Геоэкологийн нөхцөлийн үнэлгээний индекс	59
4.1.4. Мэдрэмжийн шинжилгээний үр дүн.....	63
4.2. Сайншанд орчмын геоэкологийн нөхцөлийн үнэлгээ	65
4.2.1. Үнэлгээнд ашиглагдсан хувьсагчдын орон зайн бүтэц, шинж чанар.....	65
4.2.2. Энтропи жингийн үр дүн	67
4.2.3. Геоэкологийн нөхцөлийн үнэлгээний индекс	69
4.2.4. Мэдрэмжийн шинжилгээний үр дүн.....	72
АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ.....	75

ӨМНӨХ ҮГ

Уур амьсгалын өөрчлөлт эрчимжиж буй өнөө үед байгалийн хязгаарлагдмал нөөцийг хамгаалах, тэдгээрийг зөв зохистой ашиглах, экологийн доройтол болон бохирдлоос урьдчилан сэргийлэх, доройтсон экосистемийг сэргээх асуудал нь дэлхий нийтийн өмнө тулгамдсан томоохон сорилтуудын нэг болоод байна. Дэлхийн хэмжээнд ажиглагдаж буй уур амьсгалын өөрчлөлт нь байгалийн экосистемийн тогтвортой байдалд сөргөөр нөлөөлж, нийгэм, эдийн засгийн хөгжлийн үндэс болсон байгалийн нөөцийн хомсдол, доройтлыг улам гүнзгийрүүлэх хандлагатай болж байгаа юм. Үүний улмаас ус, хөрс, ургамал, амьтны аймаг зэрэг байгалийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн харилцан хамаарал, тэнцвэрт байдал алдагдаж, орчны эмзэг байдал нэмэгдэн, улмаар хүн төрөлхтний амьдрах орчинд бодитой эрсдэл үүсэж байна.

Эх газрын эрс тэс, хуурай уур амьсгалтай Монгол орны хувьд уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөө харьцангуй өндөр эрчимтэй илэрч байна. Сүүлийн хэдэн арван жилийн хугацаанд Монгол орны агаарын дундаж температурын өсөлт дэлхийн дундажтай харьцуулахад бараг 3 дахин өндөр байгаа нь хур тунадасны горим өөрчлөгдөх, ууршилт нэмэгдэх, хуурайшилт эрчимжих, цөлжилт тэлэх, мөн хөрс болон усны нөөц доройтох зэрэг сөрөг үр дагаврыг бий болгож байна. Түүнчлэн бэлчээрийн доройтол, ургамлын бүрхэвчийн багасалт, хөрсний элэгдэл эвдрэл, усны нөөцийн хомсдол зэрэг байгаль орчны олон асуудал улам бүр илэрч, бүс нутгийн экосистемийн тогтвортой байдлыг алдагдуулах хэмжээнд хүрч болзошгүй байгаа юм.

Байгалийн хүчин зүйлсийн өөрчлөлтөөс гадна, хүний үйл ажиллагааны нөлөө нь байгаль орчны доройтлыг улам эрчимжүүлэхэд ихээхэн үүрэг гүйцэтгэж байна. Хүн амын өсөлт, хотжилт, уул уурхайн олборлолт, бэлчээрийн хэт ашиглалт, газар ашиглалтын зохисгүй хэлбэрүүд зэрэг антропоген хүчин зүйлс нь байгаль орчны тэнцвэрт байдлыг алдагдуулж, экосистемийн өөрөө нөхөн сэргэх чадавхыг бууруулахад хүргэж байна. Ийнхүү байгалийн болон нийгмийн хүчин зүйлсийн харилцан үйлчлэлийн үр дүнд экологи, нийгэм, эдийн засгийн эмзэг байдал нэмэгдэж, байгаль орчны асуудлыг шинжлэх ухааны үндэслэлтэй, цогц байдлаар судлах шаардлага улам бүр нэмэгдэж байгаа болно.

Ийм нөхцөлд Монгол орны байгаль орчны тулгамдсан асуудлуудыг зөвхөн салбар бүрийн хүрээнд тусгаарлан судлах бус, харин геосистемийн түвшинд харилцан уялдаа, холбоог авч үзсэн цогц, системчилсэн судалгаа хийх нь онцгой ач холбогдолтой. Геоэкологи нь геосистем болон түүнийг бүрдүүлэгч уур амьсгал, ус, хөрс, ургамал, амьтны аймаг, газарзүйн орчин зэрэг бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн бүтэц, зохион байгуулалт, харилцан үйлчлэл, орон зайн тархалт, хувьсал өөрчлөлтийн зүй тогтлыг судалдаг шинжлэх ухааны салбар бөгөөд байгалийн ба хүний хүчин зүйлийн харилцан нөлөөллийг цогцоор нь авч үзэх замаар байгаль орчны төлөв байдал, өөрчлөлтийн чиг хандлагыг тодорхойлж, улмаар байгалийн нөөцийн зохистой менежмент, хамгаалалтын бодлогыг шинжлэх ухааны үндэслэлтэй боловсруулах боломжийг бүрдүүлдэг.

Геоэкологийн нөхцөлийг үнэлэх, зураглах, түүний орон зайн ялгаа болон цаг хугацааны өөрчлөлтийг тодорхойлох нь байгалийн нөөцийг зохистой ашиглах, байгаль

орчныг хамгаалах, экологийн эрсдэлийг бууруулах, тогтвортой хөгжлийн бодлого боловсруулахад чухал ач холбогдолтой. Орчин үеийн судалгаанд зайнаас тандан судлал, газарзүйн мэдээллийн систем (ГМС), олон эх сурвалжийн орон зайн мэдээлэл, статистик болон геостатистикийн аргуудыг өргөн ашиглах болсон нь геоэкологийн судалгааны үр дүнг илүү нарийвчлалтай, бодитой гаргах боломжийг нэмэгдүүлж байна.

Энэхүү номын зорилго нь геоэкологи, газарзүй, хүрээлэн буй орчин, газрын зураглалын чиглэлээр ажилладаг судлаачид, мэргэжилтнүүд, их, дээд сургуулийн багш нар, оюутнууд болон энэ салбарыг сонирхон судалж буй нийт хэрэглэгчдэд олон эх сурвалжаас бүрдсэн өөр өөр төрлийн тоон болон физик шинж чанартай өгөгдөл, мэдээллийг ашиглан тухайн нутаг дэвсгэрийн геоэкологийн нөхцөлийг шинжлэх ухааны үндэслэлтэйгээр үнэлэх, орон зайн тархалтыг тодорхойлох, судалгааны үр дүнг зураглан илэрхийлэх аргазүйн талаар үндсэн мэдлэг олгоход оршино.

НЭГДҮГЭЭР БҮЛЭГ. ГЕОЭКОЛОГИ, ТҮҮНИЙ ХӨГЖЛИЙН ЧИГ ХАНДЛАГА

1.1. Геоэкологийн судалгааны чиг хандлага

Геоэкологи нь харьцангуй сүүлийн үед бий болсон, салбар дундын шинжлэх ухааны салбар бөгөөд 1930-аад оны сүүлчээр Германы газарзүйч Тролл (1899–1975) анхлан “ландшафтын экологи” гэсэн нэр томъёог дэвшүүлж, улмаар 1966 онд энэхүү нэр томъёотой ижил утга бүхий “геоэкологи” гэсэн нэр томъёог санал болгожээ.

Геоэкологи амьд болон амьгүй байгалийн харилцан үйлчлэлээр тодорхойлогдох байгалийн цогцолборууд (экосистем)-ын доторх биологи-экологийн агуулга, зүй тогтлыг судалдаг шинжлэх ухааны салбар хэмээн тодорхойлдог (Тимашев, 2007).

Гэвч энэхүү тодорхойлолт нь газарзүйчид, биологичид, геологичдын дунд харилцан адилгүй агуулгаар хэрэглэгдэж ирсэн бөгөөд өнөөг хүртэл нэгдсэн ойлголт бүрэн төлөвшөөгүй байна (Тимашев, 2007; Осипов, 2016; Trofimov, 2021). Геоэкологийн тодорхойлолт, судалгааны объект, бүтэц, асуудал, арга зүйн хүрээ зэргийг эрдэм шинжилгээний бүтээлүүдэд олон янзаар тайлбарласан байдаг (Trofimov, 2022).

Осипов (1993) геоэкологи геосферүүдийн экологийн асуудлыг судалдаг салбар дундын шинжлэх ухаан бөгөөд газарзүй, геологи, экологийн “гурвалсан” холбоонд суурилсан тогтолцоо гэж тодорхойлсон (Братков & Овдиенко, 2005) бол Реймерс (1994) геоэкологи экологийн нэг салбар гэж үзэж, биосфер хүртэлх өндөр шатлалын (иерархийн) экосистем буюу геосистемийг судална гэж тодорхойлжээ.

Витченко (2002)-ийн үзсэнээр геоэкологи нь газарзүйн шинжлэх ухааны салбар бөгөөд хүмүүнлэг-экологийн хандлагад тулгуурлан газарзүйн орчин, түүнийг бүрдүүлэгч байгалийн болон байгаль-антропоген геосистемийг судалж, байгаль ашиглалтыг оновчтой болгох, нийгмийн тогтвортой хөгжлийг хангах онол, зарчим, норматив боловсруулахад чиглэдэг.

Братков ба Овдиенко (2005) геоэкологи газарзүй ба экологийн зааг дээр үүссэн салбар хэмээн үзэж, байгалийн орчныг унаган төрхөөр нь бус, харин хүний нөлөөлөлд өртсөн бодит төлөв байдлаар нь судалдаг гэж тодорхойлсон. Өөрөөр хэлбэл, геоэкологи нь хүний аж ахуйн үйл ажиллагааны үр дүнд газарзүйн бүрхэвч, биосфер, ландшафтад гарсан өөрчлөлтийг судална. Ийнхүү хүний нөлөөгөөр өөрчлөгдсөн орчин нь нийгмийн хөгжилд тодорхой хязгаарлалтыг бий болгодог.

Комарова (2010) геоэкологи байгалийн, нийгмийн болон эдийн засгийн ухааны аргуудыг хослуулан, хүрээлэн буй орчныг амьд организм, тэр дундаа хүний амьдралын үйл ажиллагаа, нийгэм-эдийн засгийн өөрчлөн хувиргах үйл явцын хүрээнд судалдаг салбар дундын шинжлэх ухаан гэж тодорхойлсон.

Trofimov (2021)-ын тодорхойлолтоор геоэкологи нь экосистемийн абиотик давхаргууд (экотоп)-ын экологийн үүрэг, бүрэлдэх зүй тогтол, мөн байгалийн болон техноген нөлөөллийн дор орон зай, цаг хугацаанд хэрхэн хувьсан өөрчлөгдөхийг судална гэсэн бол Kalymbek ба Bazarbayeva (2023) геоэкологи байгалийн болон байгаль-антропоген геосистемийн хүрээнд (ландшафтын бүс, физик-газарзүйн муж гэх мэт) экологийн хууль, зүй тогтолд тулгуурласан салбар дундын шинжлэх ухаан гэж үзжээ.

Эдгээр тодорхойлолтоос харахад, геоэкологи нь газарзүйн, экологийн болон тэдгээрийн зааг дээрх салбар дундын шинжлэх ухаан болох нь тодорхой байна.

Биологийн хандлагын үүднээс геоэкологи нь экологийн нэг салбар бөгөөд техноген нөлөөллөөс үүдэлтэй бүс нутгийн болон дэлхийн хэмжээний байгалийн орчны өөрчлөлтийг судалдаг (Тимашев, 2007). Харин геологийн хандлагын үүднээс үзвэл, хүний үйл ажиллагаа идэвхтэй явагддаг, шим мандлын эрдэслэг бүрэлдэхүүн болох геологи орчин, түүний антропоген нөлөөнд өөрчлөгдөх үйл явцыг судалдаг чиглэлийг геоэкологи гэж үздэг (Батсүх, 2002). Өөрөөр хэлбэл, геоэкологиийг геохими, геофизик, геодинамик зэрэг геологийн шинжлэх ухааны тогтолцооны хүрээнд авч үзнэ (Тимашев, 2007).

1970-аад оноос геологийн судалгаанд “геоэкологи” гэсэн нэр томъёо өргөн хэрэглэгдэх болсон. Геологи хайгуулын ажлын явцад геологи-экологийн судалгааг бие даасан чиглэл болгон нэвтрүүлж, сэдэвчилсэн газрын зургуудыг боловсруулж эхэлсэн (Ясаманов, 2003). Өөрөөр хэлбэл, геологи-хайгуулын ажлын хажуугаар экологийн судалгаа хийх замаар техноген нөлөө байгаль орчинд хэрхэн нөлөөлж буйг илрүүлэх “геологийн экологи” хэмээх шинэ салбар үүссэн. Энэхүү салбар хөгжлийнхөө явцад геоэкологи болсон гэж үздэг ба энэ урсгал нь уул уурхай, түүний үйлдвэрлэлийн бүхий л үе шатанд байгаль орчинд үзүүлэх нөлөөллийг судалдаг (Даш ба Мандах, 2011).

Геологийн зарим төлөөлөгчид “геоэкологи” гэдэг нэр томъёог явцуу утгаар “геологи + экологи” хэмээн тайлбарладаг (Ясаманов, 2003). Тухайлбал, Козловский (1989) геоэкологийн судалгааны объектыг ургамал, амьд амьтан, геологийн орчин, техноген объектуудыг багтаасан тогтолцоо гэж тодорхойлсныг болон Исаев нарын судлаачид геоэкологиийг литосфер дэх, эсвэл литосферийн үйл явцтай холбоотой экологийн асуудлыг шийдвэрлэхэд чиглэсэн геологийн шинжлэх ухааны салбар гэж үзсэнийг Семячков (2010) өөрийн бүтээлдээ онцолсон байдаг.

Геологийн хандлагын үүднээс геоэкологийн судалгааны объект нь геологийн төрөл бүрийн найрлага, олон түвшний бүтэцтэй байгалийн өвөрмөц бүтээгдэхүүн болох геологи орчин бөгөөд төрөл бүрийн эрдэслэг найрлагатай байгалийн өвөрмөц бүрдлүүд болох геосфер болон геологи-техноген тогтолцоог судална (Батсүх, 2002). Техноген нөлөөлөлд өртөж буй литосфер, ялангуяа түүний гадаргад ойр хэсэг нь геоэкологийн биш, харин геологийн экологийн судалгааны объект юм (Trofimov, 2008; Тимашев, 2007).

Газарзүйн шинжлэх ухаанд геоэкологи нь ихэвчлэн ландшафтын экологи гэсэн утгаар хэрэглэгдэж ирсэн бөгөөд геосистем буюу газарзүйн бүрхэвчийн хүрээнд явагдах бүхий л нийлмэл үйл явцад, ялангуяа, амьд биесийн орчинтой харилцах харьцааг судлахад чиглэгдэж иржээ (Даш ба Мандах, 2011).

Энд геоэкологийн судалгааны объектыг байгалийн болон байгаль-антропоген геосистем гэж үздэг (Витченко, 2002). Геосистем хэмээх нэр томъёог 1963 онд газарзүйч Сочава дэвшүүлсэн бөгөөд түүнээс хойш геосистемын тухай ойлголт Зөвлөлтийн болон Оросын газарзүйн шинжлэх ухааны бүтээлүүдэд суурь ойлголтын нэг болон өргөн хэрэглэгдсээр ирсэн (Семёнов & Снытко, 2013). Сочавагийн тодорхойлсноор “геосистем нь хамрах хүрээнээс үл хамааран өөр хоорондоо харилцан холбоотой байгалийн иж

бүрдлээс тогтох газарзүйн бүрхэвчид ажиглагдах зүй тогтолд захирагдах, иерархи бүтэц зохион байгуулалт бүхий цогцолбор нөхцөлийг үүсгэгч нэгдэл” юм.

Геосистем нь нэгдмэл чанартай ба байгалийг бүрдүүлэгч элементүүд түүнийг үүсгэдэг. Геосистемийн бүтэц нь ихэнх тохиолдолд хүний нөлөөн дор төрх байдлаа өөрчилсөн байдаг. Газарзүйн бүрхэвч нь ямар нэг хэмжээгээр хүний үйл ажиллагаагаар хувьсан өөрчлөгдсөн, хүний нийгэмтэй харилцан хамааралтай хөгжих геосистемүүдийн нэгдэл юм (Даш ба Мандах, 2011).

Сочавын боловсруулсан геосистемийн онол нь 1978 онд Австрийн биологич Бэрталангийн дэвшүүлсэн ерөнхий системийн онол (General System Theory)-д тулгуурлахын зэрэгцээ геохими, геофизикийн зарим зарчим, арга зүйн хандлагад үндэслэсэн (Frolova, 2019).

Геосистемийн онол, сургаал нь дараах 4 аксиомтай (Слепнева, 2016; Konovalova, 2025). Үүнд:

1. Иерархи бүтэц: Геосистем нь удирдах болон захирагдах бүтцүүдийн иерархи тогтолцоо юм. Геосистемүүд иерархи бүтэц зохион байгуулалтын түвшнүүдтэй байдаг ба доод түвшний нэгж нь дээд түвшний геосистемийн бүрэлдэхүүн хэсэг болдог.
2. Хэмжээст чанар: Геосистемд ажиглагдах зүй тогтлууд нь орон зайн тодорхой хязгаарт үйлчилнэ. Геосистем нь дэлхий гаригийн (газарзүйн бүрхэвч), бүс нутгийн, орон нутгийн гэсэн түвшнүүдэд хуваагддаг.
3. Инвариант чанар: Тогтмол инвариант бүхий геосистемийн төлөв байдлын өөрчлөлт нь түүний динамикийг илэрхийлнэ. Инвариант нь дагалдах хувьсах төлөв болон үндсэн бүтцийн хамт өөрчлөгдөхөд геосистемийн эволюци явагддаг.
4. Геомер ба Геохор: Газарзүйн орчны бүтэц нь нэг төрлийн (гомоген) болон олон төрлийн (гетероген) байх гэсэн хоёр эхлэлийн хослолоор тодорхойлогдоно.

Иерархи бүтэц нь геосистемийн хамгийн чухал шинж юм. Геосистемийн иерархи бүтцийн ачаар дэлхийн гадаргын энгийн нэгж талбай ч, гаригийн хэмжээний геосистем ч өөртөө өвөрмөц газарзүйн зохион байгуулалт бүхий динамик нэгдлийг бүрдүүлдэг. Дээд түвшний системийн зүгээс үзүүлэх суурь нөлөөлөл нь түүнийг бүрдүүлэгч нэгжүүдийн бүтэц, хөгжлийн зүй тогтлыг тодорхойлдог. (Snytko ба Semenov, 2008).

Энэхүү дотоод зохион байгуулалт нь ялгарал, нэгдэл, хөгжил болон тогтолцооны хэвийн үйл ажиллагааг хангах механизм зэргийг хамарсан цогц шинжтэй (Frolova, 2019). Хүний үйл ажиллагааны нөлөө нь зохион байгуулалтын байгалийн явцыг түргэсгэдэг бөгөөд энэ нь бодис, энергийн солилцоо багатай геосистемүүдэд илүү ажиглагддаг (Слепнева, 2016). Иерархи түвшнийг тодорхойлсноор байгалийн болон антропоген өөрчлөлтийн явцад систем хэр өөрчлөгдөж байгааг тогтоох боломжтой болдог (Konovalova, 2025).

Дэлхий гаригийн түвшний геосистемүүдэд газарзүйн бүрхэвч, байгалийн бүс, тивүүд, далай тэнгисүүд, бүс нутгийн түвшний геосистемүүдэд физик газарзүйн муж,

дэд муж, тойрог ордог бол орон нутгийн түвшний геосистемүүд нь ихэвчлэн мезо болон микро рельефийн хэлбэрүүдэд хамааралтай байдаг (Егорова, 2014).

Геосистемийг ангилахдаа түүний хэмжээст чанарыг харгалзан үзэх нь онол, арга зүйн хувьд ач холбогдолтой. Учир нь, газарзүйн зүй тогтлууд тодорхой иерархи бүтэц бүхий нэгэн түвшинд илэрч, тухайн түвшний ландшафтын нэгжүүд ижил төстэй онцлог шинжийг агуулдаг.

Талбайн хэмжээ томорч, орон зайн цар хүрээ нэмэгдэх тусам байгалийн үйл явц, үзэгдлийн өвөрмөц шинжүүд бүдгэрч, ерөнхий шинж давамгайлах хандлагатай болдог. Бодис болон энергийн урсгал нь системийн иерархийн түвшинтэй шууд хамааралтай. Геосистемийн эзлэх талбай бага байх тусам хөрш зэргэлдээх геосистемээс хамаарах хамаарал нь нэмэгддэг (Слепнева, 2016).

Геосистемийн динамик гэдэг нь тухайн тогтолцооны бүтцийг үндсээр нь өөрчлөхгүй, эргэх шинж чанартай өөрчлөлтүүдийг хэлнэ. Динамикт голчлон нэг инвариантын хүрээнд явагдах мөчлөгт өөрчлөлтүүд (хоног ба улирлын), мөн гадаад хүчин зүйлсийн (түүний дотор хүний аж ахуйн үйл ажиллагаа) нөлөөгөөр эвдрэлд орсон геосистем эргэн сэргэх үйл явцууд багтдаг. Динамик өөрчлөлтүүд нь геосистемийн анхны төлөв байдалдаа эргэн орох чадвар буюу түүний тогтвортой байдлыг илэрхийлнэ. Геосистемийн хувьсал өөрчлөлт гэдэгт геосистемийн бүтэц өөрчлөгдөж шинэ геосистем үүсгэх өөрчлөлтийг авч үздэг (Егорова, 2014).

Динамик ба хувьсал нь геосистемийн хөгжлийн нэгдмэл үйл явцын харилцан уялдаа холбоотой үе шат юм. Байгалийн бүрдэлд хуримтлагдсан динамик (тоон) өөрчлөлтүүд нь тодорхой цэгт хүрч чанарын үсрэлт хийснээр хувьсалд хүргэдэг (Snytko ба Semenov, 2008).

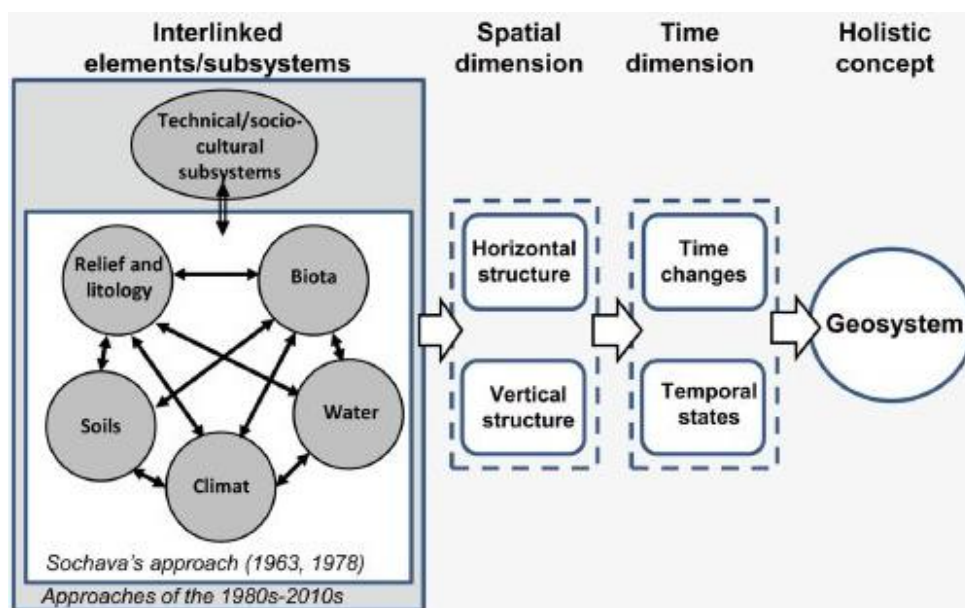
Эндоген болон экзоген хүчин зүйлийн нөлөөгөөр байгальд хоёр төрлийн геосистем үүсдэг. Геомер геосистем гэдэг нь нэг төрлийн (гомоген) бүтэцтэй геосистем бөгөөд энэ нь нэг төрлийн байгалийн төрх бүхий нутаг гэсэн ойлголтод тулгуурладаг. Геохор гэдэг нь олон төрлийн (гетероген) бүтэцтэй, орон зайн хувьд бие биетэйгээ залгаа орших геомерүүдийн нэгдэл юм. Геохор болон геомерүүд нь энгийнээс нарийн руу шилжих геосистемийн иерархийн эгнээг үүсгэдэг (Слепнева, 2016).

Геосистемийн онол сургаал нь байгалийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн харилцан үйлчлэл, бодис ба энергийн урсгал, орон зайн зохион байгуулалтын уялдаа холбоог системийн түвшинд тайлбарлах онол-арга зүйн суурийг бүрдүүлсэн нь газарзүйн болон экологийн интеграцчилсан судалгааны хөгжилд чухал түлхэц болсон (Frolova, 2019). Зураг 1-д Сочавагийн геосистемийн загварыг үзүүлэв.

Геосистемийн нэгдмэл байдал нь түүний харьцангуй бие даасан байдал, гадаад нөлөөлөлд тэсвэртэй чанар, бодит байгалийн хил хязгаартай байх, бүтцийн эмх цэгц болон гадаад холбоо хамаарлаасаа илүү дотоод холбоо хамаарал нь илүү нягт байдгаар илэрдэг. Энэхүү систем нь нээлттэй систем бөгөөд бодис, энергийн солилцоо, хувирал тасралтгүй явагдаж байдаг. Геосистем дэх бодис, энергийн солилцоо, хувирлын бүх үйл явцыг геосистемийн функц гэх ба дараах процессуудыг авч үздэг (Егорова, 2014). Үүнд:

- Нарны энергийн хувирал;
- Чийгний эргэлт;

- Геохимийн эргэлт;
- Биологийн метаболизм;
- Хүндийн хүчний нөлөөгөөр явагдах материалын механик шилжилт.



Зураг 1. Геосистемийн загвар (Эх сурвалж: Frolova, 2019)

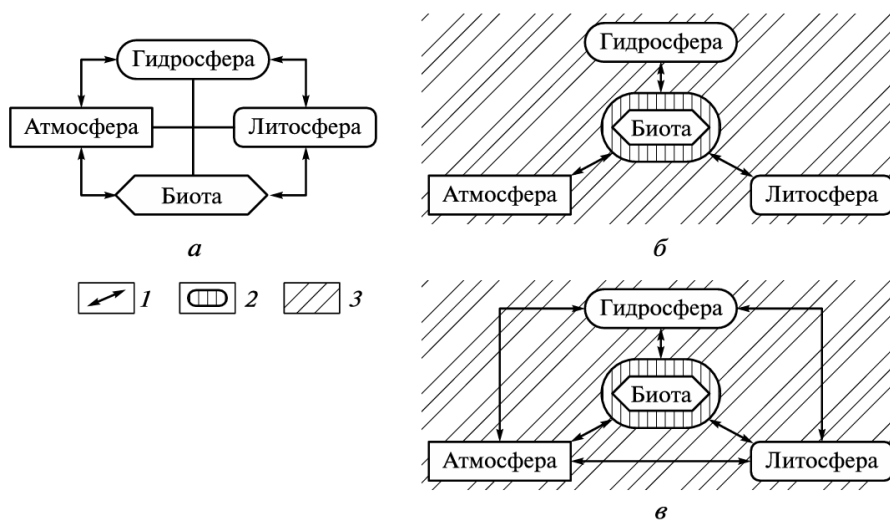
Аливаа системийн чухал шинж нь системийг бүрдүүлэгч бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн хоорондын холбоо хамаарал юм. Геосистемийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн (хотгор гүдгэр, уур амьсгал, ус, хөрс, ургамал, амьтан) хоорондын шууд болон буцах (урвуу ба эерэг) холбоо хамаарал нь системийн тогтвортой байдлыг тодорхойлох гол механизм болно.

Шууд буюу нэг чиглэлт холбоо гэдэг нь А бүрэлдэхүүн нь Б бүрэлдэхүүнд зөвхөн нэг чиглэлд нөлөөлөх үзэгдэл юм. Мөнх цас, мөсний хайлсан ус голын урсцад нөлөөлөх, хотгор гүдгэрийн нөхцөл хөрс үүсвэрийн үйл явцад нөлөөлөх зэрэг нь системийн шууд холбоо хамаарлын жишээ юм.

Сөрөг буцах холбооны үед үйл явцын үр дүн тухайн үйл явцыг сааруулж, тогтолцоог тогтворжуулан, систем анхны төлөвтөө эргэж орно. Харин эерэг буцах холбооны үед үйл явцын үр дүн тухайн үйл явцыг эрчимжүүлж, тогтолцоог анхны төлвөөс нь улам холдуулан, системийг тогтворгүй болгодог.

Геосистемийн бүтцийн орон зай болон цаг хугацааны бүх элементүүд нь түүний инвариант-ыг бүрдүүлдэг. Инвариант гэдэг нь тухайн системийг бусад системээс ялгах тогтвортой шинж чанаруудын нэгдэл юм.

Геоэкологийн судалгаа нь байгаль ашиглалтыг оновчтой болгох онол, арга зүйн үндэс бөгөөд хүний нийгмийн амьдрах орчныг хамгийн бага байгаль орчны өөрчлөлттэйгөөр оновчтой бүрдүүлэх, хадгалахтай холбоотой асуудлыг шийдвэрлэхэд чиглэгддэг. Геоэкологийн арга зүйн үндэс нь системийн шинжилгээ бөгөөд хүрээлэн буй орчныг агаар мандал, усан мандал, шим мандал, техносфертэй нягт уялдуулан судлах синергетик хандлага юм. Байгалийн системийг судлах газарзүйн, экологийн, геоэкологийн хандлагыг Зураг 2-д үзүүлэв (Короновский нар 2013).



Зураг 2. Байгалийн системийг судлах (а), экологийн (б), геоэкологийн (в) хандлага: 1 – бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн хоорондын уялдаа холбоо, 2 – системийн гол бүрэлдэхүүн, 3 – хүрээлэн буй орчин (Эх сурвалж: Короновский нар, 2013)

Геосистемийн хандлага болон экосистемийн хандлагын аль алин нь ерөнхий системийн онол болон хүрээлэн буй орчны системийн загварчлалын хэрэглээ боловч, тэдгээрийн хооронд хоёр үндсэн ялгаа бий.

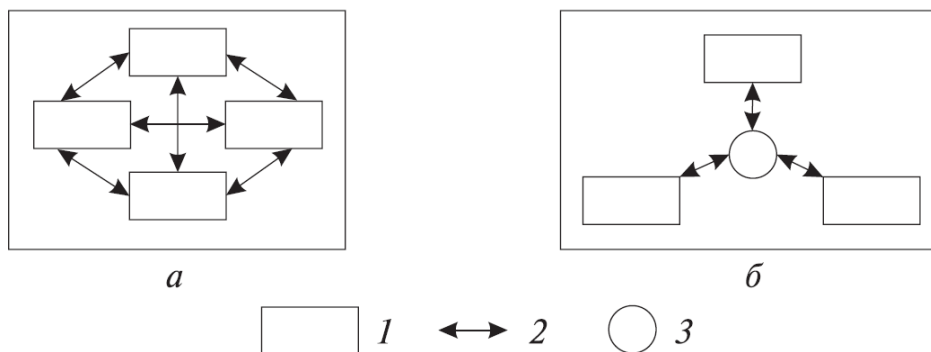
1-р ялгаа. Экосистемийн хандлага нь биоцентрик (амьд биет төвтэй) шинжтэй. Энэ хандлагад орчны абиоток элементүүд нь амьд организмуудад захирагдах байдлаар авч үздэг. Харин геосистемийн хандлага нь нутаг дэвсгэр шинжтэй бөгөөд биотик болон абиотик аливаа элементийг давуу байдлаар авч үздэггүй.

2-р ялгаа. Экосистемийн экологийн судалгаа хөгжлийнхөө эхний шатанд тодорхой нэг газар нутаг, эсвэл зүйлийн хүрээнд хязгаарлагддаг байсан. 1980-аад оноос орон зайн хэв шинж, хэмжээс рүү анхаарлаа хандуулж эхэлсэн. Харин геосистемийн парадигмд суурилсан ландшафт судлалын хувьд, орон зайн хэв шинж болон хэмжээс (дэлхийн түвшнээс орон нутгийн түвшин хүртэлх) нь үргэлж гол асуудал байсаар ирсэн (Frolova, 2019).

Геосистем ба экосистемийн ойлголтын агуулгын ижил ба ялгаатай талыг Зураг 3-д үзүүлэв.

Геоэкологид шинжлэх ухааны ерөнхий арга ба хандлагуудыг ашиглахаас гадна, физик газарзүй, нийгэм-эдийн засгийн газарзүй, экологийн салбарын эмпирик ажиглалт болон онолын нэгтгэн дүгнэх тусгай аргуудыг ашигладаг. Түүнчлэн математик, статистикийн аргуудыг геоэкологийн судалгаанд өргөн хэрэглэдэг (Гагина, 2024) ба шинжлэх ухааны дараах зарчмуудыг геоэкологийн судалгаанд идэвхтэй ашигладаг. Үүнд: үзэгдэл, үйл явцын харилцан уялдаа холбооны зарчим, газарзүйн орчны нэгдмэл байдлын зарчим, эмерджент чанар, түүхэн хөгжилтэй нь холбон авч үзэх зарчим,

экологийн зарчим, мэдээллийн дүн шинжилгээ, бүтэц-морфологийн дүн шинжилгээ зэрэг багтана (Витченко, 2002).



Зураг 3. Геосистем (а) ба экосистем (б)-ийн ойлголтын агуулгын адил ба ялгаатай тал. 1- системийн элементүүд, 2-системийн элементүүдийн хоорондын холбоо, 3-онцгой ач холбогдол өгч буй системийн элемент (Эх сурвалж: Гагина, 2024)

Геоэкологийн судалгааны гол онцлог нь үнэлгээний аргуудыг өргөнөөр ашигладагт оршино (Гагина, 2024). Байгалийн орчныг үнэлэх геоэкологийн хандлага нь янз бүрийн иерархи түвшний байгалийн болон антропоген өөрчлөлтөд орсон геосистемийн төлөв байдлыг оношлоход чиглэдэг; хүрээлэн буй орчин, түүний дотор хүний зүгээс геосистемд үзүүлэх нөлөөллийг шинжлэхэд; эдгээр нөлөөлөлд геосистем хэр зэрэг тогтвортой байгааг тогтоох; янз бүрийн төрлийн нөлөөллийн үед геосистемийн “хөгжлийн” траекторыг тодорхойлох; геосистемийн байгалийн экологийн потенциалыг үнэлэх зэрэгт чиглэдэг (Осипов, 2016).

Геоэкологийн судалгааны нэн тулгамдсан тэргүүлэх чиглэлүүдэд: (а) геосистемийн үйл ажиллагааг оновчтой болгохын тулд бодис, энергийн антропоген урсгалын чиглэл, эрчим, системийн тэсвэрлэх чадвар болон экологийн багтаамжийг судлах; (б) хүний амьдрах орчны чанарыг (байгалийн орчны чанар, амьдрах нөхцөлийн тав тух, экологийн аюулгүй байдал, нийгэм-эдийн засгийн тогтвортой байдал) үнэлэх; (в) Орон зайн технологи, ГМС-ийг ашиглан янз бүрийн зэрэглэл, зориулалт бүхий геосистемүүдийг зураглах, дүн шинжилгээ хийх замаар үүссэн геоэкологийн нөхцөл байдлыг судлах; (г) байгаль орчны бүрэлдэхүүн хэсгүүдэд үзүүлэх антропоген нөлөөллийн үр дагаврыг үнэлэх, загварчлах, урьдчилан таамаглах; (д) геоэкологийн төлөв байдлын индикатор (үзүүлэлт) болох бүрэлдэхүүн хэсгүүдээр дамжуулан геосистемийг судлах зэрэг чиглэлүүд багтаж байна (Гагина, 2024).

1.2. Геоэкологийн судалгааны тойм

Геоэкологи нь газарзүй, биологи, геологи зэрэг шинжлэх ухааны салбаруудын судалгааны арга зүй, онолын суурь дээр тулгуурлан хөгжиж ирсэн олон салбарын огтлолцлын шинжтэй судалгааны чиглэл юм (Baryshev нар 2019; Базаргүр, 2013).

Саушкин (1946), Реймерс (1994) нарын судлаачид геоэкологийн үнэлгээ, антропоген буюу хүний үйл ажиллагааны нөлөөллийн мониторинг, экологийн аюулгүй байдлын үнэлгээ зэрэг геоэкологийн практик чиглэлийг хөгжүүлэхэд чухал хувь нэмэр оруулсан.

Геоэкологи хэмээх нэр томъёо нь газарзүйчид, биологичид, геологичдын дунд өөр өөр агуулгаар хэрэглэгдэж ирсэн байдал нь Монгол орны геоэкологийн судалгааны чиг хандлага болон судлаачдын арга барилд мөн адил илэрч байна.

