

Улсын бүртгэлийн дугаар

.....

Нууцын зэрэглэл: Б

Аравтын бүрэн
ангилалын код

**УС ЦАГ УУР, ОРЧНЫ СУДАЛГАА, МЭДЭЭЛЛИЙН
ХҮРЭЭЛЭН**

**“ЦАГ АГААР, УУР АМЬСГАЛЫН ГАМШИГТ
ҮЗЭГДЭЛ-БЭСРЭГ БОЛОН БИЧИЛ
ХЭМЖЭЭСТ ЗАГВАРЧЛАЛ БОЛОВСРУУЛАХ”**

**Шинжлэх ухаан, технологийн төслийн тайлан
2016-2018 он**

Төслийн удирдагч:

П.Гомболүүдэв, Физикийн ухааны
доктор (Ph.D).

Уур амьсгалын өөрчлөлт нөөцийн
судалгааны секторын эрхлэгч

Захиалагч байгууллага:

Байгаль орчин, аялал жуулчлалын
яам

УЛААНБААТАР

2018 он

Улсын бүртгэлийн дугаар

.....

Нууцын зэрэглэл: Б

Аравтын бүрэн
ангилалын код

Төсөл хэрэгжүүлэх гэрээний
дугаар: 08/2016

УС ЦАГ УУР, ОРЧНЫ СУДАЛГАА, МЭДЭЭЛЛИЙН ХҮРЭЭЛЭН

“ЦАГ АГААР, УУР АМЬСГАЛЫН ГАМШИГТ ҮЗЭГДЭЛ-БЭСРЭГ БОЛОН БИЧИЛ ХЭМЖЭЭСТ ЗАГВАРЧЛАЛ БОЛОВСРУУЛАХ”

Шинжлэх ухаан, технологийн төслийн тайлан
2016-2018 он

| | |
|-----------------------------|---|
| Төслийн удирдагч: | П.Гомболүүдэв, Физикийн ухааны доктор (Ph.D). Уур амьсгалын өөрчлөлт нөөцийн судалгааны секторын эрхлэгч |
| Санхүүжүүлэгч байгууллага: | Шинжлэх ухаан технологийн сан |
| Захиалагч байгууллага: | Байгаль орчин, аялал жуулчлалын яам |
| Тайлан өмчлөгч байгууллага: | Ус цаг уур, орчны судалгаа, мэдээллийн хүрээлэн Жуулчны гудамж-5, Улаанбаатар-46 |

УЛААНБААТАР

2018 он

Реферат

“Цаг агаар, уур амьсгалын гамшигт үзэгдэл-бэсрэг болон бичил хэмжээст загварчлал боловсруулах” төслийн тайлан 162 хуудастай, 167 зураг, 18 хүснэгт, 27 томьёо, 2 хавсралттай ба 2 бүлэгтэй, нэгдүгээр бүлэг 4 дэд бүлэгтэй, хоёрдугаар бүлэг 7 дэд бүлэгтэй, дүгнэлт, ашигласан хэвлэлийн жагсаалт зэргээс бүрдэнэ.

Энэхүү судалгаагаар сүүлийн 10 жилд тохиолдсон дээр дурдсан цаг агаарын гамшигт үзэгдлүүдийг төлөөлөхүйц агаар мандлын процессыг сонгон авч, орон зайн бичил болон бэсрэг хэмжээст орон зайн 0.2-1км нарийвчлалтайгаар агаар мандлын гидростатик биш динамикт суурилсан тоон загвараар CRAY XE6m төрлийн суперкомпьютер дээр загварчлан тооцоолов. Загварын үр дүнг нарийвчлах зорилгоор загварын анхны нөхцлийг хувьсах өгөгдлийн ассимляцийн системийг ашиглан радар, хиймэл дагуулын мэдээгээр сайжруулах, хамрах бүс нутгийг өөрчлөх, дэвсгэр гадаргын нөхцлийг өөрчлөх зэргээр тоон туршилтын судалгааг явуулж үр дүнг гарган авав. Судалгаагаар гарсан гол үр дүнг дурдвал газар тариалангийн бүсэд болсон их халуун, Завхан аймагт тохиолдсон их хүйтний гамшигт үзэгдлийг 1 км орон зайн нарийвчлалтай загварчлан тооцоолоход таарц 100%, температурын алдааг 0.2-2.0°C байв. Говь-Алтай аймагт тохиолдсон цасан шуургыг загварчилахад 4 сумд болсон үзэгдлийг 3 сумд болно гэж 75% таарцтайгаар тооцоолов. Архангай аймагт болсон догшин хуйг 200м-ийн нарийвчлалтайгаар загварчилахад салхины хурд 56 м/с хүрч байгаа нь Фужитагийн ангиллаар F2 эрчимтэй хуй салхи болсон гэж үзэхээр байна. Улаанбаатар хотын төвд орсон аадар тунадасыг загварын захын нөхцлийг өөрчилснөөр орон зайн тархалтын үр дүнг сайжруулав. Агаар мандлын хаус шинж чанарыг тооцохын тулд кинетик энергийн сарнилтын схемийг ашиглан нэг загварын ансамбль тооцоог Өмнөговь аймагт тохиолдсон шороон шуурганы гамшигт үзэгдэлд туршин салхины хурдны алдааг дунджаар 2 м/с-ээр багасгав. Хиймэл дагуулын радианс мэдээг загварын анхны нөхцөлд тооцож, агаарын температурын сарын дундаж квадрат алдаа 0.2°C-ээр багасгав. Улаанбаатар хотод орсон аадар борооны үзэгдэлд радарын мэдээгээр ассимляци хийж хотын баруун хойд бүсэд конвекцын гаралтай буюу бага газар нутагт 40 мм тунадас орохоор тооцоолсон байна. Энэ нь тухайн бодит байдалд үер болсон нутагтай газарзүйн хувьд таарч байв.

Дээрх гамшигт үзэгдэлтэй холбоотойгоор шуурхай ажиллах автомат системийг 9км (Монгол орны хэмжээгээр), 1-3 км-ээр тухайн аюултай үзэгдэл ажиглагдах 7 бүс нутгаар бий болгож, гормыг тогтоов. Мөн хиймэл дагуул, радарын мэдээний ассимляцийн шуурхай ажиллагааны системийг үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэхэд бэлэн болгов.

Мөн дэлхийн хэмжээст агаар мандлын динамик загварыг өөрийн орны нөхцөлд туршиж 1 болон 7-р сарын уур амьсгалыг тооцоолон ажиглалтын мэдээтэй харьцуулахад агаарын температур, далайн түвшний даралтын шугаман корреляцын коэффициент 0.4-0.8 байна.

Уур амьсгалын тухай сарын тойм гаргах, уур амьсгалын өөрчлөлтийн мониторингийн технологийг боловсруулан үйлдэрлэлд нэвтрүүлэв. Гамшигт үзэгдлийн интерактив мэдээллийн санг 2010-2017 оны байдлаар үүсгэв.

Түлхүүр үг: цаг агаар, гамшигт үзэгдэл, бичил, бэсрэг хэмжээс, динамик загвар, ассимляци, уур амьсгал

Гүйцэтгэгчдийн нэрийн жагсаалт:

1. Доктор П.Гомболүүдэв, Уур амьсгалын өөрчлөлт нөөцийн судалгааны секторын эрхлэгч, ЭШАА (Бүлэг 1, Бүлэг 2-ийн 2.7.1)
2. Доктор А.Батболд. Цаг агаар, орчны тоон загварчлалын судалгааны хэлтсийн дарга, ЭШАА (Бүлэг 2-ийн 2.4)
3. Г.Батжаргал. Цаг агаар, орчны тоон загварчлалын судалгааны хэлтсийн ЭШДА (Бүлэг 2-ийн 2.1, 2.2.6, 2.6)
4. Д.Даваадорж. Цаг агаар, орчны тоон загварчлалын судалгааны хэлтсийн инженер (2.5)
5. Доктор Д.Дуламсүрэн. Уур амьсгалын өөрчлөлт нөөцийн судалгааны секторын инженер (Бүлэг 2-ийн 2.7.1)
6. Доктор Г.Гантуяа. Цаг агаар, орчны тоон загварчлалын судалгааны хэлтсийн инженер (Бүлэг 2-ийн 2.2.5, 2.2.6)
7. Д.Одонтунгалаг. Цаг агаар, орчны тоон загварчлалын судалгааны хэлтсийн инженер (Бүлэг 2-ийн 2.2.1)
8. Б.Мөнхбат. Уур амьсгалын өөрчлөлт нөөцийн судалгааны секторын инженер ЭШДА (Бүлэг 2-ийн 2.7.2)
9. Ч.Алтантулга. Цаг агаар, орчны тоон загварчлалын судалгааны хэлтсийн ЭШДА (Бүлэг 2-ийн 2.2.2)
10. Б.Буянтогтох. Цаг агаар, орчны тоон загварчлалын судалгааны хэлтсийн ЭШДА (Бүлэг 2-ийн 2.2.3)
11. Д.Дэлгэрмаа. Цаг агаар, орчны тоон загварчлалын судалгааны хэлтсийн ЭШДА ((Бүлэг 2-ийн 2.2.3)

Агуулга

| | |
|---|------------|
| Оршил..... | 2 |
| Судлагдсан байдал | 3 |
| Бүлэг I. Судалгааны арга зүй..... | 6 |
| 1.1 Агаар мандлын бэсрэг болон бичил хэмжээст WRF загварын үндсэн тэгшитгэл | 6 |
| 1.2 Гурван хэмжээст хувьсах өгөгдлийн ассимиляци | 9 |
| 1.3 Стохастик кинетик-энергийн схем..... | 9 |
| 1.4 Агаар мандлын ерөнхий орчил урсгалын загвар | 12 |
| 1.4.1 Агаар мандлын CAM5 загварын үндсэн тэгшитгэл | 13 |
| Бүлэг 2. Судалгааны үр дүн..... | 15 |
| 2.1 Загварыг зүгшрүүлэх, боловсруулах, эх мэдээ бэлтгэх | 15 |
| 2.1.1 Өндөршлийн мэдээг бэлтгэх..... | 15 |
| 2.2.2 Ургамал бүрхэвчийн мэдээг бэлтгэх | 15 |
| 2.2 Гамшигт үзэгдлийг бичил болон бэсрэг хэмжээсээр загварчилсан үр дүн | 16 |
| 2.2.1 Их халуун, их хүйтэн..... | 17 |
| 2.2.2 Цасан шуурга | 51 |
| 2.2.3 Шороон шуурга | 59 |
| 2.2.4 Догшин хуй салхи | 64 |
| 2.2.5 Тал хээрийн түймрийн тархалт..... | 69 |
| 2.2.6 Эрчимтэй тунадас, аадар бороо..... | 76 |
| 2.3 Нэг загварын ансамбль технологи..... | 82 |
| 2.4 Гамшигт үзэгдлийн сэрэмжлүүлэх шуурхай ажиллагааны систем | 88 |
| 2.5 Сар, улирлын уур амьсгалын загварчлал | 98 |
| 2.5.1 Агаар мандлын дэлхийн хэмжээний CAM5 динамик загварын зүгшрүүлэлт | 98 |
| 2.5.2 Динамик болон статистик тайлалын аргаар мэдээний орон зайн нарийвчлалыг сайжруулах..... | 109 |
| 2.6 Хиймэл дагуулын мэдээний ассимляци | 115 |
| 2.6.1 Хиймэл дагуулын радианс мэдээний боловсруулалт | 115 |
| 2.6.2 Агаар мандлын төлөвийн босоо тархалтыг хиймэл дагуулын мэдээгээр боловсруулах..... | 121 |
| 2.7 Бүс нутгийн уур амьсгалын мониторингийн технологи..... | 127 |
| 2.7.1 Сар болон уур амьсгалын өөрчлөлтийн мониторингийн технологи .. | 127 |
| 2.7.2 Цаг агаар, уур амьсгалын аюултай үзэгдлийн мэдээллийн сан..... | 143 |
| Нэгдсэн дүгнэлт..... | 152 |
| Ашигласан номзүй..... | 153 |

Оршил

Агаар мандалд явагдах процессыг цаг хугацаа, орон зайн хэмжээс хамааруулж бичил (micro), бэсрэг (meso), том (синоптик) гэж хувааж, харгалзан бичил хэмжээст цаг уур (microscale meteorology), бэсрэг хэмжээст цаг уур (mesoscale meteorology), синоптик хэмжээст цаг уур (synoptic meteorology) гэж ангилдаг. Бичил хэмжээст агаар мандлын үзэгдэлд аянга цахилгаан, үүл, байшин ба бусад хориглох хаалтаас үүсэх турбулент хөдөлгөөн зэрэг 1км-ээс бага хэмжээст физик процесс орно. Харин бэсрэг хэмжээст хэвтээ чиглэлд 1-100км, босоо чиглэлд газрын гадаргаас эхлэн агаар мандлын хязгаарын үе давхарга, шим мандал, давхраат мандлын доод давхарга үе хүртэлх орон зайд явагдах, 1-7 хоног хүртэл үргэлжлэх фронт, циклон, өндөршлөөс хамаарах уулын долгион, эх газар-далайн салхи гэх мэт үзэгдэл ордог. Синоптикийн хэмжээст үзэгдэлд 2000 км хүртэл, 28 хоног хүртэл үргэлжлэх дундад өргөрөгийн циклон, бароклиник хотос, гүвээ, фронтын бүс, ойлгойдох буюу судал урсгал зэрэг ордог. Практикт ихэнхдээ бичил болон бэсрэг хэмжээст цаг уурыг хамтатган авч үздэг.

Бэсрэг хэмжээст агаар мандлын процессыг бэсрэг альфа (200-2000км), вета (20-200км), гамма (1-20км) хэмжээст гэж хуваан үздэг (Хүснэгт 1). Синоптикийн хэмжээст агаарын хөдөлгөөнд Кориолис болон даралтын градиентын хүчний баланс хадгалагдаж геострофи тэнцвэр биелдэг бол бэсрэг хэмжээс, ялангуяа вета, гамма хэмжээст үзэгдэл, процесст геострофи, гидростатик ойролцоолол биелэгдэхээ больдог. Энэ үед гидростатик биш ойролцоолол чухал үүрэг гүйцэтгэдэг.

Синоптикийн хэмжээст процесст агаарын босоо хөдөлгөөн, хэвтээгээс харьцангуй олон дахин бага байдаг боловч, бэсрэг хэмжээст босоо хөдөлгөөн хэвтээгээс их болох буюу өргөлтийн хүч, уулзүйн нөлөөгөөр үүсэх босоо хурдыг тооцох шаардлага гардаг. Агаар мандлын процесст гидростатик биш нөлөө үзүүлдэг үзэгдэлд газрын гадарга, агаар мандлын дулаан, чийгийн урсгал, турбулент, конвекци, ууршилт, конденсац гэх мэт орно. Иймд цаг агаар, агаар мандлын загварт орон зайн нарийвчлал буюу гридын цэгийн хоорондын зай 9-10км-ээс бага болох үед гидростатик биш ойролцоолол хийж, үзэгдэл, процессыг тооцох учиртай. Ингэхдээ бэсрэг хэмжээст загварууд анхны болон захын нөхцлөө орон зайн нарийвчлал харьцангуй бага дэлхийн хэмжээний загвараас авч ажилдаг юм.

Хүснэгт 1. Бэсрэг хэмжээст агаар мандлын үзэгдэл процесс (Fujita, 1986).

| Нэршил | Хэмжээс | | Үзэгдэл |
|------------------------------------|-------------|----------------|---|
| Бэсрэг хэмжээст (mesoscale) -alpha | 200-2000 км | 6ц – 2 хоног | олгойдох урсгал, жижиг хэмжээний хар шуурга, сулхан эсрэг циклон |
| Бэсрэг хэмжээст (mesoscale) -beta | 20-200 км | 30 мин - 6 цаг | Орон нутгийн салхи, уулын салхи, эх газар/далайн бриз, бэсрэг хэмжээст конвектив систем, том хэмжээст аянга,цахилгаан аадар |
| Бэсрэг хэмжээст (mesoscale) -gamma | 2-20 км | 3 - 30 мин | Ихэнхи аянга,цахилгаан аадар, том хэмжээний кумулюс, маш том хэмжээний догшин хуй |

Монгол улсын үндэсний ус, цаг уурын албаны тулгамдсан асуудлын нэг бол бэсрэг болон бичил хэмжээст агаар мандлын гаралтай гамшигт үзэгдлийг (цасан болон шороон шуурга, догшин хуй, аадар бороо, их хүйтэн, их халуун) урьдчилан мэдээлэх явдал юм. Энэ төрлийн үзэгдлийн эрч хүч тухайн орон

нутгийн онцлог, газарзүйн байршил, газрын бүрхэвчээс хамааран байгаль, нийгэм-эдийн засагт үлэмж хэмжээний гарз хохиролыг авчирдаг.

Манай улсын үндэсний ус цаг уурын алба том хэмжээст буюу синоптикийн хэмжээст үзэгдэл процессыг 1-5 хоногоор урьдчилан мэдээлэхдээ харьцангуй бага алдаатай, харин бичил, бэсрэг хэмжээст үзэгдлийг төдийлөн сайн тооцоолон илрүүлж, урьдчилан мэдээлж чадахгүй байгаа билээ. Иймд бид энэхүү судалгааны ажлаараа бичил болон бэсрэг хэмжээст загварыг өөрийн оронд зүгшрүүлж, хамгийн сүүлийн үеийн арга, технологийг ашиглан агаар мандлын бичил болон бэсрэг хэмжээст үзэгдлийг загварчлах, ялангуяа гамшигт үзэгдлийг орон зайн харьцангуй өндөр нарийвчлалтай тооцоолох зорилт тавьж ажиллахыг хичээсэн юм.

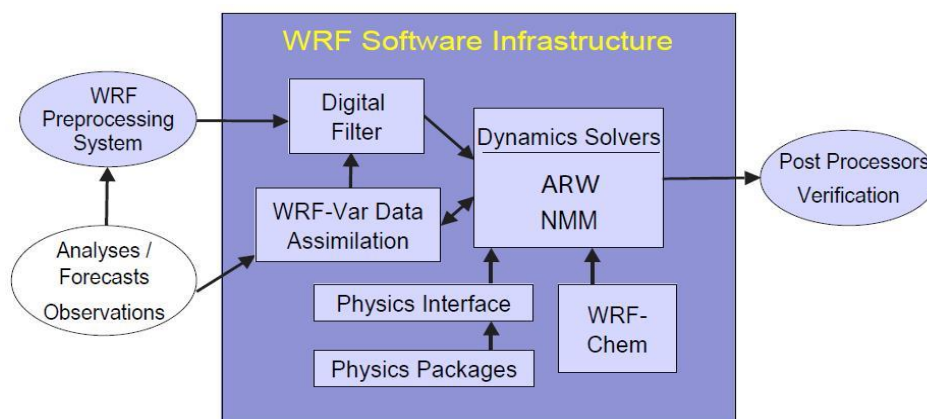
Агаар мандлын хувьсал өөрчлөлт, үзэгдэл процессыг ялангуяа бэсрэг болон бичил хэмжээсийн хувьд физик хуульд захирагдах, үндэслэлтэй загварчлах олон загварууд дэлхийд хөгжиж байгаа хэдий ч одоогоор дэлхийн уур амьсгалын системийн харилцан үйлчлэлийг төгс тооцсон загварчлалд хүрээгүй л байна. Гэсэн хэдий ч өнөөдөр дэлхийн олон орон, бүс нутагт тархан түгж туршигдсан, тухайн газар орон, нутагт судалгаа шинжилгээний зорилго болон шуурхай горимоор ажиллаж буй гидростатик биш загваруудын нэг бол цаг агаарын судалгаа, прогнозын WRF (Weather Research Forecast) загвар юм. Бид судалгаандаа энэхүү загварыг сонгон авахдаа дараахь давуу байдлыг нь харгалзан үзэв. Үүнд судалгаа болон шуурхай горимоор ажиллах, бичил болон бэсрэг хэмжээсээр загварчлах буюу гидростатик биш динамиктай, өгөгдлийн ассимляцийн системтэй, бусад газар бүрхэвч, ургамал, хими, гидрологи зэрэг загваруудтай холбогдож ажиллах болон эцэст нь суперкомпьютер дээр параллель горимоор ажиллах боломжтой зэрэг болно.

