

Европын дунд хугацааны прогнозын төвийн мэдээнд суурилсан MOS-ийн 2 метрийн түвшний болон хөрсний гадаргын температурын арга боловсруулах

Гүйцэтгэлийн зорилт №2.1. Цаг агаарын тоон прогнозын шуурхай ажиллагааны загвар, аргыг сайжруулах

Гүйцэтгэлийн зорилтыг хэрэгжүүлэх 2.1.2-р арга хэмжээ: Европын дунд хугацааны прогнозын төвийн мэдээнд суурилсан MOS-ийн 2 метрийн түвшний болон хөрсний гадаргын температурын арга боловсруулах

Зорилго: Европын дунд хугацааны прогнозын үр дүнд статистик тайлал хийж хот, суурингаар агаарын болон хөрсний температурыг урьдчилан тооцоолох систем боловсруулахыг зорилоо

- Хот, суурин дээрх 144 цаг хүртэлх, 12 цаг тутмын прогнозын арга боловсруулна.

Хамрах хүрээ: Монгол орны 136 станц

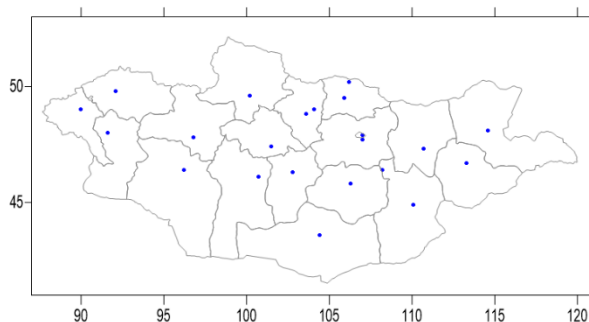
1.1 Судалгаанд ашигласан мэдээ:

Цуваа бүрдүүлэх зорилгоор ECMWF /0.5° × 0.5°/-ийн тоон прогнозын урьдчилсан мэдээг ашигласан.

Боловсруулалтын хугацааг 2018-2020 оны хооронд 8 жилийн цувааг бүрдүүлж, өргөрөгийн 35°-65°, уртрагийн 67.5°-130° хоорондох газар нутгаар таслаж хөрвүүлэлт хийж, цуваа бэлдсэн. Аргын боловсруулалтанд ECMWF загварын өдөр бүрийн бодолтын 31 элементийн мэдээг тус тус ашиглав.

Туршилтын хугацааг хүртэлх хугацаагаар хийж, цаашдаа шинэчлэгдэх байдлаар явахаар тохируулсан. Цувааны урт хамгийн ихдээ улирал тус бүр сүүлийн 300 цуваа байхаар тохируулсан.

1.2 Судалгааны ажлын хамрах бүс нутаг



Зураг 1. Судалгааны талбайн хамрах бүс нутаг

2. Аргазүй:

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд дараах хоёр даалгаварыг гүйцэтгэнэ.

- Агаарын хамгийн их/бага температурыг хот, суурингаар гаргаж, прогнозыг тооцоолох арга боловсруулах

- Хөрсний хамгийн бага температурыг хот, суурингаар гаргаж, прогнозыг тооцоолох арга боловсруулах
- ЗГС нь потенциал предикторын сангаас тухай бүр шинэчлэлт хийх байдлаар предикторын сонголтыг хийнэ.

Загварын гаралтын статистик (ЗГС) арга

ЗГС зарчим нь гидродинамик прогнозын бүтээгдэхүүнүүдийг боловсруулалтын шатанд ч, практикт ч хэрэглэдэг. Энэ зарчмын сайн тал нь гидродинамик прогнозын системчилсэн алдааг предиктор, предиктантын хоорондох статистик уялдааг тогтоох явцдаа автоматаар үгүйсгэж өгдөг явдал юм. Дутагдалтай тал нь предиктор, предиктантын хооронд статистик тогтвортой уялдаа гаргахын тулд нэлээд урт цуваа шаарддаг. ЗГС-ийн үндсэн тэгшитгэлийн томъёо 1-д харуулав.

$$y = \sum_{j=1}^n (a_j \times x_j) + b \quad (1)$$

y -предиктант, a_j -коэффициент, x_j – предиктор, b -сул гишүүн

1970-аад оны эхээр ТПЗ-ын үр дүнгийн хангалттай архив бий болсонтой холбоотой Америкийн цаг уурын албанд анх Х.Р.Глан, Д.А.Ловри нар (1972) агаарын хамгийн их температур, салхины хурд, хур тунадас, үлшил зэрэг цаг агаарын үзүүлэлтүүдийн 36 цагийн прогнозад ЗГС аргыг ашиглажээ. Энэ судалгааны ажлын нэг онцлог нь цаг уурын нэлээд олон элемент, үзэгдлийг тухайлан сонгон авч судалсан байна. Үүнээс гадна цаг агаарын элемент, үзэгдлийг тухайлан сонгон авч ЗГС арга ашиглан судалсан судалгаанууд маш олон байдаг.

Үүний зэрэгцээ ЗГС болон ТП аргуудын харьцуулсан судалгаанууд ихээхэн хийгдэж, цаг агаарын элемент үзэгдлийн прогнозад ЗГС арга нь ТП аргаас илүү бодитой үр дүн өгч байна гэж дүгнэсэн байдаг. Мөн агаар мандлын динамик загварын (АМДЗ) үр дүн сайжрахад, ЗГС аргын үр дүн мөн сайжирдаг. Гэсэн хэдий ч АМДЗ байнга өөрчлөгдөн сайжруулалт хийгдэж байдаг тул ЗГС аргын регрессийн тэгшитгэлүүдээ байнга дахин боловсруулах шаардлага гардаг. Мөн өөрчлөлт хийсний дараа хангалттай урт хугацааны ТПЗ-ын үр дүнгээр архив бүрдүүлэхэд ихээхэн хугацаа шаарддаг. Энэ асуудлыг шийдэх арга замуудын нэг нь ТПЗ-т өөрчлөлт хийх бүртээ тооцоолох төхөөрөмжийн бололцоотой бол олон жилээр нөхөн бодолт хийгээд, архив бүрдүүлэх, бололцоогүй нөхцөлд ЗГС зарчимд үндэслэгдсэн хувьсах коэффициенттэй олон гишүүнт регресс (томъёо 2) эсвэл Калманы шүүлтүүрийн аргыг ашигладаг.

Тооцоолох төхөөрөмжийн хүч чадал сайтай улс орнууд ТПЗ-т өөрчлөлт хийх бүртээ нөхөн бодолтыг олон жилээр хийж, түүгээрээ архив бүрдүүлэн ЗГС аргыг ашиглаж байна.

Загварын үр дүнгийн таарцыг дүгнэх статистик үзүүлэлтүүд

$$ME = F - X \quad (2)$$

ME - дундаж алдаа, ДА

F - прогнозын утга,

X - ажиглалтын утга

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - X_i| \quad (3)$$

MAE - дундаж үнэмлэхүй алдаа, ДҮА

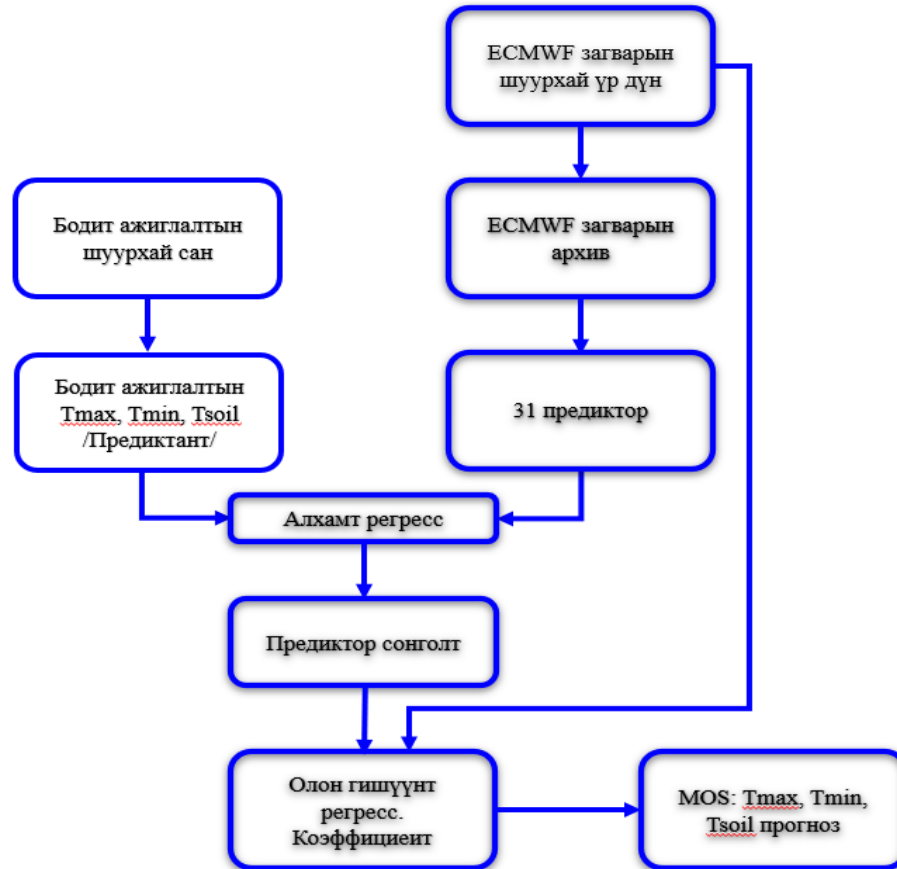
N -тохиолдлын тоо

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - X_i)^2} \quad (4)$$

RMSE-Дундаж квадрат алдаа, ДКА

2.1 Аргачлал:

