



МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ
ШИНЖЛЭХ УХААНЫ СУРГУУЛЬ
ГАЗАРЗҮЙН ТЭНХИМ

Газарзүйн асуудлууд

Geographical Issues

Volume 23 (1)

ISSN: 2312-8534

2023

Улаанбаатар хот

Ховд голын сав газрын уур амьсгалын өөрчлөлт ба усны горимд үзүүлэх нөлөө

Impact of climate change and water regime in the Khovd River basin

©Г.Болоржаргал^{1,2}, Д.Батсүрэн^{3,*}, Д.Оюунбаатар², Б.Эрдэнэбаяр^{2,3}
Bolorjargal Ganzorig^{1,2}, Batsuren Dorjsuren^{3,*}, Oyunbaatar Dambaravjaa², Erdenebayar Bavuu^{2,3}

¹Хэрэглээний Математикийн Тэнхим, Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан, Инженерчлэлийн Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Монгол Улс

²Гадаргын Усны Судалгааны Хэлтэс, Ус Цаг Уур Орчны Судалгаа Мэдээллийн Хүрээлэн, Монгол Улс

³Хүрээлэн Буй Орчин, Ойн Инженерчлэлийн Тэнхим, Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан, Инженерчлэлийн Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Монгол Улс

¹Department of Applied Mathematics, School of Engineering and Applied Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia

²Surface Water Research Department, Information and Research Institute of Meteorology, Hydrology, and Environment, Ulaanbaatar, Mongolia

³Department of Environmental and Forest Engineering, School of Engineering and Applied Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia

*Харилцагч зохиогч: batsuren@seas.num.edu.mn

*Corresponding author: batsuren@seas.num.edu.mn

Хүлээн авсан: 2023.01.06

Засварласан: 2023.03.15

Зөвшөөрөгдсөн: 2023.03.20

Хураангуй

Энэ судалгаанд Монгол Алтай нурууны Таван Богд уулын баруун өмнөд хөндийн мөсөн голоос эх авах Ховд голын сав газрын уур амьсгалын өөрчлөлт ба усны горимд үзүүлэх нөлөөллийг тодорхойлов. Судалгаанд Манн-Кендалл шинжилгээ (МК), Чиг хандлагын шинжилгээний арга (ИТАМ), Сенийн налууугийн тооцооны арга (SSET), Бланей-Кридийн арга (BC) болон статистик шинжилгээний аргуудыг ашиглав. Энэхүү судалгааны ажилд Баян-Өлгий аймгийн Баяннуур, Ногооннуур, Өлгий, Ялалт, Ховд аймгийн Ховд сумын 1990-2020 оны уур амьсгалын болон усны урсцын мэдээг ашиглав. Судалгааны үр дүнгээс үзэхэд Ховд голын урсац сүүлийн 30 жилийн хугацаанд ерөнхийдөө буурах хандлагатай байна. Энэхүү буурч байгаа хандлагад уур амьсгалын өөрчлөлт тодорхой нөлөөлсөн болно. Ховд голын сав газрын уур амьсгалын сүүлийн 30 жилийн хугацаанд жилийн дундаж агаарын температур 0.78°C -аар нэмэгдсэн байна. Ховд голын сав газарт жилийн нийлбэр хур тунадасны хэмжээ 127.3 мм байна. Хур тунадасны хэлбэлзэл харьцангуй бага хэдий ч сүүлийн 10-аад жил дараалан дунджаас бага хур тунадастай байлаа. Тус сав газарт дулааны улиралд нийлбэр ууришлын хэмжээ дунджаар 130.5 мм орчим байна. Судалгааны үр дүнгээс сүүлийн 30 жилд буюу 1990-2020 онд Ховд голын урсац хамгийн их нөлөөлөл үзүүлж буй хур тунадас нь сав газрын хэмжээнд бараг өөрчлөлтгүй байна. Харин агаарын температурын утга жил бүр 0.026 градусар нэмэгдэж улмаар сав газрын нийлбэр ууришлын хэмжээг ихэсгэж голын урсцыг бууруулж байна.

Түлхүүр үгс: Урсац, Сав газрын нийлбэр ууришлт, Агаарын температур, Хур тунадас, Манн-Кендалл тренд тест

Abstract

The study covers climate change and its impact on the flow regime in the Khovd River Basin, which originates from the glacier valley of the southwestern valley of Tavan Bogd Mountain in the Mongolian Altai Mountains. Mann-Kendall analysis (MK), Innovative Trend Analysis Method (ITAM), and Sen's Slope Estimator Test (SSET) were used for runoff and impact analysis in this study. The basin evapotranspiration is estimated by the Blaney-Cridle method (BC) and also some other statistical analysis methods were used in this study. Concerning used, data on climate and flow series from hydrological and meteorological stations located in the in Bayannuur, Nogoonuur, Olgii, Yalalt, and Khovd sum of Bayan-Olgii provinces. The climate and water flow data for 1990-2020 were used in Bayannuur, Nogoonuur, Olgii, Yalalt, and Khovd sum of Bayan-Olgii province. According to the results of the research, the flow series along the Khovd river has a decreasing trend for the last 30 years (1990-2020). This trend is

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: Г.Болоржаргал, Д.Батсүрэн: Онолын үндэслэл, аргагүй боловсруулалт, өгөгдөл боловсруулалт, үндсэн бичвэр, Б.Эрдэнэбаяр: Өгөгдөл нуглуулалт, боловсруулалт Д.Батсүрэн, Д.Оюунбаатар: Үр дүнгийн хяналт.

certainly impacted by climate change in the river basin. During the past 30 years of climate change, the average annual air temperature has increased by 0.78°C in the Khovd river basin. The total annual precipitation in the Khovd river basin is estimated to be 127.3 mm. Although the rainfall variability is relatively low, the sum of annual precipitation was below the regional long-term mean in the last 10 consecutive years. The estimated average basin evapotranspiration during the warm season is estimated to be about 130.5 mm in the basin. The precipitation and its change have a key impact on the flow of the Khovd river in terms of climate change and according to the studies, river, precipitation amount is almost unchanged in the basin. However, the air temperature value increases by 0.026 degrees every year and due to the increase of evapotranspiration rate, caused by air temperature increase, river flow in the basin is reducing in the last 30 years, from 1990 to 2020.

Keywords: runoff, basin evaporation, air temperature, precipitation, Mann-Kendall

Оршил

Дэлхийн уур амьсгал өнгөрсөн хугацааны туршид байнга өөрчлөгдөж ирсний дээр цаашид ч мөн өөрчлөгдөх хандлагатай байна (Batima et al., 2005). Түүнчлэн байгаль болон хүрээлэн буй орчинд хүний үзүүлэх нөлөө улам их болж, хамрах хүрээ асар хурдтай өсөж, мөн өөрчлөгдөж байгаа тул байгалийн болон хүний үйл ажиллагааны нөлөөг хамтад нь тооцох зайлшгүй шаардлага тавигдаж байна (Thomas et al., 2019). Тухайлбал сүүлийн зуу гаруй жилийн хугацаанд дэлхийн газар орчмын агаарын дундаж температур 0.6°C орчмоор дулаарчээ (Hansen et al., 2006). Үүнээс гадна температурын өсөлт нь уур амьсгалын өөрчлөлтөд ихээхэн нөлөөлж зуд, ган, цасан шуурга, хар салхи зэрэг гэнэтийн аюултай байгалийн үзэгдлийн давтамж ихэссээр байна (Van, 2006).

Төв Ази болон Монгол оронд болж буй уур амьсгалын өөрчлөлт нь улс орны тогтвортой хөгжил, эколог, эдийн засаг, нийгэмд ихээхэн хэмжээний сөрөг үр дагаврыг авчирч болзошгүй юм (Dorjsuren et al., 2021). Учир нь сүүлийн дөчин жилийн дотор уур амьсгалын хувиралт, өөрчлөлт болоод хүний хүчин зүйлийн хам нөлөөгөөр Монгол орны экосистемд мэдэгдэхүйц өөрчлөлт орж байгаа нь цөлжилт, хөрсний элэгдэл идэвхжиж усны нөөцийн өөрчлөлт, биологийн төрөл зүйл хомсдох зэргээр илэрч байна (Dorjsuren et al., 2021). Түүнчлэн мөстөл, мөсөн голоос эх аван урсах голуудын урсац буурч байгаа нь мөсөн голын хайлсан ус цаашид ч бүс нутгийн усны нөөцөд тогтвортой хувь нэмэр оруулахгүй байх эрсдэл үүсэж байна (Davaa et al., 2008; Khalzan et al., 2022). Уур амьсгал болон экосистемийн онцлогоос шалтгаалан Монгол Улс нь байгалийн хэд хэдэн бүс, бүслүүрт хуваагдах бөгөөд эдгээр байгалийн бүс болон бүслүүрүүдэд ч гэсэн уур амьсгалын өөрчлөлт харилцан адилгүй явагдаж байна (Dorjsuren et al., 2018).