Судлагдсан байдал

Цаг агаарын WRF тоон загвар бол судалгаа, шуурхай үйлчилгээнд ашиглахад нэн тохиромжтой, дэлхийн олон оронд маш өргөн ашиглагдаж туршигдсан, мөн богино хугацаанд шинэчлэл хийгддэг, хамтын хөгжүүлэлттэй, нээлттэй загвар юм. WRF загварын хөгжил нь АНУ-ын Агаар Мандлын Судалгааны Үндэсний Төвийн (NCAR) бэсрэг болон бичил хэмжээст цаг уурын хэсэг (MMM), Далай агаар мандлын үндэсний төв (NOAA), Орчны прогнозын үндэсний төв (NCEP) болон Дэлхий судлалын лаборатори (ESRL), Агаарын хүчний цаг уурын төвийн (AFWA) хамгаалалтын хэлтэс ба Далай судлалын лаборатори (NRL), Оклахомагийн их сургууль дахь Хар шуурга урьдчилан мэдээлэх болон судалгааны төв (CAPS), Холбооны нисэх хүчний төв (FAA), болон бусад олон орны их дээд сургуулиуд, хүрээлэнгийн эрдэмтдийн оролцоотойгоор зохион бүтээгдсэн юм.

WRF загварт орон нутгийн онцлогийг тусгаж, тухайн бүс нутагт тохируулан ажиллуулах, суперкомпьютерын системд суурилж ажиллах боломжтой бөгөөд загварын програмчлалын хэлний эх код руу хандах нь нээлттэй байдаг. Түүний физик схемүүд болон динамикийн сонголтууд нь шинжлэх ухааны сүүлийн ололт амжилт, дэвшлийг оруулсан байдаг ба олон газар оронд туршигдан сайжруулалт байнга хийгддэг юм. Тухайлбал WRF-Vар систем нь олон төрлийн ажиглалтын мэдээг зохистой байдлаар нэгтгэн тооцоолох, хувьсах өгөгдлийн ассимиляцын систем, WRF-Chem загвар нь агаар мандал дахь явагдах химийн урвалыг тусгаж тооцдог байх жишээтэй.

WRF нь судалгаа, үйлдвэрлэл, сургалтын зорилгоор өргөн хэрэглэгдэж агаар мандлын том хэмжээний процессыг дэлхийн хэмжээнд ч загварчилж чаддаг. Тиймээс түүнийг олон оронд өгөгдлийн ассимляци, физик параметрын судалгаа, бүс нутгийн уур амьсгал, агаарын чанарын загварчлал, агаар мандал-далайн холбоо харилцан үйлчлэл, идеаль болон бичил, бэсрэг хэмжээст загварчлал гэх мэт судалгааны чиглэлд ашигладаг. WRF загварын системийн бүтцийг **Зураг 1**-т үзүүлэв.



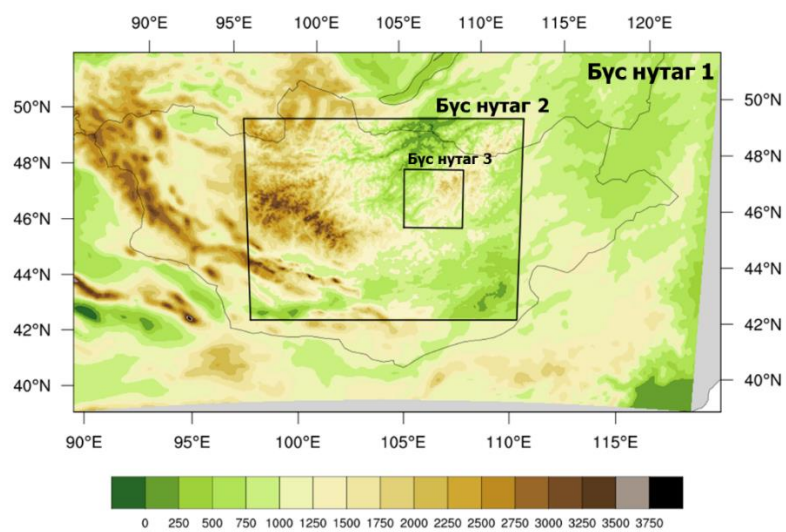
Зураг 1. WRF загварын бүтэц

Монгол улсад үндэсний Ус цаг уурын албанд 2009 оны 7 дугаар сараас эхлэн WRF загварыг кластери систем дээр туршин ажиллуулж үйлдвэрлэлд нэвтрүүлж эхэлсэн. Энэ үед Солонгосын цаг уурын албаны дэлхий хэмжээний агаар мандлын GDAPS (Global Data Assimilation System) загвар, хожим UM 6.6 (Unified Model) загвараас анхны болон захын нөхцлөө авч ажилласан байдаг. Цаг агаарын 72 цагийн урьдчилалтай прогнозыг Төв Азийн хэмжээнд 30км, Монгол орны хэмжээгээр 10км нарийвчлалтай грид цэгүүдээр тооцоолж байв. УЦУОСМХ-д 2013-2015 оны хооронд хэрэгжсэн шинжлэх ухаан, технологийн төслийн хүрээнд WRF загварыг суперкомпьютерын технологит шилжүүлэн 144 цагийн урьдчилалтай мэдээг Төв Азийн хэмжээнд 27 км, Монгол орны хэмжээгээр 9 км, төвийн бүс нутгаар 3 км нарийвчлалтайгаар загварыг ажиллуулж эхэлсэн юм.

Харин энэхүү “Бичил болон бэсрэг хэмжээст загварчлал боловсруулах” 2016-2018 оны шинжлэх ухаан, технологийн төслийн хүрээнд Улаанбаатар болон бусад нутагт 1 км, зарим газар нутаг 250 м хүртэл грид цэгийн нарийвчлалтайгаар загварчлах судалгааны ажил хийгдсэн болно (**Зураг 2**).

Манай оронд догшин хуй салхийг урьдчилан мэдээлэх, загварчлах ажил өмнө нь хийгдэж байгаагүй болно. Энэхүү ажлын нэг зорилго нь цаг агаарын гаралтай гамшигт үзэгдлийг тоон загвараар тооцоолж болох эсэхийг турших, тухайлбал 2014 оны 7-р сарын 26-нд Архангай аймгийн Хашаат сумын нутаг Номгон багийн нутагт болсон их хохирол учруулсан догшин хуй салхийг орон зайн нарийвчлал өндөртэй тоон загвараар загварчилж, үр дүнд анализ хийхэд оршино. Манай оронд цаг агаарын гаралтай гамшигт үзэгдлийг урьдчилан мэдээлэхэд одоогийн байдлаар цаг уурын ажиглалтын станцын нягтаршил, радарын станцын тоо, шуурхай үйлчилгээнд хэрэглэгддэг тоон загварын орон зайн нарийвчлал хангалттай нарийн биш, тооцоолох төхөөрөмжийн боломж тааруу зэрэг хүндрэлүүд байгаа ч цаашид технологийн боломж хангагдахад

тодорхой түвшинд урьдчилан мэдээлэх боломжтойг харуулахад энэ ажлын удаахь зорилго болно.



Зураг 2. Загварын хамрах бүс нутаг, түүний өндөршил

Бүлэг I. Судалгааны арга зүй

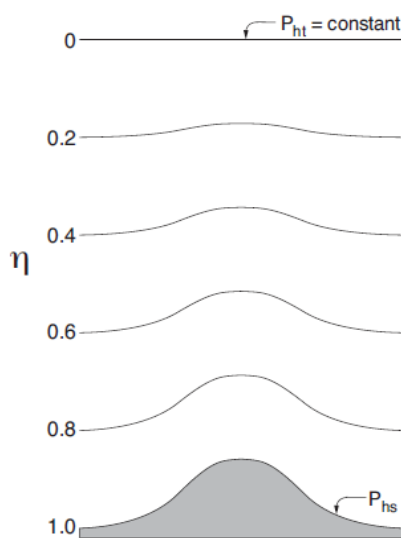
1.1 Агаар мандлын бэсрэг болон бичил хэмжээст WRF загварын үндсэн тэгшитгэл

Загварын динамик нь шахагдах хий ба шингэний гидростатик биш Эйлерийн тэгшитгэлүүд дээр суурилна. Анх эрдэмтэн Лап्राйс систем тэгшитгэлийг өндөршлийг дагасан босоо координатад томъёолсон байдаг (Laprise, 1992). Загварт босоо чиглэлдээ өндөршлийг дагасан гидростатик даралтын координат η -г ашиглах бөгөөд түүнийг дараах байдлаар томъёолдог.

$$\eta = \frac{(p_h - p_{ht})}{\mu}; \quad \text{энд } \mu = p_{hs} - p_{ht} \quad (1)$$

p_h -даралтын гидростатик байгуулагч, ρ_{hs} болон ρ_{ht} харгалзан загварын газрын гадарга болон дээд түвшний даралтын утгууд тус тус болно.

Зураг 3-т загварын координатыг үзүүлэв. Энэ нь уламжлалт агаар мандлын гидростатик загваруудад ашиглагддаг σ координатад үндэслэгдсэн бөгөөд η -ийн утга нь загварын хамрах бүс нутгийн дээд хил дээр 0, газрын гадарга дээр 1 гэсэн утгыг тус тус авна. Координатыг масс бүхий босоо координат гэж ч бас нэрлэдэг.



Зураг 3. WRF загварын босоо η координат

Хэрэв загварын хамрах бүс нутгийн (домайн) баганын (x, y) байрлал дахь нэгж талбай дахь массыг $\mu(x, y)$ илэрхийлвэл хувьсагчдыг урсгал (flux) хэлбэрээр дараахь байдлаар тодорхойлно.

$$V = \mu v = (U, V, W), \quad \Omega = \mu \dot{\eta}, \quad \Theta = \mu \theta \quad (2)$$

$v = (U, V, W)$ нь харгалзан хэвтээ 2 болон босоо чиглэлийн ковариант хурд, $\omega = \dot{\eta}$ нь η координатад тооцоолсон босоо хурд, θ потенциал температур тус тус болно. Мөн түүнчлэн WRF-ийн үндсэн тэгшитгэлд үл хадгалагдах $\phi = gz$ (геопотенциаль), p (даралт), болон $\alpha = 1/\rho$ (нягтын урвуу функц буюу урвуу нягтшил) зэрэг хувьсагч бичигддэг.

Дээр тодорхойлсон хувьсагдчыг ашиглан Эйлерийн үндсэн тэгшитгэлүүдийн урсгал хэлбэртэйгээр дараах байдлаар бичнэ.

$$\partial_t U + (\nabla \cdot Vu) - \partial_x(p\partial_\eta\phi) + \partial_\eta(p\partial_x\phi) = F_U \quad (3)$$

$$\partial_t V + (\nabla \cdot Vv) - \partial_y(p\partial_\eta\phi) + \partial_\eta(p\partial_y\phi) = F_V \quad (4)$$

$$\partial_t W + (\nabla \cdot Vw) - g(\partial_\eta p - \mu) = F_W \quad (5)$$

$$\partial_t \Theta + (\nabla \cdot V\theta) = F_\Theta \quad (6)$$

$$\partial_t \mu + (\nabla \cdot V) = 0 \quad (7)$$

$$\partial_t \phi + \mu^{-1}[(V \cdot \nabla \phi) - gW] = 0 \quad (8)$$

Урвуу нягтшлийн диагностик хамаарлаар дараахь байдлаар

$$\partial_\eta \phi = -\alpha\mu \quad (9)$$

, мөн төлөв байдлын тэгшитгэлийг

$$p = p_0(R_d\theta/p_0\alpha)^\gamma \quad (10)$$

гэж тодорхойлно.

(3)-(10) тэгшитгэлүүд дэх x, y болон η нь дифференциаль тэмдэглэгээ гэвэл дараахь байдалтай болно.

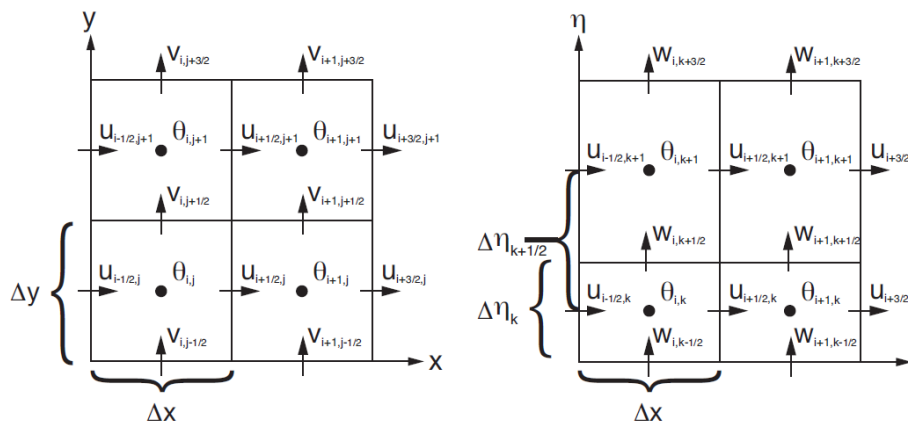
$$\nabla \cdot Va = \partial_x(Ua) + \partial_y(Va) + \partial_\eta(\Omega a) \quad (11)$$

болон

$$V \cdot \nabla a = U\partial_x a + V\partial_y a + \partial_\eta a \quad (12)$$

Энд a ерөнхий хувьсагч. $\gamma = c_p/c_v = 1.4$ нь хуурай агаарын дулаан багтаамжийн харьцаа, R_d нь хуурай агаарын хийн тогтмол, p_0 нь стандарт даралт (10^5 Па). Тэгшитгэлийн баруун талын гишүүд болох F_U, F_V, F_W болон F_Θ нь хүч бөгөөд энэ нь загварын физик, турбулент холигдол, бөмбөрцгийн проекц, болон дэлхийн эргэлтээс хамаарна.

WRF загварт Аракава С грид цэгийн байршлаар дээрх үндсэн тэгшитгэлийг төгсгөлийн ялгаварын аргаар ойролцоолж бодно (**Зураг 4**).



Зураг 4. WRF загварын хэвтээ болон босоо чиглэл дэх Аракава C грид цэгийн схем

WRF загвар нь дараах үндсэн физик схемүүд дээр тулгуурлан ажилладаг (Зураг 5). Үүнд:

- Микрофизикийн (усны уур, үүл болон тунадас, чийгийг том хэмжээсийн хувьд тооцоолох)
- Конвекци үүлний (агаарын өгсөх хөдөлгөөнтэй холбоотой конвекцийн үүл, хур тунадасыг тооцоолох)
- Хязгаарын үе давхаргын (газрын гадаргаас дааш 1.5 км хүртэлх үе давхарга дахь физик процессыг тооцоолох)
- Газрын гадаргын орчмын физик процесс буюу газар бүрхэвчийн (агаар мандал, газар бүрхэвчийн харилцан үйлчлэлийг тооцоолох)
- Урт болон богино долгионт цацрагийн (нарнаас ирэх урт ба богино долгионт цацрагийн хуваарилалтыг тооцоолох)

схемүүд тус тус багтана (Зураг 5).



Зураг 5. WRF загварын физик схемүүдийн харилцан холбоо

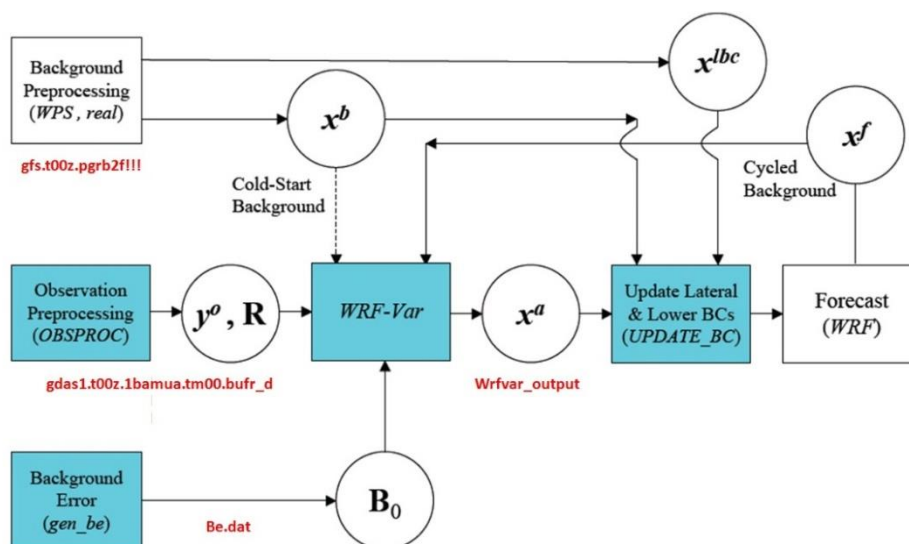
1.2 Гурван хэмжээст хувьсах өгөгдлийн ассимиляци

Ажиглалт болон тоон загварын гаралтын үр дүн, тэдгээрийн статистик үнэлгээгээр агаар мандлын анхны нөхцлийг сайжруулах арга, техникийг өгөгдлийн ассимиляци гэж ойлгоно. Судалгаандаа бид гурван хэмжээст хувьсах өгөгдлийн ассимиляцыг (3DVAR) аргыг ашиглав. Хувьсах өгөгдлийн ассимиляци нь алдааны үнэлгээний функцыг итерацийн аргаар хамгийн бага байлгах онолд үндэслэгддэг. Энэ арга нь магадлалын тархалтын функцийг ашиглан динамик загварын алдааг арилгах оновчтой аргачлал бөгөөд дараахь функцээр илэрхийлэгдэнэ.

$$J(x) = \frac{1}{2}(x - x^b)^T \mathbf{B}^{-1}(x - x^b) + \frac{1}{2}(y - H(x))^T \mathbf{R}^{-1}(y - H(x)) \quad (13)$$

Энд x -тухайн хувьсагчийн вектор, y -ажиглалтын вектор, \mathbf{B} -суурь алдааны ковариаци, \mathbf{R} -ажиглалтын алдааны ковариаци, H -тухайн хувьсагч болон ажиглалтын зөрөөний матриц тус тус болно.

Дээрх функц загварт хэрхэн ажиллах бүдүүвчийг Зураг 6-т үзүүлэв.



Зураг 6. WRF загварын өгөгдлийн ассимиляцийн бүдүүвч схем

Зураг 6-т буй x^b -анхны нөхцөл, x^{bc} -захын нөхцөл, x^a -ассимиляцын системээс гарсан анализ, x^f -WRF загварын гаралт, y^o -ажиглалтын мэдээ (газрын хэмжилт, радар, хиймэл дагуулын радианс), B_0 : загварын суурь алдааны статистик, R -ажиглалтын мэдээний алдааны статистик зэрэг болно.