Тооцооны алгоритмыг /хамгийн их, бага температурыг тооцоолох/ зураг2-т үзүүлэв. Мөн хөрсний хамгийн бага температурыг тооцоолох алгоритм мөн адилаар явагдана. Тооцоолол хийгдэх дараалалыг дараах байдлаар тайлбарлав.



Зураг2. Агаарын хамгийн их, бага температур бололон хөрсний бага температурыг 136 хот суурингаар урьдчилан мэдээлэх аргын алгоритм

1-Бодит ажиглалтын хамгийн их, бага температур. 2019 оны 1 сараас 2020 оны 12 сар хүртлэх мэдээг татаж авах.

2- ЕСMWF загварын шуурхай үр дүнгийн архиваас 2019 оны 1 сараас 2020 оны 12 сар хүртлэх мэдээг бүрдүүлнэ.

3- ЕСMWF загвар нь олон тооны гаралтын бүтээгдэхүүнүүдтэй үүнээс боломжит 31 предиктороор потенциал предикторын сан бүрдүүлнэ. (GRADS-аар хөрвүүлж авна)

4-Потенциал предикторын сангаас алхамт регрессээр хамгийн ихдээ 9 предиктор байхаар улирал бүрээр, хугацаа бүрээр, их багаар нь предиктор сонголтыг хийнэ.

5-Олон гишүүнт регрессээр коэффициентоо босгож авна.

6- Туршилтын цувааны 2021 оны 1 сараас 2022 оны 04 сар хүртлэх мэдээний архив бүрдүүлнэ.

7-Предикторуудаа улирал бүрээр, хугацаа бүрээр, хамгийн их, багаар нь NCL-ээр хөрвүүлж авна.

8-Агаарын хамгийн их, бага температурын /хөрсний хамгийн бага/ прогнозыг ЗГС арга ашиглан гаргах.

2.2 Потенциал предикторын сан

2.2.1 Предикторын сонголт

Алхамт регрессийг ашиглан потенциал предикторын сангаас (1-р хүснэгт) 136 станцаар, хамгийн их, бага температураар /хөрсний хамгийн бага температур/ өдөр бүр шинэчлэлт хийгдэх байдлаар хамгийн ихдээ 9 предиктор байхаар тохируулав.

Хүснэгт1. ECMWF /0.5°x0.5°/ мэдээнээс сонгож авсан 31-н предиктор

| Д/д | Бүтээгдэхүүний нэр | Товчлол | Үе давхрага | Тэмдэглэгээ | Нэгж |
|-----|---------------------------------------------------|---------|-------------|-------------|-------|
| 1. | Relative Divergence | RELD | 250гПа | _d_250hPa | [1/s] |
| 2. | Relative Divergence | RELD | 700гПа | _d_700hPa | [1/s] |
| 3. | Relative Divergence | RELD | 925гПа | _d_925hPa | [1/s] |
| 4. | Geopotential Height | HGT | 250гПа | _gh_250hPa | [gpm] |
| 5. | Geopotential Height | HGT | 850гПа | _gh_850hPa | [gpm] |
| 6. | Pressure mean sea level | PRESmsl | | _msl | |
| 7. | Relative Humidity | RH | 700гПа | _r_700hPa | [%] |
| 8. | Relative Humidity | RH | 850гПа | _r_850hPa | [%] |
| 9. | Temperature | TMP | | _t | [K] |
| 10. | Temperature | TMP | 250гПа | _t_250hPa | [K] |
| 11. | Temperature | TMP | 500гПа | _t_500hPa | [K] |
| 12. | Temperature | TMP | 850гПа | _t_850hPa | [K] |
| 13. | U-Component of Wind | UGRD | | _u | [m/s] |
| 14. | U-Component of Wind | UGRD | 200гПа | _u_200hPa | [m/s] |
| 15. | U-Component of Wind | UGRD | 250гПа | _u_250hPa | [m/s] |
| 16. | U-Component of Wind | UGRD | 500гПа | _u_500hPa | [m/s] |
| 17. | U-Component of Wind | UGRD | 700гПа | _u_700hPa | [m/s] |
| 18. | U-Component of Wind | UGRD | 850гПа | _u_850hPa | [m/s] |
| 19. | U-Component of Wind | UGRD | 925гПа | _u_925hPa | [m/s] |
| 20. | V-Component of Wind | VGRD | | _v | [m/s] |
| 21. | V-Component of Wind | VGRD | 200гПа | _v_200hPa | [m/s] |
| 22. | V-Component of Wind | VGRD | 250гПа | _v_250hPa | [m/s] |
| 23. | V-Component of Wind | VGRD | 500гПа | _v_500hPa | [m/s] |
| 24. | V-Component of Wind | VGRD | 700гПа | _v_700hPa | [m/s] |
| 25. | V-Component of Wind | VGRD | 850гПа | _v_850hPa | [m/s] |
| 26. | V-Component of Wind | VGRD | 925гПа | _v_925hPa | [m/s] |
| 27. | Relative Vorticity | RELV | 250гПа | _vo_250hPa | [1/s] |
| 28. | Relative Vorticity | RELV | 700гПа | _vo_700hPa | [1/s] |
| 29. | Relative Vorticity | RELV | 925гПа | _vo_925hPa | [1/s] |
| 30. | Geopotential Height | HGT | 500гПа | _gh_500hPa | [gpm] |
| 31. | Хэвтээ дэх баруун зүгт 0.5° дахь 500 гПа-ын зөрүү | | | | |

| | |
|-----------|-----------|
| Ta | Ts |
| t_250hPa | t_250hPa |
| u | t |
| t | r_850hPa |
| r_850hPa | t_500hPa |
| t_500hPa | t_850hPa |
| t_850hPa | u |
| gh_250hPa | v_200hPa |
| v_200hPa | gh_850hPa |
| vo_250hPa | vo_250hPa |

Хүснэгт2. Агаарын хамгийн их/бага температур болон хөрсний минимум температур тус бүр дээрх хамгийн их сонгогдсон эхний 9-н предиктор

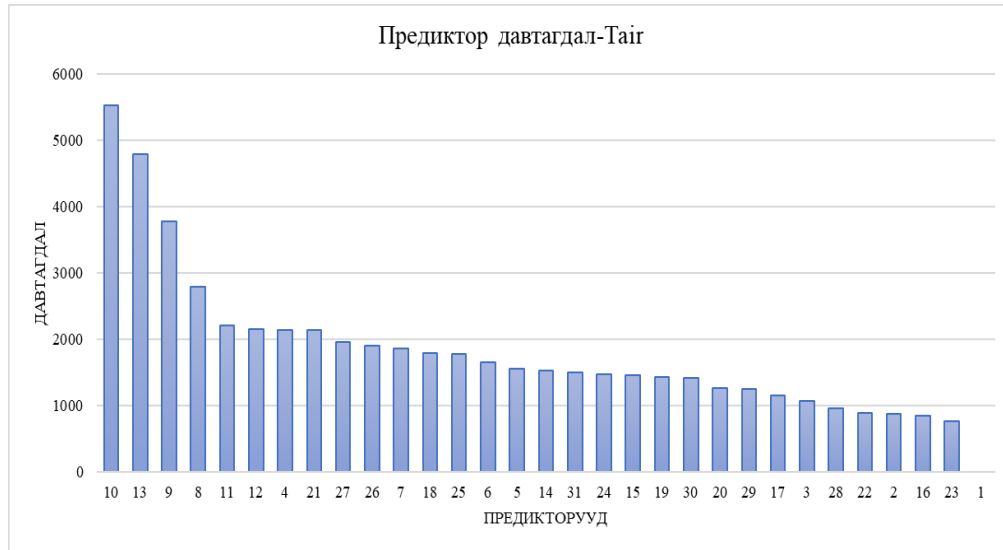
Улирал бүр дээр төлөөлөл болгон нэг хугацааны предиктор сонгонголтыг 136 станцын 144 цаг хүртэлх хугацаагаар гаргаж, давтагдлыг тооцов. Эндээс агаарын хамгийн их/бага болон хөрсний минимум температур тус бүр дээрх предикторын давтагдлыг /эхний 9 предиктор хүснэгт2/, зураг3, зураг4-т харуулав.