Монгол орны нутаг дэвсгэр нь ус зүйн сүлжээний хувьд Хойд мөсөн далайн ай сав, Номхон далайн ай сав, Төв Азийн гадагш урсацгүй ай сав гэсэн гурван том хэсэгт хуваагддаг. Газар нутгийн 20.2 % нь Хойд мөсөн далайн ай савд, 16.0 % нь Номхон далай ай савд, 63.8 % нь Төв Азийн гадагш урсацгүй ай савд тус тус хамрагдана (Davaa, Fan, 2020).

Эдгээр ай сав газруудаас Төв Азийн гадагш урсацгүй ай сав газар нь хамгийн том талбайтай бөгөөд энд ус зүйн сүлжээний тархалт болон нягтаршил харилцан адилгүй байдаг онцлогтой. Энэ сав газрын ихэнх хэсэг нь гадаргын усны хүрэлцээ болон хангамж дутмаг байдаг бол Алтай болон Хангайн нурууны хооронд орших Их нууруудын хотгор, Нууруудын хөндий орчимд гадаргын усны хангамж хүрэлцээ хамгийн их байдаг. Их нууруудын хотгорт орших нууруудын усны үндсэн тэжээлийг Ховд, Завхан, Хүнгүй, Тэс, Буянт зэрэг томоохон голууд бий болгодог. Энэ голууд нь Монгол Алтайн нуруу болон Хангайн нурууны өндөр уулын мөнх цас, мөсөн голоос эх авч урсдаг онцлогтой (Pan et al., 2019). Эдгээрээс Ховд голын савд Монголын хамгийн өндөр ноён оргил болох мөнх цас, мөсөн гол бүхий Хүйтэн Хайрхан уул далайн түвшнээс дээш 4374 м өргөгдсөн байдаг (Punsalmaa et al., 2004). Ховд гол нь байгалийн олон янзын бүс, бүслүүрийг дамжин урсах бөгөөд их нууруудын хотгорт орших цутгах голуудаас хамгийн их урсац бүхий гол нь юм (Даваа, 2010). Энэ сав газар нь мөнх цас, мөсөн гол бүхий өндөр уулсаас эх аван урсах олон тооны гол горхи байхаас гадна мөстлөгийн гаралтай нуур, ус намгархаг газруудаас бүрдсэн өвөрмөц онцлог бүхий экосистем юм (Pan et al., 2019; Orkhonselenge et al., 2022).

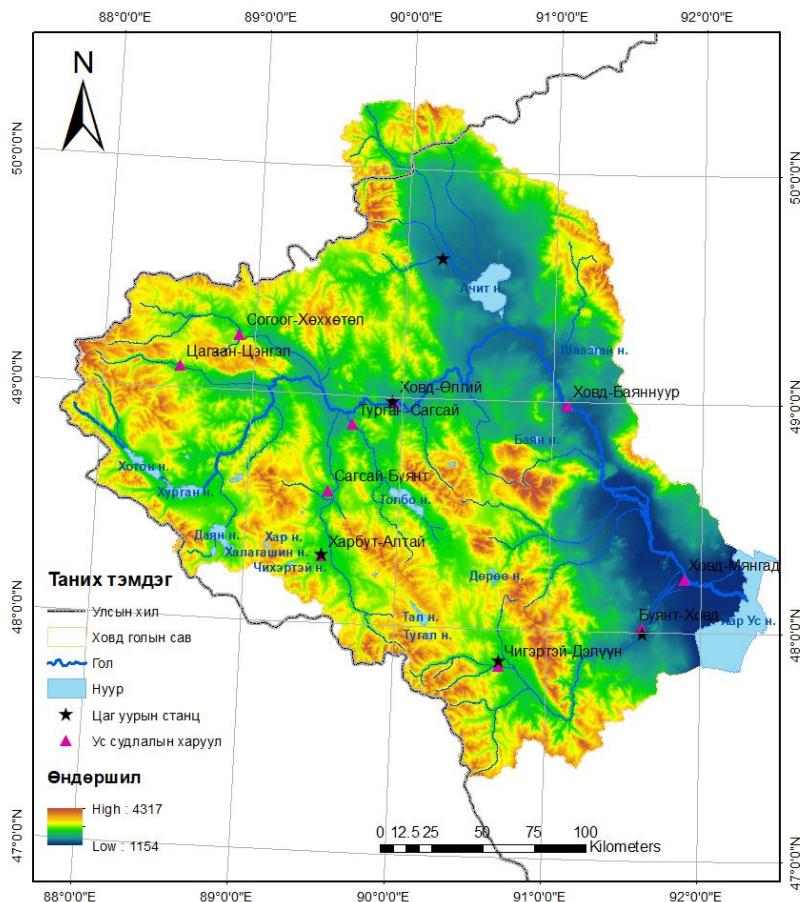
Хуурай болон хагас хуурай бүс нутгийн төлөөлөл болсон энэ бүс нутагт байгалийн болон хүний хүчин зүйлсийн нөлөөгөөр багахан хэмжээний өөрчлөлт явагдахад экосистемийн тэнцвэрт байдал алдагдаж болзошгүй юм (Sumiya et al., 2020). Тухайлбал, Ховд голын сав багтах Төв азийн гадагш урсацгүй ай савд уур амьсгалын өөрчлөлтийн ирээдүйн сценарийг Английн Хэдлэй (HADLEY) төвийн уур амьсгалын том масштабын загварын үр дүнгээр тооцож үзэхэд усны урсац 2040 он хүртэл нэмэгдэж цаашдаа 25 орчим хувиар буурах магадлалтай гэж үзжээ (Alcamo et al., 2003). Иймд Ховд голын сав газрын усны горимд нөлөөлөх уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийг нарийвчлах нь усны нөөцийг зохистой ашиглах, хамгаалахад чухалчлагдаж байна (Даваа, 2010). Мөн сүүлийн жилүүдэд хүн ам, суурин газрын нягтрал, түүний өсөлт, уул уурхай болон хөдөө аж

ахуйн үйлдвэрлэлийн төвлөрөл зэрэг хүний хүчин зүйлс нь гадаргын усны горим, нөөцөд шууд болон шууд бусаар нөлөөлж байгаль орчны доройтол, гадаргын ус тоо, чанарын хувьд сөрөг тал руу өөрчлөгдөх хандлага ихсэж, хүний хүчин зүйлсийн нөлөөллийг нарийвчлах шаардлага тулгарч байна. Мөн усны эрчим хүч, усалгаатай газар тариалан, бэлчээрийн усан хангамж болон сав газрын усны нөөцийн нэгдсэн менежментийн төлөвлөлтөд Ховд голын усны горимын сүүлийн үеийн судалгаа нэн дутмаг байна.

Тиймээс Ховд голын сав газрын усны горим нөөцөд нөлөөлөх хүчин зүйлүүдийг нарийвчлан авч үзэх шаардлагатай байгаа бөгөөд энэ хүрээнд сав газрын уур амьсгал болон усны горимын олон жилийн хувьсал өөрчлөлтийг тооцох нь энэхүү судалгааны гол зорилго юм. Үүний тулд дараах зорилтуудыг дэвшүүлэв (i) сав газрын уур амьсгалын өнгөрсөн, одоогийн өөрчлөлт, хандлагыг тогтоох, (ii) ховд голын усны горимын өнгөрсөн, одоогийн өөрчлөлт, хандлагыг тогтоох, (iii) уур амьсгал болон голын урсцын харилцан хамаарлыг тооцох зэрэг болно.