1.3 Стохастик кинетик-энергийн схем

Стохастик физик (Stochastic Kinetic-Energy Backscatter Scheme, SKEBS) нь загварын тодорхой бус байдлыг дүрслэн үзүүлдэг дэвшилтэт аргуудын нэг юм. Энэ арга нь ихэвчлэн улирлын болон дунд хугацааны урьдчилсан мэдээний ансамбль технологид ашиглагддаг ба ансамбль бүтээгдэхүүний орон зай болон цаг хугацааны магадлалыг сайжруулдаг. Хэдий тийм боловч, агаар мандлын харилцан адилгүй процесстой үед стохастик харилцан үйлчлэл нь хэрхэн нөлөө үзүүлдэг талаар судалгаа хомс байгаа юм.

Тухайн агшин дахь кинетик энерги нь дараахь томъёогоор тодорхойлогдоно.

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}(u^2 + v^2) \quad (14)$$

Потенциаль энергийн тодорхойлолт

$$E_{\text{pot}} = \frac{1}{2} \frac{c_p}{\theta_0} \theta^2 \quad (15)$$

Энд, θ нь потенциаль температур, $c_p = 1004 \text{ J/K}$ агаарын дулаан багтаамж, $\theta_0 = 300 \text{ K}$ далайн түвшин дэх потенциаль температур.

Агаар мандлын нэг хэмжээсээс нөгөө рүү шилжихэд энерги тогтмол байдлаар алдагддаг гэж үздэг. Загварт энэ алдагдлыг тооцох санаан дээр SKEBS схем суурилдаг. Агаар мандал дахь урсгал функцийн өөрчлөлт (streamfunction perturbation) болон температурын өөрчлөлтөөр (temperature perturbation) тенденцийг дахин тодорхойлж кинетик болон потенциаль энергийн алдагдлын хувь хэмжээг тооцож болно. Буцах сарнилын хувь хэмжээ энерги тус бүрт өөр байдаг гэж үздэг. Эндээс потенциаль температур, урсгал функцийн хувьд тус бүрт загварын системийн алдааны хазайлтыг тооцож болно. Урсгал функцийн хазайлтын өөрчлөлтийн хувьд, буцах сарнилын кинетик энерги нь зөвхөн салхины байгуулагчийн эргэлтэнд (хуйлраа) нөлөө үзүүлнэ. Энэ төсөөлөл буюу таамаглал нь Шаттс болон Грэй (Shutts and Gray, 1994) нарын судалгааны үр дүнтэй тохирч байгаа боловч хэрэглээнээс хамаарч салхины эргэлтийн байгуулагчид ч бус, сарнилын байгуулагчийн нөлөөг цаашид авч үзэх шаардлагатай (Bowler нар, 2009).

Кинетик болон потенциаль энергийн тенденцийг доорх байдлаар илэрхийлж болно. Урсгал функцийн тенденц дараахь байдлаар өгөгдөнө.

$$\Psi'(x, y, t) = rD(x, y, t)\psi'(x, y, t), \quad (16)$$

Энд, D – сарнилын хурд (dissipation rate), r – буцах сарнилын харьцаа. Урсгал функцийн тенденцийг 2-хэмжээст урсгал функцийн хүчний хэлбэр гэж үзээд 2-хэмжээст Фурьегийн задаргаа хэрэглэн урсгал функц ашиглан салхи болон потенциаль температурын байгуулагчдын тенденцийг доорх байдлаар илэрхийлж болно.

$$\begin{aligned}
\psi'(x, y, t) &= \sum_{k=-K/2}^{K/2} \sum_{l=-L/2}^{L/2} \psi'_{k,l}(t) e^{2\pi i(kx/X + ly/Y)}, \\
u'(x, y, t) &= -\frac{\partial \psi'(x, y, t)}{\partial y} \\
&= -\frac{2\pi i}{Y} \sum_{k=-K/2}^{K/2} \sum_{l=-L/2}^{L/2} l \psi'_{k,l}(t) e^{2\pi i(kx/X + ly/Y)}, \\
v'(x, y, t) &= \frac{\partial \psi'(x, y, t)}{\partial x} \\
&= \frac{2\pi i}{X} \sum_{k=-K/2}^{K/2} \sum_{l=-L/2}^{L/2} k \psi'_{k,l}(t) e^{2\pi i(kx/X + ly/Y)},
\end{aligned} \tag{17}$$

$$\theta'(x, y, t) = \sum_{k=-K/2}^{K/2} \sum_{l=-L/2}^{L/2} \theta'_{k,l}(t) e^{2\pi i(kx/X + ly/Y)} \tag{18}$$

Энд, k , l нь зональ болон меридиональ чиглэл дэх $(K+1)$ болон $(L+1)$ долгионы дугаар, t нь хугацааны хэмжээс. Энергийн тэгшитгэл урсгалын функцээр илэрхийлэгдэх ба ансамбль дундаж гэдэг утгаараа $t+\Delta t$ хугацааны кинетик энергийн өөрчлөлтийн тенденц тооцооллын бүс нутгийн дундаж энергийн өөрчлөлт дээр нэмэгддэг.

WRF загварын 3.3 хувилбараас эхлэн SKEBS схемийг ашиглан стохастик замаар прогногод өөрчлөлт тооцох боломжийг бий болсон. Энэ схем нь салхины орон зай болон цаг хугацаанаас хамааралтай x , y компонентууд, потенциал температурын эргэлтийн байгуулагчдад хазайлтын тенденцийг (perturbation) оруулж өгдөг. Одоогийн байдлаар, схемийн анхдагч тохируулга нь дундад өргөргийн бүс нутагт синоптик болон дунд масштабын хувьд, далайн хар шуурганы үзэгдэлд нилээд туршигдсан. Энэхүү схемийг дундад өргөрөгт бэсрэг масштабын ансамбль прогногод ашиглаж болохыг харуулсан (Berner нар, 2011).

SKEBS схем нь системийн хазайлтын тенденцийн (perturbation tendency) хувьсагчийг үүсгэнэ. Энэ хувьсагч нь салхины x байгуулагчийн хувьд ru_tendf_stoch (m^2/s^3), салхины y байгуулагчийн хувьд rv_tendf_stoch (m^2/s^3), потенциал температурын (θ) хувьд rt_tendf_stoch (K/s^2) нэртэй үүсгэгдэнэ. Схемд эдгээр хазайлтын тенденцүүд u , v , θ -ийн динамикийн болон физикийн бусад тенденцүүд дээр нэмэгддэг. Температур болон салхины тенденцүүд нь кинетик болон потенциал энергийн хуваарилалтаар зохицуулагдана. Энэхүү тенденц дээр нэмэгдсэн энерги нь температур болон урсгал функцийн буцаж сарнисан сарнилын хэмжээгээр илэрхийлэгддэг.

WRF загварын 3.6 хувилбараас эхлэн SKEBS схем нь namelist.input файлд &stoch нэртэй шинэ хэсэгт орсон ба үүн дотор схемийн тохируулгын параметруудыг тодорхойлж өгдөг (Хүснэгт 2).

Хүснэгт 2. WRF загварын SKEBS схемийн параметруудын тайлбар

| | |
|------------------|--|
| skebs | vV3.6 хүртэл ашиглагдаж байсан stoch_forc_opt namelist параметрийг орлоно. = 0, 0, 0: Стохастик параметризац ашиглахгүй = 1, 1, 1: SKEB схем ашиглана. |
| tot_backscat_psi | Урсгал функцийг нийт буцаж сарнисан сарнилын өсөлт; Салхины эргэлтийн санамсаргүй хазайлтын далайц утгыг удирдана. Анхны өгөгдсөн утга нь 1.0E-5 m2/s3. |
| tot_backscat_t | Потенциаль температурын нийт буцаж сарнисан сарнилын өсөлт; Потенциаль температурын санамсаргүй хазайлтын далайц утгыг удирдана. Анхны өгөгдсөн утга нь 1.0E-6 m2/s3. |
| ztau_psi | Урсгал функцийг санамсаргүй хазайлтын хамааралгүй хугацаа (s). Анхны өгөгдсөн утга нь 10800s (=3h). |
| ztau_t | Потенциаль температурын санамсаргүй хазайлтын хамааралгүй хугацаа (s). Анхны өгөгдсөн утга нь 21600s. |
| rexponent_psi | Урсгал функцийг санамсаргүй хазайлтын спектрын налуу. Анхны өгөгдсөн утга нь кинетик энергийн спектр -5/3 налуутай үед -1.83. |
| rexponent_t | Потенциаль температурын санамсаргүй хазайлтын спектрын налуу. Анхны өгөгдсөн утга нь потенциал энергийн спектр -1.832 налуутай үед -1.83. |
| kminforc | Урсгал функцийг санамсаргүй хазайлтын хамгийн бага хүчний уртраг дахь долгионы тоо, Анхны өгөгдсөн утга нь 1. |
| lminforc | Урсгал функцийг санамсаргүй хазайлтын хамгийн бага хүчний өргөрөг дэх долгионы тоо. Анхны өгөгдсөн утга нь 1. |
| kminfortc | Потенциаль температурын санамсаргүй хазайлтын хамгийн бага хүчний уртраг дахь долгионы тоо, Анхны өгөгдсөн утга нь 1. |
| lminfortc | Потенциаль температурын санамсаргүй хазайлтын хамгийн бага хүчний өргөрөг дэх долгионы тоо, Анхны утга нь 1. |
| kmaxforc | Урсгал функцийг санамсаргүй хазайлтын хамгийн их хүчний уртраг дахь долгионы тоо. Анхны өгөгдсөн утга нь уртраг дахь гридийн цэгийн тоогоор тодорхойлогдсон хамгийн их боломжит долгионы тоо байна. |
| lmaxforc | Урсгал функцийг санамсаргүй хазайлтын хамгийн их хүчний өргөрөг дэх долгионы тоо. Анхны өгөгдсөн утга нь өргөрөг дэх гридийн цэгийн тоогоор тодорхойлогдсон хамгийн их боломжит долгионы тоо байна. |
| kmaxfortc | Потенциаль температурын санамсаргүй хазайлтын хамгийн их хүчний уртраг дахь долгионы тоо. Анхны утга нь уртраг дахь гридийн цэгийн тоогоор тодорхойлогдсон хамгийн их боломжит долгионы тоо байна. |
| lmaxfortc | Потенциаль температурын санамсаргүй хазайлтын хамгийн их хүчний өргөрөг дэх долгионы тоо. Анхны утга нь өргөрөг дэх гридийн цэгийн тоогоор тодорхойлогдсон хамгийн их боломжит долгионы тоо байна. |
| zsigma2_eps | Урсгал функцийг санамсаргүй хазайлтыг тодорхойлж буй авто регрессийн үйл явц дахь шуугианы вариаци. |
| zsigma2_eta | Потенциаль температурын санамсаргүй хазайлтыг тодорхойлж буй авто регрессийн үйл явц дахь шуугианы вариаци. |
| skebs_vertstruc | V3.6 хүртэл ашиглагдаж байсан stoch_vertstruc_opt параметрийг орлоно. = 0, 0, 0: Босоо дахь санамсаргүй хэв шинжийг тодорхойлох тогтмол. = 1, 1, 1: Босоо бүтэц баруун тал руугаа хазайсан. |
| nens | Стохастик схемүүдийн хувьд санамсаргүй дугаарын урсгалын тоо. Жишээ нь, ансамбль прогнозад энэ параметр гишүүн бүрт өөр өөр байх шаардлагатай байдаг. Энэ нь анхны эхлүүлэх хугацааг удирдах үүрэгтэй, ингэхдээ прогноз бодолтуудыг өөр өөр эхлэх хугацаагаар эхлүүлэхийн тулд өөр өөр санамсаргүй дугаарын урсгалуудыг баталгаажуулж өгдөг. |
| iseed_skebs | SKEBS схемийн хувьд ансамблийн урсгалын тоог сонгох. nens онцлон сонгосон ансамбль гишүүний тоо болон прогнозуудыг өөр өөр анхны хугацаа, мөн өөр ансамбль гишүүнээр эхлүүлэхийн тулд өөр ансамблийн урсгалын тоог өгдөг. |

1.4 Агаар мандлын ерөнхий орчил урсгалын загвар

Бид судалгаандаа АНУ-ын Агаар мандлын судалгааны үндэсний төвийн дэлхийн систем CESM (Community Earth System Model) загварчлалын ерөнхий орчил урсгалын загварын (EОУ3) агаар мандлын загвар болох CAM5 (Community Atmospheric Model) загварыг өөрийн оронд суперкомпьютер дээр зүгшрүүлэн ажиллуулж сар, улирлын прогноз гаргах туршилтыг хийв.

1.4.1 Агаар мандлын САМ5 загварын үндсэн тэгшитгэл

Эрдэмтэн Касахара (Kasahara, 1974) 3 хэмжээст гидростатик агаар мандлын дифференциаль тэгшитгэлийг ζ босоо координатын системд дараахь байдлаар бичсэн байдаг.

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + g = 0 \quad (19)$$

Энд $\rho - z$ түвшин дэх агаарын нягт, p - агаарын даралт, g - гравитацийн тогтмол. Псевдо-нягтыг $\pi = \frac{\partial p}{\partial \zeta}$ (даралтын босоо градиент) гэж үзвэл гидростатик балансын тэгшитгэлээс псевдо нягт болон бодит нягт нь дараах байдлаар тодорхойлогдоно.

$$\pi = \frac{\partial \Phi}{\partial \zeta} \rho \quad (20)$$

Энд $\partial \Phi = gz$ геопотенциал өндөр юм. Хэрвээ $\zeta = -gz$, газрын даралт P_s $\zeta = \sigma (\sigma = \frac{p}{P_s})$ үед π бодит нягтыг бууруулна. π хувьсагчийг ашиглавал агаарын нийт массын прогноз дараах хэлбэртэй бичигдэнэ.

$$\frac{\partial}{\partial t} \pi + \nabla \cdot (\vec{V} \pi) = 0 \quad (21)$$

Энд $\vec{V} = (u, v, \frac{d\zeta}{dt})$ гэж үзвэл масс хадгалагдах хууль (эсвэл усны уур) дараах байдлаар бичигдэнэ.

$$\frac{\partial}{\partial t} \pi q + \nabla \cdot (\vec{V} \pi q) = 0 \quad (22)$$

Энд q нь агаар дахь хийнүүд (эсвэл усны уурын) массын холигдолтын харьцаа (эсвэл хувийн чийг) юм. Термодинамикийн хувьсагчид Потенциал температур Θ -г авч үзвэл термодинамикийн 1 дүгээр хууль дараах байдалтай болно.

$$\frac{\partial}{\partial t} \pi \Theta + \nabla \cdot (\vec{V} \pi \Theta) = 0 \quad (23)$$

Энд (λ, θ) уртраг болон өргөргийн координатыг илэрхийлж байгаа бөгөөд моментийн тэгшитгэлийг вектороос үл хамаарах хэлбэрт бичиж болно.

$$\frac{\partial}{\partial t} u = \Omega u - \frac{1}{A \cos \theta} \left[\frac{\partial}{\partial \lambda} (k + \Phi - vD) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \lambda} p \right] - \frac{d\zeta}{dt} \frac{\partial u}{\partial \zeta} \quad (24)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} u = -\Omega u - \frac{1}{A} \left[\frac{\partial}{\partial \lambda} (k + \Phi - vD) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \theta} p \right] - \frac{d\zeta}{dt} \frac{\partial u}{\partial \zeta} \quad (25)$$

Энд A дэлхийн радиус, v сарнилыг багасгах коэффициент, D хэвтээ проекц дахь сарнил бөгөөд дараах байдлаар тодорхойлогдоно.

$$D = \frac{1}{A \cos \theta} \left[\frac{\partial}{\partial \lambda} (u) + \frac{\partial}{\partial \theta} (u \cos \theta) \right] \quad (26)$$

$$k = \frac{1}{2} (u^2 + v^2) \quad (9)$$

Бөгөөд хуйлралын босоо бүрэлдэхүүн дараах байдлаар тодорхойлогдоно.

$$\Omega = 2\omega \sin \theta + \frac{1}{A \cos \theta} \left[\frac{\partial}{\partial \lambda} u - \frac{\partial}{\partial \theta} (u \cos \theta) \right] \quad (27)$$

Энд ω нь дэлхийн эргэлтийн өнцөг хурд юм.

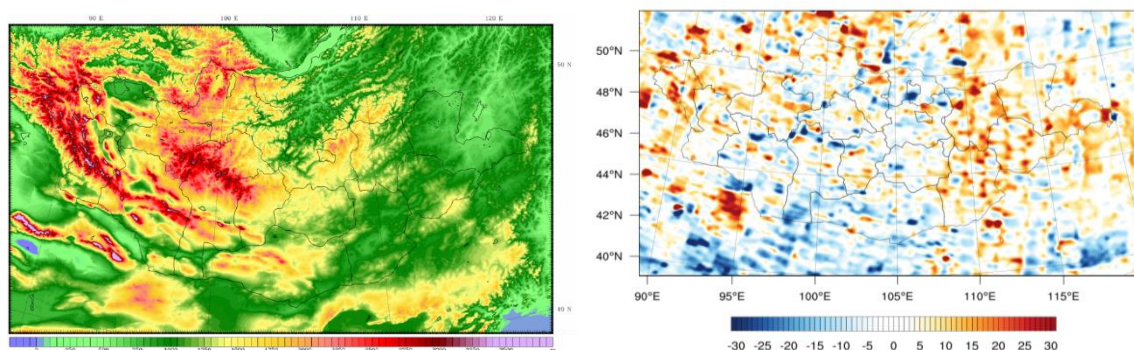
Загварын бодолтонд төгсгөлөг эзэлхүүний Лагранжийн координатын алгоритм ашиглах ба хэвтээ координатын алгоритмыг сайжруулахын тулд мөн Эйлэрийн координатаар дахин засварладаг.

Бүлэг 2. Судалгааны үр дүн

2.1 Загварыг зүгшрүүлэх, боловсруулах, эх мэдээ бэлтгэх

2.1.1 Өндөршлийн мэдээг бэлтгэх

WRF загварын өндөршлийн мэдээг 2010 онд дэлхийн хэмжээнд боловсруулан гаргасан мэдээгээр (Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010, GMTED2010, **Jeffrey J. Danielson and Dean B. Gesch, 2011**) шинэчлэв (Зураг 7). Ингэснээр загварын хамрах бүс нутгийн өндөршлийн мэдээ нарийвчлагдаж, даралтын градиентын бодолтын алдаа багасах боломжтой болсон. Зураг 7-д загварын хамрах бүс нутгийн сайжруулсан өндөршил, ба түүний өмнөх мэдээний хоорондын ялгааг үзүүлэв.

