



МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ
ШИНЖЛЭХ УХААНЫ СУРГУУЛЬ
ГАЗАРЗҮЙН ТЭНХИМ

Газарзүйн асуудлууд сэтгүүл

Journal of Geographical Issues

Volume 22 (1)

ISSN: 2312-8534

2022

Улаанбаатар хот 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

© Б.Мөнхбат^{1*}, П.Гомболуудэв¹, С.Эрдэнэсүх², Д.Сандэлгэр²
 B.Munkhbat^{1*}, P.Gomboluudev¹, S.Erdenesukh², D.Sandelger²

¹ Уур Амьсгалын Өөрчлөлт, Нөөцийн Судалгааны Хэлтэс, Ус, Цаг Уур, Орчны Судалгаа, Мэдээллийн Хүрээлэн, Цаг Уур, Орчны Шинжилгээний Газар, Монгол улс

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

¹ Climate Change and Resource Research Division, Information and Research Institute of Meteorology, Hydrology, and Environment, National Agency of Meteorological and Environment of Mongolia
² Department of Geography, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia, Mongolia

*Харилцагч зохиогч: munkh2006bat@gmail.com

*Corresponding author: munkh2006bat@gmail.com

Хүлээн авсан: 2021.12.21

Засварласан: 2022.03.03

Зөвшөөрөгдсөн: 2022.03.10

Хураангуй

Энэхүү судалгааны ажлын үндсэн зорилго нь статистик загвар (ANUSPLIN) 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 хийхэд оршино. Монгол орны уул зүй, орографийн нөхцөлийг тооцоход Дэлхийн хэмжээний 30-арк секунд (1 километр) нарийвчлалтай GTOPO30 (global digital elevation model, DEM) өндөршилэн грид мэдээ, Монгол улсын Цаг Уур, Орчны Шинжилгээний Газар (ЦҮОШГ)-ын цаг уурын ажиглалтын 137 станцын болон мөстлийн хайлалт, хуримтлал судлалын цаг уурын автомат 3 станцын сарын нарийвчлалтай мэдээг тус тус цуглуулж уур амьсгалын статистик боловсруулалт, харьцуулалтын аргаар (иугаман регрессийн тэгшитгэл) 1991-2020 он хүртэл уртасгасан нэгэн төрлийн бодит мэдээг бэлтгэн ANUSPLIN статистик загварын захын болон анхны өгөгдөл болгон ашигласан. Мэдээний дундаж орон зайн шийд цаг уурын 137 станцын хувьд -0.75° буюу -83.2 км, мөстлийн хайлалт, хуримтлалын цаг уурын автомат 3 станцын хувьд -0.87° буюу -96.2 км байна. Эндээс Монгол орны ЦҮОШГ-ын харьяа албадын цаг уурын станцууд харьцангуй сийрэг байрласан гэж үзэж болно. Статистик буулгалтаар Монгол орны агаарын температур, хур тунадасны нормыг 1991-2020 оны дундажаар, цаг хугацааны хувьд сараар, орон зайн хувьд $0.0125^\circ \times 0.0125^\circ$ (-1.4×1.4 км)-ын нарийвчлалтай торын зангилааны цэгүүд(грид)-ээр тооцсон үр дүнг цаг уурын ажиглалтын бодит мэдээгээр үнэлсэн ба агаарын температурын орон зайн корреляцийн коэффициент (ОЗКК) 0.97-1.00, дундаж квадрат алдаа (ДКА) 0.24°C -аас 1.03°C , хур тунадасны хувьд ОЗКК 0.88-1.00 бол ДКА 0.02 мм-ээс 3.61 мм-ийн хооронд байна. Орон зайгаар дундажлан харьцуулахад загварчилсан агаарын температур бодит хэмжилтийн утгаас өвлийн улиралд (XII, I, II сар) $1.1-1.4^\circ\text{C}$ -ээр, хавар намрын улиралд (III-V, IX-XI сар) $0.2-0.6^\circ\text{C}$ -ээр тус тус дулаан байсан бол зуны улиралд (VI-VIII сар) нилээд ойролцоо утгатай тооцоологдсон. Харин хур тунадасыг дулааны улиралд (V-X сар) $0.5-2.9$ мм-ээр багасгаж тооцоолсон. Статистик загвар ба бодит хэмжилтийн үр дүнгийн хоорондын сар бүрийн корреляцийн коэффициент 99% түүнээс дээш статистик үнэмшилтэй байна. Иймд ANUSPLIN статистик загварыг ашиглан Монгол орны агаарын температур, хур тунадасны нормыг торын зангилааны цэгүүд (грид)-ээр тооцоолсон орон зайн өндөр нарийвчлалтай энэхүү тоон мэдээг байгаль орчин, хөдөө аж ахуй болон биологийн гэх мэт төрөл бүрийн шинжлэх ухааны судалгаанд суурь мэдээлэл болгон ашиглах бүрэн боломжтой.

Түлхүүр үгс: Статистик загвар (ANUSPLIN), торын зангилааны цэг (грид), агаарын температур, хур тунадас, өндөршил, Дэлхийн өндрийн тоон загвар (DEM)

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: Б.Мөнхбат ба П.Гомболуудэв: Онолын үндэслэл, аргазүй ба мэдээлэл боловсруулалт, үр дүнгийн хяналт, үндсэн бичвэр, өгүүдлийн эх бэлтгэл; С.Эрдэнэсүх, Д.Сандэлгэр: Өгүүдлийн эх бэлтгэл; үр дүнгийн болон бичвэрийн хяналт, засвар.

Abstract

The main objectives of this study were to use the statistical model (ANUSPLIN) to calculate the updated norms Mongolia of air temperature and precipitation (average for 1991-2020 according to the World Meteorological Organization) with high spatial accuracy for any grid, and to perform objective analysis in observation data. GTOPO30 (global digital elevation model, DEM) elevation grid data with 30-arc seconds (1 km) accuracy for estimating the mountain and orographic conditions of Mongolia, and monthly climate data of 137 meteorological stations of the National Agency of Meteorological and Environment of Mongolia (NAMEM), as well as monthly data of 3 automatic weather stations for glacial melting and accumulation research, were used to generate a series of data from 1991 to 2020 using climate statistical processing and comparison methods (linear regression equations). The data were used as peripheral and initial condition data for the statistical model (ANUSPLIN). The average spatial resolution of the data is $\sim 0.75^\circ$ or ~ 83.2 km for 137 meteorological stations, and $\sim 0.87^\circ$ or ~ 96.2 km for 3 automatic meteorological stations for ice melting and accumulation research. Hence, it can be considered that the hydro-meteorological and environmental research stations of Mongolia are relatively distributed sparsely. As a result of the statistical downscaling analysis, monthly air temperature and precipitation norms of Mongolia as an average of 1991-2020 were calculated for each grid with a spatial resolution of $0.0125^\circ \times 0.0125^\circ$ ($\sim 1.4 \times 1.4$ km). The spatial correlation coefficients (SPC) were 0.97-1.00 and 0.88-1.00 for air temperature and precipitation, respectively, while the mean square error (DCA) was 0.24°C to 1.03°C for temperature and 0.02 mm to 3.61 mm for precipitation. For spatial average, the air temperature from the model was warmer by 1.1 - 1.4°C in winter (December to January) and 0.2 - 0.6°C in spring and autumn (March to May, and September to November) than for observation data, while it was very similar for the summer (June-August). But model precipitation was reduced by 0.5-2.9 mm during the warm season (May-October) than observation data. The monthly correlation coefficients between the statistical model and observation data were 99% or higher. Therefore, this high-resolution spatial data for air temperature and precipitation norms of Mongolia for grid points calculated using the statistical model ANUSPLIN can be used as fundamental data for various scientific studies such as environment, agriculture and biology.