Геологийн шинжлэх ухааны үүднээс Монгол орны геоэкологиийг судалсан ажлуудыг геологи-хайгуул, инженер-геологийн хайгуул, газар доорх усны эрэл-хайгуулын судалгаатай уялдуулан болон зарим тохиолдолд бие даасан байдлаар хэрэгжүүлж ирсэн байдаг. Үйлдвэрийн томоохон төвүүд болон цэргийн суурин газруудын геологийн орчныг үнэлэх, геоэкологийн үнэлгээ хийх чиглэлийн судалгааны ажлууд 1990-ээд оны эхэн үеэс хийгдэж эхэлжээ.

Тухайлбал, 1992 онд Багануур дүүрэгт байрлаж байсан цэргийн ангийн дэвсгэр нутагт геологийн орчны геоэкологийн иж бүрэн үнэлгээ хийх судалгааны ажлыг хийсэн бөгөөд тус судалгааны хүрээнд хөрсний эвдрэл, ул хөрсний усны бохирдол, газрын гадаргын хотгор гүдгэрт гарсан өөрчлөлтийг судалж, геологийн орчинд учирсан хохирлын эдийн засгийн үнэлгээг тооцоолсон байна (Батсүх, 2002).

Мөн геологи-хайгуул болон гидрогеологи-геологийн хайгуулын ажлын явцад, түүнчлэн бие даасан байдлаар гүйцэтгэсэн геоэкологийн судалгааны ажлуудаас дараах судалгаануудыг дурдаж болно. Үүнд:

- 1993–1996 онд Ерөө болон Заамарын алтны дүүрэгт алтны шороон ордын олборлолт байгаль орчинд үзүүлэх нөлөөллийг үнэлэх, түүнийг бууруулах боломжийг тодорхойлох судалгаа;
- 1997 онд Заамарын алтны шороон ордын хүдрийн дүүрэгт геоэкологийн өнөөгийн төлөв байдалд үнэлгээ өгч, хэтийн төлөвийг тодорхойлох судалгаа;
- 1993 онд Улаанбаатар хотын нутаг дэвсгэрт гүйцэтгэсэн инженер-геологи, гидрогеологи, экологийн сэдэвчилсэн судалгаа;
- Улаанбаатар хотын дэвсгэр нутаг болон зэргэлдээх зарим дүүргийн бүс нутгийн геоэкологийн региональ судалгаа;
- 1999–2000 онд Ерөө, Бугант, Толгойт голуудын ай савд гүйцэтгэсэн геоэкологийн судалгаа;
- 2007–2009 онд хэрэгжүүлсэн “УГЗ-200 Дорнод Монгол-III” төслийн хүрээнд Дундговь аймгийн Говь-Угтаал, Цагаандэлгэр, Говьсүмбэр аймгийн Чойр, Хэнтий аймгийн Бор-Өндөр, Галшар, Баянхутаг, Дорноговь аймгийн Иххэт, Төв аймгийн Баян сумдын нутагт явуулсан геологи, ашигт малтмал, геоэкологийн судалгаа;

- 2008–2009 онд Дархан-Уул аймаг болон түүний зэргэлдээх нутаг дэвсгэрт хийсэн геоэкологийн судалгаа;
- 2010–2011 онд Сайншанд аж үйлдвэрийн цогцолборын орчмын талбай буюу Дорноговь аймгийн Сайншанд хот, Өргөн, Зүүнбаян сумдын нутагт гүйцэтгэсэн 1:25000 масштабын агаарын геофизикийн судалгаа;
- 2012–2014 онд Өмнөговь аймгийн Баян-Овоо, Номгон, Хүрмэн, Цогтцэций, Ханхонгор, Даланзадгад сум болон Дорноговь аймгийн Мандах сумын зарим нутгийг хамарсан 1:200000 масштабын гидрогеологи-геоэкологийн иж бүрэн судалгаа;
- 2013 онд Дорноговь аймгийн Сайншанд, Өргөн, Эрдэнэ, Замын-Үүд, Улаанбадрах, Хөвсгөл, Хатанбулаг, Мандах, Сайхандулаан сумдын нутгийг хамарсан 1:200000 масштабын гидрогеологи-геологи, геоэкологийн судалгаа;
- 2017–2019 онд Улаанбаатар хотын 9 дүүргийн нутаг дэвсгэрт хэрэгжүүлсэн “УБ геоэкологи-2017” геоэкологи, гидрогеологийн судалгаа;
- 2019–2022 онд Эрдэнэт хотын нутаг дэвсгэрт хэрэгжүүлсэн геоэкологи, гидрогеологийн сэдэвчилсэн судалгаа зэрэг болно.

Дээр дурдсан судалгаанууд нь Монгол орны янз бүрийн бүс нутагт геологийн орчны төлөв байдал, антропоген нөлөөлөл, байгаль орчны доройтлын түвшинг тодорхойлох, түүнчлэн геоэкологийн үнэлгээ хийхэд чухал суурь мэдээллийг бүрдүүлсэн байна. Ялангуяа Дорноговь, Дархан-Уул, Орхон аймагт хэрэгжүүлсэн геоэкологийн судалгааны ажлуудын хүрээнд дор дурдсан үндсэн үр дүнгүүдийг гарган авсан байна.

Дорноговь аймгийн Сайншанд хот, Өргөн, Зүүнбаян сумдын нутагт байрлах Сайншанд аж үйлдвэрийн цогцолборын орчмын талбайд 2010–2011 онд 1:25000 масштабын агаарын геофизикийн судалгаа гүйцэтгэсэн. Уг судалгааны хүрээнд 1:25000 болон 1:10000 масштабтай агаарын геофизикийн таван сувгийн (соронзон, уран, торий, кали болон нийлбэр цацраг идэвхжил) зураг зохиосноос гадна, 1:200000 масштабтай геологи, ашигт малтмал, соронзон орон, хүндийн хүчний орон, геоэкологи, радиометрийн зураг, түүнчлэн геологийн зүсэлт болон цацраг идэвхт элементүүдийн харьцааны зургуудыг боловсруулсан байна (<https://geonet.mris.mn>).

2013 онд Дорноговь аймгийн Сайншанд, Өргөн, Эрдэнэ, Замын-Үүд, Улаанбадрах, Хөвсгөл, Хатанбулаг, Мандах, Сайхандулаан сумдын нутаг дэвсгэрийг хамруулсан 1:200000 масштабын гидрогеологи–геологи, геоэкологийн судалгаа хийгдсэн. Судалгааны үр дүнгээр эдгээр нутгийн газрын доорх усны химийн найрлага, чанар нь геологи, гидрогеологи, геоморфологи, уур амьсгал зэрэг олон хүчин зүйлийн нөлөөгөөр эрдэсжилт болон хатуулаг өндөртэй, хлорид–натрийн бүлгийн ус зонхилж байгааг тогтоожээ. Мөн гидрогеологи–геоэкологийн судалгааны үр дүнд тулгуурлан аймаг, сумын төв болон суурин газруудад хатуу болон шингэн хог хаягдлыг төвлөрүүлэх тохиромжтой талбайнуудыг тодорхойлсон байна (<https://geonet.mris.mn>).

Орхон аймгийн төв Эрдэнэт хотын нутаг дэвсгэрт 2019–2022 онд 1:25000 масштабын геоэкологи, гидрогеологийн сэдэвчилсэн судалгаа гүйцэтгэжээ. Энэхүү судалгаанд хөрс (бэлчээр, тариалангийн талбай, хот суурин, уурхайн орчим, хөрсний

зүсэлт), гадаргын болон газрын доорх ус (гол, горхи, нуур, булаг, гар худаг, өрөмдмөл худаг, цооног, усны изотоп), цасны ус, агаар (NO₂, SO₂, PM2.5, PM10), агшин зуурын тоос, цагаан тоос (газрын гадарга болон ургамлын бүрхэвч дээрх), орчны цацраг идэвх (дозиметр, гаммаспектрометрийн хэмжилт, хөрсний дээж) болон орчны дуу чимээ зэрэг олон чиглэлээр геоэкологийн судалгаа хийсэн байна (<https://geonet.mris.mn>).

Геоэкологийн цогц судалгааны үр дүнг геоморфологи–ландшафтын нөхцөл, экзоген (гадаргын) үйл явц, эндоген (гүний) үйл явц, техноген тогтолцоо, объектуудын төрөлжилт, геохимийн нөхцөл (хөрс, гадаргын болон газрын доорх ус, ургамал, газрын гадаргын цагаан тоос, агаар, цас, орчны дуу чимээ, цацраг идэвхжилт) зэрэг үндсэн нэгжүүдээр нэгтгэн дүгнэсэн. Үүний үр дүнд, Эрдэнэт хотын суурьшлын бүсийн хөрсний үржил шимийн түвшин, хүнд металлын агууламж, агаарын чанар, цагаан тоосны тархалт ба шилжилт, газрын доорх усны бохирдлын түвшинг тодорхойлсон байна (<https://geonet.mris.mn>).

Газарзүйн шинжлэх ухааны үүднээс Монгол орны геоэкологийн нөхцөлийг тодорхойлох, үнэлэх судалгааны ажлууд нь улсын, бүс нутгийн болон аймгийн түвшинд хэрэгжсэн өөр өөр зорилго, чиглэл бүхий олон төрлийн судалгааны хүрээнд хийгдсээр иржээ. Эдгээр судалгаанд геосистемийг бүрдүүлэгч байгалийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг дангаар нь болон цогц байдлаар судалсан байна.

Геосистемийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг судлахдаа газрын нөөц ба ашиглалт, усны нөөц ба ашиглалт, хөрсний бохирдол, элэгдэл ба эвдрэл, ургамлын нөөц ба ашиглалт, агаарын чанар зэрэг чиглэлүүдийг хамруулан авч үзжээ. Үүнээс гадна, геосистемийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн харилцан үйлчлэл, зайн зохион байгуулалт, өөрчлөлтийн зүй тогтлыг цогцоор нь авч үзсэн ландшафтын судалгаа, экологийн судалгаа, тухайлбал цөлжилт, газрын доройтлын чиглэлээр судалгаанууд өргөн хийгдэж, олон тооны эрдэм шинжилгээний бүтээлүүд нийтлэгдэн, судалгааны эргэлтэд орсон байна (Даш ба Мандах, 2011).

Эдгээр судалгааны ажлуудаас заримыг дурдвал:

2005–2006 онд ШУА-ийн Геоэкологийн хүрээлэнд хэрэгжсэн “Монгол орны геоэкологийн зарим асуудал” сэдэвт шинжлэх ухаан, технологийн төслийн хүрээнд ижил нэртэй нэгэн сэдэвт бүтээл бий болсон. Уг бүтээлд Монгол орны геоэкологийн төлөв байдал, түүний үндсэн бүрэлдэхүүн хэсгүүд болох хөрс, ой, ургамал, усны нөөц, мөн геоэкологийн өөрчлөлт, байгалийн болон хүний үйл ажиллагааны нөлөөгөөр доройтсон геоэкологийн орчныг нөхөн сэргээх арга, технологи, түүнчлэн геоэкологийн судалгааны арга зүйг боловсронгуй болгох асуудлуудыг авч үзсэн байна.

Түүнчлэн тус судалгаанд Монгол орны геоэкологийн судалгааны өнөөгийн байдалд үнэлэлт, дүгнэлт өгч, судалгааны арга зүй, зарчмыг боловсронгуй болгох замаар байгаль орчинд нөлөөлөх байдлын үнэлгээний (БОНБҮ) чанар, түвшин, аргачлалыг сайжруулах боломжуудыг тодорхойлон, санал болгосон байна.

Монгол–Оросын хамтарсан Биологийн иж бүрэн экспедицийн олон жилийн судалгааны үр дүнд олон тооны ном, эрдэм шинжилгээний өгүүлэл, сэдэвчилсэн газрын зураг, атлас, нэгэн сэдэвт бүтээлүүд хэвлэгдэн нийтлэгдсэн. Эдгээр бүтээлүүдийн нэг

болох “Экосистемы бассейна Селенги” (2005) хамтын бүтээлд Сэлэнгийн сав газрын газарзүйн байршил, байгалийн нөхцөл, нөөц ба нөөцийн ашиглалт, экосистемийн бүтэц, төлөв байдал, экосистемийн өөрчлөлт, доройтол, түүнд нөлөөлөх байгалийн болон антропоген хүчин зүйлс, мөн байгаль хамгааллын асуудлыг цогц байдлаар авч үзжээ (Отчёт Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции, 2005).

Тус бүтээлд газар ашиглалтын янз бүрийн хэлбэрүүд экосистемд үзүүлэх нөлөөллийн зэргийг тодорхойлон, тэдгээрийн орон зайн тархалтыг тодорхойлсон байна.

Мөн уг экспедицийн олон жилийн судалгааны үр дүнд 1:1000000 масштабтай “Ecosystems of Mongolia” сэдэвчилсэн зураг (Vostokova and Gunin, 1995), түүнчлэн “Ecosystems of Mongolia Atlas” атлас (Gunin and Saandar, 2019) боловсруулагдсан. Эдгээр бүтээлүүдэд Монгол орны экосистемийн өнөөгийн төлөв байдал, түүнд нөлөөлж буй антропоген хүчин зүйлийн эрчим, орон зайн тархалтыг зураглан харуулсан байдаг.

Дээрх сэдэвчилсэн зураг болон атласт экосистемд нөлөөлөх антропоген хүчин зүйлсэд бэлчээр ашиглалт, ойн түймэр, мод бэлтгэл, хадлан, тариалангийн газар, хот суурин газрын нөлөө зэрэг хүчин зүйлсийг авч үзэж, тэдгээрийн нөлөөллийн зэргийг маш сул, сул, дунд зэрэг, хүчтэй, маш хүчтэй гэсэн ангиллаар үнэлэн зурагласан байна.

Монгол орны ландшафтын бүтэц, тархалтын зүй тогтлыг тодорхойлох, ангилах, зураглах, үнэлэх чиглэлээр олон тооны судалгааны ажлууд хийгдэж ирсэн бөгөөд эдгээр судалгааны үр дүнд тус орны ландшафтын онол, практикийн ач холбогдол бүхий судалгааны арвин эх сурвалж бүрдсэн байна (Даш ба Мандах, 2011). Тухайлбал, “Туул, Хараа, Ерөө голуудын сав нутгийн ландшафтын бүтэц, өөрчлөлт” (2005–2007) сэдэвт судалгааны ажлын хүрээнд тухайн сав нутгийн ландшафтын гадны нөлөөнд өртөх байдлыг үнэлж, ландшафт–нутаг дэвсгэрийг зохистой ашиглах бүсүүдийг тодорхойлсон (Энхтайван нар 2007).

“Тариалан бүхий нутгийн ландшафт, түүний экологи” (2008–2010) сэдэвт судалгааны ажлын хүрээнд Монгол орны тариалангийн гол бүс нутгийн төлөөлөл болгон Дархан-Уул аймагт ландшафтын судалгаа явуулж, аймгийн хэмжээнд ландшафт–экологийн үнэлгээ хийсэн. Мөн Орхон сумын нутаг дэвсгэрт хүний хүчин зүйлийн нөлөөлөлд өртөх байдлын үнэлгээ болон ландшафтын тогтвортой байдлын нарийвчилсан үнэлгээг хийж, тус сумын хэмжээнд ландшафт–нутаг дэвсгэрийг зохистой ашиглах бүсчлэлийг боловсруулжээ (Даш нар 2010).

“Хангайн өмнөх голуудын сав нутгийг зохистой ашиглах газарзүйн үндэслэл (Байдраг, Түй, Таац, Онги голуудын сав нутгийн жишээн дээр)” (2008–2010) сэдэвт судалгааны ажлын хүрээнд судалгааны талбайн ландшафтад гарсан өөрчлөлтүүдийг тодорхойлсон. Судалгааны дүнгээр ландшафтын өөрчлөлт нь уур амьсгалын дулаарал, ашигт малтмалын эмх замбараагүй олборлолт, бэлчээрийн хэт ашиглалт, ой модны огтлолт зэрэг байгалийн болон хүний үйл ажиллагааны хавсарсан нөлөөллийн үр дагавар болохыг тогтоосон. Үүний улмаас байгалийн хам бүрдлүүд өөрчлөгдөж, экосистемийн тэнцвэрт байдал алдагдан, улмаар цөлжилтийн үйл явц эрчимжих нөхцөл бүрдэж байгааг илрүүлсэн байна (Энхтайван нар 2010).

“Ландшафтын бүтэц, өөрчлөлт, төлөвлөлт, зохистой бүсчлэл (Монгол орны зүүн бүсийн жишээн дээр)” (2014–2016) сэдэвт судалгааны ажлын хүрээнд Хэнтий, Дорнод,

Сүхбаатар аймгийн ландшафтын өөрчлөлт, түүнд нөлөөлж буй хүчин зүйлсийг тодорхойлж, ландшафтын гаднын нөлөөнд өртөх эрсдэлийн үнэлгээг хийсэн. Судалгааны үр дүнд тулгуурлан Монгол орны зүүн бүс нутгийн ландшафт–нутаг дэвсгэрийг зохистой ашиглах найман бүс-ийг тогтоожээ (Энхтайван нар 2016).

“Монгол орны байгалийн бүсүүдийн ландшафтын экологийн чадавхын үнэлгээ” (2017–2019) сэдэвт судалгааны ажлын хүрээнд Монгол орны нутаг дэвсгэрийг экологийн чадавх буюу экологийн нөөцийн чадавхын үүднээс үнэлж, зурагласан байна. Судалгаанд ландшафтыг бүрдүүлэгч үндсэн элемент тус бүрээр болон нэгдсэн байдлаар ландшафтын экологийн чадавхыг үнэлэх арга зүйг боловсруулсан бөгөөд судалгааны үр дүнгээс “Монгол орны ландшафтын экологийн чадавх” нэгэн сэдэвт бүтээл хэвлэгдсэн. Тус судалгааны хүрээнд ландшафтын тогтвортой байдлыг 8 шалгуур үзүүлэлтээр үнэлж, Монгол орны нийт нутаг дэвсгэрийн 16.7 % нь маш сул, 28.3 % нь сул, 23.9 % нь дунд зэрэг, 16.4 % нь сайн, 9.2 % нь маш сайн гэсэн ангилалд хамаарч байгааг тогтоосон байна. Мөн Монгол орны байгалийн бүс, бүслүүрийн физик газарзүйн тодорхойлолтыг ландшафтын бүрэлдэхүүн хэсэг тус бүрээр өгсөн байна (Авирмэд нар 2020).

ОХУ болон Монгол Улсын ШУА-ийн эрдэмтэн судлаачдын хамтран туурвисан томоохон бүтээл болох “Байгаль нуурын сав газрын экологийн атлас”-д тус сав газрын экологийн төлөв байдал, хувьсал өөрчлөлт, түүнд нөлөөлж буй байгалийн нөхцөл, байгалийн нөөц, нийгэм-эдийн засгийн хүчин зүйлс, байгаль хамгааллын асуудлыг цогц байдлаар үнэлж, зурагласан байна.

Уг атласт Байгаль нуурын сав газрын геосистемүүд, ландшафтын тогтвортой байдал, ландшафтын гаднын нөлөөлөлд мэдрэг байдал, ландшафтын экологийн чадавх, ландшафтын экологийн үүрэг зэрэг үзүүлэлтүүдийг тал бүрээс нь үнэлж, дүгнэсэн судалгааны ажлын үр дүнг сэдэвчилсэн зургийн хэлбэрээр тусгасан нь онол, практикийн чухал ач холбогдолтой болсон байна (ОХУ-ын ШУА-ийн Сибирийн салбарын Газарзүйн хүрээлэн & Монгол Улсын ШУА-ийн Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэн, 2015).

Мөн Монгол–Германы хамтарсан “Төв Азийн усны нөөцийн нэгдсэн менежмент: Загвар бүс нутаг Монгол (УННМ–МоМо)” судалгааны төсөл Хараа, Ерөө голуудын сав газарт 2006–2018 оны хооронд гурван үе шаттайгаар хэрэгжсэн. Тус төсөл нь Төв Азийн хэмжээнд усны нөөцийн тулгамдсан асуудлуудыг тодорхойлох, бүс нутгийн усны нөөцийг хамгаалах, усны нөөцийн нэгдсэн бөгөөд тогтвортой менежментийг боловсруулах зорилготой байсан болно (Freie Universität Berlin, n.d.).

Төслийн хүрээнд судалгааны талбайн байгаль–нийгмийн системийн харилцан үйлчлэл, тэдгээрт гарч буй динамик өөрчлөлтийг тодорхойлох, мөн бодлого, технологийн шийдлүүдийг туршин нутагшуулах судалгааны ажлуудыг гүйцэтгэсэн. Судалгааны үр дүнд, уул уурхайн үйлдвэрлэл болон усалгаатай газар тариалангийн талбай нэмэгдсэнтэй холбоотойгоор усны хэрэглээ тасралтгүй өсөж байгааг тогтоосон. Үүнтэй зэрэгцэн 1990-ээд оны дунд үеэс эхлэн олон жил дараалан хуурайшилт үргэлжилж, ургамлын бүрхэвч талхлагдах, ойн талбай эрс багасах зэрэг өөрчлөлтүүд ажиглагдсан бөгөөд үүний улмаас гадаргын усны урсац бүрдэлт буурч, зарим гол, горхи хэсэгчлэн ширгэх хандлага илэрч байгааг тогтоосон байна (German Federal Ministry for Education and Research (BMBF), n.d.).

Мөн газрын доорх болон гадаргын усны нөөц химийн бодисоор бохирдох явдал нэмэгдэж байгаа нь усны экосистемд сөргөөр нөлөөлж, улмаар орон нутгийн хүн амын ундны усны хангамжид ноцтой эрсдэл учруулах магадлалтай байгааг тогтоожээ. Судалгааны үр дүнд тулгуурлан судалгааны талбайн хэмжээнд геоэкологийн тулгамдсан асуудлуудыг тодорхойлж, усны нөөцийг хамгаалах, усны хэмнэлттэй хэрэглээг нэвтрүүлэх, бохир усны цэвэрлэгээний үр ашигтай технологийг хэрэгжүүлэх шаардлагатайг онцолжээ (German Federal Ministry for Education and Research (BMBF), n.d.).

“Хуурай, гандуу, чийг дутмаг бүс нутагт байгаль, нийгэм, эдийн засгийн олон хүчин зүйлсийн нөлөөгөөр тодорхойлогдох эх газрын экосистемд гарч буй өөрчлөлт, улмаар тэдгээрийн нийгэмд үзүүлэх байгалийн үйлчилгээний чадавх сулрах үйл явцыг газрын доройтол буюу цөлжилт гэж тодорхойлдог” (Мандах, 2017). Энэхүү тодорхойлолтоор илэрхийлэгдэх цөлжилтийн асуудал нь Монгол орны геоэкологийн тулгамдсан гол асуудлуудын нэг юм.

Цөлжилт, газрын доройтлын чиглэлээр манай үндэсний болон олон улсын эрдэмтдийн хамтарсан олон судалгааны ажил хийгдэж, тэдгээрийн үр дүн эрдэм шинжилгээний бүтээлүүд болон хэвлэгдэн нийтийн хүртээл болсон байдаг ба Монгол орны цөлжилтийн үйл явцыг үнэлэх, зураглах чиглэлээрх судалгааны ажлууд 1990-ээд оноос эхэлсэн гэж үздэг (Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэн, 2014).

Цөлжилтийн төлөв байдал, учир шалтгаан, нөлөөлөх хүчин зүйлс, үр дагаврыг тодорхойлох, мөн цөлжилтийг сааруулах технологийн туршилт, судалгааны чиглэлээр дараах томоохон судалгааны ажлууд хэрэгжсэн байна. Үүнд:

- “Говь, хээрийн бүсийн цөлжилттэй тэмцэх шинжлэх ухаан, технологийн үндэслэл” (2001–2003);
- “Монгол орны цөлжилтийн динамик, түүний хандлага” (2004–2008);
- “Хуурай, гандуу бүс нутгийн зарим төв суурин газрын цөлжилт, түүнтэй тэмцэх, сааруулах арга хэмжээний менежмент” (2008–2010);
- “Төв Монголын хээрийн бүсийн цөлжилтийн төлөв байдал, хүчин зүйлийн үнэлгээ, зураглал” (2009–2012);
- “Төв Монголын хээрийн бүсийн загвар нутгийн хүрээн дэх мониторингийн судалгаа” (2013–2015);
- “Торгоны замын эдийн засгийн бүсийн улс орнуудад элс бэхжүүлэх, ургамлан нөмрөгийг нөхөн сэргээх арга техник” сэдэвт олон улсын хамтарсан судалгаа (2017–2019);
- “Хээрийн бүсэд цөлжилттэй тэмцэх технологийн туршилт судалгаа” (2018–2020) зэрэг судалгааны ажлууд орно (Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэн, 2022).

Үндэсний хэмжээнд цөлжилтийн үйл явцыг үнэлж зурагласан цөлжилтийн зураг 1990, 2000, 2006, 2015 онуудад боловсруулагдсан бол цөлжилт, газрын доройтолд нөлөөлөгч хүчин зүйлс, газрын доройтлын хэлбэрүүд болон цөлжилтийн нэгдсэн үнэлгээний зургийг багтаасан томоохон зурагзүйн бүтээл болох “Цөлжилтийн атлас”

2014 болон 2020 онуудад хэвлэгдэн гарсан нь Монгол орны цөлжилт, газрын доройтлын судалгааны чухал үр дүнгийн нэг юм (УЦУОСМХ, 2021).

Түүнчлэн ШУА-ийн Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэн нь Монгол орны байгаль газарзүйн нөхцөл, байгалийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн төлөв байдал, байгалийн нөөц, тэдгээрийн хувьсал өөрчлөлтийн харилцан хамаарлыг тодорхойлох, байгаль экологийн тэнцвэрт байдлыг хадгалах, байгалийн нөөцийг хамгаалах чиглэлээр өргөн хүрээний судалгааг тогтмол явуулж ирсэн (Газарзүй, Геоэкологийн хүрээлэн, 2022).

Эдгээр судалгааны үр дүнд олон тооны эрдэм шинжилгээний тайлан, нэгэн сэдэвт бүтээл, эрдэм шинжилгээний өгүүлэл, газрын зураг, атласууд хэвлэгдсэн байдаг. Тухайлбал, тус хүрээлэнгээс эрхлэн гаргадаг “Монгол орны газарзүй, геоэкологи”, мөн “Монгол орны геоэкологийн асуудал” (2000–2016) зэрэг сэтгүүлүүдэд дээрх чиглэлээр маш олон тооны эрдэм шинжилгээний өгүүлэл хэвлэгдэн, олны хүртээл болсон байна. Улс, бүс нутаг, аймаг, орон нутгийн түвшинд хэрэгжсэн төрөл бүрийн сэдэвчилсэн судалгааны ажлын үр дүнд бий болсон эдгээр эрдэм шинжилгээний бүтээлүүд нь Монгол орны геоэкологийн төлөв байдал, түүнд гарч буй өөрчлөлтийг тодорхойлох, үнэлэхэд чухал судалгааны эх сурвалж материал болж байгаа юм.

1.3. Хүрээлэн буй орчны судалгаанд олон шалгуурт шийдвэр гаргалтын аргыг ашигласан байдал

Геоэкологийн үнэлгээ нь байгалийн суурь хүчин зүйлс, орчны экологийн төлөв байдал, геологийн тогтворжилт болон техноген нөлөөллийн харилцан үйлчлэлд тулгуурласан цогц ойлголт бөгөөд зөвхөн нэг шалгуур үзүүлэлтээр илэрхийлэх боломжгүй, олон хэмжээс бүхий систем юм. Иймээс байгаль орчны үнэлгээнд олон шалгуурт шийдвэр гаргалтын (Multi-Criteria Decision Making, MCDM) аргыг өргөн ашиглаж ирсэн.

Энэ чиглэлийн онолын үндсийг Saaty (1980) аналитик шаталсан арга (Analytic Hierarchy Process-АНП)-аар, Hwang ба Yoon (1981) олон үзүүлэлтэд шийдвэр гаргалтын онолоор, Zeleny (1982) олон шалгуурт үнэлгээний системчилсэн хандлагаар хөгжүүлсэн. Харин газарзүйн мэдээллийн систем (ГМС)-д суурилсан олон шалгуурт үнэлгээний аргуудын хэрэглээг Malczewski (2006) нэгтгэн дүгнэж, орон зайн өгөгдөлд тулгуурласан шийдвэр гаргалтын арга зүйн суурийг тодорхойлсон байдаг. Эдгээр судалгаанууд нь орон зайн мэдээлэлд тулгуурлан олон үзүүлэлтийг нэгтгэж, интеграцчилсан индекс байгуулах арга зүйн үндсийг бүрдүүлсэн юм.

Монгол улсад шийдвэр гаргалтын аргыг ашигласан судалгааны ерөнхий чиг хандлагыг авч үзвэл газарзүйн мэдээлэлд тулгуурласан шийдвэр гаргалтын арга, аналитик шаталсан арга дээр суурилсан, мөн эдгээр 2 аргыг хослуулсан гэж үзэж болохоор байна.

Зайнаас тандан судлал болон газарзүйн мэдээллийн системийн өгөгдлүүдэд тулгуурласан шийдвэр гаргалтын арга, техникийг ашигласан судалгаанууд 2000-аад оноос хийх болсон бөгөөд Amarsaikhan нар (2009) зайнаас тандан судлалын мэдээ болон ГМС-ийн аргуудыг ашиглан орчны өөрчлөлтийн судалгааг хийж, олон эх сурвалжийн өгөгдлийг нэгтгэн ашиглах боломжийг харуулсан.

Монгол улсын хэмжээнд ГМС-д суурилсан шийдвэр гаргалтын аргыг ашигласан судалгаануудын нэг бол цөлжилтийн судалгаа бөгөөд цөлжилтийн үйл явцыг НҮБ-ын Цөлжилттэй тэмцэх конвенциос гаргасан шалгуур үзүүлэлтүүдийг үндэслэн үнэлжээ (Даш ба Мандах, 2009).

2014 онд уур амьсгалын суурь нөхцөл, гангийн нормчилсон индексийн эрчим, гангийн нормчилсон индексийн давтагдал, хөрс, усаар элэгдэж эвдрэх үйл явцын өөрчлөлт, ургамлан нөмрөгийн төлөв байдлын өөрчлөлт, ургамлан нөмрөгийн өөрчлөлтийн хандлага, малын тоо толгойн өөрчлөлт, хүн амын өөрчлөлт зэрэг шалгуур үзүүлэлтийг нэгтгэн дүгнэж, Монгол Улсын цөлжилтийн атласыг олны хүртээл болгосон (Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэн, 2014) ба энэ нь ГМС-ийг олон шалгуурт үнэлгээний аргатай хослуулан ашигласан цогц судалгаа болсон юм.

Myagmartseren (2017) Төв аймгийн Борнуур сумын тариалангийн газрын тохиромжтой байршлыг ГМС-д суурилсан олон шалгуурт үнэлгээний аргаар тодорхойлсон бөгөөд тус судалгаанд хөрсний физик, химийн шинж чанар, газрын гадаргын нөхцөл зэрэг 7 үзүүлэлтийг авч, 3 ангиллын хүрээнд үнэлсэн байна. Үүнтэй адил аргаар Puntsag (2014) 6 шалгуур үзүүлэлтээр хөдөө аж ахуйн зориулалттай газар болон суурин газарт тохиромжтой газрыг ялган загварчилсан. Эдгээр судалгаа нь Монголд ГМС болон олон шалгуурт шийдвэр гаргалтын аргыг хослуулан газар ашиглалтын төлөвлөлтөд ашиглах боломжийг харуулсан.

Dalantai et al., (2021) Булган аймгийн жишээн дээр газрын доройтлын орон зайн болон цаг хугацааны өөрчлөлтийг үнэлэх зорилгоор ургамлан бүрхэвч, хуурайшлын индекс, хур борооны бүтээмжит байдал, хүний нөлөөллийн индекс зэрэг индикаторуудыг ашиглан интеграцчилсан үнэлгээ хийж, судалгааны талбайн 72.78% нь тодорхой хэмжээгээр газрын доройтолд өртсөн болохыг тогтоосон бөгөөд бэлчээрийн хэт ашиглалт нь газрын доройтлын гол хүчин зүйл болохыг онцолжээ. Энэ нь ГМС-д тулгуурласан шийдвэр гаргалтын үнэлгээний жишээ юм.

Natsagdorj et al., (2022) Хөвсгөл аймгийн ойн нөхөн сэргээлтийн тохиромжтой байдлыг тодорхойлох зорилгоор ГМС болон олон шалгуурт шийдвэр гаргалтын аргыг ашигласан. Тус судалгаанд байгалийн болон нийгэм, эдийн засгийн 14 шалгуур үзүүлэлт ашиглан ойн тохиромжтой байдлын үнэлгээг хийж, Хөвсгөл аймгийн нутаг дэвсгэрийг ойн нөхөн сэргээлтийн тохиромжтой байдлаар 3 ангид хуваасан байна. Судалгааны үр дүнд Хөвсгөл аймгийн нутаг дэвсгэр нь ойжуулалт, ойн нөхөн сэргээлтийн үйл ажиллагаа явуулах боломжтой болохыг харуулсан. Тус судалгаанд байгалийн хүчин зүйлсээс гадна малчдын улирлын нүүдэл, зам, суурин газар зэрэг нийгэм, эдийн засгийн хүчин зүйлсийг орон зайн үнэлгээнд оруулсан нь судалгааны үр дүнг илүү бодитой болгосон байна.

Otgonbayar et al., (2017) Монгол орны хэмжээнд тариалангийн газрын тохиромжтой байдлыг үнэлэх зорилгоор ГМС-д суурилсан олон шалгуурт шийдвэр гаргалтын арга болон аналитик шаталсан аргуудыг хослуулан ашигласан бөгөөд судалгаанд 17 шалгуур үзүүлэлт ашиглаж, аналитик шаталсан аргад үзүүлэлтүүдийн жинг тодорхойлж нэгтгэсэн байна. Судалгааны үр дүнд Монгол орны хэмжээнд шинээр тариалан эрхлэх

боломжит бүсүүдийг тодорхойлж, газар ашиглалтын төлөвлөлтийн суурь зураглал боловсруулжээ.

Сүүлийн үед, уур амьсгалын өөрчлөлтийг харгалзан үзэж нэгтгэн дүгнэх, үнэлэх судалгаанууд хөгжиж байна. Тухайлбал, Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөлөл, эмзэг байдал, эрсдэлийн үнэлгээг олон шалгуурт шийдвэр гаргалтын арга дээр суурилан хийсэн бөгөөд тус судалгаанд байгаль орчны шалгуур үзүүлэлтэд биологийн олон янз байдал, экосистем, нийгмийн үзүүлэлтэд эрүүл мэнд, амьжиргаа, ажилгүйдэл, эмзэг бүлэг, нийгмийн үйлчилгээ, хүн амын шилжилт хөдөлгөөн, эдийн засгийн үзүүлэлтэд өмч ба дэд бүтэц, бизнес болон зах зээлийн үйл ажиллагаа зэргийг хамруулсан байна (БОАЖЯ, 2022).

Түүнчлэн Tovuuodorj et al., (2022) Монгол орны хэмжээнд ландшафтын тогтвортой байдлыг үнэлэх зорилгоор байгалийн хүчин зүйлсийн параметруудийг ашиглан онооны загварт суурилсан үнэлгээний арга боловсруулсан бөгөөд судалгаанд ASPID (Analysis and Synthesis of Parameters under Information Deficiency) арга зүйн зарчмыг ашиглаж, ландшафтын тогтвортой байдлыг тодорхойлох 8 шалгуур үзүүлэлтийг сонгон авч, 5 түвшний ангиллаар үнэлсэн.

Эдгээр шалгуур үзүүлэлтэд цацрагийн баланс, хуурайшлын индекс, салхины горим, биологийн үр ашгийн индекс зэрэг багтсан бөгөөд эдгээрийг ГМС болон зайнаас тандан судлалын өгөгдөлтэй хослуулан орон зайн тархалтаар үнэлжээ. Судалгааны үр дүнд Монгол орны нутаг дэвсгэрийг ландшафтын тогтвортой байдлын чадавхаар маш сул, сул, дунд, сайн, маш сайн гэсэн ангиллаар зурагласан бөгөөд энэ нь ландшафтын тогтвортой байдлыг орон зайн үнэлгээгээр тодорхойлох системчилсэн судалгааны нэг болсон юм.

Хүрээлэн буй орчны судалгааны чиглэлээр аналитик шаталсан процесс (АНР) аргыг ашиглан Монгол орны ландшафтын экологийн чадавхыг үнэлэх цогц судалгааг ШУА-ийн Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэнгийн Физик газарзүйн салбарын судлаачид гүйцэтгэсэн байна (Авирмэд нар 2020). Тус судалгаанд ландшафтын экологийн чадавхыг олон шалгуурт үнэлгээний арга зүйд тулгуурлан системтэйгээр тодорхойлж, байгалийн болон нийгэм-эдийн засгийн хүчин зүйлсийн харилцан уялдаа, нөлөөллийг нэгдсэн байдлаар авч үзсэн.