Судалгааны талбай

Ховд гол нь Монгол Алтай нурууны Таван Богд уулын баруун өмнөд хөндийн мөсөн голоос эх авах Цагаан-Ус гол, Мааньт уулын зүүн өмнөд хажуугаас эх авч Хар салаа гол ба Их Түргэний уулаас усжих олон гол, горхиор тэжээгдэх бөгөөд Хотон, Хурган нууруудаар дамжин Ховд гол нэртэй болж цааш урсана (Даваа, 2015). Ховд голын урт 516 км бөгөөд ус хурах талбай нь 59139 км². Үүнээс 57044 км² (96.5%) нь Монгол орны нутагт, Бөхмөрөн ба Алтангадас голын сав газрын эхний 2094 км² (3.5%) талбай ОХУ-ын нутагт тус тус байна (Даваа, 2015). Ховд голд Толбо, Даян, Хотон, Хурган, Ачит зэрэг олон нуур илүүдэл усаа юүлэхийн хамт өндөр уулсын хур цас, мөс, мөсөн голын усаар тэжээгдэнэ (Зураг 1).

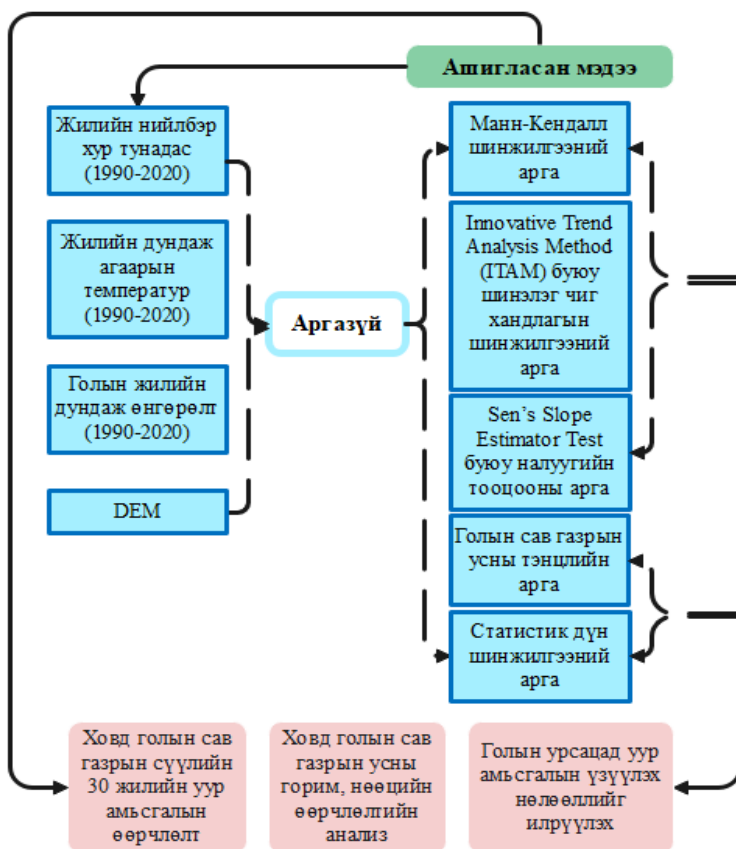


Зураг 1. Ховд голын сав газрын гадаргын усны сүлжээ болон ус судлалын харуул, цаг уурын станцын байршил

Судалгааны материал, аргазүй

Энэхүү судалгааны ажилд Баян-Өлгий аймгийн Баяннуур, Ногооннуур, Өлгий, Ялалт, Ховд аймгийн Ховд сумын 1990-2020 оны уур амьсгалын болон урсцын мэдээг ашиглав (<http://climate-service.mn/climateservice/index.php>). Сав газарт байрлах цаг уурын станцууд болон ус судлалын харуулуудыг сонгохдоо орон зайн тархалт, ажиглалтын мэдээний чанар, цаг уурын станц болон ус судлалын харуулуудын байршил ойролцоо байхыг харгалзан үзсэн (Dorjsuren et al., 2018). Голын урсцын өөрчлөлтийг тооцохдоо цаг хугацааны дарааллаар усны урсцын өөрчлөлтийг илэрхийлж усны статистикийг нь бие даасан байдлаар тодорхойлдог (Karthe et al., 2017).

Энэхүү судалгаанд голын урсац болон уур амьсгалын өөрчлөлтийн түүхэн чиг хандлагыг илрүүлэх зорилгоор Манн-Кендалл (МК) аргыг ашигласан. Энэхүү арга нь ус зүйн урсцын өөрчлөлтийг үнэлэх, чиг хандлагыг судлахад хэрэглэгддэг. Манн-Кендалл (МК) аргыг ашиглаж үр дүнг шалгах үүднээс Шинэлэг чиг хандлагын шинжилгээний арга (ITAM) болон Сенийн налуугийн тооцооны арга (SSET) зэргээр шалгаж үр дүнгээ баталгаажуулсан болно. Судалгаанд 1990-2020 оны мэдээнд статистик дүн шинжилгээ хийж, харьцуулсан үр дүнгүүдийг гаргалаа. МК, ITAM, SSET тооцооны аргаар уур амьсгал, голын урсцын цаг хугацааны цуваа мэдээг үнэлэхэд 10%, 5%, 1% гэсэн ач холбогдлын түвшинг ашиглаж үр дүнгүүдээ боловсруулсан. Судалгаанд ашигласан аргазүйн ерөнхий схемийг үзүүлэв (Зураг 2).



Зураг 2. Ховд голын урсцын өөрчлөлтийн чиг хандлагыг тооцоолох аргазүйн схем

Манн-Кендалл (МК) арга

Манн-Кендалл (МК) арга нь статистик шинжилгээгээр тодорхой өөрчлөлтийн чиг хандлагыг харуулдаг (Hussain, Mahmud, 2019). Статистик хамаарал нь өгөгдлийн хэмжээ, түүврийн хэмжээ, өгөгдлийн цувааны хэлбэлзлээс хамаарна. МК-ийн шинжилгээ нь тухайн тооцоолол хийж буй өгөгдөлд эерэг ба сөрөг утгуудын хамаарлыг тодруулдаг. Тодруулбал өгөгдлийн цуваанд гарсан өөрчлөлтийг тодорхойлдог (Wang et al., 2020).

Энэ судалгаанд голын урсцын сүүлийн 30 жилийн хугацааны хувьсал өөрчлөлт болон чиг хандлагыг тодорхойлов. Голын урсцыг уур амьсгалын олон жилийн статистик өгөгдлүүдтэй харьцуулан шинжлэв. МК-ийн арга нь дараах тэгшитгэлээр илэрхийлнэ. Энд:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \operatorname{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

Өөрчлөлтийн хамаарлыг тодорхойлох үндсэн x_i өгөгдлийн хэмжээ ($i = 1, 2, \dots, n-1$) болон x_j ($j = i+1, 2, \dots, n$) байна. Аль ч өгөгдлийн хэмжээ нь x_i өгөгдлийн угтатой харьцуулж ашигладаг. Өгөгдлийн хэмжээг x_j дараах байдлаар тооцогдоно:

$$\operatorname{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Энд x_j болон x_i нь цаг хугацааны утга j болон i . Өгөгдлийн цувааны тоо нь 10 эсвэл түүнээс их бол ($n \geq 10$), МК арга нь дундаж утгыг хэвийн тархалтаар дараах байдлаар тодорхойлно $E(S) = 0$. Хугацааны цувааны өөрчлөлт $Var(S)$ дараах байдлаар тооцогдоно:

$$E(S) = 0 \quad (3)$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{k=1}^m t_k(t_k-1)(2t_k+5)}{18} \quad (4)$$

Энд m нь цаг хугацааны цуваан дахь холбоотой бүлгүүдийн тоо, t_k нь k th холбоотой бүлэг дэх хэлхээ холбооны тоо юм. Тестийн статистик Z нь дараах байдлаар тооцогдоно:

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\delta} & \text{if } S > 0 \\ 0, & \text{if } S = 0 \\ \frac{s+1}{\delta} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Энд Z нь тэгээс их үед өөрчлөлтийн хандлага нь өсөх, Z нь тэгээс бага үед өөрчлөлтийн хандлага нь буурна гэсэн үг. Цаг хугацааны дарааллаар статистик утгууд нь бие даасан байдлаар тодорхойлогддог:

$$UF_k = \frac{d_k - E(d_k)}{\sqrt{\operatorname{var}(d_k)}} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

Голын урсцын өөрчлөлт тооцохдоо цаг хугацааны дарааллаар усны урсцын өөрчлөлтийг илэрхийлж бие даасан байдлаар тооцно:

$$\begin{aligned} UB_k &= -UF_k \\ K &= n + 1 - k \end{aligned} \quad (7)$$

Энд UB_k болон UF_k статистикийн цувааг илэрхийлэхдээ цаг хугацааны дарааллыг урвуу дарааллаар бас илэрхийлдэг. Энэ нь судалгааны үр дүнг үнэн эсэхийг баталгаажуулж өгнө. Урвуу дараалал нь үндсэн хугацааны дараалалтай тэгш хэмт шугаман муруйг үүсгэнэ. Хэрэв тэгш хэмт муруй үүсэхгүй бол хугацааны цуваа өгөгдөлд алдаа гарсныг илтгэнэ.