Keywords: Statistical model ANUSPLIN, Grid, Air temperature, Precipitation, Elevation, Global digital elevation model

Оршил

Торын зангилааны цэгүүд (грид) дээрх уур амьсгалын мэдээг орон зайд буулгасныг Уур амьсгалын элементийн гадаргуу (climate surfaces) гэж нэрлэх ба үүнийг байгаль орчин судлал, хөдөө аж ахуй болон биологийн гэх мэт олон төрлийн шинжлэх ухаанд түгээмэл ашиглаж байна (Hijmans et al., 2003; Jones, Gladkov, 2003; Parra et al., 2004).

Аливаа судалгаанд уур амьсгалын элементийн орон зайн нарийвчлал нь мэдээний хэрэглээ, боломжоос хамаарч ялгаатай байдаг боловч байгаль орчны хувьсал, өөрчлөлтийг судлахад 1 km^2 -аас бага орон зайн нарийвчлалтай мэдээлэл шаардагдана. Орон зайн нарийвчлал муутай мэдээлэл хэрчигдэл ихтэй хотгор гүдгэрийг сайн дүрслэдэггүй бол нарийвчлал сайжирснаар дээрх алдаа арилахын зэрэгцээ уур амьсгалын градиентийг харьцангуй өндөр нарийвчлалтай илэрхийлэх давуу талтай. Гэвч ийм өндөр нарийвчлалтай мэдээ нь олдоц багатай бөгөөд Дэлхийн өндөр хөгжилтэй улс орнуудаас зөвхөн АНУ-д мэдээллийн бааз үүсгэсэн байна (<http://www.daymet.org/>; <http://www.prism.oregonstate.edu/>; Thornton et al., 1997).

Монгол орны ЦУОШГ-ын харьяанд цаг уурын ажиглалтын 137 станц, 181 харуул харьцангуй сийрэг тархан байрлана. Энэхүү нягтшил муутай цаг уурын ажиглалтын сүлжээ нь Монгол орны эх газрын эрс тэс, гандуу хуурай уур амьсгал, мөн агаарын мандлын үзэгдэл болон физик процессыг тооцоолоход хангалттай мэдээллийг өгч чаддаггүй (Gomboluudev et al 2018a; 2018b).

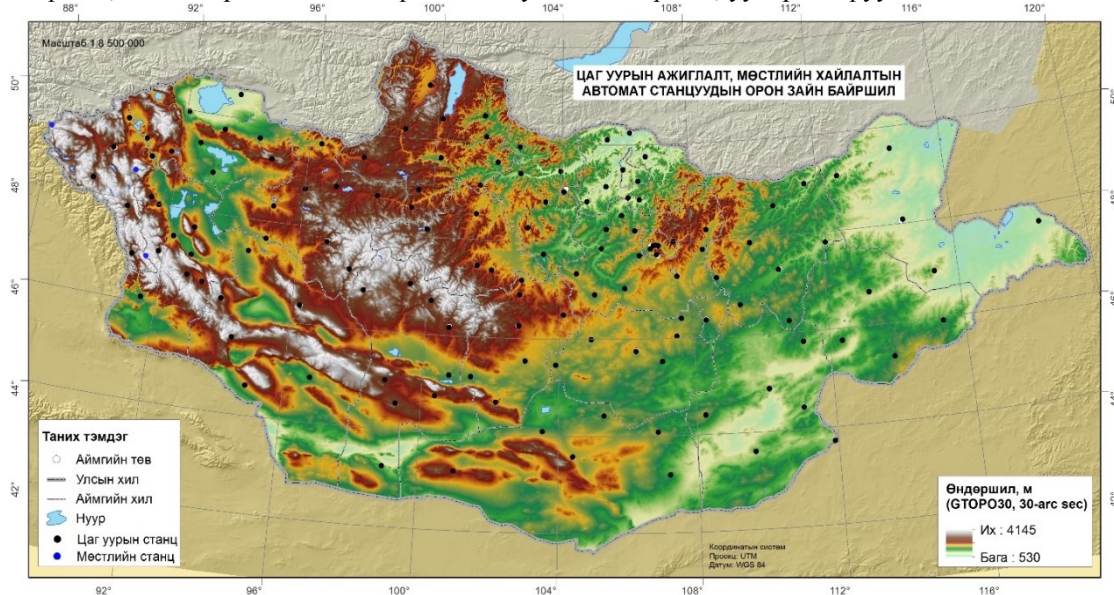
Аливаа уур амьсгалын загвар нь тодорхой системийн алдаатай байдаг ба тэр нь олон хүчин зүйлсээс хамаардаг. Тухайлбал: Дэлхийн агаар мандалд явагдаж байгаа физик процесс, агаар мандал болон газрын гадаргуугийн харилцан үйлчлэлийг тооцоолохдоо параметрчлал, математикийн ойролцооллын аргуудыг ашиглах зэрэг нь тодорхой алдааг бий болгодог (Gerelchuluun&Ahn, 2014). Тиймээс загварын систем алдааг багасгахдаа шугаман болон шугаман бус аргуудыг ашигладаг байна (Wigley et al., 1990; Wilks, 1995; Ahn et al., 2002; Richardson et al., 2003; Мөнхбат, Ок-Ён, 2014; Гомболүүдэв, Мөнхбат, 2017).

Энэхүү судалгааны ажилд Монгол орны агаарын температур, хур тунадасны шинэчилсэн нормыг (1991-2020) торын зангилааны цэгүүд (грид)-ээр тооцоолохдоо цаг уурын ажиглалтын бодит мэдээний (Thin plate smoothing splines) аргачлалд тулгуурласан, хамааралгүй хувьсагч өргөрөг, уртраг, өндөршлийг тооцон интерполяци хийдэг статистик загвар (ANUSPLIN-Australian National University Spline)-ыг (Hutchinson 2007; The et.al 2014) ашиглан статистик буулгалт хийж, загварын үр дүнд объектив шинжилгээ хийсэн.