Судалгааны ажлыг нийт 11 бүлэгт ангилан боловсруулсан бөгөөд экологийн хүчин зүйлийн ерөнхий үнэлгээ, экологи-геоморфологийн чадавхын үнэлгээ, чулуун мандлын гадаргын хэсгийн экологи-геологийн чадавхын үнэлгээ, уур амьсгалын экологийн чадавхын үнэлгээ, ландшафтын усан хангамжийн чадавхын үнэлгээ, хөрсний экологийн чадавхын үнэлгээ, ургамлын экологийн чадавхын үнэлгээ, ландшафтын тогтвортой байдлын чадавхын үнэлгээ, ландшафтын экологи-эдийн засгийн чадавхын үнэлгээ, ландшафтын экологийн чадавхын нэгдсэн үнэлгээ, мөн Монгол орны байгалийн бүс, бүслүүрийн тодорхойлолтыг тус тус хамруулсан байна.

Энэхүү бүтээл нь Монгол орны ландшафтын экологийн чадавхыг олон хэмжээст шалгуур үзүүлэлтүүдэд тулгуурлан үнэлж, түүний орон зайн ялгарал, бүс нутгийн онцлог, байгалийн тогтолцооны тогтвортой байдал болон байгалийн нөөцийн

ашиглалтын боломжит чадавхыг тодорхойлох онол-арга зүйн суурийг бүрдүүлсэн цогц судалгааны ажил болсон байна.

Сүүлийн жилүүдэд, хүрээлэн буй орчны салбарт энтропи жин дээр тулгуурласан, TOPSIS үнэлгээний арга өргөн ашиглагдах болсон. Энэхүү арга нь шалгуур үзүүлэлтүүдийн жинг өгөгдлийн магадлалд суурилан тодорхойлж, энтропи болон судалгааны объектуудыг эерэг болон сөрөг идеал шийдэлтэй харьцуулан эрэмбэлэх TOPSIS аргын давуу талуудыг хослуулдаг.

Иймээс субъектив үнэлгээний нөлөөг бууруулж, олон индикатор бүхий судалгаанд илүү бодитой үнэлгээ хийх боломжийг бүрдүүлдэг. Энэ аргыг экологийн орчны чанарын үнэлгээ, усны нөөцийн менежмент, хотын экологийн тогтвортой байдал, газрын доройтлын үнэлгээ, экосистемийн аюулгүй байдал зэрэг олон чиглэлийн судалгаанд хэрэглэх болсон (Zhang et al., 2016; Wang et al., 2019; Liu et al., 2020). Түүнчлэн зарим судлаачид байгаль орчны индикаторуудыг нэгтгэн үнэлж, бүс нутгийн экологийн төлөв байдлыг орон зайн болон цаг хугацааны хувьд харьцуулан тодорхойлох судалгаанд ашиглах нь үр дүнтэй байгааг нотолсон байдаг (Malczewski, 2006; Wu et al., 2020).

Дээр дурдсан бүхнээс дүгнэн үзвэл, Монгол Улсад ГМС дээр суурилсан MCDM болон АНР аргууд, тэдгээрийг хослуулсан үнэлгээний аргуудыг өргөн хэрэглэж, байгаль орчны тулгамдсан асуудлуудыг шинжлэн, үр дүнг шийдвэр гаргах түвшинд ашиглах болжээ. Харин энтропи жинд тулгуурлан TOPSIS шийдвэр гаргалтын аргыг ашигласан судалгаа хүрээлэн буй орчны салбарт төдийлөн түгээмэл бус байна. Иймд, энэхүү геоэкологийн нөхцөлийг үнэлэх арга зүйн боловсруулалтын хүрээнд энтропид суурилсан жингийн утгыг тооцох арга, TOPSIS арга болон мэдрэмжийн шинжилгээг хослуулсан нэгдсэн арга зүйн загварыг боловсруулахыг зорин ажилласан юм. Тус арга нь бусад аргуудаас экспертийн буюу мэргэжилтний оролцоогүйгээр өгөгдөлд суурилсан объектив шийдвэр гаргадгаараа онцлог давуу талтай.

ХОЁРДУГААР БҮЛЭГ. ГЕОЭКОЛОГИЙН НӨХЦӨЛИЙГ ЗУРАГЛАХ АРГА ЗҮЙ

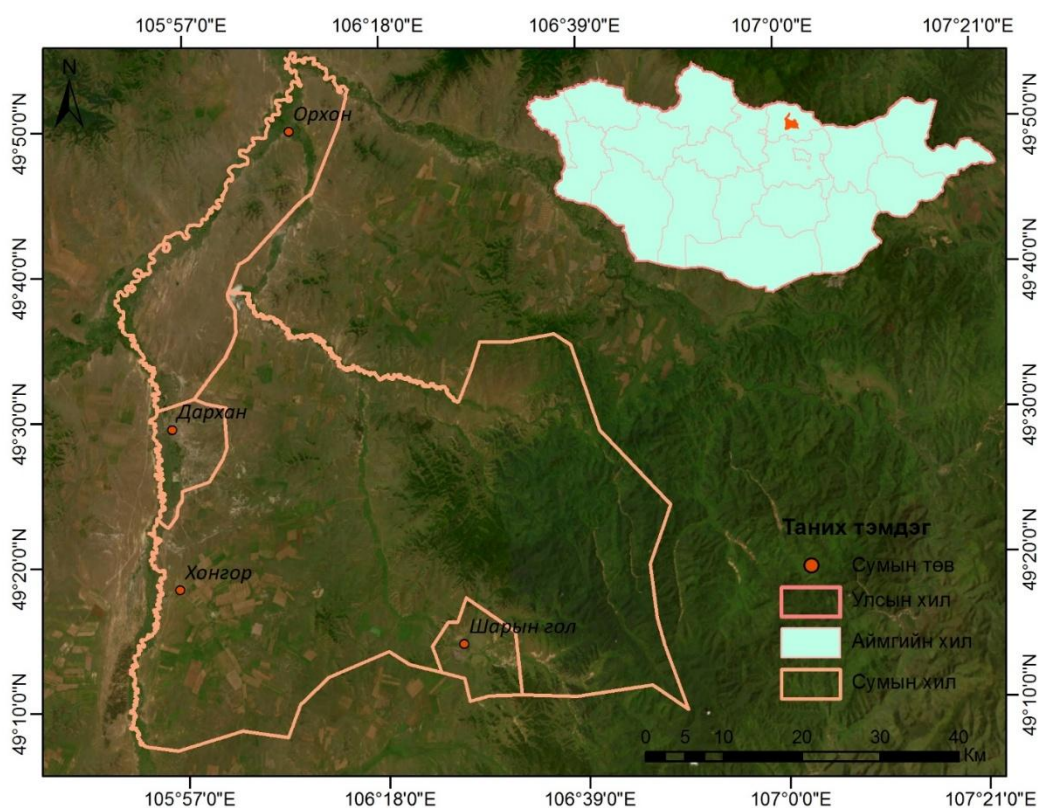
2.1. Судалгааны талбай

Энэхүү судалгааны ажлын загвар талбайгаар Дархан-Уул аймаг (Дархан орчмын) болон Дорноговь аймгийн 6 сум (Сайншанд орчмын)-ын нутаг дэвсгэрийг сонгон авсан болно.

2.1.1. Дархан орчмын талбай

Дархан-Уул аймгийн Дархан, Орхон, Хонгор, Шарын гол сумдын нутгийг хамран нийт 317169.6 га талбайг эзлэх бөгөөд физик газарзүйн мужлалаар авч үзвэл нутгийн ихэнх хэсэг нь Хангай-Хэнтийн уулархаг их мужийн Хангайн мужийн Сэлэнгэ, Орхоны савын дундаж өндөр уулсын тойрог болон нутгийн зүүн урд хэсэг Хангай-Хэнтийн уулархаг их мужийн Хэнтийн мужийн Хэнтийн захын уулсын тойрогт хамаарч далайн түвшнээс дээш 664.1-1634.3 м-ийн өндөрт өргөгдөн оршино.

Байгалийн бүс бүслүүрийн хувьд авч үзвэл уулын ойт хээр, хуурайвтар хээрийн бүсэд багтаж Орхон, Хараа, Ерөө, Шарын гол зэрэг томоохон голуудтай. Энэ бүсийн уур амьсгал нь чийглэг хүйтэвтэр зунтай, хахир өвөлтэй ба жилийн дундаж температур 0–2.0 °С, 7-р сарын үнэлэхүй их температур +43 °С, 1-р сарын үнэлэхүй бага температур -44 °С орчим байдаг. Жилийн хур тунадасны хэмжээ 350–450 мм ба үүнээс 70–80 % нь зуны улиралд ордог.



Зураг 4. Дархан орчмын судалгааны талбайн байршил

Хөрсний хэв шинжийн хувьд уулын тайгын ширэгт, уулын хархүрэн, уулын ойн бараан, хархүрэн, голын татмын (аллювийн) хөрс зонхилон тархсан. Ургамлан бүрхэвчийн хувьд ойн ургамалжил өвслөг ургамалт шинэсэн ба нарс, хусан (*Larix sibirica*, *Pinus sylvestris*, *Betula plathyphylla*, *Carex pediformis*, *C.amgunensis*, *Iris ruthenica*, *Lathyrus humilis*, *Vicia baicalensis*) тайгархаг ой, нугажуу хээрийн байгалийн хялганат, буур өвст, биелэг өвст, зүр өвст (*Stipa baicalensis*, *Festuca sibirica*, *Poa attenuata*, *Filifolium sibiricum*), хянганд - алаг өвст (*Adenophora tricuspidata*) хусан төгөл, ботууль - зүр өвс - сөөгт (*Amygdalus pedunculata*, *Filifolium sibiricum*, *Festuca lenensis*), уулын хээрийн ботууль - сөөгт (*Amygdalus pedunculata*, *Spiraea aquilegifolia*, *Festuca lenensis*, *Eremogone capillaris*), хуурай хээрийн хазаар өвс - хялгана - харганат (*Caragana microphylla*, *Stipa krylovii*, *S.grandis*, *Cleistogenes squarrosa*), элстэй газраар хайлаастай (*Ulmus pumila*), татмын бургаст (*Salix kochiana*, *S.viminalis*), сорвоот (*Calamagrostis purpureum*) ба улалжит (*Carex cespitosa*, *C.ortostachys*) намаг, алаг өвст (*Thalictrum simplex*) нуга тус тус голлон тархсан байдаг (Монгол Улсны Үндэсний атлас, 2022).

2.1.2. Сайншанд орчмын талбай

Дорноговь аймгийн Алтанширээ, Сайхандулаан, Сайншанд, Өргөн, Эрдэнэ, Замын-Үүд сумдын нутгийг хамран нийт 3765235.6 га талбайг эзлэх бөгөөд физик газарзүйн мужлалаар авч үзвэл нутгийн ихэнх хэсэг нь Монголын Дорнод талын их мужийн Халхын дундад ба Дарьгангын талархаг мужийн Дорнод тойрогт хамаарч далайн түвшнээс дээш 694.2-1315.7 м-ийн өндөрт өргөгдөн оршино.

Байгалийн бүс бүслүүрийн хувьд авч үзвэл, хээрийн бүсийн гандуу хээр, заримдаг цөлийн цөлжүү хээр, хээржүү цөлийн бүсэд багтана. Энэ бүсийн уур амьсгал нь гандуу хуурай зунтай, хүйтэн өвөлтэй ба жилийн дундаж температур 0– +4.0 °С, 7-р сарын үнэлэхүй их температур +42 °С, 1-р сарын үнэлэхүй бага температур -41 °С орчим байдаг. Жилийн хур тунадасны хэмжээ 100 мм орчим, үүнээс 90 % нь зуны улиралд ордог.

Хөрсний хэв шинжийн хувьд, цайвар хүрэн, заримдаг цөлийн цайвар бор, заримдаг цөлийн бор, заримдаг цөлийн нимгэн давхаргатай цайвар бор хөрс зонхилон тархсан байна. Ургамлан бүрхэвчийн хувьд, хуурай хээрийн харгана бүхий үетэн - крыловын хялганат (*Stipa krylovii*, *Cleistogenes squarrosa*, *Agropyron cristatum*, *Caragana microphylla*, *Caragana bungei*), цөлжүү хээрийн харгана бүхий хазаар өвс - хялганат (*Stipa klementzii*, *S.krylovii*, *S.gobica*, *Cleistogenes squarrosa*, *Caragana leucophloea*), заримдаг сөөгөнцөр - хялганат (*Stipa klementzii*, *S.gobica*, *S.krylovii*, *Artemisia frigida*, *Thymus gobicus*), цөлийн таана-өдлөг хялганат (*Stipa gobica*, *S.glareosa*, *Allium polyrrhizum*), заримдаг сөөгөнцөр - өдлөг хялганат (*Stipa gobica*, *S.glareosa*, *Ajania achilloides*, *Artemisia xerophytica*, *Anabasis brevifolia*), бор бударгана - говийн хялганат (*Stipa gobica*, *Salsola passerina*), хээржүү цөлийн өдлөг хялгана - заримдаг сөөгөнцөр - орог тэсэгт (*Krascheninnikovia ceratoides*, *Anabasis brevifolia*, *Reaumuria soongarica*, *Stipa glareosa*, *S.gobica*), харгана бүхий өдлөг хялгана - боролзот (*Ajania trifida*, *Stipa gobica*, *S.glareosa*, *Caragana leucophloea*), өдлөг хялгана - харганат (*Caragana korshinskii*, *C.brachypoda*, *Stipa gobica*, *S.glareosa*), жинхэнэ цөлийн бор бударганат (*Salsola passerina*), давсархаг

газрын шар бударганат (*Kalidium foliatum*), улаанбударганат (*Reaumuria soongarica*), таанат (*Allium polyrrhizum*), шар бударганат (*Kalidium gracile*), улаанбударганат (*Reaumurea soongarica*), загт (*Haloxydon ammodendron*) хөрс тус тус голлон тархжээ (Монгол Улсны Үндэсний атлас, 2022).



Зураг 5. Сайншанд орчмын судалгааны талбайн байршил

2.2. Геоэкологийн нөхцөлийг үнэлэх арга зүй

Геоэкологийн нөхцөл нь байгалийн суурь хүчин зүйл, экосистемийн төлөв байдал, хүний үйл ажиллагааны дарамт зэрэг олон хүчин зүйлийн харилцан үйлчлэлээр тодорхойлогддог. Байгаль дээрх юмс үзэгдэл нь хоорондоо харилцан шүтэлцээтэй, мэдээлэл, энерги, бодисын солилцооны тасралтгүй хөдлөл зүй бүхий нээлттэй систем юм (Мижиддорж., 2009). Системийн орон зайн мөн чанар нь олон төрлийн нийлмэл бүтэцтэй байх тусам төдий чинээ гаднын нөлөөнд тэсвэртэй тогтвортой байдаг. Харин нэг төрлийн орчин бий болсноор системийн тогтвортой бус байдлыг бий болгодог. Тухайлбал газрын доройтол, цөлжилт нь бидэнд мэдрэгдэх хамгийн илэрхий нэг төрлийн орчин юм.

Нийгэм хөгжихийн хэрээр хүний үйл ажиллагаанаас шалтгаалсан байгаль экологийн асуудлууд урган гарсаар байгаа билээ. Гэхдээ ганц хүний үйл ажиллагаанаас шалтгаалан байгаль орчны асуудал гардаггүй, ган гачиг, үер, хэт халалт гэх мэт олон хүчин зүйлээс системийн тэнцвэрт байдал алдагддаг. Иймээс геоэкологийн судалгааг хийхдээ геосистемийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг хамруулан цогцоор авч үзэх нь чухал юм. Үнэлгээг хийхдээ хатуу ангиллын хүрээнд бус, өгөгдлийн өөрийнх нь бүтэц, физик

шинж чанар дээр тулгуурлан үнэлэх хэрэгтэй. Өөрөөр хэлбэл субъектив бус, объектив байдлаар үнэлснээр геосистемийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн дотоод бүтцийн шинж чанар илрэх юм. Геосистемийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн дотоод бүтцийн шинж чанар, түүнд явагдаж буй өөрчлөлт, нөлөөлөх хүчин зүйлүүдийг нэгтгэн дүгнэх хамгийн тохиромжтой арга бол объектив үнэлгээний энтропи жинд суурилсан TOPSIS шийдвэр гаргалтын арга юм (Shanon., 1948; Hwang and Yoon., 1981).

Бид энэхүү судалгаандаа геоэкологийн нөхцөлийг үнэлэх зорилгоор энтропид суурилсан жин тогтоох арга, TOPSIS арга болон мэдрэмжийн шинжилгээг хослуулан нэгдсэн арга зүйн загварыг боловсруулан ашиглалаа. Уг арга зүйн хүрээнд:

- Шалгуур үзүүлэлтүүдийн ач холбогдлыг өгөгдөлд суурилан объектив байдлаар тодорхойлох;
- Геоэкологийн нөхцөлийг нэгтгэсэн индекс (Geoeological Condition Index) хэлбэрээр илэрхийлэх;
- Үр дүнгийн тогтвортой, найдвартай байдлыг мэдрэмжийн шинжилгээгээр баталгаажуулах зэрэг арга зүйн давуу талуудыг хангахыг зорив.

Судалгаанд сэдэвчилсэн 20 хувьсагчийг ашигласан бөгөөд эдгээр хувьсагчид нь гридийн олонлогоос бүрдэх растер бүтэцтэйгээс гадна, орон зайн шийдийн хувьд ялгаатай. Иймээс бүх өгөгдлийг хос шугаман интерполяцийн арга ашиглан 250×250м-ийн орон зайн шийд рүү хөрвүүлсэн болно.

Хүснэгт 1. Геоэкологийн нөхцөлийн үнэлгээнд ашигласан хувьсагчид (n = 20)

№	Хувьсагч (товчлол)	Үйлчлэх чиглэл	Тайлбар
1	Хамгийн дулаан сарын хамгийн их температур (Warmest)	-	Хамгийн дулаан сарын хамгийн их температур (Max Temperature of Warmest Month) нь жилийн дулаан сард бүртгэгдсэн дундаж хамгийн их (өдрийн максимум) температур юм. Энэ үзүүлэлт нь уур амьсгалын хэт халалтын нөхцөлийг илэрхийлдэг бөгөөд халуунд мэдрэмтгий төрөл зүйлд стресс үүсгэж, ургамал, амьтан, хөрс, ус, ойн бүтэц, экосистемийн тогтвортой байдалд шууд нөлөөлдөг (Hijmans et al., 2005).
2	Нийлбэр хур тунадас (P)	+	Жилийн дундаж нийлбэр хур тунадас (Annual Precipitation) нь тухайн газар нутгийн уур амьсгалыг тодорхойлогч үндсэн үзүүлэлтийн нэг юм. Энэ үзүүлэлт нь экосистемийн ургамлын бүтцэд, хөрсний усны баланст, амьтдын амьдрах орчинд, мөн уур амьсгалын системд шууд нөлөөлдөг хамгийн чухал био-уур амьсгалын хувьсагч юм.
3	Мезенцевийн чийгшлийн итгэлцүүр (MI)	+	Температур, чийг нь ургамал, амьтны тархалтыг хязгаарлагч чухал абиотик хүчин зүйлс бөгөөд (Кребс, 2001) уур амьсгалын нөөцийн бүрэлдэхүүн хэсэг юм (Мижиддорж, 2015). Хур тунадас, хөрсний чийг, ууршилтын үйл явцаар илэрхийлэгдэх чийг хангамж нь ургамал ургалтын гол нөхцөлийн нэг болдог (Нацагдорж бусад., 2024). Уур амьсгалыг био-уур амьсгалын үүднээс тодорхойлоход хуурайшлын буюу чийгшлийн индексийг ашиглах нь илүү ач холбогдолтой (Мандах, 2017). Био-уур амьсгалын индексүүд нь биотик хүчин зүйлд эерэг болон сөрөг нөлөө үзүүлэх уур амьсгалын нөхцөлийг илэрхийлдэг (Charalampopoulos et al., 2023).
4	Уур амьсгалын биологийн үр	+	Чийг, дулааны солилцоо нь ландшафтын орон зайн ялгаатай байдлыг илэрхийлэхийн зэрэгцээ ландшафтын тогтвортой байдлыг

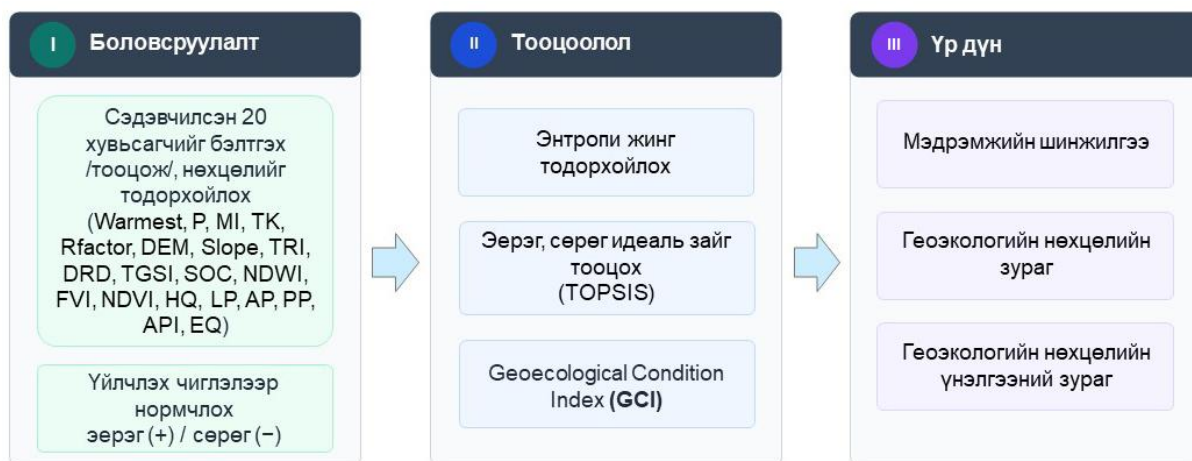
	ашгийн индекс (TK)		тодорхойлдог (ОХУ-ын ШУА-ийн Сибирийн салбарын Газарзүйн хүрээлэн & Монгол Улсын ШУА-ийн Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэн, 2015). Өөрөөр хэлбэл ландшафтын экологийн чадавх, тэр дундаа ландшафтын биологийн бүтээмжийг тодорхойлох уур амьсгалын биологийн үр ашгийн индексээр төлөөлүүлж авч үздэг (Абалаков & Лопаткин, 2014).
5	Хур тунадасны элээх чадавх (RFactor)	-	Хөрсийг зөөгдөлд оруулах хүчтэй хур тунадсыг хур тунадасны элээх чадавх гэдэг (УЦУОСМХ, 2021). Өөрөөр хэлбэл хур тунадасны хүчтэй эрчим нь хөрсөнд ус нэвчилтийн чадавхыг давж, улмаар хөрсний өнгөн хэсэг урсахад хүргэдэг. Хур тунадасны элээх чадавх нь борооны хэмжээ, эрчим, унах хурд, дуслын хэмжээ зэрэг хүчин зүйлээс хамаардаг (Бланко & Лал, 2011).
6	Гадаргын өндөр (DEM)	-	Өндрийн тоон загвар (Digital Elevation Model) нь тухайн газар нутгийн өндөршлийг илэрхийлнэ. Энэ нь уур амьсгал-хөрс-ургамал-амьтан хоорондын уялдаа холбоог тодорхойлогч суурь хүчин зүйл бөгөөд байгаль орчны үнэлгээ, уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийн судалгаа, экосистемийн загварчлалд зайлшгүй харгалзан үзэх шаардлагатай (Körner, 2007; Barry, 2008).
7	Гадаргын налуу (Slope)	-	Газрын гадаргын налуу (Slope) гэдэг нь газрын гадаргын хэвтээ чиглэлд ногдох өндөршлийн өөрчлөлтийн хурдыг илэрхийлэх геоморфологийн үзүүлэлт бөгөөд тухайн гадаргын усны урсац, хөрсний элэгдэл, хөрсний чийгийн тархалт, улмаар ургамалжилт болон экосистемийн бүтцэд чухал нөлөө үзүүлдэг. Налуу ихсэхийн хэрээр гадаргын усны урсцын хурд нэмэгдэж, хөрсний элэгдэл эрчимжих хандлагатай байдаг (Moore et al., 1991; Burrough & McDonnell, 1998).
8	Гадаргын бартаат байдлын индекс (TRI)	-	Terrain Ruggedness Index (TRI) нь газрын гадаргын бартаат, тэгш бус байдлын түвшинг илэрхийлэх тоон үзүүлэлт бөгөөд уул нуруу, хотгор гүдгэр хэлбэр, гадаргын бүтцийн нарийн тодорхойлоход өргөн хэрэглэгддэг. TRI индекс нь экологи, ландшафтын судалгаа, амьдрах орчны тохиромж, газар ашиглалт болон байгаль орчны загварчлалд чухал ач холбогдолтой (Riley et al., 1999).
9	Гадаргын ус зайлуулах чадвар (DRD)	-	Drainage Roughness Degree (DRD) нь тухайн сав газар эсвэл судалгааны талбай дахь гол, горхи, гадаргын урсцын сүлжээний нягтралыг илэрхийлдэг морфометрийн үзүүлэлт юм. Энэхүү индекс нь гадаргын урсцын нөхцөл, геологийн бүтэц, хөрсний нэвчимтгий чанар, рельефийн онцлогийг тодорхойлоход ашиглана. Мөн усны элэгдэл, цөлжилт, ландшафтын доройтлыг үнэлэхэд чухал ач холбогдолтой үзүүлэлт болдог (Oyedotun, 2020).
10	Хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүний индекс (TGSI)	-	Topsoil Grain Size Index (TGSI) буюу хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүний индекс нь хиймэл дагуулын сувгуудын спектр ойлтын утгад үндэслэн тооцоолдог бөгөөд хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүнд гарч буй өөрчлөлтийг орон зайн хэмжээнд илрүүлэх боломж олгодог (Xiao et al., 2006; Hashem et al., 2015). Хөрсний ширхэг томрох тусам газрын доройтол, цөлжилтийг илэрхийлэх бөгөөд экосистемийн үнэлгээнд ач холбогдолтой үзүүлэлт юм.
11	Хөрсний органик карбон (SOC)	+	Хөрсний органик карбон нь хөрсний үржил шимийн үзүүлэлтүүд болох азот, фосфор, кали зэрэг элементүүдийг эрдэсжилтийг идэвхжүүлдэг хөрсний бичил организмуудын энергийн эх үүсвэр болдог (Kouassi et al., 2025; Van Vliet & Giller, 2017). Хөрсний органик нүүрстөрөгчийн хэмжээ нь хөрсний үржил шим, бүтэц, ус нэвчүүлэх чадавх, катион солилцоо, шим тэжээлийн бодисын эргэлт, бичил организмуудын үйл ажиллагаа, ургацын хэмжээ, үр тарианы чанарт нөлөөлдөг бөгөөд хөрс ашиглалт, хамгааллын менежментийн арга барил болон орчны нөхцөлд мэдрэг тул хүрээлэн буй орчны чанарын чухал индикаторт тооцогддог (Khavtgai et al., 2022, 2023; Parvej et al., 2025).

12	Усны нормчлогдсон ялгаврын индекс (NDWI)	+	Ус нь хүн болон байгальд зайлшгүй чухал байгалийн нөөц бөгөөд газарзүйн байрлал болон цаг хугацааны тархалтыг хянах нь байгаль орчны менежмент, гамшгийн эрсдэлийн бууруулах, тогтвортой хөгжлийг хангахад зайлшгүй шаардлагатай юм. Анх усны нормчлогдсон ялгаврын индекс (NDWI)-ийг McFeeters 1996 онд боловруулсан бөгөөд газрын гадаргын усны агууламж, гадаргын усан биетүүд, мөн ургамлын чийгшлийн төлөвийг илрүүлэх, үнэлэхэд ашиглагддаг.
13	Ургамлын фракцын индекс (FVI)	+	Ургамлын тусгаг бүрхэц нь газрын хэдэн хувь ургамлаар буюу иш, навч, цэцэг зэргээр хучигдсаныг хувиар илэрхийлэх бөгөөд хүрээлэн буй орчны төлөв байдлыг илтгэх чухал үзүүлэлт юм. Ургамлын бүрхцийн үзүүлэлтийг Fractional vegetation index (FVI) индекс нь газрын гадаргын нэгж талбайд харгалзах ургамлын (навч, иш, мөчир гэх мэт) босоо проекцын талбайн харьцааг илэрхийдэг (Gitelson et al., 2002). FVI индексийн динамик өөрчлөлт нь экосистемийн тогтвортой байдал болон экосистемийн үйлчилгээтэй холбоотой байдаг учир хүрээлэн буй орчны мониторинг, загварчлалд чухал параметр болдог (Zhong et al., 2023).
14	Ургамлын нормчлогдсон ялгаврын индексийн өөрчлөлт (Δ NDVI)	+	Ургамал нөмрөг нь дэлхийн хуурай газрын экосистемийн чухал бүрэлдэхүүн хэсэг бөгөөд газрын гадарга, агаар мандлын хооронд явагдаж буй биогехимийн эргэлтэд оролцдог. Ургамал фотосинтезийн процессоор дамжуулан нарны энергийг химийн энерги болгон хувиргах бөгөөд энэ нь идэш тэжээлийн гинжин хэлхээний бусад түвшний оршин тогтох суурь болдог (Кребс, 2001). Түүнчлэн ургамал бүрхэц нь гадаргын урсцыг бууруулснаар хөрсний нэвчүүлэх чадварыг сайжруулж элэгдлээс хамгаалдаг (Alhasn et al., 2024).
15	Амьдрах орчны чанар индекс (HQ)	+	Байгалийн нөөцийн эрэлт хэрэгцээ болон эдийн засгийн өсөлт нь байгаль орчинд сөрөг нөлөө үзүүлж биологийн олон янз байдлын алдрал, амьдрах орчны доройтолд хүргэж байна (Meza-Mori et al., 2025; Lohse et al., 2008). Амьдрах орчны чанарын үзүүлэлт нь бүс нутгийн нийгэм эдийн засгийн хөгжил болон хүрээлэн буй орчны харилцан үйлчлэлийг илэрхийлэх экологийн төлөв байдлын чухал индикатор болдог (Zou et al., 2025).
16	Шугаман ачаалал (LP)	-	Шороон замаас үүдэлтэй хөрсний эвдрэл нь Монгол орны газрын доройтлын гол хүчин зүйлсийн нэг бөгөөд шороон зам нь Монгол улсын авто замын 90 гаруй хувийг эзэлж байна (Batkhishig, 2013). Шороон замын нөлөөгөөр хөрсний физик шинж чанарт өөрчлөлт ордог (Бямбабаяр нар., 2022).
17	Талбайн ачаалал (AP)	-	Байгалийн нөөц баялгийг ашиглах замаар хүний хэрэгцээ шаардлагыг хангахад чиглэгдсэн аж ахуйн үйл ажиллагааны явцад үүсэх хүний хүчин зүйлийн нөлөөлөл цаг ямагт сөрөг гинжин хэлхээ мэт байдлаар явагддаг (Чинзориг нар., 2022). Тухайлбал ургамал нөмрөг устах, хөрс доройтох, гадаргын болон газрын доорх усны чанарт өөрчлөлт орох, уурхай дагасан авто замын сүлжээ нэмэгдэх, биологийн олон янз байдлын амьдрах орчин хумигдах зэрэг олон сөрөг үр дагавар гардаг (Da Silva et al., 2026).
18	Цэгэн ачаалал (PP)	-	Хүний хүчин зүйлийн нөлөөлөл болох нэгж талбайд ногдох өвөлжөө-хаваржааны тоог цэгэн ачааллаар авч үзсэн. Өвөлжөө-хаваржааны газар, худаг уст цэгийн орчимд хүний үйл ажиллагааны нөлөөлөл голомт хэлбэрээр илэрдэг (Даш нар., 2010). Худаг, уст цэг орчим зөвхөн хөрс, ургамал доройтох үйл явц биш харин тухайн орчны экологид сөрөг үр дагаврыг бий болгодог байна (Мандах, 2017).
19	Агаарын бохирдлын индекс (API)	-	Атмосфер-литосфер-биосфер-антропосферийн харилцан үйлчлэлийг илрүүлэхэд чухал ач холбогдолтой юм. Агаар дахь бохирдуулагч хийнүүд нь зөвхөн хүний эрүүл мэндэд нөлөөлөөд

			зогсохгүй, хөрс, ус, ургамлын бүрхэвчид хуримтлагдан геосистемийн бодисын эргэлт, экосистемийн тогтвортой байдал, ландшафтын доройтолд нөлөөлдөг. Иймээс API -г ашиглан агаарын бохирдлыг орон зайн болон хугацааны хувьд үнэлэх нь хот суурин газрын геоэкологийн нөхцөл, экосистемийн ачаалал, антропоген нөлөөг илрүүлэхэд суурь болдог (Timmermans et al., 2019).
20	Газар хөдлөлт (EQ)	-	Газар хөдлөлт нь үндсэндээ геологийн гаралтай үзэгдэл боловч экосистемийн бүтэц, амьдрах орчны нөхцөл, мөн амьд организмын тархалт ба динамикт чухал нөлөө үзүүлдэг. Газар хөдлөлтийн улмаас хагарал, нуранги, газрын өргөгдөл, хотгор хотос зэрэг рельефийн өөрчлөлтүүд үүсэж, эдгээр нь хөрсний бүтэц, ус зүйн горим, ургамлын бүрхэвчид шууд нөлөөлдөг. Иймээс микро-амьдрах орчин, гол мөрөн, горхины урсгалын чиглэл өөрчлөгдөх, хөрсний шим тэжээл, ургамлын ургалт болон экологийн бүтээмжийг тодорхойлдог (Keefer, 1984).

Хүснэгт 1-д геоэкологийн нөхцөлийг тодорхойлоход шалгуур үзүүлэлтэд хамаарах хувьсагчид нь (анхдагч өгөгдлийн утга нь) системд үзүүлэх нөлөөлөл буюу үйлчлэх чиглэлийг харуулав. Тухайлбал, агаарын бохирдол нь геоэкологийн нөхцөлийг таагүй, тогтворгүй нөхцөлд хүргэх индикатор тул агаарын бохирдол нэмэгдэхийн хэрээр хүний эрүүл мэнд төдийгүй хүрээлэн буй орчинд сөрөг нөлөө үзүүлдэг. Иймээс, энэхүү хувьсагчийн үйлчлэх чиглэл нь сөрөг тэмдэгтэй байна.

Судалгааны арга зүй нь: 1) хувьсагчдыг нормчлох, 2) хувьсагчдын энтропи мэдээлэлд тулгуурлан жинг тодорхойлох, 3) энтропи жинд тулгуурласан эерэг, сөрөг идеалаас алслах зайг тодорхойлон нэгдсэн үнэлгээний индексийг тооцох TOPSIS арга, 4) гарсан үнэлгээний индекс нь хэр тогтвортой байгааг шалгах мэдрэмжийн шинжилгээ гэсэн 4 үндсэн алхмаас бүрдэнэ (Зураг 6).



Зураг 6. Геоэкологийн үнэлгээний нэгдсэн арга зүйн схем

2.2.1. Алхам 1

Судалгаанд ашиглагдах хувьсагчдыг системд үзүүлэх нөлөөллөөс (үйлчлэх чиглэл) хамааруулан нормчилсон. Бид орон зайн тархалтын растер бүтэцтэй зураг гаргах учир, тооцооллыг пикселийн утга бүр дээр гүйцэтгэсэн болно. Үүнийг дараах томъёогоор илэрхийлнэ (1-2):

Эерэг (үйлчлэх чиглэл) хувьсагч:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (1)$$

Сөрөг (үйлчлэх чиглэл) хувьсагч:

$$r_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (2)$$

Үүнд: r_{ij} -хувьсагчийн нормчилсон утга, x_{ij} -нь j -хувьсагчийн тухайн i -пиксел дээрх утга, $\max(x_{ij})$, $\min(x_{ij})$ -нь тухайн растер бүтэцтэй хувьсагчийн пикселийн хамгийн их, бага утгыг илэрхийлнэ.

Нормчилсноор өөр өөр хэмжилтийн нэгж бүхий тоон утгаар илэрхийлэгдэх хувьсагчдыг нэг хэмжээст оруулж, дүн шинжилгээ хийх, харьцуулах боломжийг олгодог давуу талтай (Сайнбаяр, 2024). Үүнээс гадна үзүүлэх нөлөөлөл (үйлчлэх чиглэл)-өөс нь хамааруулан нормчлох нь энтропид суурилсан жин тогтоох аргын чухал алхам юм.

Өөрөөр хэлбэл, эерэг, сөрөг хэлбэрээр нормчлох нь олон хувьсагчдыг нэг системд оруулахаас гадна системийг нэг зорилгын хүрээнд нэгтгэх үндэс болно. Бидний тохиолдолд 1-2 томъёогоор нормчилсноор хувьсагч бүрийн хувьд нормчилсон 0 утга нь геоэкологийн нөхцөлийн таагүй, сул байдлыг илтгэх бол 1 утга нь үүний эсрэг нөхцөлийг хангана гэсэн үг юм.

2.2.2. Алхам 2

Энтропи жингийн аргыг ашиглан жинг тодорхойлохдоо дараах математик илэрхийллийг дэс дараалан гүйцэтгэнэ (3-5):

$$p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^n r_{ij}} \quad (i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (4)$$

$$w_{jbase} = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)} \quad (5)$$

Үүнд: p_{ij} -нь j -хувьсагчийн тухайн i -пиксел дээрх стандарчилсан утга буюу тухайн хувьсагчийн түүврийн элемент бүрийн хувийн жин, e_j -нь j -хувьсагчийн энтропи, w_j -нь j -хувьсагчийн жин, n -нь растер бүтэцтэй хувьсагчийн пикселийн тоо, m -нь хувьсагчийн тоо.

Экосистемийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн өөрчлөлтийн үнэлгээнд Шенон-Винерийн томъёолсон мэдээллийн энтропийг өргөн ашигладаг. Энтропийг тодорхойлох e_j -томъёо дахь $\sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij})$ хэсгийг Шенон-Винерийн мэдээллийн энтропи гэж нэрлэдэг бөгөөд энэ нь системийн тодорхой бус байдлыг илэрхийлдэг (Мижиддорж, 2009).

2.2.3. Алхам 3

Энтропи жинг ашиглан TOPSIS аргаар геоэкологийн нөхцөлийн нэгдсэн үнэлгээний индексийг тодорхойлсон. Үүний тулд нормчилсон эерэг болон сөрөг хувьсагчийн пиксел

бүрийг энтропи жингээр үржүүлэн жинлэсэн шийдвэрийн матрицыг байгуулна. Үүнийг дараах байдлаар илэрхийлнэ (6):

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} W_{1base}r_{11} & W_{2base}r_{12} & W_{mbase}r_{1m} \\ W_{1base}r_{21} & W_{2base}r_{22} & \dots & W_{mbase}r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_{1base}r_{n1} & W_{2base}r_{n2} & \dots & W_{mbase}r_{nm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Жинлэсэн V_{ij} -шийдвэрийн матрицаас j -хувьсагчдад харгалзах хамгийн их (V_j^+), бага (V_j^-) утгыг авч эерэг, сөрөг идеал шийдлийг тодорхойлно.

Өөрөөр хэлбэл, (V_j^+), (V_j^-) утгууд нь геоэкологийн нөхцөлийг тодорхойлох хувьсагч бүрийн хувьд сайн болон муу байх нөхцөлийг хангах шийдлийн критер утга юм. Эдгээр утгыг ашиглан идеал шийдлийн алслах зайг дараах байдлаар бичиж болно (7-8):

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad (7)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (8)$$

Үүнд: D_j^+, D_j^- -нь геоэкологийн нөхцөл харгалзан хамгийн сайн байх критер утгад хэр ойр, хэр хол байхыг илэрхийлэх эерэг, сөрөг идеалаас алслах зай юм.

Өөрөөр хэлбэл, хамгийн их утга нь (D_j^+) -хувьд геоэкологийн маш сайн нөхцөлөөс хол байх алслах зайг, D_j^- -нь геоэкологийн нөхцөл маш сул байх утгаас хол байх алслах зайг илэрхийлсэн идеал утга юм. Эдгээр эерэг, сөрөг идеал шийдлийн алслах зайг нэгтгэн геоэкологийн нөхцөлийн нэгдсэн үнэлгээний индексийг дараах байдлаар тодорхойлно (9):

$$GCI_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (9)$$

Үүнд: GCI_i -нь “Геоэкологийн нөхцөлийн индекс” гэдгийн англи товчлол (Geoecological Condition Index) юм.

Энэ нь судалгааны талбайн пиксел бүр дээр геоэкологийн нөхцөлийг шинж чанарын хувьд тоон үзүүлэлтээр илэрхийлэх давуу талыг олгоно. Тоон утга нь 1 утга руу дөхөх тусам бидний геоэкологийн нөхцөлийг илэрхийлэх хүчин зүйлүүд тогтвортой байхаас гадна, техноген үйл явцад өртөөгүй орон зайн байршлыг илтгэнэ. Харин 0 утга руу дөхөх тусам үүний эсрэг нөхцөлтэй орон зайн байршлыг илэрхийлнэ.

Эцэст нь бид GCI_i -ийн растер бүтэцтэй орон зайн тархалтыг судалгааны талбай бүрээр *Natural breaks classification (Jenks)* аргаар 5 ангилалд хуваан авч үзэж, тухайн ангилалд харгалзах анхдагч хүчин зүйлийн утгын тархалтаар геоэкологийн нөхцөлийг тодорхойлон тайлбарласан. *Natural breaks classification (Jenks)* аргыг үнэлгээний аргад өргөн ашигладаг бөгөөд энэ нь ангилал доторх утгын хэлбэлзэл хамгийн бага байх, харин

анги хоорондын хэлбэлзэл буюу ялгаа хамгийн их байх нөхцөлийг хангадаг ангилах аргам (Jing et al., 2024).

2.2.4. Алхам 4

Олон шалгуурт шийдвэр гаргалтын аливаа судалгаанд шалгуур үзүүлэлтийн сонголтоос гадна, тэдгээрийг нэгдсэн нэг үнэлгээнд оруулах жингийн хуваарилалт чухал байдаг.

Бидний үнэлсэн GCI_i -геоэкологийн үнэлгээ нь хэр тогтвортой эсэхийг мэдрэмжийн шинжилгээгээр шалгасан. Үүний тулд, хамгийн их жинг үзүүлсэн хувьсагчийн жин (w_{jbase})-г 10 хувиар нэмэгдүүлж, бусад жинг нийт хувьсагчийн жингийн нийлбэрт харьцуулан дахин жин (w_{jsen})-г тодорхойлж алхам 3-ыг давтан гүйцэтгэнэ.

Эцэст нь мэдрэмжийн шинжилгээгээр гарсан геоэкологийн нөхцөлийн индекс (GCI_{isen})-ийн орон зайн тархалтыг тооцоолсон үндсэн геоэкологийн нөхцөлийн индекс (GCI_i)-ийн орон зайн тархалтаас хасаж алдааг тооцон дүн шинжилгээ хийсэн болно.

ГУРАВДУГААР БҮЛЭГ. ГЕОЭКОЛОГИЙН НӨХЦӨЛИЙН СЭДЭВЧИЛСЭН ДАВХАРГУУД

Энэхүү судалгааны хүрээнд Дархан болон Сайншанд орчмын геоэкологийн нөхцөлийг тодорхойлохдоо, байгалийн болон хүний үйл ажиллагааны харилцан үйлчлэлийн үр дүнд бүрэлдсэн байгаль орчны төлөв байдлыг авч үзэв. Ингэхдээ тухайн судалгааны талбайн олон эх сурвалжийн өгөгдөлд тулгуурлан боловсруулсан байгалийн нөхцөл, экологийн төлөв байдал, хүний үйл ажиллагааны нөлөөллийг илтгэх орон зайн сэдэвчилсэн давхаргуудыг авч үзсэн болно.

Хүрээлэн буй орчны геохими нь геологи-газарзүйн болон химийн шинжлэх ухаануудыг холбож, дэлхийн гадаргуу, дотоод, агаар, ус, хөрс, организм дахь химийн элементүүдийн түвшин, хөдлөл зүй, харилцан үйлчлэлийг судалдаг. Талбай бүрийн хувьд, геохимийн нөхцөлийг хөрсний геохими, гидрохимийн хүрээнд тодорхойлсон.

Судалгааны талбайн байгалийн нөхцөлийг илэрхийлэх орон зайгаар өгөгдсөн сэдэвчилсэн давхаргуудад хамгийн дулаан сарын хамгийн их температур (Warmest), нийлбэр хур тунадас (P), Мезенцевийн чийгшлийн итгэлцүүр (MI), уур амьсгалын биологийн үр ашгийн индекс (TK), гадаргын өндөр (DEM), гадаргын налуу (Slope), газар хөдлөлт (EQ), гадаргын бартаат байдлын индекс (TRI), гадаргын урсцын сүлжээний нягтшил (DRD), хур тунадасны элээх чадавх (RFactor), хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүний индекс (TGSI), хөрсний органик карбон (SOC), усны нормчлогдсон ялгаврын индекс (NDWI), ургамлын фракцын индекс (FVI) зэргийг авч үзсэн.

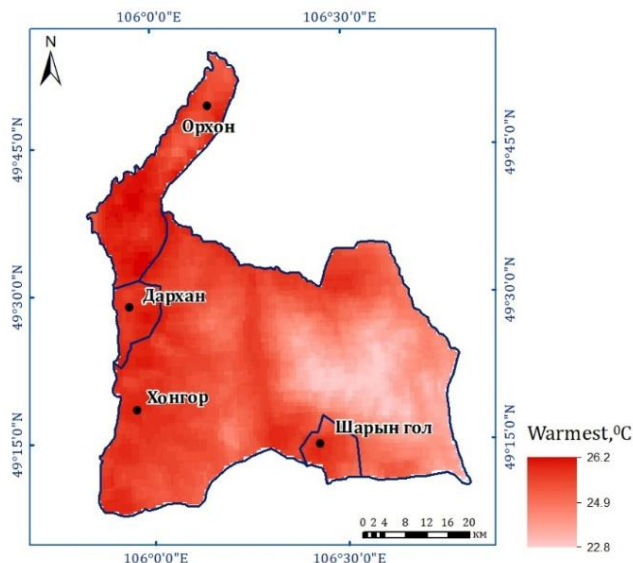
Нутаг орны экологийн төлөв байдлыг илэрхийлэх сэдэвчилсэн давхаргуудад ургамлын нормчлогдсон ялгаврын индексийн өөрчлөлт (Δ NDVI), амьдрах орчны чанарын индекс (HQ), агаарын бохирдлын индекс (API) зэргийг авч үзсэн бол хүний зүйлийн нөлөөллийг төрөл бүрийн замын дэд бүтэцтэй холбоотой үүсэх шугаман ачаалал (LP), байгаль орчинд шууд хүчтэй нөлөө үзүүлэх газар ашиглалтын хэлбэр (суурин газар, тариалангийн газар, уул уурхай)-үүдийн хүрээнд талбайн ачаалал (AP), түүнчлэн өвөлжөө-хаваржааны байршлыг илэрхийлэх цэгэн ачаалал (PP) гэсэн үзүүлэлтүүдийг тус тус авч үзсэн болно.

3.1. Дархан орчмын геоэкологийн нөхцөл

Дархан орчмын геоэкологийн нөхцөлийг үнэлэхэд шаардагдах сэдэвчилсэн давхаргууд

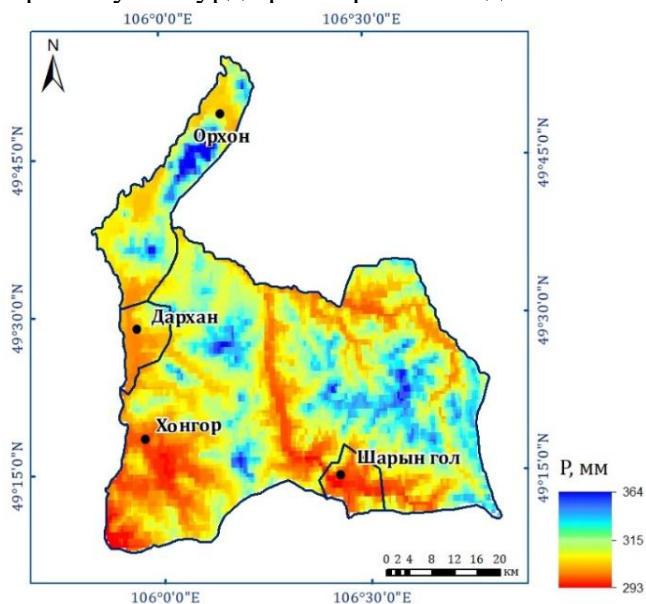
Хамгийн дулаан сарын хамгийн их температур (Warmest): Дархан орчмын хамгийн дулаан сарын хамгийн их температурын орон зайн тархалтыг авч үзэхэд бага утга нь талбайн зүүн өмнөд хэсгээр, харин их утга нь баруун хойд хэсэгт илүү өндөр температур ажиглагдаж байв.

Судалгааны талбайн хэмжээнд хамгийн дулаан сарын хамгийн их температурын дундаж утга 24.9°C, стандарт хазайлт 0.27°C байгаа нь орон зайн хувьд харьцангуй жигд тархсан боловч, тодорхой ялгаа байгааг илэрхийлнэ (Зураг 7).



Зураг 7. Дархан орчмын хамгийн дулаан сарын хамгийн их температурын тархалт

Нийлбэр хур тунадас (P): Дархан орчмын нийлбэр хур тунадасны орон зайн тархалтыг авч үзвэл, бага утга талбайн Хонгор, Шарын голын төв орчмоор, харин их утга нутгийн хойд хэсгийн Орхон сумын урд орчмоор ажиглагдлаа.

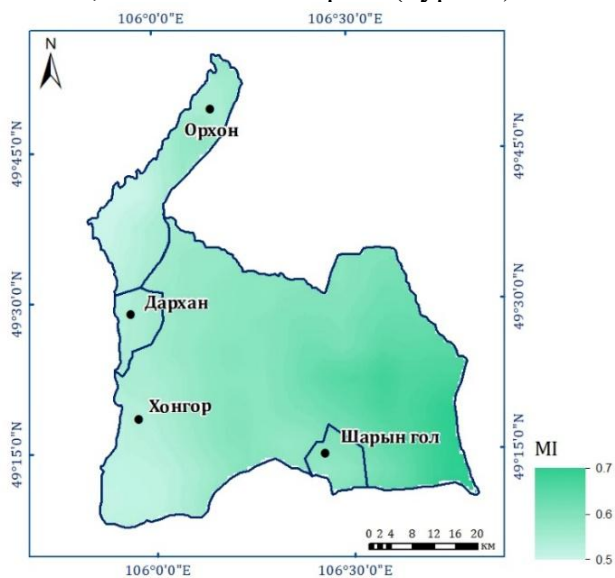


Зураг 8. Дархан орчмын нийлбэр хур тунадасны тархалт

Судалгааны талбайн хэмжээнд нийлбэр хур тунадасны дундаж утга 315.5 мм, стандарт хазайлт 8.3 мм байгаа нь хур тунадасны тархалт харьцангуй тогтвортой боловч, нутгийн хойд хэсгээр илүү их хур тунадас унадаг болохыг харуулж байна (Зураг 8).

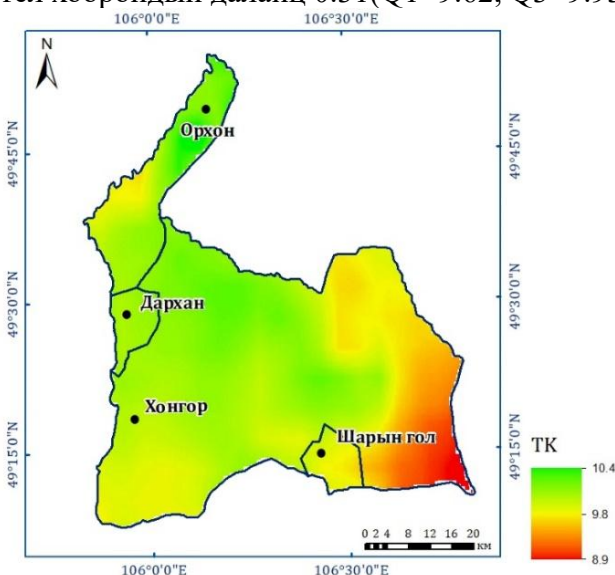
Мезенцевийн чийгшлийн итгэлцүүл (MI): Мезенцевийн чийгшлийн итгэлцүүрийн утга 0.52-0.67 хооронд хэлбэлзэж байгаа ба чийгийн горимын хувьд тогтворгүй чийгтэй ангилалд хамрагдсан. MI итгэлцүүрийн дундаж утга 0.57, стандарт хазайлт 0.01, вариацийн коэффициент 0.05 байв.

Судалгааны талбайн 50 %-д МI итгэлцүүрийн утга 0.55-0.59 байна. Энэ нь судалгааны талбайн чийгийн горим харьцангуй жигд, хэлбэлзэл багатай болохыг илтгэнэ. Орон зайн хувьд судалгааны талбайн баруун хэсгээс зүүн тийш болох тусам тодорхой градиентаар чийгийн итгэлцүүрийн утга нэмэгддэг. Өөрөөр хэлбэл, МI итгэлцүүрийн утга 0.535-аас (баруун хэсэгт) 0.635 (зүүн хэсэгт) хүртэл нэмэгдэж, Шарын голын эхэн хэсэг илүү чийглэг нөхцөлтэй байна. Харин хойноос өмнөд чиглэлд МI итгэлцүүрийн утга ерөнхийдөө нэгэн хэвийн, ялгаа багатай гарчээ (Зураг 9).



Зураг 9. Дархан орчмын Мезенцевийн чийгшлийн итгэлцүүрийн тархалт

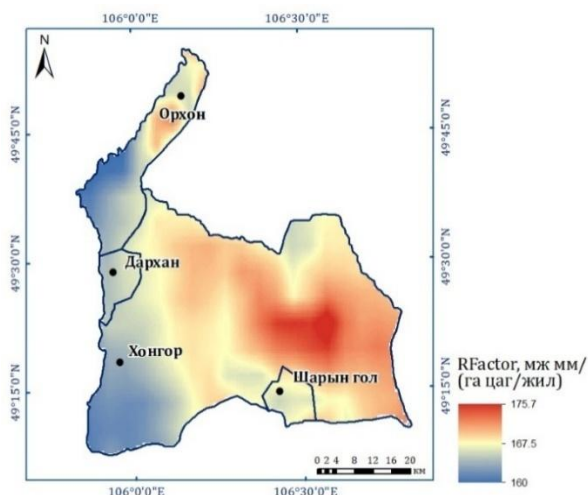
Уур амьсгалын биологийн үр ашгийн индекс (ТК): Судалгааны талбайн ТК индексийн дундаж утга 9.75, хамгийн бага утга 8.86, хамгийн их утга 10.44, вариацийн коэффициент 0.02, квартал хоорондын далайц 0.31(Q1=9.62, Q3=9.93) байна.



Зураг 10. Дархан орчмын уур амьсгалын биологийн үр ашгийн индексийн тархалт

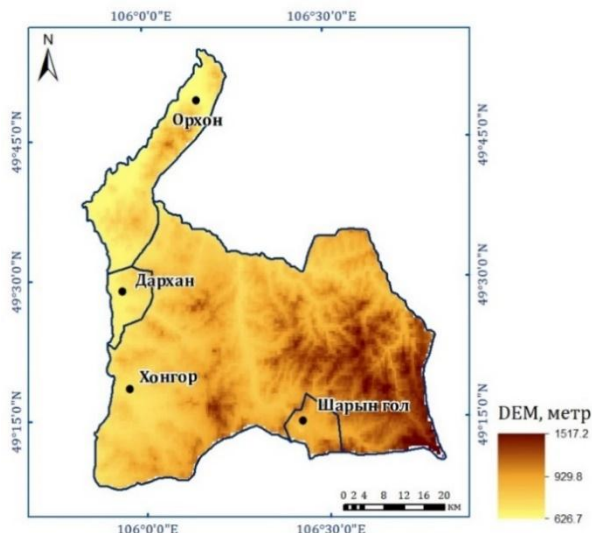
ТК индексийн утга судалгааны нийт талбайн 70.6%-д, 9.5-10 байх ба уур амьсгалын биологийн үр ашгийн хувьд дундаж гэсэн ангилалд хамаарч байна. Орон зайн тархалтын хувьд ТК индексийн утга судалгааны талбайн баруун хэсгээс зүүн чиглэлд аажим буурч, Шарын голын эхэн хэсэгт хамгийн бага хэмжээндээ хүрчээ. Хэдийгээр судалгааны талбайн бусад хэсэгтэй харьцуулахад Шарын голын эхэн хэсэг чийг (MI итгэлцүүрээр) ихтэй ч уур амьсгалын биологийн үр ашиг бусад хэсгүүдээс бага байгаа нь ургамал ургалтын хугацааны температурын нөхцөлтэй холбоотой (Зураг 10).

Хур тунадасны элээх чадавх (RFactor): RFactor-ийн дундаж утга 167.31 мж×мм/(га×цаг/жил) бол талбайн 71.6%-д 165-171 мж×мм/(га×цаг/жил) байв. Хур тунадасны хүчин зүйлээс үүдэлтэй хөрс элэгдэлд орох эрсдэл судалгааны талбайн зүүн хэсэгт Хүйтэн гол, Мухарын голын эх Бүрт уул орчимд, баруун хэсэгт Буурал уул орчимд хамгийн их, Орхон-Хараа голын бэлчир, Салхит өртөө орчимд хамгийн бага байна. Өөрөөр хэлбэл, богино хугацаанд хүчтэй аадар бороо орсон тохиолдолд Бүрт уул, Буурал уул орчимд хөрсний элэгдэл эрс нэмэгдэх эрсдэлтэй юм. Ерөнхийдөө RFactor-ийн утга судалгааны талбайн баруун хэсгээс зүүн хэсэг рүү аажим нэмэгдэж байгаа зүй тогтол ажиглагдсан (Зураг 11).



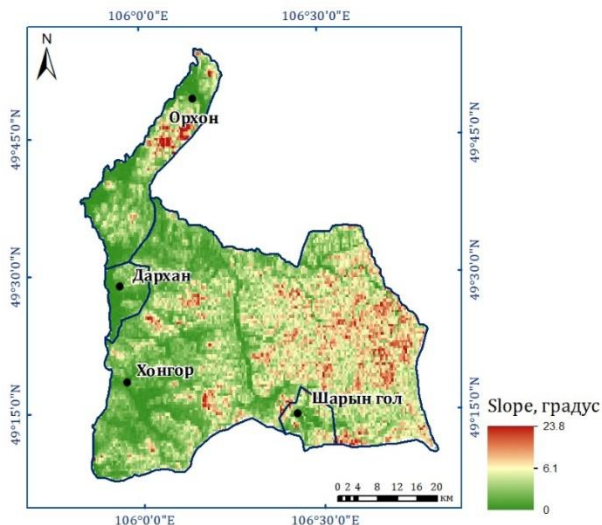
Зураг 11. Дархан орчмын хур тунадасны элээх чадавхын тархалт

Өндрийн тоон загвар (DEM): Дархан орчмын судалгааны талбайн хамгийн нам цэг нь далайн түвшнээс дээш 926.7 м өндөрт байрлах бөгөөд энэ нь зүүн өмнөд хэсэгт орших Бумбатын хөндийд хамрагдаж байгаа бол хамгийн өндөр цэг нь зүүн урд хэсэгт орших Гахайн Овоо уул далайн түвшнээс дээш 1517.2 м өндөрт байна. Судалгааны талбай бүхэлдээ далайн түвшнээс дээш дунджаар 929.3 м өндөрт өргөгдсөн бөгөөд стандарт хазайлт 80.5 м байгаа нь газрын гадаргын өндрийн ялгаа харьцангуй их, уул нуруу болон хөндийн рельеф тод илэрч байгааг илэрхийлнэ (Зураг 12).



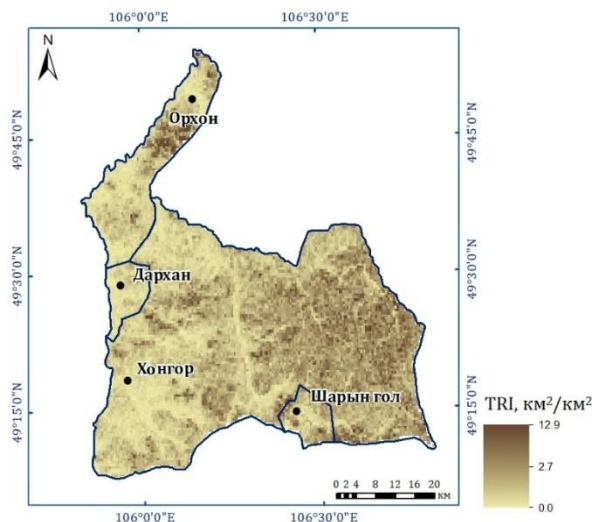
Зураг 12. Дархан орчмын гадаргын өндрийн тархалт

Гадаргын налуу (Slope): Дархан орчмын судалгааны талбайн гадаргын налуу нь 1° -аас бага утгатай газрууд судалгааны бүс нутгийн баруун, баруун хойд болон баруун өмнөд хэсгээр байна. Судалгааны талбайн хэмжээнд гадаргын налуугийн дундаж утга 6.1° , стандарт хазайлт 3.0° байгаа нь рельефийн хэлбэлзэл харьцангуй бага боловч, өндөрлөг газар болон нам дор гадаргын ялгаа байгааг илтгэнэ (Зураг 13).



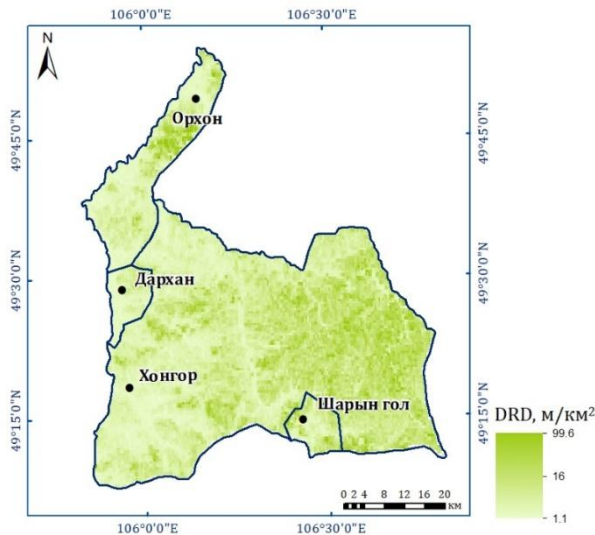
Зураг 13. Дархан орчмын гадаргын налуугийн тархалт

Гадаргын бартаат байдлын индекс (TRI): Дархан орчмын газрын гадаргын бартаат байдлын индекс нь $1 \text{ км}^2/\text{км}^2$ -аас бага утгатай газрууд сумдын төв орчмоор ажиглагдсан бол их утга нь хойд болон зүүн хэсгээр байлаа. Судалгааны талбайн хэмжээнд газрын гадаргын бартаат байдлын индексийн дундаж утга $2.6 \text{ км}^2/\text{км}^2$, стандарт хазайлт $1.3 \text{ км}^2/\text{км}^2$ байгаа нь мөн адил талбайн рельеф харьцангуй ялгаатай байдал тод ялгарч байгааг илтгэнэ (Зураг 14).



Зураг 14. Дархан орчмын газрын гадаргын бартаат байдлын индексийн тархалт

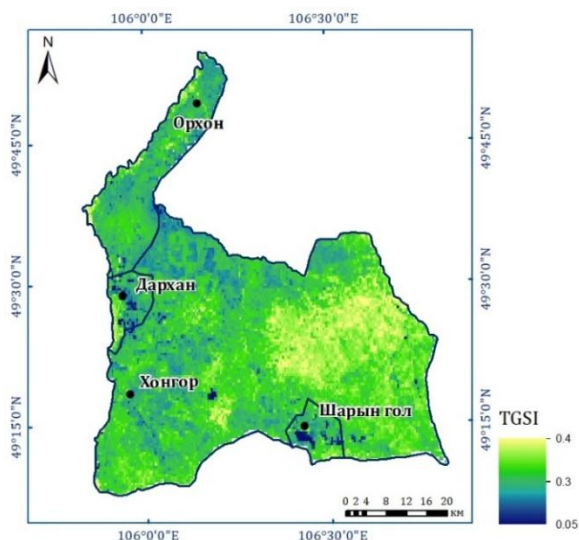
Гадаргын урсцын сүлжээний нягтшил (DRD): Дархан орчмын судалгааны талбайн орчмын гадаргын урсцын сүлжээний нягтшил нь 1 м/км^2 -аас бага утгатай газрууд нутгийн баруун болон баруун хойд хэсэгт тархсан байгаа бол нутгийн зүүн болон зүүн өмнөд хэсгээр өндөр утгатай байлаа. Судалгааны талбайн хэмжээнд гадаргын ус зайлуулах чадварын индексийн дундаж утга 15.2 м/км^2 , стандарт хазайлт 7.2 м/км^2 байгаа нь ус зайлуулах чадвар рельефийн ялгаанаас шалтгаалан орон зайн хувьд тодорхой хэлбэлзэлтэй байгааг харуулж байна (Зураг 15).



Зураг 15. Дархан орчмын судалгааны талбайн орчмын гадаргын урсцын сүлжээний нягтшилын тархалт

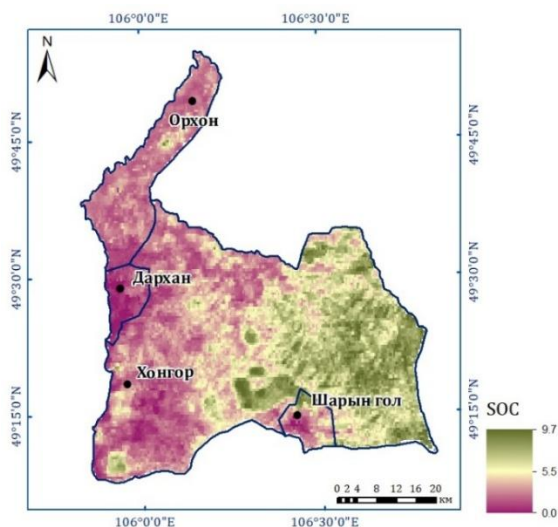
Хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүний индекс (TGSI): Дархан орчмын хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүний индексийн орон зайн тархалтаас үзэхэд, бага утга Шарын голын өмнөд хэсэгт тархсан бол их утга нь нутгийн зүүн хойд хэсэгт илэрч, элсэрхэг бүрэлдэхүүн давамгайлсан хөрсийг илтгэж байна.

Судалгааны талбайн хэмжээнд хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүний индексийн дундаж утга 0.3, стандарт хазайлт 0.03 байгаа нь хөрсний ширхэглэг харьцангуй тогтвортой боловч орон зайн хувьд тодорхой ялгаатай тархалттай байгааг илтгэнэ (Зураг 16).



Зураг 16. Дархан орчмын хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүний индексийн тархалт

Хөрсний органик карбон (SOC): World Soil Grid 250m-ийн хөрсний органик карбон мэдээнд тулгуурлан судалгааны талбайн SOC-ийн агууламж (0–30 см)-ийг тодорхойлов.

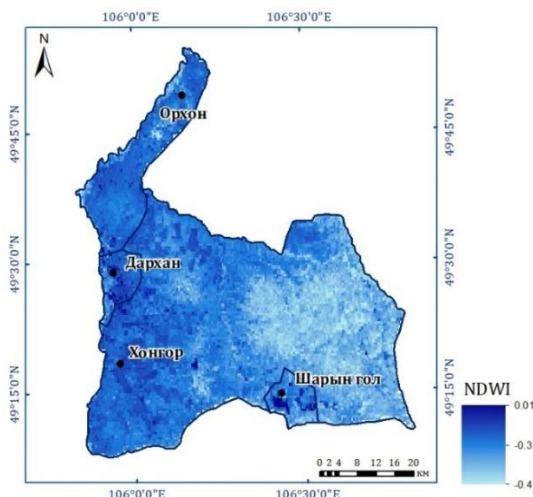


Зураг 17. Дархан орчмын хөрсний органик карбон тархалт

Судалгааны талбайн хэмжээнд SOC-ийн агууламжийн хамгийн их утга 9.72%, дундаж утга 5.38, стандарт хазайлт 0.87 байв. Судалгааны нийт талбайн 86.34%-д SOC-ийн агууламж 4-8%, үүнээс 57.39%-д нь SOC-ийн агууламж 4-6% байна.

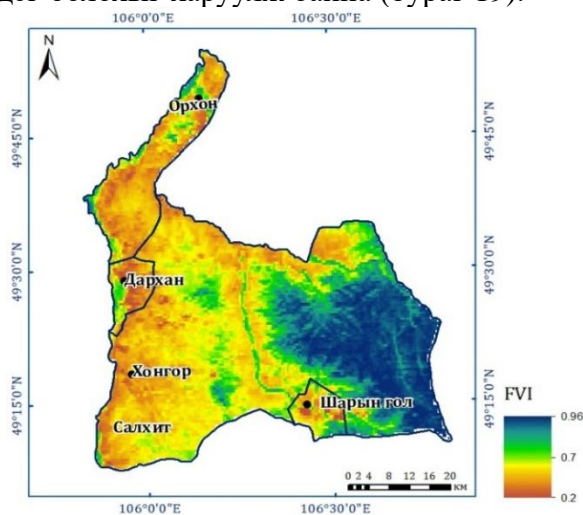
Шарын гол, Хүйтэн голын эх Хэнтийн нурууны салбар уулсын ой бүхий нутгаар SOC-ийн хамгийн их агууламж, Дархан хотын орчим, Хонгор сумын тариалангийн газар ашиглалт зонхилсон нутгаар болон Шарын гол сумын төв орчимд хамгийн бага агууламж ажиглагдсан болно (Зураг 17).

Усны нормчлогдсон ялгаврын индекс (NDWI): Дархан орчмын усны нормчлогдсон ялгаврын индексийн бага утга нутгийн зүүн хойд, зүүн, зүүн урд хэсгийн ой модтой газарт байсан бол их утга нь нутгийн баруун хэсгийн Хараа, Орхон голын татам газарт байна. Түүнчлэн судалгааны талбайн усны нормчлогдсон ялгаврын индексийн дундаж утга -0.2 бөгөөд стандарт хазайлт 0.02 байна (Зураг 18).



Зураг 18. Дархан орчмын усны нормчлогдсон ялгаврын индексийн тархалт

Ургамлын фракцын индекс (FVI): Судалгааны талбайн хэмжээнд FVI индексийн хамгийн бага утга 0.09, хамгийн их утга 0.96, дундаж утга 0.65 байна. Вариацийн коэффициентын утга 0.24 байгаа нь судалгааны талбайн хэмжээнд ургамал бүрхцийн хэмжээ нэлээд хэлбэлзэлдэг болохыг харуулж байна (Зураг 19).

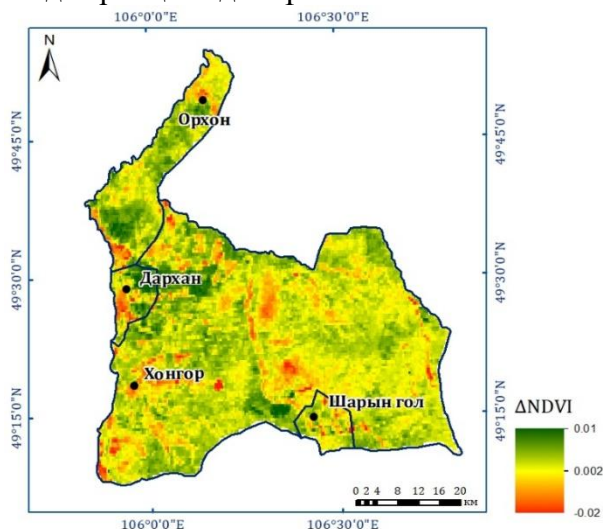


Зураг 19. Дархан орчмын ургамлын фракцын индексийн тархалт

FVI индексийн орон зайн тархалтыг авч үзвэл Шарын гол, Хүйтэн голын эх Хэнтийн нурууны салбар уулсаар болон Шарын гол, Хүйтэн гол, Хараа гол, Орхон голын татмын нугаар FVI индексийн өндөр утгатай пикселүүд, нам уулс хоорондын өргөн хөндий, хотгороор болон Шарын голын нүүрсний уурхай, Дархан хот орчим FVI индексийн бага утгатай пикселүүд ажиглагдаж байна.

Шарын голын нүүрсний уурхай, Дархан хот орчимд халцгай газрыг илэрхийлэх FVI индексийн утгууд төвлөрч байгаа нь хүний хүчин зүйлийн нөлөөгөөр ургамал нөмрөг ихээхэн доройтсоныг илтгэж байгаа болно.

Ургамлын нормчлогдсон ялгаврын индексийн өөрчлөлт ($\Delta NDVI$): Сүүлийн 22 жилийн хугацаанд судалгааны талбайн хэмжээнд ургамлын индексийн утга жилд дунджаар 0.0023 нэгжээр өссөн. Хэдийгээр ерөнхий хандлагаараа NDVI индексийн утгад эерэг өөрчлөлт гарч байгаа ч, пиксел тус бүрд тооцоолсон өөрчлөлтийн хэмжээ судалгааны талбайн хүрээнд харилцан адилгүй байна.



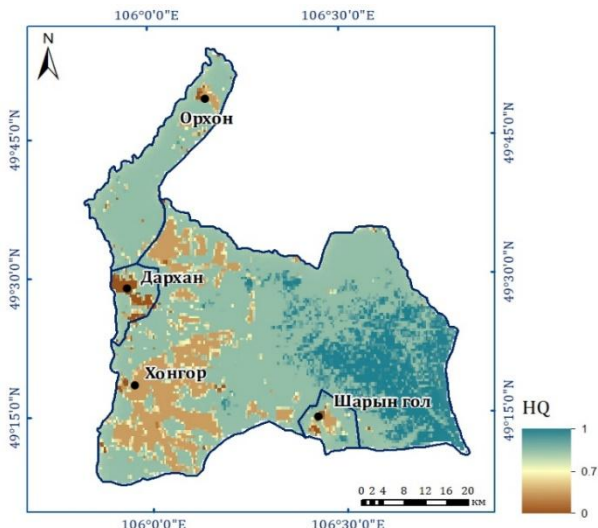
Зураг 20. Дархан орчмын ургамлын нормчлогдсон ялгаврын индексийн өөрчлөлт

NDVI индексийн өөрчлөлтийн утга -0.02 ба 0.01 нэгжийн хооронд хэлбэлзэж, нийт пикселийн 86.4%-д өсөх, 13.6%-д буурах хандлага тодорхойлогдсон. Ургамал нөмрөг доройтох хандлагатай буюу NDVI индексийн сөрөг өөрчлөлт Хараа гол, Ерөө гол, Хүйтэн гол, Шарын голын хөндийгөөр зонхилон ажиглагдаж байгаа (Зураг 20) ба томоохон голуудын хөндий дагуух татмын нугын ургамал нөмрөгт доройтох хандлага ажиглагдаж байгаа нь экологийн хувьд ихээхэн сөрөг үр дагаварт хүргэж болзошгүй юм.