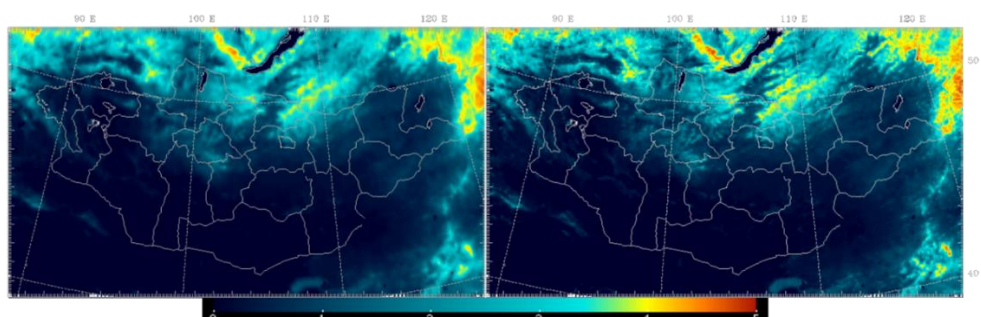


Зураг 7. Загварын хамрах бүс нутгийн сайжруулсан өндөршил ба түүний өмнөх мэдээний хоорондын ялгаа (м)

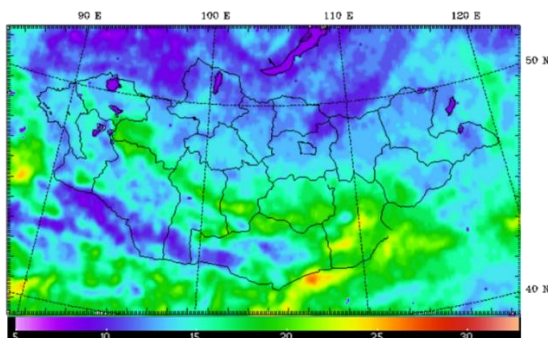
2.2.2 Ургамал бүрхэвчийн мэдээг бэлтгэх

WRF загвар нь навчны тайлбайн индекс (LAI), газрын гадаргын альбедогоос хамаарах ургамал бүрхэвчийн мэдээ ашигладаг. MODIS хиймэл дагуулын мэдээгээр гаргасан data LAI болон альбедог загварын газар орчмын анхны нөхцөл болгож оруулах боломжтой болгов. Ингэхдээ 2001-2010 оны 30 секундн мэдээг ашиглаж LAI-ийн сарын дундаж утга (Зураг 8), 1985-1989 оны мэдээгээр альбедог (Csizsar, I., and Gutman, G., 1999) тус тус тооцоолов. Зураг 9-д 7-р сарын альбедог жишээ болгон үзүүлэв.

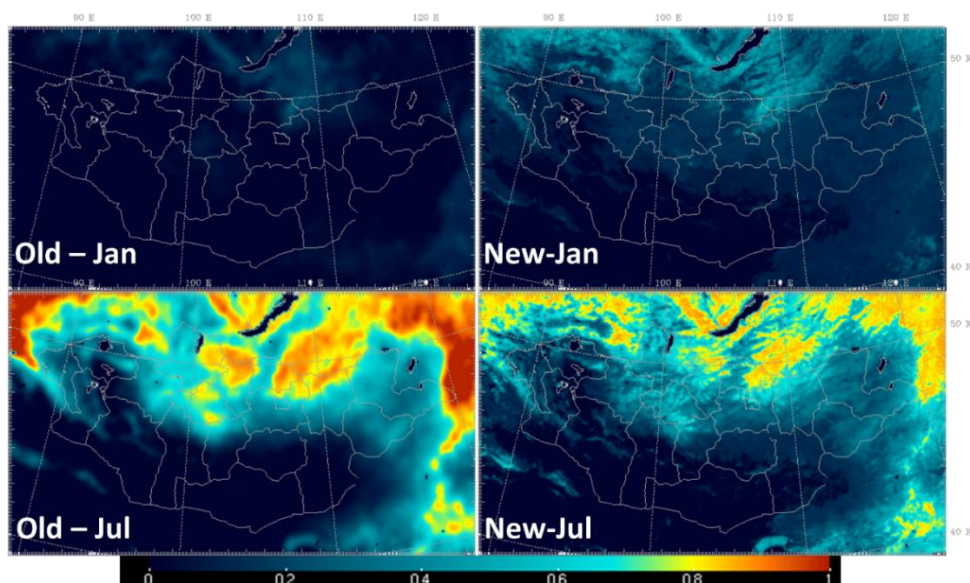
Мөн сарын дундаж ногоорлын фракцыг MODIS хиймэл дагуулын 2001-2010 оны мэдээгээр (Gutman, G. and A. Ignatov, 1997) шинэчлэв (Зураг 10).



Зураг 8. Загварын хамрах бүс нутгийн сайжруулсан LAI а) хуучин б) сайжруулсан



Зураг 9. Загварын хамрах бүс нутгийн 7-р сарын газрын гадаргын альбеда, %



Зураг 10. Загварын хамрах бүс нутгийн 1-р сар, 7-р сарын хуучин болон сайжруурсан ногоорлын хэмжээ, фракцаар

2.2 Гамшигт үзэгдлийг бичил болон бэсрэг хэмжээсээр загварчилсан үр дүн

Цаг агаар, уур амьсгалын гамшигт болон аюултай үзэгдэл болоход орон нутгийн газарзүйн онцлог, газар бүрхэвчийн нөхцөл байдал ихээхэн нөлөө үзүүлдэг. Иймд бичил болон бэсрэг хэмжээст агаар мандлын процессыг загварчлах нь тэдгээрийн нөлөөг тооцох боломжийг олгодог.

Бид энэхүү судалгааны ажлаараа манай оронд ихэнхдээ тохиолдож, нийгэм-эдийн засаг, хүмүүсийн амьдралд хамгийн их хохирол учруулдаг их халуун, их хүйтэн, цасан болон шороон шуурга, аадар их бороо, догшин хуй зэрэг гамшигт үзэгдлийг сонгон авч, тухайлсан судалгааг бичил болон бэсрэг хэмжээст загварчлан тооцоолов. Ингэхдээ сүүлийн 10 орчимд жилд тохиолдсон гамшигт үзэгдлийг тооцоолсон өнөөгийн ажиллаж буй загварын таарц, алдааг үнэлж, тэдгээрээс 1-2 тохиолдлыг үзэгдэл бүр дээр сонгон авч, нарийвчлан загварчлах замаар судалгааг хийв. Судалгааг

- ерөнхий синоптик буюу агаар мандлын орчил урсгалын нөхцөл тодорхойлох
- тухайн үзэгдлийг бичил болон бэсрэг хэмжээст загварчилж үр дүнг ажиглалттай харьцуулах, анализ хийх, механизмыг тайлбарлах

- загварчлалын үр дүнг сайжруулах зорилгоор мэдрэмтгий байдлын анализ хийх, өгөгдлийн ассимляци хийх, зарим схем параметрийг өөрчлөх, системийн дэд загвартай холбож, энерги, чийгийн харилцан үйлчлэлийг тооцох зэрэг арга техникийг ашиглах
- эцэст нь үнэлэлт, дүгнэлт хийх

гэсэн дарааллаар хийж, WRF загвараар тоон туршилтуудыг суперкомпьютер дээр хийв.

2.2.1 Их халуун, их хүйтэн

Агаарын хамгийн их болон бага температурын утга тухайн газар, орон, байгалийн бүсээс хамааран тодорхой босго утгаас давж гарах үед энэхүү аюултай үзэгдэл болно гэж үзнэ (Хавсралт 1). Монгол оронд ажиглагдсан их халуун, их хүйтний (ИХИХ гэх) аюултай үзэгдлийн жагсаалтыг Хүснэгт 3-т үзүүлэв.

Хүснэгт 3. 2011 оноос хойш ИХИХ-ний жагсаалт

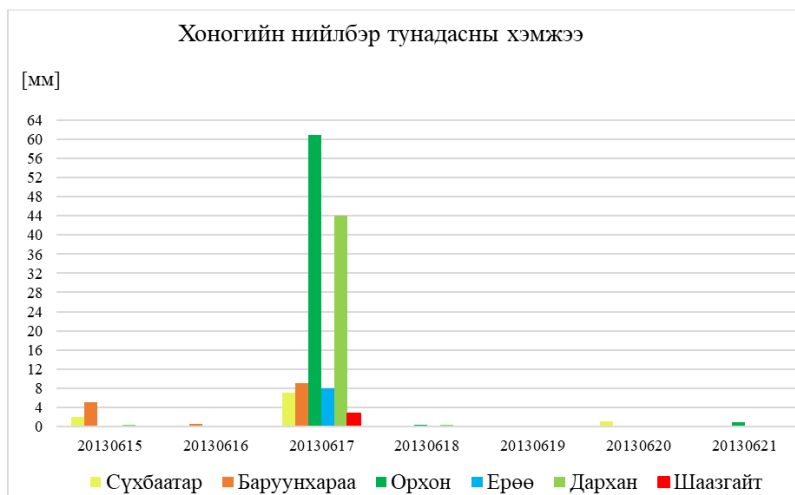
| 2011 | | | | |
|------|-----------|------------------|--------------------|---|
| | Сар өдөр | Үзэгдэлийн төрөл | Үзэгдэлийн эрч хүч | Хохирол |
| 13 | VII.13-17 | Их халуун | АҮ | 13, 14-нд Баруун аймгуудын нутгаар, 15-нд баруун болон төвийн нутаг, 16, 17 -нд төв болон говийн ихэнх нутгаар өдөртөө 32-42 градус хүрч их халуун болсон. |
| 2012 | | | | |
| 2 | I.15-20 | их хүйтэн | АҮ | Говийн бүсээс бусад нутгаар их хүйтэн болж агаарын хамгийн бага температур хасах 38-50 градус хүрэв. /Завханы Отгон, Тосонцэнгэлд -50 хүрсэн/ |
| 3 | I.25-31 | их хүйтэн | АҮ | Говийн бүсээс бусад нутгаар их хүйтэн болж агаарын хамгийн бага температур хасах 36-46 градус хүрэв. |
| 19 | VI.14-18 | их халуун | АҮ | Орхон сэлэнгийн сав, Хэнтийн баруун хэсгээр 32-35 градус хүрч их халуун болов |
| 2013 | | | | |
| № | Сар өдөр | Үзэгдэлийн төрөл | төрөл | Үзэгдэлийн хамарсан газар нутаг |
| 20 | VI.20 | их халуун | АҮ | Орхон Сэлэнгийн сав газраар 32-35 градус хүрч халав. |
| 23 | VII.23-24 | их халуун | АҮ | Орхон Сэлэнгийн сав газраар 32-34 градус хүрч халав. |
| 2014 | | | | |
| 13 | V.30-31 | их халуун | АҮ | 30-31-нд Орхон-Сэлэнгийн сав, Төв, Хэнтий, Дорнодын нутгаар их халууны АҮ болсон бөгөөд 30-нд Хэнтийн Өндөрхаан, Орхон, Баян-Овоо, Дадал, Галшар, Хэрлэнбаян-Улаан, Дорнодын Чойбалсан, Дашбалбар, Халхгол, Матад, Баян-Уул, Сүхбаатарын Баруун-Урт, Баяндэлгэр, Эрдэнэцагаан, Дарьганга, Булганы Гурванбулаг, Ингэттолгой, Хутга, Тэшил, Сэлэнгийн Сүхбаатар, Баруунхараа, Орхон, Ерөө, Цагааннуур, Орхонтуул, Зүүнхараа, Төвийн Лун, Жаргалант, Бүрэнд агаарын хамгийн их температур 32-35 градус хүрч халсан. Энэ нутгуудаас хамгийн их нь Хэнтийн Өндөрхаанд 35 градус хүрсэн байна. 31-нд хамгийн их халуун нь Дорнодын Халхгол, Дашбалбар, Чойбалсанд 36-37 градус хүрч халсан байна. |
| 15 | VI.11-12 | их халуун | АҮ | 11, 12-нд Орхон Сэлэнгийн сав газраар их халууны аюултай үзэгдэл болов 11-нд Сэлэнгийн Сүхбаатар, Баруунхараа, Орхон, Ерөө, Орхонтуул, Дархан, Зүүнхараагийн нутгаар агаарын температур 32-34 градус хүрч халсан байна. |
| 18 | VII.13-15 | их халуун | АҮ | 13-15 нийт нутгаар их халуун болсон. Энд хамгийн халуун нь Баянхонгорын Эхийнголд 38 градус, Увсын Тэс, Ховдын Зэрэг, Манхан, Говь-Алтайн Тооройд 36 градус хүрч халсан байна. |
| 19 | VII.23-24 | их халуун | АҮ | 23-24-нд Орхон Сэлэнгийн сав, Говийн нутгаар 32-34 градус, Дорноговийн Сайншанд 36 градус хүрч их халууны АҮ болов |
| 21 | VII.29-31 | их халуун | АҮ | 29-31-нд Орхон Сэлэнгийн сав, Говь талын нутгаар 32-38 градус, Баянхонгорын Эхийн гол, Өмнөговийн Ханбогд, Манлай, Дорноговийн Сайншанд, Хөвсгөлд 39-41 градус хүрч их халууны АҮ болов. |

Их халуун

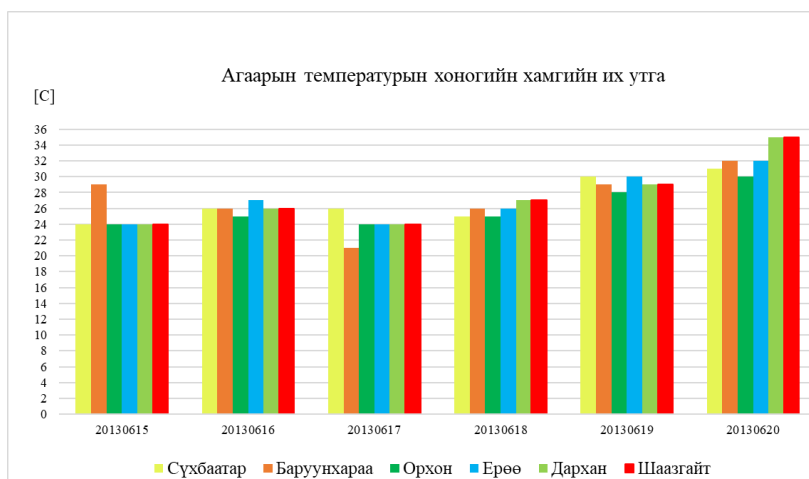
Дээрх гамшигт үзэгдлээс 2013 оны 6-р сарын 19-20-нд газар тариалангийн бүс нутаг буюу Орхон-Сэлэнгийн сав газраар болсон их халууныг WRF загвараар загварчилж тоон үнэлгээ хийв.

Ажиглалтын мэдээгээр хийсэн анализ. 2013 оны 6-р сарын 15-21-ний өдрүүдэд орсон хоногийн нийлбэр тунадасны хэмжээг авч үзвэл 15-16-ны өдрүүдэд Сэлэнгэ аймгийн Баруунхараа, Сүхбаатар орчмоор 0.0-5.0 мм, 17-нд Сэлэнгэ аймгийн Орхон, Дарханд 44-61 мм, Сэлэнгэ аймгийн Сүхбаатар, Баруунхараа, Ерөө, Шаазгайтад 3-7 мм, 18-21-нд сонгож авсан 6 станцын тухайд 0.0-0.1 мм

бороо орсон байв (Зураг 11). 15-ны өдрөөс хойш сонгож авсан 6 станц дээр хоногийн хамгийн их температурын утга аажмаар нэмэгдэж 15-18-ны өдрүүдэд 21-29 градус дулаан байсан бол улмаар 19-20-ны өдрүүдэд 29-35 градус болж нэмэгдсэн байна. Ялангуяа Дархан, Шаазгайт орчмоор 20-ны өдөр 35 градус хүрч халсан (Зураг 12).

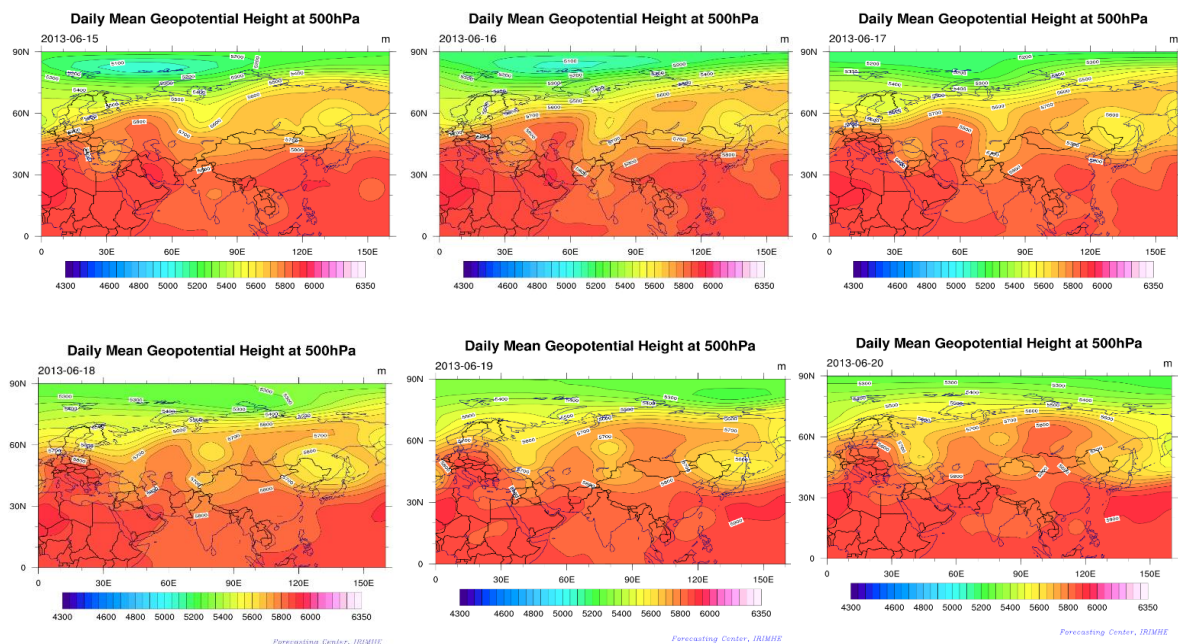


Зураг 11. 2013 оны 06-р сарын 15-21-ний өдрүүдэд ажиглагдсан хоногийн нийлбэр тунадасны хэмжээ



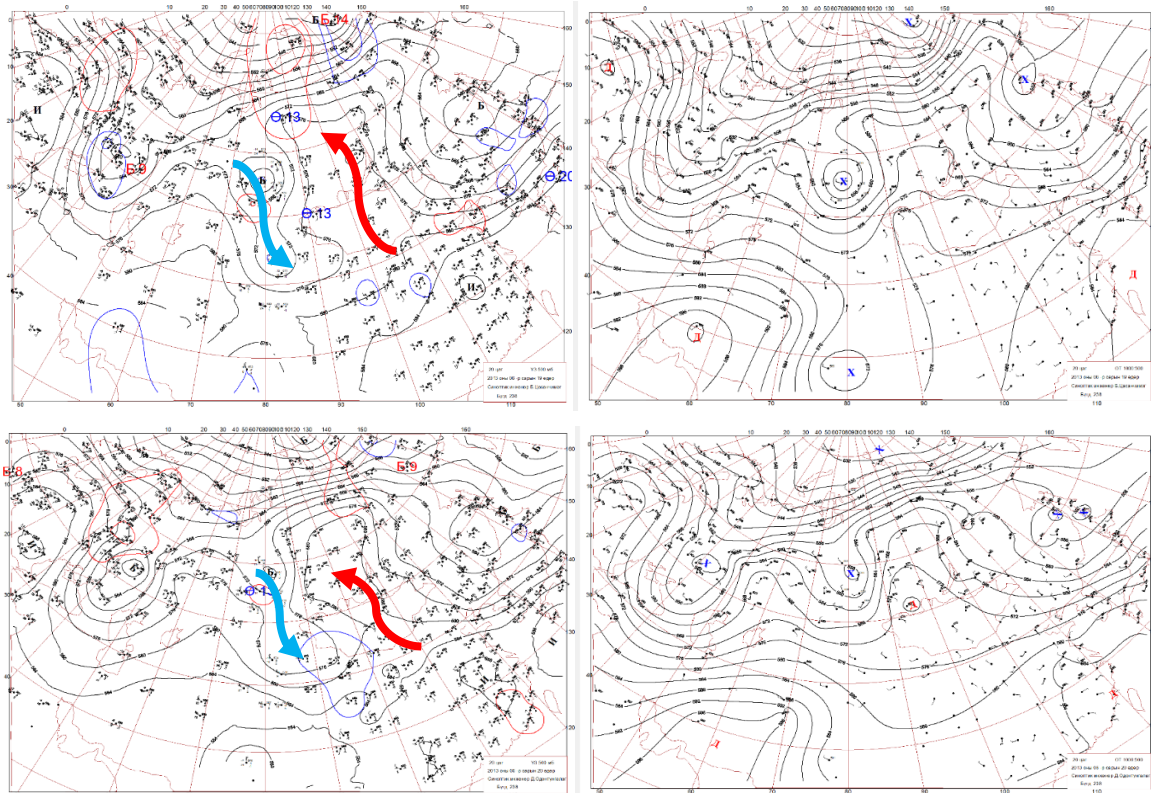
Зураг 12. 2013 оны 06-р сарын 15-21-ний өдрүүдэд ажиглагдсан агаарын температурын хоногийн хамгийн их утга

Орчил урсгалын нөхцлийг авч үзэхэд 500 гПа-ийн гадаргууд 06-р сарын 15-20-ны хооронд Баруун Сибирийн орчим өндрийн хотос тогтохын зэрэгцээ Зүүн Сибирийн өмнөд хэсэг, Монголын нутаг дээр өндрийн хориг гүвээ 15-20-ны хооронд тогтож, манай орны хувьд нартай цэлмэг өдрүүд үргэлжилсэн байна (Зураг 13).