Судалгааны материал, арга зүй

Ашигласан мэдээ: Монгол орны уул зүй, орографийн нөхцөлийг тооцоход Дэлхийн хэмжээний 30-арк секунд (1 километр) нарийвчлалттай GTOPO30 (global digital elevation model, DEM) өндөршлийн грид мэдээ, ЦУОШГ-ын цаг уурын ажиглалтын 137 станц, мөстлийн хайлалт, хуримтлал судлалын 3 цаг уурын автомат станцын сарын дундаж мэдээг уур амьсгалын статистик боловсуулалт, харьцуулалтын аргаар (шугаман регрессийн тэгшитгэл) 1991-2020 он хүртэл уртасган, нэгэн төрлийн хэмжээтэй 30 жилийн цуваа бүрдүүлсэн. Энэхүү 30 жилийн дундаж буюу нормын бодит ажиглалтын мэдээг ANUSPLIN статистик загварын захын болон анхны өгөгдөл болгон статистик буулгалт хийж, үр дүнг бодит ажиглалтын мэдээгээр объектив анализ хийсэн.

Зураг 1-д цаг уурын ажиглалтын станц, мөстлийн хайлалт судлалын автомат станцын байршил, далайн түвшнээс дээш өргөгдсөн дундаж өндөршил, уулзүйг харуулав.



Зураг 1. Цаг уурын станц, мөстлийн автомат станцын байршил, далайн түвшнээс дээш өргөгдсөн дундаж өндөршил, газар зүйн рельеф (Цэнхэр цэг: мөстлийн станц, хар цэг: цаг уурын станц)

Цаг уурын ажиглалтын сүлжээ харьцангуй сийрэг, хол зайтай буюу орон зайн дундаж нарийвчлал ойролцоогоор 83.2 км болно (Хүснэгт 1).

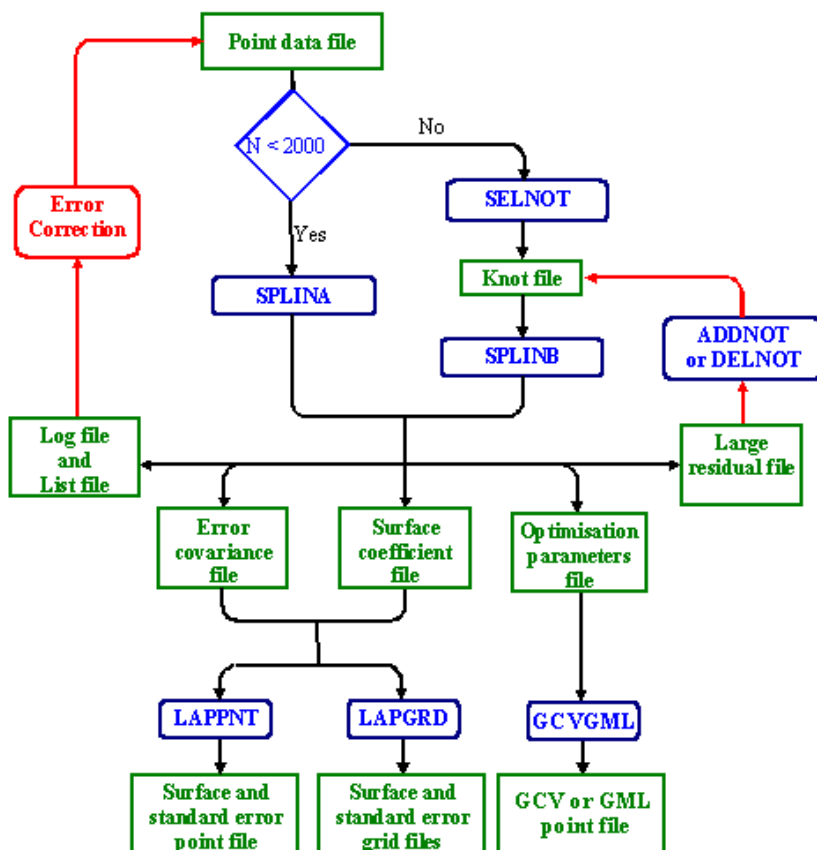
Хүснэгт 1. Цаг уурын станц, мөстлөгийн автомат станцын д.т.д өндөр, хоорондын зайн мэдээлэл

Нэр	Хоорондын зай(км)			Д.т.д өндөр(м)		
	Дундаж	Их	Бага	Дундаж	Их	Бага
Цаг уурын станц	83.2	377.4	8.0	1370.6	2257.0	628.0
Мөстлийн цаг уурын автомат станц	96.2	144.4	42.2	3166.2	3568.8	2858.3

Судалгааны аргазүй

Статистик буулгалт: ANUSPLIN статистик загвар нь thin plate smoothing splines аргыг ашиглан төрөл бүрийн анализ хийхээс гадна олон хэмжээт өгөдлийн орон зайн тархалт байгуулах боломжийг олгодог (The et.al 2014, Мөнхбат, 2018). Орон зайн буулгалтын процесс нь эхэндээ уртраг, өргөрөг гэсэн бие даасан 2 хувьсагчтай, аравны нарийвчлалтай градусаар илэрхийлэгдэж байсан. Харин уур амьсгалын параметр агаарын температур, хур тундасны буулгалт хийхийн тулд өндөр гэсэн гуравдагч хувьсагчийг оруулж ирсэн. Энэ нь метр, километрээр илэрхийлэгдэнэ. Заримдаа тооцоог нарийвчлах тохиолдолд нэмэлтээр өндрийн засвар хийх шаардлагатай. Энэхүү хэмжээсийг анхлан тодорхойлсон судлаачдын тоонд Hutchinson (1984) болон Bates нар (1987) нэрлэгдлэнэ. Үүний дараа бодит хэмжилтийн цэгэн өгөгдлийг, грид ANUSPLIN багц програм хангамж ашиглан орон зайн хувьд интерполяц хийсэн

(Hutchinson 2007; The et.al 2014). ANUSPLIN статистик загварчлал нь статистик анализ, өгөгдлийн шинж чанар болон орон зайн тархалтын стандарт алдаа зэрэг дэлгэрэнгүй мэдээллээр хангаж өгөх зорилгыг тавьж өгдөг. Статистик загвар ANUSPLIN-ын ерөнхий өгөгдлийн схемийг Зураг 2-т үзүүлэв.