Шинэлэг чиг хандлагын шинжилгээний арга (ITAM)

ITAM нь гидрологийн нөхцөлийг илрүүлэх, түүний нарийвчлалыг МК аргын үр дүнтэй харьцуулж үр дүнгээ тооцдог арга юм (Malik et al., 2020). Үзүүлэлтийг дараах байдлаар тодорхойлдог:

$$\phi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{10(x_j - x_i)}{\mu} \quad (9)$$

Энд ϕ = чиглэлийн үзүүлэлт, n = ажиглалтын цувааны тоо, x_i = эхний хагас дэд анги дэх мэдээний цуваа, x_j = хоёр дахь хагас дэд хэсгийн мэдээний цуваа болон μ = эхний хэсэг дэх өгөгдлийн цувааны дундаж утга юм.

Сенийн налуугийн тооцооны арга (SSET)

Голын усны урсац болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн хоорондын уялдаа, хамаарлыг налуугийн тооцооллын аргаар тодорхойлж болно (Dinpashoh, Babamiri, 2020). Хоёр өгөгдлийн цэгүүдийн хоорондын налуу Q_i дараах байдлаар тодорхойлогддог. Энд:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k}, \text{ for } i = 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

Энд x_j болон x_k өгөгдлийн цэгүүдийн цаг хугацаа j болон ($j > k$) тус тус байна. Хэрэв зөвхөн нэг өгөгдөл байгаа бол $N = \frac{n(n-1)}{2}$; n нь үргэлжлэх хугацаа юм. Гэсэн хэдий ч, хэрэв жил бүрийн өгөгдлийн тоо олон байвал $N < \frac{n(n-1)}{2}$; n ажиглалтын нийт тоо. Налуугийн тооцооны N утгуудыг хамгийн багаас хамгийн их хүртэл байрлуулна. Дараа нь налуугийн (β) дунджийг дараах байдлаар тооцоолно:

$$\beta = \begin{cases} Q[(N+1)/2] & N \text{ нь сондгой байх үед} \\ Q[(N/2) + Q(N+2)/(2)/(2)] & N \text{ нь тэгш байх үед} \end{cases} \quad (11)$$

Энд β -ийн утга нь өсөх болон буурч байгаа эсэхийг харуулна.

Бланей-Кридийн арга (BC)

Ховд голын савд Бланей-Кридийн арга ашиглан сав газрын нийлбэр ууршлыг тооцов (Оюунбаатар, 2017).

$$ET = 3.6 \cdot 10^{-4} \cdot \left[(25 + T)^2 \cdot \left(1 + \frac{100 \cdot rH}{100} \right) \right] \quad (12)$$

Үүнд: T-агаарын температур, °C гН-харьцангуй чийгшил, %

Статистик дүн шинжилгээний арга

Шугаман регресс: Уур амьсгалын чиг хандлагыг гол мөрний урсацтай нь харьцуулах байдлаар цаг хугацааны өөрчлөлтийн хандлагыг тодорхойлдог. Регрессийн параметр нь a , регрессийн коэффициент b нь хамгийн бага квадратын аргаар үнэлж дараах тэгшитгэлээр тооцов (Freedman, 2008). Энд:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (13)$$

Үүнд: $x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i$ $y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n y_i$ нь $b > 0$ нь $b > 0$ байх үед уур амьсгалын хүчин зүйл өсөх, $b < 0$ байх үед буурах хандлагатай байгааг илэрхийлнэ.

Корреляцийн коэффициент: Ховд голын сав газрын урсац олон жилийн хувьсал өөрчлөлтөд үзүүлэх уур амьсгалын нөлөөллийг энэ аргаар тооцсон. Корреляцийн коэффициентын аргын дараах тэгшитгэлээр тооцов (Cohen et al., 2009). Энд:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x - \bar{x})^2) (\sum (y - \bar{y})^2)}} \quad (14)$$

Үүнд: y_i - корреляцийн коэффициент, x_i - үл хамаарах хувьсагч, \bar{x} - үл хамаарах хувьсагчийн дундаж, y_i -хамаарах хувьсагч, \bar{y} - хамаарах хувьсагчийн дундаж утга юм. Энэ тэгшитгэлд \bar{x} болон \bar{y} хоёр хүчин зүйлсийн түүврийн утгуудын дундаж утга, $r_{xy} > 0$ нь эерэг хамаарлыг илэрхийлж, $r_{xy} < 0$ нь сөрөг хамаарлыг илэрхийлдэг.

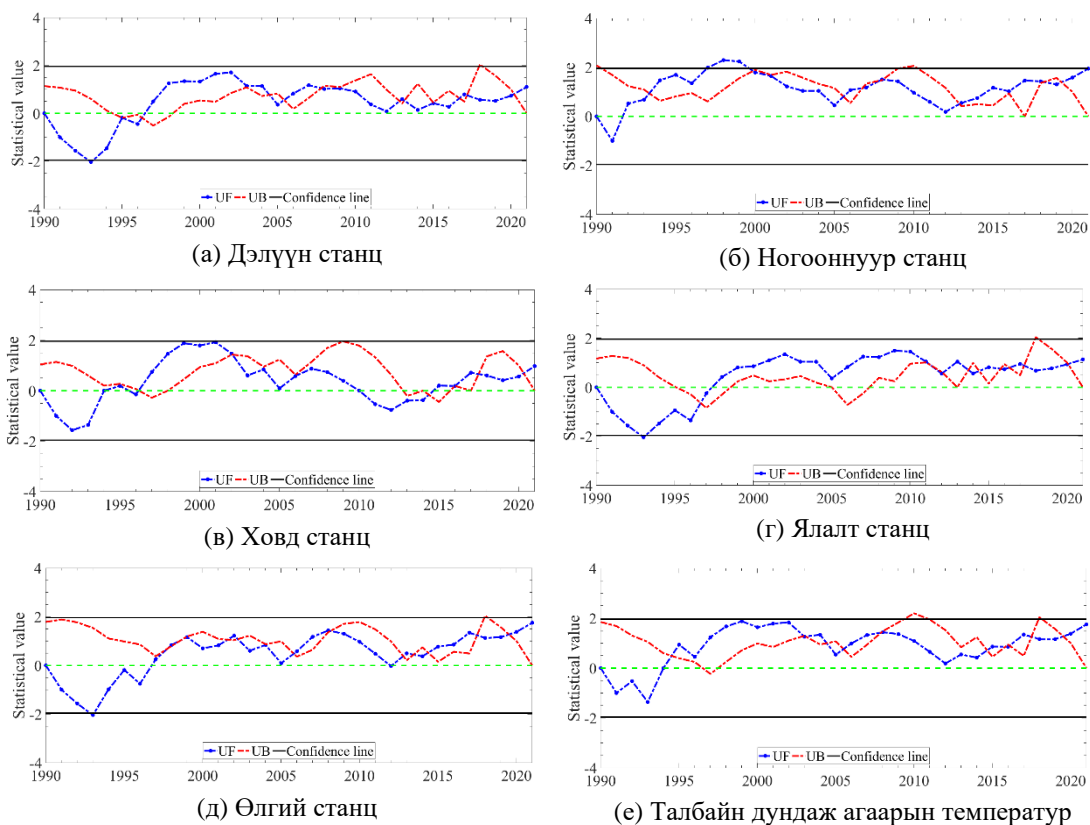
Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг

Ховд голын сав газрын уур амьсгалын өөрчлөлт: Ховд голын сав газарт байрлах Баян-Өлгий аймгийн Дэлүүн, Ногооннуур, Ялалт, Өлгий станцууд, Ховд аймгийн Ховд станцын сүүлийн 30 жилийн дундаж агаарын температурын мэдээнд Манн-Кендалл аргаар дүн шинжилгээ хийв (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Ховд голын сав газрын агаарын температурын өөрчлөлтийн чиг хандлага