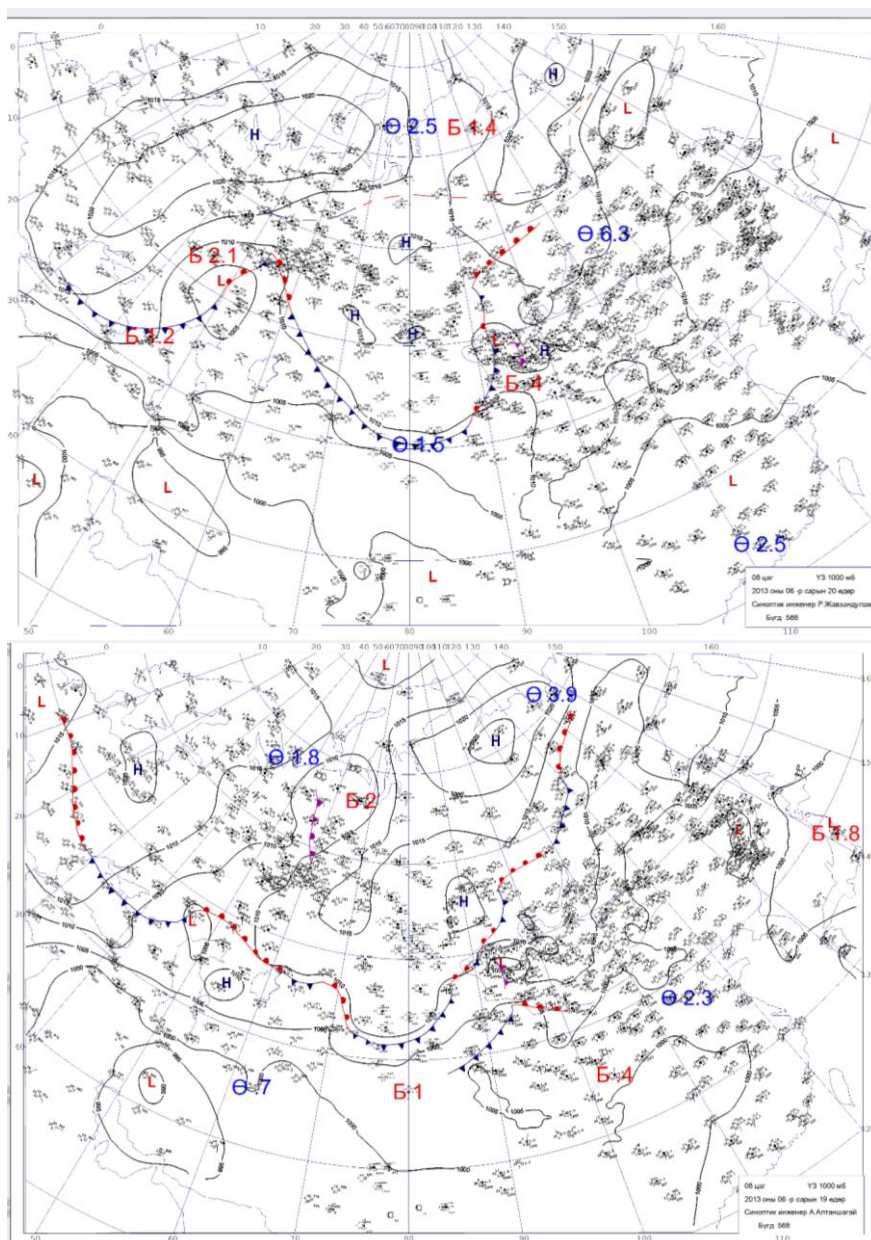
Зураг 13. NCEP-ийн 2.5 градусын алхам бүхий реанализын мэдээгээр зурсан 500гПа-ийн өндөрийн түвшиний зураг

Үндэсний ус цаг уурын албаны 6-р сарын 19-ний тухайн үеийн мэдээ, өгөгдлөөр Монгол орны нутгийн баруун хагаст, 20-ны өдөр нутгийн төв хэсгээр өндрийн дулаан гүвээтэй байв. Уг дулаан гүвээний нөлөөгөөр өмнөдөөс их хэмжээний дулаан агаарын масс хойш татагдаж, их халууны аюултай үзэгдэл болох нөхцлийг бүрдүүлсэн байна (Зураг 14).



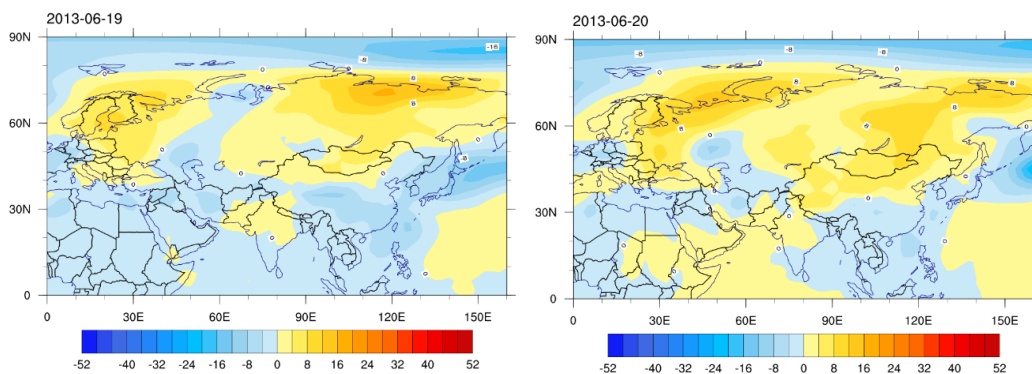
Зураг 14. OT1000:500 ба 500гПа-н өндрийн оройн 20:00 цагийн зураг (дээд-2013.06.19, доод-2013.06.20; баруун-500гПа-ийн өндөр, зүүн-OT1000:500). Зураг дээрх улаан сумтай зураасаар өмнөдийн дулаан агаарын урсгал, цэнхэр сумтай шугамаар хойдын хүйтэн агаарын урсгалыг харуулж байна.

Монгол орны баруун зүгийн нутаг дээр 19-ний өдөр 1005 гПа, төвийн нутгийн баруун хойд хэсгээр 1010 гПа-н их даралтын 2 тусдаа төв байрлаж байсан бол, 20-ны өдөр их даралтын орны төв нутгийн хойд хэсэгт шилжиж, улмаар их даралтын орны төвийн даралтын эрчим нэмэгдэж 1015 гПа болсон байв. Монгол орон агаарын фронтын дулаан секторын нөлөөнд 19-20-нд үндсэндээ байв (Зураг 15).



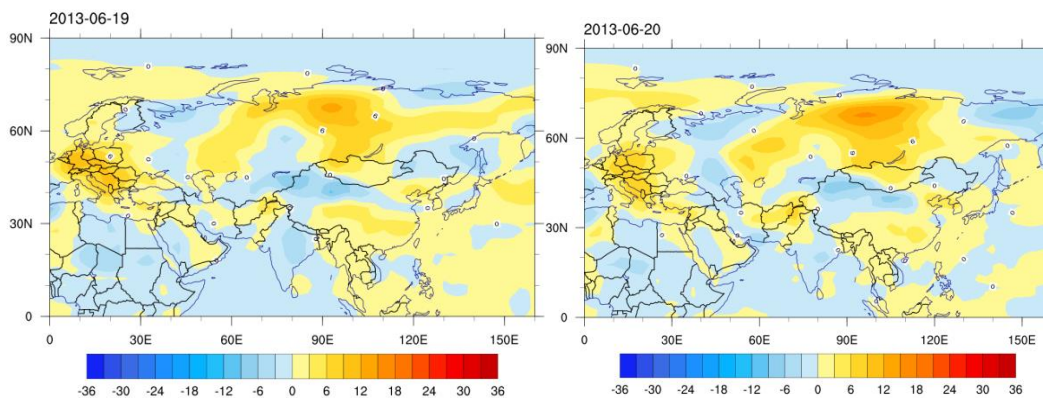
Зураг 15. Газрын даралтын орны зураг (дээд-2013.06.19, доод-2013.06.20).

Далайн түвшинд шилжүүлсэн газрын даралтын орны утгыг олон жилийн хоногийн дундаж утгатай нь харьцуулж үзвэл 19-ний өдөр Монгол орны ихэнх нутгаар 4 гПа, 20-ны өдөр нутгийн хойд хэсгээр 4-8 гПа-аар олон жилийн хоногийн дундаж утгаас их байв (Зураг 16).



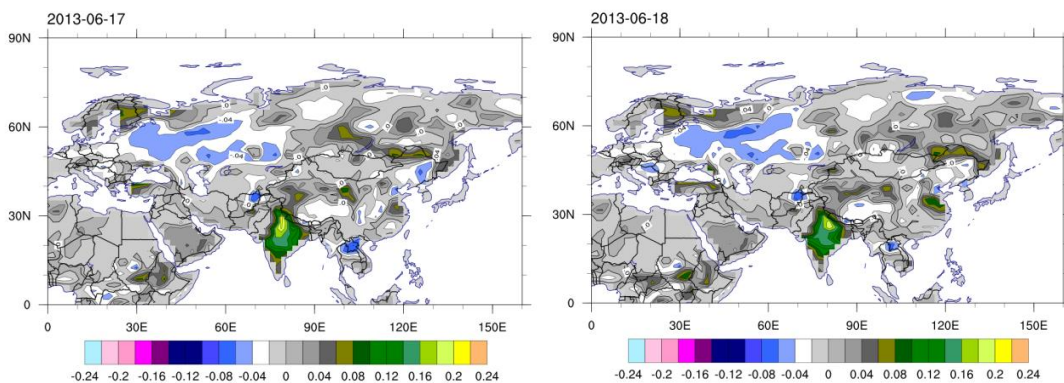
Зураг 16. NCEP-ийн 2.5 градусын алхам бүхий реанализын мэдээгээр зурсан далайн түвшний даралтын орны олон жилийн хоногийн дундаж утгатай харьцуулсан хазайц

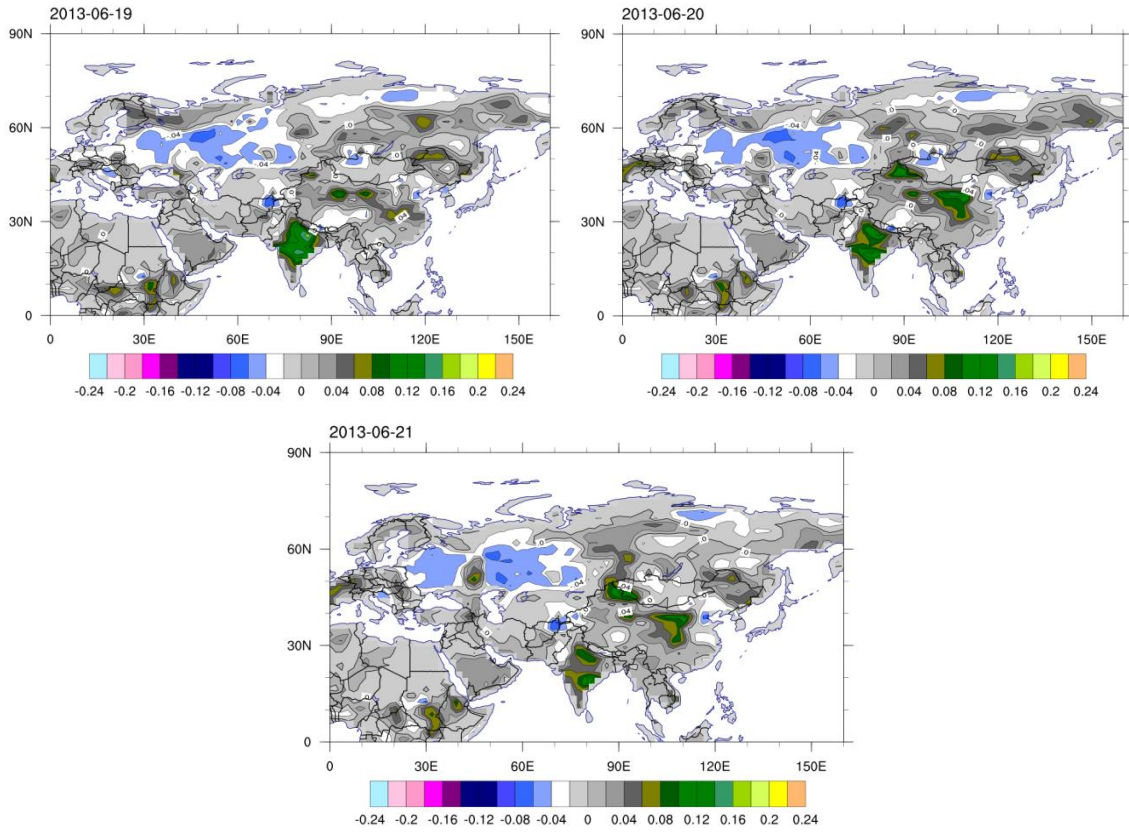
NCEP-ийн реанализын 2.5 градусын гридын алхам бүхий газрын гадаргын температурын мэдээгээр 19-ний өдөр Монгол орны нутгийн баруун болон хойд хэсгээр, 20-ны өдөр Монгол орны ихэнх нутгаар олон жилийн дундаж утгаас 6-12 градусаар дулаан байсан байна (Зураг 17).



Зураг 17. NCEP-ийн 2.5 градусын алхам бүхий реанализын мэдээгээр зурсан газрын гадаргын температурын орны хазайцын зураг (баруун-2013.06.19, зүүн-2013.06.20)

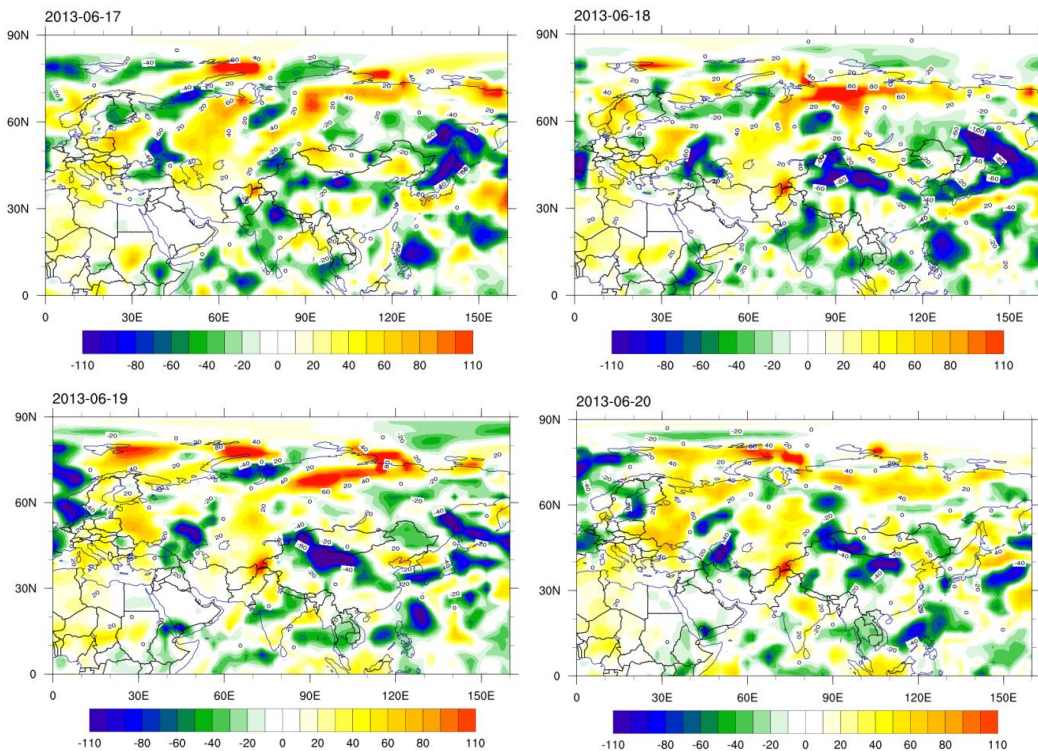
NCEP реанализын $2.5 \times 2.5^\circ$ -ын орон зайн нарийвчлалтай мэдээгээр хөрсний өнгөн үе давхарга буюу 0-10 см зузаан үе давхаргад агуулагдах чийгийн хэмжээг 17-20-ны өдрүүдийн утгыг тухайн өдрүүдийн олон жилийн дундажтай харьцуулж үзэхэд 17-18-ны өдрүүдэд дунджийн орчим, харин 19-20-ны өдрүүдэд манай орны нутгийн хойд хэсгээр дунджаас бага хэмжээтэй байв (Зураг 18).

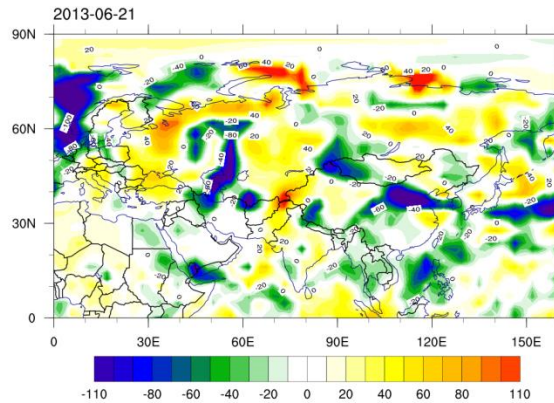




Зураг 18. Хөрсний 0-10 см-ийн эзлэхүүнт чийгийн хоногийн аномалийн тархац

Газрын гадарга дээрх богино долгионт цацрагийн хоногийн дундаж утгыг олон жилийн дундаж утгатай нь мөн харьцуулж үзэхэд 17-нд Монгол орны нутгийн баруун хэсгээр, 18-нд нутгийн төв хэсгээр, 19-20-ны өдрүүдэд нутгийн зүүн хагаст дунджаас их хэмжээтэй байв (Зураг 19).