Зураг 2. Статистик загвар ANUSPLIN-ийн ерөнхий өгөгдлийн схем (Hutchinson 2007; The et.al 2014)

Богино цуваатай цаг уурын станцын мэдээг уртасгах: Богино цуваатай цаг уурын станцын мэдээг уртасгаж, нэгэн төрлийн цуваанд шилжүүлэхэд уур амьсгалын математик, статистикийн аргачлал ашигласан. Үүнд ялангуяа сонгодог харьцуулах (регресс), корреляцийн шинжилгээ, магадлалын аргачлалыг ашиглав. Корреляцийн шинжилгээнд корреляцийн коэффициентийг тодорхойлох эсвэл цэгэн диаграммыг байгуулах замаар шугаман хамааралтай эсэхийг тодорхойлдог.

Пирсоны r корреляцийн коэффициентын утгаар хамаарлын хүчийг тодорхойлох ба үүнийг дараах (I) томъёогоор тооцдог (Freedman et.al, 2007).

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

Энд: r - корреляцийн коэффициент, x_i - үл хамаарах хувьсагч, \bar{x} - үл хамаарах хувьсагчийн дундаж, y_i - хамааран хувьсагч, \bar{y} - хамааран хувьсагчийн дундаж

Олон хэмжигдэхүүний сонгодог шугаман регрессийн тэгшитгэл (Freedman et.al, 2007) нь дараах (II) байдалтай байна. Үүнд:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \epsilon \quad (II)$$

Энд: y_i - хамаарах хувьсагч, x_i - үл хамаарах хувьсагч, β_0 - тогтмол, β_1 - налуу, ϵ - санамсаргүй алдаа

Цаг уурын станцуудын хоорондын орон зайн дунджийг дараах (III) томъёогоор тодорхойлов.

$$\text{Distance} = A \cos(\cos(\text{Radians}(90 - \text{Latitude}_1)) \cdot \cos(\text{Radian}(90 - \text{Latitude}_2)) + \sin(\text{Radians}(90 - \text{Latitude}_1)) \cdot \sin(\text{Radians}(90 - \text{Latitude}_2))) \cdot \cos(\text{Radians}(\text{Longitude}_1 - \text{Longitude}_2)) \cdot R_{\text{earth}} \quad (\text{III})$$

Энд: Distance – цэгүүдийн орон зайн дундаж зай, Radians – радиан, Latitude₁ – эхний цэгийн уртраг, Latitude₂ – сүүлчийн цэгийн уртраг, Longitude₁ – эхний цэгийн өргөрөг, Longitude₂ – сүүлчийн цэгийн өргөрөг, R_{earth} – дэлхийн радиус

Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг

1. Цаг уурын станц хоорондын орон зайн дундаж, нэгэн төрлийн ажиглалтын бодит мэдээ:

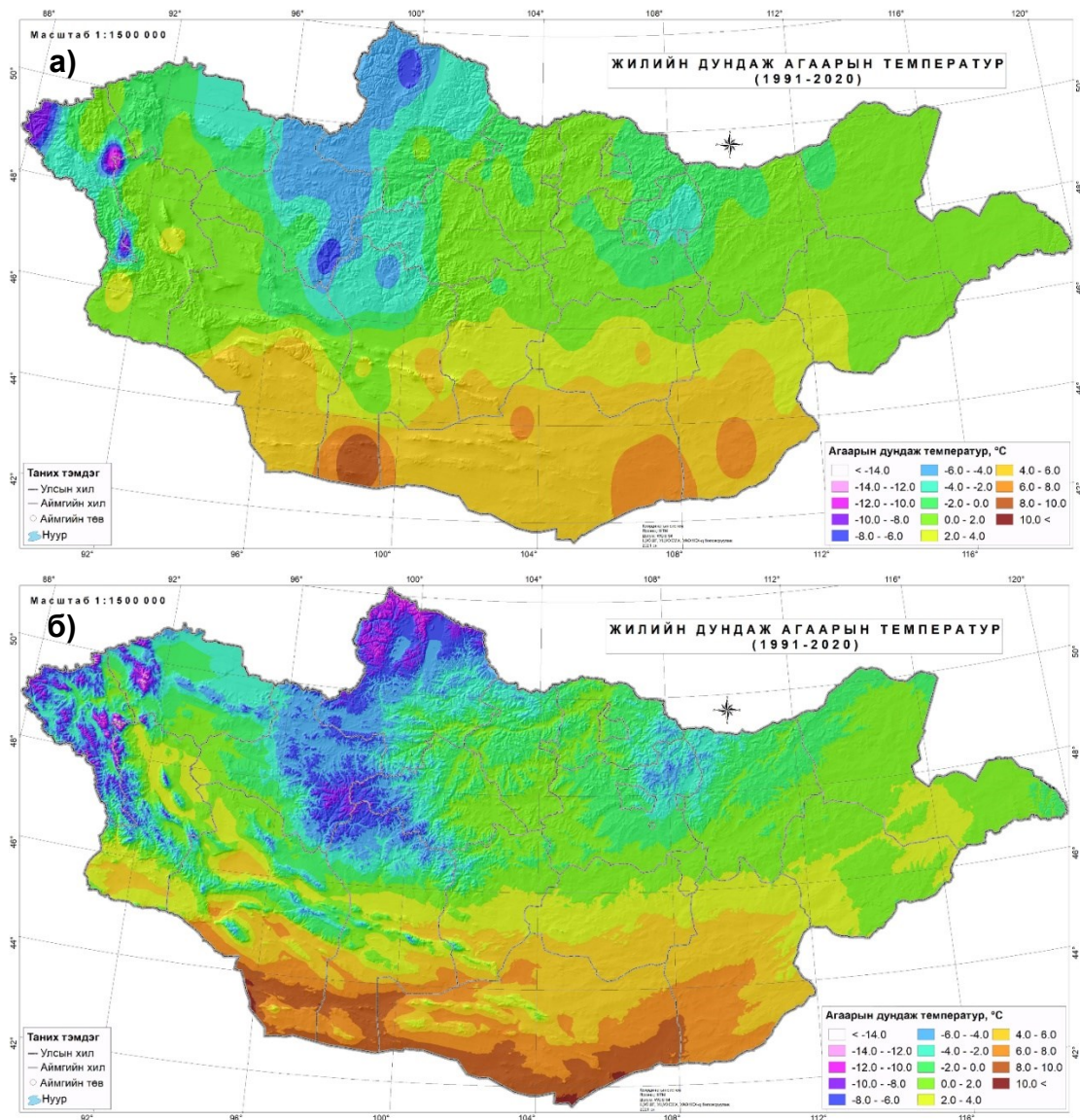
Цаг уурын 137 станцын орон зайн дундаж $\sim 0.75^\circ$ буюу ~ 83.2 км, хамгийн бага $\sim 0.07^\circ$ буюу ~ 8 км, харин хамгийн их нь $\sim 3.39^\circ$ буюу ~ 377.4 км байна. Харин мөстлийн хайлалт, хуримтлалын цаг уурын 3 автомат станцын орон зайн дундаж $\sim 0.87^\circ$ буюу ~ 96.2 км байна. Эндээс үзвэл Монгол орны ЦУОШГ-ын харъяанд байх цаг уурын станцууд харьцангуй сийрэг тархан байрласан байна.