№	Станцын нэрс	Z (МК)	φ (ITAM)	β (SET)
1	Дэлүүн	1.47*	-1.76*	0.02
2	Ногоон нуур	2.66**	-2.17**	0.04
3	Ховд	1.32*	2.63**	0.02
4	Ялалт	1.51*	-1.55*	0.02
5	Өлгий	2.34**	4.07***	0.03
6	Дундаж	2.38**	-2.45**	0.03

Агаарын температурын чиг хандлага МК тооцоогоор Баян-Өлгий аймгийн Ногооннуур орчим 1990-1994 он хүртэл жигд өсөлттэй байсан. Харин 1995, 1996 ($Z=2.66$) онуудад статистикийн ач холбогдолтойгоор нэмэгдсэн байна. Мөн агаарын температурын хэмжээ 1997-2005 он хүртэл буурах хандлага ажиглагдсан хэдий ч 2006 оноос одоог хүртэл өсөх хандлагатай байна. Талбайн дунджаар агаарын температурын өөрчлөлт нь ($Z=2.38$) 1990-1995 онд буурсан, 1996-2020 он хүртэл тасралтгүй өссөн байна (Зураг 3).



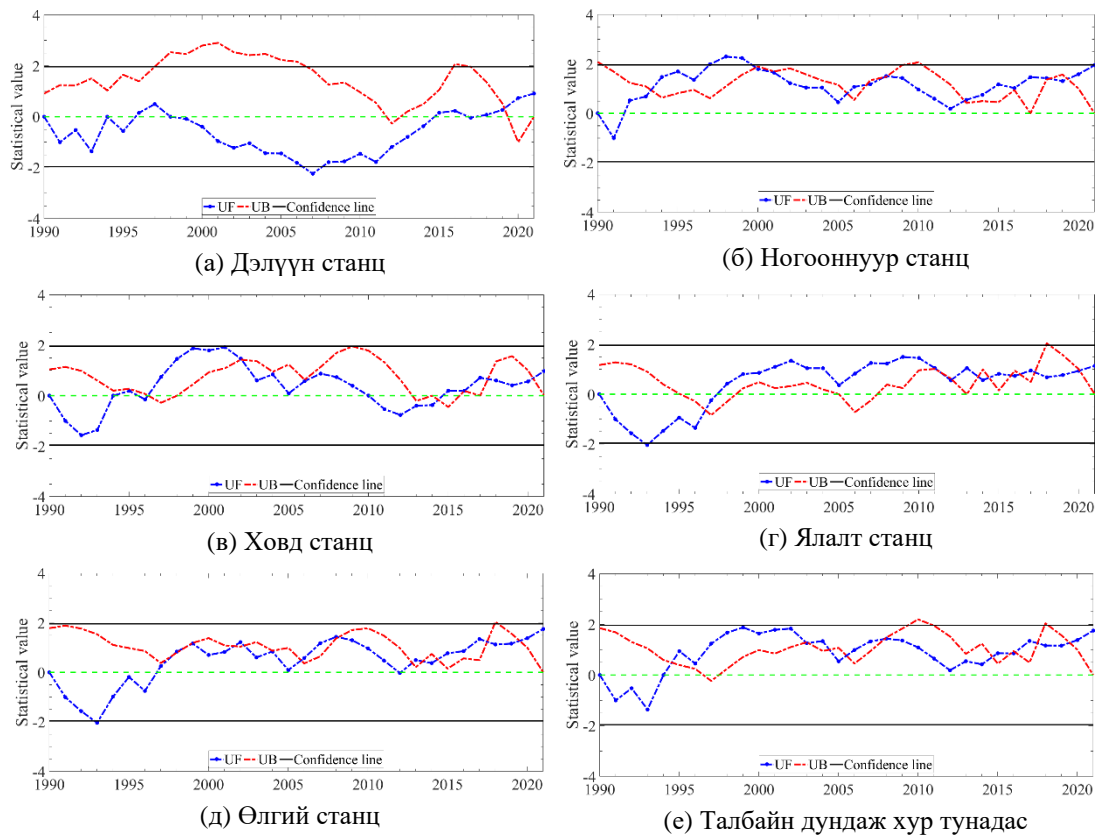
Зураг 3. Агаарын температурын олон жилийн чиг хандлага

Хур тунадасны өөрчлөлт: Ховд голын сав газарт байрлах Баян-Өлгий аймгийн Дэлүүн, Ногооннуур, Ялалт, Өлгий станцууд, Ховд аймгийн Ховд станцын сүүлийн 30 жилийн нийлбэр хур тунадасны мэдээнд Манн-Кендалл аргаар дүн шинжилгээ хийв (Хүснэгт 2).

Хүснэгт 2. Ховд голын сав газрын хур тунадасны өөрчлөлтийн чиг хандлага

№	Станцын нэрс	Z (МК)	φ (ITAM)	β (SET)
1	Дэлүүн	1.19*	0.78	0.69
2	Ногоон нуур	2.18**	2.44**	1.57*
3	Ховд	-0.15	-0.08	-0.05
4	Ялалт	1.41*	0.75	0.73
5	Өлгий	-1.92*	-1.69*	-0.67
6	Дундаж	0.32	0.07	0.08

Өлгий орчимд 1990-1995 он хүртэл жилийн нийлбэр хур тунадасны өөрчлөлт нь ($Z=-1.92$) олон жилийн дунджаас бага хур тунадастай жилүүд байсан байна. Харин Ногооннуур болон Ялалт орчимд 1996 оноос хойш жилийн нийлбэр хур тунадасны өөрчлөлт нь ($Z=1.41-2.18$) олон жилийн дунджаас их хур тунадастай жилүүд байжээ. Бусад бүс нутгийн хувьд жилийн нийлбэр хур тунадасны өөрчлөлт нь ($Z=-0.15$) олон жилийн дунджийн орчим байна. Талбайн дунджаар хур тунадасны өөрчлөлт нь 2012 хүртэл буурч байгаад сүүлийн жилүүдэд өсөх хандлагатай ($Z=0.32$) байна (Зураг 4).



Зураг 4. Хур тунадасны олон жилийн чиг хандлага

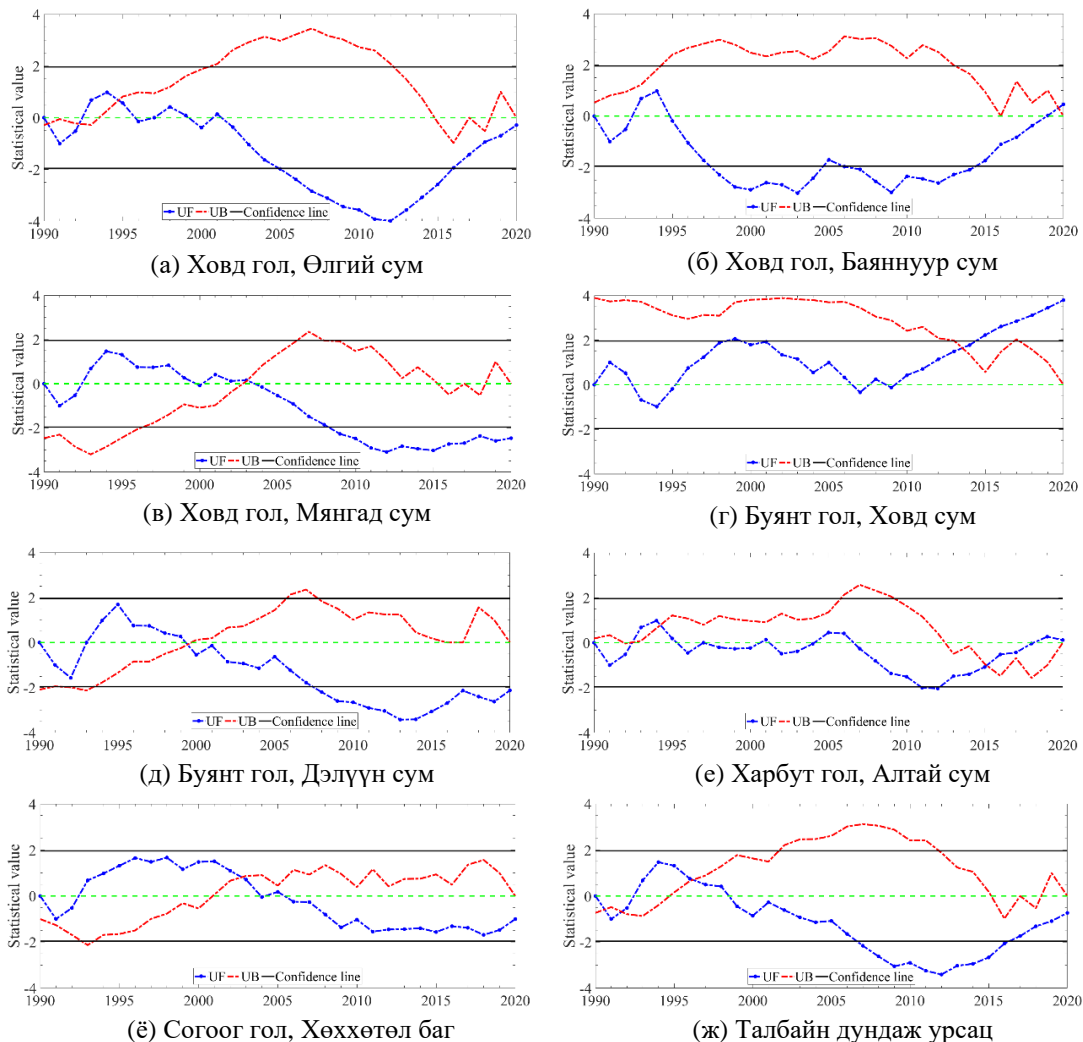
Ховд голын сав газрын усны горим, нөөцийн өөрчлөлт: Ховд голын олон жилийн дундаж урсац Өлгий сумын орчимд $57.2 \text{ м}^3/\text{с}$, Баяннуур сумын орчимд $64.8 \text{ м}^3/\text{с}$, Мянгад сумын орчимд $95.8 \text{ м}^3/\text{с}$ хүрдэг (Даваа, 2010). Ховд гол болон түүний цутгал голуудын урсцын сүүлийн 30 жилийн мэдээнд Манн-Кендалл аргаар дүн шинжилгээ хийв (Хүснэгт 3).

