



МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ  
ШИНЖЛЭХ УХААНЫ СУРГУУЛЬ  
ГАЗАРЗҮЙН ТЭНХИМ

# Газарзүйн асуудлууд

---

## *Geographical Issues*

*Volume 23 (1)*

*ISSN: 2312-8534*

*2023*

*Улаанбаатар хот*

## Сав газрын түвшинд боломжит хамгийн их хур тунадсыг тооцох нь (Туул голын сав газрын жишээн дээр)

### Probable maximum precipitation estimation for the catchment area (A case study of the Tuul River basin, Mongolia)

©Ш. Отгонсүрэн<sup>1</sup>, Б. Ганболд<sup>1\*</sup>, Э.Энхпүрэв<sup>1</sup>

©Shar Otgonsuren<sup>1</sup>, Boldbaatar Ganbold<sup>1\*</sup>, Enkhbayar Enkhpurev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Хэрэглээний математикийн тэнхим, Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан Инженерчлэлийн Сургууль,  
Монгол Улсын Их Сургууль, Монгол Улс

<sup>1</sup>Department of Applied Mathematics, School of Engineering and Applied Science and Sciences,  
National University of Mongolia, Mongolia

\*Харилцагч зохиогч: [ganbold@seas.num.edu.mn](mailto:ganbold@seas.num.edu.mn)

\*Corresponding author: [ganbold@seas.num.edu.mn](mailto:ganbold@seas.num.edu.mn)

Хүлээн авсан:2023.03.12  
Засварласан:2023.04.23  
Зөвшөөрөгдсөн:2023.04.25

#### Хураангуй

Тус судалгаанд зарим статистик арга, уур амьсгалын загварын үр дүнг ашиглан ирээдүйд орох хур борооны их хэмжээг тооцож, байршилыг таамаглалаа. Үерийн тооцооны гол орцуудын нэг нь хоногт орсон хамгийн их тунадасны тоо хэмжээ байдаг. Хүн ам, дэд бүтцийн байгууламжийн нягтшил өндөртэй голын сав газрын боломжит хамгийн их тунадсыг тооцож болзошгүй үерийн гамигийн эрсдэлийг бууруулахад энэ ажлын ач холбогдол оршино. Туул голын сав газарт хамаарах 21 цаг уурын станц, харуулын хур тунадасны сүүлийн гучин (1991-2020) жилийн ажиглалтын мэдээ, материалд түшиглэн ажиглагдаж болох хамгийн их хур тунадсыг тооцох Хэршифилдийн (Hershfield) статистик аргыг туршин бодит ажиглагдсан утгуудтай харьцуулан үнэлэлт дүгнэлт өгөв. Бодит ажиглалтын болон Хэршифилдийн статистик аргаар тооцсон хамгийн их тунадасны орон зайн ажиглалтын дундаж зөрүү 11 мм, хамгийн их зөрүү 51 мм, хамгийн бага 2 мм, Нэш-Сатклифийн коэффициентээр үнэлэхэд 0.9 буюу маш сайн гарч байна. Туул голын сав газрын орон зайн аль ч хэсэгт ажиглагдаж болох (PMP)-г үнэлэх нь энэ судалгааны ажлын нэг зорилго бөгөөд сав газарт хамаарах 21 цаг уурын станц, харуулын ажиглалтын 630 тохиолдлын өгөгдөлд дүн шинжилгээ хийж сав газарт ажиглагдах боломжтой хамгийн их хур тунадас (PMP) – нь 108.8 мм гэсэн үр дүнг гаргаж авав. Бид энэ ажилдаа дэлхийн уур амьсгалын судалгааны хөтөлбөр (WRCP-World Climate Research programme)-аас хөгжүүлсэн, НҮБ-ын уур амьсгалын өөрчлөлтийн суурь конвенцын Засгийн газар хоорондын олон улсын мэргэжилтнүүдийн хорооноос (IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change) боловсруулан гаргасан 6-р үнэлгээнд (The Sixth Assessment Report-AR6) үндсэн өгөгдлөөр ашигласан CMIP-6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) -ийн орон зайн хувьд хамгийн өндөр нарийвчлалтай (0.5°x0.5°) CNRM-CM6-1-HR (France) загварын мэдээг боловсруулж 1991-2014 хугацаанд үнэлгээ хийж үзэхэд корреляцийн коэффициент 0.6-аас их буюу экстрем утгын хувьд загвар таарц сайн байгааг тогтоолоо. CNRM-CM6-1-HR (France) загварын үр дүнгээс шууд авч үзвэл сав газрын хэмжээнд 2099 он хүртэлх хугацаанд хамгийн ихдээ хоногт 110 мм тунадас унана гэсэн тооцоо гарч байна.

**Түлхүүр үгс:** Боломжит хамгийн их тунадас, Хэршифилдийн статистик арга, Уур амьсгалын загвар, Тооцоологдсон утга, Туул голын сав газар.

#### Abstract

The particular study covers estimation of daily maximum rainfall amount, namely by estimating the probable maximum precipitation, by some selected methods and prediction of future trends of rainfall amount and location. The daily maximum rainfall amount with different return period is one of the key inputs for any flood estimation studies. The study also contributes to reduction of risk of flood disasters in river basins with high density of population and infrastructural facilities. In these studies have been used series of daily maximum rainfall data at 21 meteorological stations in the Tuul river basin for last thirty years (1991-2020) and the statistical method of Hershfield was applied for the analysis and results of the estimation are compared with the actual observed values. The study results that mean difference between estimated values by the Hershfield statistical method with observed one was around 11mm by reaching highest values difference to 51 mm and lowest difference was even smaller than 2 mm in the

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: **Ш.Отгонсүрэн:** Сэдвийн судлагдсан байдлын тойм судалгаа, аргазүй боловсруулалт, дүн шинжилгээ, эх бичвэр. **Б.Ганболд:** Сав газрын уур амьсгалын нөхцөл, экстремал үзүүлэлтүүдийн талаар болон CMIP-6, CNRM-CM6-1-HR загварын эх мэдээг Python програмчлалын хэл ашиглан боловсруулж үр дүнд үнэлэлт дүгнэлт өгсөн, бичвэрийн үндсэн засвар, үр дүнгийн хяналт. **Э.Энхпүрэв:** Эх мэдээ бэлтгэх-боловсруулах, судалгааны мужийн талаар судалсан, техник редактор.

*daily maximum rainfall. The Nash-Sutcliffe coefficient between estimated and observed values was 0.90, which indicates strong correlation rate of the estimation. Another goal of this study was to evaluate spatial distribution of the PMP within the Tuul river basin. By analyzing set of data from 21 weather stations 630 occurrence data, we obtained the estimated daily maximum values of PMP in the Tuul river as mean of 108.8 mm. In this research, we also have used the CNRM-CM6-1-HR (France) model which initiated and developed by World Climate Research Program (WRCP) with the highest spatial resolution of 0.50x0.50 for estimation of rainfall amount during period of 1991-2014 and the analysis showed reasonable high values of correlation coefficient as 0.60. The data series of 1991-2014 is recommended and used in The Sixth Assessment Report-AR6, developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) of the United Nations Framework Convention on Climate Change. Finally, the results of the analysis by CNRM-CM6-1-HR (France) model showed that probable maximum precipitation (daily maximum rainfall) is expected to be around 110 mm in the basin for period of till 2099.*

**Keywords:** Probable maximum precipitation, Hershfield statistical method, Climate models, Estimated values, Tuul river basin.

## Оршил

Хамгийн их тунадас хаана, хэзээ, ямар орон зайг хамарч, хэдий хэмжээтэй, ямар эрчимшил, давтамжтай орохыг нарийн тогтоох нь ус-цаг уурын шинжлэх ухааны чухал судлагдахуун хэвээр байна. Болзошгүй их тунадсыг өндөр нарийвчлалтай тодорхойлох нь гэнэтийн үер усны гамшгаас нийгэм эдийн засагт учирч болох эрсдэлийг бууруулах онцгой ач холбогдолтой юм (World Meteorological Organization., 2009). Гол, нуурын сав газрын түвшинд хамгийн их хур тунадсыг тооцох нь үерийн эрсдэлтэй нутаг дэвсгэрийг тодорхойлох, газар ашиглалт, хот төлөвлөлттэй уялдуулах, үерийн хамгаалалтын барилга байгууламжууд төлөвлөх, авто болон төмөр замын ус гаргах тооцоо хийх, далан, усан сан барих зэрэгт маш чухал (Suligowski, 2014) бөгөөд дэлхийн өндөр хөгжилтэй орнуудын томоохон хотуудад цаг уурын радарын тусламжтайгаар орох хур тунадасны хэмжээ, эрчимшил, байршлыг тодорхойлж үерийн тооцооны төрөл бүрийн загвар, аргуудыг ашиглан хүний амь нас, эд хөрөнгийн хохирлоос урьдчилан сэргийлж хариу арга хэмжээг оновчтой авч хэрэгжүүлсээр байна.

Уур амьсгалын өөрчлөлт нь агаар мандал, далай, шим мандал, цэвдэг мандалд маш хурдтайгаар, өргөн хүрээтэй нөлөөлж үүнтэй холбоотойгоор цаг агаарын гамшигт үзэгдлүүд нэмэгдэж, экстрем утгын хувьд ихээхэн өөрчлөлт бий болж буйг НҮБ-ын уур амьсгалын өөрчлөлтийн үнэлгээний хорооноос 2022 онд гаргасан зургаадугаар илтгэлд онцлон тэмдэглэсэн байна (Trisos et al., 2022).

Сав газраас ангид газар нутаг гэж байдаггүй түүнд явагдах ус зүйн бүхий л процесс ус хагалбарын шугамаар зааглагдсан орон зайд явагдаж байдаг. Иймээс сав газрын түвшинд урсац үүсэх, дамжин өнгөрөх, алдагдах, усны нөөц бүрдэх үйл явцыг нарийн тодорхойлохын тулд ус хурах талбайн ба голын морфометрийн үзүүлэлтүүд, дэвсгэр гадаргын шинж чанарууд, газар ашиглалтын байдал, цаг уур-уур амьсгалын нарийн нийлмэл хүчин зүйлсийг хамтатган судлах шаардлагатай болдог (Chavan, Srinivas, 2015). Энэ агуулгаар бид сав газрын хэмжээнд боломжит хамгийн их тунадсыг судалж гарган авсан үр дүнгээ гидрологийн төрөл бүрийн загварт оруулан ашиглах суурь нөхцөлийг бүрдүүлж байгаа юм.

Дотоодын болон олон улсын хэмжээнд судлаачид жилийн нийлбэр ба боломжит их тунадасны талаар маш олон судалгааны ажил гүйцэтгэсэн байдаг. Тухайлбал Монгол улсын ус, цаг уур, уур амьсгалын чиглэлийн эрдэмтэн Мижиддорж (2021) нарын “Хур тунадасны хэлбэлзэл, дулаарал, хуурайшил” сэдэвт бүтээлдээ дэлхийн дулаарал хур тунадасны горим, хэлбэрт хэрхэн нөлөөлж буйг, сав газрын жилийн нийлбэр хур тунадсыг дендро-индикацийн аргаар нөхөн сэргээж, хэлбэлзлийг судлахын зэрэгцээ нэг хоногт орсон хоногийн хамгийн их тунадасны хэмжээг орон зайн хувьд үнэлж баруун хэсгээр арай бага 37-70 мм, зүүн бүс нутгаар харьцангуй их 70-120 мм тунадас унадаг болохыг тогтоожээ.

Мөнхбат (2022) нар “ANUSPLIN” статистик загвар ашиглан Монгол орны уур амьсгалын үндсэн үзүүлэлтүүд болох агаарын температур, хур тунадасны шинэчилсэн нормыг (Дэлхийн Цаг Уурын Байгууллагын журмын дагуу 1991-2020 оны дундаж) орон зайн өндөр нарийвчлалтайгаар торын зангилааны цэг (грид)-ээр тооцоолж бодит ажиглалтын мэдээгээр объектив анализ хийсэн. Судалгааны үр дүнд нийт 137 цаг уурын станцад хугацааны сарын нарийвчлалтай, 1991-2020 оны агаарын дундаж температурын болон хур тунадасны ажиглалтын тоон мэдээтэй болсон ба дэлхийн хэмжээний өндөр нарийвчлалтай динамик, статистик буулгалтын грид тоон мэдээллийг Монгол орны хэмжээнд боловсруулж, анализ хийх, үнэлгээ өгөхөд маш чухал бодит ажиглалтын мэдээлэл болно (Мөнхбат нар, 2022) гэж онцолжээ.