Хүснэгт3. Агаарын хамгийн их/бага температур болон хөрсний минимум температур тус бүр дээрх 31 предиктор бүрийн давтагдлыг улирал бүрээр

| Ta | | | | | Ts | | | | |
|-----------|------|------|------|------|-----------|-----|-----|-----|-----|
| Предиктор | DJF | JJA | MAM | SON | Предиктор | DJF | JJA | MAM | SON |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 208 | 294 | 208 | 159 | 2 | 113 | 124 | 117 | 80 |
| 3 | 279 | 330 | 239 | 220 | 3 | 137 | 133 | 123 | 109 |
| 4 | 692 | 569 | 433 | 447 | 4 | 311 | 159 | 206 | 182 |
| 5 | 259 | 505 | 497 | 300 | 5 | 186 | 402 | 258 | 190 |
| 6 | 417 | 362 | 301 | 577 | 6 | 162 | 250 | 102 | 122 |
| 7 | 482 | 386 | 420 | 569 | 7 | 202 | 277 | 177 | 143 |
| 8 | 544 | 731 | 751 | 770 | 8 | 359 | 594 | 500 | 337 |
| 9 | 758 | 1135 | 1115 | 774 | 9 | 490 | 749 | 725 | 737 |
| 10 | 1477 | 1374 | 1230 | 1445 | 10 | 761 | 743 | 822 | 816 |
| 11 | 539 | 401 | 488 | 785 | 11 | 347 | 221 | 416 | 596 |
| 12 | 448 | 775 | 540 | 397 | 12 | 176 | 546 | 462 | 314 |
| 13 | 1225 | 1131 | 1164 | 1276 | 13 | 497 | 297 | 324 | 380 |
| 14 | 530 | 372 | 281 | 346 | 14 | 285 | 132 | 136 | 136 |
| 15 | 414 | 314 | 388 | 339 | 15 | 264 | 82 | 139 | 337 |
| 16 | 148 | 309 | 249 | 136 | 16 | 131 | 125 | 166 | 128 |
| 17 | 304 | 286 | 301 | 259 | 17 | 172 | 125 | 125 | 164 |
| 18 | 437 | 385 | 576 | 389 | 18 | 181 | 89 | 180 | 205 |
| 19 | 476 | 333 | 304 | 322 | 19 | 211 | 140 | 180 | 196 |
| 20 | 482 | 269 | 239 | 278 | 20 | 217 | 99 | 113 | 139 |
| 21 | 624 | 408 | 627 | 479 | 21 | 312 | 175 | 344 | 234 |
| 22 | 223 | 395 | 154 | 114 | 22 | 138 | 265 | 103 | 129 |
| 23 | 147 | 333 | 182 | 108 | 23 | 70 | 233 | 127 | 73 |
| 24 | 396 | 523 | 372 | 181 | 24 | 106 | 306 | 187 | 111 |
| 25 | 455 | 449 | 491 | 386 | 25 | 215 | 178 | 144 | 152 |
| 26 | 590 | 364 | 478 | 467 | 26 | 267 | 156 | 213 | 188 |
| 27 | 578 | 312 | 602 | 471 | 27 | 297 | 129 | 321 | 250 |
| 28 | 186 | 279 | 305 | 191 | 28 | 107 | 117 | 101 | 82 |
| 29 | 254 | 342 | 342 | 319 | 29 | 132 | 131 | 136 | 105 |
| 30 | 450 | 322 | 287 | 354 | 30 | 271 | 146 | 180 | 160 |
| 31 | 343 | 390 | 449 | 315 | 31 | 126 | 151 | 95 | 97 |

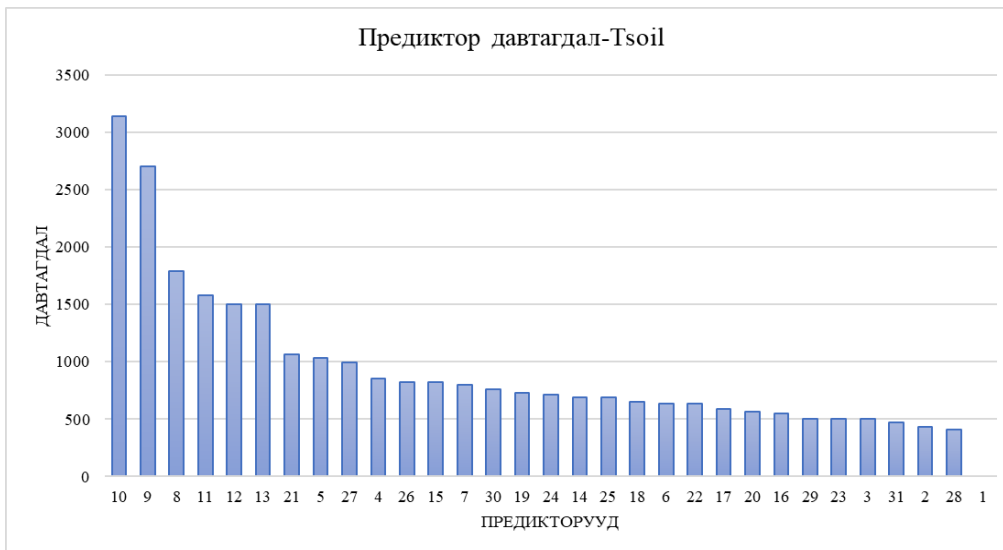
Хүснэгт3-т улирал бүр дээрх 31-н предикторын давтагдлыг агаарын болон хөрсний температур тус бүрээр гаргав. Хүснэгтээс харахад 1,2,3,16,22,23,28,29 дугаартай предикторууд хамгийн бага сонголттой байна. Цэнхэр өнгөөр хамгийн их давтагдалтай

предикторуудыг тодруулав. Хүснэгтээс харахад улирал бүр дээр агаар болон хөрсний температурын предиктор сонголтууд ойролцоо байна.



Зураг3. Агаарын хамгийн их/бага температур дээрх предикторын давтагдал

Зураг 3,4-өөс хамгийн их давтагдсан предиктороор 250гПа-н температур сонгогдсон бөгөөд агаарын хамгийн их/бага температурын хувьд хамгийн ихдээ 5526 удаа, хөрсний минимум температурын хувьд 3142 удаа сонгогдсон байна. Агаар болон хөрсний температур тус бүр дээрх предиктор сонголтууд нь ерөнхийдөө ойролцоо бөгөөд дараалал нь харилцан адилгүй байна.