Хүснэгт 3. Ховд голын урсцын олон жилийн хувьсал өөрчлөлтийн чиг хандлага

№	Гол, харуулын нэрс	Z (МК)	φ (ITAM)	β (SET)
1	Ховд-Баян нуур	0.62	-0.02	0.15
2	Ховд-Өлгий	-0.36	-0.85	-0.08
3	Ховд-Мянгад	-3.21***	-2.87**	-1.07*
4	Буянт-Ховд	5.02***	3.54***	0.16
5	Буянт-Дэлүүн	-2.74**	-3.59***	-0.03
6	Харбут-Алтай	0.18	-0.98	0.0014
7	Согоог-Хөх хөтөл	-1.29*	-1.81*	-0.02
8	Дундаж	-0.94	-1.47*	-0.12

Ховд голын урсцын өөрчлөлтийн хандлагаас үзвэл Ховд гол Өлгий сум орчимд 1990-2000 он хүртэл статистикийн утга 0-ээс +2-ын хооронд буюу олон жилийн дундаж орчим байв. Харин 2001 оноос урсац огцом буурсаар 2005 оноос эхлэн 2016 он хүртэл статистикийн утга -2 -г давж статистикийн өндөр ач холбогдолтойгоор буурсан байна. Баяннуур сум орчимд 1990-1995 он

хүртэл статистикийн утга 0-ээс +2-ын хооронд буюу олон жилийн дундаж орчим байв. 1996 оноос хойш тасралтгүй буурсаар 1998 оноос эхлэн огцом буурч статистикийн утга -2-оос доош орж, энэ хандлага 2016 он хүртэл үргэлжилжээ. Мянгад сум орчимд урсцын хандлага 1992-2002 онд статистикийн хэлбэлзэл 0-ээс +2-ын хооронд байв. 2003-2008 онд статистикийн утга 0-ээс -2 руу орж буурсан бол 2009 оноос 2020 он хүртэл статистик үнэмшлийн утга -2 буюу түүнээс доош үзүүдэлтэй байна. Сав газрын дундаж урсцын өөрчлөлт нь 1990-1997 онд статистикийн утга 0-ээс +2, 1998-2005 онд статистикийн утга 0-ээс -2 утга руу орж буурсан бол 2006-2016 онд статистик утга -2-г давж статистикийн өндөр ач холбогдолтойгоор буурсан байна (Зураг 5).



Зураг 5. Ховд гол болон түүний цутгал голуудын олон жилийн хувьсал, өөрчлөлт

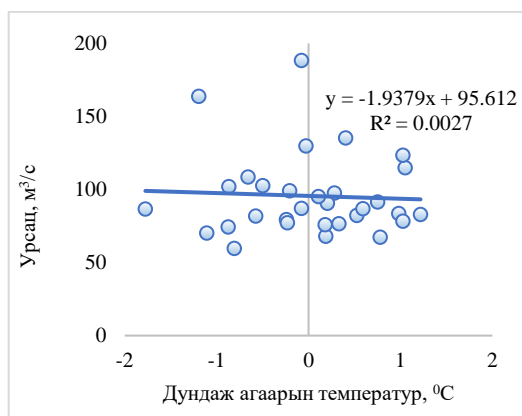
Ховд голын урсац болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлтийн хамаарал: Судалгаанд хамрагдаж буй Ховд голын урсац сүүлийн 30 жилийн хугацаанд ерөнхийдөө буурах хандлагатай байна. Энэхүү буурч байгаа хандлагад уур амьсгалын өөрчлөлт тодорхой нөлөөлсөн болно. Иймд Ховд голын сав газрын уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөг сүүлийн 30 жилийн хугацаанд тооцож үзэхэд жилийн дундаж агаарын температур 0.78°C -аар нэмэгдэж байна. Ховд голын сав газарт жилийн нийлбэр хур тунадасны хэмжээ 127.3 мм байна. Хур тунадасны хэлбэлзэл харьцангуй бага хэдий ч сүүлийн 10-аад жил дараалан дунджаас бага хур тунадас орсон байна.

Мөн түүнчлэн голын сав газрын усны тэнцлийн нэг үндсэн элемент бол сав газрын нийлбэр ууршилт байдаг (Li et al., 2007). Ховд голын савд сүүлийн 30 жилд буюу 1990-2020 оны дулааны улиралд нийлбэр ууршилтын хэмжээ дунджаар 130.5 мм орчим байна (Хүснэгт 4).

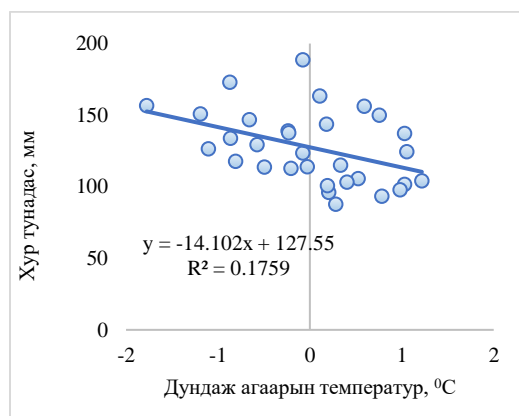
Хүснэгт 4. Ховд голын сав газрын нийлбэр ууршилтыг Бланей-Кридлийн (BC) аргаар тооцсон үр дүн /V-IX/.

Станцын нэр	V	VI	VII	VIII	IX	V-IX
Дэлүүн	16.8	25.7	30.7	27.2	18.5	118.8
Ногоон нуур	18.0	27.4	32.5	29.2	19.4	126.5
Ховд	20.9	30.9	37.5	33.8	18.6	141.7
Ялалт	20.5	30.0	34.5	30.8	20.6	136.3
Өлгий	18.1	27.7	33.6	30.4	20.1	130.0

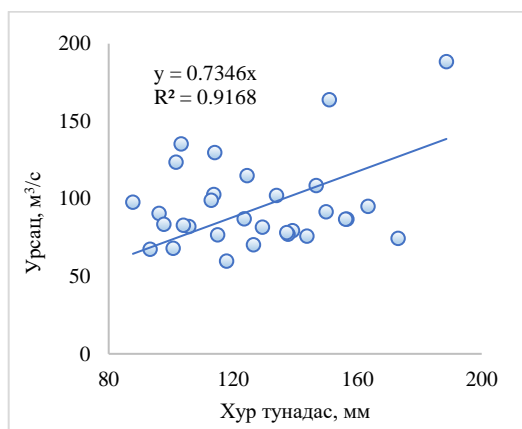
Ховд голын урсцын олон жилийн хувьсал өөрчлөлтөд агаарын температурын хамаарал 1990-2020 он хүртэл $R^2 = 0.0027$ буюу хамаарал маш сул байна. Агаарын температур болон хур тунадас хоорондын хамаарал $R^2 = 0.1759$ буюу сулхан эерэг хамааралтай байсан. Харин хур тунадас $R^2 = 0.9168$, нийлбэр ууршилт $R^2 = 0.9361$ буюу маш сайн хамааралтай байна. Эндээс Ховд голын урсцад хур тунадас болон ууршилтын хэмжээ илүү их хамааралтай, харин агаарын температур сул эерэг хамааралтай болох нь тогтоогдож байна (Зураг 6).