Гадаргын усны чиглэлээр Оюунбаатар, Даваа нарын судлаачид урсацын болон бусад үзэгдлийн экстремал утгуудын хаана, хэзээ, ямар давтамжтай ажиглагдсан талаар тодорхой

мэдээлэлүүдийг олон жилийн хугацаанд нэгтгэсэн байна. Үүнд: Туул голын сав газрын эх орчимд 1966 оны 7 дугаар сарын 10-11-нд аадар бороо үргэлжлэн орж 103.5 мм тунадас унасан нь жилийн нийлбэр тунадасны 43 хувьтай тэнцэх хэмжээ хоногт бууснаар Туул, Улаанбаатар, Сэлбэ, Улиастай голын ус эргээсээ хальж, урсгалын хурд 4-5 м/с хүрч, өнгөрөлтийн хэмжээ 1700 м<sup>3</sup>/сек орчим болж, усны түвшин хоногт 151 см-ээр нэмэгдсэн байдаг. Харьцангуй элбэг устай байсан 1986 оны 6 дугаар сарын 19-20 ны өдрүүдэд Тэрэлж орчим 55.2 мм хур тунадас унахад 2 хоногийн дараа буюу 6 дугаар сарын 22-нд Туул-Улаанбаатарт үерийн хамгийн өнгөрөлт 309 м<sup>3</sup>/сек хүрч байв. Мөн энэ үед хур борооны үер 2 өдрийн дараа буюу оны 6 дугаар сарын 23-25-ны өдрүүдэд орсон 27.8 мм хур тунадаснаас үүдэлтэй үер байж, хамгийн их өнгөрөлт 6 дугаар сарын 27-нд Туул-Улаанбаатарт 305.0 м<sup>3</sup>/сек хүрсэн болно. Түүнчлэн энэ ондоо 7 сарын сарын 9-нд хур борооны их үер ажиглагдаж хур борооны үерийн хамгийн их өнгөрөлт 291 м<sup>3</sup>/сек хүрэв үүний гол шалтгаан нөхцөл нь 7 сарын сарын 6-7-ны өдрүүдэд орсон 71.2 мм тунадас болно. 1986 оны дулааны улирлын нийлбэр хур тунадас 441.0 мм байжээ. Харин улаг багавтар байсан 1996 онд дулааны улиралд Тэрэлж орчимд 214.0 мм хур тунадас унасан болно. 1996 оны Туул-Улаанбаатарын дулааны улирлын гидрографт усны түвшин, урсац нэмэгдсэн 2 тохиолдлыг авч үзэхэд 6 дугаар сарын 14-ны өдөр 31.1 мм хур бороо ороход хамгийн их өнгөрөлт бараг тэр өдөртөө ажиглагдаж 23.1 м<sup>3</sup>/сек хүрсэн байв. Мөн 1996 оны 8 дугаар сарын 14-нд 14.4 мм хур тунадас унасан нь 2 өдрийн дараа Туул-Улаанбаатар усны өнгөрөлт 38.7 м<sup>3</sup>/сек хүрэх үндсэн шалтгаан, нөхцөл нь байх жишээтэй. Энэ бүхнээс үзэхэд хур тунадас ба урсацын хамаарал урсах хугацаа болон үерийн гидрографын орой зэрэг тухайн жилийн улагын байдал, хөрсний чийг, газрын доорх усны харилцан үйлчлэл, хур тунадасны хэмжээ, эрчимшил, цутгал голуудын урсац зэрэг олон хүчин зүйлсээс хамааралтай маш нарийн төвөгтэй үйл явц, хамаарал болох нь харагдаж байна гэж дүгнэжээ.

Отгонсүрэн, Бямбагэрэл (2020) нарын “*Evaluation of the GPM Precipitation Products in the Khar Lake-Khovd River Basin, Mongolia*” сэдэвт ажлаар сав газрын сар, жилийн нийлбэр тунадсыг хиймэл дагуулын ба бодит ажиглалтын мэдээгээр үнэлэн орон зайн тархалтыг гаргах, Ганболд, Жамбажамц (2019) нар “*Evaluation of cloud microphysical schemes for heavy precipitation prediction over central Mongolia*” сэдэвт ажлаар 24 цагийн хугацаанд хамгийн их тунадас унасан тохиолдлуудыг “Weather Research and Forecasting (WRF) model v4.0.3” хувилбаар тооцож харьцуулсан байдаг. Тодруулбал үүлэнд явагдах физик процесс болон газарт хэмжигдсэн утгууд хооронд ямар зүй тогтол байгааг нарийвчлан судалжээ.

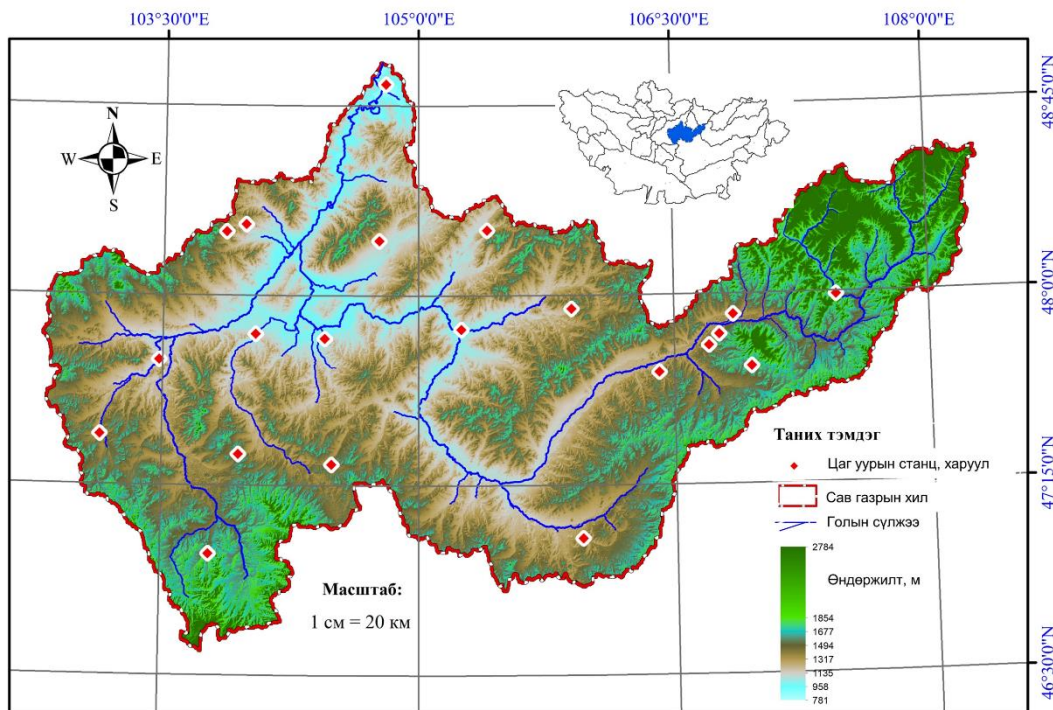
Дэлхийн цаг уурын байгууллага (2009)-аас гаргасан “*Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP)*” -бүтээлд их тунадас тооцох физик хууль зүйд үндэслэсэн ба статистик аргад суурилсан хоёр үндсэн арга зүйг санал болгосон бөгөөд дотроо 6 хэсэгт нарийвчлан авч үзсэн байдаг. Дэлхий нийтээр хамгийн өргөн хүрээнд хэрэглэгдэж буй арга нь статистик арга байна. Бидний судалгаандаа ашигласан Хэршфилдийн статистик арга нь уур амьсгалын хувьд нэгэн төрлийн, олон тооны харуул, станц бүхий сав газарт боломжит хамгийн их хур тунадас (PMP-Probable Maximum Precipitation)-г үнэлэхэд өргөнөөр ашиглагддаг.

Энэ чиглэлээр Чаван, Шринивас (2021) нарын “*Evaluation of three approaches to probable maximum precipitation estimation: a study on two Indian river basins*” сэдэвт судалгаа, түүнчлэн Чаван, Шринивас (2015) нарын “*Probable Maximum Precipitation Estimation for Catchments in Mahanadi River Basin*” сэдэвт судалгаа, АНУ-ын цаг уурын товчоон (1970)-ы “*Probable Maximum Precipitation, Mekong River Basin. Guhathakurta*” сэдэвт судалгаа, Гухатакура (2011) нарын “*Impact of climate change on extreme rainfall events and flood risk in India*” сэдэвт судалгаа, Фаттахи, Хабиби (2022) нарын “*Estimation of probable maximum precipitation 24-h (PMP 24-h) through statistical methods over Iran*” зэрэг олон улсын өндөр зэрэглэлийн сэтгүүлүүдэд хэвлэгдсэн судалгааны ажлуудыг тоймлон авч үзвэл орон зайн тархалт, хуваарилалтыг тооцож зурагласан, ирээдүйн уур амьсгалын өөрчлөлтийн хувилбаруудаар хандлагыг нь тогтоосон, дахин давтагдах магадлалт утгуудыг экстермал утгын онол ашиглан гаргасан, хугацааны өөр өөр интервалд 1-3 хоногт орох хэмжээг тооцсон чухал үр дүнгүүдийг гаргасан байна. Энд дурдсан үр дүнгүүдийг Монгол орны нутаг дэвсгэрт, сав газрын түвшинд тооцож гаргах нь бидний ажлын гол зорилго юм.

### Судалгааны талбай

Монгол орны нийт 29 голын сав газрын дундаас хамгийн өргөн хүрээтэй, сайтар судлагдсан голын сав газар бол Туул голын сав газар юм. Судалгааны талбайн газарзүй, байгалийн нөхцөлийн талаар хийгдсэн томоохон ажлуудад Байгаль орчин ногоон хөгжлийн яам, “Монгол оронд усны нөөцийн нэгдсэн менежментийг бэхжүүлэх нь төслийн хүрээнд боловсруулсан Улсын усны нөөцийн нэгдсэн менежментийн төлөвлөгөө боловсруулахад зориулсан судалгааны эмхэтгэл I дэвтэр, Туул голын сав газрын усны нөөцийн нэгдсэн менежментийн төлөвлөгөө 2012, Туул голын сав газрын төлөв байдлын үнэлгээ 2019 зэргийг дурдаж болно.

Туул гол нь Хан Хэнтийн нурууны салбар Бага Хэнтий уулын ар, өврөөс эх авах Номин, Нэргүй голын бэлчирээс Туул нэрийг авч Сэлэнгэ аймгийн Орхонтуул сумын нутагт Орхон голд цутгадаг 6-р эрэмбийн гол юм. (Зураг 1). Туул голын эх авах цэгийн солбицол нь Төв аймгийн Эрдэнэ сумын нутаг Х.Ө 48°30'58.9"; 3.У 108°14'08.3"; голын адаг буюу Орхон голд цутгах цэгийн солбицол нь Х.Ө 48°56'55.1"; 3.У 104°47'53.2". Ус хурах талбайн хэмжээ 49,774.4 км<sup>2</sup>, голын нийт урт 717 км, голдрилын дундаж өндөр 1160 м, ус хагалбарын шугамын урт 2055.6 км, түүний дундаж өндөр 1719.0 м, голуудын нийлбэр урт 11046.5 км, ус зүйн сүлжээний нягтшил 0.23 км/км<sup>2</sup>, ус хурах талбайн дундаж өндөр 1300.0 м, хөндийн гүн дунджаар 559.0 м, түүний өргөн 54.4 км, сав газрын суналтын зэрэг 16.5, ус хагалбарын шугамын хөгжлийн зэрэг 2.6, хажуугийн хэрчигдэл 0.8, Хортоны хуулийн голын тоо, урт, ус хурах талбайн харьцаа 4.2, 3.05, 5.58 тус тус байх ба голын сав газарт 1 дүгээр эрэмбийн гол 1222, 2 дугаар эрэмбийн гол 320, 3 дугаар эрэмбийн гол 64, 4 дүгээр эрэмбийн гол 14, 5 дугаар эрэмбийн гол 4 байна. Хэнтэй нурууны салбар уулсаас эх авсан Галттай, Сарьдагийн Хийд, Хаг, Хонгор, Зүүн Баян, Тэрэлж, Хөлийн гол, Улиастай, Сэлбэ, Харбух зэрэг гол горхи цутгана. Байгалийн бүс, бүслүүрийн хувьд эхэн хэсэгтээ уулын тайгын ба ойт хээрийн бүс, Улаанбаатар хотоос доош хээрийн бүсээр дамжин урсдаг.



Зураг 1. Туул голын сав газрын газарзүйн байршил

Туул голын сав газарт Нийслэл хотын төвийн 7 дүүрэг, Төв аймгийн Зуунмод хот болон Архангай аймгийн 1, Булган аймгийн 5, Өвөрхангай аймгийн 1, Сэлэнгэ аймгийн 1, Төв аймгийн 11 нийт 20 сумын төв ордог . Газар нутгийн хувьд нийслэлийн Баянгол, Хан-Уул дүүрэг, Төв аймгийн Баянхангай, Лүн, Заамар, Зуунмод, Өндөрширээт, Булган аймгийн Баяннуур, Гурванбулаг, Дашинчилэн, Рашаант сумын нутаг дэвсгэр бүхэлдээ, бусад 5 дүүрэг, Архангай,

Булган, Өвөрхангай, Сэлэнгэ, Төв аймгийн 28 сумын нутаг дэвсгэр хэсэгчлэн хамрагддаг бөгөөд сав газарт 1.45 сая буюу Монгол улсын нийт хүн амын 46.3 хувь нь амьдарч байна.

Туул голын сав газар далайн түвшнээс харьцангуй өндөр өргөгдсөн, далай тэнгисээс алслагдсан, эргэн тойрон уулсаар хүрээлэгдсэн тул өдөр, шөнийн агаарын температурын ялгаа их, хүйтний улирал харьцангуй урт, харин зун богино, хур тунадасны ихэнх хувь дулааны улиралд орох бөгөөд ихэвчлэн агаарын тогтворгүйшлээс үүдэн конвекцийн гаралтай байдаг. Сав газрын жилийн дундаж хур тунадас Улаанбаатар хот орчимд 275.0 мм, Гурванбулагт 241.5 мм бөгөөд түүний 90 хувь нь дулааны улиралд буюу 6-9 дүгээр сард унадаг байна. Дулааны улирлын хур борооны нэлээд хэсэг нь хүчтэй аадар борооны хэлбэрээр ордог.

### Судалгааны материал, аргазүй

**Эх мэдээ:** Энэ судалгаанд Туул голын сав газарт хамаарах Монгол улсын Цаг Уур, Орчны Шинжилгээний Газар (ЦУОШГ)-ын цаг уурын ажиглалтын 21 станц, харуул (хүснэгт 1.)-ын хур тунадасны 1991-2020 оны {Дэлхийн цаг уурын байгууллагаас гаргасан зөвлөмжийн дагуу (WMO, 2017)} мэдээг цуглуулж жил бүрийн хамгийн их утгуудыг шүүж ашигласан. Мөн CMIP-6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6)-ийн орон зайн хувьд хамгийн өндөр нарийвчлалтай (0.5°x0.5°) CNRM-CM6-1-HR (France) загварын 1900-2100 оны өдөр бүрийн хур тунадасны өгөгдлийг Х.Ө 46-49.5°, З.У 102.5-108.5° орон зайн хүрээнд авч боловсруулж ашиглалаа.