Ялангуяа Шарын голын эхэн хэсэг уул уурхайн, харин дунд хэсэг бэлчээр ашиглалттай холбоотой байгаа бол адаг хэсэг газар тариалангийн үйл ажиллагааны нөлөөлөлд өртжээ.

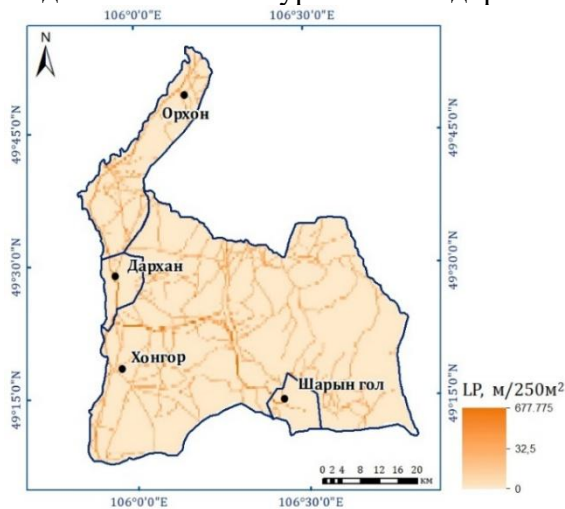
Амьдрах орчны чанарын индекс (HQ): Амьдрах орчны чанарын индексийн дундаж утга 0.72, стандарт хазайлт 0.13 байна. Энэ нь судалгааны талбай амьдрах орчны чанарын хувьд сайн байгааг харуулж байна. HQ индексийн утга нийт нутгийн 67.80%-д 0.6-0.8, 17%-д 0.8-аас их, 13.37%-д 0.2-0.4, 1.78%-д 0.2-оос бага байна.

Судалгааны талбайн зүүн хэсэг Хэнтийн нурууны салбар уулс биологийн олон янз байдлын амьдрах орчны хувьд маш сайн ($HQ > 0.8$) гэсэн ангилалд хамаарч байна. Хүн ам төвлөрсөн суурин газрууд болох Дархан хот, Хонгор сум, Шарын гол сум, Орхон сумын төвийн ойр орчмын газар, тариалангийн талбай, Шарын голын эх, Хүйтэн голын эхэн хэсгийн алтны уурхайн нөлөөлөлд өртөж газрууд, Шарын голын нүүрсний уурхай орчмын газар нутагт амьдрах орчны чанарын индексийн утга бага буюу чанарын хувьд сул үнэлгээтэй байна (Зураг 21).



Зураг 21. Дархан орчмын амьдрах орчны чанарын индексийн тархалт

Шугаман ачаалал (LP): Дархан-Уул аймгийн нутгаар Алтанбулаг боомтыг Замын-Үүд боомттой холбосон босоо тэнхлэгийн гол авто зам, төмөр зам дайран гардаг. Шугаман ачааллыг тооцохдоо хатуу хучилттай автозам, сайжруулсан шороон зам болон ердийн шороон зам, төмөр замын судалгааны нэгж талбайд ногдох нийлбэр уртаар тооцсон. Судалгааны хүрээнд нийт 1649.6 км урт замыг тодорхойлсон болно (Зураг 22).



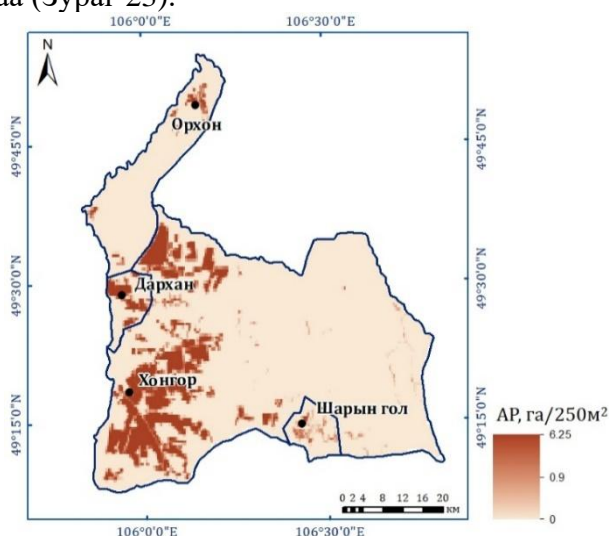
Зураг 22. Дархан орчмын шугаман ачааллын тархалт

Зурагт нийт нутгийг бүрэн хамарсан 250м×250м грид торлолын 14.60%-д (4076 нэгж талбай) шугаман ачаалал ямар нэг хэмжээгээр илэрсэн ба үүнээс 50 м-ээс бага урт зам ногдох 692 нэгж талбай (1.36%), 50-100 м урт зам ногдох 674 нэгж талбай (1.33%), 100-200 м зам ногдох 1296 нэгж талбай (2.55%), 200-300 м зам ногдох 3690 нэгж талбай (7.27%), 300-400 м зам ногдох 585 нэгж талбай (1.15%), 400-500 м зам ногдох 194 нэгж талбай (0.38%), 500-600 м зам ногдох 228 нэгж талбай (0.45%), 600-750 м зам ногдох 22 нэгж талбай (0.04%), 750-1000 м зам ногдох 25 нэгж талбай (0.05%), 1000 м-ээс их урт зам ногдох 1 нэгж талбай (0.002%) тус тус байна.

Замын хэт өндөр нягтрал буюу нэгж талбайд ногдох замын хамгийн их хэмжээ 1065 м байна. Замын өндөр нягтрал Шарын гол сумын төвийг аймгийн төвтэй холбосон автозамын дагуух зарим хэсгүүдэд, Орхон сумын төв орчим, Бүрэнтолгой багийн төв орчимд үүсжээ.

Талбайн ачаалал (AP): Талбайн ачааллыг суурин газар (аймаг, сумын төв), тариалангийн газар, уул уурхайн нөлөөлөлд өртсөн талбайн хэмжээнд тодорхойлсон. Ерөнхийдөө олон улсын чанартай авто зам, төмөр зам дайран өнгөрдөг, Дархан хот байрладаг, газар тариалангийн үйлдвэрлэл төвлөрсөн нутгийн зүүн хэсгээр талбайн ачаалал их байна.

Судалгааны нэгж талбайн 18.78%-д (9529 нэгж талбай) талбайн ачаалал ямар нэг хэмжээгээр илэрсэн. Үүнээс 4202 нэгж талбай буюу 8.28% нь талбайн ачаалалд бүрэн өртжээ. Нөлөөлөл илэрсэн нэгж талбайн хүрээнд тооцоход, талбайн ачааллын дундаж утга 4.26 га/250 м² байлаа (Зураг 23).

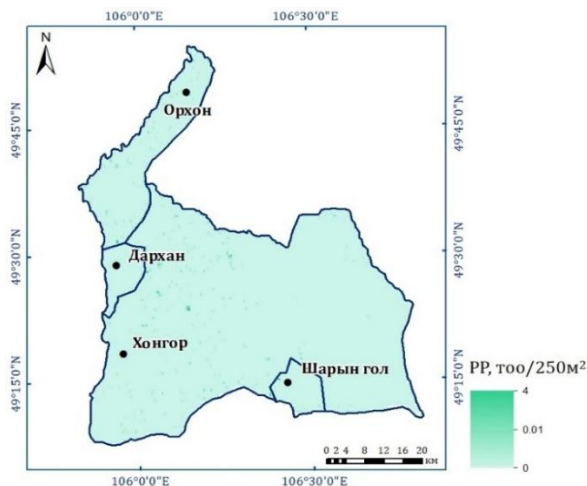


Зураг 23. Дархан орчмын талбайн ачааллын тархалт

Цэгэн ачаалал (PP): Судалгааны талбайн хэмжээнд нийт 576 өвөлжөө, хаваржаа бүртгэгдсэн ба 250 м² талбайд ноогдох өвөлжөө, хаваржааны газрын тоо хамгийн ихдээ 4 байв.

Судалгааны нэгж талбайд 1 өвөлжөө, хаваржаа ногдох 530 байршил, 2 өвөлжөө, хаваржаа ногдох 38 байршил, 3 өвөлжөө, хаваржаа ногдох 5 байршил, 4 өвөлжөө, хаваржаа ногдох 3 байршил байна.

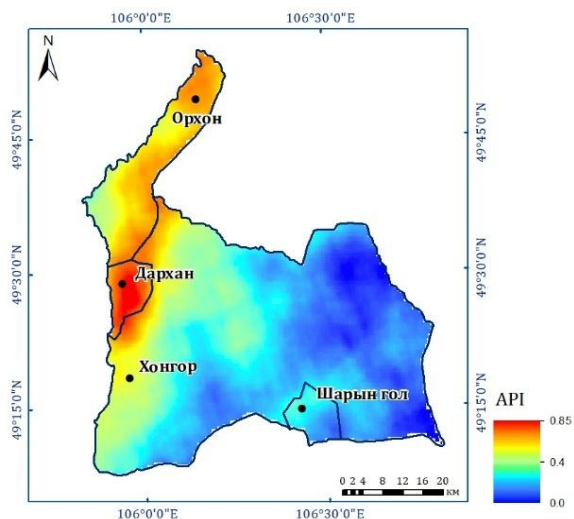
Энэхүү судалгааны талбайн хувьд, тариалангийн талбайтай ойролцоо байрлах өвөлжөө, хаваржаа нь цэгэн ачаалал үүсгэхийн зэрэгцээ тариалангийн газрын хөрсний чанарт ямар нэг хэмжээгээр нөлөө үзүүлж байж болох юм (Зураг 24).



Зураг 24. Дархан орчмын цэгэн ачааллын тархалт

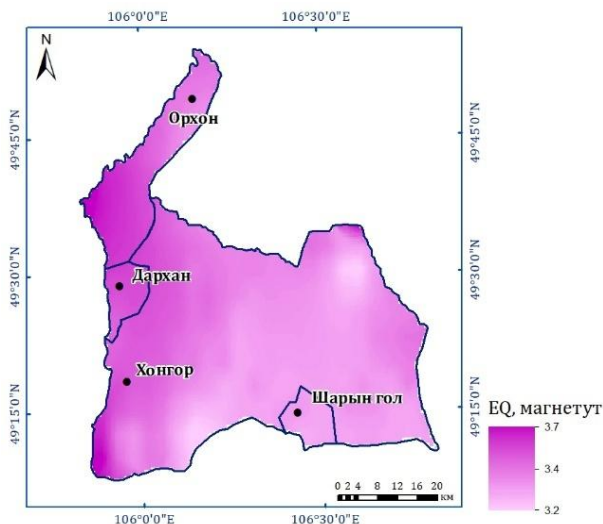
Агаарын бохирдлын индекс (API): Дархан орчмын агаарын бохирдлын индексийн орон зайн тархалтыг авч үзэхэд хамгийн бага утга нь 0.13 байсан бөгөөд энэ нь судалгааны талбайн зүүн хойд болон зүүн өмнөд хэсгээр тархсан байна.

Харин хамгийн их утга 0.88 нь Дархан хотын төв хэсэгт илүү өндөр хэмжээгээр ажиглагдаж байна. Судалгааны талбайн хэмжээнд агаарын бохирдлын индексийн дундаж утга 0.4, стандарт хазайлт 0.1 байгаа нь агаарын бохирдлын түвшин ерөнхийдөө дунд зэрэг боловч, хот суурин газрын орчимд илүү өндөр утга ажиглагдаж байгааг харуулж байгаа болно (Зураг 25).



Зураг 25. Дархан орчмын агаарын бохирдлын индексийн тархалт

Газар хөдлөлт (EQ): Дархан орчмын газар хөдлөлтийн орон зайн тархалтыг авч үзэхэд, хамгийн бага утга нутгийн урд болон зүүн хойд хэсгээр ажиглагдсан бол их утга нь баруун урд болон баруун хойд орчмоор ажиглагдсан. Судалгааны талбайн хэмжээнд газар хөдлөлтийн дундаж утга 3.4 магнитуд, стандарт хазайлт 0.06 магнитуд байгаа нь газар хөдлөлтийн идэвх ерөнхийдөө тогтвортой боловч, орон зайн хувьд тодорхой хэлбэлзэлтэй байгааг харуулж байна (Зураг 26).

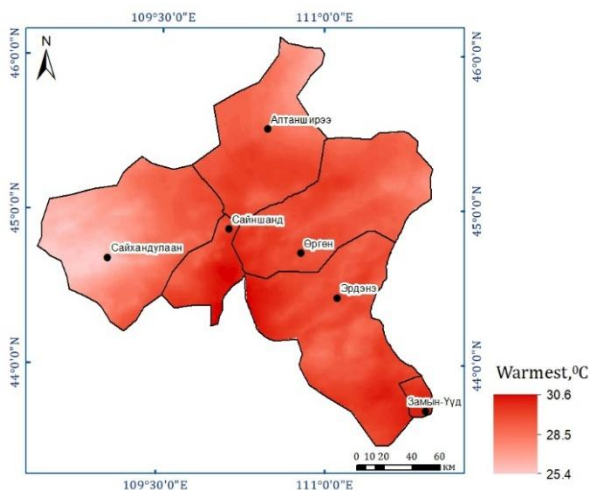


Зураг 26. Дархан орчмын газар хөдлөлтийн орон зайн тархалт

3.2. Сайншанд орчмын геоэкологийн нөхцөл

Сайншанд орчмын геоэкологийн нөхцөлийг үнэлэхэд шаардагдах сэдэвчилсэн давхаргууд

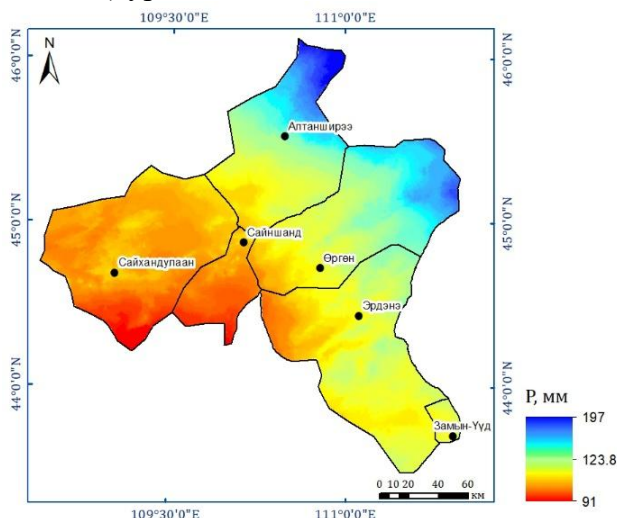
Хамгийн дулаан сарын хамгийн их температур (Warmest): Сайншанд орчмын хамгийн дулаан сарын хамгийн их температурын орон зайн тархалтын бага утга Сайхандулаан сумын баруун хэсгээр, их утга нь Зүүнбаян сумын төв орчмоор байна. Судалгааны талбайн хэмжээнд дундаж утга 28.5°C, стандарт хазайлт 0.7°C байгаа нь харьцангуй жигд тархалттай байгааг илэрхийлнэ (Зураг 27).



Зураг 27. Сайншанд орчмын хамгийн дулаан сарын хамгийн их температурын тархалт

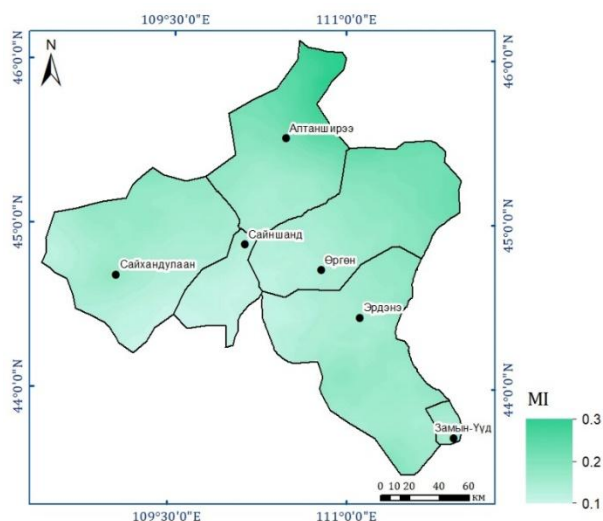
Нийлбэр хур тунадас (P): Нийлбэр хур тунадасны орон зайн тархалтын хувьд Сайхандулаан сумын урд хэсгээр бага хур тунадас унадаг бол Алтанширээт сумын хойд хэсгээр арай илүү хур тунадас унадаг нь хуурай хээрээс цөлийн бүсийг хамарч буй зүй тогтлыг харуулж байгаа болно.

Судалгааны талбайн хэмжээнд нийлбэр хур тунадасны дундаж утга 138.9 мм, стандарт хазайлт 9.3 мм байна (Зураг 28).



Зураг 28. Сайншанд орчмын нийлбэр хур тунадасны тархалт

Мезенцевийн чийгшлийн итгэлцүүл (MI): Мезенцевийн чийгшлийн итгэлцүүрийн хамгийн бага утга 0.12, хамгийн их утга 0.32, дундаж утга 0.2 байна. Хэлбэлзлийн үзүүлэлтүүд болох стандарт хазайлт 0.03, вариацийн коэффициент 0.18 байгаа нь MI индексийн утга орон зайд тодорхой хэмжээгээр хэлбэлзэж болохыг харуулж байна (Зураг 29).



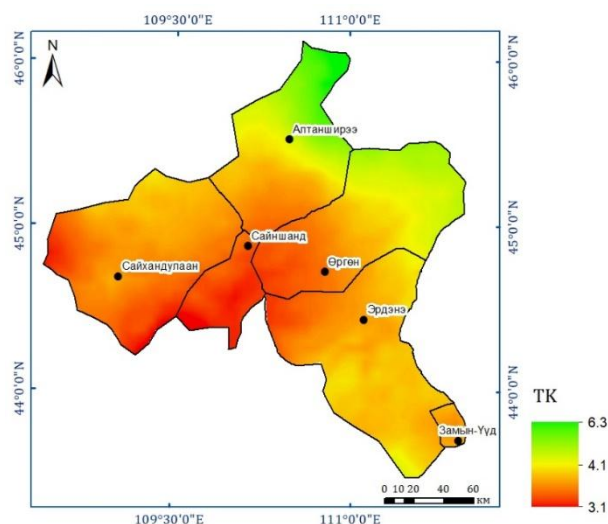
Зураг 29. Сайншанд орчмын Мезенцевийн чийгшлийн итгэлцүүрийн тархалт

MI итгэлцүүрийн утга нийт талбайн 99 %-д 0.13-0.29 байх ба энэ нь судалгааны талбай чийгийн горимын хувьд хэт хуурай, үл ялиг чийгтэй ангид хамаарч байгааг илтгэнэ. Судалгааны талбайн дийлэнх хэсэг хэт хуурай ангид хамаарах бөгөөд үл ялиг чийгтэй анги нутгийн хойд хэсгийн багахан талбайд илэрч байна.

Ерөнхийдөө MI итгэлцүүрийн утга хойноос өмнөд чиглэлд алгуур буурах бөгөөд MI итгэлцүүрийн хамгийн их хэмжээ нутгийн хойд захад орших Үйзэн цагаан овоо, Оорцог овоо орчимд тархжээ.

Уур амьсгалын биологийн үр ашгийн индекс (ТК): Судалгааны талбайн ТК индексийн утга 3.09- 6.31-ийн хооронд хэлбэлзэх бөгөөд дундаж утга нь 4.19 байна. ТК индексийн утга судалгааны нийт талбайн 99%-д 3.23-5.96 байх ба уур амьсгалын биологийн үр ашиг бага, багавтар гэсэн ангид хамаарна.

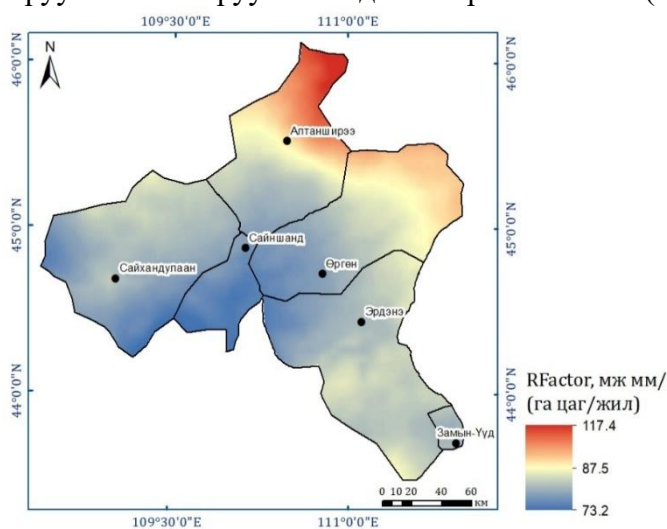
ТК индексийн утга нутгийн баруун өмнөд хэсгээс зүүн хойд зүгт аажим нэмэгдэж, 1.07 нэгжийн зөрүүг үүсгэж байна (Зураг 30).



Зураг 30. Сайншанд орчмын уур амьсгалын биологийн үр ашгийн индексийн тархалт

Хур тунадасны элээх чадавх (RFactor): RFactor-ын дундаж утга 91.66 мж×мм/(га×цаг/жил), нийт талбайн 93.46%-д Rfactor-ын утга 100 мж×мм/(га×цаг/жил)-аас бага утгатай байв.

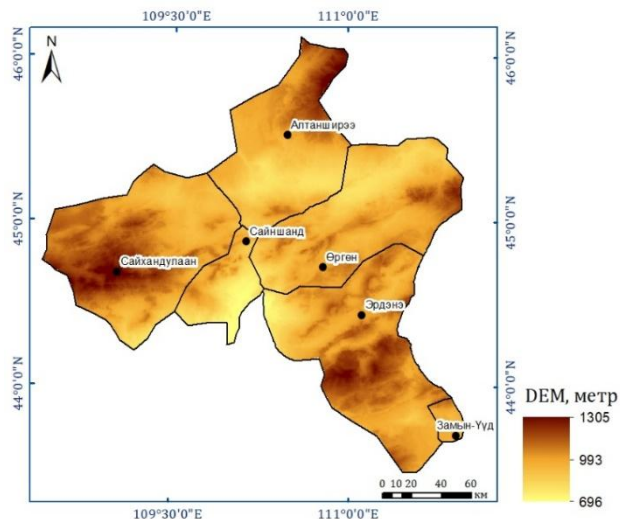
Хур тунадасны хүчин зүйлээс үүдэлтэй хөрс элэгдэлд орох эрсдэл судалгааны талбайн бусад хэсэгтэй харьцуулбал хур тунадас ахиу унадаг нутгийн хойд хэсгээр харьцангуй өндөр, баруун болон баруун өмнөд хэсгээр бага байна (Зураг 31).



Зураг 31. Сайншанд орчмын хур тунадасны элээх чадавхын тархалт

Өндрийн тоон загвар (DEM): Сайншанд орчмын талбайн хамгийн нам цэг нь далайн түвшнээс дээш 696.01 м өндөрт Сайншанд сумын төв хэсгээр байгаа бол хамгийн өндөр цэг нь 1305.0 м өндөрт, Сайхандулаан сумын нутагт оршино.

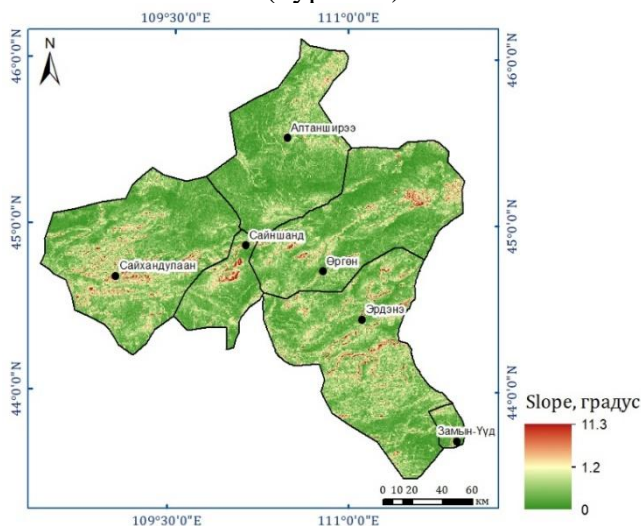
Судалгааны талбайн хэмжээнд газрын дундаж өндөр нь 1002.7 м, стандарт хазайлт 79.4 м байгаа нь рельефийн ялгаа харьцангуй их, нам дор ба өндөрлөг газрууд тод илэрч байгааг харуулж байна (Зураг 32).



Зураг 32. Сайншанд орчмын гадаргын өндрийн тархалт

Гадаргын налуу (Slope): Гадаргын налуугийн орон зайн тархалтаас харахад, Сайншанд орчимд налуу нь 1°-аас бага утгатай газрууд ихэнх талбайг эзэлж байна.

Судалгааны талбайн хэмжээнд гадаргын налуугийн дундаж утга 1.25°, стандарт хазайлт 0.77° байгаа нь ерөнхийдөө нам дор, жигд рельефтэй боловч, өндөрлөг хэсгүүдэд тодорхой хэлбэлзэлтэй байгааг илтгэнэ (Зураг 33).

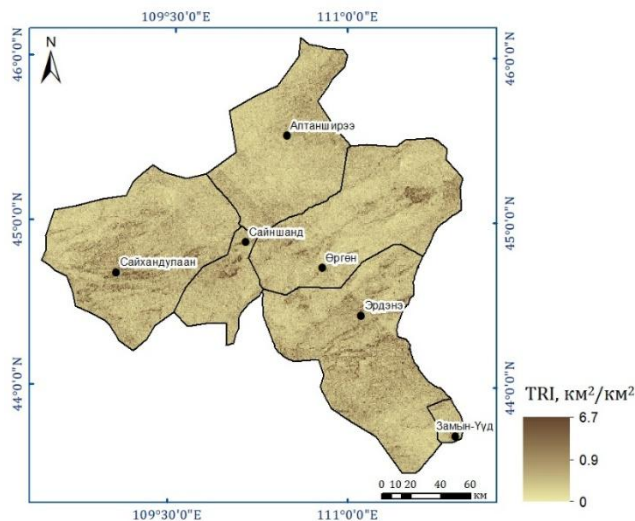


Зураг 33. Сайншанд орчмын гадаргын налуугийн тархалт

Гадаргын бартаат байдлын индекс (TRI): Сайншанд орчмын газрын гадаргын бартаат байдлын индекс нь 1 км²/км²-аас бага утгатай газруудад голлон төв, хөндийн

хэсгүүдэд хамаарч байгаа ба хамгийн их утга $6.7 \text{ км}^2/\text{км}^2$ нь Сайншанд сумын урд хэсэгт илэрчээ.

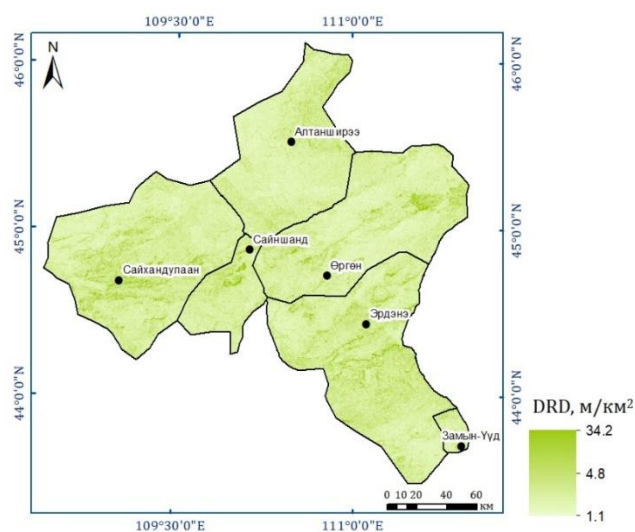
Судалгааны талбайн хэмжээнд газрын гадаргын бартаат байдлын индексийн дундаж утга $0.9 \text{ км}^2/\text{км}^2$, стандарт хазайлт $0.4 \text{ км}^2/\text{км}^2$ байгаа нь талбайн рельеф ерөнхийдөө нам дор, харьцангуй жигд боловч, тодорхой хэсгүүдэд бартаат өндөрлөг газар оршиж байгааг харуулж байна (Зураг 34).



Зураг 34. Сайншанд орчмын газрын гадаргын бартаат байдлын индексийн тархалт

Гадаргын урсцын сүлжээний нягтшил (DRD): Сайншанд орчимд гадаргын урсцын сүлжээний нягтшилын $1 \text{ м}/\text{км}^2$ -аас бага утгатай газрууд Өргөн сумын зүүн хойд, Сайхан сумын баруун хойд, Алтанширээ сумын баруун орчмоор, хамгийн их утга $34.2 \text{ м}/\text{км}^2$ нь Сайншанд сумын урд хэсгээр тус тус байна.

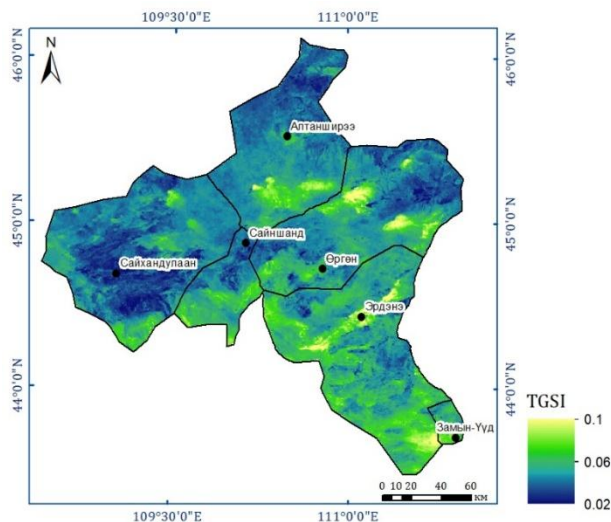
Судалгааны талбайн хэмжээнд гадаргын урсцын сүлжээний нягтшилын дундаж утга $4.8 \text{ м}/\text{км}^2$, стандарт хазайлт $1.9 \text{ м}/\text{км}^2$ байгаа нь гадаргын урсцын сүлжээний нягтшил нутгийн хэмжээнд ерөнхийдөө бага байгааг илэрхийлнэ (Зураг 35).



Зураг 35. Сайншанд орчмын гадаргын урсцын сүлжээний нягтшилын тархалт

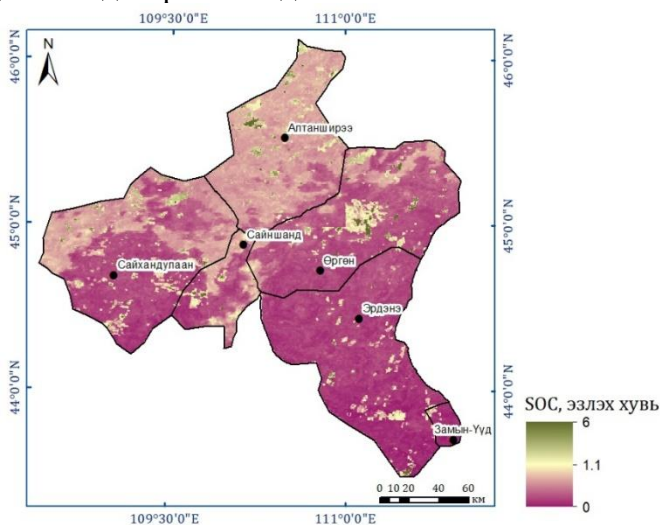
Хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүний индекс (TGSИ): Сайншанд орчмын хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүний индексийн орон зайн тархалтаас үзэхэд, хамгийн бага утга 0.02 нь Сайхандулаан сумын төв болон Өргөн сумын зүүн хойд хэсэгт тархсан бол хамгийн их утга 0.12 нь Өргөн сумын хойд, Эрдэнэ сумын баруун болон төв хэсэгт тархаж, элсэрхэг бүрэлдэхүүнтэй хөрсийг илтгэж байна.

Судалгааны талбайн хэмжээнд хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүний индексийн дундаж утга 0.05, стандарт хазайлт 0.01 байгаа нь хөрсний бүтэц ерөнхийдөө тогтвортой боловч нутгийн зарим хэсэгт илүү элсэрхэг хөрс давамгайлж байгааг харуулж байгаа юм (Зураг 36).



Зураг 36. Сайншанд орчмын хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүний индексийн тархалт

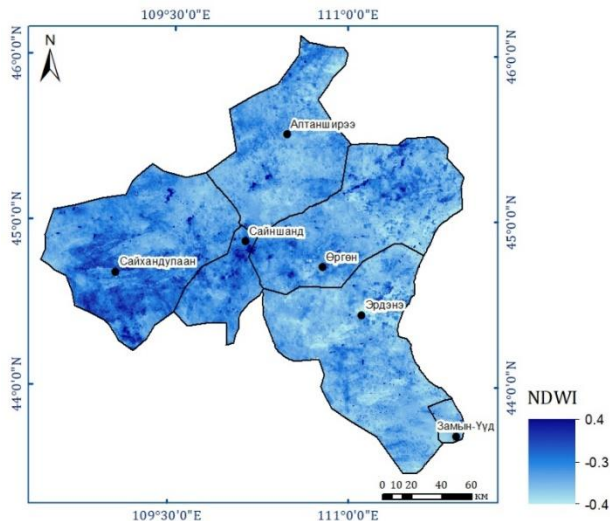
Хөрсний органик карбон (SOC): Судалгааны талбайн хэмжээнд SOC-ийн агууламжийн хамгийн их утга 5.98%, дундаж утга 1.21, стандарт хазайлт 0.32 байна. Нийт талбайн 97.42%-д SOC-ийн агууламж 2%-иас бага, 0.45%-д нь 3%-иас их байна. SOC-ийн агууламж 3%-иас их газрууд нь ихэвчлэн голын татам, нуурын хонхор хотос газрыг даган алаг цоог байдлаар тохиолдоно.



Зураг 37. Сайншанд хөрсний органик карбоны тархалт

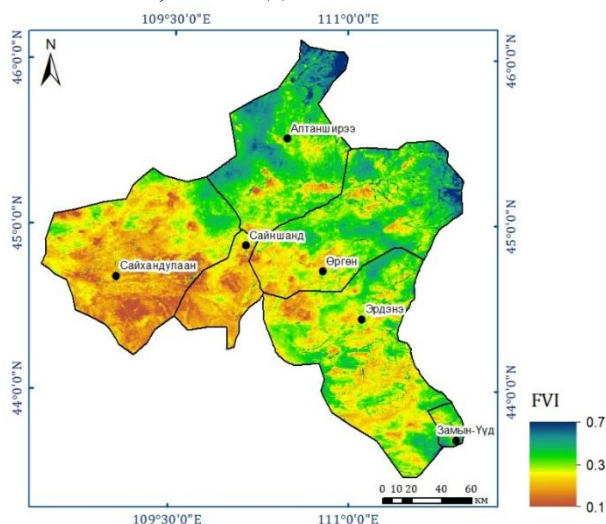
Орон зайн хувьд судалгааны талбайн баруун хойд хэсэгт SOC-ийн агууламж зүүн өмнөд хэсгээс харьцангуй өндөр байгаа бөгөөд баруун хойноос зүүн өмнөд чиглэлд алгуур багасаж байна (Зураг 37).

Усны нормчлогдсон ялгаврын индекс (NDWI): Сайншанд орчмын усны нормчлогдсон ялгаврын индекс (NDWI)-ийн орон зайн тархалтын бага утга нь Эрдэнэ сумын төв орчимд тархсан бол их утга нь Сайншанд сумын төвөөс урд хэсэгт төвлөрсөн байна. Судалгааны талбайн хэмжээнд дундаж утга -0.3 , стандарт хазайлт 0.04 байгаа нь усны агууламж ерөнхийдөө бага байгааг илэрхийлнэ (Зураг 38).



Зураг 38. Сайншанд орчмын усны нормчлогдсон ялгаврын индексийн тархалт

Ургамлын фракцын индекс (FVI): FVI индексийн дундаж утга 0.31 , хамгийн их утга 0.68 , хамгийн бага утга 0.12 байгаа ба судалгааны нийт талбайн 91.79% -д FVI индексийн утга $0.2-0.4$, 4.95% -д 0.2 -оос бага, 3.25% -д $0.4-0.6$ байна.