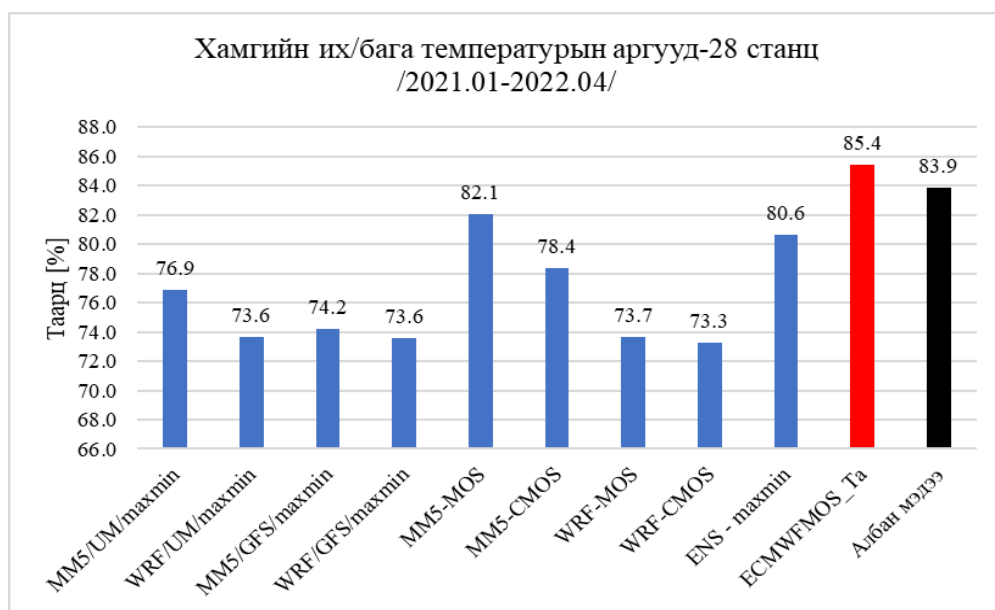


Зураг4. Хөрсний минимум температур дээрх предикторын давтагдал

3. Үр дүн1: Агаарын хамгийн их/бага температурын арга-ECMWF-MOS-Та

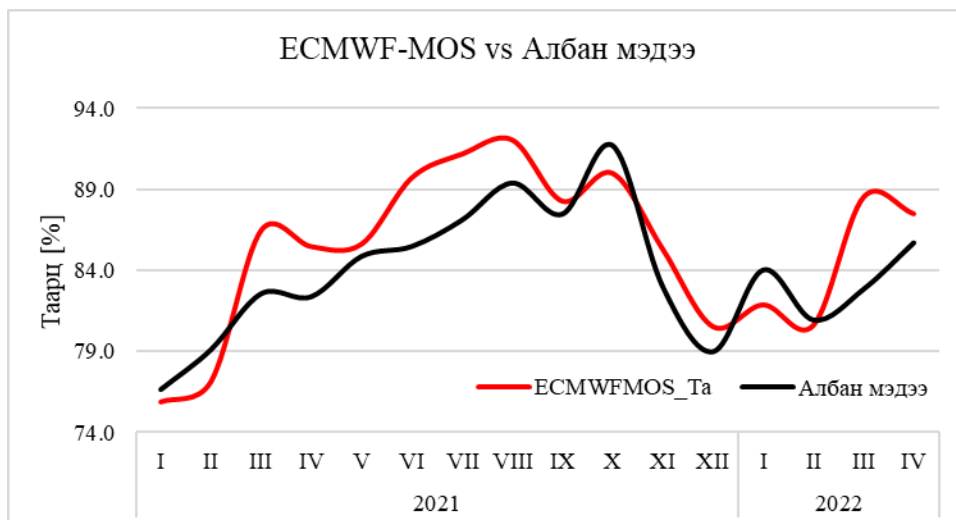
Хүснэгт 4. Агаарын хамгийн их/бага температурын аргуудын таарц-28 станцаар

| Он | Сар | Аргууд | | | | | | | | | ECMWF MOS_Ta | Албан мэдээ |
|--------|------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | | MM5/UM/ maxmin | WRF/UM/ maxmin | MM5/GFS /maxmin | WRF/GFS /maxmin | MM5- MOS | MM5- CMOS | WRF- MOS | WRF- CMOS | ENS - maxmin | | |
| 2021 | I | 69.9 | 66.5 | 68.9 | 63.5 | 76.1 | 74.0 | 79.2 | 75.5 | 73.5 | 75.9 | 76.6 |
| | II | 71.6 | 64.1 | 68.7 | 65.5 | 72.6 | 73.8 | 79.6 | 79.6 | 75.0 | 77.2 | 79.1 |
| | III | 76.8 | 70.4 | 73.1 | 69.3 | 82.6 | 74.6 | 83.1 | 77.6 | 75.9 | 86.5 | 82.6 |
| | IV | 74.0 | 72.9 | 72.8 | 74.6 | 80.1 | 75.9 | 82.5 | 79.1 | 84.0 | 85.5 | 82.4 |
| | V | 76.2 | 76.1 | 75.1 | 78.2 | 82.0 | 79.0 | 80.8 | 77.4 | 80.3 | 85.6 | 84.9 |
| | VI | 79.0 | 73.3 | 74.3 | 75.8 | 87.4 | 83.6 | 80.3 | 73.5 | 79.9 | 89.7 | 85.5 |
| | VII | 80.5 | 75.1 | 77.5 | 76.8 | 86.6 | 84.9 | 82.7 | 78.2 | 87.4 | 91.2 | 87.1 |
| | VIII | 82.4 | 80.3 | 79.7 | 77.9 | 87.3 | 84.0 | 84.5 | 80.2 | 88.9 | 92.1 | 89.4 |
| | IX | 76.5 | 78.4 | 71.6 | 73.1 | 81.5 | 75.2 | 71.8 | 66.1 | 78.8 | 88.3 | 87.5 |
| | X | 82.6 | 84.7 | 82.9 | 84.8 | 87.7 | 85.9 | 77.6 | 80.4 | 90.8 | 90.0 | 91.7 |
| | XI | 74.4 | 76.1 | 70.7 | 74.7 | 81.4 | 79.1 | 63.1 | 70.4 | 76.6 | 85.3 | 83.0 |
| | XII | 74.1 | 69.1 | 71.8 | 68.9 | 76.0 | 72.3 | 54.5 | 61.5 | 76.7 | 80.5 | 79.0 |
| 2022 | I | 77.2 | 68.8 | 74.0 | 72.1 | 82.8 | 80.1 | 53.3 | 69.8 | 77.3 | 81.9 | 84.0 |
| | II | 79.1 | 72.3 | 77.5 | 72.1 | 81.9 | 75.8 | 67.0 | 66.6 | 80.1 | 80.6 | 80.9 |
| | III | 79.1 | 72.3 | 77.5 | 72.3 | 81.9 | 75.8 | 67.0 | 66.6 | 80.1 | 88.5 | 82.8 |
| | IV | 76.1 | 77.7 | 71.5 | 77.7 | 84.9 | 80.0 | 71.7 | 70.3 | 84.5 | 87.5 | 85.7 |
| Дундаж | | 76.9 | 73.6 | 74.2 | 73.6 | 82.1 | 78.4 | 73.7 | 73.3 | 80.6 | 85.4 | 83.9 |



Зураг5. Агаарын хамгийн их/бага температурын аргуудын дундаж таарц-28 станцаар

Хүснэгт4, зураг5-т 28 станцын 16 сарын дундажаар гаргасан 5 хоногийн хамгийн их/бага температурын аргуудын таарцыг албан мэдээтэй харьцуулж үзэхэд албан мэдээний дундаж таарц 83.9%, ECMWF-MOS-Ta-н дундаж таарц 85.4%-тай буюу албан мэдээнээс 1.5%-иар дээгүүр бөгөөд бусад аргуудаас хамгийн өндөр таарцтай байна. ECMWF-MOS-Ta аргын 2021 оны дундаж таарцыг авч үзэхэд 85.6%, ДА -0.20, ДҮА 1.95, ДКА 2.47 байна. 2022 оны эхний 4-н сарын дундаж таарц 84.6%, ДА -0.07, ДҮА 2.01, ДКА 2.53 байв.



Зураг6. Агаарын хамгийн их/бага температурын арга ECMWF-MOS-Та-г албан мэдээтэй харьцуулалт /28 станц/

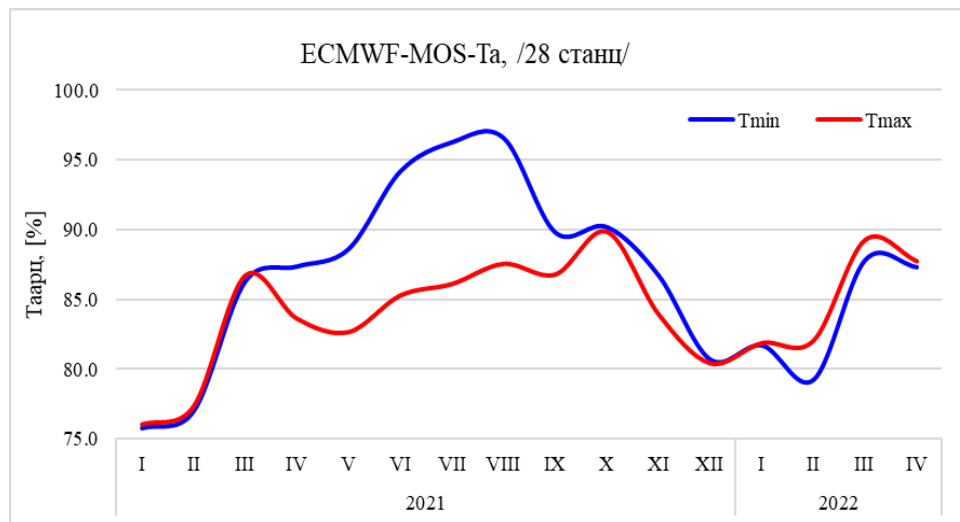
Зураг6-т 5 хоногийн дундажаар өвлийн 1,2-р сарууд болон 10-р сард албан мэдээний таарц 0.7-2.1%-иар өндөр байгаа бол бусад хугацаанд ECMWF-MOS-Та аргын таарц албан мэдээнээс дээгүүр байна. Зуны саруудад ECMWF-MOS-Та аргын таарц албан мэдээнээс 2.6-4.2%-иар дээгүүр байна. Хамгийн ихдээ 2022 оны 3-р сард тус арга нь албан мэдээнээс 5.7%-иар өндөр таарцтай прогнозлосон байна.