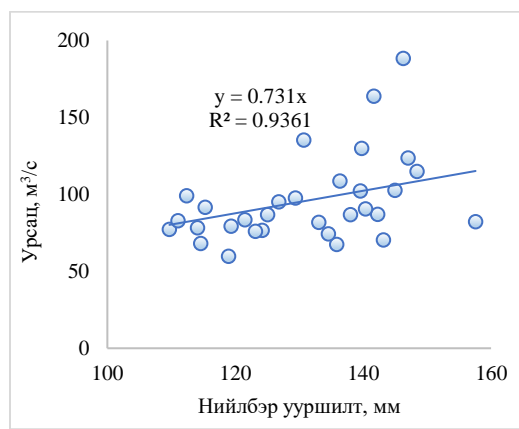
(a)



(б)



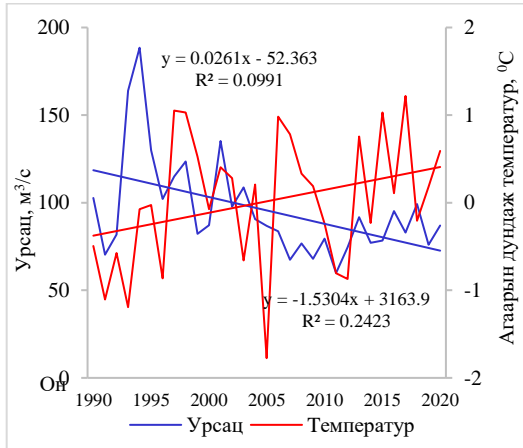
(в)



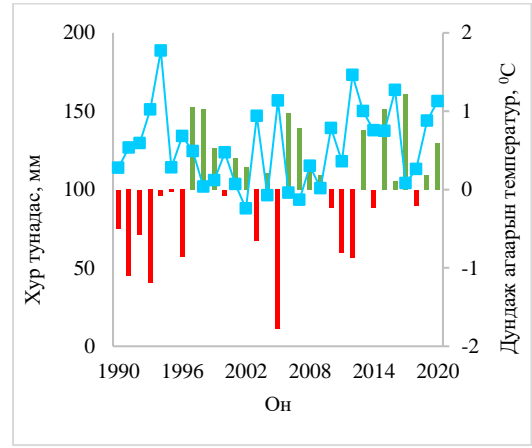
(г)

Зураг 6. Ховд голын урсцын өөрчлөлт ба уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн хамаарал (а). Ховд голын урсац ба агаарын температурын хамаарал (б). Хур тунадас болон агаарын температурын хамаарал (в). Урсац болон хур тунадасны хамаарал (г). Урсац болон сав газрын нийлбэр ууршилтын хамаарал

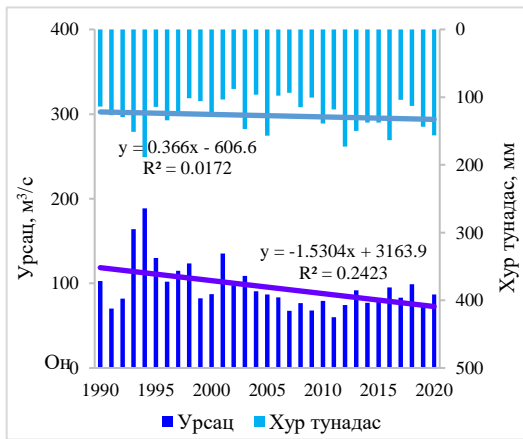
Сүүлийн 30 жилд буюу 1990-2020 онд Ховд голын урсцад хамгийн их хамаарал үзүүлж буй хур тунадас нь сав газрын хэмжээнд бараг өөрчлөлтгүй байна. Иймд хур тунадас өөрчлөгдөөгүй байхад агаарын температурын утга жил бүр 0.026 градусаар нэмэгдэж байгаа нь сав газрын нийлбэр ууршилтын хэмжээг ихэсгэж голын урсцыг бууруулж байна.



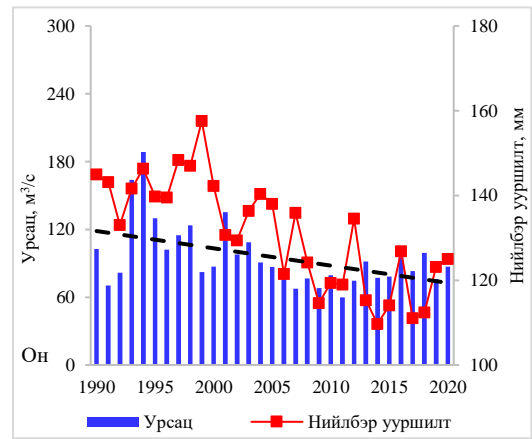
(a)



(б)



(в)



(г)

Зураг 7. Ховд голын урсац болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн хэлбэлзлийн уялдаа (а). Урсац болон агаарын температурын хэлбэлзэл (б). Хур тунадас болон агаарын температурын хэлбэлзэл (в). Урсац болон хур тунадасны хэлбэлзэл (г). Урсац болон ууршилтын хэлбэлзэл

Тухайлбал, Дуламсүрэн (2023) нарын судалгаанд жилийн дундаж агаарын температур 1940-2021 оны хооронд 2.45°C -аар нэмэгдэж, жилийн нийлбэр хур тунадас 1940-2021 оны хооронд 16%-өсөж байгаа боловч сүүлийн 3 жил дараалан хэвийн хэмжээнээс бага хур тунадас орсон байна гэж үзжээ (Tang et al., 2016). Мөн ирээдүйд уур амьсгалын өөрчлөлтийн дээрх нөхцөл энэхүү бүс нутагт үргэлжлэн явагдах бөгөөд дэлхий нийтээр ялгаруулах хүлэмжийн хийн сценариас хамааран агаарын температур нэмэгдэх ялангуяа зун харьцангуй эрчимтэй дулаарах, хур тунадас нь яламгүй буурах хандлагатай байна. Харин өвөл дулаарах, хур тунадас нэмэгдэх төлөвтэй (Batima et al., 2005). Уг нөхцөл байдал нэгэнтээ эхэлсэн хуурайшилтыг улам бүр эрчимжүүлэх хандлагатай байна гэсэн дүгнэлт гаргажээ.

Дүгнэлт

Энэ судалгаанд манай орны баруун хязгаарт орших Монгол Алтай нурууны Таван Богд уулын баруун өмнөд хөндийн мөсөн голоос эх аван урсах Ховд голыг сонгож сав газрын уур амьсгалын өөрчлөлт болон усны горимд үзүүлэх нөлөөллийг тодорхойлов.

Судалгаанд Ховд голын сав газрын нийлбэр ууршилтыг Бланей-Кридийн аргаар (BC), уур амьсгалын болон голын урсцын өгөгдлийг Манн-Кендалл (МК), Шинэлэг чиг хандлагын шинжилгээ (ITAM), Сенийн налуугийн тооцоо (SSET)-г хийж статистик шинжилгээгээр хоорондын хамаарлыг нь гаргав.

Ховд голын сав газрын уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөг сүүлийн 30 жилийн хугацаанд тооцож үзэхэд жилийн дундаж агаарын температур 0.78°C -аар нэмэгдэж байна. Агаарын

температурын өсөлттэй холбоотойгоор Ховд голын савд сүүлийн 30 жилийн хугацааны дулааны улиралд нийлбэр ууршилтын хэмжээ дунджаар 130.5 мм орчим байна.