1991 оноос хойш байгуулагдсан цаг уурын 53 станц, мөстлийн 3 автомат станцын агаарын температурын мэдээний 5-аас дээш жилийн богино цувааг шугаман регрессийн тэгшитгэл (II) буюу уур амьсгалын цувааны анализийн харьцуулалтын аргачлалаар 1991-2020 он хүртэлх цувааг урагш нь уртасгасан. Иймээс нийт 137 цаг уурын станцад цаг хугацааны хувьд сарын нарийвчлалтай, 1991-2020 оны агаарын дундаж температурын болон хур тунадасны ажиглалтын тоон мэдээтэй болсон. Энэ нь дэлхийн хэмжээний өндөр нарийвчлалтай динамик, статистик буулгалтын GRID тоон мэдээллийг Монгол орны хэмжээнд боловсруулж, анализ хийх, үнэлгээ өгөхөд маш чухал бодит ажиглалтын мэдээлэл болно.

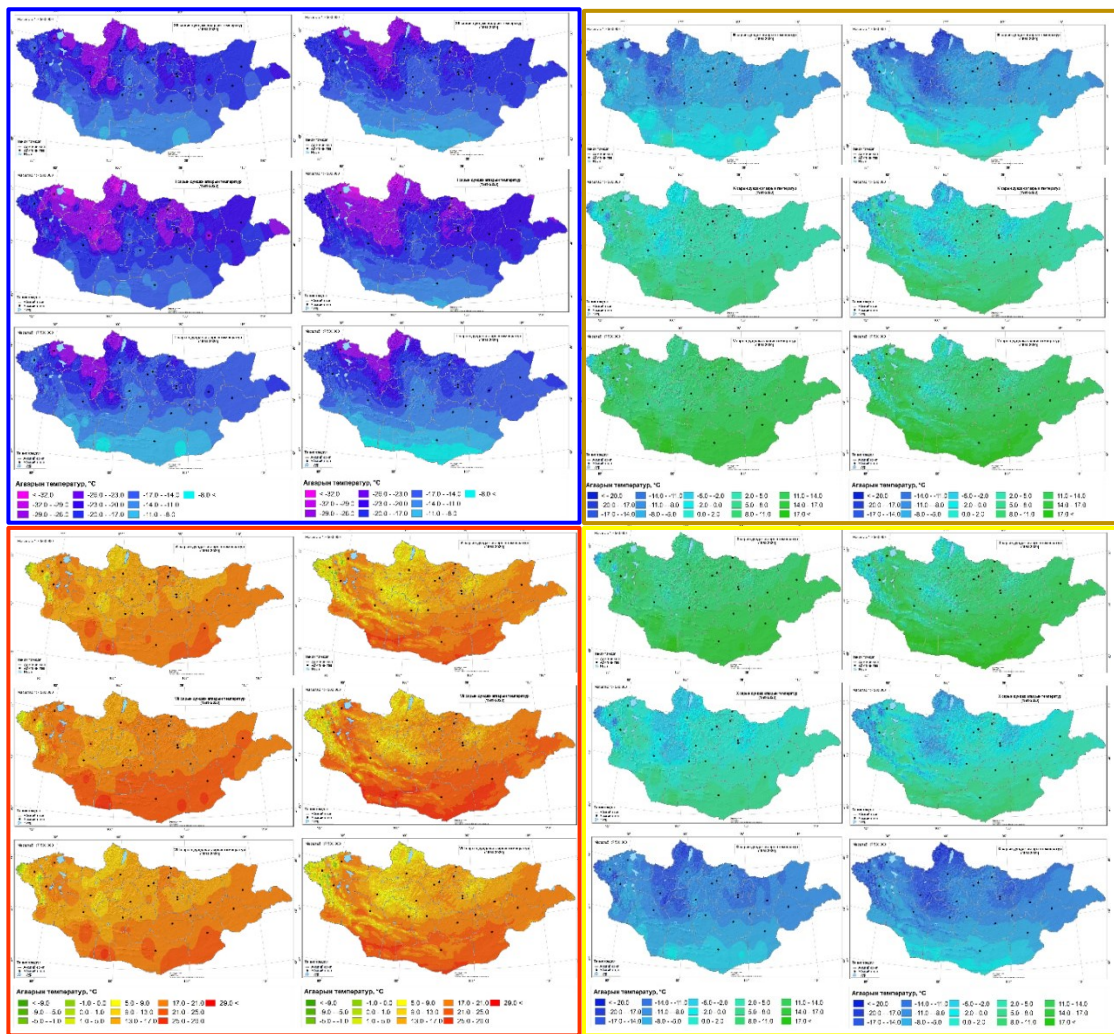
2. Агаарын температур, хур тунадасны олон жилийн дундаж буюу норм (1991-2020):

Агаарын температур, хур тунадасны олон жилийн дундаж буюу шинэчилсэн нормыг 1991-2020 оны дунджаар, цаг хугацааны хувьд сараар, орон зайн хувьд $0.0125^\circ \times 0.0125^\circ$ ($\sim 1.4 \times 1.4$ км)-ын нарийвчлалтай торын зангилааны (GRID)-ээр статистик буулгалт хийсэн. Иймд бодит ажиглалт болон статистик буулгалтын жил, сарын дундаж агаарын температурыг Зураг 3-аас 4-д, харин жилийн нийлбэр хур тунадасны орон зайн хуваарилалтыг Зураг 5-д тус тус харьцуулан харуулав. Зураг 3, 5-ын (а) болон Зураг 4 (4 өнгийн хайрцагаар ялган харуулсан)-ийн 1-р мөрөнд бодит ажиглалтын I-XII сарын дундаж агаарын температурыг гео орон зайн тархалтын интерполяцийн аргуудаас урвуу зайн жингийн (IDW) анализийн аргыг ашиглан $\sim 1.4 \times 1.4$ км-ийн GRID рүү хөрвүүлсэн.

Эндээс үзвэл агаарын дундаж температурын орон зайн тархалтанд гол нөлөөлөх уулзүй, орографийг харуулж чадахгүй байна. Учир нь урвуу зайн жингийн (IDW) интерполяцийн арга нь тухайн цаг уурын станцын далайн түвшнээс дээших өндрөөр нэгэн төрлийн хавтгайд интерполяциж, тэр хавтгай дахь агаарын дундаж температурын орон зайн тархалтыг дүрсэлж харуулдаг (Мөнхбат, 2018). Гэтэл бодит байдал дээр агаарын температурын тархалт нь уул зүй, газрын гадаргын байдал, нарны цацрагийн хуваарилалт, орчил урсгал зэргээс хамааран жигд бус тархалттай байдаг (Gomboluudev et.al, 2018a, 2018b).