Хүснэгт 1. Сав газарт хамаарах цаг уурын станц, харуулын мэдээлэл

№	Нэр	Төрөл	Байршил		Өндөржилт, д.т.дээш (м)
			Өргөрөг (°-аар)	Уртраг (°-аар)	
1.	Хашаат	Харуул	47.44732	103.1409	1292
2.	Рашаант	Харуул	47.37328	103.9484	1367
3.	Гурванбулаг	Станц	47.74443	103.4809	1095
4.	Дашинчилэн	Харуул	47.84831	104.0439	1061
5.	Баяннуур	Харуул	47.83044	104.4498	973
6.	Бүрэгхангай	Харуул	48.25189	103.868	1293
7.	Могод	Станц	48.28123	103.9829	1440
8.	Бүрд	Харуул	46.97932	103.7805	1495
9.	Орхонтуул	Станц	48.83544	104.8064	831
10.	Баян - Өнжүүл	Станц	47.0405	105.9544	1215
11.	Эрдэнэсант	Станц	47.33343	104.4928	1364
12.	Алтанбулаг	Станц	47.69477	106.4098	1219
13.	Зуунмод	Станц	47.71316	106.9519	1532
14.	Лүн	Станц	47.86671	105.251	1011
15.	Нөхөрлөл	Харуул	47.94739	105.8988	1239
16.	Заамар	Харуул	48.21694	104.7683	1161
17.	Угтаал	Станц	48.25811	105.4053	1161
18.	Буянт-Ухаа	Станц	47.84151	106.7647	1272
19.	Өлзийт	Харуул	47.79766	106.7032	1303
20.	Улаанбаатар	Станц	47.91861	106.8481	1301
21.	Тэрэлж	Станц	47.98861	107.4566	1533

**Хэрифилдийн статистик арга:** Хамгийн их хур тунадсыг тооцох Хэршфилдийн (Hershfield 1961) статистик аргыг ашигласан ба энэ арга нь Дэлхийн цаг уурын байгууллага (WMO) хүлээн зөвшөөрдөг бөгөөд хамгийн их хур тунадсыг (PMP) тооцоолоход өргөн ашигладаг. Уур амьсгалын хувьд нэгэн төрлийн олон тооны цаг уурын станц, харуултай бүс нутаг, сав газрын хэмжээнд үнэлэх ба хур тунадсыг санамсаргүй процесс гэж үзэн магадлалт утгаар тооцоолол хийгддэг. Хугацаан цувааны интервалын хувьд урт хугацааны буюу (30 жил ба түүнээс урт хугацаанд) ажиглагдсан хамгийн их хур тунадасны утгуудыг жил бүрээр түүвэрлэн авч статистик цувааг үүсгэнэ. Энэ аргыг ихэвчлэн жижгээс том усны сав газарт ашигладаг (Afzali-Gorouh et al. 2018). Хэршфилдийн статистик арга дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

$$PMP = X_n + (K_m * S_n) \tag{1}$$

$X_n$  - Цувааны арифметик дундаж  
 $K_m$  - Цуваанд ажиглагдсан утгуудаас хамаарах давтамжийн коэффициент  
 $S_n$  - Цувааны стандарт хазайлт

Тэгшитгэлийн бүрэлдэхүүн хэсгүүд дараах байдлаар тодорхойлогдоно.

$$X_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \tag{2}$$

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{3}$$

Цуваанд ажиглагдсан утгуудаас хамаарах давтамжийн коэффициент ( $K_m$ ) дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

$$K_m = \frac{R_{max} - R_{n-1}}{S_{n-1}} \tag{4}$$

$R_{max}$  – Цуваанд ажиглагдсан хамгийн их утга  
 $R_{n-1}$  - Цувааны хамгийн их утгыг хамааруулаагүй цувааны арифметик дундаж  
 $S_{n-1}$  – Цувааны хамгийн их утгыг хамааруулаагүй цувааны стандарт хазайлт

**Орон зайн тархалт:** Ажиглалтын мэдээнд тулгуурлан орон зайн тархалтыг гео орон зайн тархалтын интерполяцийн аргуудаас урвуу зайн жингийн (Inverse Distance Weighted -IDW) анализын аргыг ашиглан гаргасан бөгөөд энэ нь уул зүйн нөлөөг үл тооцон, зөвхөн хэмжилтийн цэгүүдийн аль ойр байгаа утгуудаар дундчилж ажиглалтгүй хэсгийн утгыг олдог онцлогтой (Lu and Wong 2008).

**Корреляцийн коэффициент:** CMIP-6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) - ийн орон зайн хувьд хамгийн өндөр нарийвчлалтай (0.5<sup>0</sup>х0.5<sup>0</sup>) CNRM-CM6-1-HR (France) загварын мэдээг Python програмчлалын хэлийг ашиглан боловсруулж 1991-2014 (Historical data) хугацааны мэдээг бодит ажиглалтын өгөгдөлтэй хэр зэрэг нийцэж буйг үнэлэхийн тулд шугаман хамаарлыг хүчийг илэрхийлэх корреляцийн коэффициентийг ( $r$ ) бодож үзсэн. Корреляцийн коэффициентыг дараах байдлаар тооцно.

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \tag{5}$$

Үүнд:  $x_i$  – үл хамаарах хувьсагч,  $\bar{x}$  – үл хамаарах хувьсагчийн дундаж,  $y_i$  – хамаарах хувьсагч,  $\bar{y}$  – хамаарах хувьсагчийн дундаж утга болно.  $r > 0$  нь эерэг (шууд) хамаарлыг,  $r < 0$  нь сөрөг (урвуу) хамаарлыг илтгэдэг.

**Нэш-Сатклифийн коэффициент:** Хур тунадас урсацын хоорондын хамаарлын ямар нэг загварчлалын үр дүн ба бодит ажиглагдсан утга хооронд хэр зэрэг таарцтай буйг илэрхийлэхэд энэ коэффициентыг түгээмэл ашигладаг. Бид сав газраа нэг систем гэж үзээд хамаарах 21 станцын жил бүрийн хамгийн их утгыг 30 жилээр түүж нэгэн төрлийн цуваа үүсгэн Хэршфилдийн статистик аргаар тооцоо хийсэн энэ нь үндсэндээ сав газрын аль ч хэсэгт, хамгийн их хэмжээтэй тунадас унаж болохыг тодорхойлох тухай юм. Нэш-Сатклифийн коэффициент дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_{obs} - P_{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (P_{obs} - \overline{P_{obs}})^2} \tag{6}$$

Үүнд:  $P_{obs}$  – ажиглагдсан хамгийн их тунадас,  $P_{sim}$  – Хэршфилдийн статистик аргаар тооцсон хамгийн их утга,  $\overline{P_{obs}}$  – ажиглалтын цувааны дундаж утга. Энэ шалгуурын утга 1 ба хасах хязгааргүй утгын хооронд хэлбэлзэх ба шалгуурын утга 1 рүү дөхөх тусам таарц сайн болохыг илтгэнэ.

**Магадлалт их тунадас тооцох:** Хур тунадасны хэлбэл ихтэй манай орны хувьд хур борооны хамгийн их утгын дахин давтагдах магадлалт утгыг тооцох нь чухал болно. Үерийн ба их борооны экстремал утгын статистик дүн шинжилгээний хийдэг олон арга байдгаас дэлхий

нийтээр түгээмэл хэрэглэдэг, шалгарсан арга болох И.Грингортений (Gringorten, 1963) аргыг ашиглан тооцоо (Отгонсүрэн нар 2022). Тооцооны үндсэн тэгшитгэл нь дараах байдалтай байна.

$$F(X) = \frac{r-0.44}{N+0.12} \tag{7}$$

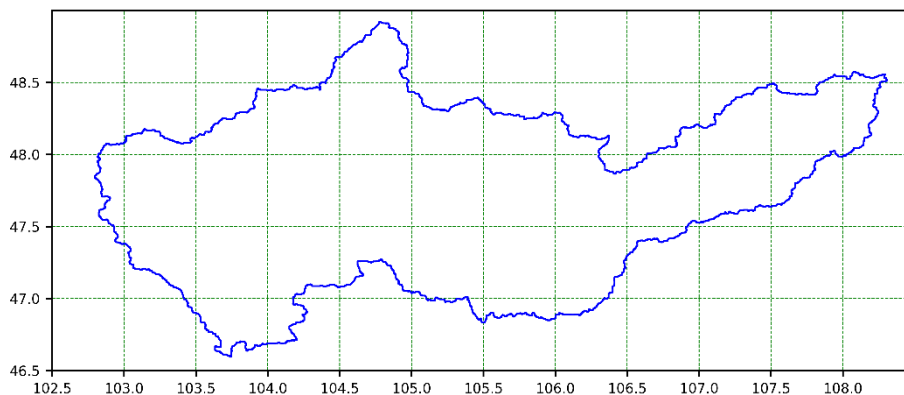
$F(X)$  – Хангамжийн хувь буюу магадлалт их тунадас;  
 $r$  – Их утгуудын эрэмбэ;  
 $N$  – Цувааны тоо.

Энэ тооцооны үр дүнгээр 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000 жилд тохиох хоногийн их тунадасны хэмжээг үнэлэх боломж бий болдог.

**CMIP-6, CNRM-CM6-1-HR загвар:** Дэлхийн уур амьсгалын судалгааны хөтөлбөр (WRCP-World Climate Research programme)-аас хөгжүүлсэн, НҮБ-ын уур амьсгалын өөрчлөлтийн суурь конвенцын Засгийн газар хоорондын олон улсын мэргэжилтнүүдийн хорооноос (IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change) боловсруулан гаргасан 6-р үнэлгээнд (The Sixth Assessment Report-AR6) үндсэн өгөгдлөөр ашигласан CMIP-6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) -ийн орон зайн хувьд хамгийн өндөр нарийвчлалтай (0.5<sup>0</sup>х0.5<sup>0</sup>) CNRM-CM6-1-HR (France) загварын мэдээг авч ашиглалаа. CMIP-6 өгөгдлийн тухай мэдээллийг хүснэгт 2-т үзүүлэв.

Хүснэгт 2. CMIP-6 өгөгдлийн тухай мэдээлэл

<b>Data type</b>	Gridded
<b>Projection</b>	Regular latitude-longitude grid, ocean grid
<b>Horizontal coverage</b>	Global
<b>Horizontal resolution</b>	Varies between models
<b>Vertical coverage</b>	Single levels, pressure levels (1 - 1000 hPa)
<b>Temporal coverage</b>	1850-2300 (shorter for some experiments)
<b>Temporal resolution</b>	Monthly, daily, fixed (no temporal resolution)
<b>File format</b>	NetCDF4
<b>Conventions</b>	Climate and Forecast (CF) Metadata Convention v1.6
<b>Versions</b>	Latest version of the data is provided



Зураг 2. CNRM-CM6-1-HR (France) загварын 0.5 x 0.5 грид нарийвчлал, сав газраар

“CNRM-CM6-1-HR (France)” загварын сав газарт буух 0.5 x 0.5 грид нарийвчлалыг үзүүлэв (Зураг 2). “CNRM-CM6-1-HR” загвар нь бусад энэ төрлийн загвараас хэвтээ орон зайн нарийвчлал нь 0.5 грид байгаа нь давуу юм.



```

#!/usr/bin/python3
import cdsapi
import netCDF4
from netCDF4 import num2date
import numpy as np
import os
import pandas as pd
f = netCDF4.Dataset(r'C:\Users\DELL\Documents\GZ_spring\data\hist_1900-2014\pr_day_CNRM-CM6-1-HR_historical_r1i1p1f2_gr_20050501-20140930_v20191021.nc', 'r')
t2m = f.variables['pr']
time_dim, lat_dim, lon_dim = t2m.get_dims()
time_var = f.variables[time_dim.name]
times = num2date(time_var[:], time_var.units)
latitudes = f.variables[lat_dim.name][:]
longitudes = f.variables[lon_dim.name][:]
output_dir = './'
# ===== METHOD 1 =====
# Extract each time as a 2D pandas DataFrame and write it to CSV
# =====
os.makedirs(output_dir, exist_ok=True)
for i, t in enumerate(times):
    filename = os.path.join(output_dir, f'{t.isoformat()}.csv')
    print(f'Writing time {t} to {filename}')
    df = pd.DataFrame(t2m[i, :, :], index=latitudes, columns=longitudes)
    df.to_csv(filename)
print('Done')
# ===== METHOD 2 =====
# Write data as a table with 4 columns: time, latitude, longitude, value
# =====
filename = os.path.join(output_dir, 'table_hist2005.csv')
print(f'Writing data in tabular form to {filename} (this may take some time)...')
times_grid, latitudes_grid, longitudes_grid = [
    x.flatten() for x in np.meshgrid(times, latitudes, longitudes, indexing='ij')]
df = pd.DataFrame({
    'time': [t.isoformat() for t in times_grid],
    'latitude': latitudes_grid,
    'longitude': longitudes_grid,
    't2m': t2m[:].flatten()})
df.to_csv(filename, index=False)
print('Done')

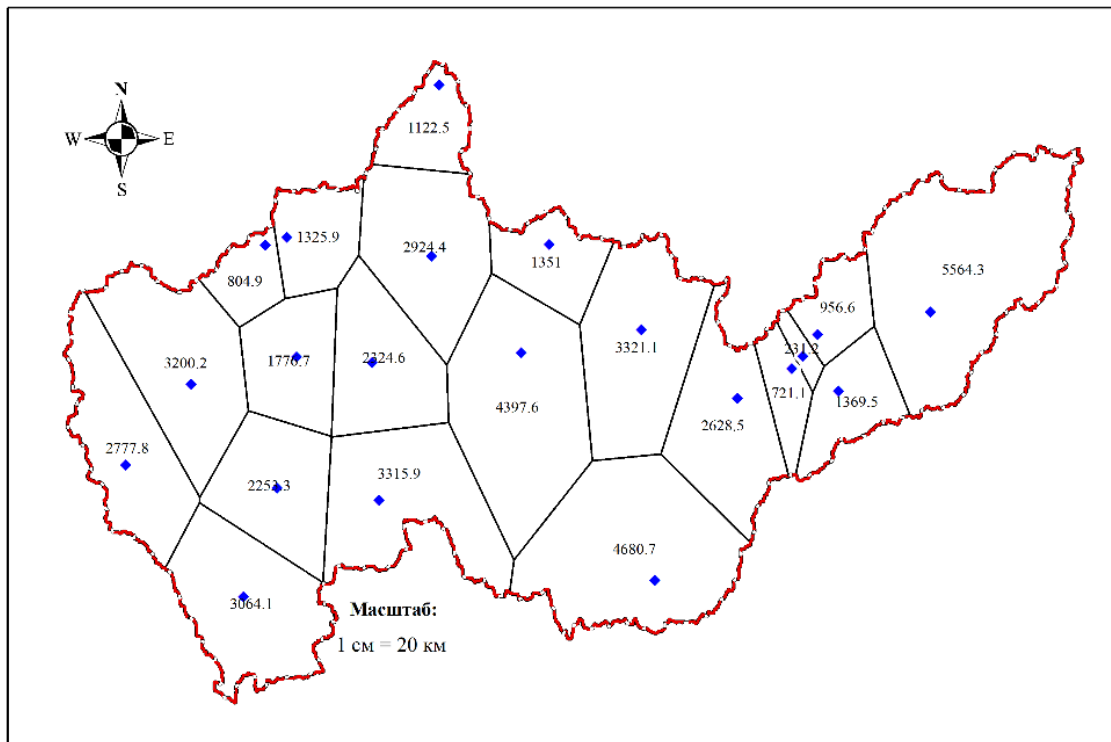
```

Зураг 3. NetCDF файлыг CSV өргөтгөл рүү хөрвүүлж бичих Python код

Судалгаанд “Python програмчлалын хэлийг ашиглаж зарим боловсруулалтыг хийв. Жишээ болгож арга зүйн хэсэгт “NetCDF” файлыг CSV өргөтгөл рүү хөрвүүлж бичих 2 аргыг зураг 3-аар орууллаа. Бусад үр дүн болох өнгөрсөн хугацааны 1991-2014 он, ирээдүйн 2023-2099 онуудын тухайн жилд сав газарт орох хоногийн хамгийн их тунадсыг “Python” програмчлалын хэлээр боловсруулалт хийв.

**Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг**

**Ажиглалт, хэмжилтийн сүлжээний нягтшил:** Дэлхийн цаг уурын байгууллагаас (WMO 2008) физик газар зүйн мужаас хамааруулан нэг хур тунадас хэмжих цэг хэдэн ам км талбайд байвал зохимжтойг тогтоож өгсөн байдаг. Тухайлбал далай, түүний эрэгч орчимд 900 км<sup>2</sup> талбайд 1, тал хээрийн бүсэд 575 км<sup>2</sup> талбайд 1, уулархаг районд 250 км<sup>2</sup> талбайд 1, жижиг арлуудад 25 км<sup>2</sup> талбайд 1, хот суурин газарт 10-20 км<sup>2</sup> талбайд 1. Туул голын сав газрын тухайд 2260 ам км талбайд 1 тунадас хэмжигч байна өөрөөр хэлбэл сүлжээний нягтшил стандарт утгаас 10 орчим дахин бага буюу одоо байгаа станц, харуулын тоог 10 дахин нэмэгдүүлэх шаардлагатай байгааг харуулж байна (Зураг 4.).

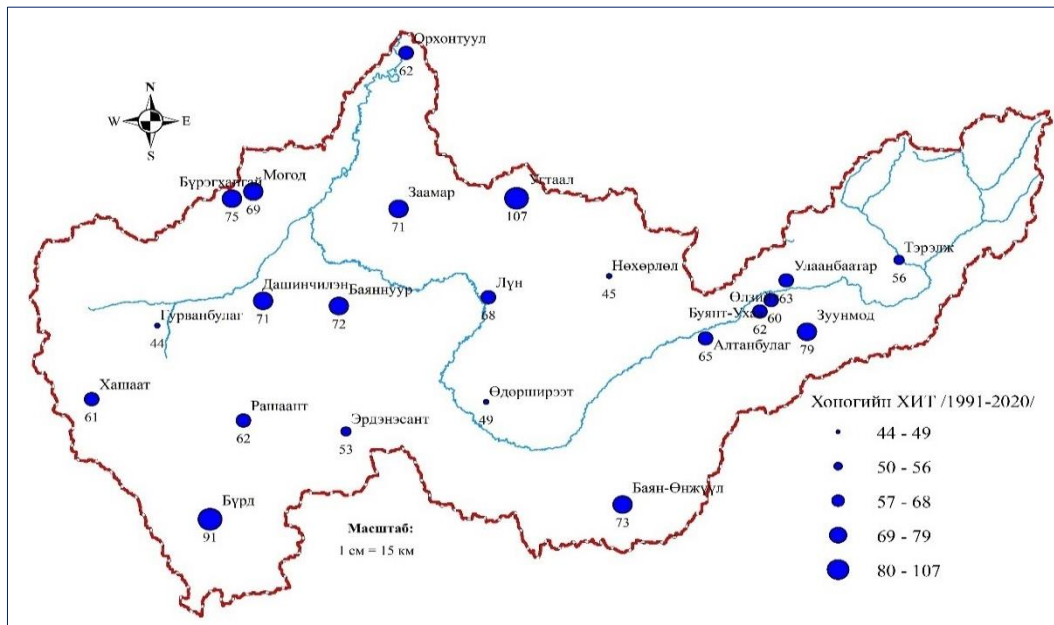


Зураг 4. Тунадас хэмжих цэгүүдийг Тиессений полигоны аргаар хуваасан байдал

*\* Тиессений полигоны арга нь сав газрын дундаж хур тунадас тооцоход өргөн ашиглагддаг бөгөөд ажиглалтын цэгүүд дэд хэсгийн төвд байхаар хуваах гол зарчимтай (полигон бүрийн тоон утгын нэгж-км<sup>2</sup>).*

Дээрх үр дүнгээс харахад голын сав газрын урсац бүрдэх хэсэгт (үер үүсэх уулархаг районд) тунадас хэмжих тоог 22 (5564/250) дахин нэмэгдүүлэх шаардлага байна. Сүлжээний нягтшил өндөр болсноор үерийн прогнозын үр дүн сайжирч эрсдэлээс урьдчилан сэргийлэх нөхцөл бүрдэх юм.

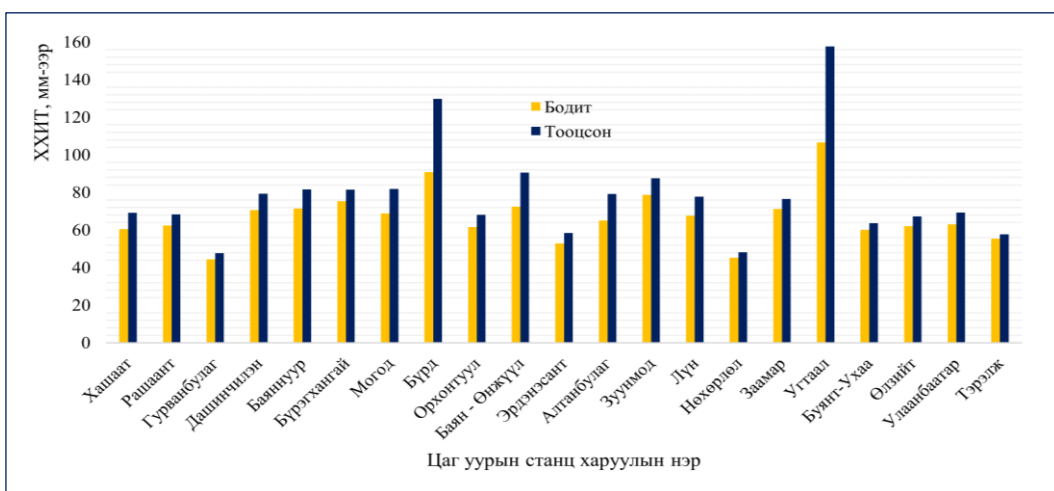
**Хоногийн хамгийн их тунадасны орон зайн тархалт:** Сав газрын хэмжээнд станц, харуул бүрт 1991-2020 оны хугацаанд ажиглагдсан хамгийн их утгыг түүж зураглав (Зураг 5.).



Зураг 5. Хоногийн хамгийн их тунадасны орон зайн тархалт

Сүүлийн 30 жилийн хугацаанд хамгийн их тунадас 2012 оны 07 сарын 25 нд Төв аймгийн Угтаал станцад 107 мм бүртгэгдсэн бол хамгийн бага утга 2006 оны 06 сарын 30 нд Нөхөрлөл харуулд 4.4 мм орсон үр дүн харагдаж байна. Орон зайн тархалтаас харахад сав газрын өндөрлөг хэсэг буюу Хэнтийн уулсын ноён оргил болох Асралт Хайрхан (2799.3м), Алтан Өлгий (2656.0м), Хийдийн сарьдаг (2666.0м), Хэрхлүүрийн сарьдаг (2667.0м), Ухаа сарьдаг (2560.0м), Гэл уул (2551.0м) болон Сэрт уул (1272.0м), Баян хараат овоо (1151.0м), Зараа уул (1210.0м), Ач уул (1275.0м), Байшинт уул (1120.0м), Хэлтгий хадны уул (1190.0м) орчимд хамгийн их тунадас ахиу ордог нь ажиглагдаж байна. Урсац дамжин өнгөрөх буюу сав газрын дунд хэсгээр их тунадас бусад хэсгээс арай бага унадаг байна.

**Хэршфилдийн статистик аргын үр дүн:** Станц, харуул тус бүрээр 30 жилийн хугацаан цуваа үүсгэн Хэршфилдийн статистик аргаар тооцон гаргалаа. Үр дүнгээс их утгуудыг шүүж бодит хэмжилтийн утгатай харьцуулан үзүүлээ (Зураг 6).

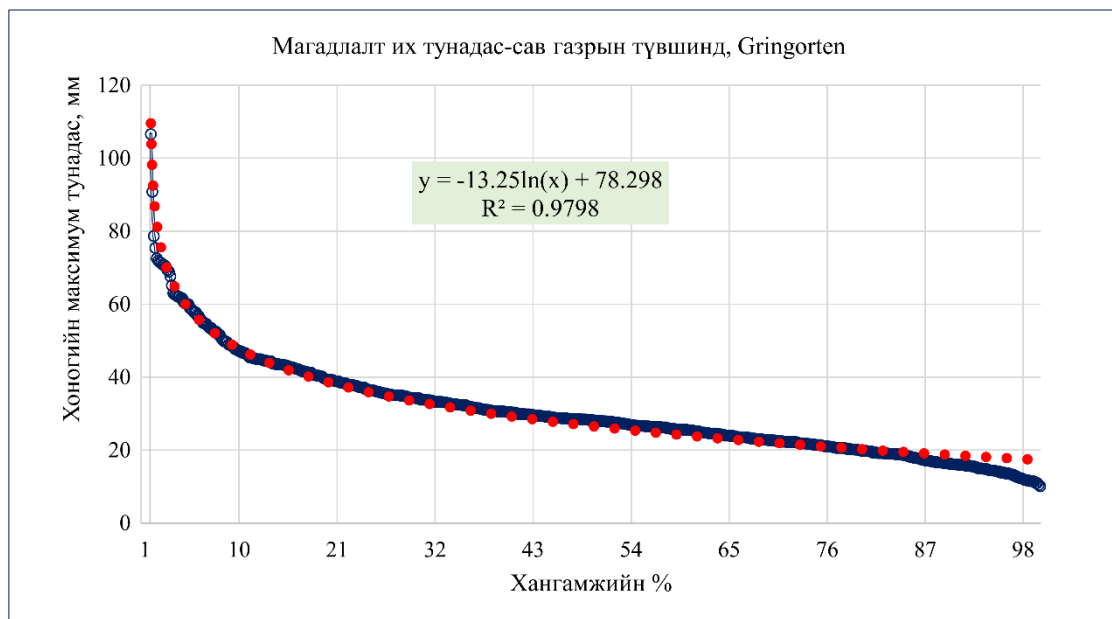


Зураг 6. Хэршфилдийн статистик аргын үр дүн

Сүүлийн 30 жилийн 21 станц харуулын бодит ажиглалтын болон Хэршфилдийн статистик аргаар тооцсон хамгийн их тунадасны орон зайн дундаж зөрүү 11 мм, хамгийн их зөрүү 51 мм, хамгийн

бага 2 мм, Нэш-Сатклифийн коэффициентоор орон зайн хувд үнэлэхэд 0.9 буюу маш сайн гарч байна. Түүхэн хугацаанд 1966 онд голын эх орчимд 103.5 мм тунадас бүртгэгдэж байсан бол 1991-2020 хугацаанд Угтаал станцад (голоос алс, сав газрын дунд хэсгийн хойд хагалбар орчимд) 107 мм тунадас унаж байсан байна. Эндээс сав газрын аль ч хэсэгт их тунадас орж болох нь ажиглагдах бөгөөд тодорхой зүй тогтолтой гэж шууд хэлэх боломжгүй туйлын санамсаргүй үзэгдэл юм.