Хүснэгт5. ECMWF-MOS-Та аргын агаарын хамгийн их/бага температурын таарц, алдаа /28 станц, 5 хоног/

| Хугацаа | | Tmin | | | | Tmax | | | |
|---------|------|-------|------|------|-------|-------|------|------|-------|
| | | ME | MAE | RMSE | Таарц | ME | MAE | RMSE | Таарц |
| 2021 | I | -0.45 | 2.45 | 3.08 | 75.7 | -0.64 | 2.49 | 3.14 | 76.1 |
| | II | -1.28 | 2.45 | 3.05 | 77.0 | -1.06 | 2.46 | 3.04 | 77.4 |
| | III | -0.42 | 1.91 | 2.37 | 86.3 | -0.23 | 1.93 | 2.59 | 86.7 |
| | IV | -0.74 | 1.88 | 2.39 | 87.4 | 0.02 | 2.09 | 2.79 | 83.6 |
| | V | 0.15 | 1.81 | 2.31 | 88.6 | 0.31 | 2.14 | 2.77 | 82.7 |
| | VI | 0.08 | 1.46 | 1.84 | 94.2 | 0.19 | 1.95 | 2.56 | 85.3 |
| | VII | 0.01 | 1.3 | 1.62 | 96.3 | 0.19 | 1.92 | 2.45 | 86.1 |
| | VIII | 0.12 | 1.31 | 1.62 | 96.6 | 0.53 | 1.79 | 2.33 | 87.5 |
| | IX | 0.06 | 1.74 | 2.2 | 89.8 | 0.5 | 1.88 | 2.41 | 86.8 |
| | X | -0.93 | 1.68 | 2.12 | 90.2 | -1.14 | 1.76 | 2.14 | 89.8 |
| | XI | 0.16 | 1.85 | 2.33 | 86.7 | 0.35 | 2.02 | 2.59 | 83.9 |
| | XII | -0.21 | 2.23 | 2.77 | 80.7 | -0.23 | 2.22 | 2.77 | 80.4 |
| 2022 | I | 0.44 | 2.2 | 2.72 | 81.7 | -0.06 | 2.15 | 2.68 | 81.9 |
| | II | 0.2 | 2.28 | 2.79 | 79.2 | -0.21 | 2.14 | 2.65 | 82.0 |
| | III | 0.15 | 1.91 | 2.4 | 87.8 | -0.2 | 1.72 | 2.24 | 89.2 |
| | IV | -0.67 | 1.88 | 2.35 | 87.3 | -0.21 | 1.78 | 2.4 | 87.7 |
| Дундаж | | -0.21 | 1.90 | 2.37 | 86.6 | -0.12 | 2.03 | 2.60 | 84.2 |

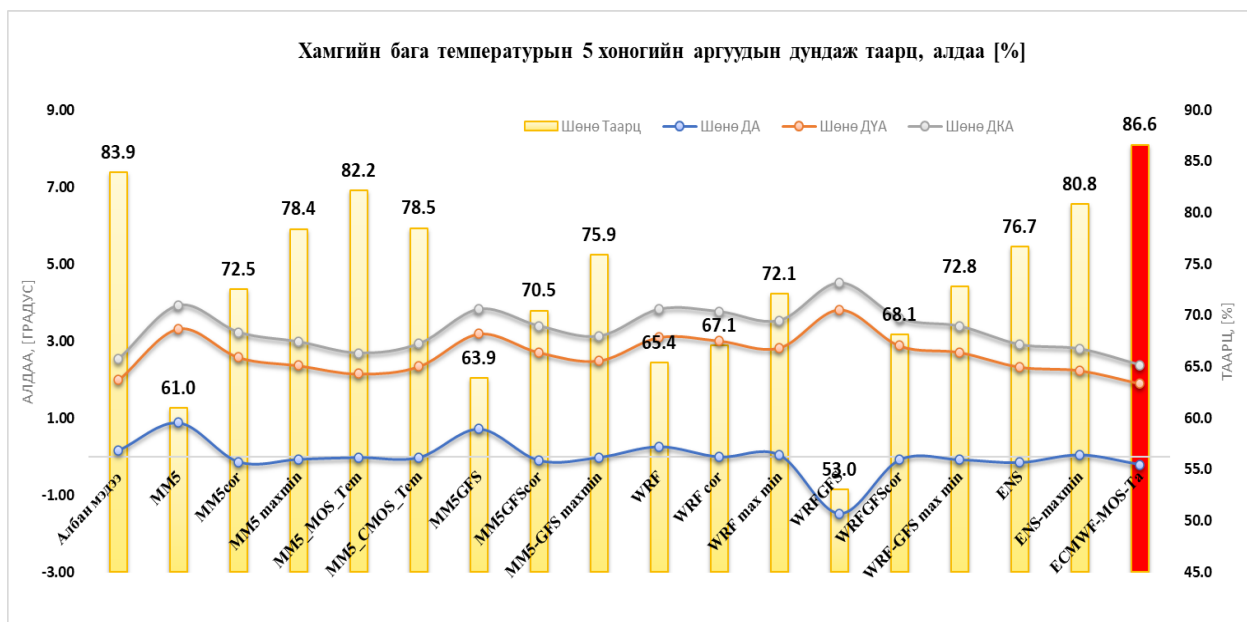
Тус аргын хамгийн их температурын хувьд 2021 оны дундаж таарцыг авч үзэхэд 83.8%, ДА -0.10, ДҮА 2.05, ДКА 2.63, 2022 оны эхний 4-н сарын дундаж таарц 84.6%, ДА -0.17, ДҮА 1.95, ДКА 2.49 байв. Харин хамгийн бага температурын хувьд 2021 оны дундаж таарцыг авч үзэхэд 87.5%, ДА -0.29, ДҮА 1.84, ДКА 2.31, 2022 оны эхний 4-н сарын дундаж

таарц 84.0%, ДА 0.03, ДҮА 2.07, ДКА 2.57 байв. Нийт хугацааны дундажаар хамгийн их температурын хувьд 84.2%, хамгийн бага температурын хувьд 86.6%-н таарцтай байна.



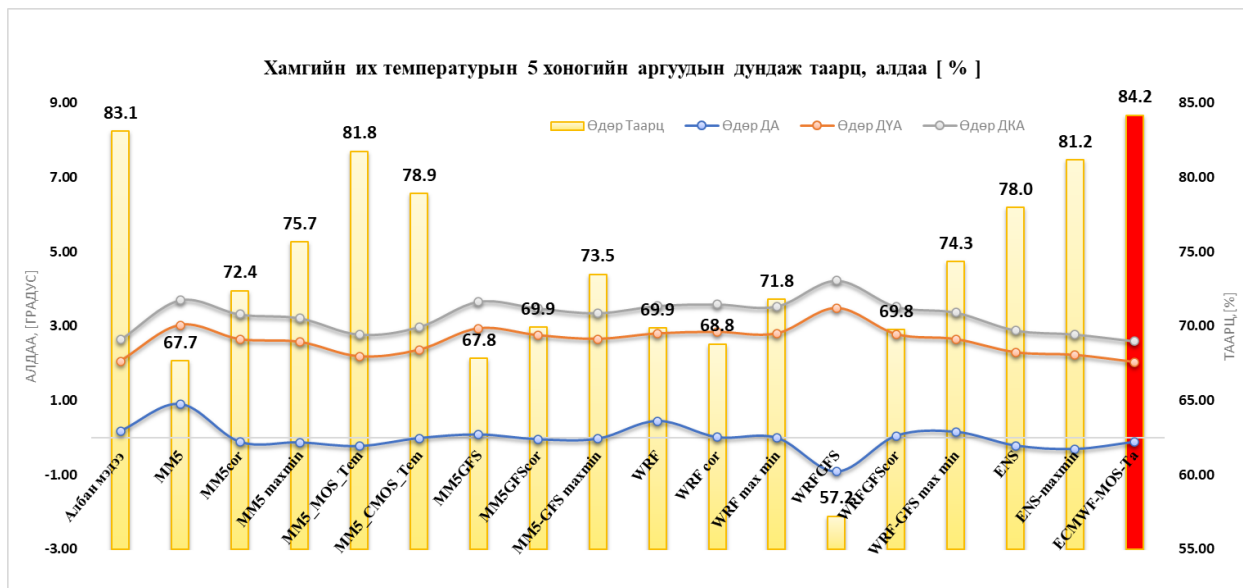
Зураг7. ECMWF-MOS-Ta аргын агаарын хамгийн их/бага температурын харьцуулалт /28 станц, 5 хоног /

Тус аргын агаарын хамгийн их/бага температурын харьцуулалтаас харахад дулааны улиралд хамгийн бага температурын таарц өндөр байна. Ялангуяа 6,7,8-р сарууд 8.9-10.2%-иар дээгүүр байна /зураг7/.