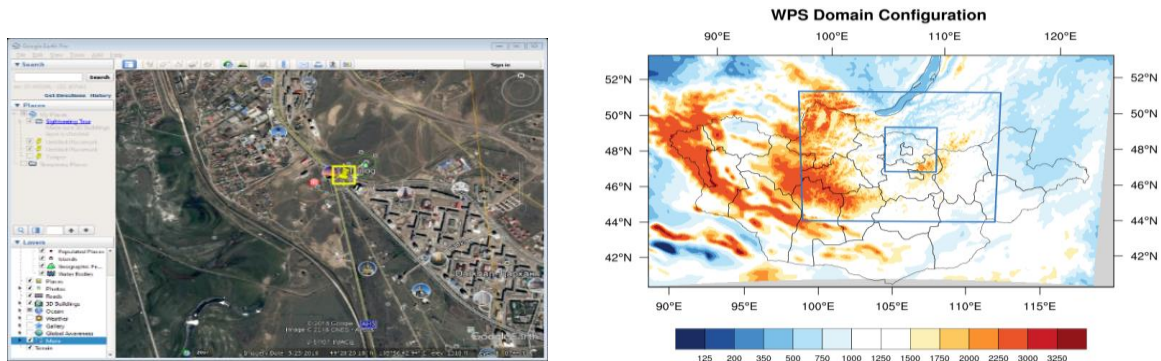


Зураг 19. Богино долгионт цацрагийн хоногийн аномалийн тархац

Загварын үр дүн. WRF загвараар газар тариалангийн бүс нутагт болсон их халууны аюултай үзэгдлийг 3 хамрах бүс нутгаар тоон туршилтыг хийв. Үүнд:

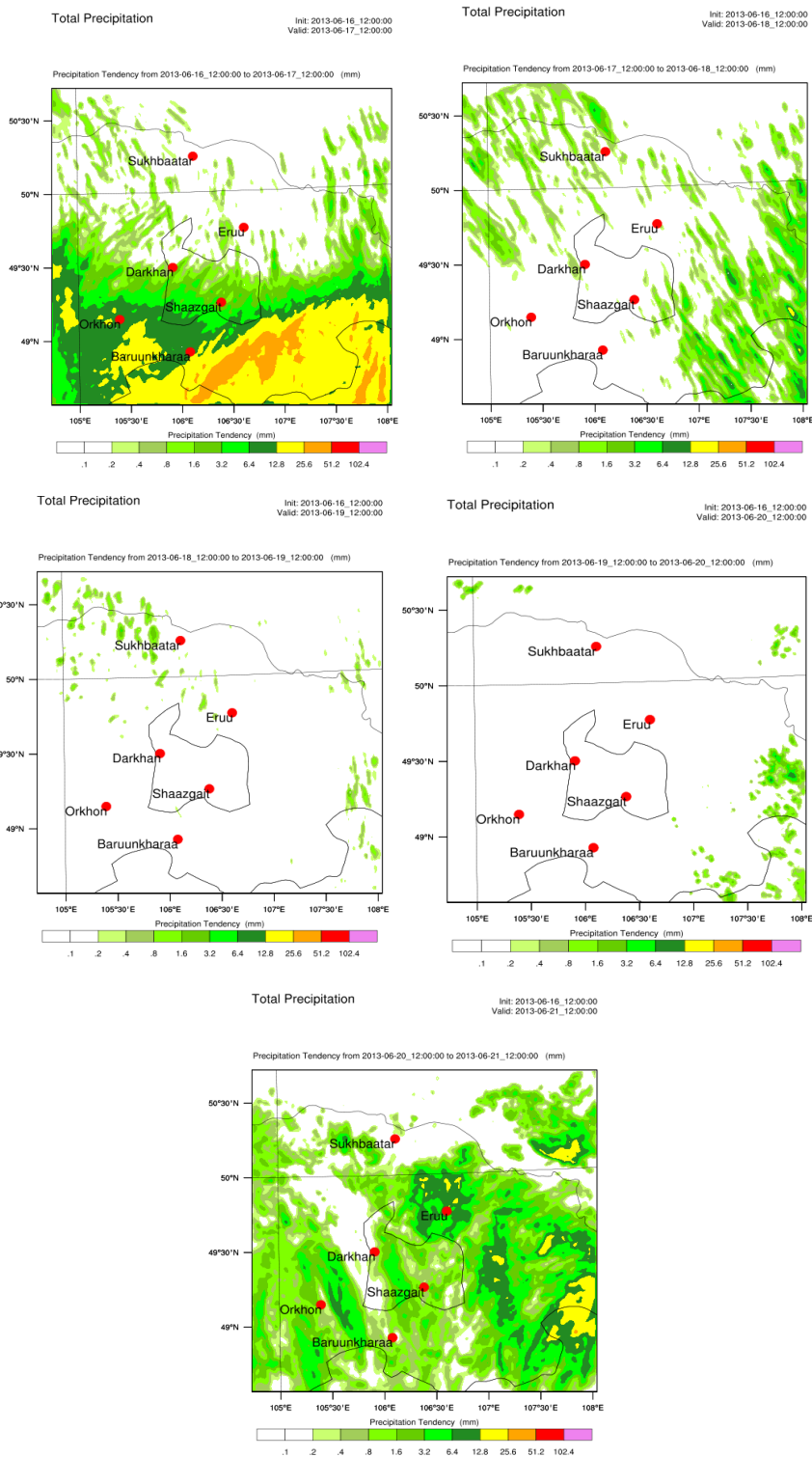
- 1-р хамрах бүс нутаг: Монгол орны хэмжээнд: 9км, 3 цаг
- 2-р хамрах бүс нутаг: Төвийн аймгуудын нутаг: 3км, 1 цаг
- 3-р хамрах бүс нутаг: Дархан, Сэлэнгэ орчмоор: 1км, 1 цагийн

алхамт нарийвчлалтайгаар 3 бүс нутагт үүрэлсэн домайны туршилт хийв (Зураг 20). Төв цэг: Дархан хотын төв замын тойрог



Зураг 20. Тоон туршилтанд сонгож авсан 1, 2, 3-р хамрах бүс нутгийн өндршлийн зураг ба төв цэгийн байршил

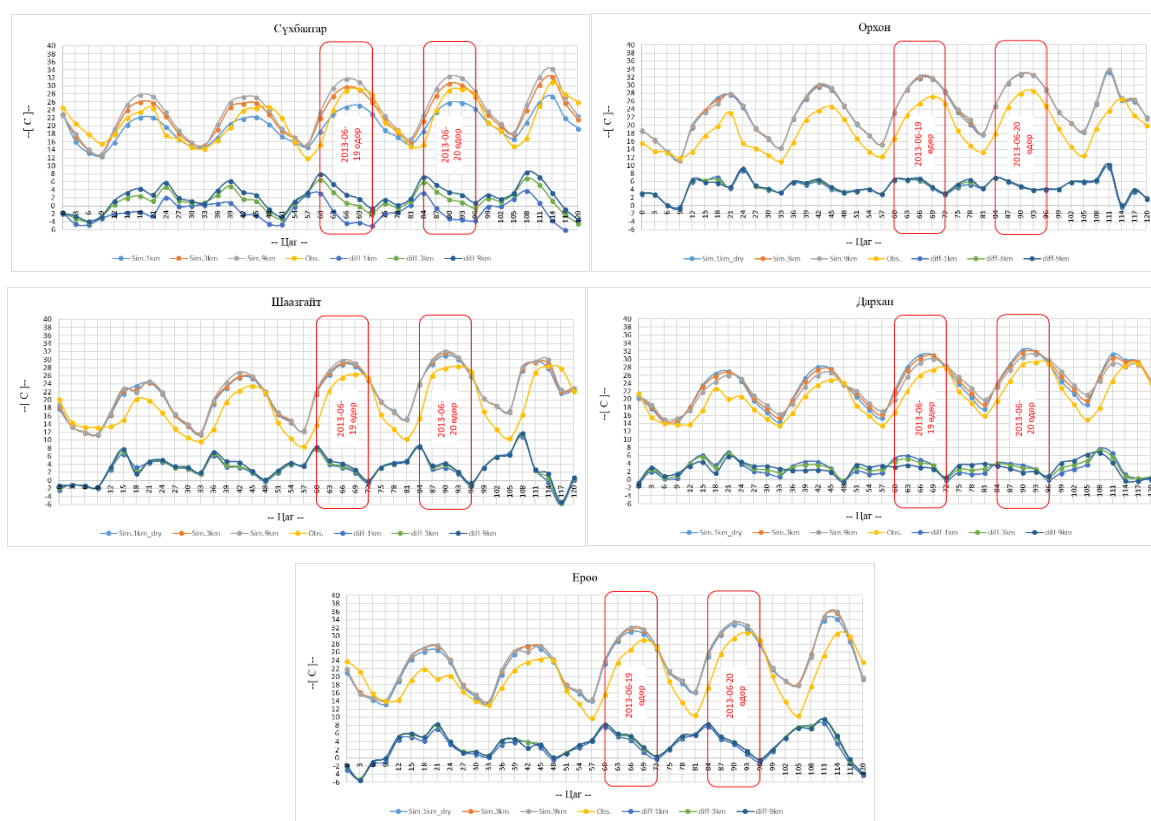
Хугацааны эхэн буюу 17-ны өдөр сонгож авсан 3-р хамрах бүс нутагт 0-48 мм, дараа өдөр буюу 18-нд 0.0-0.3 мм түр зуурын бороотой, харин 19-20-ны өдрүүдэд 0.0-3.0 мм бага хэмжээний түр зуурын бороо шөнийн хугацаанд өгч, 21-нд 0-40 мм орчим бороо орно гэж тооцоолсон байна. Загвараар тооцоолсон үр дүн 18-ны өдөр ажиглалтаас их буюу 6.4 мм тунадас өгч, 19-20-ны өдрүүдэд тунадас өгөөгүй (Зураг 21).



Зураг 21. 2013 оны 6-р сарын 17-21-нд WRF загвараар 1км нарийвчлалтай 3-р домаянд тооцсон хоногийн нийлбэр тунадасны хэмжээг өдөр бүрээр харуулсан байдал

Температурын орны тухайд 1км-ээр бодуулсан үр дүн 9 ба 3 км-ээр бодуулсан дүнг бодвол алдаа нь дунджаар 0.2-2.0 градусаар багассан байна. Уг үр дүнг 240, 241, 242, 243, 244, 251 (Сэлэнгэ аймгийн Сүхбаатар, Баруунхараа, Орхон, Ерөө, Дархан-Уул аймгийн Дархан, Шаазгайт) станцуудын агаарын температурын өдрийн хамгийн их утга болох Тмах-ын 3 цаг тутмын бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулж үзэхэд уг их халууны үзэгдлийг 72-96 цагийн өмнөх сонгож авсан 6 станцын хувьд 100%-ийн ончтой тооцоолж чадсан. Гэвч

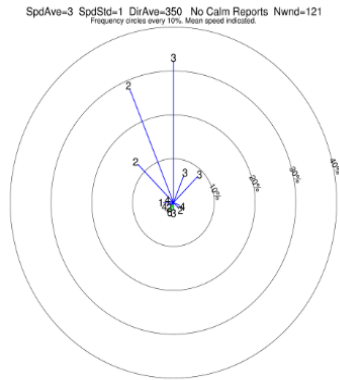
эхний хоногуудын хувьд 2-5 гардусын зөрүүтэй. Ерөнхийдөө загварын тооцоолол 19-20-ны өдрүүдэд температурын хамгийн их утгыг 2-4 градусаар дулаан талдаа өгсөн боловч, 20-ны өдөр Дархан станцын максимум температурыг 32 градус өгсөн нь бодитоос 3 градусаар бага байна. Харин Сүхбаатарт 1км-ийн нарийвчлалтай утга эхний хоногуудад бодит утгад илүү дөхүү байсан бол уг их халууны өдрүүдэд 2 градусаар сэрүүн, 3 ба 9 км-ийн нарийвчлалтай үр дүнд бодит утгаас 1-2 градус дулаан өгсөн. Бусад 4 станцын тухайд 72-96 цагийн өмнөөс уг их халууныг илрүүлж чадсан (Зураг 22).



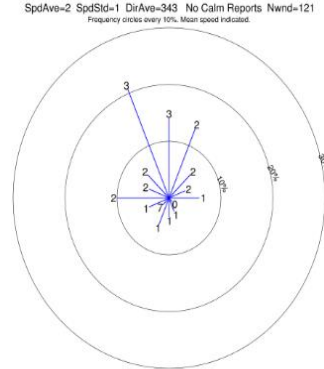
Зураг 22. 2-ийн түвшний температурын орны прогнозын үр дүнг бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулсан үнэлгээ. (9 км, 3 км ба 1 км-ийн нарийвчлалтай домайн)

Дархан, Ерөө, Орхон, Баруунхараа, Шаазгайт зэрэг цаг уурын 6 станц дээр хэвтээ чиглэлийн салхины хурдны давтаглыг авч үзвэл Дархан, Орхон станцууд дээр 3 м/с-ийн хойд ба зүүн хойдын салхины давтагдал 30%, бусад 4 станц дээр 2-3 м/с-ийн хойд, баруун хойдын салхины давтагдал 20% байв. Гэтэл уг их халалтын хугацаанд монгол орны ихэнх нутаг агаарын фронтын дулаан секторын мужид байсан тул баруун өмнөдийн салхи зонхилох юм. Харин уг сонгож авсан Дархан, Сэлэнгийн станцууд нь газарзүйн байршлын хувьд гол төлөв уулархаг бүсэд буюу уулын томоохон хөндийд оршдог тул өдрийн хугацаанд газрын гадаргаас халсан агаар диабат процессоор халж уул хөндийгөөр өгсөж улмаар уулын фён ба фён хэв шинжийг агуулсан орон нутгийн шинжтэй орчил урсгалын нөлөөнд байсан гэх дүгнэлтэнд хүргэж байна. Гэвч энэхүү дүгнэлт нь таамаг төдий ба үүнийг батагахын тулд цаашид Лагранжийн энергийн балансын тооцоо, агаарын орчил урсгалын замнал байгуулах зэрэг ажлуудыг нэмж хийх шаардлагатай (Зураг 23).

Darkhan: All Times Wind Rose: grid point [49.49 , 105.93]



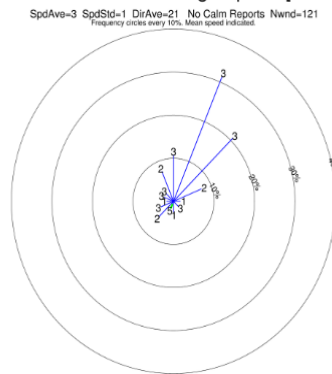
Eruu: All Times Wind Rose: grid point [49.74 , 106.66]



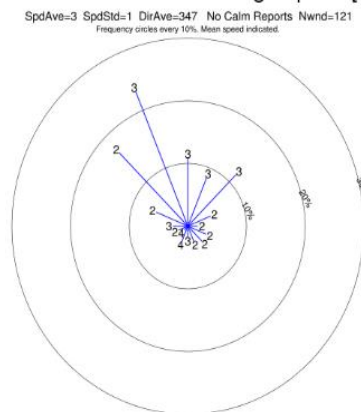
Shaazgait: All Times Wind Rose: grid point [49.24 , 106.41]



Orkhon: All Times Wind Rose: grid point [49.14 , 105.41]



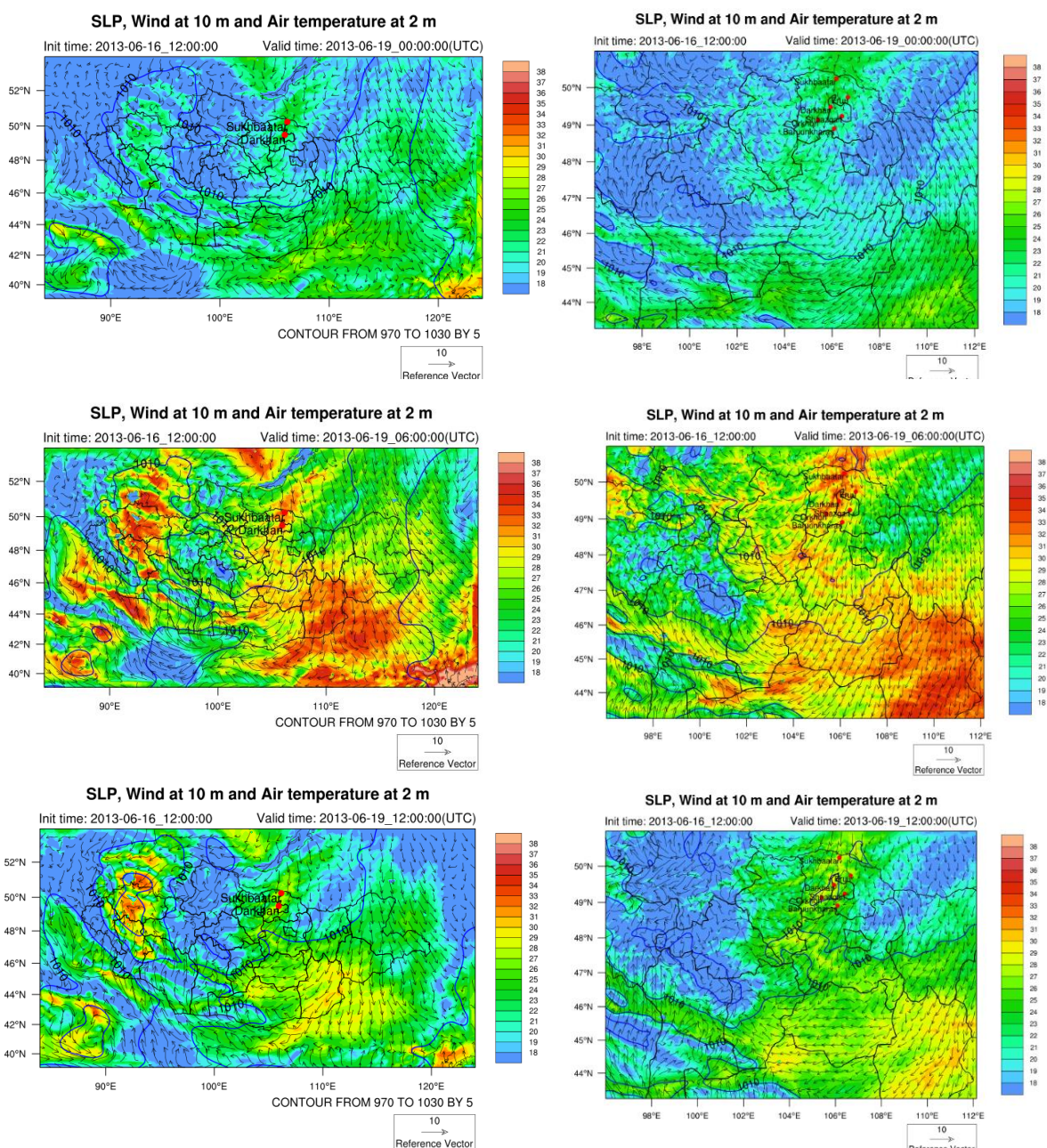
Baruun-Kharaa: All Times Wind Rose: grid point [48.91 , 106.07]