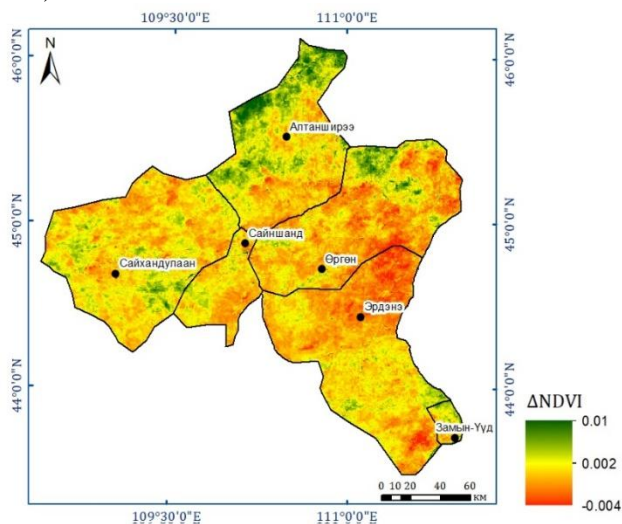


Зураг 39. Сайншанд орчмын ургамлын фракцын индексийн тархалт

Энэ нь судалгааны талбай нь нийтдээ тачир, сийрэг ургамал бүрхэвчтэй болохыг илтгэж байна. FVI индексийн их утгууд нутгийн хойд захын харьцангуй чийглэг хэсгээр

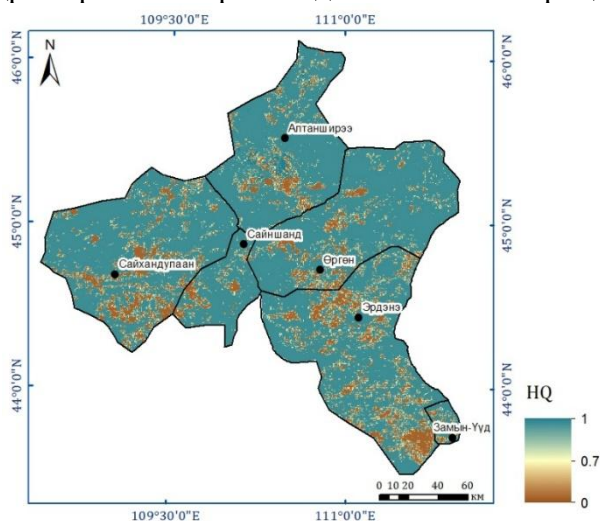
болон нуур тойром, булаг шандын ойр орчимд ашиглагдсан бол талбайн хойноос өмнөд чиглэлд энэхүү индексийн утга буурч, ургамал нөмрөг тачир сийрэг болж байгааг харж болно (Зураг 39).

Ургамлын нормчлогдсон ялгаврын индексийн өөрчлөлт ($\Delta NDVI$): 2000-2022 оны хооронд судалгааны талбайн ургамлын индексийн утга жилд дунджаар 0.0015 нэгжээр өсжээ. NDVI индексийн өөрчлөлтийн утга -0.005 ба 0.011 нэгжийн хооронд хэлбэлзэж, нийт пикселийн 96.26%-д өсөх, 3.71%-д буурах хандлага ажиглагдаж байна. Ургамал нөмрөг доройтох хандлага судалгааны талбайн зүүн, зүүн өмнөд хэсгээр зонхилон илэрсэн болно (Зураг 40).



Зураг 40. Сайншанд орчмын ургамлын нормчлогдсон ялгаврын индексийн өөрчлөлт

Амьдрах орчны чанарын индекс (HQ): Амьдрах орчны чанарын индексийн дундаж утга 0.69, стандарт хазайлт 0.03 байна. Судалгааны талбай бараг бүхэлдээ буюу нийт газрын 99.60%-д амьдрах орчны чанарын индекс 0.5-0.75 хооронд хэлбэлзэж байв.



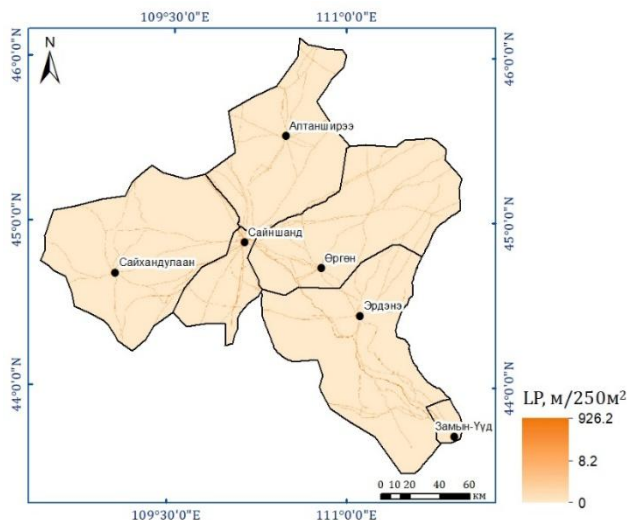
Зураг 41. Сайншанд орчмын амьдрах орчны чанарын индексийн тархалт

Энэ нь амьдрах орчны чанар дунд зэрэг гэсэн ангид хамаарч байгааг харуулна. Аймгийн төв, сумын төв, түүний ойр орчмын газар нутагт амьдрах орчны чанар сул буюу HQ индексийн утга 0.25-аас багатай байна (Зураг 41).

Шугаман ачаалал (LP): Хатуу хучилттай авто зам, сайжруулсан шороон зам, ердийн шороон зам, төмөр замын нийлбэрээр тооцож үзвэл судалгааны талбайд нийт 4970 км урт зам байна.

Нийт нутгийг бүрэн хамарсан 250 м×250 м грид торлолын 3.95%-д (23770 нэгж талбай) шугаман ачаалал ямар нэг хэмжээгээр илэрсэн. Үүнээс 50 м-ээс бага урттай зам ногдох 2338 нэгж талбай (0.39%), 50-100 м урт зам ногдох 2308 нэгж талбай (0.38%), 100-200 м зам ногдох 4566 нэгж талбай (0.76%), 200-400 м зам ногдох 13733 нэгж талбай (2.28%), 400 м-ээс их урт зам ногдох 825 нэгж талбай (0.14%) тус тус байна (Зураг 42).

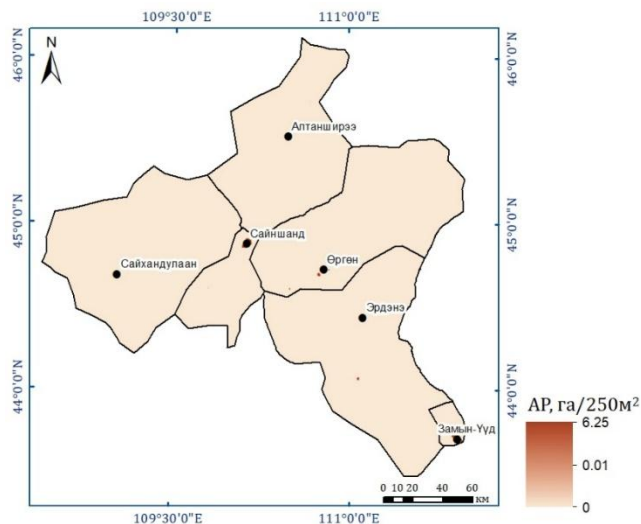
Нэгж талбайд ногдох замын хамгийн их урт 1247.7 м, дундаж урт 209м байна. Замын өндөр нягтрал (>700 м/250м²) Замын-Үүдийг Сайншандтай холбосон авто замын дагууд хэсэгчилсэн байдлаар үүссэн бол Эрдэнэ, Өргөн зэрэг сумын төвүүдийн ойр орчимд нэгж талбайд ногдох замын урт 1000м-ээс их байгаа нь хүн ам төвлөрсөн суурин газрын эргэн тойронд үүссэн шороон замууд нь тухайн нутаг оронд үзүүлэх шугаман ачааллыг нэмэгдүүлж, хөрсний элэгдэлд хүргэх нэг хүчин зүйл болох нөхцөл бүрдэх эрсдэлтэйг харуулж байна (Keshkamat et al., 2013).



Зураг 42. Сайншанд орчмын шугаман ачааллын тархалт

Талбайн ачаалал (AP): Судалгааны нэгж талбайн 0.24%-д (1466 нэгж талбай) хүний хүчин зүйлээс үүдэлтэй талбайн ачаалал ямар нэг хэмжээгээр илэрсэн. Үүнээс 934 нэгж талбай буюу 0.16% нь талбайн ачаалалд бүрэн өртжээ.

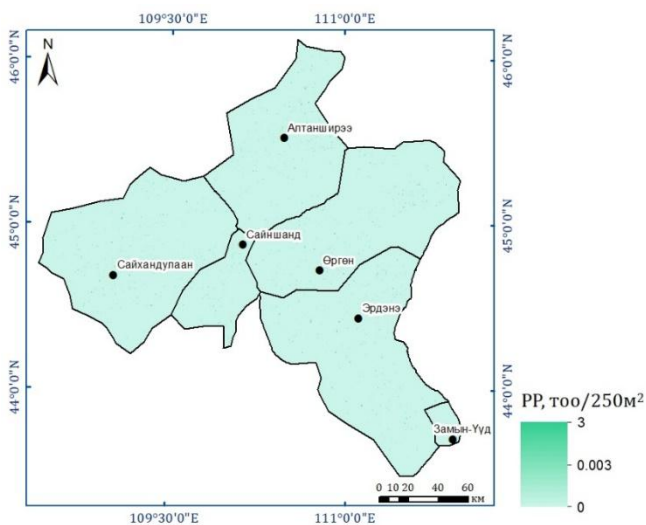
Нөлөөлөл илэрсэн нэгж талбайн хүрээнд тооцоолсон талбайн ачааллын дундаж утга 5.03 га/250 м² байв (Зураг 43).



Зураг 43. Сайншанд орчмын талбайн ачааллын тархалт

Цэгэн ачаалал (PP): Цэгэн ачааллыг 1834 өвөлжөө, хаваржааны газрын орон зайн мэдээлэлд үндэслэн тооцоолсон. 250 м² талбайд ногдох өвөлжөө, хаваржааны газрын тоо хамгийн ихдээ 3 байв.

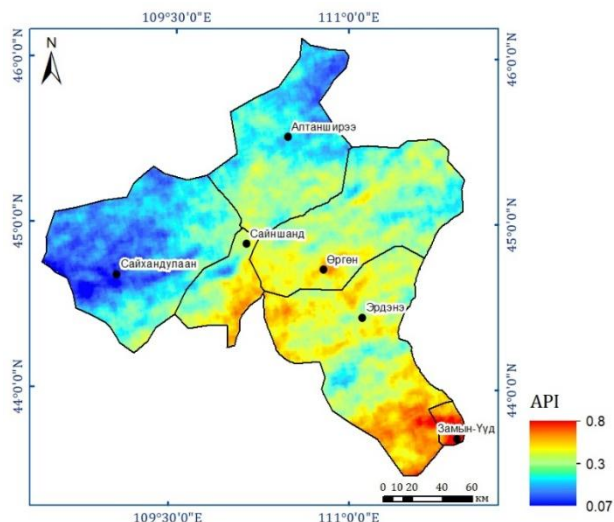
Судалгааны нэгж талбайд 1 өвөлжөө, хаваржаа ногдох 1834 байршил, 2 өвөлжөө, хаваржаа ногдох 16 байршил, 3 өвөлжөө, хаваржаа ногдох 1 байршил тус тус байна. Орон зайн хувьд өвөлжөө, хаваржаа судалгааны талбайд харьцангуй жигд тархан байршжээ (Зураг 44).



Зураг 44. Сайншанд орчмын цэгэн ачааллын тархалт

Агаарын бохирдлын индекс (API): Сайншанд орчмын агаарын бохирдлын индексийн орон зайн тархалтын бага утга талбайн зүүн хойд, зүүн урд хэсгээр байсан бол их утга нь нутгийн сумын төвүүд, ялангуяа Замын-Үүд сумын нутгаар ажиглагдсан.

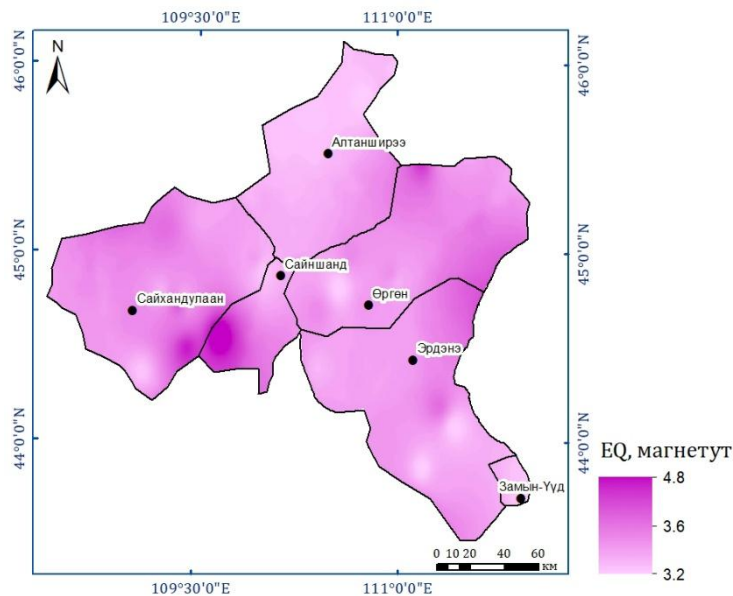
Судалгааны талбайн хэмжээнд агаарын бохирдлын индексийн дундаж утга 0.4, стандарт хазайлт 0.1 байна (Зураг 45).



Зураг 45. Сайншанд орчмын агаарын бохирдлын индексийн тархалт

Газар хөдлөлт (EQ): Сайншанд орчмын газар хөдлөлтийн орон зайн тархалтаас үзэхэд хамгийн бага утга 3.2 магнитуд нь Сайхандулаан сумын баруун урд хэсэгт тархсан бол хамгийн их утга 4.8 магнитуд нь Замын-Үүд сумын төв орчимд ажиглагдсан болно.

Судалгааны талбайн хэмжээнд газар хөдлөлтийн дундаж утга 3.6 магнитуд, стандарт хазайлт 0.17 магнитуд байгаа нь газар хөдлөлтийн идэвх ерөнхийдөө тогтвортой боловч, орон зайн хувьд тодорхой хэлбэлзэлтэй байгааг илэрхийлж байна (Зураг 46).



Зураг 46. Сайншанд орчмын газар хөдлөлтийн тархалт

ДӨРӨВДҮГЭЭР БҮЛЭГ. ГЕОЭКОЛОГИЙН НӨХЦӨЛИЙН ҮНЭЛГЭЭ

Геоэкологийн судалгаанд байгаль орчны төлөв байдал, тогтвортой байдлыг үнэлэхэд геосистемийн хандлага өргөн хэрэглэгддэг. Геосистем нь чулуун мандал, агаар мандал, усан мандал болон биосферийн бүрэлдэхүүн хэсгүүд орон зайд харилцан үйлчилж бүрэлдсэн нэгдмэл байгалийн систем бөгөөд түүний бүтэц, үйл ажиллагаа нь байгалийн болон антропоген хүчин зүйлүүдийн нөлөөн дор байнга өөрчлөгдөж байдаг (Isachenko, 2003; Trofimov, 2021). Энэ утгаараа геосистемийн төлөв байдал нь зөвхөн биологийн үзүүлэлтээр бус, харин уур амьсгал, хөрс, ус, геологийн орчин, газрын гадаргын хэлбэр зэрэг абиотик хүчин зүйлүүд болон биотик бүрэлдэхүүний харилцан үйлчлэлийн нийлбэр үр дүнгээр тодорхойлогдоно (Huggett, 1995; Odum & Barrett, 2005). Иймээс геоэкологийн үнэлгээ нь байгаль орчны олон бүрэлдэхүүн хэсгийн харилцан хамаарлыг цогцоор нь авч үзэх шаардлагатай бөгөөд геологийн, геохимийн, геофизикийн болон экологийн мэдээллийг нэгтгэн ашиглах замаар геосистемийн бүтэц, үйл ажиллагаа, өөрчлөлтийн зүй тогтлыг тодорхойлох боломжтой (Rozanov, 2015; Trofimov, 2021). Энэ хандлага нь байгаль орчны доройтол, антропоген ачааллын нөлөөлөл, экосистемийн тогтвортой байдлыг орон зайн түвшинд үнэлэхэд чухал ач холбогдолтой бөгөөд байгаль ашиглалтын зохистой бодлого боловсруулах, хүрээлэн буй орчны тогтвортой менежментийг хэрэгжүүлэх шинжлэх ухааны үндэслэл болдог.

Аливаа судалгаанд тухайн шаардлагаас хамааран хэрэгцээт мэдээллийг гарган авахад, боловсруулалтын өөр өөр статистик болон геостатистик аргуудыг ашиглан мэдээг боловсруулж, ГМС-ийн давхаргуудыг баяжуулж болон шинэчилж болно (Амарсайхан нар 2014). Иймд бид судалгаандаа геосистемүүдийн бүрэлдэхүүнүүдийг төлөөлүүлэн олон эх сурвалжийн өгөгдлийг боловсруулж, тухайлсан зорилтын хүрээнд өөр өөр математик илэрхийллийг ашиглан 20 хувьсагчийг гарган авч, судалгаандаа ашигласан болно.

Энэхүү бүлэгт судалгааны 2 талбайд геоэкологийн нөхцөлийг үнэлсэн үр дүнгийн тухай өгүүлэх болно. Үүнд судалгааны талбай тус бүрээр судалгаанд ашигласан хувьсагчдын статистик, орон зайн тархалт, энтропи жингийн үр дүн, энтропи жинг ашиглан TOPSIS аргаар тооцсон геоэкологийн нөхцөлийн индекс (GCI)-ийн үр дүн, түүнчлэн мэдрэмжийн шинжилгээ дээр тулгуурласан дүгнэлт зэрэг багтана.

4.1. Дархан орчмын геоэкологийн нөхцөлийн үнэлгээ

4.1.1. Үнэлгээнд ашиглагдсан хувьсагчдын орон зайн бүтэц, шинж чанар

Дархан орчмын судалгааны талбайн геоэкологийн нөхцөлийг үнэлэхийн тулд, адил зарчмаар боловсруулсан 20 хувьсагчийг ашигласан. Судалгаанд ашигласан хувьсагчдын статистик үзүүлэлтийг Хүснэгт 2-д, харин үйлчлэх чиглэлээр нормчилсон утгын тархалтыг Зураг 47-д харуулав.

Хүснэгт 2. Дархан орчмын судалгаанд ашигласан хувьсагчдын статистик үзүүлэлт

№	Хувьсагч (товчлол)	Хамгийн бага	Хамгийн их	Дундаж	Стандарт хазайлт	Үйлчлэх чиглэл
---	--------------------	--------------	------------	--------	------------------	----------------

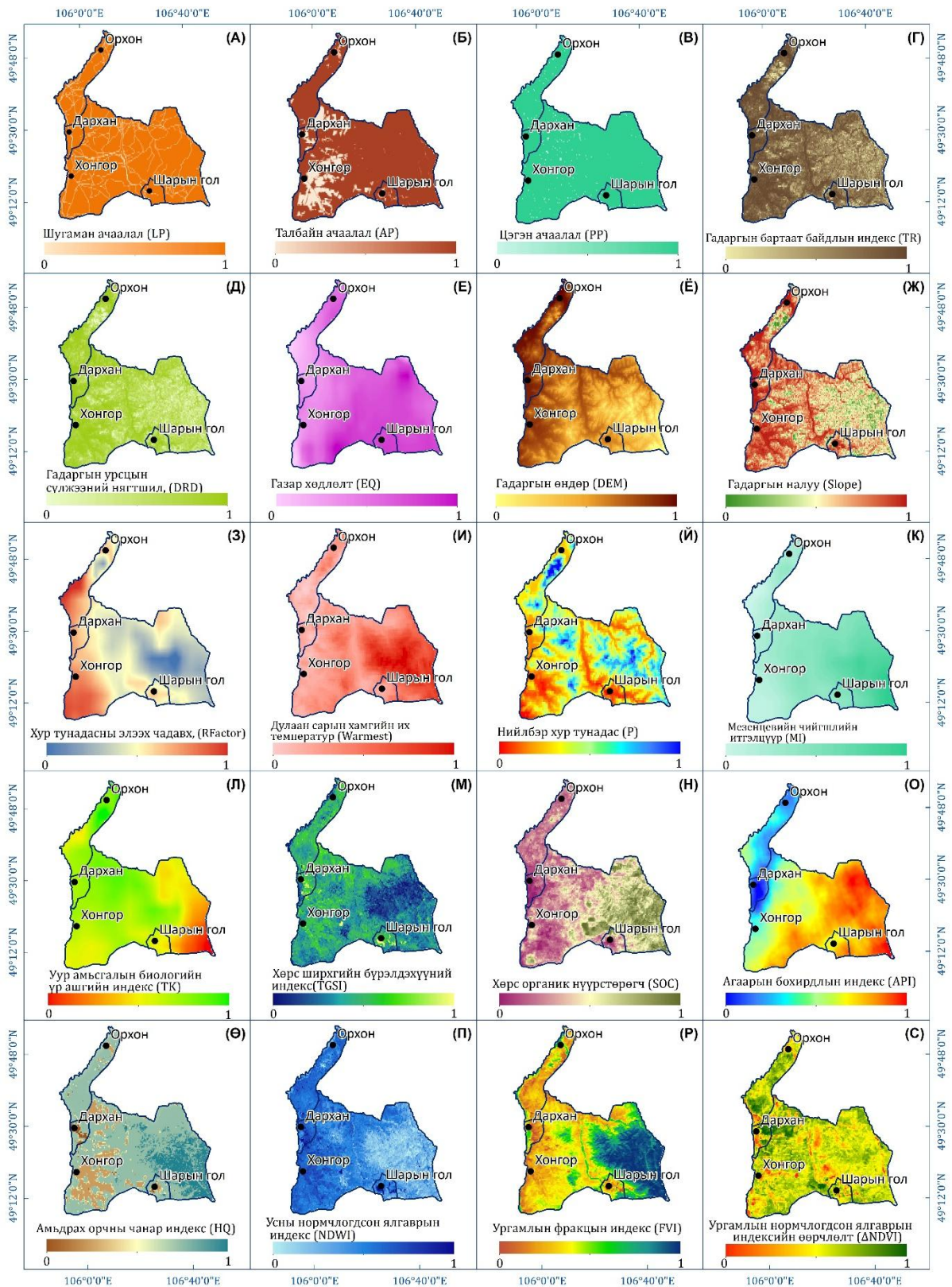
1	Хамгийн дулаан сарын хамгийн их температур (Warmest)	22.80	26.20	24.90	0.27	-
2	Нийлбэр хур тунадас (P)	293.00	364.00	314.67	8.34	+
3	Мезенцевийн чийгшлийн итгэлцүүр (MI)	0.52	0.67	0.57	0.01	+
4	Уур амьсгалын биологийн үр ашгийн индекс (TK)	8.86	10.44	9.75	0.21	+
5	Хур тунадасны элээх чадавх (RFactor)	160.04	175.70	167.31	1.66	-
6	Гадаргын өндөр (DEM)	626.74	1517.18	922.31	80.53	-
7	Гадаргын налуу (Slope)	0.01	23.78	5.80	2.96	-
8	Гадаргын бартаат байдлын индекс (TRI)	0.05	12.89	2.60	1.26	-
9	Гадаргын урсцын сүлжээний нягтшил (DRD)	1.06	99.60	15.19	7.18	-
10	Хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүний индекс (TGSI)	0.05	0.40	0.31	0.03	-
11	Хөрсний органик карбон (SOC)	0.00	9.72	5.38	0.87	+
12	Усны нормчлогдсон ялгаврын индекс (NDWI)	-0.38	0.01	-0.25	0.02	+
13	Ургамлын фракцын индекс (FVI)	0.23	0.96	0.65	0.07	+
14	Ургамлын нормчлогдсон ялгаврын индексийн өөрчлөлт (Δ NDVI)	-0.02	0.01	0.00	0.00	+
15	Амьдрах орчны чанар индекс (HQ)	0.00	1.00	0.72	0.13	+
16	Шугаман ачаалал (LP)	0.00	677.77	30.71	68.64	-
17	Талбайн ачаалал (AP)	0.00	6.25	1.46	0.84	-
18	Цэгэн ачаалал (PP)	0.00	5	0.01	0.07	-
19	Агаарын бохирдлын индекс (API)	0.13	0.85	0.41	0.10	-
20	Газар хөдлөлт (EQ)	3.21	3.72	3.43	0.06	-

Жич: хувьсагчдын товчлол (хэмжих нэгж): Warmest ($^{\circ}$ C), P (мм), DEM (м), Slope ($^{\circ}$), SOC (%), LP (м/м²), AP (га/м²), PP(тоо/м²), EQ (магнетут)

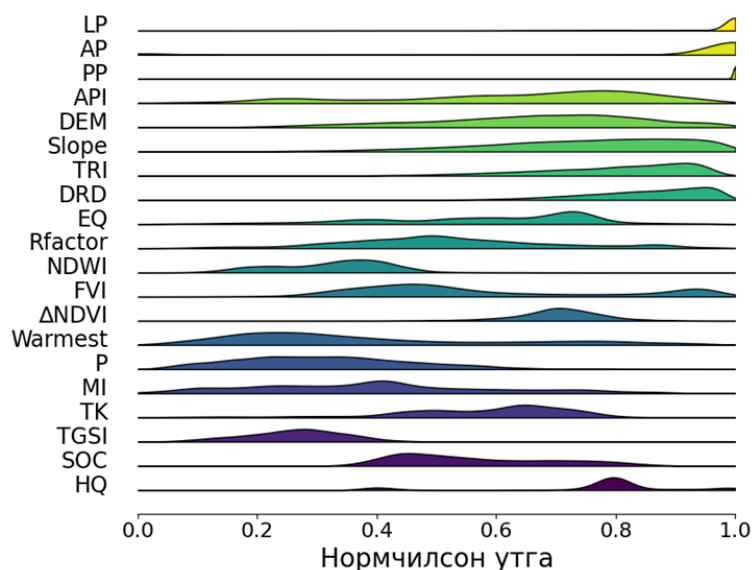
Дархан орчмын талбай нь манай улсын томоохонд тооцогддог Гангийн төмөрлөгийн үйлдвэр байрладгаараа онцлогтой. Сөрөг үйлчлэх чиглэлтэй хувьсагчдын нормчилсон утгын орон зайн тархалт нь анхдагч утгын тархалттай урвуу хамааралтай илэрч байгаа бол эерэг үйлчлэх чиглэлтэй хувьсагчдын тархалт анхдагч утгатай ижил чиглэлтэй байна. Жишээлбэл, антропоген нөлөөллийг илэрхийлэх талбайн ачааллын (AP) хувьсагчийг сөрөг чиглэлээр нормчилсон тул нормчилсон утгын бага утгууд нь уурхайн ашиглалтын талбай, тариалангийн бүс болон суурин газрын орчимд байлаа.

Ridgeline density диаграммаар Дархан орчмын талбайн үнэлгээнд ашигласан хувьсагчдын пиксел дээрх нормчилсон утгын тархалтыг харууллаа (Зураг 48). Гадаргын өндөр (DEM), гадаргын налуу (Slope), гадаргын бартаат байдлын индекс (TRI) болон гадаргын урсцын сүлжээний нягтшил (DRD) зэрэг хувьсагчдын тархалт харьцангуй өргөн бөгөөд ихэвчлэн 0.5–0.9 интервалд төвлөрч байна. Энэ нь ландшафтын төрлийн олон янз байдлыг илэрхийлэхээс гадна, орон зайн гетероген бүтэцтэй байгааг илтгэнэ. Бусад хувьсагчдын хувьд нормчилсон утгын тархалт нь баруун болон зүүн тийш хэлбийсэн, өөрөөр хэлбэл асимметр шинжтэй байна. Тухайлбал, амьдрах орчны чанарын индекс (HQ)-ийн пикселийн утгууд 0.75–0.85 интервалд хамгийн их төвлөрсөн байгаа нь

судалгааны талбайн зарим хэсэгт геосистемийн бүрэлдэхүүн тогтвортой байдал харьцангуй сайн байгааг илэрхийлж байна (Даш, 2002).



Зураг 47. Дархан орчмын судалгаанд ашигласан хувьсагчдын нормчилсон утгуудын тархалт



Зураг 48. Дархан орчмын хувьсагчдын нормчилсон утгуудын пиксел дээрх тархалт

4.1.2. Энтропи жингийн үр дүн

Дархан орчмын талбайд үйлчлэх чиглэлийн дагуу нормчилсон 20 хувьсагчийн пиксел бүрийн магадлалын тархалтыг тодорхойлж, энтропи утгыг тооцсон. Энтропи утгад тулгуурлан жинг тооцсон үр дүнг Хүснэгт 3-д, Зураг 49-д тус тус харуулав. Энд уур амьсгалын үзүүлэлт болох хувьсагчид (Warmest, P, MI, TK, RFactor)-ын жин өндөр байгаа нь геоэкологийн нөхцөлд эдгээр хувьсагчдын орон зайн ялгарал их байгааг илэрхийлнэ.

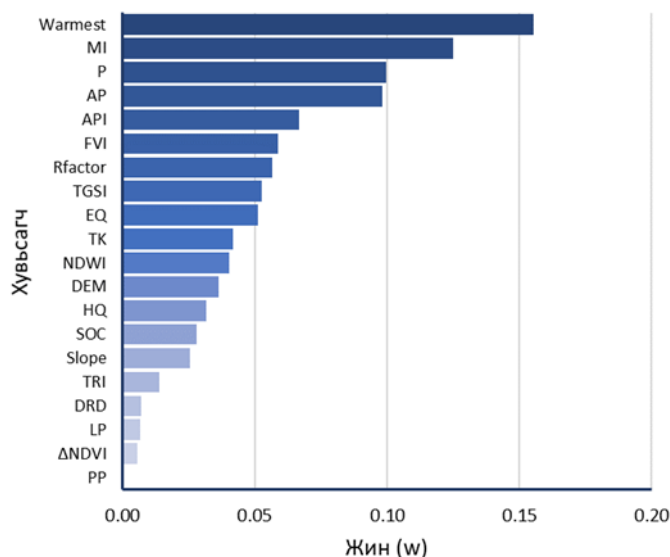
Түүнчлэн, өмнө дурдсанчлан Дархан орчмын талбайд уурхайн үйл ажиллагаатай холбоотой талбайн ачаалал (AP: $w_{base}=17$)-ын жин өндөр гарчээ. Мөн экосистемийн био бүтээмжийг илэрхийлэх ургамлын фракцын индекс (FVI) харьцангуй өндөр жинтэй гарсан нь ургамлын бүрхэвчийн орон зайн ялгарал судалгааны талбайд тодорхой хэмжээгээр илэрч байгааг илтгэнэ.

Хүснэгт 3. Дархан орчмын талбайн геоэкологийн нөхцөлийг үнэлэхэд ашиглагдах энтропи жин

№	Хувьсагч (товчлол)	Жин (w_{base})	Эрэмбэ
1	Хамгийн дулаан сарын хамгийн их температур (Warmest)	0.155	20
2	Нийлбэр хур тунадас (P)	0.100	18
3	Мезенцевийн чийгшлийн итгэлцүүр (MI)	0.125	19
4	Уур амьсгалын биологийн үр ашгийн индекс (TK)	0.042	11
5	Хур тунадасны элээх чадавх (RFactor)	0.056	14
6	Гадаргын өндөр (DEM)	0.036	9
7	Гадаргын налуу (Slope)	0.025	6
8	Гадаргын бартаат байдлын индекс (TRI)	0.014	5
9	Гадаргын урсцын сүлжээний нягтшил (DRD)	0.007	4

10	Хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүний индекс (TGSI)	0.053	13
11	Хөрсний органик карбон (SOC)	0.028	7
12	Усны нормчлогдсон ялгаврын индекс (NDWI)	0.040	10
13	Ургамлын фракцын индекс (FVI)	0.059	15
14	Ургамлын нормчлогдсон ялгаврын индексийн өөрчлөлт (Δ NDVI)	0.005	2
15	Амьдрах орчны чанар индекс (HQ)	0.032	8
16	Шугаман ачаалал (LP)	0.007	3
17	Талбайн ачаалал (AP)	0.098	17
18	Цэгэн ачаалал (PP)	0.000	1
19	Агаарын бохирдлын индекс (API)	0.067	16
20	Газар хөдлөл (EQ)	0.051	12

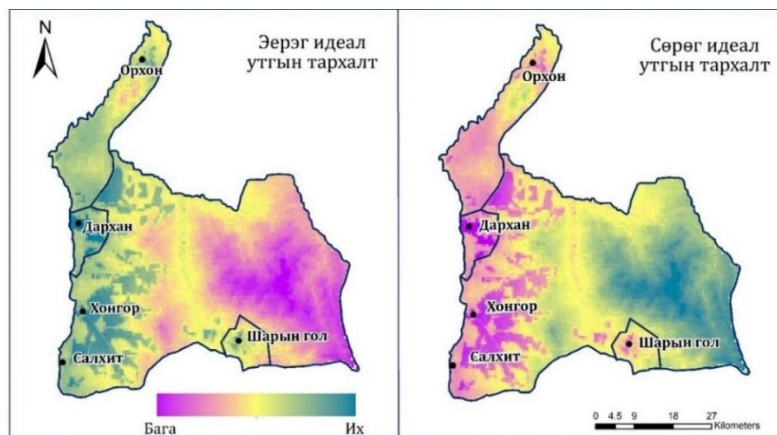
Зураг 49-д харуулсны дагуу геоэкологийн нөхцөлийн үнэлгээнд хувь нэмрээр нь эрэмбэлбэл хамгийн их температур > Мезенцевийн чийгшлийн итгэлцүүр > нийлбэр хур тунадас > талбайн ачаалал > агаарын бохирдол > ургамлын фракцын индекс > хур тунадасны элээх чадавх > хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүний индекс > газар хөдлөл > уур амьсгалын биологийн үр ашгийн индекс > усны нормчлогдсон ялгаврын индекс > гадаргын өндөр > амьдрах орчны чанарын индекс > хөрсний органик карбон > налуу > гадаргын бартаат байдлын индекс > гадаргын урсцын сүлжээний нягтшил > шугаман ачаалал > ургамлын нормчилсон ялгаврын индексийн өөрчлөлт > цэгэн ачаалал гэж байна.



Зураг 49. Дархан орчмын талбайн хувьсагчдын жингийн эрэмбийн диаграмм

4.1.3. Геоэкологийн нөхцөлийн үнэлгээний индекс

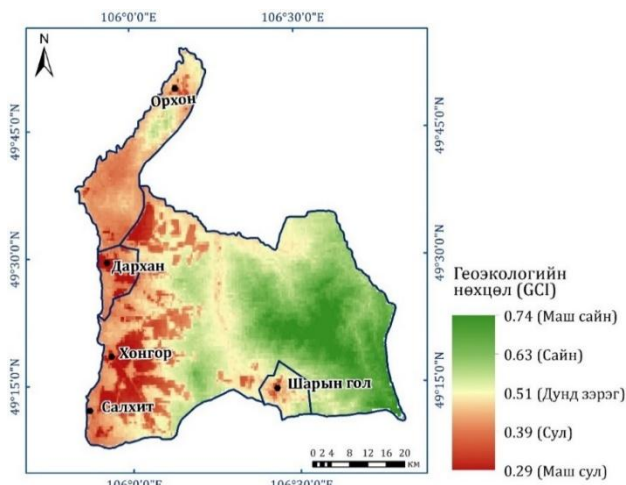
Дархан орчмын талбайд хувьсагчдын энтропи жинд тулгуурлан арга зүйн дагуу 20 хувьсагчийн пиксел бүрээр шийдвэрийн матриц байгуулж, уг матрицаас эерэг болон сөрөг идеал утгуудаас алслах зайг тооцсон (Зураг 50).



Зураг 50. TOPSIS аргаар тооцсон Дархан орчмын талбайн эерэг болон сөрөг идеал алслах зай

Эерэг идеал утга нь геоэкологийн хамгийн сайн нөхцөлд харгалзах утгыг илэрхийлэх бөгөөд тухайн пикселийн утга эерэг идеалд ойр байх тусам геоэкологийн нөхцөл илүү сайн байгааг илтгэнэ. Харин сөрөг идеал утга нь геоэкологийн хамгийн сул нөхцөлийг илэрхийлэх бөгөөд тухайн пикселийн утга сөрөг идеалаас хол байх тусам геоэкологийн нөхцөл илүү тааламжтай болохыг илтгэнэ.

Дархан орчмын талбайд хувьсагчдын энтропи жинд тулгуурлан, эерэг ба сөрөг идеал шийдэд суурилсан TOPSIS олон шалгуурт үнэлгээний аргаар геоэкологийн нөхцөлийн индекс (GCI)-ийг тооцон зургийг гаргасан. Зураг 51-д GCI-ийн орон зайн тархалтыг, Зураг 52-д пиксел дээрх утгын тархалт болон хуримтлагдсан давтамжийн зургийг тус тус үзүүлэв.