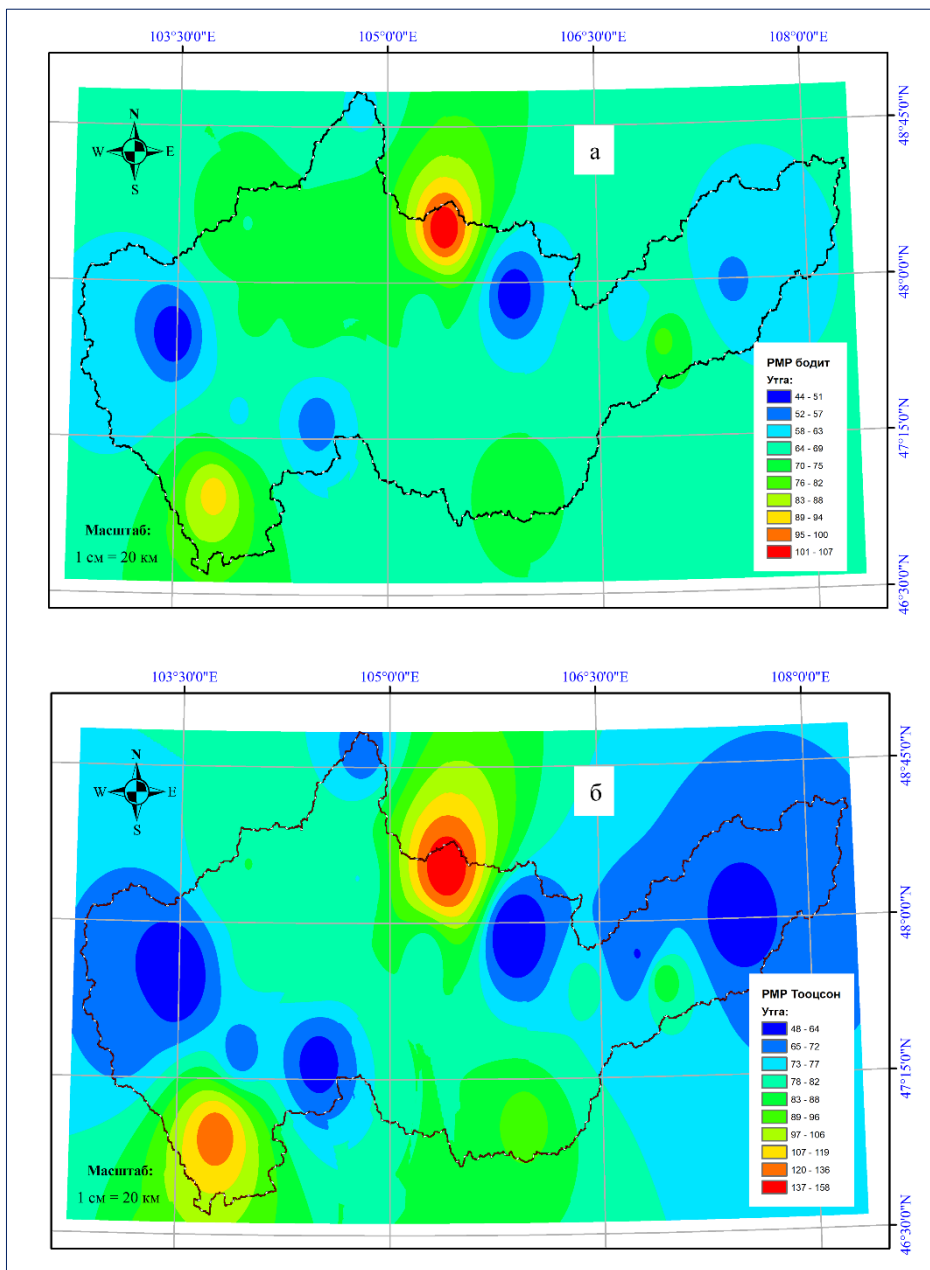
**Магадлалт их тунадас тооцох:** Үерийн ба их борооны экстремал утгын статистик дүн шинжилгээний хийдэг олон арга байдгаас дэлхий нийтээр түгээмэл хэрэглэдэг, шалгарсан арга болох И.Грингортений аргаар сав газрын хэмжээнд бүх станц, харуулд 1991-2020 оны хооронд ажиглагдсан хамгийн их утгыг түүж дүн шинжилгээ хийв (Зураг 7).



Зураг 7. Хоногт орох максимум тунадасны магадлалын муруй

Ханогийн хамгийн их тунадасны хангамжийн муруйд логарифм функцийн график хамгийн сайн дөхөлттэй байна. Тэгшитгэлээс тооцож үзвэл 1000 жилд нэг удаа тохиох максимум тунадасны хамгийн их хэмжээ 110 мм, 500 жилд нэг удаа тохиох 99 мм, 100 жилд нэг удаа тохиох 78 мм, 20 жилд нэг удаа тохиох 57 мм, 1-5 жилд нэг удаа тохиох хэмжээ 17-38 мм тус тус байна (Зураг 7). Энэ статистик цуваанд бүх станцын 30 жилийн их утгыг авсан нь сав газрын аль ч хэсэгт унах магадлалтай утгыг тооцож буй хэрэг юм. Өөрөөр хэлбэл жижиг гол, горхи, хуурай сайранд хамгийн их урсацын тооцоо хийхэд энд гаргасан үр дүнг ашиглаж болно гэсэн санаа юм.

**Орон зайн тархалт:** Ажиглалтын эх мэдээнээс түүвэрлэсэн хамгийн их утга болон станц, харуул бүрийн сүүлийн 30 жилийн өгөгдлөөс Хэршфилдийн статистик аргаар тооцон гаргасан үр дүнг орон зайн интерполяцийн урвуу зайн жингийн аргыг ашиглан гаргав (Зураг 8).



Зураг 8. Сав газрын хамгийн их тунадас орон зайн тархалт

*а-хэмжилтийн үр дүнгээс гаргасан орон зайн тархалт*

*б-Хэрифилийн статистик аргаар гаргасан орон зайн тархалт*

Газарзүй мэдээллийн системийн Arcstar 10.8 программыг ашиглан урвуу зайн интерполяцийн аргаар орон зайн тархалтын зураглахад (Зураг 8.) сав газрын урсац бүрэлдэх өндөр уулын бүсэд хамгийн их тунадас унах зүй тогтол ажиглагдаж байна. Энэ нь байгаль дээрх хууль зүйг бататгаж буй хэрэг юм.

**CMIP-6, CNRM-CM6-1-HR загварын үр дүн зургаар:** Загварын түүхэн (historical data) 2014 он хүртэл байгаа тул доорх хүснэгтэд 1991 оноос 2014 оны хооронд хоногт орсон хамгийн их тунадсыг он, сар, өдрөөр үзүүлэв. Заамар станцад 1999, 2000, 2001 онуудад дараалан 3 жил сав газрын хоногт орсон хамгийн их тунадас ажиглагджээ. Харин Угтаал станцад 1991, 1997, 2012,

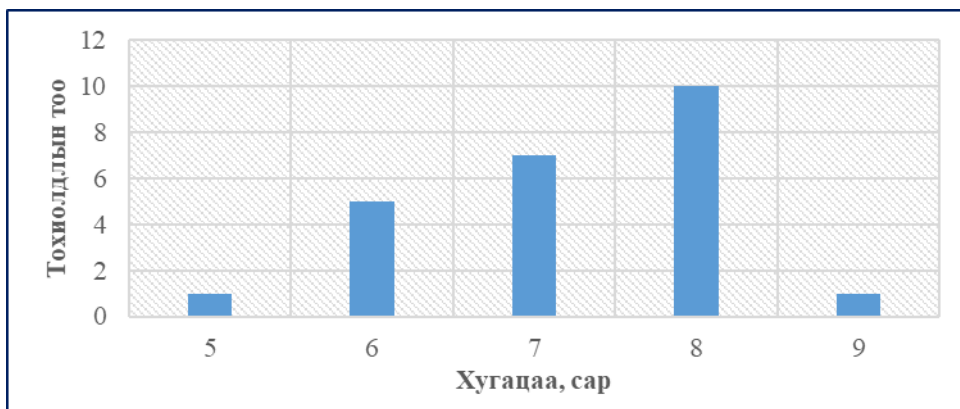
2013 онуудад цувааны нийт хугацааны 4 жилд тус тус хоногт орсон хамгийн их тунадас ажиглагдсан байна.

Хүснэгт 3. 1991-2014 оны хоорондох станц дээрх хоногийн их тунадас

Ажиглагдсан он сар	Хашаат	Рашаанг	Гуравбулаг	Дөвшингэн	Баянуур	Бурхангай	Могод	Бурд	Орхонгуул	Баян - Өнжүүл	Эрдэсжэнг	Алтанбулаг	Зуунмод	Лүн	Нохорлол	Замар	Угтаал	Буянг-Ухаа	Өлзийт	Улаанбаатар	Гэрэлж	
1991	7/27	9.6	5.6	9.6	9.6	0.0	16.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	10.7	0.0	0.0	0.0	47.1	23.3	6.3	18.6	26.6	
1992	9/2	23.1	35.2	13.0	9.3	0.0	8.8	0.0	48.5	0.0	5.6	0.0	8.6	0.0	0.0	35.0	23.4	4.3	0.0	7.6	17.9	
1993	7/22	0.0	0.0	6.2	0.0	0.0	1.2	0.0	0.6	0.0	1.2	0.0	78.7	8.9	0.0	10.0	32.4	43.1	0.0	47.6	51.7	
1994	8/4	0.0	0.0	1.6	2.4	0.3	0.8	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	31.1	2.1	0.0	10.4	6.6	36.4	0.4	40.5	55.5	
1995	8/10	11.2	0.0	6.2	0.0	13.6	75.4	1.5	0.0	0.0	5.7	14.1	0.0	2.9	15.1	0.0	5.4	16.1	3.3	30.6	45.8	
1996	6/14	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	1.6	0.0	40.2	0.7	0.0	0.0	0.1	2.2	10.3	1.7	31.1	
1997	6/28	0.0	0.0	2.8	0.4	0.3	3.0	5.6	0.0	0.0	1.9	0.1	7.1	19.1	22.4	0.0	0.7	53.5	19.1	15.7	0.0	8.5
1998	7/31	0.0	0.0	25.2	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	14.6	15.4	2.1	8.0	60.2	0.0	15.1	5.0	8.4	16.6	20.3	
1999	8/5	12.3	2.7	8.5	0.0	0.0	21.4	8.3	0.0	17.7	8.6	15.8	14.8	17.4	10.9	0.0	70.8	12.5	8.2	11.9	12.8	15.2
2000	8/21	0.0	13.9	10.8	32.6	26.8	42.4	10.7	0.8	32.3	0.7	11.6	1.4	2.5	9.8	0.0	71.3	21.6	1.0	0.0	0.1	0.1
2001	5/22	1.8	16.4	23.2	24.4	28.4	23.3	2.2	0.0	1.6	5.0	24.4	31.6	24.2	23.8	0.0	69.3	32.3	28.0	26.9	28.5	38.8
2002	7/9	0.0	0.0	9.2	19.2	9.4	12.0	9.1	3.3	36.0	0.0	4.5	2.5	1.9	6.5	7.3	0.0	0.0	2.4	1.1	1.8	5.1
2003	8/15	0.0	4.0	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0	5.9	0.0	72.5	6.2	35.6	25.1	1.0	15.6	0.0	1.4	21.4	41.5	13.5	27.6
2004	6/29	11.5	24.5	13.6	16.7	24.3	56.7	24.4	22.2	23.1	4.9	20.3	10.7	2.9	41.8	24.8	21.9	16.2	0.7	2.2	0.6	4.4
2005	8/23	0.0	1.8	0.0	1.0	2.5	0.0	0.1	0.6	0.6	5.0	0.0	18.5	27.0	11.7	4.1	0.0	10.9	13.0	11.7	13.3	48.9
2006	6/30	1.8	0.0	7.2	4.9	1.9	70.2	5.2	0.7	0.0	0.3	2.5	0.4	0.0	0.1	4.4	0.0	0.0	0.4	0.8	0.8	0.0
2007	8/23	11.4	11.0	24.8	3.8	7.2	39.6	28.6	0.0	54.8	13.4	20.0	26.6	33.2	11.2	7.4	18.3	21.7	21.4	13.4	33.2	28.6
2008	6/20	3.7	3.9	3.7	7.8	16.6	19.1	0.5	0.1	43.6	25.7	13.0	30.4	7.5	67.6	8.8	27.5	40.5	3.4	4.7	3.7	2.2
2009	8/8	15.2	13.0	5.6	21.2	26.5	10.7	18.6	25.2	61.6	11.6	16.7	16.2	12.7	15.8	27.6	14.5	38.3	16.5	12.3	13.8	12.8
2010	8/13	9.7	6.9	19.0	30.5	19.5	11.0	7.5	6.9	19.9	7.6	14.7	38.3	34.9	28.1	32.3	15.5	50.7	41.2	56.0	34.3	16.1
2011	8/23	1.3	13.2	11.1	0.0	7.8	9.3	0.0	90.8	2.1	0.0	8.4	0.0	0.0	8.3	0.1	3.0	8.6	0.0	0.0	0.0	0.5
2012	7/25	0.7	4.8	0.0	0.0	2.3	1.1	3.7	12.5	4.9	12.7	2.1	2.0	0.0	16.1	6.9	23.3	106.6	0.0	0.8	5.6	0.0
2013	7/30	2.8	1.0	0.4	19.1	0.1	4.2	11.2	9.9	0.0	0.5	7.2	0.0	0.7	1.0	2.2	41.2	42.0	0.9	0.9	6.7	0.8
2014	7/7	15.4	10.2	8.6	12.9	15.1	6.2	8.4	11.8	7.6	6.3	22.7	27.5	23.7	22.8	23.4	15.7	0.0	36.6	31.6	40.3	33.8