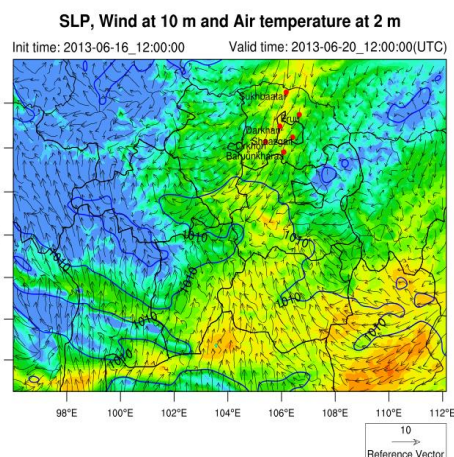
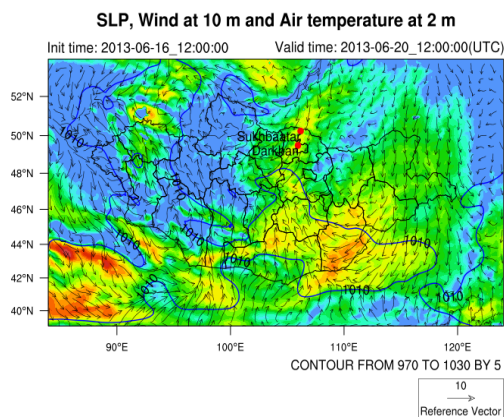
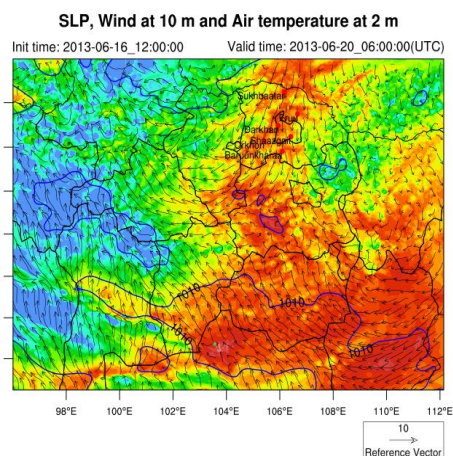
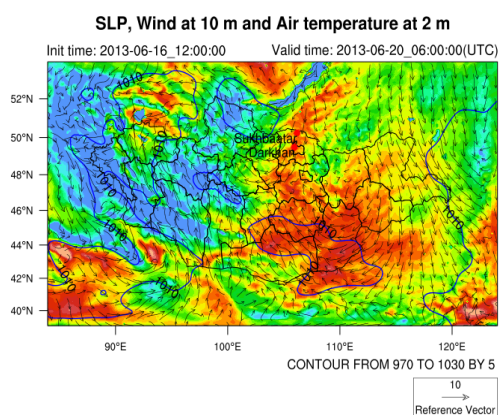
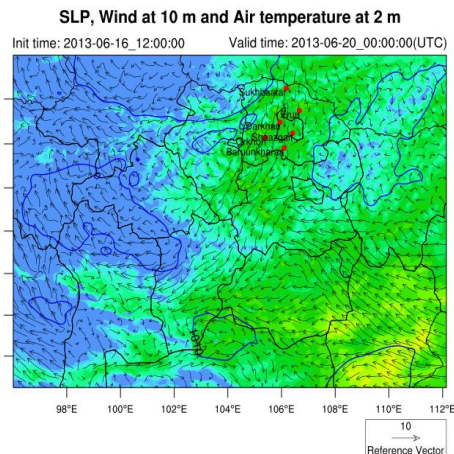
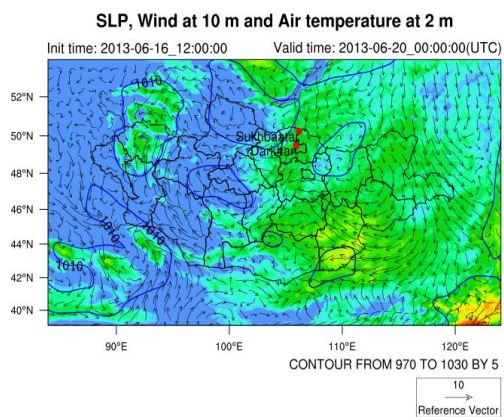
Зураг 23. 1 км-ийн нарийвчлалтай 3-р домайны тооцоолсон салхины параметрээр байгуулсан салхины зүг чийгийн давтагдлын зураг

Орон зайн хувьд авч үзвэл 1 ба 3 км-ээр тооцоолсон үр дүн 9 км-ээр тооцсон үр дүнгээс нарийвчлал сайтай байв. Зураг 24-25-т харуулсанаар харуулсанаар (өнгөний ялгаатай хуваариар температурын орныг, хөх зураасаар даралтын орныг, сум бүхий зураасаар салхины векторыг илэрхийлэв) Т2м, салхийн зүг чиг, хурны вектор, даралтын орныг давхцуулж үзэхэд 19-ний өдөр Монгол орны баруун болон төвийн нутаг дээр байрлаж байсан их даралтын орны төв орон зайн байрлал, утгын хувьд бодит утгатай адил байсан ба 20-ний өдөр уг их даралтын

орон зүүн тийш шилжиж байршсан байв. 19-20-ны өдрүүдэд уг туршилтын бүс нутаг нь дулаан секторын нөлөөнд байсан ба өглөө 08 цагийн байдлаар 23-25 градусын дулаан байсан бол өдөр 14 цаг гэхэд өмнөдөөс ихээхэн хэмжээний дулаан дээш татагдан ирсэн. 19-ний өдрийн 14 цагт Дархан, Сэлэнгийн орчимд агаарын температур 34-36 градус дулаан байсан бол 20-ны өдөр 36-39 градус болж нэмэгдсэн байв (Зураг 24-25). Энэ нь бодит утгаас 2-3 градусаар дулаан талдаа өгсөн байна. Гэхдээ таарц дүгнэх журмын хувьд үнэлбэл загварын онч, таарц 100 % байна.



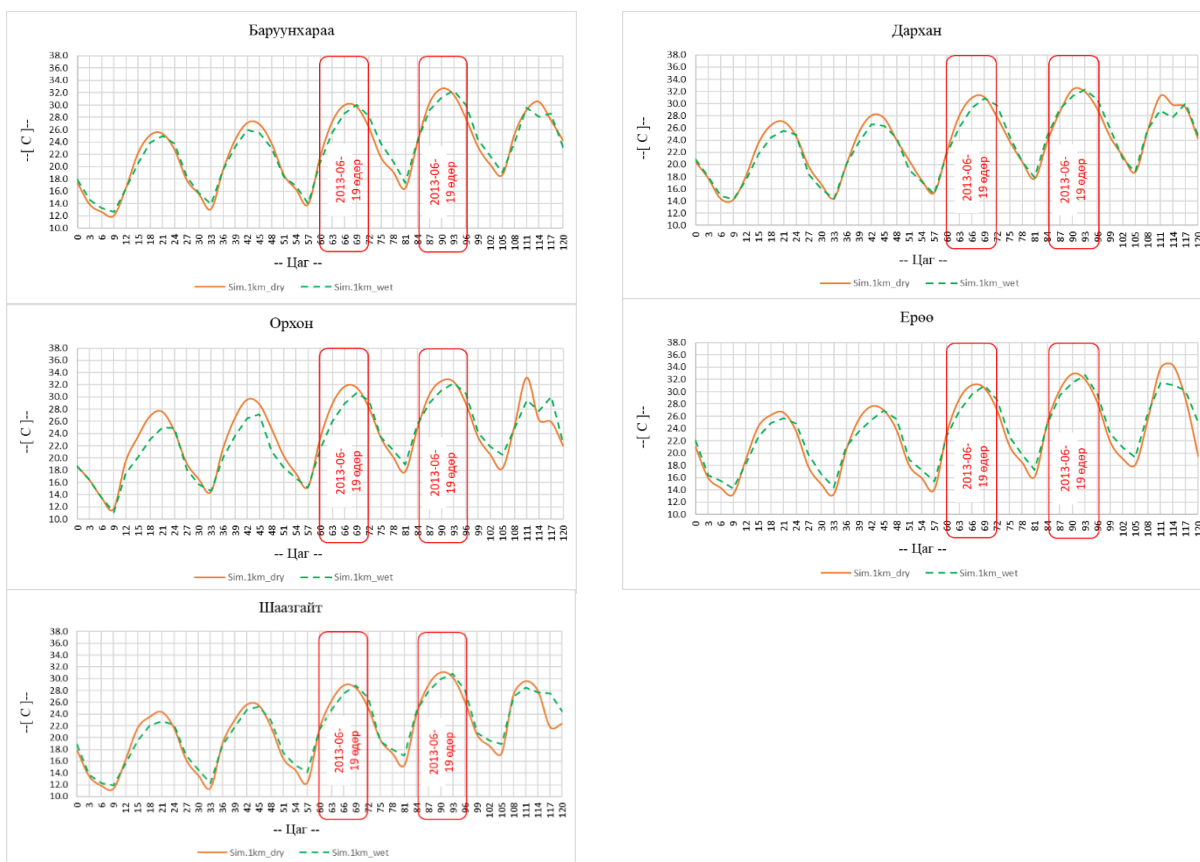
Зураг 24. 9 км ба 3 км-ийн нарийвчлалтай бүс нутгийн 2 м-ийн түвшний агаарын температурын орны 19-ний өдрийн өглөө 08:00 цаг (дээд), өдрийн 14:00 цаг (дунд), оройн 20:00 цаг (доод)-ийн тархацын зураг



Зураг 25. 9 км ба 3 км-ийн нарийвчлалтай бүс нутгийн 2 м-ийн түвшний агаарын температурын орны 20-ны өдрийн өглөө 08:00 цаг (дээд), өдрийн 14:00 цаг (дунд), оройн 20:00 цаг (доод)-ийн тархацын зураг

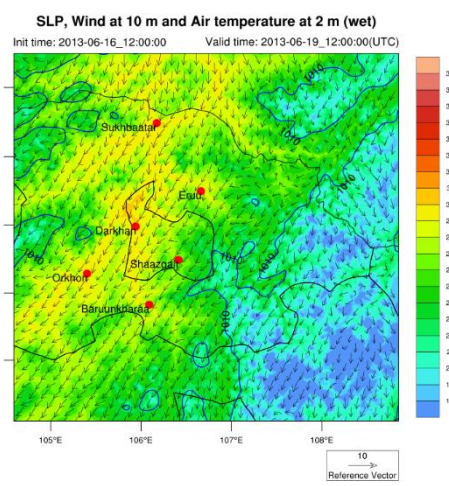
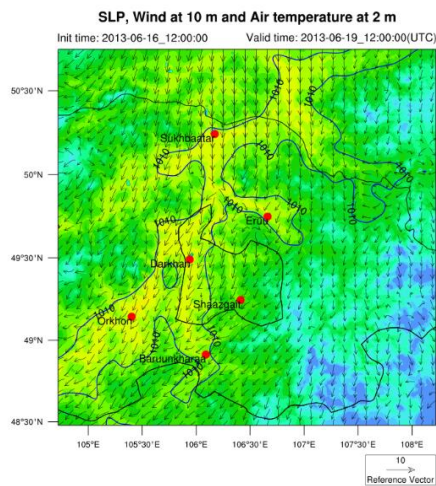
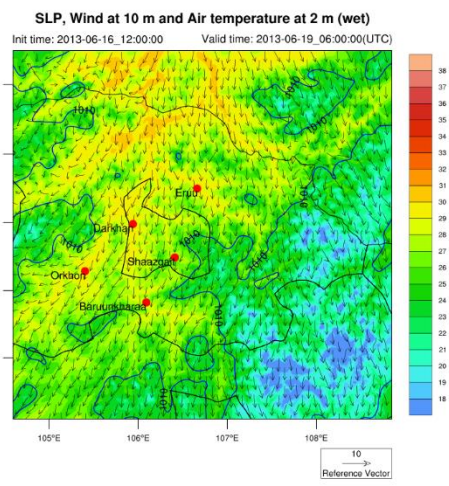
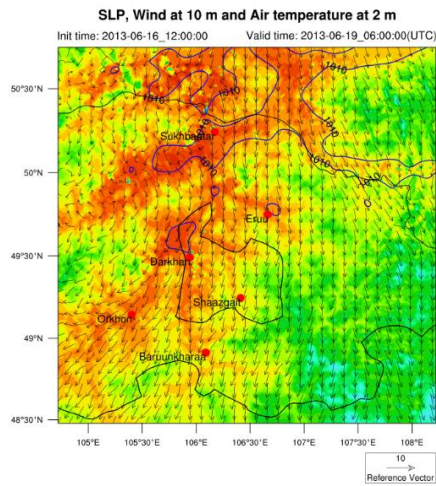
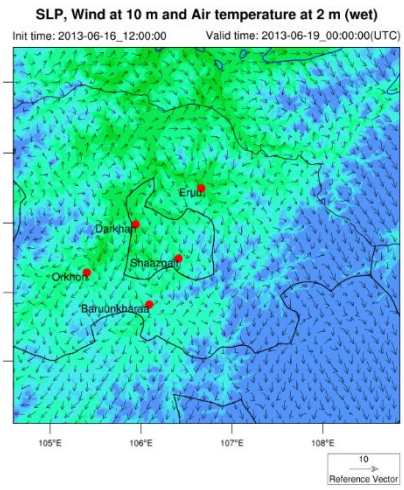
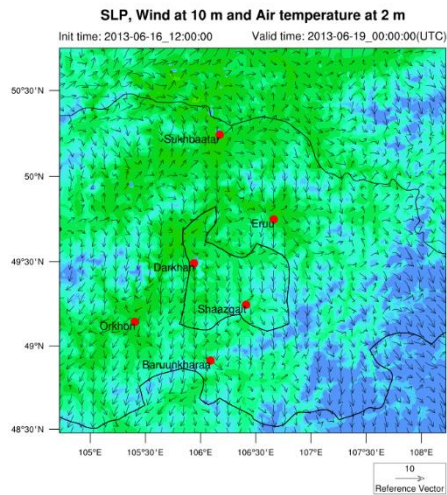
Газрын гадарга орчмын агаарын температурыг хөрсний чийгийн өөрчлөлтөнд мэдрэг эсэхийг туршихдаа 3-р домайны 1км-ийн нарийвчлалтай загварын анхны нөхцөлд 0-10 см-ийн өнгөн хөрсний чийгийг 20%-иар гридийн цэгүүд дээр жигд нэмэгдүүлж, улмаар газрын гадарга орчмын агаарын температур хэрхэн өөрчлөгдөж буйг судалсан. Чийгтэй үеийн туршилтын үр дүнг хуурай үеийн температурын утгатай харьцуулж үзэхэд өдрийн 14-15 цагийн үед бүх сонгож авсан 6 станц дээр 1-2 градусаар сэрүүссэн боловч 15-19 цагийн

хуурай үеийн утгаас 1-2 градусаар дулаан, харин шөнийн хугацаанд хуурай тохиолдлын утгатай ойролцоо байв (Зураг 26).

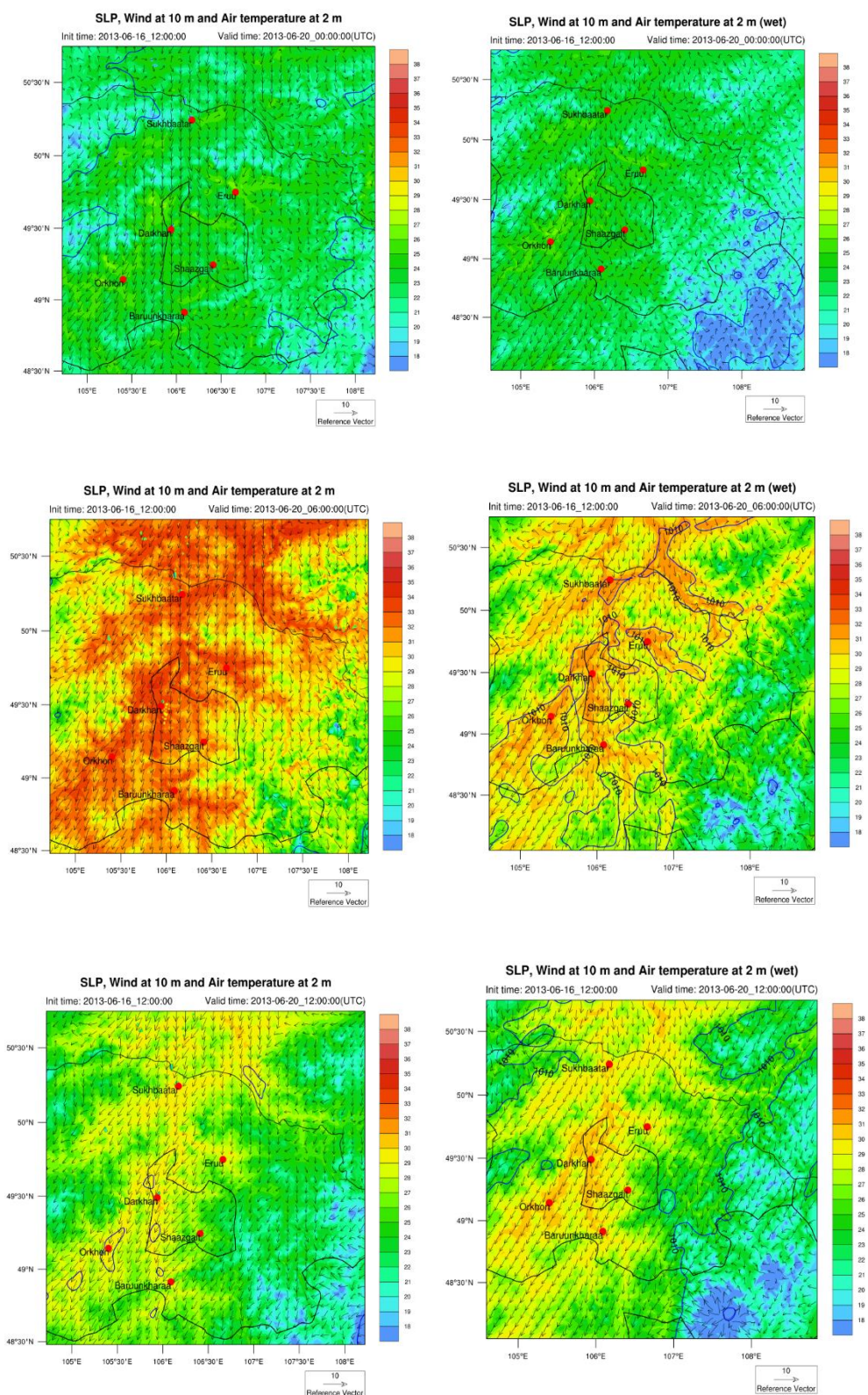


Зураг 26. 1 км-ийн нарийвчлалтай 3-р домайны 2 м-ийн түвшний агаарын температурын орны чийгтэй, чийггүй үеийн туршилтын үр дүн.

Орон зайн хувьд авч үзвэл 19, 20-ны өглөө 08 цагийн үед хуурай үеийн T2м-ийн хэвтээ тархалтын утга чийгтэй үеийнхээс 2-3 градусаар дулаан, 14 цагт 6-9 градусаар дулаан байсан бол орой 20 цагийн үед хуурай тохиолдлын утга чийгтэй тохиолдлынхоос даруй 2-3 градусаар сэрүүн байв. Харин даралтын орны хувьд чийгтэй тохиолдолд их даралтын орны төв хуурай тохиолдлынхтой харьцуулбал бага зэрэг баруун талдаа, Дархан, Сэлэнгийн орчмоор салхины зүг чанх хойноос байв (Зураг 27-28). Энэхүү хөрсний чийгийн өөрчлөлтөөс үүдсэн T2 м-ийн хэвтээ тархацын ялгаатай хэв шинж нь турбулент диффузийн физик процесс болон газрын гадаргаас гарсан хуурай халсан агаар ил дулааны урсгалаар дээш тархаж улмаар орчны агаартай дулаан солилцох замаар газрын гадарга орчимд хэт халалт үүссэн гэж үзэж байна.