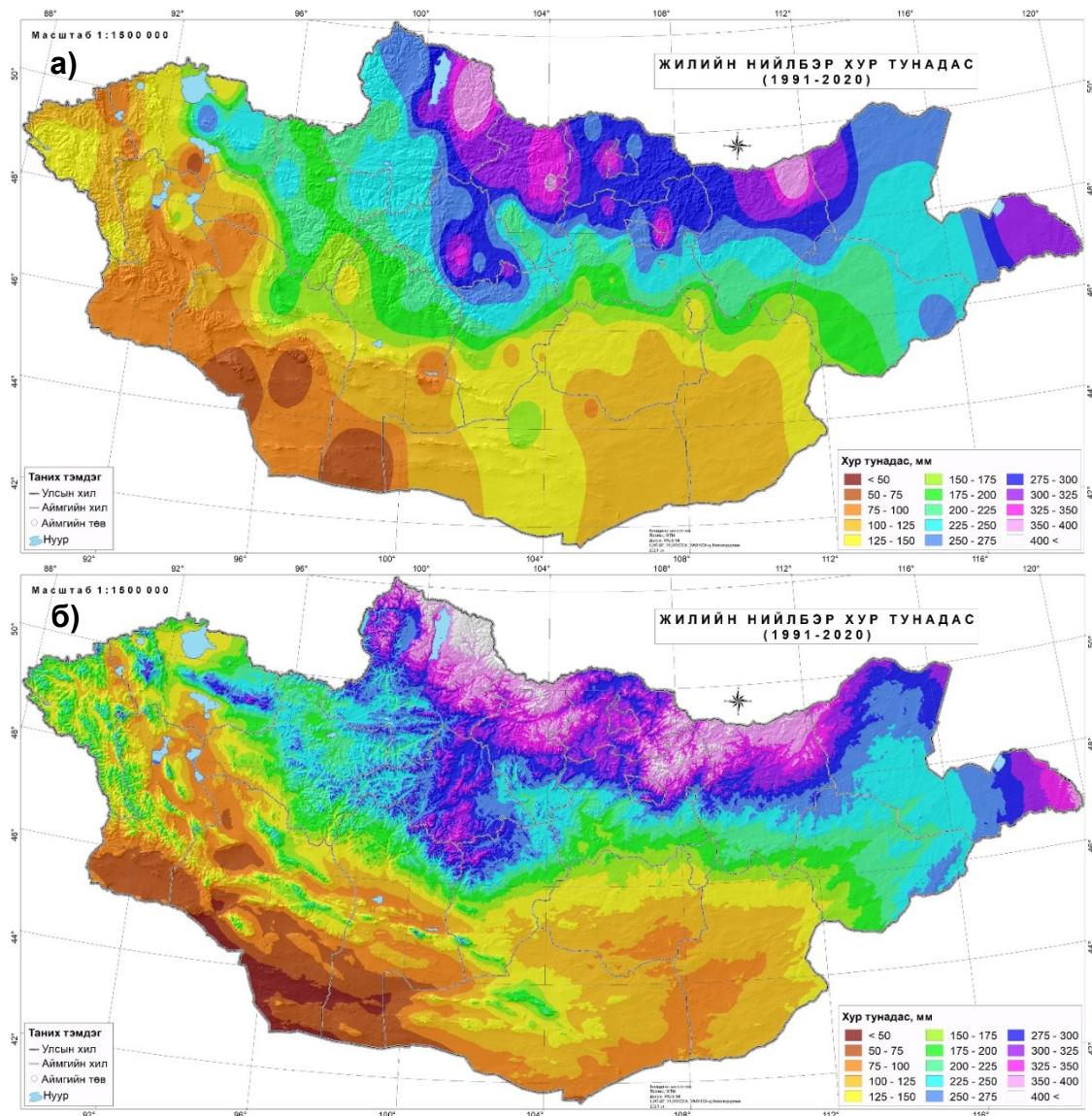
Зураг 3. Жилийн дундаж агаарын температур (1991-2020)
 а) – бодит ажиглалт; б) – статистик буулгалт



Зураг 4. Сарын дундаж агаарын температур (1991-2020)

Тайлбар: **Цэнхэр хайрцагт** – XII, I, II сарын дундаж агаарын температур (өвлийн улирал)
Хүрэн хайрцагт – III, IV, V сарын дундаж агаарын температур (хаврын улирал)
Улаан хайрцагт – VII, VII, VIII сарын дундаж агаарын температур (зуны улирал)
Шар хайрцагт – IX, X, XI сарын дундаж агаарын температур (намрын улирал)-уудын орон зайн хуваарилалт ба 1-р мөрөнд бодит ажиглалт, 2-р мөрөнд статистик загварын үр дүн.

Статистик загварын үр дүнгээс (Зураг 3, 5-ын (б) болон Зураг 4-ийн 2-р мөр) үзвэл жил, сарын дундаж агаарын температур болон жил, сарын нийлбэр хур тунадасыг нарийвчлал сайтай, бодит ажиглалтын мэдээнд ойртуулж, буулгалт хийсэн байна. Өөрөөр хэлбэл статистик буулгалтын (ANUSPLIN) давуу тал нь нарийн төвөгтэй уулзүй буюу орографыг тооцоолж, агаарын температур болон хур тунадасны өндрийн градиент (шатлуур)-ийн хамаарлыг тооцдог (Schoof & Pryor., 2001; Paulin & Yonas., 2005).

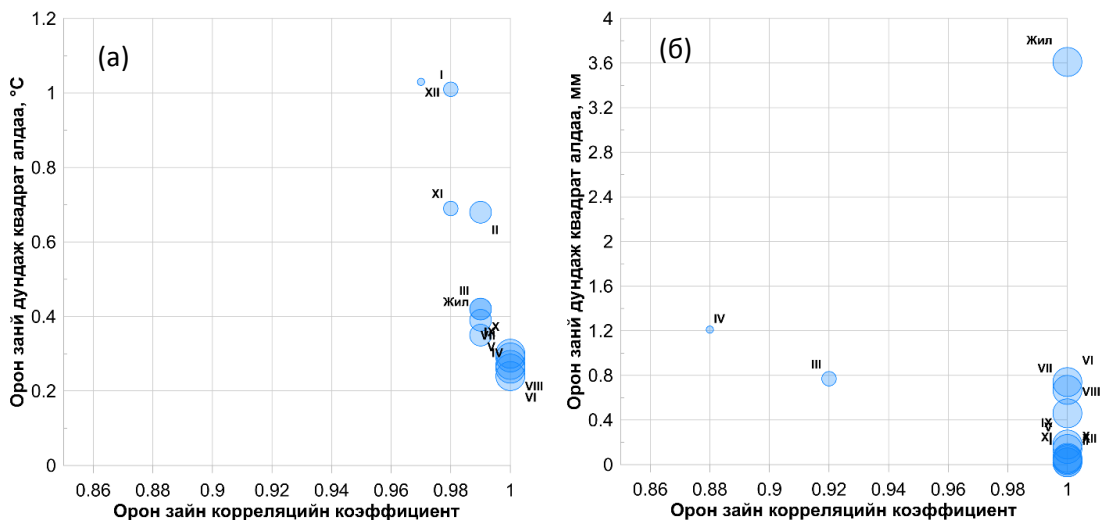


Зураг 5. Жилийн нийлбэр хур тунадас (1991-2020)
 а) – бодит ажиглалт; б) – статистик буулгалт