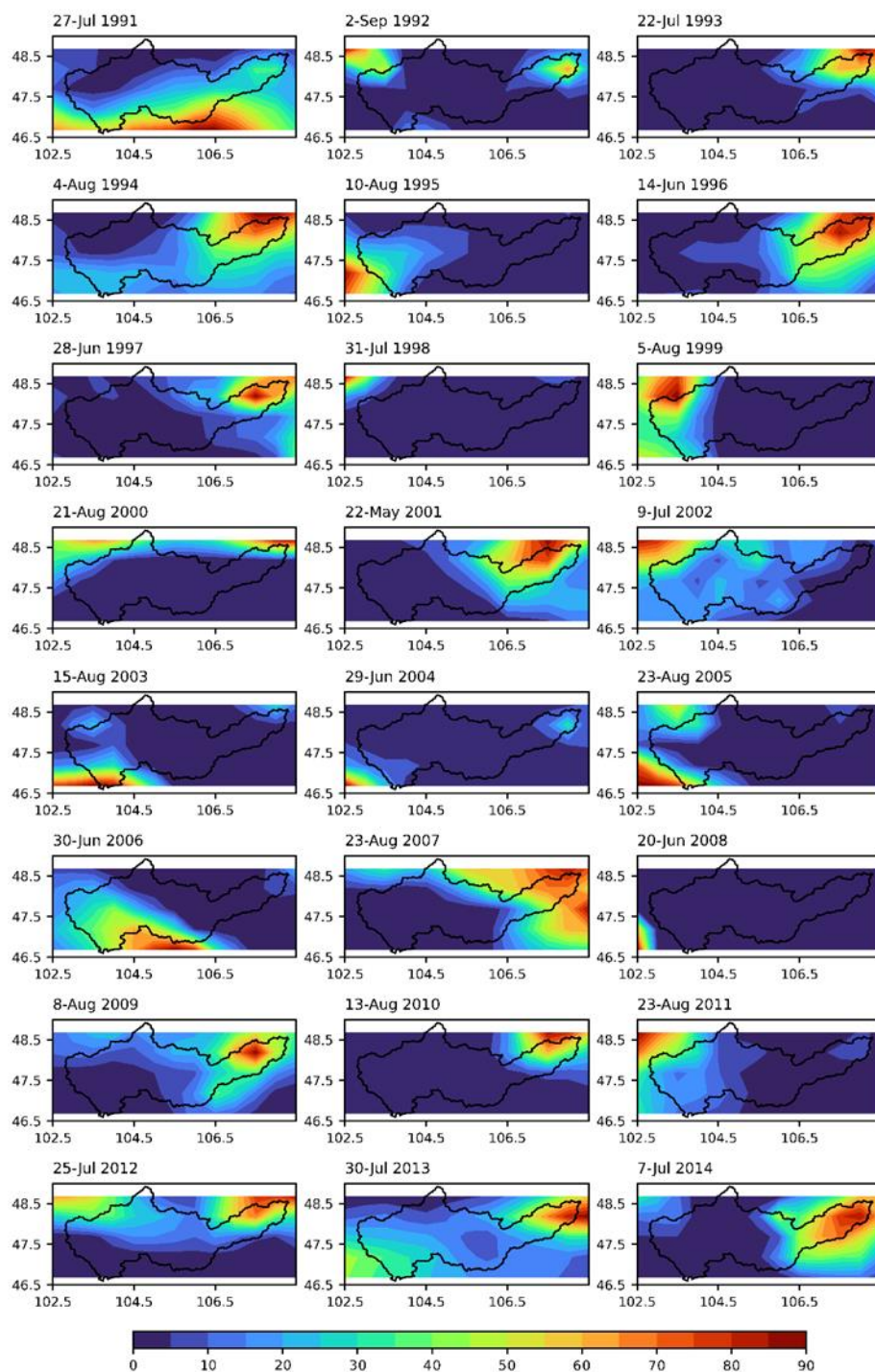
Бид 1-рт сав газрын хэмжээнд байгаа 21 станц, харуулаас тухайн жилд ажиглагдсан хамгийн их утгыг сонгон авч 2-рт эдгээр их утга ажиглагдсан огноогоор CNRM-СМ6-1-НR загварын үр дүнгээс шүүж бодит ба загварын утга хоорондын хамаарлыг судлав. Эндээс корреляцийн коэффициент  $r=0.63$ , буюу дунд зэргийн хүчтэй эерэг хамааралтай байна. Экстремал утгын хувьд загварын таарц сайн байна гэж үнэлж болно.

Зураг 9-ийн графикаас харахад 1991-2014 оны хооронд нийт 24 жилийн мэдээнд тухайн жилд хоногт орсон хамгийн их тунадас 5-р сард 1 тохиолдол, 6-р сард 5 тохиолдол, 7-р сард 7 тохиолдол, 8-р сард 10 тохиолдол 9-р сард 1 тохиолдол тус тус ажиглагдсан байна. Үүнээс үзэхэд сав газрын хэмжээнд хоногт орсон хамгийн их тунадас хугацааны хувьд 8-р сард ажиглагддаг байна.



Зураг 9. Сав газрын хамгийн их тунадас орсон хугацаа, сараар

Мөн хугацааны SMIP6 өгөгдлөөс хоногт орсон хамгийн их тунадсыг сав газрын хэмжээнд орон зайгаар зураглав.

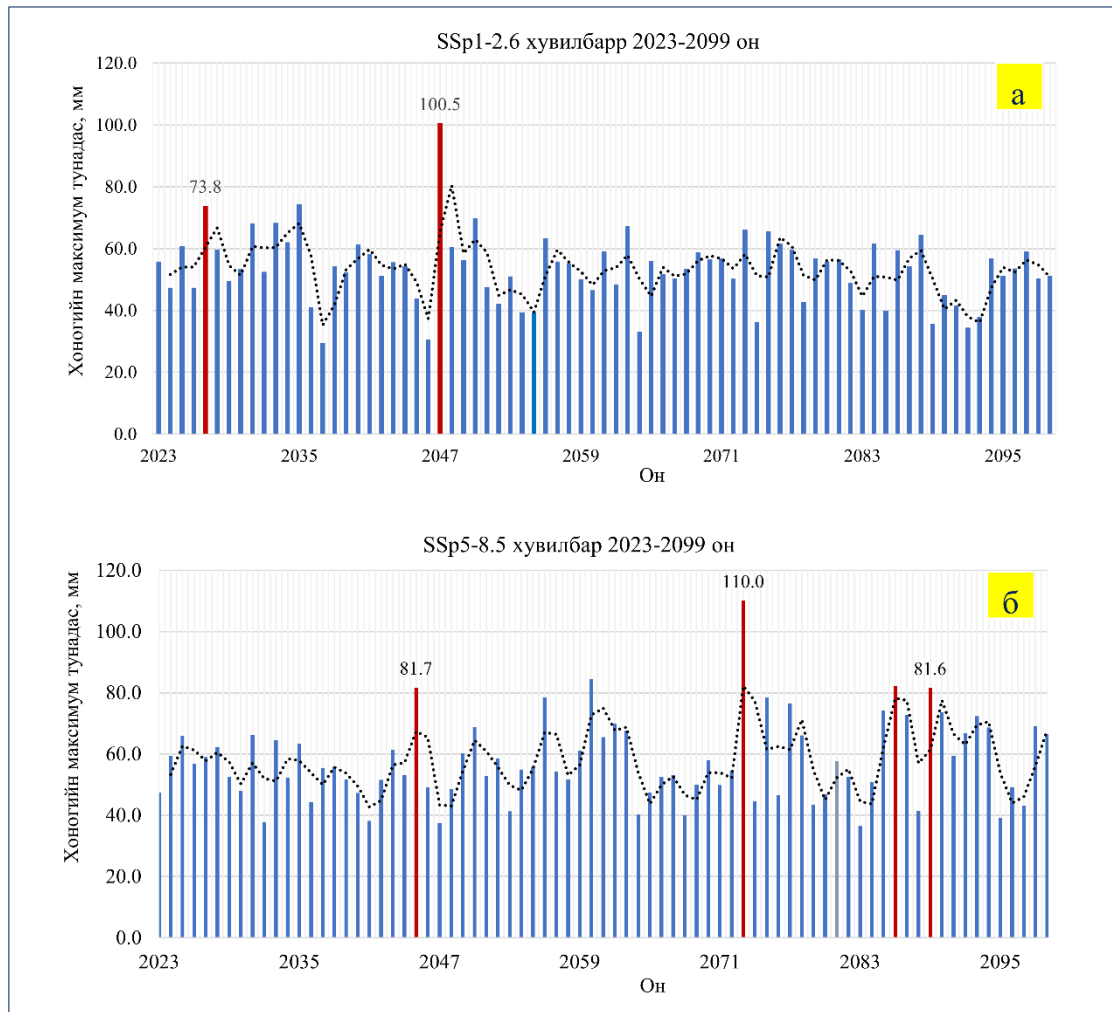


Зураг 10. SMIP-6, CNRM-CM6-1-HR загварын сав газрын хэмжээнд 1991-2014 оны хоорондох хоногт орсон хамгийн их хур тунадас

Дээрх зурагт 1991-2014 оны хоорондох сав газарт орсон хоногийн хамгийн их тунадас ажиглагдсан өдрийн SMIP-6, CNRM-CM6-1-HR загварын үр дүнгээр зураглаж, үр дүнгээр хоногт орсон хамгийн их тунадсыг 0.5 x 0.5 грид нарийвчлалтай цэгэн өгөгдлийн орон зайгаар харуулав.

1992, 1993, 1994, 1996, 2000, 2001, 2007, 2009, 2010, 2012, 2013, 2014 онуудад хоногт орсон хамгийн их тунадас орон зайн хувьд сав газрын эх дээр тохирч байна. 1991, 1995, 2005, 2006 онуудад сав газрын өмнөд хэсгээр, харин 1998, 2002, 2011 жилүүдэд сав газрын адаг хэсгээр тус тус хоногт орсон хамгийн их хур тунадас тохирч байна.

**CMIP-6, CNRM-CM6-1-HR загварын үр дүн:** Хүлэмжийн хийн ялгарлын түвшингээр ялгаатай ирээдүйн уур амьсгалын өөрчлөлтийн SSP1-2.6, SSP5-8.5 хувилбараар 2023-2099 хугацаанд тооцсон жил бүрийн хоногийн хамгийн их тунадасны үр дүнг Зураг 11.-д үзүүлээ.