Зураг8. Агаарын хамгийн бага температурын 5 хоногийн арга, загваруудын дундаж таарц болон алдаа - 28 станц

Зураг8,9-өөс харахад 2021 оны 1-р сараас 2022 оны 4-р сар хүртэл хамгийн бага алдаатай, өндөр таарцтай нь ECMWF-MOS-Ta арга байгаа нь сайшаалтай бөгөөд албан мэдээнээс хамгийн бага температурын хувьд 2.7%, хамгийн их температурын хувьд 1.1%-р дээгүүр таарцтай байна.

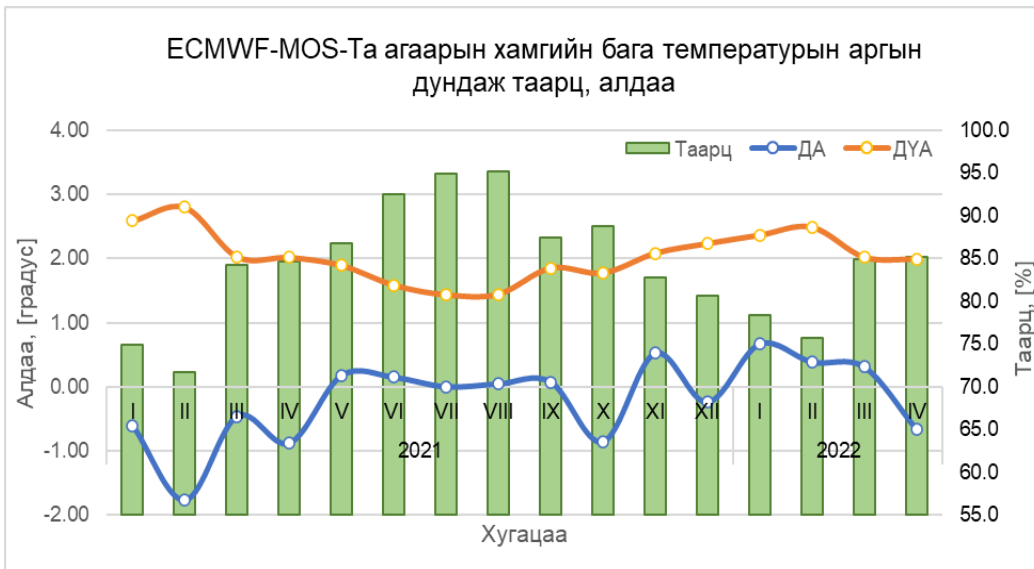


Зураг9. Агаарын хамгийн их температурын 5 хоногийн арга, загваруудын дундаж таарц болон алдаа-28 станц

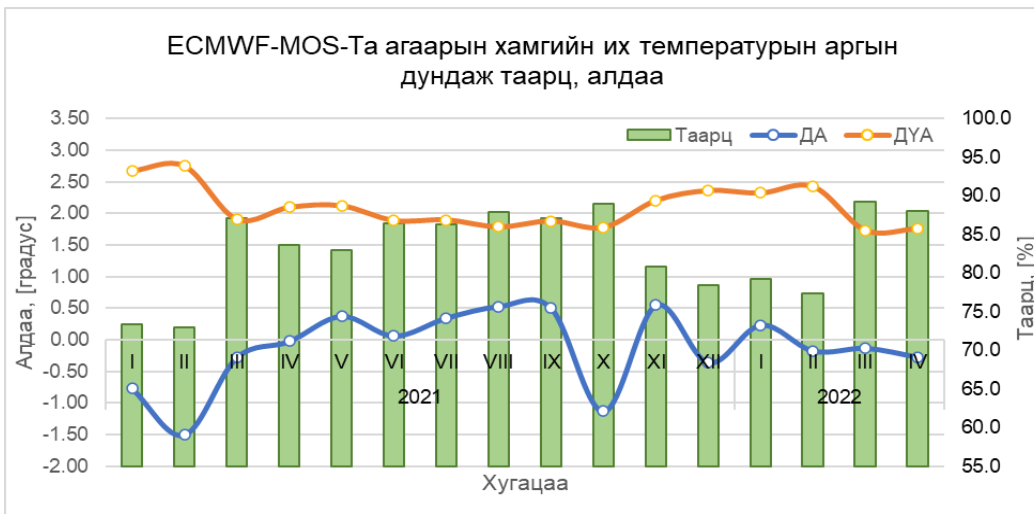
ECMWF-MOS-Та агаарын хамгийн бага температурын аргын дундаж таарцыг гаргахдаа 136 станцаар тооцов.

Хүснэгт5. ECMWF-MOS-Та аргын агаарын хамгийн их температурын аргын таарц, алдаа /136 станц, 5 хоног/

| Хугацаа | | Tmin | | | Tmax | | |
|---------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| | | ДА | ДҮА | Таарц | ДА | ДҮА | Таарц |
| 2021 | I | -0.60 | 2.59 | 74.9 | -0.76 | 2.67 | 73.4 |
| | II | -1.77 | 2.80 | 71.7 | -1.50 | 2.75 | 73.0 |
| | III | -0.46 | 2.03 | 84.3 | -0.28 | 1.91 | 87.1 |
| | IV | -0.88 | 2.02 | 84.7 | -0.02 | 2.09 | 83.6 |
| | V | 0.18 | 1.89 | 86.8 | 0.38 | 2.12 | 83.0 |
| | VI | 0.15 | 1.59 | 92.5 | 0.06 | 1.89 | 86.4 |
| | VII | 0.00 | 1.43 | 94.9 | 0.35 | 1.90 | 86.3 |
| | VIII | 0.05 | 1.44 | 95.2 | 0.53 | 1.79 | 87.9 |
| | IX | 0.08 | 1.85 | 87.4 | 0.50 | 1.88 | 87.2 |
| | X | -0.86 | 1.78 | 88.7 | -1.13 | 1.78 | 88.9 |
| | XI | 0.53 | 2.08 | 82.8 | 0.55 | 2.20 | 80.8 |
| | XII | -0.24 | 2.24 | 80.7 | -0.36 | 2.36 | 78.5 |
| 2022 | I | 0.67 | 2.37 | 78.4 | 0.24 | 2.32 | 79.3 |
| | II | 0.39 | 2.49 | 75.8 | -0.17 | 2.42 | 77.4 |
| | III | 0.31 | 2.02 | 84.9 | -0.13 | 1.73 | 89.3 |
| | IV | -0.66 | 1.99 | 85.2 | -0.27 | 1.76 | 88.0 |
| Дундаж | | -0.19 | 2.04 | 84.3 | -0.13 | 2.10 | 83.1 |



Зураг 10. ECMWF-MOS-Ta аргын 5 хоногийн агаарын хамгийн бага температурын таарц, алдаа /136 станц, 5 хоног/



Зураг 11. ECMWF-MOS-Ta аргын 5 хоногийн агаарын хамгийн бага температурын таарц, алдаа /136 станц, 5 хоног/

Тус аргын 2021 оны 1-р сараас 2022 оны 4-р сар хүртэлх хугацааны алдаа болон таарцыг 136 станцаар авч үзэхэд агаарын хамгийн бага температурын хувьд ДА -0.19, ДҮА 2.04, таарц нь 84.3%, агаарын хамгийн их температурын хувьд ДА -0.13, ДҮА 2.10, таарц нь 83.1%-тай байна.