3. Үр дүнг бодит ажиглалтын мэдээгээр үнэлэх нь:

Статистик буулгалтын үр дүнг ажиглалтын мэдээгээр үнэлэхдээ ANUSPLIN загварын үр дүнг хоёр хэмжээст интерполяцийн арга ашиглан цаг уурын станцын грид рүү хөрвүүлж, математик-статистик анализийн аргыг ашиглан аномаль корреляцийн коэффициент (АКИ), орон зайн корреляцийн коэффициент (ОЗКК), дундаж квадрат алдаа (ДКА) зэрэг статистик үзүүлэлтүүдийг тооцоолов.

Агаарын температур, хур тунадасны статистик үзүүлэлтүүдийг (ДКА, ОЗКК) тооцож Зураг 6, Хүснэгт 2, 3-т харуулав.



Зураг 6. Агаарын температур (а) болон хур тунадасны (б) статистик үзүүлэлтүүд

Хүснэгт 2. Агаарын температурын статистик үзүүлэлт (140 станцаар)

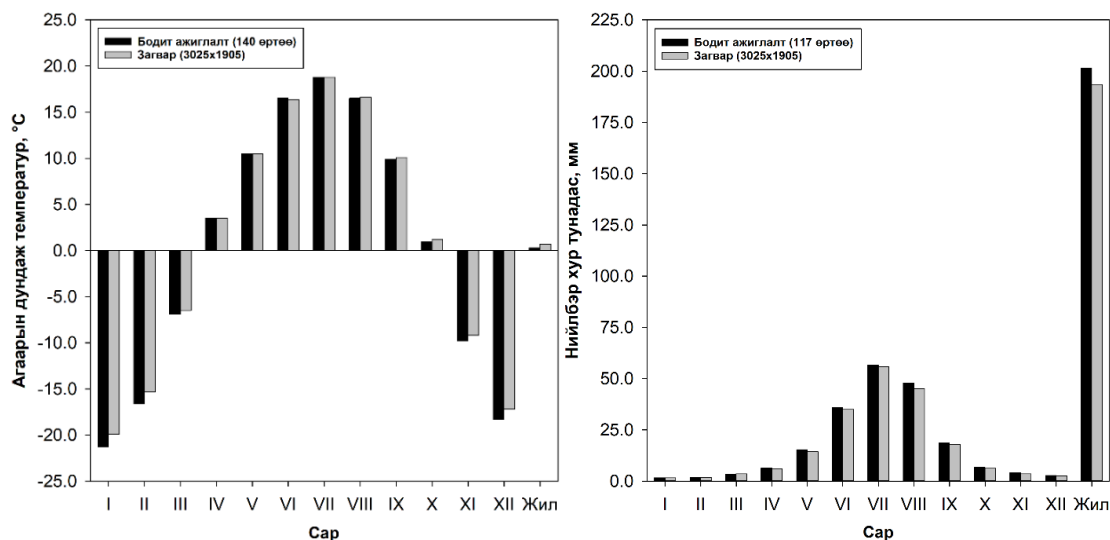
Статистик үзүүлэлт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Жил
ОЗКК	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.99
ДКА, °C	1.01	0.68	0.42	0.35	0.26	0.24	0.29	0.27	0.30	0.42	0.69	1.03	0.39

Хүснэгт 3. Хур тунадасны статистик үзүүлэлт (117 станцаар)

Статистик үзүүлэлт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Жил
ОЗКК	1.00	1.00	0.92	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ДКА, мм	0.02	0.02	0.77	1.21	0.14	0.74	0.67	0.46	0.18	0.06	0.05	0.04	3.61

Зураг 6 болон Хүснэгт 2, 3-аас үзвэл агаарын температурын статистик буулгалтаар ОЗКК 0.98-1.00, ДКА 0.24°C-ээс 1.03°C-ийн хооронд, харин хур тунадасны ОЗКК 0.88-1.00, дундаж ДКА 0.02 мм -ээс 3.61 мм-ийн хооронд байна. Энэхүү судалгаанд ашигласан статистик загвар нь агаарын температурыг зуны улиралд ДКА хамгийн бага, ОЗКК хамгийн их хамааралтай тооцсон бол өвлийн улиралд ДКА хамгийн их, ОЗКК хамгийн бага хамааралтай илэрхийлсэн нь хүйтний улиралд температурын инверси тогтдогтой холбоотой. Монгол оронд хүйтний улиралд тогтдог газрын гадарга орчмын температурын инверси нь агаарын температурын орон зайн загварчлалд алдаа үүсгэдэг тул түүнийг тооцоноор алдаа багасч илүү бодит үр дүнг өгдөг (Sumiya, 2008; Gerelchuluun, Ahn, 2014).

Бодит ажиглалт болон статистик загварын орон зайн дунджийг Зураг 7-д харууллаа. Зураг 7-оос үзвэл агаарын температурын орон зайн дундаж өвлийн улиралд (XII, I, II сар) 1.1-1.4°C-ээр, хавар намрын улиралд (III-V, IX-XXI сар) 0.2-0.6°C-ээр тус тус дулааруулж байсан бол зуны улиралд (VI-VIII сар) нилээд ойролцоо утгатай байсан. Харин хур тунадасыг дулааны улиралд (V-X сар) 0.5-2.9 мм-ээр багасгаж тооцоолсон бол Монгол оронд нийт тунадасны ердөө 5-10% нь ордог хүйтний улиралд (Gomboluudev et.al 2018a) ихээхэн ойролцоо үр дүнг харуулж байв.



Зураг 7. Бодит ажиглалт болон статистик загварын орон зайн дундаж

Энэ судалгаагаар Монгол орны агаарын температур, хур тунадасны нормыг маш өндөр нарийвчлалтай торын зангилааны цэг (грид)-ээр тооцоолохын тулд ANUSPLIN статистик загварыг ашиглан статистик буулгалт хийж туршсан. Статистик буулгалт нь Монгол орны агаарын температур, хур тунадасны шинэчилсэн нормыг (1991-2020) торын зангилааны цэг (грид)-ийн үр дүнгийн статистик үнэмшил 99 хувиас дээш байна. Иймд ANUSPLIN статистик загварыг ашиглан Монгол орны агаарын температур, хур тунадасны нормыг торын зангилааны цэг (грид)-ээр тооцоолоход бүрэн боломжтой нь харагдаж байв.