Ховд голын сав газарт жилийн нийлбэр хур тунадасны хэмжээ 127.3 мм байгаа бөгөөд хур тунадасны хэлбэлзэл харьцангуй бага хэдий ч сүүлийн 10-аад жил дараалан дунджаас бага байна.

Ховд голын урсац сүүлийн 30 жилийн хугацаанд 59.8 - 188.4 м³/с -ийн хооронд хэлбэлзэх бөгөөд урсцын хэмжээ 45.9 м³/с -ээр буурсан хандлага илэрч байна. Энэхүү буурч байгаа хандлагад уур амьсгалын өөрчлөлт тодорхой нөлөөлсөн болно.

Ховд голын урсцад хамгийн их хамаарал үзүүлж буй хур тунадас нь сав газрын хэмжээнд бараг өөрчлөлтгүй байна. Иймд хур тунадас өөрчлөгдөөгүй байхад агаарын температурын утга жил бүр 0.026 градусаар нэмэгдэж байгаа нь сав газрын нийлбэр ууршилтын хэмжээг ихэсгэж голын урсцыг бууруулж байна.

Цаашид Ховд голын сав газарт нөлөөлж буй хүний хүчин зүйлийг нарийвчлан тооцох шаардлагатай байна.

Талархал ба санхүүжилт

Энэ судалгааг МУИС-ийн 2023 оны Өндөр Түвшний Судалгаа (P2022-4376) -ны төсөлт ажил болох “Ховд голын усны динамик өөрчлөлт ба экогидрологийн үйл явцын харилцан хамаарлын судалгаа” сэдэвт судалгааны санхүүжилт, судалгааны материалд тулгуурлан гүйцэтгэв. Судалгаанд хянан магадалгаа хийж оновчтой санал өгсөн шүүмжлэгч нарт талархал илэрхийлье.

Ном зүй

- Alcamo, J., Döll, P., Henrichs, T., Kaspar, F., Lehner, B., Rösch, T., & Siebert, S. (2003). Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability. *Hydrological Sciences Journal* 48(3), 317-337.
- Batima, P., Natsagdorj, L., Gombluudev, P., & Erdenetsetseg, B. (2005). Observed climate change in Mongolia. *Assess Imp Adapt Clim Change Work Pap* 12, 1-26.
- Cohen, I., Huang, Y., Chen, J., Benesty, J., & Cohen, I. (2009). Pearson correlation coefficient. Noise reduction in speech processing, 1-4.
- Davaa, G., Oyunbaatar, D., Michiaki, S. (2007). Surface water of Mongolia.
- Davaa, G., Kadato, T., Purevdagva, K., & Baasandorj, D. (2008). Preliminary results of study on flat-top glacier at Tsambagarav Mts. Mongolia. *Uncertainties in water resource management: causes, technologies and consequences (wrm-mon2008)*, 123.
- Dinpashoh, Y., & Babamiri, O. (2020). Trends in reference crop evapotranspiration in Urmia Lake basin. *Arabian Journal of Geosciences* 13, 1-16.
- Dorjsuren, B., Batsaikhan, N., Yan, D., Yadamjav, O., Chonokhuu, S., Enkhbold, A., Qin, T., Weng, B., Bi, W., & Demberel, O. (2021). Study on relationship of land cover changes and ecohydrological processes of the Tuul River Basin. *Sustainability*, 13(3), 1153.
- Dorjsuren, B., Yan, D., Wang, H., Chonokhuu, S., Enkhbold, A., Davaasuren, D., Girma, A., Abiyu, A., Jing, L., & Gedefaw, M. (2018). Observed trends of climate and land cover changes in Lake Baikal basin. *Environmental Earth Sciences*, 77(20), 1-12.
- Dorjsuren, B., Yan, D., Wang, H., Chonokhuu, S., Enkhbold, A., Yiran, X., Girma, A., Gedefaw, M., & Abiyu, A., (2018). Observed trends of climate and river discharge in Mongolia's Selenga sub-basin of the lake Baikal basin. *Water*, 10(10), 1436.
- Fan, M. (2020). Achieving Sustainable Integrated Water Resources Management in Mongolia: The Role of River Basin Organizations.
- Оюунбаатар, Д., Даваа, Г. (2017). Сэлбэ голын сав газрын нийлбэр ууршил тооцсон үр дүн. Улаанбаатар.
- Freedman, D. A. (2008). On regression adjustments in experiments with several treatments.
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Lo, K., Lea, D. W., & Medina-Elizade, M., (2006). Global temperature change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(39), 14288-14293.
- Hussain, M., & Mahmud, I. (2019). pyMannKendall: a python package for non parametric Mann Kendall family of trend tests. *Journal of Open Source Software*, 4(39), 1556.
- Даваа, Г., Оюунбаатар, Д. (2010). Хар нуур-Ховд голын сав газрын усны нөөц, байгаль орчин, нийгэм эдийн засгийн өнөөгийн төлөв байдал, хэтийн хандлага. Улаанбаатар.

16. Karthe, D., Chalov, S., Moreido, V., Pashkina, M., Romanchenko, A., Batbayar, G., Kalugin, A., Westphal, K., Malsy, M., & Flörke, M. (2017). Assessment of runoff, water and sediment quality in the Selenga River basin aided by a web-based geoservice. *Water Resources*, 44(3), 399-416.
17. Даваа, Г. (2015). Монгол орны гадаргын усны горим, нөөц. Улаанбаатар, Адмон принтинг.
18. Khalzan, P., Sakai, A., & Fujita, K., (2022). Mass Balance of Four Mongolian Glaciers: In-situ Measurements, Long-Term Reconstruction and Sensitivity Analysis. *Frontiers in Earth Science*, 9, 785306.
19. Li, S.-G., Asanuma, J., Kotani, A., Davaa, G., & Oyunbaatar, D. (2007). Evapotranspiration from a Mongolian steppe under grazing and its environmental constraints. *Journal of Hydrology*, 333(1), 133-143.
20. Malik, A., Kumar, A., Pham, Q. B., Zhu, S., Linh, N. T. T., & Tri, D. Q. (2020). Identification of EDI trend using Mann-Kendall and Sen-innovative trend methods. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-15.
21. Orkhonselenge, A., Uuganzaya, M., & Davaagatan, T., (2022). Lake Khoton. Lakes of Mongolia: Geomorphology, Geochemistry and Paleoclimatology, *Springer*, 215-227.
22. Pan, C. G., Kamp, U., Munkhjargal, M., Halvorson, S. J., Dashtseren, A., & Walther, M., (2019). An estimated contribution of glacier runoff to Mongolia's Upper Khovd River Basin in the Altai Mountains. *Mountain Research and Development*, 39(2), R12-R20.
23. Punsalmaа, B., Nyamsuren, B., & Buyndalai, B., (2004). Trends in river and lake ice in Mongolia. Assessments of impacts and adaptations to climate change (AIACC). Working Paper (4).
24. Sumiya, E., Dorjsuren, B., Yan, D., Dorligjav, S., Wang, H., Enkhbold, A., Weng, B., Qin, T., Wang, K., & Gerelmaa, T., (2020). Changes in water surface area of the lake in the Steppe Region of Mongolia: A case study of Ugii Nuur Lake, Central Mongolia. *Water*, 12(5), 1470.
25. Tang, J., Li, Q., Wang, S., Lee, D. K., Hui, P., Niu, X., Gutowski Jr, W. J., Dairaku, K., McGregor, J., & Katzfey, J. (2016). Building Asian climate change scenario by multi-regional climate models ensemble. Part I: surface air temperature. *International Journal of Climatology*, 36(13), 4241-4252.
26. Thomas, K., Hardy, R. D., Lazrus, H., Mendez, M., Orlove, B., Rivera-Collazo, I., Roberts, J. T., Rockman, M., Warner, B. P., & Winthrop, R. (2019). Explaining differential vulnerability to climate change: A social science review. *Climate Change*, 10(2), 565.
27. Van Aalst, M. K. (2006). The impacts of climate change on the risk of natural disasters. *Disasters*, 30(1), 5-18.
28. Wang, F., Shao, W., Yu, H., Kan, G., He, X., Zhang, D., Ren, M., & Wang, G. (2020). Re-evaluation of the power of the mann-kendall test for detecting monotonic trends in hydrometeorological time series. *Frontiers in Earth Science*, 8, 14.