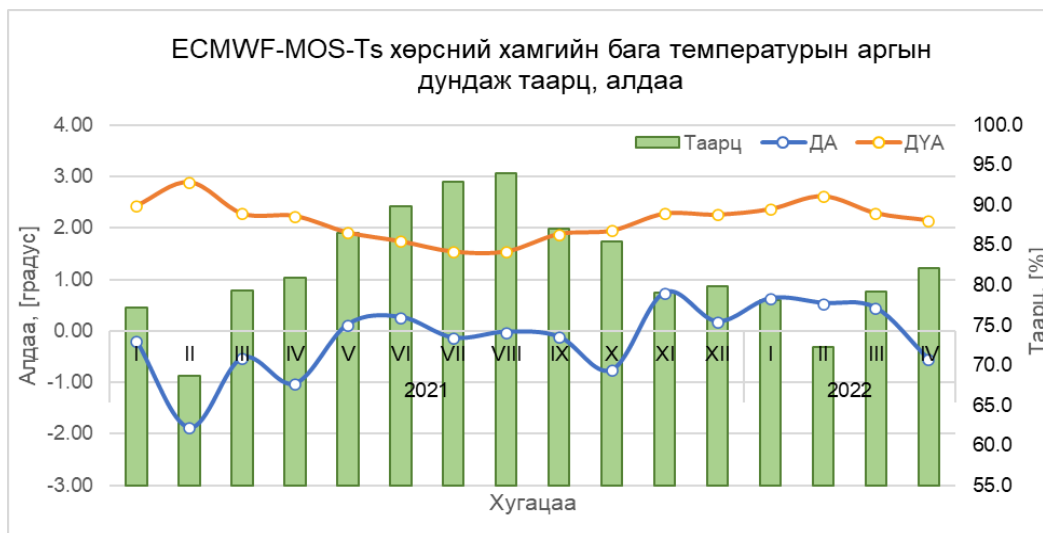
3.1 Үр дүн2: Хөрсний хамгийн бага температурын арга-ECMWF-MOS-Ts

ECMWF-MOS-Ts хөрсний хамгийн бага температурын аргын дундаж таарцыг гаргахдаа 136 станцаар тооцов.

Хүснэгт5. ECMWF-MOS-Ts аргын хөрсний хамгийн их температурын аргын таарц, алдаа /136 станц, 5 хоног/

| Хугацаа | | Tmin | | |
|---------|------|-------|------|-------|
| | | ДА | ДҮА | Таарц |
| 2021 | I | -0.20 | 2.45 | 77.1 |
| | II | -1.87 | 2.90 | 68.7 |
| | III | -0.52 | 2.29 | 79.3 |
| | IV | -1.02 | 2.24 | 81.0 |
| | V | 0.13 | 1.92 | 86.5 |
| | VI | 0.27 | 1.75 | 89.9 |
| | VII | -0.13 | 1.55 | 93.0 |
| | VIII | -0.02 | 1.55 | 93.9 |
| | IX | -0.11 | 1.89 | 87.0 |
| | X | -0.76 | 1.96 | 85.4 |
| | XI | 0.74 | 2.29 | 79.0 |
| | XII | 0.18 | 2.27 | 79.8 |
| 2022 | I | 0.63 | 2.38 | 78.2 |
| | II | 0.54 | 2.63 | 72.3 |
| | III | 0.45 | 2.30 | 79.2 |
| | IV | -0.55 | 2.16 | 82.1 |
| Дундаж | | -0.14 | 2.16 | 82.0 |

Тус аргын 2021 оны 1-р сараас 2022 оны 4-р сар хүртэлх хугацааны алдаа болон таарцыг 136 станцаар авч үзэхэд хөрсний хамгийн бага температурын хувьд ДА -0.14, ДҮА 2.16, таарц нь 82.0%-н таарцтай байна.



Зураг10. ECMWF-MOS-Ts аргын 5 хоногийн хөрсний хамгийн бага температурын таарц, алдаа /136 станц, 5 хоног/

136 станцаар ECMWF-MOS-Ts аргын 5 хоногийн хөрсний хамгийн бага температурын таарц, алдааг зураг10-т үзүүлэв. 6,7,8-р саруудад буюу зуны саруудад алдаа багатай, таарц хамгийн өндөртэй буюу 89.9-93.9%-тай байна. Хүйтний улиралд алдаа ихсэж, таарц буурч байна.

4. Дүгнэлт:

Үр дүн1-д агаарын хамгийн их/бага температурын 5 хоногийн арга болох ECMWF-MOS-Ta-гийн таарц, статистик алдаа зэргийг сар тутмаар, 28 болон 136 станцаар гаргасан. Мөн гарсан үр дүнг албан мэдээ болон бусад хамгийн их/бага температурын аргуудтай харьцуулалт хийв. Эндээс үзэхэд албан мэдээний 28 станцын дундаж таарц 83.9%, ECMWF-MOS-Ta-н дундаж таарц 85.4%-тай буюу албан мэдээнээс 1.5%-иар дээгүүр бөгөөд бусад аргуудаас хамгийн өндөр таарцтай байна. Нийт хугацааны дундажаар хамгийн их температурын хувьд 84.2%, хамгийн бага температурын хувьд 86.6%-н таарцтай байна. 136 станцын хувьд ECMWF-MOS-Ta-н дундаж таарц 83.7%-тай бөгөөд агаарын хамгийн бага температурын хувьд ДА -0.19, ДҮА 2.04, таарц нь 84.3%, агаарын хамгийн их температурын хувьд ДА -0.13, ДҮА 2.10, таарц нь 83.1%-тай байна.

Үр дүн2-д хөрсний хамгийн бага температурын 5 хоногийн арга болох ECMWF-MOS-Ts-ийн таарц, статистик алдаа зэргийг сар тутмаар, 136 станцаар гаргав. Тус арга нь зөвхөн хөрсний минимум температурын прогнозыг гаргадаг бөгөөд ДА -0.14, ДҮА 2.16, таарц нь 82.0%-н таарцтай байна. Тус аргын хувьд хамгийн бага таарцтай сар нь 2021 оны 3-р сар бөгөөд 68.7%-тай, хамгийн өндөр таарцтай сар нь 2021 оны 8-р сар 93.9%-н таарцтай байна.

Ерөнхийдөө туршилтын хугацаанд ECMWF-MOS-Ta арга-84.2%, ECMWF-MOS-Ts арга-82.6%-н таарцтай гарсан тул энэхүү 2 аргын үр дүнд үндэслэн шуурхай үйлчилгээнд туршилтаар 2022 оны 05-р сарын 17-нд оруулсан.

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| MM5 загварын үр дүнгээс тооцоолсон Агаарын хамгийн их, бага Температурын прогноз. | Станц, харуул | |
| WRF загварын үр дүнгээс тооцоолсон Агаарын хамгийн их, бага Температурын прогноз. | Станц, харуул | |
| WRF(GFS) загварын үр дүнгээс тооцоолсон Агаарын хамгийн их, бага Температурын прогноз. | Станц, харуул | |
| MM5 Grid MOS Агаарын хамгийн их, бага температурын 6 хоногийн үр дүн (Зургаар) | Мах Температур | Min Температур |
| MM5 загварын үр дүнгээс UMOS аргаар тооцоолсон Агаарын хамгийн их, бага Температурын прогноз. | Бүх станц | 28 Станц |
| MM5 UMOS аргын Агаарын хамгийн их, бага Температурын прогнозын засварласан утга (MM5 CMOS). | Бүх станц | 28 Станц |
| Загваруудаас тооцоолсон температурын ансамбль прогнозын үр дүн. (3 цагийн нарийвчлалтай) | Бүх станц | 28 Станц |
| Ансамбль прогнозын үр дүнгээс тооцоолсон агаарын хамгийн их, бага температурын прогноз. *Шинэ* | Бүх станц | 28 Станц |
| ECMWF UMOS /Ta/ аргаар тооцоолсон Агаарын хамгийн их, бага Температурын прогноз. *Шинэ, туршилтаар* | Бүх станц | 28 Станц |
| ECMWF UMOS /Ts/ аргаар тооцоолсон Хөрсний хамгийн бага Температурын прогноз. *Шинэ, туршилтаар* | Бүх станц | 28 Станц |
| WRF загварын үр дүнгээс тооцоолсон 1827 багийн, 5 хоногийн прогноз. (Багуудын прогноз) | | |

Зураг 11. Шуурхай үйлчилгээнд ашигладаг хамгийн их/бага температурын прогнозын аргууд

Улаан өнгөөр шинээр туршилтанд оруулсан аргуудын прогнозыг үзүүлэв. Прогнозын утгыг бүх станц болон 28 станцаар ялган харах боломжтой юм.