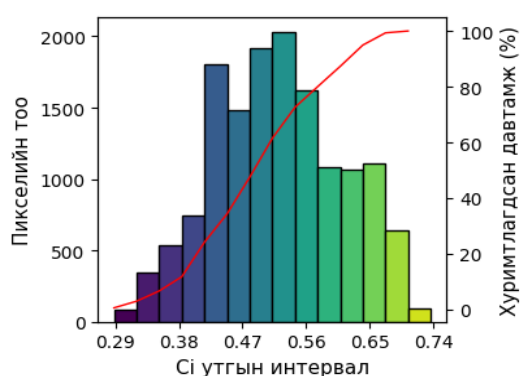
Зураг 51. Дархан орчмын геоэкологийн нөхцөлийн индексийн орон зайн тархалт

Зургаас антропоген нөлөөллийг илэрхийлэх уурхайн талбай, тариалангийн талбай бүхий газрууд, түүний ойролцоо геоэкологийн нөхцөлийн индексийн бага утга ажиглагдаж байна. Энэ нь үйлдвэрийн үйл ажиллагаатай холбоотойгоор хөрс, ус, агаарын бохирдол үүсэж, эх үүсвэрийн орчны бүсэд байдлаар шууд болон дам нөлөө үзүүлсэнтэй холбоотой байж болох юм.

Зураг 51-д GCI-ийн утга 0.29-өөс 0.74 хүртэл хэлбэлзэж байгаа бөгөөд энэ нь орон зайн хувьд харилцан адилгүй байгааг илэрхийлж байна. Хуримтлагдсан давтамжийн муруйнаас нийт пикселийн 50% нь 0.52-оос бага, 80% нь 0.62-оос бага утгатай байна.

Зураг 51-д үзүүлсэн утгын тархалтыг өгөгдлийн хамгийн их ялгагдах шинж чанараар нь геоэкологийн нөхцөлийн индексийг ангилан авч үзсэн. Үүнд, геоэкологийн нөхцөл нь нийт судалгааны талбайн 8% нь маш сул, 24% нь сул, 27% нь дунд зэрэг, 22% нь сайн ангилалд хамрагдсан бол 19 % нь маш сайн ангилалд хамрагдсан.

Эндээс харахад, судалгааны талбайн 32% нь геоэкологийн маш сул болон сул ангилалд хамаарч байгаа нь тухайн бүс нутаг уур амьсгалын өөрчлөлтөд харьцангуй эмзэг байж болохыг илтгэнэ. Түүнчлэн хүний үйл ажиллагааны нөлөөлөл нэмэгдэх тохиолдолд геосистемийн тогтвортой байдал буурах эрсдэлтэй байж болох юм.



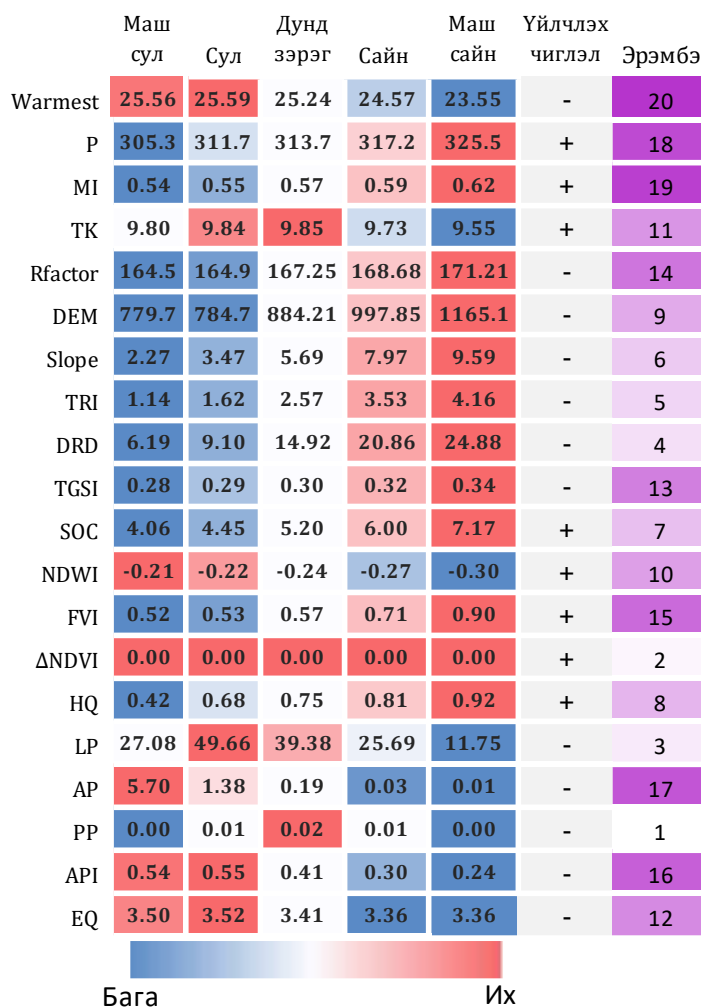
Зураг 52. Дархан орчмын геоэкологийн нөхцөлийн индексийн пиксел дээрх тархалт

Зураг 53-д геоэкологийн нөхцөлийн индексийн ангилалд хамаарах анхдагч хувьсагчдын орон зайн тархалтын дундаж утга, үйлчлэх чиглэл болон эрэмбийг дүрслэн үзүүллээ. Зургаас харахад, газрын гадаргын нөхцөл болон хөрсний физик шинж чанарыг илэрхийлэх зарим хувьсагчдын дундаж утга геоэкологийн ангиллын шалгуурт ашигласан үйлчлэх чиглэлтэй бүрэн нийцэхгүй байна.

Тухайлбал, хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүний индекс (TGSI)-ийн бага утга онолын хувьд GCI-ийн маш сайн ангилалд харгалзах хандлагатай байх боловч уг ангилалд харьцангуй өндөр утга илэрч байна.

Харин бусад хувьсагчдын хувьд дундаж утгын өөрчлөлт нь үйлчлэх чиглэлтэй ерөнхийдөө нийцэж байна. Гэсэн хэдий ч эдгээр хувьсагчдын геоэкологийн нөхцөлийн индексийг тооцоолоход оруулах жин харьцангуй бага бөгөөд энд үзүүлсэн утгууд нь тухайн ангилалд хамаарах пикселүүдийн анхдагч утгын дундаж утга юм.

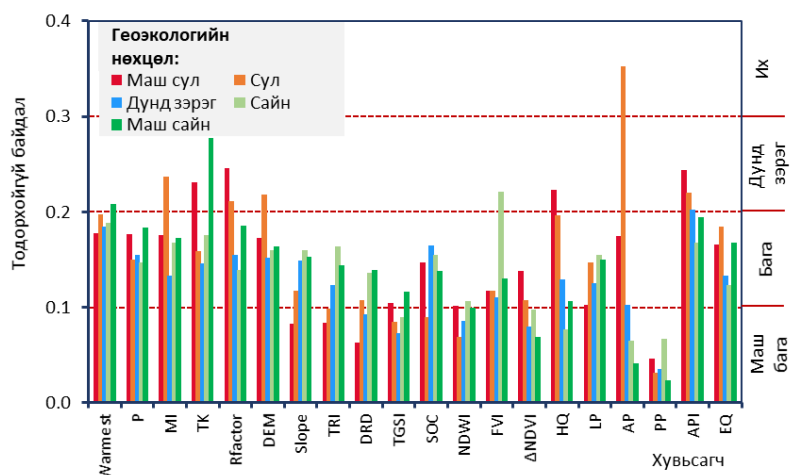
Өмнө үзүүлсэн ridgeline density диаграммаас харахад, хувьсагчдын утгын тархалт өргөн интервалд тархсан бөгөөд орон зайн хувьд гетероген бүтэцтэй байгааг харуулж байна. Иймээс ангиллын дундаж утгын ялгаа нь тухайн газар нутгийн байгалийн нөхцөл, орон зайн бүтэцтэй холбоотой байж болохыг илэрхийлж байна. Үүнийг шалгахын тулд ангилалд харгалзах хувьсагчдын утгын тодорхойгүй байдлыг тооцож үнэлсэн болно.



Зураг 53. Дархан орчмын геоэкологийн нөхцөлийн ангилалд хамаарах хувьсагчдын анхдагч утгын дундаж, үйлчлэх чиглэл болон эрэмбэ

Зураг 54-д үнэлгээний ангилалд хамаарах хувьсагчдын анхдагч утгын тодорхойгүй байдлыг тооцоолж диаграммаар илэрхийлэв. Тодорхойгүй байдлын тооцоогоор газрын гадарга болон хөрсний физик шинж чанарын хувьсагчид нь тухайн ангилалд бага хэлбэлзэлтэй, тогтвортой байна.

Харин талбайн ачаалал нь тодорхойгүй байдлын ангиллаар хэлбэлзэл их байгаа нь тухайн ангилалд жигд бус тархалттай байгааг илтгэнэ. Тодорхойгүй байдлын тооцоогоор газрын гадарга болон хөрсний физик шинж чанарын хувьсагчид нь тухайн ангилалд бага хэлбэлзэлтэй, тогтвортой байна. Харин талбайн ачаалал нь тодорхойгүй байдлын ангиллаар хэлбэлзэл их байгаа нь тухайн ангилалд жигд бус тархалттай байгааг илтгэнэ.



Зураг 54. Дархан орчмын геоэкологийн нөхцөлийн ангилалд харгалзах хувьсагчдын анхдагч утгын тодорхойгүй байдал

4.1.4. Мэдрэмжийн шинжилгээний үр дүн

Дархан орчмын геоэкологийн нөхцөлийн индекс (GCI)-ийг тооцоолоход ашигласан энтропи жингийн тогтвортой эсэхийг шалгахын тулд, хамгийн их жинтэй Warmest-ийн жинг 10%-иар нэмэгдүүлж, жин (w_{sen})-г тооцоолсон (Хүснэгт 4).

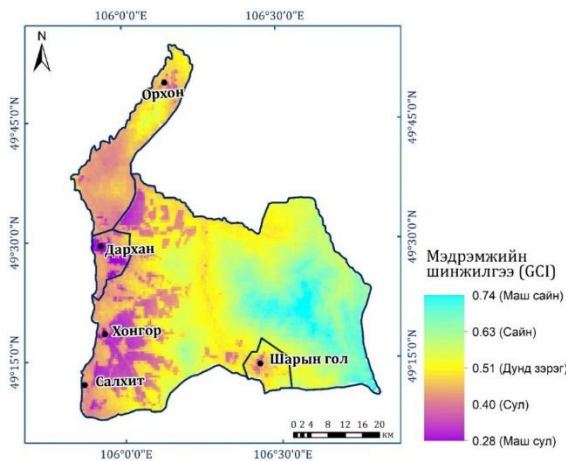
Жинг өөрчлөхөд хувьсагчдын эрэмбэд мэдэгдэхүйц өөрчлөлт ажиглагдсангүй. Энэ нь энтропи жингийн үр дүн харьцангуй тогтвортой бөгөөд геоэкологийн нөхцөлийн үнэлгээнд жин нөлөөлөхгүй байгааг илэрхийлж байна.

Хүснэгт 4. Дархан орчмын талбайд тооцоолсон болон өөрчилсөн жин, эрэмбэ

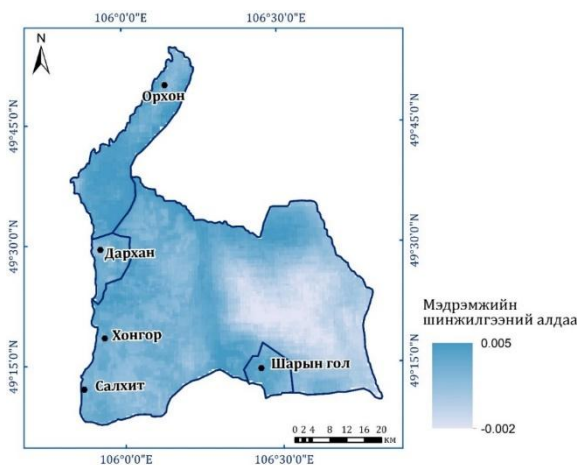
№	Хувьсагч (товчлол)	Тооцоолсон (суурь утга)		Мэдрэмжийн шинжилгээгээр тооцсон	
		Жин (w_{base})	Эрэмбэ	Жин (w_{sen})	Эрэмбэ
1	Хамгийн дулаан сарын хамгийн их температур (Warmest)	0.155	20	0.168	20
2	Нийлбэр хур тунадас (P)	0.100	18	0.098	18
3	Мезенцевийн чийгшлийн итгэлцүүр (MI)	0.125	19	0.123	19
4	Уур амьсгалын биологийн үр ашгийн индекс (TK)	0.042	11	0.041	11
5	Хур тунадасны элээх чадавх (RFactor)	0.056	14	0.056	14
6	Гадаргын өндөр (DEM)	0.036	9	0.036	9
7	Гадаргын налуу (Slope)	0.025	6	0.025	6
8	Гадаргын бартаат байдлын индекс (TRI)	0.014	5	0.014	5
9	Гадаргын урсцын сүлжээний нягшил (DRD)	0.007	4	0.007	4
10	Хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүний индекс (TGSI)	0.053	13	0.052	13
11	Хөрсний органик карбон (SOC)	0.028	7	0.027	7

12	Усны нормчлогдсон ялгаврын индекс (NDWI)	0.040	10	0.040	10
13	Ургамлын фракцын индекс (FVI)	0.059	15	0.058	15
14	Ургамлын нормчлогдсон ялгаврын индексийн өөрчлөлт (Δ NDVI)	0.005	2	0.005	2
15	Амьдрах орчны чанар индекс (HQ)	0.032	8	0.031	8
16	Шугаман ачаалал (LP)	0.007	3	0.007	3
17	Талбайн ачаалал (AP)	0.098	17	0.097	17
18	Цэгэн ачаалал (PP)	0.000	1	0.000	1
19	Агаарын бохирдлын индекс (API)	0.067	16	0.066	16
20	Газар хөдлөлт (EQ)	0.051	12	0.050	12

w_{sen} -г ашиглан TOPSIS аргаар геоэкологийн нөхцөлийн индекс (Мэдрэмжийн шинжилгээ GCI)-ийг тооцоолон зургийг гаргасан (Зураг 55). GCI-ийн орон зайн тархалтаас харахад, зүй тогтол өөрчлөгдөөгүй байна. Орон зайн тархалтын пиксел дээрх хамгийн их утга нь 0.74, хамгийн бага утга нь 0.29 байгаа бол дундаж±стандарт хазайлт нь 0.52 ± 0.09 (энд орон шилжүүлсэн) гарсан.



Зураг 55. Мэдрэмжийн шинжилгээгээр тооцоолсон GCI-ийн орон зайн тархалт



Зураг 56. Дархан орчмын тооцоолсон болон мэдрэмжийн шинжилгээгээр тооцоолсон GCI-ийн хоорондын зөрүү

Тооцоолсон утга болон мэдрэмжийн шинжилгээгээр тооцоолсон GCI-ийн зөрөөг олж Зураг 56-д үзүүлэв. Зурагт алдаа нь 0.0004-0.003 гарсан нь маш бага зөрүүтэй байгааг илтгэнэ. Эндээс бидний энтропи жин дээр тулгуурлан TOPSIS аргаар тооцоолсон геоэкологийн нөхцөлийг илэрхийлэх GCI-индекс нь тогтвортой болох нь батлагдаж байна.

4.2. Сайншанд орчмын геоэкологийн нөхцөлийн үнэлгээ

4.2.1. Үнэлгээнд ашиглагдсан хувьсагчдын орон зайн бүтэц, шинж чанар

Сайншанд орчмын судалгааны талбайн геоэкологийн нөхцөлийг үнэлэхийн тулд адил зарчмаар боловсруулсан 20 хувьсагчийг ашигласан. Судалгаанд ашигласан хувьсагчдын статистик үзүүлэлтийг Хүснэгт 5-д, харин үйлчлэх чиглэлээр нормчилсон утгын тархалтыг Зураг 57-д тус тус үзүүлсэн.

Зургаас харахад, сөрөг үйлчлэх чиглэлтэй хувьсагчдын нормчилсон утгын орон зайн тархалт нь анхдагч утгын тархалттай урвуу хамааралтай илэрч байгаа бол эерэг үйлчлэх чиглэлтэй хувьсагчдын тархалт анхдагч утгатай ижил чиглэлтэй байна.

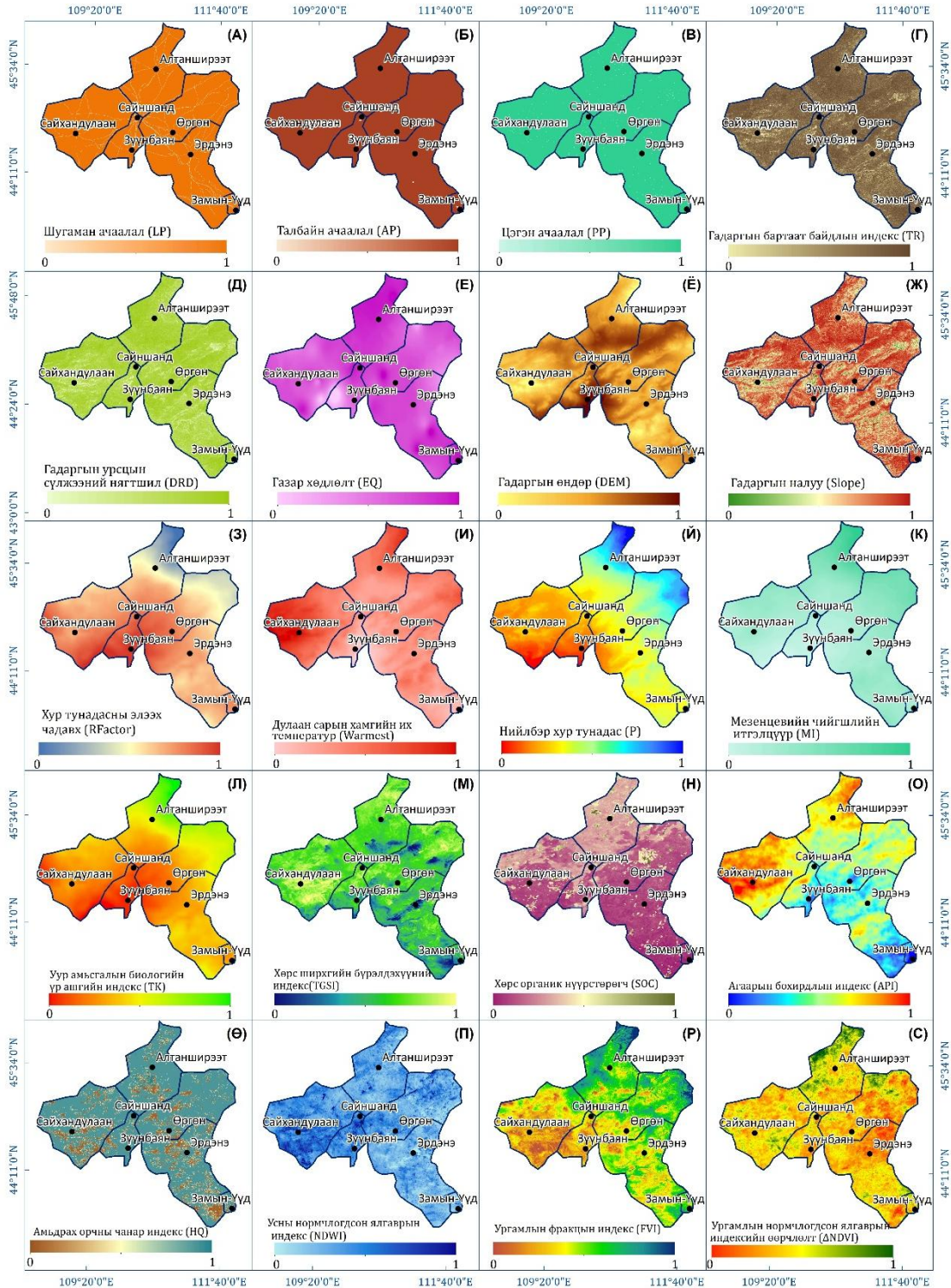
Хүснэгт 5. Сайншанд орчмын судалгаанд ашигласан хувьсагчдын статистик үзүүлэлт

№	Хувьсагч (товчлол)	Хамгийн бага	Хамгийн их	Дундаж	Стандарт хазайлт	Үйлчлэх чиглэл
1	Хамгийн дулаан сарын хамгийн их температур (Warmest)	25.40	30.60	28.34	0.71	-
2	Нийлбэр хур тунадас (P)	91.00	197.00	138.89	9.29	+
3	Мезенцевийн чийгшлийн итгэлцүүр (MI)	0.12	0.32	0.20	0.01	+
4	Уур амьсгалын биологийн үр ашгийн индекс (TK)	3.09	6.30	4.49	0.22	+
5	Хур тунадасны элээх чадавх (RFactor)	73.20	117.44	91.66	2.73	-
6	Гадаргын өндөр (DEM)	695.95	1305.01	1002.69	79.37	-
7	Гадаргын налуу (Slope)	0.00	11.26	1.25	0.77	-
8	Гадаргын бартаат байдлын индекс (TRI)	0.00	6.65	0.94	0.37	-
9	Гадаргын урсцын сүлжээний нягтшил (DRD)	0.00	34.20	4.87	1.92	-
10	Хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүний индекс (TGSI)	0.02	0.12	0.05	0.01	-
11	Хөрсний органик карбон (SOC)	0.00	5.98	1.21	0.32	+
12	Усны нормчлогдсон ялгаврын индекс (NDWI)	-0.41	0.46	-0.26	0.04	+
13	Ургамлын фракцын индекс (FVI)	0.12	0.68	0.31	0.04	+
14	Ургамлын нормчлогдсон ялгаврын индексийн өөрчлөлт (Δ NDVI)	0.00	0.01	0.00	0.00	+
15	Амьдрах орчны чанар индекс (HQ)	0.00	1.00	0.69	0.03	+
16	Шугаман ачаалал (LP)	0.00	926.23	8.05	35.75	-
17	Талбайн ачаалал (AP)	0.00	6.25	0.01	0.18	-
18	Цэгэн ачаалал (PP)	0.00	1.11	0.00	0.04	-

ЗАЙНААС ТАНДАН СУДЛАЛЫН МЭДЭЭНД ТУЛГУУРЛАСАН ГЕОЭКОЛОГИЙН НӨХЦӨЛИЙН ЗУРАГЛАЛ

19	Агаарын бохирдлын индекс (API)	0.07	0.84	0.32	0.06	-
20	Газар хөдлөлт (EQ)	3.21	4.77	3.58	0.17	-

Жич: хувьсагчдын товчлол (хэмжих нэгж): Warmest (°C), P (мм), DEM (м), Slope (°), SOC (%), LP (м/м²), AP (га/м²), PP(тоо/м²), EQ (магнетум)



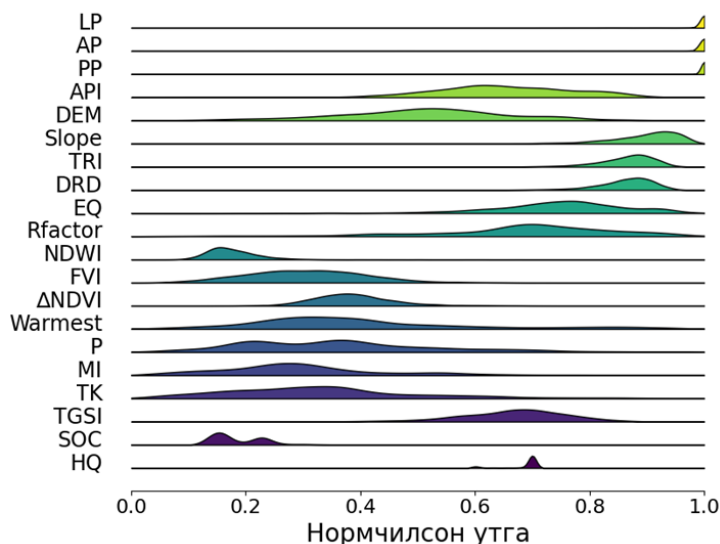
Зураг 57. Сайншанд орчмын судалгаанд ашигласан хувьсагчдын нормчилсон утгуудын тархалт

Ridgeline density диаграммаар Сайншанд орчмын талбайн үнэлгээнд ашигласан хувьсагчдын пиксел дээрх нормчилсон утгуудын тархалтыг харуулав (Зураг 58). Муруйн хэлбэр, өргөн нь тухайн хувьсагчийн утга судалгааны талбайд хэрхэн тархсаныг, өөрөөр хэлбэл, орон зайн хувьд жигд, эсвэл ялгаатай тархалттай байгааг илэрхийлдэг.

Зургаас харахад, амьдрах орчны чанарын индекс (HQ)-ийн утга ихэвчлэн 0.65–0.80 интервалд төвлөрсөн нь судалгааны талбайн зарим хэсэгт геосистемийн тогтвортой байдал харьцангуй сайн байгааг илтгэнэ.

Мөн уур амьсгал, хөрс, ургамал болон рельефийн хувьсагчдын тархалт харьцангуй өргөн интервалд илэрч байгаа нь судалгааны талбайн байгалийн орчны нөхцөл орон зайн хувьд тодорхой хэмжээнд гетероген бүтэцтэй байгааг илтгэнэ.

Ийм төрлийн орон зайн ялгарал нь хуурай болон хагас хуурай бүсийн экосистемд түгээмэл ажиглагддаг бөгөөд экосистемийн чанар нь ус чийгийн нөхцөл, хөрсний шинж чанар болон хүний үйл ажиллагааны нөлөөллөөс ихээхэн хамааралтай байдаг (Reynolds нар 2007; Maestre нар 2016).



Зураг 58. Сайншанд орчмын хувьсагчдын нормчилсон утгуудын пиксел дээрх утгын тархалт

4.2.2. Энтропи жингийн үр дүн

Сайншанд орчмын талбайд үйлчлэх чиглэлийн дагуу нормчилсон растер бүтэцтэй 20 хувьсагчийн пиксел бүрийн магадлалын тархалтыг тодорхойлж энтропи утгыг тодорхойлсон. Энтропи утгад үндэслэн хувьсагчдын жинг тооцоолсон үр дүнг Хүснэгт 6-д болон Зураг 59-д тус тус харуулав.

Үр дүнгээс харахад уур амьсгалын үзүүлэлтүүд болох хамгийн дулаан сарын хамгийн их температур (Warmest), нийлбэр хур тунадас (P), Мезенцевийн чийгшлийн итгэлцүүр (MI), уур амьсгалын биологийн үр ашгийн индекс (TK) зэрэг хувьсагчид харьцангуй өндөр жинтэй гарсан байна. Энэ нь эдгээр хувьсагчдын утга судалгааны талбайд орон зайн хувьд илүү ялгаралтай тархаж, геоэкологийн нөхцөлийг тодорхойлоход илүү их хувь нэмэр оруулж байгааг илтгэнэ.

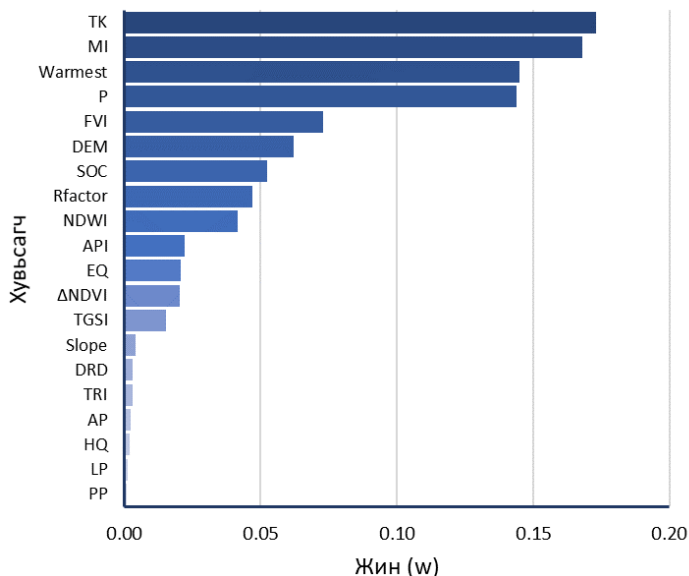
Харин антропоген нөлөөллийг илэрхийлэх хувьсагчид харьцангуй бага жинтэй гарсан нь эдгээр үзүүлэлтүүдийн орон зайн тархалт судалгааны талбайд харьцангуй хязгаарлагдмал байгаатай холбоотой байж болно.

Иймээс Сайншанд орчмын судалгааны талбайд геоэкологийн нөхцөлийг тодорхойлоход байгалийн хүчин зүйлс, ялангуяа, уур амьсгалын нөхцөл илүү давамгайл нөлөөтэй байгааг харуулж байна.

Даш (2002) судалгаандаа говь, цөлийн бүсэд хойноосоо урагшлах тутам геосистемийн тогтворгүй байдал нь чийг, дулааны харьцаанаасаа ихээхэн хамааралтай болохыг тэмдэглэсэн байдаг.

Хүснэгт 6. Сайншанд орчмын талбайн геоэкологийн нөхцөлийг үнэлэхэд ашиглагдах энтропи жин

№	Хувьсагч (товчлол)	Жин (w_{base})	Эрэмбэ
1	Хамгийн дулаан сарын хамгийн их температур (Warmest)	0.145	18
2	Нийлбэр хур тунадас (P)	0.144	17
3	Мезенцевийн чийгшлийн итгэлцүүр (MI)	0.168	19
4	Уур амьсгалын биологийн үр ашгийн индекс (TK)	0.173	20
5	Хур тунадасны элээх чадавх (RFactor)	0.047	13
6	Гадаргын өндөр (DEM)	0.062	15
7	Гадаргын налуу (Slope)	0.004	7
8	Гадаргын бартаат байдлын индекс (TRI)	0.003	5
9	Гадаргын урсцын сүлжээний нягтшил (DRD)	0.003	6
10	Хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүний индекс (TGSI)	0.015	8
11	Хөрсний органик карбон (SOC)	0.052	14
12	Усны нормчлогдсон ялгаврын индекс (NDWI)	0.041	12
13	Ургамлын фракцын индекс (FVI)	0.073	16
14	Ургамлын нормчлогдсон ялгаврын индексийн өөрчлөлт (Δ NDVI)	0.020	9
15	Амьдрах орчны чанар индекс (HQ)	0.002	3
16	Шугаман ачаалал (LP)	0.001	2
17	Талбайн ачаалал (AP)	0.002	4
18	Цэгэн ачаалал (PP)	0.001	1
19	Агаарын бохирдлын индекс (API)	0.022	11
20	Газар хөдлөлт (EQ)	0.021	10

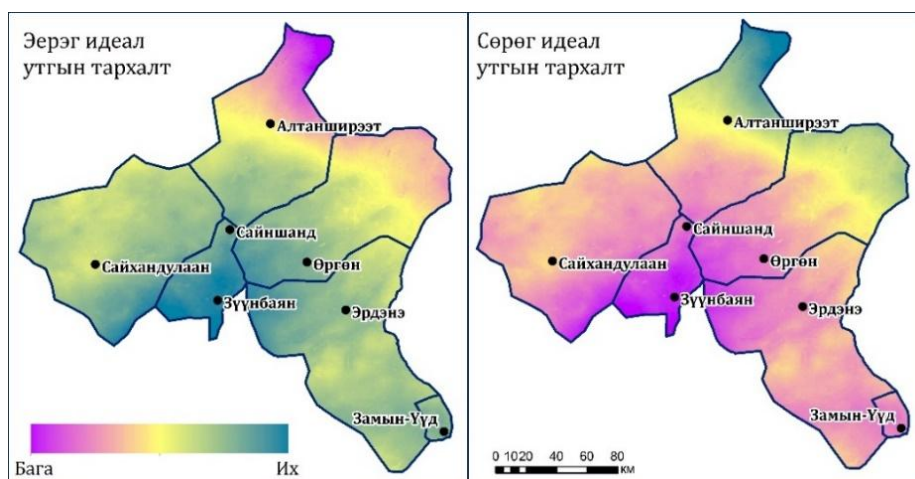


Зураг 59. Сайншанд орчмын талбайн хувьсагчдын жингийн эрэмбийн диаграмм

Зураг 59-д үзүүлснээр, геоэкологийн нөхцөлийг тодорхойлоход хувь нэмрээр нь хувьсагчдыг эрэмбэлбэл, уур амьсгалын биологийн үр ашгийн индекс > Мезенцевийн чийгшлийн итгэлцүүр > хамгийн дулаан сарын хамгийн их температур > нийлбэр хур тунадас > ургамлын фракцын индекс > гадаргын өндөр > хөрсний органик карбон > хур тунадасны элээх чадавх > усны нормчлогдсон ялгаврын индекс > агаарын бохирдлын индекс > газар хөдлөл > ургамлын нормчлогдсон ялгаврын индекс > хөрсний ширхэгийн бүрэлдэхүүний индекс > гадаргын налуу гэж эрэмбэлэгдэж байна.

4.2.3. Геоэкологийн нөхцөлийн үнэлгээний индекс

Сайншанд орчмын талбайд хувьсагчдын энтропи жинд тулгуурлан 20 хувьсагчийн пиксел бүрээр шийдвэрийн матриц байгуулж, уг матрицаас эерэг болон сөрөг идеал утгуудаас алслах зайг тооцоолсон (Зураг 60).



Зураг 60. TOPSIS аргаар тооцсон Сайншанд орчмын талбайн эерэг болон сөрөг идеал алслах зай

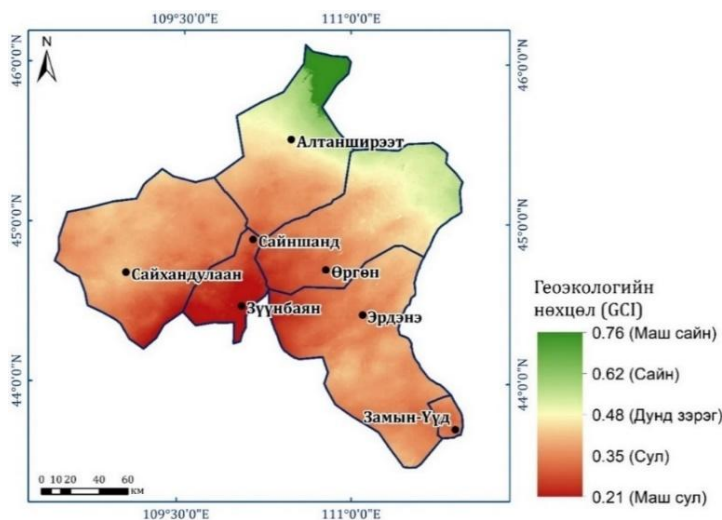
Эерэг идеал утга нь геоэкологийн хамгийн сайн нөхцөлд харгалзах утгыг илэрхийлэх бөгөөд тухайн пикселийн утга эерэг идеалд ойр байх тусам геоэкологийн нөхцөл илүү сайн байгааг илтгэнэ.

Харин сөрөг идеал утга нь геоэкологийн хамгийн сул нөхцөлийг илэрхийлэх бөгөөд тухайн пикселийн утга сөрөг идеалаас хол байх тусам геоэкологийн нөхцөл илүү тааламжтай болохыг илтгэнэ.

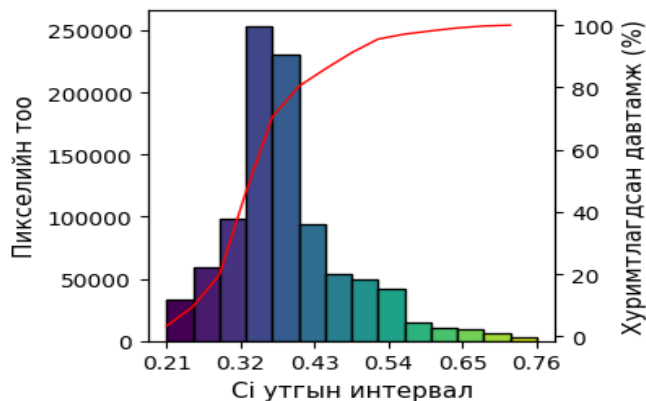
Сайншанд орчмын талбайд хувьсагчдын энтропи жинд тулгуурлан, эерэг ба сөрөг идеал шийдэд суурилсан TOPSIS олон шалгуурт үнэлгээний аргаар геоэкологийн нөхцөлийн индекс (GCI)-ийг тооцож орон зайн тархалтын зургийг гаргасан.

Зураг 61-д геоэкологийн нөхцөлийн индекс (GCI)-ийн орон зайн тархалтыг, Зураг 62-д пиксел дээрх утгын тархалт болон хуримтлагдсан давтамжийг тус тус үзүүлэв. Орон зайн тархалтаас харахад, хамгийн их жинг үзүүлсэн чийг дулааны харьцааг илэрхийлэгч уур амьсгалын биологийн үр ашгийн индексийн орон зайн тархалттай төстэй байна.

Энэ нь хэт гандуу хуурай бүс нутагт геосистемийн тогтвортой байдалд чийгийн нөхцөл нь хязгаарлагч хүчин зүйл болж байгааг харуулж байна. GCI-ийн пикселийн утгын тархалтын хуримтлагдсан давтамжийн муруйнаас харахад, нийт пикселийн 50% нь 0.38-аас бага, 80% нь 0.48-аас бага байгаа бол 95%-нь 0.6 утгаас бага тархалттай байна (Зураг 62).