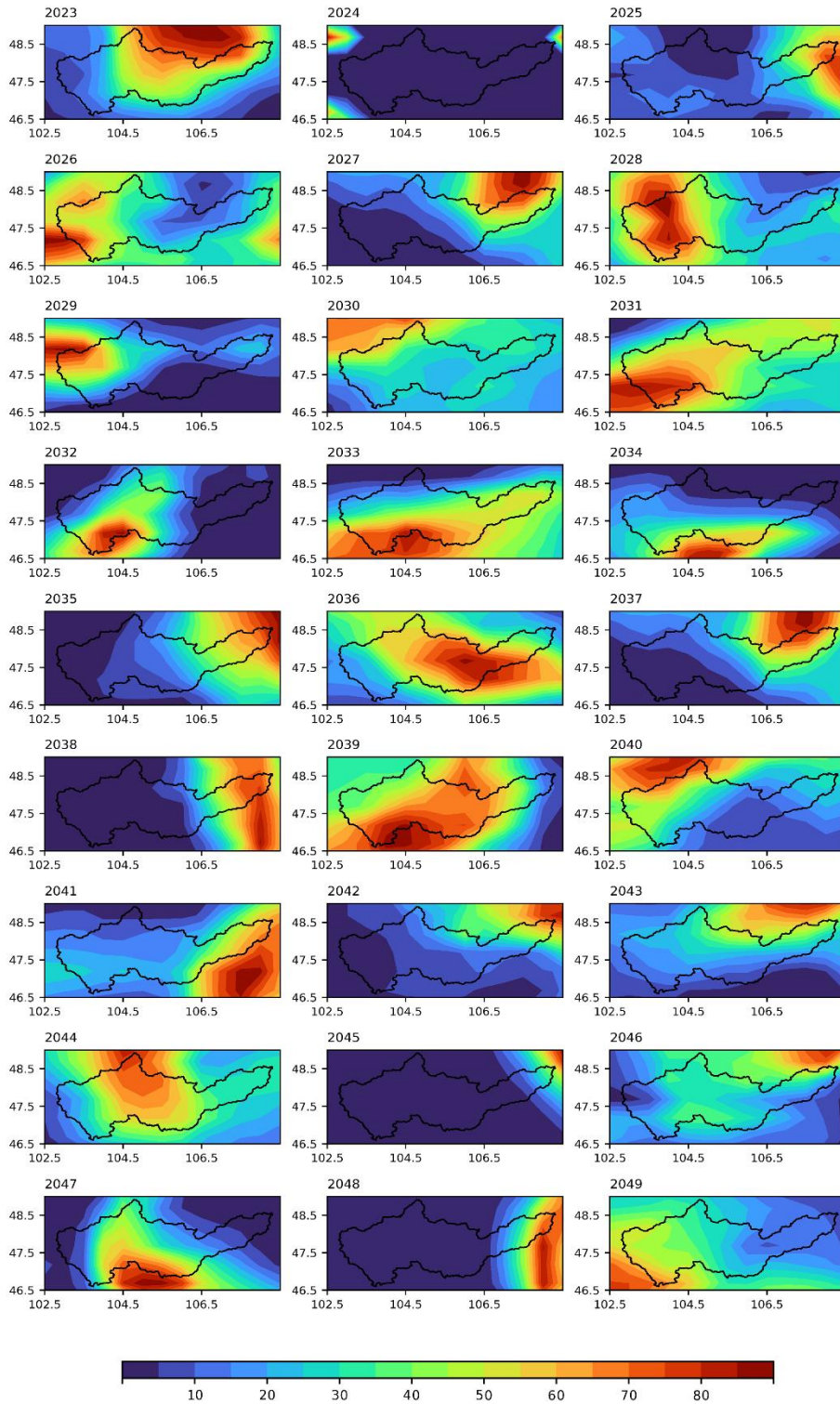


Зураг 11. CMIP-6, CNRM-CM6-1-HR (France) загварын ирээдүйн үр дүн

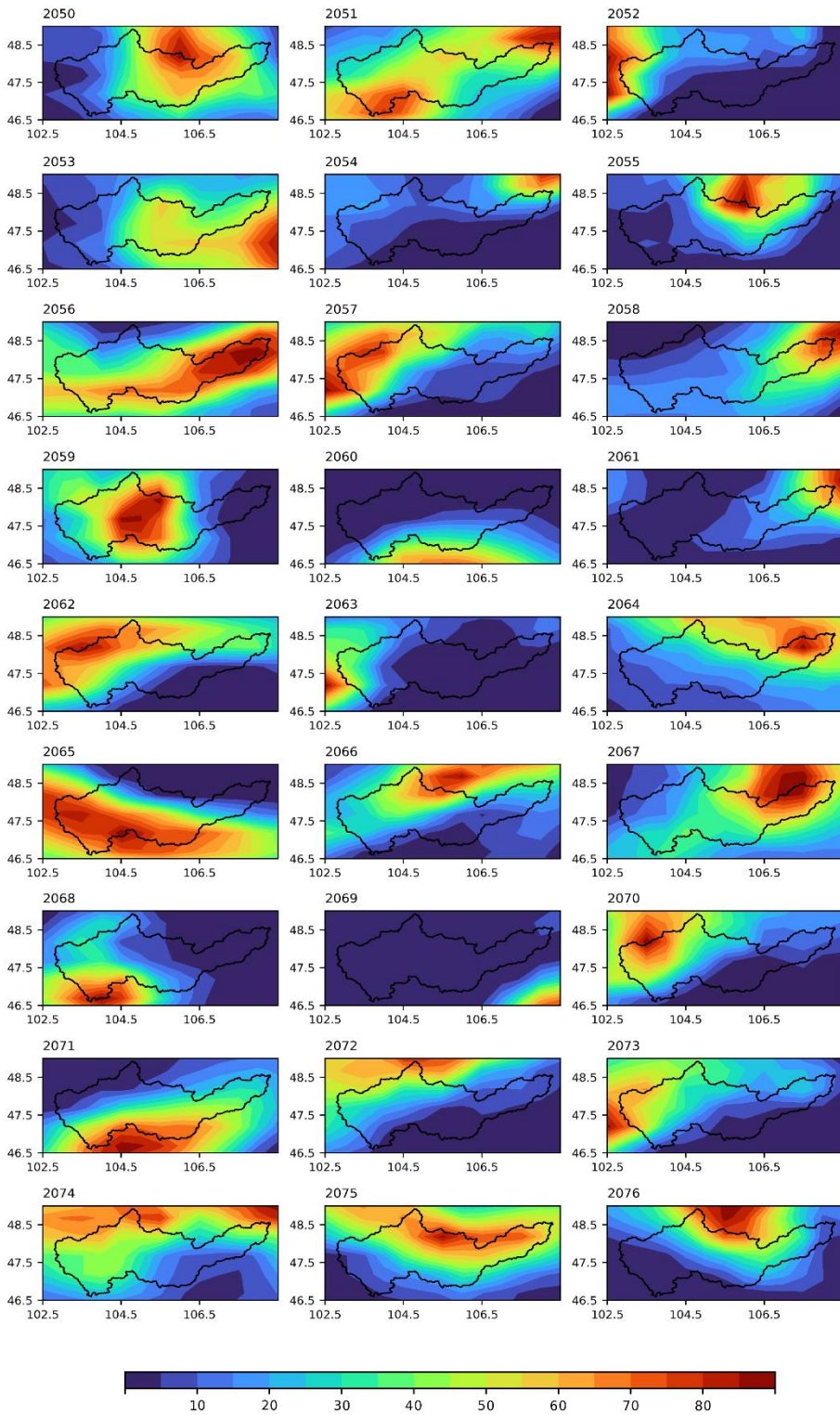
*а-SSP1-2.6 хувилбараар 2023-2099 хугацаанд тооцсон жил бүрийн хоногийн хамгийн их тунадас  
 б-SSP5-8.5 хувилбараар 2023-2099 хугацаанд тооцсон жил бүрийн хоногийн хамгийн их тунадас*

Сав газрын хэмжээнд CNRM-CM6-1-HR загварын 2 хувилбараар 2023-2099 хугацаанд тооцсон жил бүрийн хоногийн хамгийн их тунадасны ирээдүйн үр дүнгээс SSP1-2.6 хувилбараар 2047 онд хамгийн их 100.5 мм, SSP5-8.5 хувилбараар 2073 онд хамгийн их 110 мм тунадас унахаар байна. Эхний хувилбараар хоногийн их тунадас ерөнхийдөө буурах, 2-р хувилбараар өсөх хандлага ажиглагдаж байна. Аль ч хувилбарын тухайд нэг удаагийн их бороо хамгийн багадаа 30+ мм, 76 жилийн дунджаар 55 мм орчим унана гэсэн үр дүнг харуулж байна.

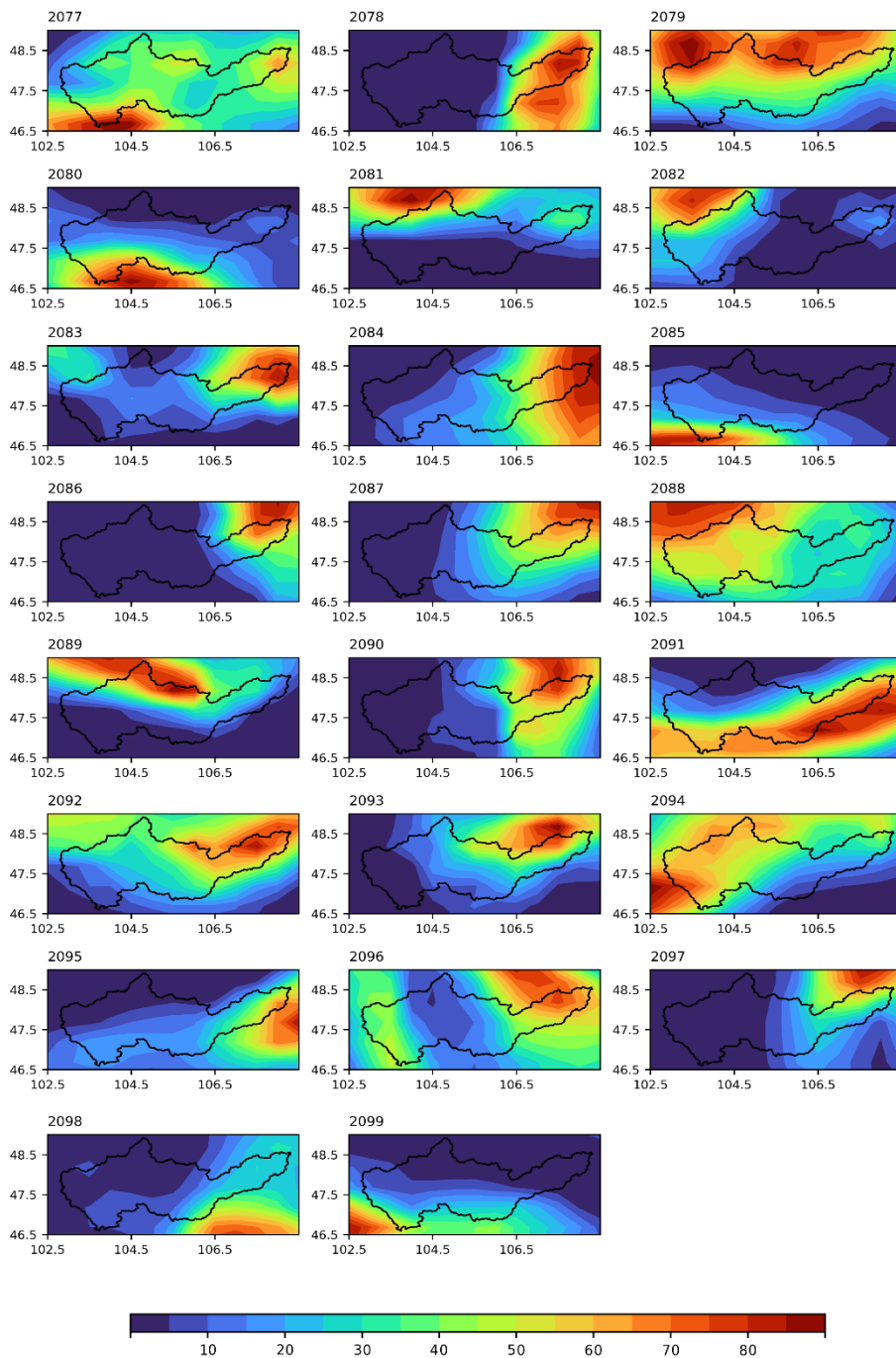




Зураг 12. CMIP-6, CNRM-CM6-1-HR загварын үр дүн (2023-2049 он)



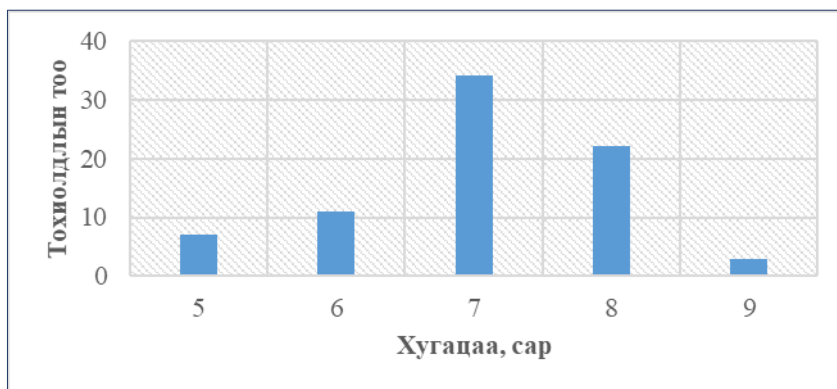
Зураг 13. CMIP-6, CNRM-CM6-1-HR загварын үр дүн (2050-2076 он)



Зураг 14. CMIP-6, CNRM-CM6-1-HR загварын үр дүн (2077-2099 он)

CMIP-6, CNRM-CM6-1-HR загварын SSP1-2.6 нөхцөлд Туул голын сав газрын ирээдүйн 2100 он хүртэлх жил бүрийн хоногт орох хамгийн их тунадсыг орон зайгаар зураглаж үзүүлэв. Үр дүнгээс 2025, 2027, 2035, 2036, 2037, 2038, 2041, 2042, 2043, 2045, 2046, 2048, 2050, 2051, 2053, 2054, 2055, 2056, 2058, 2061, 2064, 2067, 2078, 2083, 2084, 2086, 2087, 2090, 2091, 2092, 2093, 2095, 2096, 2097 онуудад хоногт орох хамгийн их тунадас Туул голын сав газрын эх дээр, 2026, 2031, 2032, 2033, 2034, 2039, 2040, 2047, 2049, 2059, 2060, 2063, 2065, 2068, 2071, 2073, 2077, 2080, 2085, 2094, 2098, 2099 онуудад хоногт орох хамгийн их тунадас сав газрын ус хагалбарын өмнөд хэсэгт, 2023, 2028, 2029, 2030, 2044, 2052, 2057, 2062, 2066, 2070, 2072, 2074, 2075, 2076, 2079, 2081, 2082, 2088, 2089

онуудад хоногт орох хамгийн их тунадас сав газрын адаг хэсэгт орохоор байна. Энэ нь ирээдүйн 2100 он хүртэлх хоногт орох хамгийн их тунадасны 45 хувь нь Туул голын сав газрын эхэд, 29 хувь нь сав газрын өмнө хэсэгт, 22 хувь нь сав газрын адагт орохоор төлөвтэй байна.



Зураг 15. Сав газарт 2023-2099 оны хооронд хамгийн их тунадас орох давтагдал

Зураг 15-т сав газарт тухайн жилд орох хамгийн их тунадасны хугацааг сараар үзүүлэв. Хамгийн их тохиолдох хугацаа нь 7-р сард 40 хувь, 8-р сард 26 хувь, 6-р сард 13 хувь, 5-р сард 8 хувь, 3-р сард 4 хувь нь тус тус тохирч байна.

### Дүгнэлт

Сав газарт хамаарах 21 станц, харуулын сүүлийн 30 жилийн бодит ажиглалтын болон Хэршфилдийн статистик аргаар тооцсон хамгийн их тунадсыг орон зайн хувд Нэш-Сатклифийн коэффициентоор үнэлэхэд 0.9 буюу маш сайн үр дүнг харуулж байна.

Тухайн жилд (1991-2014он) станц бүрт ажиглагдсан хамгийн их утгын огноогоор CNRM-СМ6-1-HR загварын үр дүнгээс шүүж бодит ба загварын утга хоорондын хамаарлыг судалж үзэхэд корреляцийн коэффициент  $r=0.63$  буюу дунд зэргийн хүчтэй эерэг хамааралтай байна. Экстремал утгын хувьд загварын таарц сайн байна гэж үнэлж болно. Мөн энэ хугацааны хоногт орсон хамгийн их тунадасны загварын өгөгдлийг орон зайгаар зураглаж үзэхэд 50 хувь нь сав газрын эх орчимд байгаа нь Хэршфилдийн статистик аргын үр дүнг урвуу зайн жингийн аргаар зурагласан үр дүнтэй тохирч байна.

Туул голын сав газрын боломжит хамгийн их тунадсыг хаана, ямар хэмжээтэй унаж болохыг статистик арга болон уур амьсгалын загвараар тооцож утгын болон орон зайн хувьд үнэлэхэд сайн үр дүн үзүүлж буй нь ирээдүйн 2100 он хүртэлх их тунадасны байршил хэмжээг таамаглах боломжтой юм. Нарийвчилбал CMIP-6, CNRM-СМ6-1-HR загвараар ирээдүйн 2100 он хүртэлх сав газарт орох их тунадасны 45 хувь нь Туул голын сав газрын эх орчимд, 29 хувь нь сав газрын ус хагалбарын өмнөд хэсэгт, 22 хувь нь сав газрын адагт орох төлөвтэй байна. Хэмжээний хувьд хамгийн их тунадас 110 мм орох магадлалтай байна. Харин өнгөрсөн хугацаанд их тунадас 8-р сард 41 хувь нь орж байсан бол ирээдүйд 8-р сард 26 хувь, 7-р сард 40 хувь болж тохиолдох хугацаа урагшлах төлөвтэй байна.

Орон зайн тархалтыг түүхэн хугацааны өгөгдөл болон ирээдүйн үр дүнгээс авч үзэхэд хоногт орох хамгийн их тунадас ерөнхийдөө сав газрын аль ч хэсэгт унах боломжтой байна. Үр дүнд гарсан 110 мм хэмжээг ашиглан сав газрын бүх эрэмбийн голуудад болон гадаргын урсац үүсэж болзошгүй район, хот суурин газрын ус зайлуулах систем, зам-барилга бүтээн байгуулалт, хөдөө аж ахуй, хөв цөөрөм байгуулах байршил, гүүр далан барих хөндлөн чиглэл, уул уурхайн зориулалтаар ашиглах сав газрын бүхий л хэсэгт ус зүйн тооцооны үндсэн өгөгдлөөр ашиглаж болох юм. Цаашид монгол орны бусад 28 сав газарт хоногт орох боломжит их тунадсыг Хэршфилдийн статистик арга болон CMIP-6, CNRM-СМ6-1-HR загвараар тооцож судалгаа шинжилгээнд ашиглаж болно.