ECMWF_MOS_Ta

Агаарын хамгийн их, бага температурын 5 хоногийн прогнозын 1р дүн

| [Загварын эхлэлийн хугацаа: 2022-08-11-ны 20:00 цаг (УБ-ын цагаар)] | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Sname | Sind | TMin (1) | TMax (1) | TMin (2) | TMax (2) | TMin (3) | TMax (3) | TMin (4) | TMax (4) | TMin (5) | TMax (5) |
| Улаанбаатар | 292 | 13.4 | 22.7 | 12.9 | 18.3 | 10.8 | 23.7 | 13.3 | 27.9 | 11.7 | 21.1 |
| Багануур | 296 | 10 | 20.6 | 11.9 | 17.1 | 10.5 | 22.4 | 8.3 | 23.2 | 9.6 | 22.3 |
| Сэлгий | 214 | 12.5 | 22.3 | 11.6 | 23.8 | 11.1 | 24.2 | 11.3 | 21.6 | 6.8 | 19.5 |
| Улаангом | 212 | 13.7 | 23.7 | 12.1 | 24.8 | 12.7 | 23.6 | 11.3 | 20.1 | 9.4 | 20.5 |
| Улиастай | 272 | 12.5 | 20.6 | 8.5 | 21.8 | 7.9 | 25.2 | 8.8 | 22.3 | 9.4 | 21.4 |
| Тосонцэнгэл | 225 | 9.2 | 20.2 | 8.9 | 20.2 | 6 | 24.8 | 7.2 | 19.8 | 5.2 | 22 |
| Ховд | 218 | 15.3 | 26.4 | 13.1 | 27.3 | 11.6 | 28.1 | 13.1 | 24.5 | 7.6 | 24.2 |
| Алтай | 277 | 9.4 | 19.7 | 9 | 19.8 | 8 | 23.1 | 9.9 | 20.2 | 7.7 | 19.8 |
| Баянхонгор | 287 | 16.3 | 21.9 | 10.9 | 24.3 | 10.7 | 25.3 | 12.4 | 27.2 | 11.1 | 24.5 |
| Мерен | 231 | 12.4 | 21.6 | 12.1 | 22.8 | 10.4 | 25.9 | 11.5 | 22.1 | 7.9 | 21.9 |
| Хатгал | 207 | 7.9 | 16.9 | 8.5 | 18.6 | 5.2 | 20.9 | 5.9 | 14.4 | 2.4 | 15.6 |
| Цэцэрлэг | 282 | 11.6 | 19 | 10.7 | 21.3 | 8.8 | 24.3 | 10.8 | 21.1 | 8.2 | 18.3 |
| Арвайхээр | 288 | 12.6 | 17.6 | 11.6 | 22.4 | 11.4 | 24 | 11.5 | 25.9 | 10.3 | 19.2 |
| Хархорин | 330 | 12.7 | 19.2 | 11.8 | 21.3 | 11.2 | 24.8 | 13 | 26.2 | 9.7 | 21.2 |
| Булган | 239 | 10.4 | 20.6 | 12.1 | 19.7 | 9.2 | 25.6 | 11.8 | 22.1 | 7.7 | 20.6 |
| Сүхбаатар | 240 | 13.6 | 24.2 | 14.7 | 23.5 | 12.9 | 26.3 | 14.7 | 22.9 | 10.9 | 21.5 |
| Зуунмод | 290 | 11.9 | 18.5 | 10.3 | 16.5 | 9 | 21.9 | 12.1 | 24.5 | 9.3 | 18 |
| Дархан | 244 | 14.6 | 24 | 15.3 | 22.3 | 12.8 | 27.1 | 13.5 | 25.5 | 11.3 | 22.3 |
| Эрдэнэт | 236 | 11.7 | 20 | 11 | 18.3 | 9.4 | 24.1 | 11.9 | 20 | 8.8 | 19.4 |
| Чойр | 298 | 14.7 | 21.8 | 12.9 | 21.5 | 11 | 24.7 | 13.2 | 28.4 | 13.7 | 24.6 |
| Ёндорхаан | 304 | 11.3 | 26.6 | 14.8 | 19.2 | 12.6 | 23.8 | 12.1 | 28.2 | 12.4 | 24.9 |
| Чойбалсан | 259 | 12.7 | 27.3 | 15 | 21.7 | 13.6 | 25.1 | 13.7 | 26.7 | 13.9 | 27.2 |
| Баруун-Урт | 305 | 14.8 | 27.8 | 14.4 | 21.6 | 12.3 | 23.8 | 13.6 | 26.6 | 14.2 | 28 |
| Мандалговь | 341 | 15.6 | 21 | 14.4 | 23.5 | 11.5 | 24.3 | 12.8 | 28.8 | 13.5 | 25.8 |
| Даланзадгад | 373 | 18.3 | 29.4 | 16.4 | 28.5 | 15.8 | 28.1 | 18.6 | 31.1 | 18.8 | 29.5 |
| Ханбогд | 385 | 20.5 | 32.4 | 21.6 | 31 | 17.7 | 29 | 19.1 | 32 | 22 | 31.8 |
| Сайншанд | 354 | 19 | 31.1 | 18.4 | 27.3 | 15.7 | 27.3 | 16.6 | 29.3 | 19.1 | 33.3 |
| Замын-Үд | 358 | 17.7 | 30.3 | 18.9 | 29.2 | 16.4 | 27.7 | 15.7 | 29.1 | 18.1 | 31.7 |

ECMWF_MOS_Ts

Хүрэнний хамгийн бага температурын 5 хоногийн прогнозын 2р дүн

| [Эхлэлийн хугацаа: 2022-08-11-ны 20:00 цаг (УБ-ын цагаар)] | | | | | | |
|------------------------------------------------------------|------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Sname | Sind | TMin (1) | TMin (2) | TMin (3) | TMin (4) | TMin (5) |
| Улаанбаатар | 292 | 11.1 | 11.6 | 9.8 | 10.8 | 8.7 |
| Багануур | 296 | 9.3 | 11.8 | 9.2 | 7.6 | 8.5 |
| Сэлгий | 214 | 10.6 | 9.8 | 10 | 10 | 5.6 |
| Улаангом | 212 | 13.3 | 11.2 | 11.8 | 10.6 | 9.4 |
| Улиастай | 272 | 11.2 | 7.3 | 6.2 | 7.6 | 8 |
| Тосонцэнгэл | 225 | 7.8 | 9.3 | 5.3 | 5.9 | 3.7 |
| Ховд | 218 | 15 | 11.7 | 10 | 12.4 | 6.2 |
| Алтай | 277 | 9.2 | 6.9 | 5 | 6.6 | 5.8 |
| Баянхонгор | 287 | 14.2 | 9.4 | 9.4 | 10.4 | 10.4 |
| Мерен | 231 | 12.7 | 12.9 | 9.3 | 10.6 | 7.3 |
| Хатгал | 207 | 5.6 | 7.5 | 3 | 4.8 | 1.3 |
| Цэцэрлэг | 282 | 11.1 | 9.6 | 6.8 | 8.3 | 6.6 |
| Арвайхээр | 288 | 12.5 | 10.6 | 8.1 | 8.8 | 8.4 |
| Хархорин | 330 | 12.9 | 9.5 | 9 | 11.5 | 9.1 |
| Булган | 239 | 10.8 | 11.9 | 8.3 | 10.9 | 8.9 |
| Сүхбаатар | 240 | 13.2 | 14.5 | 11.4 | 13.5 | 9.8 |
| Зуунмод | 290 | 8.3 | 10.6 | 8 | 8.3 | 8.8 |
| Дархан | 244 | 14.8 | 15.7 | 12.6 | 13.9 | 11 |
| Эрдэнэт | 236 | 10.1 | 10.6 | 8.4 | 10.4 | 7.8 |
| Чойр | 298 | 12.9 | 13.1 | 10.6 | 11.3 | 12.3 |
| Ёндорхаан | 304 | 11.7 | 14.6 | 11.8 | 11.1 | 11.8 |
| Чойбалсан | 259 | 11.5 | 14.6 | 12.8 | 13.4 | 13.4 |
| Баруун-Урт | 305 | 12.6 | 14.9 | 12.2 | 12.2 | 12.9 |
| Мандалговь | 341 | 14.3 | 14 | 11.2 | 11.5 | 12.2 |
| Даланзадгад | 373 | 20.3 | 18.1 | 14.7 | 18.8 | 19.3 |
| Ханбогд | 385 | 19.9 | 21 | 16.7 | 17.3 | 20.4 |
| Сайншанд | 354 | 17.2 | 18.3 | 15.3 | 14.9 | 17 |
| Замын-Үд | 358 | 16.6 | 18.5 | 15.9 | 14.8 | 16.4 |

Зураг 12. Шинээр туршилтанд орсон аргууд нь харагдах байдал

Зураг 12-д ECMWF-MOS-Ta болон ECMWF-MOS-Ts аргуудын 5 хоногийн прогнозыг 28 станцаар харуулав.