Зураг 61. Сайншанд орчмын геоэкологийн нөхцөлийн индексийн орон зайн тархалт



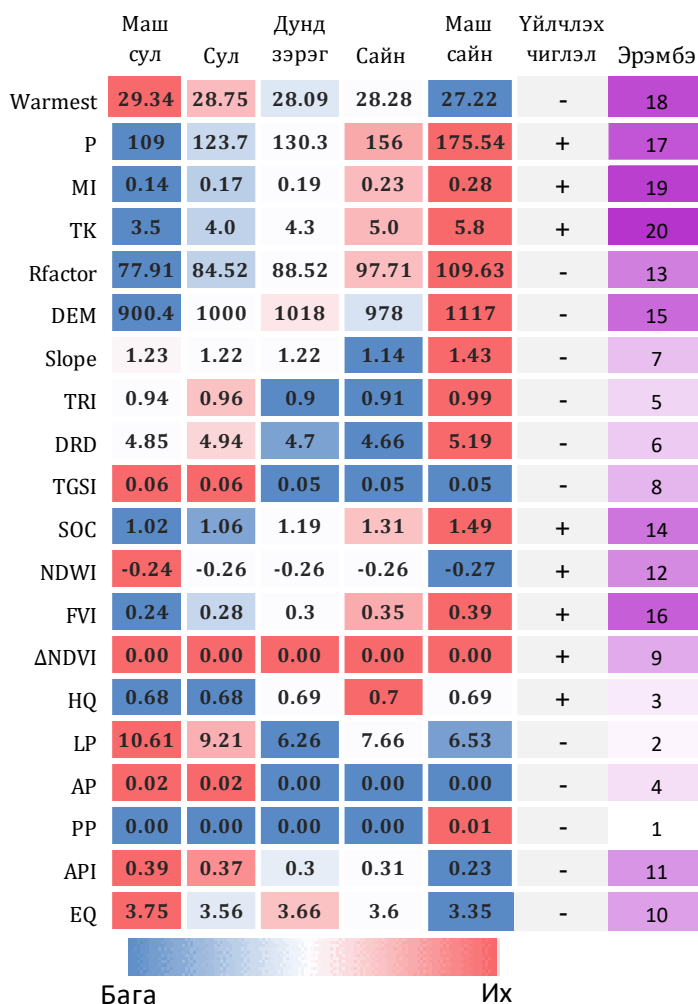
Зураг 62. Сайншанд орчмын геоэкологийн нөхцөлийн индексийн пиксел дээрх утгын тархалт

Зураг 61-д үзүүлсэн утгын тархалтыг өгөгдлийн хамгийн их ялгагдах шинж чанараар нь геоэкологийн нөхцөлийн индексийг ангилан авч үзсэн. Үүнд, геоэкологийн нөхцөл нь нийт судалгааны талбайн 14% нь маш сул, 40% нь сул, 29% нь дунд зэрэг, 14% нь сайн ангилалд хамрагдсан бол 4% нь маш сайн гэсэн ангилалд хамрагдаж байна.

Эндээс дүгнэхэд, судалгааны талбайн 80 гаруй хувь нь геоэкологийн дунд зэрэг болон түүнээс сул ангилалд хамрагдаж байгаа нь тухайн бүс нутгийн геосистемийн тогтвортой байдал харьцангуй эмзэг байж болохыг илтгэнэ.

Тооцоолсон геоэкологийн нөхцөлийн индексийн ангилалд хамаарах анхдагч хувьсагчдын орон зайн тархалтын дундаж утга, жин болон үйлчлэх чиглэлийг Зураг 63-д heatmap хэлбэрээр үзүүлэв.

Энэхүү зураг нь геоэкологийн нөхцөлийг тодорхойлоход хувьсагчдын физик шинж чанар болон утгын нөлөөллийг үнэлэх, мөн тэдгээрийн учир шалтгааны хамаарлыг тайлбарлах боломжийг олгодог ба өнгөний ялгарал нь хувьсагч бүрийн утгын их, бага хэмжээг илэрхийлнэ.

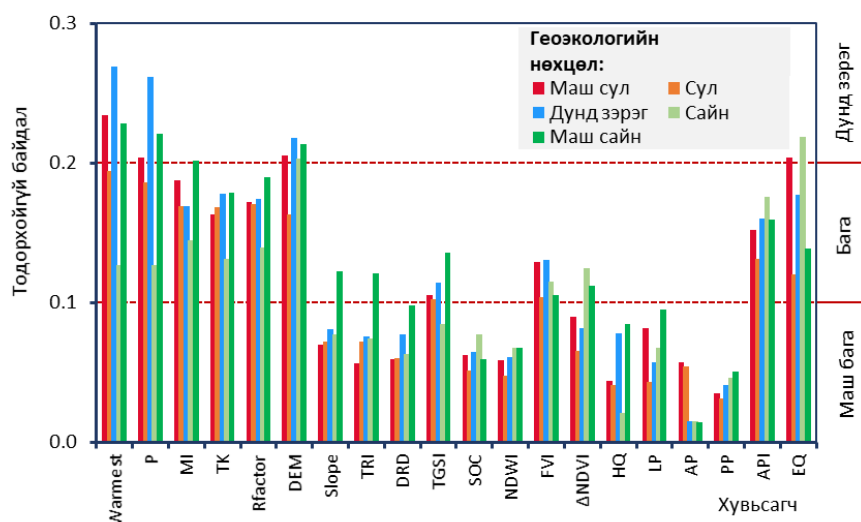


Зураг 63. Сайншанд орчмын геоэкологийн нөхцөлийн ангилалд хамаарах хувьсагчдын анхдагч утгын дундаж, үйлчлэх чиглэл болон энтропи жингийн эрэмбэ

Зураг 63-д харуулснаар, газрын гадаргын нөхцөл болон морфометрийн хувьсагчдын дундаж утга зарим ангиллын хувьд геоэкологийн үнэлгээнд ашигласан үйлчлэх чиглэлтэй бүрэн нийцэхгүй байгаа нь ажиглагдаж байна. Гэвч эдгээр хувьсагчдын энтропи жин харьцангуй бага тул геоэкологийн нөхцөлийн индекс (GCI)-ийн эцсийн үр дүнд үзүүлэх нөлөө бага байна. Мөн ангилал бүрд хамаарах пикселийн анхдагч утгыг зөвхөн дундаж утгаар тайлбарлах нь зарим тохиолдолд хангалтгүй байж болзошгүй.

Иймээс Зураг 64-д үнэлгээний ангилалд хамаарах хувьсагчдын анхдагч утгын тодорхойгүй байдлыг тооцож диаграммаар үзүүлэв. Тодорхойгүй байдлын тооцооны үр дүнгээс харахад, уур амьсгалын хувьсагчид багаас дунд зэрэг хэлбэлзэлтэй байгаа бол бусад хувьсагчдын хувьд маш бага хэлбэлзэлтэй буюу харьцангуй тогтвортой байна.

Иймээс ашигласан хувьсагчид нийтдээ тодорхойгүй байдлын дунд зэргээс маш бага ангилалд хамаарч байгаа бөгөөд бидний тооцоолсон геоэкологийн нөхцөлийн индекс (GCI)-ийн ангилал харьцангуй тогтвортой байна гэж үзэж болно.



Зураг 64. Сайншанд орчмын ангиллын утгад харгалзах хувьсагчдын тодорхойгүй байдал

4.2.4. Мэдрэмжийн шинжилгээний үр дүн

Сайншанд орчмын геоэкологийн нөхцөлийн индекс (GCI)-ийг тооцоолоход ашигласан энтропи жингийн найдвартай байдлыг шалгахын тулд, хамгийн их жинтэй уур амьсгалын биологийн үр ашгийн индекс (TK)-ийн жинг 10%-иар нэмэгдүүлж, жинг дахин тооцоолсон (Хүснэгт 7).

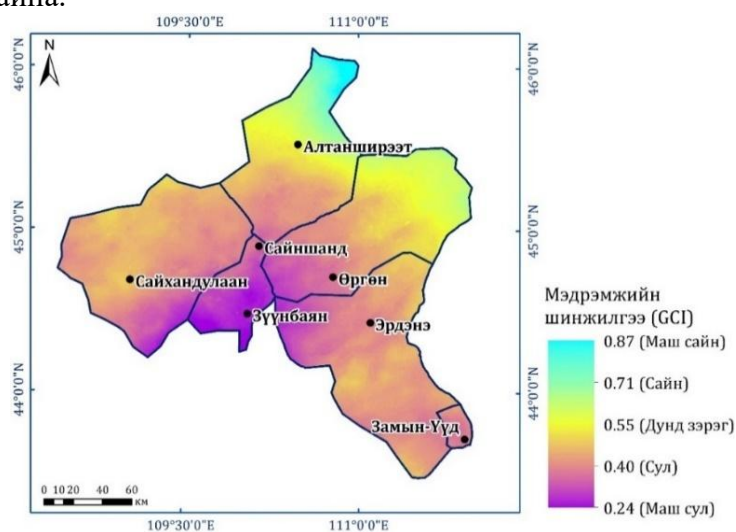
Хүснэгтээс харахад, зарим хувьсагчдын жин бага зэрэг өөрчлөгдсөн боловч хувьсагчдын эрэмбэд өөрчлөлт ороогүй байна.

Хүснэгт 7. Сайншанд орчмын талбайд тооцоолсон болон өөрчилсөн жин, эрэмбэ

№	Хувьсагч (товчлол)	Тооцсон (суурь утга)		Мэдрэмжийн шинжилгээгээр тооцсон	
		Жин (w_{base})	Эрэмбэ	Жин (w_{sen})	Эрэмбэ
1	Хамгийн дулаан сарын хамгийн их температур (Warmest)	0.145	18	0.142	18

2	Нийлбэр хур тунадас (P)	0.144	17	0.141	17
3	Мезенцевийн чийгшлийн итгэлцүүр (MI)	0.168	19	0.165	19
4	Уур амьсгалын биологийн үр ашгийн индекс (TK)	0.173	20	0.187	20
5	Хур тунадасны элээх чадавх (RFactor)	0.047	13	0.046	13
6	Гадаргын өндөр (DEM)	0.062	15	0.061	15
7	Гадаргын налуу (Slope)	0.004	7	0.004	7
8	Гадаргын бартаат байдлын индекс (TRI)	0.003	5	0.003	5
9	Гадаргын урсцын сүлжээний нягтшил (DRD)	0.003	6	0.003	6
10	Хөрсний ширхгийн бүрэлдэхүүний индекс (TGSI)	0.015	8	0.015	8
11	Хөрсний органик карбон (SOC)	0.052	14	0.052	14
12	Усны нормчлогдсон ялгаврын индекс (NDWI)	0.041	12	0.041	12
13	Ургамлын фракцын индекс (FVI)	0.073	16	0.071	16
14	Ургамлын нормчлогдсон ялгаврын индексийн өөрчлөлт (Δ NDVI)	0.020	9	0.020	9
15	Амьдрах орчны чанар индекс (HQ)	0.002	3	0.002	3
16	Шугаман ачаалал (LP)	0.001	2	0.001	2
17	Талбайн ачаалал (AP)	0.002	4	0.002	4
18	Цэгэн ачаалал (PP)	0.001	1	0.001	1
19	Агаарын бохирдлын индекс (API)	0.022	11	0.022	11
20	Газар хөдлөлт (EQ)	0.021	10	0.020	10

Дахин тооцоолсон жинг ашиглан TOPSIS аргаар геоэкологийн нөхцөлийн индекс (GCI)-ийг тооцоолж орон зайн тархалтын зургийг гаргасан (Зураг 65). Энтропи жинг өөрчлөн дахин тооцоолсон GCI-ийн орон зайн тархалтаас харахад, үндсэн зүй тогтол өөрчлөгдөөгүй байна.

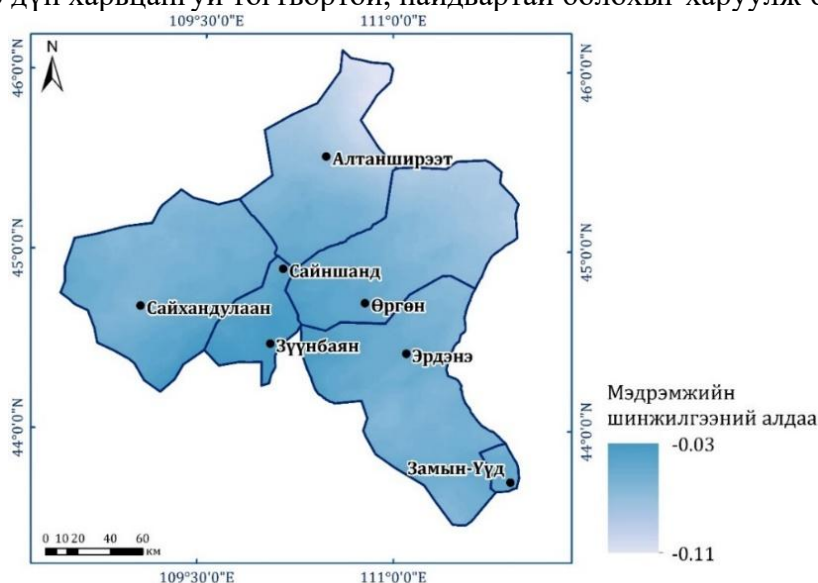


Зураг 65. Сайншанд орчмын талбайн мэдрэмжийн шинжилгээгээр тооцоолсон GCI-ийн орон зайн тархалт

Орон зайн тархалтын пикселийн утгуудын хамгийн их утга 0.87, хамгийн бага утга 0.24 байгаа бөгөөд дундаж \pm стандарт хазайлт нь 0.44 ± 0.10 байна. Энэ нь анх тооцоолсон GCI-ийн орон зайн тархалтын статистик үзүүлэлтүүдтэй маш ойролцоо утгатай байгааг харуулж байна.

Түүнчлэн анхны болон мэдрэмжийн шинжилгээгээр дахин тооцоолсон GCI-ийн зөрүүг тодорхойлж Зураг 66-д үзүүлсэн бөгөөд алдаа нь 0.03–0.11 интервалд хэлбэлзэж байгаа нь маш бага зөрүүтэй байгааг илтгэнэ.

Иймээс энтропи жинд тулгуурлан TOPSIS аргаар тооцоолсон геоэкологийн нөхцөлийг илэрхийлэх GCI индекс нь жингийн өөрчлөлтөд мэдрэг чанар бага бөгөөд үнэлгээний үр дүн харьцангуй тогтвортой, найдвартай болохыг харуулж байна.



Зураг 66. Сайншанд орчмын тооцоолсон болон мэдрэмжийн шинжилгээгээр тооцоолсон GCI-ийн хоорондын зөрүү

Сайншанд орчмын талбайд хийсэн дээрх үр дүнг нэгтгэн авч үзвэл, сул ангилал давамгайл байгаа нь цөлийн бүсийн экосистемийн онцлогтой шууд холбоотой гэдэг нь харагдаж байна.

Өөрөөр хэлбэл, хур тунадас болон хөрсний органик бодисын агууламж бага, ургамлын бүрхэвч сийрэг байдаг тул экосистемийн нөхцөл илүү эмзэг бөгөөд энэ нь хуурайшилт, салхины элэгдэл зэрэг байгалийн хүчин зүйлс геоэкологийн нөхцөлд сөргөөр нөлөөлөх боломжтойг харуулж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- Абалаков, А. Д., & Лопаткин, Д. А. (2014). Устойчивость ландшафтов и ее картографирование. *Науки о Земле*.
- Авирмэд, Э., Оюунгэрэл, Б., Рэнчинмядаг, Т., Мөнхдулам, О., Баянжаргал, Б., Батням, Ц., Даваагатан, Т., Пүрэвсүрэн, М., Эрдэнэсүх, С., & Даваадорж, Д. (2020). *Монгол орны ландшафтын экологийн чадавх*. Намнам Дизайн.
- Базаргүр, Д. (2013). *Экологийн газарзүй*. ШУА-ийн Газарзүйн хүрээлэн.
- Батбаатар, Э., Бат-Очир, Б., Долоонбаяр, С. (1996). 1993-1995 онд Хойд Хэнтийн районы алтны шороон ордын хайгуул, олборлолтын ажлын геоэкологийн судалгааны ажлын үр дүнгийн тайлан. Геологи Эрдэс Баялагийн Хүрээлэн.
- Батсүх, Н. (2002). Геоэкологи. УБ, Тоонот принт.
- Бланко, У., & Лал, Р. (2011). Хөрс хамгаалал ба менежментийн зарчим.
- БОАЖЯ, (2022). “Уур амьсгалын өөрчлөлтөд дасан зохицох шаардлага бүхий тэргүүлэх чиглэлүүд, уур амьсгалын өөрчлөлтийн сценарийн үеийн гарын авлага” уур амьсгалын өөрчлөлтөд дасан зохицох төлөвлөлтийн процессыг боловсронгуй болгох үндэсний чадавхыг бэхжүүлэх төсөл.
- Братков, Б., & Овдиенко, Н. И. (2005). Геоэкология. Москва: Академия.
- Бямбабаяр, Г., Даваадорж, Д., & Түвшин, Г. (2022). Автомашин дугуйн мөрөөр үүсэх хөрсний эвдрэл, доройтлын судалгааны үр дүн (Шороон замын жишээн дээр). *Газарзүйн Асуудлууд Сэтгүүл*, 22(1).
- Витченко, А. Н. (2002). Геоэкология (Курс лекций). Москва.
- Гагина, Н. В. (2024). Методы геоэкологических исследований. Москва: Академия.
- Газарзүй, Геоэкологийн хүрээлэн. (2014). Монгол орны цөлжилтийн атлас.
- Гончигсумлаа, Ч., Доржготов, Д. 2009. *Дархан-Уул аймаг түүний зэргэлдээ нутаг дэвсгэрийн геоэкологийн судалгаа*. "Газар Эко" ХХК.
- Даш, Д. (2002). Монгол орны физик газарзүйн судалгааны тойм. "Гэгээрэл ач" НӨҮГ, Улаанбаатар хот.
- Даш, Д., & Мандах, Н. (2009). К вопросу отображения общего процесса опустынивания на картах. *Геоинформационное картографирование* (т. 2, с. 128–132). Иркутск.
- Даш, Д., & Мандах, Н. (2011). *Газарзүйн шинжлэх ухааны хөгжлийн түүх*. Улаанбаатар.
- Даш, Д., Өнөрням, Ж., Одмаа, Б., Мөнхцэцэг, Д., Баасандорж, Я., Жавзан, Ч., Баясгалан, Д., Нацагдорж, Л., Дашзэвэг, Ц., Хадбаатар, С., Төмөрсүх, Д., Мандах, Н., & Хишигсүрэн, Н. (2010). *Тариалан бүхий нутгийн ландшафт, түүний экологи*. ШУА-ийн Геоэкологийн хүрээлэн.
- Доржсүрэн, Д., Гантулга, А., Доржготов, Д. 2010. УГЗ-200 Дорнод Монгол-III” төслийн 2007-2009 онд зохиосон 1:200,000-ны иж бүрдэл зураг. Геологийн Мэдээллийн Төв.
- Дуйнхаржав, М., Королев, В., Турчанинов, Л., Чулуун, О. 1993. Улаанбаатар хот болон нутаг дэвсгэр, эргэн тойрных нь нутаг дэвсгэрт явуулсан радиоэкологийн ажлын үр дүнгийн тайлан (3 ном); 1-р ном. Монгол Улсын Геологи, Эрдэс Баялгийн Яамны "Уран" компани ба Государственное Геологическое Предприятие "Сосновгеология" Комитета по Геологии и Использованию Недр РФ.
- Дэлгэрцогт, Б., Энхтуяа, Ч., Мөнхбат, Ё., Энхжаргал С. 2000. Ерөө, Бугант, Толгойт голуудын ай савд 1999-2000 онд гүйцэтгэсэн геоэкологийн судалгааны ажлын үр дүнгийн тайлан. “Эко-трейд” ХХК.
- Егорова, Н. Т. (2014). Основы ландшафтоведения. Москва: Академия.
- Жадамбаа, Б., Долоонбаяр, С. 1998. Заамарын алтны шороон ордын хүдрийн дүүргийн геоэкологийн өнөөгийн байдлын үнэлэлт, цаашдын хэтийн төлөв. Геологи Эрдэс Баялагийн Хүрээлэн.

- Козловский, Е. А. (1989). Геоэкология – новое научное направление. Москва: Академия.
- Комарова, Н. Г. (2010). Геоэкология и природопользование. Москва: Академия.
- Короновский, Н. В., Брянцева, Г. В., & Ясаманов, Н. А. (2013). Основы геоэкологии. Москва: Академия.
- Кребс, Ч. (2001). Экологии.
- Мандах, Н. (2017). Монгол орны хэмжээнд цөлжилт, газрын доройтлыг үнэлэх, зураглах аргазүйн асуудалд (PhD dissertation). Монгол Улсын Их Сургууль.
- Мижиддорж, Ж. (2015). Уур амьсгалын өөрчлөлт, хөдөө аж ахуйд түүний үзүүлэх нөлөө. ХАА-н Шинжлэх Ухаан Сэтгүүл, 14(01), 251–257.
- Мижиддорж, Р. (2009). Аяндаа цэгцрэх тогтолцоо, түүний эргэн тойронд. Монгол Улсын Үндэсний атлас (2022). Монгол Улсын Шинжлэх Ухааны Академи.
- Мэндсайхан, Г., Дондог, Н., Ихбаяр, Г., Давга-Очир, Я., Дагвадорж, Д., Мөнхжаргал, Б. 2012. Сайншанд аж үйлдвэрийн цогцолбор орчмын талбайд 2010-2011 онуудад гүйцэтгэсэн 1:25,000-ны масштабын агаарын геофизикийн судалгаа. "Гео-сан" ХХК.
- Нацагдорж, Л., Сарантуяа, Г., & Мөнхбат, Б. (2024). *Монгол орны уур амьсгалын нэн шинэхэн өөрчлөлт: Ган, зуд*. Admon Print.
- Осипов, А. Г. (2016). Теория и практика оценки земель (Doctoral dissertation).
- Осипов, В. И. (1993). Геоэкология – междисциплинарная наука. *Геоэкология*, 1, 4–18.
- Отчёт Российско-Монгольской экспедиции. (2005). Экосистемы бассейна Селенги.
- ОХУ-ын ШУА-ийн Сибирийн салбарын Газарзүйн хүрээлэн, & Монгол Улсын ШУА. (2015). Байгаль нуурын сав газрын экологийн атлас.
- Оюун, Ц., Хишигсүрэн, С., Шинэцэцэг, Л., Намбаяр, Т. 2019. Улаанбаатар хотын нутаг дэвсгэрт 2017-2019 онд гүйцэтгэсэн "УБ геоэкологи-2017" геоэкологи, гидрогеологийн сэдэвчилсэн судалгааны ажлын үр дүнгийн тайлан. "Экотехпроект" ХХК.
- Реймерс, Н. Ф. (1994). Экология. Россия Молодая.
- Сайнбаяр, Д. (2024). Агаар мандалд агуулагдах нүүрсхүчлийн хийн агууламжийн орон зайн тархалтыг загварчлах нь. *Газарзүйн ухааны боловсролын докторын (Ph.D)-ын зэрэг горилсон бүтээл*. МУИС, БУС.
- Саушкин, Ю. Г. (1946). Культурный ландшафт. *Вопросы географии*, 1, 97–106.
- Семёнов, Ю. М., & Снытко, В. А. (2013). Геосистемийн судалгаа. *География и природные ресурсы*, 3.
- Семячков, А. И. (2010). Геоэкология. Литосфера, 6.
- Слепнева, О. В. (2016). Геосистемийн онолын үндэс. Москва: Наука.
- Сочава, В. Б. (1978). Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука.
- Тимашев, И. Е. (2007). Геоэкология как наука. Вестник ВГУ, 1.
- УЦУОСМХ. (2021). Монгол орны цөлжилтийн атлас.
- Цэрэндорж, З., Жадамба, Н., Мягмарсүрэн, Ш. 2013. Өмнийн говь талбайд гүйцэтгэсэн 1:200,000-ны гидрогеологи-геологийн иж бүрдэл зураг, геоэкологийн үнэлгээний ажил. "Дунар-Од" ХХК.
- Цэрэндорж, З., Хэнмэдхэв Д., Мягмарсүрэн, Ш., Майдэлгэр, Б., Хишигсүрэн, Б. 2015. Өмнөговь аймгийн Манлай, Ханбогд, Баян-Овоо, Номгон, Хүрмэн, Цогтцэций, Ханхонгор, Даланзадгад сум болон Дорноговь аймгийн Мандах сумын зарим нутгийг хамарсан Өмнөд говийн талбайд 2012-2014 онд гүйцэтгэсэн гидрогеологи-геоэкологийн 1:200 000-ны масштабын зураг, геоэкологийн үнэлгээний ажлын үр дүнгийн тайлан (К-48-III,IV,V,VI,IX,X,XI,XII,XV,XVI,XVII,XVIII,XXI,XXII). "Дунар-Од" ХХК.

- Чинзориг, Б., Жадамбаа, Н., Түвдэндорж, А., Мижиддорж, Р., Чулуунхуяг, С., Баяртунгалаг, Б., Энхмаа, Д., Бадамгарав, А., Дэлгэрсанаа, С., Ариунзаяа, Б., Эрдэнэцэцэг, Ц. 2021. Эрдэнэт хотын нутаг дэвсгэрт 2019-2022 онд хэрэгжүүлсэн геозкологи, гидрогеологийн сэдэвчилсэн судалгааны ажлын үр дүнгийн тайлан. Эрдэнэс үндэсний судалгаа хөгжлийн төв.
- Чинзориг, С., Жавзан, Ч., & Одонцэцэг, Ч. (2022). Голын экологийн мониторинг. Удам соёл ХХК.
- Энхтайван, Д., Оюунгэрэл, Б., Авирмэд, Э., Нарангэрэл, С., Мөнхдулам, О., Пүрэвсүрэн, Н., Нямхүү, М., & Сүхбаатар, Ж. (2010). Хангайн өмнөх голуудын сав нутгийн судалгаа. ШУА-ийн Газарзүйн хүрээлэн.
- Энхтайван, Д., Оюунгэрэл, Б., Нарангэрэл, С., Пүрэвсүрэн, Н., Мөнхдулам, О., Сүхбаатар, Ж., Оюунбаатар, Д., Рэнчинмядаг, Т., & Цолмон, П. (2007). Туул, Хараа, Ерөө голуудын сав. ШУА-ийн Газарзүйн хүрээлэн.
- Энхтайван, Д., Оюунгэрэл, Б., Рэнчинмядаг, Т., Нямхүү, М., Мөнхдулам, О., Одбаатар, Э., Даваагатан, Т., Баянжаргал, Б., & Батням, Ц. (2016). Ландшафтын бүтэц. ШУА-ийн Газарзүйн хүрээлэн.
- Ясаманов, Н. А. (2003). Основы геоэкологии. Москва: Академия.
- Al-hasn, R., Alghamaz, F., Dikkeh, M., & Idriss, Y. (2024). Water soil erosion modeling with RUSLE, GIS & remote sensing: A case study of the AL-Sanaoubar River basin (Syria). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 23(7), 474–484. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2024.05.004>
- Amarsaikhan, D., Blotvogel, H. H., Ganzorig, M., & Moon, T. H. (2009). Applications of remote sensing and geographic information systems for urban land-cover changes studies in Mongolia. *Geocarto International*, 24(4), 257–271.
- Barry, R. G. (2008). Mountain weather and climate (3rd ed.). Cambridge University Press.
- Baryshev, E., Shmakova, K., & Yakshina, N. (2019). Types of geocological research and areas of their application. IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, 572, 012090. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/572/1/012090>
- Batkhishig, O. (2013). Human impact and land degradation in Mongolia. In *Dry land East Asia: Land dynamics amid social and climate change* (pp. 265–282).
- Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). Principles of geographical information systems. Oxford University Press.
- Charalampopoulos, I., Droulia, F., & Evans, J. (2023). The Bioclimatic Change of the Agricultural and Natural Areas of the Adriatic Coastal Countries. *Sustainability*, 15(6), 4867. <https://doi.org/10.3390/su15064867>
- Da Silva, K. F. A., Meyer, L., Resende, F. M., Silveira, F. A. O., & Fernandes, G. W. (2026). Potential mining impacts on ecosystem services and biodiversity on Brazil's quartz and iron mountains. *Science of The Total Environment*, 1016, 181479. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2026.181479>
- Dalantai, S., Erdenesukh, S., Bao, Y., Otgonbayar, M., Mandakh, U., Batsaikhan, B., & Natsagdorj, B. (2021). Spatial-temporal changes of land degradation caused by natural and human induced factors: Case study of Bulgan province in central Mongolia. *ISPRS Archives*, XLIII-B4, 79–85. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2021-79-2021>
- Freie Universität Berlin. (n.d.). Integrated water resources management for Central Asia: Model region Mongolia (MoMo). Retrieved February 28, 2026, from https://www.geo.fu-berlin.de/en/v/iwrm/case_studies/mongolia/index.html

- Frolova, M. (2019). From the Russian/Soviet landscape concept to the geosystem approach to integrative environmental studies in an international context. *Landscape Ecology*, 34(7), 1485–1502. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0751-8>
- Gitelson, A. A., Yoram, J. K., Robert, S., & Don, R. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 76–87.
- Hashem, A., Balzter, H., & Tansey, K. (2015). Detecting land degradation and desertification using time series analysis of vegetation indices and albedo in arid environments. *Remote Sensing*, 7(12), 16694–16719. <https://doi.org/10.3390/rs71215843>
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965–1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Huggett, R. J. (1995). *Geoecology: An evolutionary approach*. London, UK: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203138717>
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Berlin: Springer.
- Isachenko, A. G. (2003). *Teoriya i metodologiya geograficheskoy nauki [Theory and methodology of geographical science]*. Moscow, Russia: Academia.
- Jing, X., Tao, S., Hu, H., Sun, M., & Wang, M. (2024). Spatio-temporal evaluation of ecological security of cultivated land in China based on DPSIR-entropy weight TOPSIS model and analysis of obstacle factors. *Ecological Indicators*, 166, 112579. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112579>
- Kalymbek, B., & Bazarbayeva, T. A. (2023). *Geoecology: Textbook*. Almaty: Kazakh University.
- Keefer, D.K. (1984). Landslides caused by earthquakes. *Geological Society of America Bulletin*, 95(4), 406–421.
- Khavtgai, Z., Damba, I., & Tserengunsen, P. (2022). Effect of land use on soil organic carbon fractions. *Mongolian Journal of Geography and Geoecology*, 92–99. <https://doi.org/10.5564/mjgg.v59i43.2516>
- Khavtgai, Z., Dugersuren, B., Damba, I., & Tserengunsen, P. (2023). Soil active organic carbon and carbon management index in different land use types. *Mongolian Journal of Geography and Geoecology*, 60(44), 215–221. <https://doi.org/10.5564/mjgg.v60i44.3075>
- Konovalova, N. V. (2025). Geosystem theory and its axioms. *Journal of Geographical Studies*, 12(3), 45–62.
- Körner, C. (2007). The use of “altitude” in ecological research. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(11), 569–574. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.09.006>
- Kouassi, G., Hounkpatin, K. O. L., Tondoh, E. J., Diby, L., & Kouamé, C. (2025). Mapping soil organic carbon as soil health indicator of cocoa landscapes in middle Côte d’Ivoire. *International Soil and Water Conservation Research*, S2095633925001091. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2025.09.002>
- Liu, Y., Wang, Y., & Peng, J. (2020). Evaluation of regional ecological security based on entropy weight-TOPSIS model. *Ecological Indicators*, 113, 106–165. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106165>
- Lohse, K. A., Newburn, D. A., Opperman, J. J., & Merenlender, A. M. (2008). Forecasting relative impacts of land use on Anadromous fish habitat to guide conservation planning. *Ecological Applications*, 18(2), 467–482. <https://doi.org/10.1890/07-0354.1>
- Maestre, F. T., et al. (2016). Structure and functioning of dryland ecosystems in a changing world. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 47, 215–237.

- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703–726. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Meza-Mori, G., Nematollahi, S., Amasifuen Guerra, C. A., Oliva-Cruz, M., Coronel-Castro, E., Torres Guzmán, C., & Darvishi, A. (2025). Integrating MaxEnt and InVEST modeling methods to identify priority areas for the conservation of emblematic and endemic wildlife in the Peruvian Tropical Andes. *Global Ecology and Conservation*, 62, e03626. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2025.e03626>
- Moore, I. D., Grayson, R. B., & Ladson, A. R. (1991). Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, 5(1), 3–30. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050103>
- Myagmartseren, P. (2017). Cropland suitability assessment using GIS-based multi-criteria analysis in Bornuur, Mongolia. *Mongolian Journal of Agricultural Sciences*, 21(2), 45–52.
- Natsagdorj, B., Tsetsemaa, G., Bayarsaikhan, U., Ulziibaatar, M., & Ganbaatar, B. (2022). Assessment of forest suitability in Khuvsgul province using geographic information system and multi-criteria decision-making approach. *Mongolian Journal of Geography and Geoecology*, 59(43), 184–194.
- Odum, E. P., & Barrett, G. W. (2005). *Fundamentals of ecology* (5th ed.). Belmont, CA: Brooks/Cole. https://books.google.com/books?id=IOEs_mdPz4MC
- Otgonbayar, M., Atzberger, C., Chambers, J., Amarsaikhan, D., Böck, S., & Tsogtbayar, J. (2017). Land suitability evaluation for agricultural cropland in Mongolia using the spatial MCDM method and AHP based GIS. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 5, 238–263.
- Oyedotun, T. D. T. (2020). Assessment of rainfall and its impact on land degradation processes.
- Parvej, Md. R., Brandt, D., Myers, R., Nelson, K., Singh, G., & Reinbott, T. (2025). *Soil organic carbon: A foundational indicator of soil health*. Extension University of Missouri. <https://extension.missouri.edu/publications/g9071>
- Puntsag, G. (2014). Land suitability analysis for urban and agricultural planning using GIS.
- Reynolds, J. F., Smith, D. M., Lambin, E. F., Turner, B. L., Mortimore, M., Batterbury, S. P., ... & Walker, B. (2007). Global desertification: Building a science for dryland development. *Science*, 316(5826), 847–851. <https://doi.org/10.1126/science.1131634>
- Riley, S.J., DeGloria, S.D., Elliot, R. (1999). A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences*, 5(1–4), 23–27.
- Rozanov, A. N. (2015). *Geoekologiya [Geoecology]*. Moscow, Russia: GEOS.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*, 27(3), 379–423.
- Snytko, V. A., & Semenov, Y. M. (2008). *Geosystems: Structure, dynamics and hierarchy*. Moscow: Nauka.
- Timmermans R, Segers A, Curier L, Abida R, Attié JL, Amraoui LE, et al. Impact of synthetic space-borne NO2 observations from the Sentinel-4 and Sentinel-5P missions on tropospheric NO2 analyses. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2019; 19(19): 12811–12833.
- Tovuudorj, R., Otgonbayar, M., Doljin, D., & Zogsoosuren, B. (2022). Assessment of stability of the natural landscape in Mongolia. *Mongolian Journal of Geography and Geoecology*, 59(43), 1–10.

- Trofimov, V. T. (2008). Ecological geology, environmental geology, geocology: Contents and relations. *Moscow University Geology Bulletin*, 63(2).
- Trofimov, V. T. (2021). The theoretical grounds of geocology as an interdisciplinary science. *Moscow University Geology Bulletin*, 76(6), 589–599.
- Trofimov, V. T. (2022). The issues of the geoecological foundations of a new content of geocology. *Moscow University Geology Bulletin*, 77(1), 1–7.
- Troll, C. (1971). Landscape ecology (geoecology) and biogeocenology—A terminological study. *Geoforum*, 2(4), 43–46.
- Van Vliet, J. A., & Giller, K. E. (2017). Mineral Nutrition of Cocoa. In *Advances in Agronomy* (Vol. 141, pp. 185–270). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.10.017>
- Vostokova, E. A., & Gunin, P. D. (1995). *Ecosystems of Mongolia*. Ulaanbaatar.
- Wang, Z., Yang, Q., Dong, H., & Zhou, Y. (2019). Evaluation of urban ecological environment quality based on entropy weight and TOPSIS method. *Sustainability*, 11(17), 4785.
- Wu, J., Feng, Z., Gao, Y., & Peng, J. (2020). Assessing the ecological environment quality using the remote sensing ecological index. *Ecological Indicators*, 112, 106–112.
- Xiao, J., Shen, Y., Ge, J., Tateishi, R., Tang, C., Liang, Y., & Huang, Z. (2006). Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing. *Landscape and Urban Planning*, 75(1–2), 69–80.
- Zeleny, M. (1982). *Multiple Criteria Decision Making*. New York: McGraw-Hill.
- Zhang, J., Li, H., & Deng, X. (2016). Evaluation of regional ecological environment quality based on entropy weight TOPSIS method. *Ecological Indicators*, 60, 114–123.
- Zhong, G., Chen, J., Huang, R., Yi, S., Qin, Y., You, H., Han, X., & Zhou, G. (2023). High Spatial Resolution Fractional Vegetation Coverage Inversion Based on UAV and Sentinel-2 Data: A Case Study of Alpine Grassland. *Remote Sensing*, 15(17), 4266. <https://doi.org/10.3390/rs15174266>
- Zou, M., Qiang, F., Yu, X., Liu, G., Zhou, Z., Liu, C., & Ai, N. (2025). Impact of ecological restoration projects on watershed habitat quality in the Loess Plateau of China: A case study of the Yanhe River Basin. *Ecological Indicators*, 180, 114351. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.114351>