Дүгнэлт

Судалгаанд ашигласан цаг уурын ажиглалтын 137 станц харьцангуй сийрэг, хол зайтай ба орон зайн дундаж зай нь $\sim 0.75^\circ$ буюу ~ 83.2 км, хамгийн бага $\sim 0.07^\circ$ буюу ~ 8 км, харин хамгийн их нь $\sim 3.39^\circ$ буюу ~ 377.4 км байна.

Агаарын температур, хур тунадасны олон жилийн дундаж буюу шинэчилсэн нормыг 1991-2020 оны дунджаар, цаг хугацааны 1 сарын, орон зайн $0.0125^\circ \times 0.0125^\circ$ ($\sim 1.4 \times 1.4$ км)-ын нарийвчлалтай торын зангилааны (грид)-ээр статистик буулгалтаар орон зайн корреляцийн коэффициент (ОЗКК) 0.98-1.00, дундаж квадрат алдаа (ДКА) 0.24°C -аас 1.03°C -ын хооронд, харин хур тунадасны ОЗКК 0.88-1.00, ДКА 0.02 мм -ээс 3.61 мм-ийн хооронд байна.

Судалгаанд ашигласан статистик загвар нь агаарын температурыг зуны улиралд ДКА хамгийн бага, ОЗКК хамгийн их хамааралтай тооцсон. Харин өвлийн улиралд ДКА хамгийн их, ОЗКК хамгийн бага хамааралтай байгаа нь температурын инверсийн нөлөөтэй холбоотой.

ANUSPLIN загвар Монгол орны агаарын температур, хур тунадасыг орон зайд маш өндөр нарийвчлалтай буулгалт хийснээс гадна статистик үнэмшил нь 99%-иас дээш байна.

Номзүй

- Гомболүүдэв, П., Мөнхбат, Б., (2017). Монгол орны хур тунадасны нөөцийн үнэлгээний асуудалд: Хоногийн хур тунадасны хэмжилтийн мэдээнд засвар хийх нь. *Монгол орны байгаль, уур амьсгалын үнэн нөөц*. 65-72
- Мөнхбат, Б., (2018). “Статистик загвар ашиглан Монгол орны агаарын температурын нормыг торын зангилааны цэгүүд (грид) -ээр тооцоолох нь (1981-2010)”, *УЦУОСМХ-ийн ЭШБ-№36*, 99-110
- Мөнхбат, Б., Ок-Ён.К., (2014). “Монгол орны агаарын температурын тархалтыг тооцоолох нь”, *УЦУОХ-гийн бүтээл №34*, х113-124
- Ahn, J. B., C. K. Park, and E. S. IM, (2002). Reproduction of Regional Scale Surface air temperature by Estimating Systematic Bias of Mesoscale Numerical Model. *Journal of Korean Meteorological Society*, 38(1), 69-80.

- Bates, D., Lindstrom, M., Wahba, G., and Yandell, B., (1987). GCVPACK-routines for generalised cross validation. *Communications in Statistics B-Simulation and Computation*, 16, 263-297.
- Freedman, D., Pisani, R., & Purves, R. (2007). *Statistics (international student edition)*. Pisani, R. Purves, 4th Edn. *WW Norton & Company, New York*.
- Gerelchuluun, B. and Ahn, J.-B. (2014). Air temperature distribution over Mongolia using dynamical downscaling and statistical correction. *Int. J. Climatol.*, 34: 2464-2476. <https://doi.org/10.1002/joc.3853>
- Gomboluudev, P., Dorjpurev, J., Natsagdorj, L., Davaadorj, G., Dorjsuren, Ch., Davaa, G., Bynie, G., Erdenetsetseg, B., Enkhbileg, D., Jambaljav, Ya., Gantsetseg, B., Mandakh, N., Burmaajav, B., Munkhbat, B., Namkhainyam, B., Batimaa, P., Landannorov, J., Munkhzaya, D., Gerelt-Od, D., Delgermaa, D., (2018a). *Third National Communication Of Mongolia*. UNEP. UNFCCC, Ulaanbaatar, Mongolia.
- Gomboluudev, P., Kurosaki, Y., Natsagdorj, L., Munkhbat, B., (2018b). *Climate of Mongolia. Rangeland Ecosystem of Mongolia, Ulaanbaatar, 2: 75-107*
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. and Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.*, 25: 1965-1978, <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Hutchinson, M. (1984). Some Surface Fitting and Contouring Programs for Noisy Data. CSIRO Division *Mathematics and Statistics Consulting Report ACT 8416*. 24-25.
- Hutchinson, M., (2007), 'ANUSPLIN Version 4.3'.
- Jones PG, Gladkov A. (2003). *FloraMap. A Computer Tool for Predicting the Distribution of Plants and Other Organisms in the Wild. Version 1.02*. Centro Internacional de Agricultura Tropical: Cali, Colombia.
- Parra, J. L., Graham, C. C., & Freile, J. F. (2004). Evaluating Alternative Data Sets for Ecological Niche Models of Birds in the Andes. *Ecography*, 27(3), 350-360. <http://www.jstor.org/stable/3683616>
- Paulin, C., Yonas, B.D., (2005). Downscaling Precipitation and Temperature with Temporal Neural Networks, *J. Hyd.*, 6, 483-496 .
- Richardson, K. A. (2003). On the limits of bottom-up computer simulation: towards a nonlinear modeling culture. *Paper presented at the 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, Proceedings of the.
- Schoof, J.T., Pryor S.C., (2001). Downscaling Temperature and Precipitation: A comparison of Regression-based Methods and Artificial Neural Networks. *Int. J. Clim.*, 21, 773-790.
- Sumiya, E., (2008). *Studies on inversion near ground surface layer in Mongolia. Ph.D. dissertation. Nat'l.Univ. Mongolia, 2273-2274.*
- The C., Hutchinson C., Johnson M.F, Beesley C., Green J., (2014). Application of ANUSPLIN to produce new IFD design rainfalls across Australia.
- Thornton, P. E., Running, S. W., & White, M. A. (1997). Generating surfaces of daily meteorological variables over large regions of complex terrain. *Journal of hydrology*, 190(3-4), 214-251.
- Wigley, T. M. L., P. D. Jones, K. R. Briffa, and G. Smith (1990). Obtaining subgrid scale information from coarse-resolution general circulation model output, *J. Geophys. Res.*, 95, 1943- 1953.
- Wilks, D.S. (1995). *Statistical methods in the atmospheric sciences. Int. Geophysical Series*, Academic Press, San Diego, USA, 467-468.