## Талархал

Судалгааны ажлыг хянан магадалгаа хийж үнэтэй санал, зөвлөмж өгсөн шүүмжлэгч нарт болон сэтгүүлийн редакцын зөвлөлд талархал илэрхийлье.

## Ном зүй

1. Байгаль орчин, ногоон хөгжлийн яам (БОНХЯ). (2012). Туул голын сав газрын усны нөөцийн нэгдсэн менежментийн төлөвлөгөө. 14-16. <http://bic.iwlearn.org/mn/documents/documents/arga-khemzheeni-matierialuud/tuul-gholyn-sav-ghazryn-usny-nootsiin-neghdsen-mieniezhmientiin-tolovloghoo-monghol-kheleer/view>
2. Байгаль орчин, ногоон хөгжлийн яам (БОНХЯ). (2012). Улсын усны нөөцийн нэгдсэн менежментийн төлөвлөгөө боловсруулахад зориулсан судалгааны эмхтгэл нэгдүгээр дэвтэр. 231-234. <http://bic.iwlearn.org/mn/documents/documents/state-reports/ulsyn-usny-nootsiin-neghdsen-mieniezhmientiin-tolovloghoo-bolovsruulakhad-zoriulsan-sudalghaany-emkhetghel-neghdugheer-devter-monghol-kheleer/view>.
3. Батцэнгэл, В., Амарсайхан, Д., Алтансүх, Д., Болорчулуун, Ч. (2011). *Газарзүйн мэдээллийн системийн үндэс*. Улаанбаатар хот, 120-121. ISBN 978-99962-1-270-3
4. Бадарч, Х., (2014). Туул голын уртын дагуух урсацын хуваарилалт ба алдагдал, *МУИС-ийн магистрийн зэрэг горилсон судалгааны ажил*, Улаанбаатар хот, 6-7.
5. Ганболд, Б., Жамбажамц, Л. (2019). Evaluation of cloud microphysical schemes for heavy precipitation prediction over central Mongolia. Asia Oceania Geosciences Society Annual Meeting олон улсын мэргэжлийн нийгэмлэгийн хурлын эмхэтгэл, Volume number 16, M121.
6. Даваа, Г. (2015). *Монгол орны гадаргын усны горим, нөөц*, Улаанбаатар хот, Адмон принтинг, 36-158.
7. Мижиддорж, Р., Дуламсүрэн, Д., Оюнбаатар, Д. (2021). *Хур тунадасны хэлбэлзэл, дулаарал, хуурайшил*. Улаанбаатар хот, Соёмбо принтинг, 46-48. ISBN 991925492-4.
8. Мөнхбат, Б., Гомболүүдэв, П., Эрдэнэсүх, С., & Сандэлгэр, Д. (2022). ANUSPLIN статистик загвар ашиглан Монгол орны агаарын температур, хур тунадасыг (1991-2020) өндөр нарийвчлалтай торын зангилааны цэгээр тооцоолох нь: To estimate air temperature and precipitation of Mongolia (1991-2020) for the high-resolution grid using ANUSPLIN statistical model. *Geographical Issues*, 22(1), 92-102.
9. Отгонсүрэн, Ш., Бямбагэрэл, О. (2020). Evaluation of the GPM Precipitation Products in the Khar Lake-Khovd River Basin, Mongolia. *The XIII International Virtual Conference on Environment and Sustainable Development of the Mongolian Plateau and Surrounding Territories* олон улсын хурлын эмхэтгэл, 389-391.
10. Оюунболд, Б., Батцэцэг, Б., Цогзолмаа, Х. (2019). Туул голын сав газрын төлөв байдлын үнэлгээ. 4-5. <https://ian.umces.edu/site/assets/files/11229/tuul-river-basin-report-card-mongolian.pdf>
11. Улсын барилгын хороо. (1986), Усзүйн тодорхойлолтуудыг тооцоолох норм ба дүрэм, БнБД 2.01.14-86, 2-16.
12. Уур амьсгалын үйлчилгээний систем, <http://climate-service.mn/climateservice/>
13. Badjana, H. M., Renard, B., Helmschrot, J., Edjame, K. S., Afouda, A., & Wala, K. (2017). Bayesian trend analysis in annual rainfall total, duration and maximum in the Kara River basin (West Africa). *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 13, 255-273.
14. Chang, K. C., Juan, H. L., Yu, P. S., & Yang, T. C. PMP and PMF Revaluations after Typhoon Morakot by Considering Combined Effect of Typhoon and Monsoon—A Case Study for Four Reservoirs in Taiwan.
15. Chavan, S. R., & Srinivas, V. V. (2015). Probable maximum precipitation estimation for catchments in Mahanadi river basin. *Aquatic Procedia*, 4, 892-899. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.112>
16. Chavan, S. R., & Srinivas, V. V. (2021). Evaluation of three approaches to probable maximum precipitation estimation: a study on two Indian river basins. *Theoretical and Applied Climatology*, 144, 731-749. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03557-5/Published>
17. Chen, F. W., & Liu, C. W. (2012). Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan. *Paddy and Water Environment*, 10(3), 209–222. <https://doi.org/10.1007/s10333-012-0319-1>

18. Clark, C., & Dent, J. (2021a). New Estimates of 24-Hour Probable Maximum Precipitation (PMP) for the British Isles. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 09(07), 209–228. <https://doi.org/10.4236/gep.2021.97014>
19. Clark, C., & Dent, J. (2021b). New Estimates of 24-Hour Probable Maximum Precipitation (PMP) for the British Isles. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 09(07), 209–228. <https://doi.org/10.4236/gep.2021.97014>
20. Clavet-Gaumont, J., Huard, D., Frigon, A., Koenig, K., Slota, P., Rousseau, A., Klein, I., Thiémonge, N., Houdré, F., Perdikaris, J., Turcotte, R., Lafleur, J., & Larouche, B. (2017). Probable maximum flood in a changing climate: An overview for Canadian basins. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 13, 11–25. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.07.003>
21. Donat, M. G., Lowry, A. L., Alexander, L. V., O’Gorman, P. A., & Maher, N. (2016). More extreme precipitation in the dry and wet regions. *Nature Climate Change*, 6(5), 508–513. <https://doi.org/10.1038/nclimate2941>
22. Fattahi, E., & Habibi, M. (2022). Estimation of probable maximum precipitation 24-h (PMP 24-h) through statistical methods over Iran. *Water Supply*, 22(8), 6543–6557. <https://doi.org/10.2166/ws.2022.281>
23. Feng, S., Nadarajah, S., & Hu, Q. (2007a). Modeling Annual Extreme Precipitation in China Using the Generalized Extreme Value Distribution. In *Journal of the Meteorological Society of Japan* (Vol. 85, Issue 5).
24. Feng, S., Nadarajah, S., & Hu, Q. (2007b). Modeling Annual Extreme Precipitation in China Using the Generalized Extreme Value Distribution. In *Journal of the Meteorological Society of Japan* (Vol. 85, Issue 5).
25. Fowler, H. J., Ekström, M., Kilsby, C. G., & Jones, P. D. (2005). New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. 1. Assessment of control climate. *Journal of Hydrology*, 300(1–4), 212–233. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.06.017>
26. Gringorten, I. I. (1963). A plotting rule for extreme probability paper, *Journal of Geophysical Research*, 605–956. <https://doi.org/10.1029/JZ068i003p00813>
27. Gründemann, G. J., van de Giesen, N., Brunner, L., & van der Ent, R. (2022). Rarest rainfall events will see the greatest relative increase in magnitude under future climate change. *Communications Earth and Environment*, 3(1). <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00558-8>
28. Guhathakurta, P., Sreejith, O. P., & Menon, P. A. (n.d.). Impact of climate change on extreme rainfall events and flood risk in India.
29. Johnson, K., Smithers, J., & Schulze, R. (2021). A review of methods to account for impacts of nonstationary climate data on extreme rainfalls for design rainfall estimation in South Africa. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 63(3), 55–61. <https://doi.org/10.17159/2309-8775/2021/v63n3a5>
30. Katz, R. W., Parlange, M. B., & Naveau, P. (n.d.). Statistics of extremes in hydrology. [www.elsevier.com/locate/advwatres](http://www.elsevier.com/locate/advwatres)
31. Lázaro, R., Rodrigo, F. S., Gutiérrez, L., Domingo, F., & Puigdefábregas, J. (2001). Analysis of a 30-year rainfall record (1967-1997) in semi-arid SE Spain for implications on vegetation. *Journal of Arid Environments*, 48(3), 373–395. <https://doi.org/10.1006/jare.2000.0755>
32. Liang, J., & Yong, Y. (2022). Dynamics of Probable Maximum Precipitation Within Coastal Urban Areas in a Convection-Permitting Regional Climate Model. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.747083>
33. Liu, T., Li, B., Jin, L., Wang, S., Wen, J., & Wang, H. (2022). Estimation of probable maximum precipitation of a high-mountain basin in a changing climate. *Hydrology Research*, 53(1), 221–240. <https://doi.org/10.2166/NH.2021.084>
34. Luo, P., Mu, D., Xue, H., Ngo-Duc, T., Dang-Dinh, K., Takara, K., Nover, D., & Schladow, G. (2018). Flood inundation assessment for the Hanoi Central Area, Vietnam under historical and extreme rainfall conditions. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30024-5>
35. Marengo, J. A., Alves, L. M., Ambrizzi, T., Young, A., Barreto, N. J. C., & Ramos, A. M. (2020). Trends in extreme rainfall and hydrogeometeorological disasters in the Metropolitan Area of São Paulo: a review. In *Annals of the New York Academy of Sciences* (Vol. 1472, Issue 1, pp. 5–20). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/nyas.14307>

36. Marengo, J. A., Jones, R., Alves, L. M., & Valverde, M. C. (2009). Future change of temperature and precipitation extremes in south america as derived from the precis regional climate modeling system. *International Journal of Climatology*, 29(15), 2241–2255. <https://doi.org/10.1002/joc.1863>
37. Nandintsetseg, B., Greene, J. S., & Goulden, C. E. (2007). Trends in extreme daily precipitation and temperature near Lake Hövsgöl, Mongolia. *International Journal of Climatology*, 27(3), 341–347. <https://doi.org/10.1002/joc.1404>
38. O’Gorman, P. A. (2015). Precipitation Extremes Under Climate Change. In *Current Climate Change Reports* (Vol. 1, Issue 2, pp. 49–59). Springer. <https://doi.org/10.1007/s40641-015-0009-3>
39. Pingale, S. M., Khare, D., Jat, M. K., & Adamowski, J. (2014). Spatial and temporal trends of mean and extreme rainfall and temperature for the 33 urban centers of the arid and semi-arid state of Rajasthan, India. *Atmospheric Research*, 138, 73–90. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.10.024>
40. Prein, A. F., Rasmussen, R. M., Ikeda, K., Liu, C., Clark, M. P., & Holland, G. J. (2017). The future intensification of hourly precipitation extremes. *Nature Climate Change*, 7(1), 48–52. <https://doi.org/10.1038/nclimate3168>
41. Sammen, S., Mohamed, T., Ghazali, A. A., Sideq, L., & Aziz, A. A. (2018). Estimation of probable maximum precipitation for tropical catchment. *MATEC Web of Conferences*, 162. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816203012>
42. Santos, M., Fragoso, M., & Santos, J. A. (2017). Regionalization and susceptibility assessment to daily precipitation extremes in mainland Portugal. *Applied Geography*, 86, 128–138. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.06.020>
43. Sibuea, P. R. A., Agriamah, D. R., Riawan, E., Suwarman, R., & Lubis, A. (2021). Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP) and Probable Maximum Flood (PMF) Using GSSHA Model (Case Study Area Upper Citarum Watershed). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 893(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/893/1/012023>
44. Singh, A., Singh, V. P., & AR, B. (2018). Computation of probable maximum precipitation and its uncertainty. *International Journal of Hydrology*, 2(4). <https://doi.org/10.15406/ijh.2018.02.00118>
45. Suligowski, R. (2014). The spatial distribution of probable maximum precipitation (PMP) over the Kielce Upland in one-day and multi-days intervals. *Meteorology Hydrology and Water Management*, 1(1), 39–44. <https://doi.org/10.26491/mhwm/20838>
46. Tramblay, Y., & Somot, S. (2018). Future evolution of extreme precipitation in the Mediterranean. *Climatic Change*, 151(2), 289–302. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2300-5>
47. United States. Weather Bureau. (1970). *Probable Maximum Precipitation, Mekong River Basin*. US Department of Commerce, Weather Bureau.
48. Wainwright, C. M., Finney, D. L., Kilavi, M., Black, E., & Marsham, J. H. (2020). Extreme rainfall in East Africa, October 2019–January 2020 and context under future climate change. *Weather*. <https://doi.org/10.1002/wea.3824>
49. Wang, Y., Wang, Y., Wang, Y., Ju, Q., Jin, J., & Bao, Z. (2022). Projecting Changes in Rainfall Extremes for the Huai River Basin in the Context of 1.5 °C and 2 °C Global Warming. *Atmosphere*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/atmos13101708>
50. Westra, S., Fowler, H. J., Evans, J. P., Alexander, L. V., Berg, P., Johnson, F., Kendon, E. J., Lenderink, G., & Roberts, N. M. (2014). Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall. In *Reviews of Geophysics* (Vol. 52, Issue 3, pp. 522–555). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1002/2014RG000464>
51. World Meteorological Organization. (2009). *Manual on estimation of probable maximum precipitation (PMP)*. World meteorological organization.
52. Yegorova, & Elena. (n.d.). NUREG/CR-7131, “Review of Probable Maximum Precipitation Procedures and Databases Used to Develop Hydrometeorological Reports.” [www.nrc.gov/reading-rm.html](http://www.nrc.gov/reading-rm.html).
53. Yilmaz, A. G., & Perera, B. J. C. (2015). Spatiotemporal Trend Analysis of Extreme Rainfall Events in Victoria, Australia. *Water Resources Management*, 29(12), 4465–4480. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1070-3>