Зураг 27. 1 км-ийн нарийвчлалтай бүс нутгийн 2 м-ийн түвшний агаарын температурын хөрсний чийгт мэдрэг байдлын туршилтын үр дүн (зүүн гар талд: хуурай тохиолдол), (баруун гар талд: чийгтэй тохиолдол). 19-ний өдрийн өглөө 08:00 цаг (дээд), өдрийн 14:00 цаг (дунд), оройн 20:00 цаг (доод)



Зураг 28. 1 км-ийн нарийвчлалтай бүс нутгийн 2 м-ийн түвшний агаарын температурын хөрсний чийгт мэдрэг байдлын туршилтын үр дүн (зүүн гар талд: хуурай тохиолдол), (баруун гар талд: чийгтэй тохиолдол). 20-ны өдрийн өглөө 08:00 цаг (дээд), өдрийн 14:00 цаг (дунд), оройн 20:00 цаг (доод)

Нарийвчилсан тоон туршилт. Энэхүү агаарын температурын хэт халалт үүсэх механизм нь хэд хэдэн физик процессын нөлөөгөөр үүссэн ба энэ удаад нэгж гадарга дээрх агаарын босоо багана дахь дулааны тоо хэмжээг үнэлэх замаар уг хэт халалтын физик процессыг бичил хэмжээсийн хүрээнд тайлбарлахыг оролдлоо. Энд уг босоо баганын дээд хилийг 850гПа-ын өндрийн түвшинээр сонгон авсан болно. Уг босоо багана дахь хуримтлагдсан дулааны хэмжээ 19 ба 20-ны өдрүүдэд өглөөний 05 цагаас оройн 20 цаг хүртэл сонгож авсан 6 станц дээр хугааны хувьд хэрхэн өөрчлөгдөж буйг дараах томъёогоор тооцож анализ хийв. Энэ аргыг ашиглан олон тооны эрдэмтэд уулархаг газрын агаарын орчил урсгалын судалгаа болон их халууны аюултай үзэгдлийн хэд хэдэн тохиолдлуудад анализ хийжээ. Тухайлбал Японы эрдэмтэн Я. Охаши, Х. Кида нар 2002 онд уулархаг хот орчмын өдрийн хугацааны агаарын орчил урсгал, температурын хэт халалтыг судалсан бол Ю. Такане, Х. Кусака нар 2007 онд Токио хотын орчим ажиглагдсан их халууны аюултай үзэгдлийг 2011 онд судалсан байв.

$$Q_C = c_p \rho \int_{Z_G}^{Z_R} (\theta_i - \theta_0) dz \quad (1)$$

$$Q_H = \int_{t_0}^{t_1} H dt \quad (2)$$

$$Q_{CONV} = Q_C - Q_H \quad (3)$$

Энд:

θ_0 - өглөө 5 цагийн потенциал температурын утга,

θ_i - тухайн сонгож авсан цагийн потенциал температурын утга,

Z_G - газрын гадарга,

Z_R - нэгж гадарга дээрх агаарын босоо баганын дээд хилийн өндөр. Энэ тохиолдолд 850гПа-ийн өндөрийн түвшинг авлаа.

ρ - хуурай агаарын нягт [кг/м³],

c_p - турбулентийн дулаан солилцооны коэффициент [Дж/кг*К]

Q_C -нь газрын гадарга Z_G -аас 850 гПа-ийн өндөр Z_R хүртэлх агаарын босоо баганд хуримлагдсан дулааны тоо хэмжээ,

H -нь газрын гадаргаас гарсан ил дулааны урсгалын тоо хэмжээ,

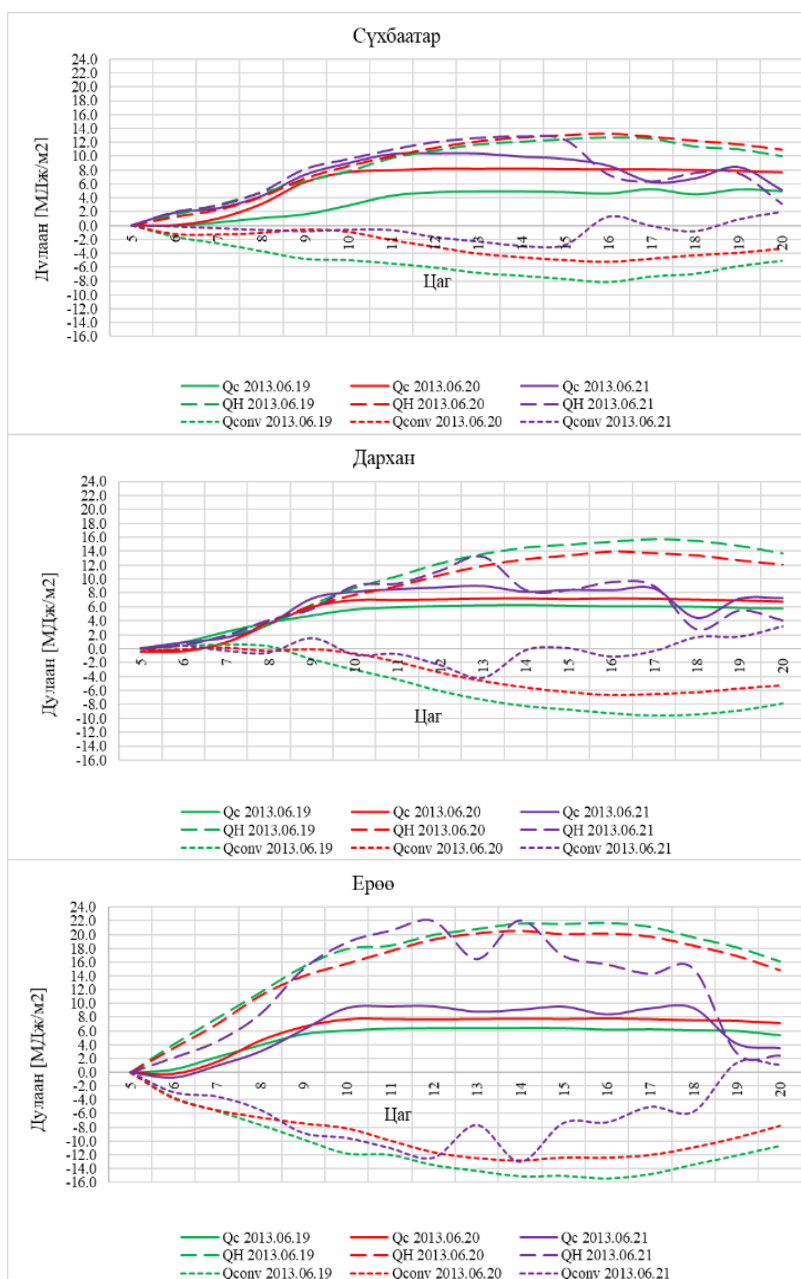
Q_{CONV} -газрын гадарга болон агаарын босоо баганын дээд хилийн нэгж гадаргаас гарах дулааны адвекц болон диффузи, цацрагийн дулаан болон усны уурын конденсацчилалын дулаан зэргийг илтгэдэг. Гэвч энэ тооцоолол мэдээж хэрэг Q_{CONV} нь ямар нэгэн конденсацын дулаан биш гэдэг нь ойлгомжтой.

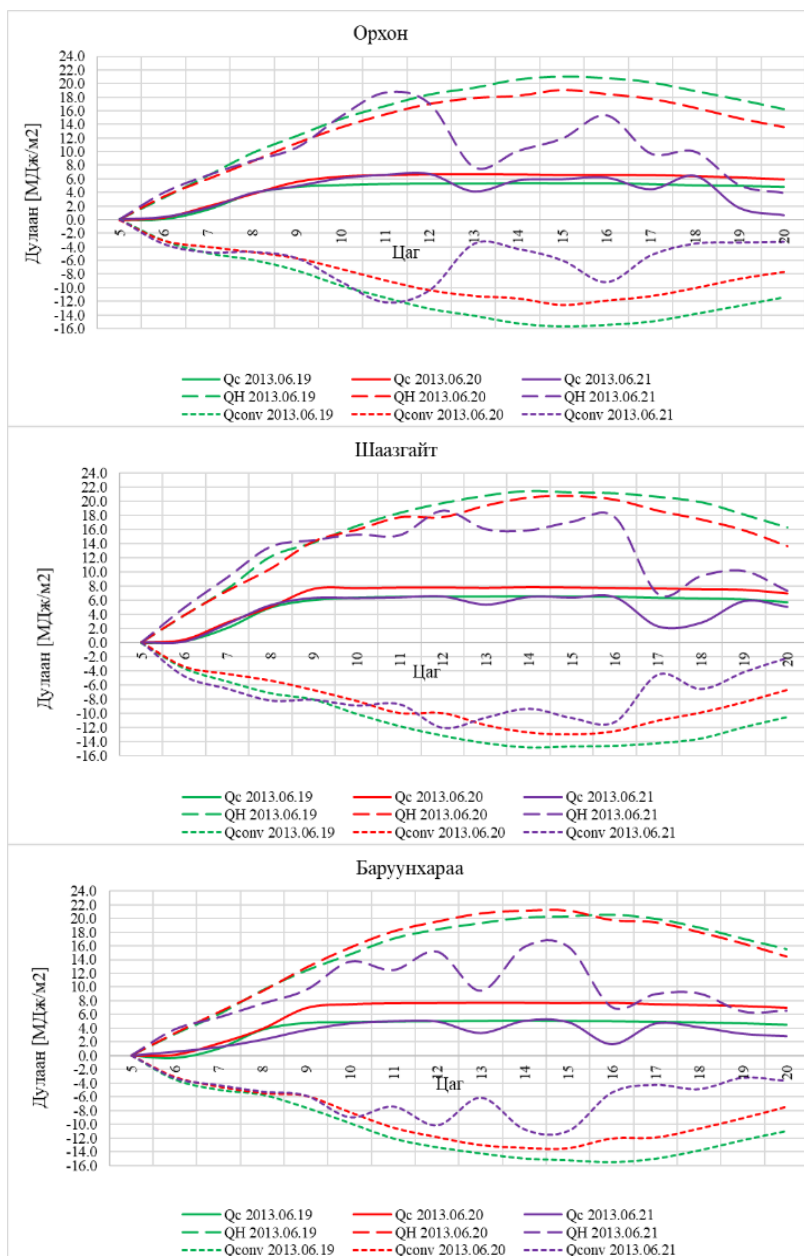
Уг газар тариалангийн бүсэд ажиглагдсан их халалт үүсэх физик механизмыг дээрх дулааны баланст анализ хийх замаар бичил маштабын орон зайд авч үзэж дараах үндсэн 2 дүгнэлтийг хийв. Үүнд:

Ил дулаан буюу Q_H -нь агаарын босоо багана дахь хуримтлал дулаан Q_C -ээс өдрийн хугацаанд сонгож авсан бүх 6 станцын хувьд их байв ($Q_H > Q_C$). Газрын гадарга дээр ирэх богино долгионт цацрагийн хэмжээ өдрийн хугацаанд дунджаас их байсан ба уг цацрагийн нөлөөгөөр газрын гадарга эрчимтэй халж

улмаар газрын гадаргаас хуурай халсан агаарын масс дээш хөөрч улмаар диабат процессын нөлөөгөөр агаарын босоо баганд тархаж, уг босоо багана дахь агаарын масс халаахдаа орчны хүйтэн агаартай дулаан солилцох замаар газрын гадарга орчмын агаар халсан гэх дүгнэлтэд хүргэж байна (Зураг 29). Диабат процесс нь орчинтойгоо дулааны солилцоо хийх замаар явагддаг бол адиабат процесс нь орчинтой дулаан солилцоогүйгээр явагддаг.

Харин Q_{CONV} бүх сонгож авсан станцын хувьд сөрөг утгатай байсан ба энэ нь агаарын босоо чиглэлийн адвекцийн хөдөлгөөнөөр газрын гадаргаас халсан агаар дээш хөөрч, харин дээд хэсгийн хүйтэн агаарын масс доош суух замаар агаарын босоо чиглэлд дулаан солилцоо явагджээ.

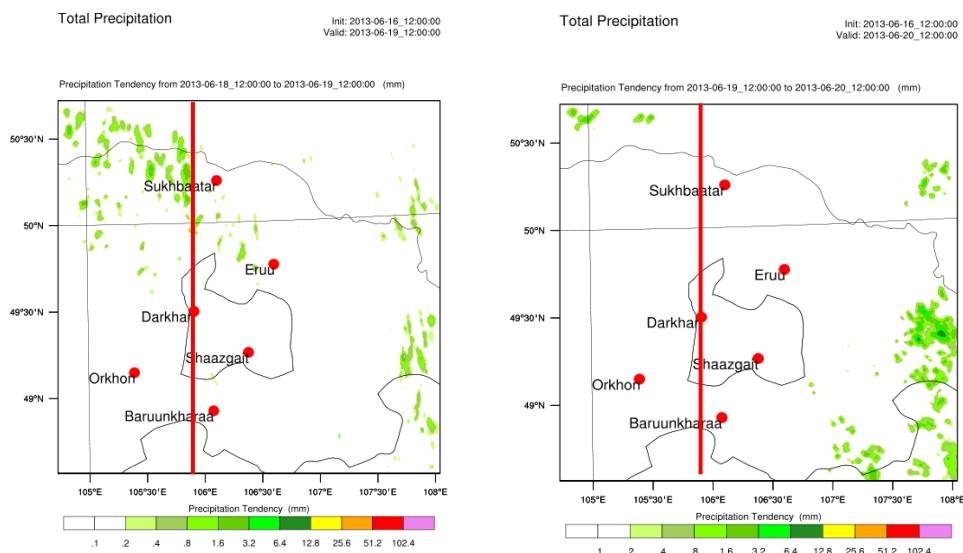




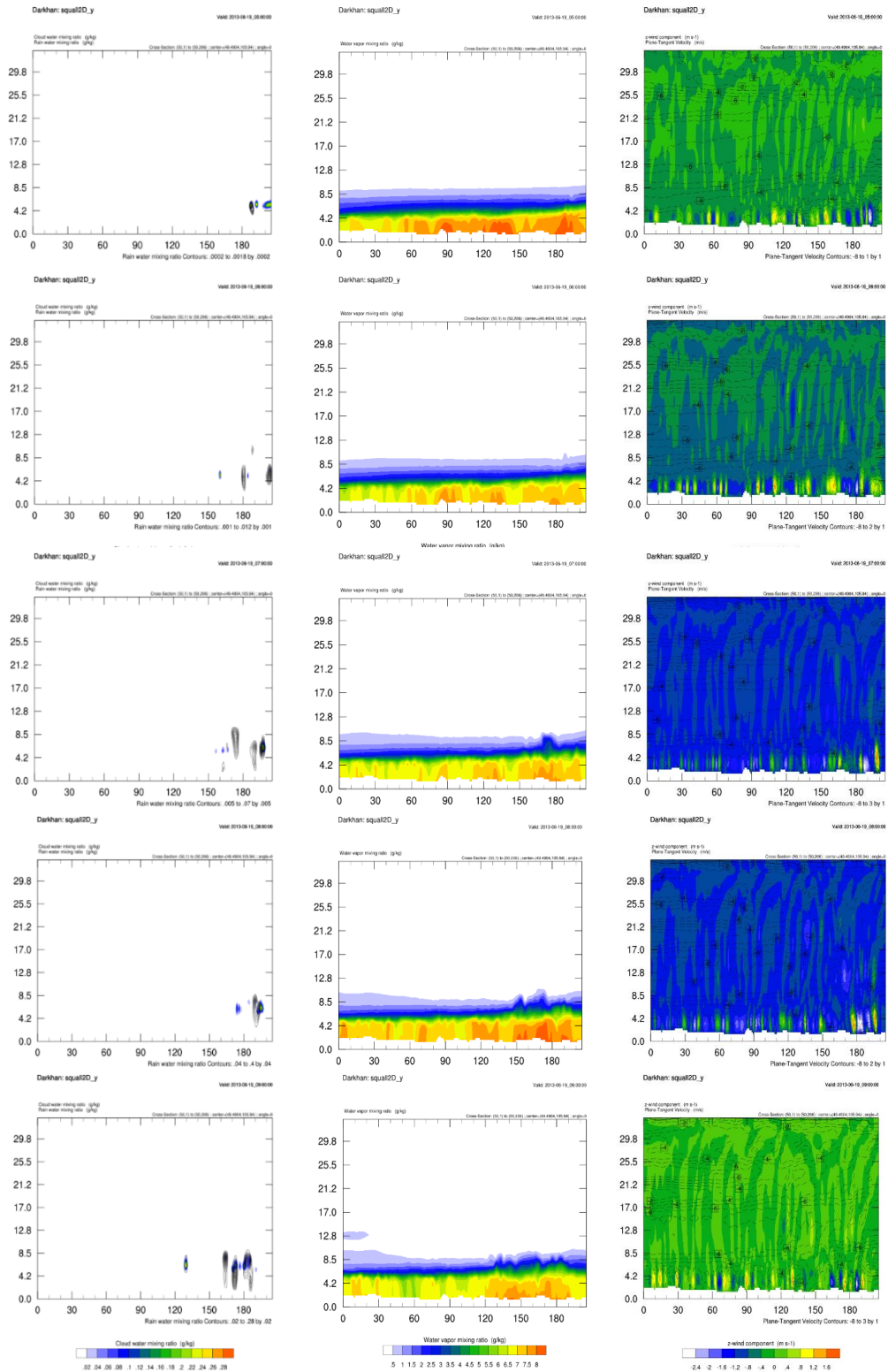
Зураг 29. 1 км-ийн нарийвчлалтай бүс нутгийн үр дүнгээр тооцоолсон газар тариалангийн бүс нутгийн цаг уурын 6 станц дээрх агаарын босоо багана дахь дулаан хуримтлал ба мэдрэмтгий дулааны урсгалын өдрийн хугацааны хэлбэлзэлийн график.

Дарханыг дайруулан Ү тэнхлэгийн дагууд үүлний услагийн хэмжээ, агаар дахь усны уурын холимогийн хэмжээ буюу чийгшил, босоо чиглэлийн салхины хурдыг тодорхойлох замаар агаарын босоо чиглэл дэх хөдөлгөөнийг тодорхойлох зорилгоор Зураг 30-т харуулсан улаан шугамын дагууд босоо хөндлөн огтлол хийв. 2013 оны 6-р сарын 19 ба 20 өдрийн 11:00-15:00 цагийн хооронд цаг тутмын дээрх 3 элементийг сонгож анализ хийв (Зураг 31-32). Эхний өдөр буюу 19-нд 3-р бүс нутагт буюу Сэлэнгийн баруун хойд хэсгийн Зүүнбүрэн, Хушаат сумдын орчим 1.5-6.0 г/кг услаг бүхий босоо хөгжлийн үүл газрын гадаргаас дээш 4.2-8.5 км-ийн өндөрт байв. Нам өндөрт агаарын чийгшил 40-60%, Сэлэнгийн баруун хойд хэсгийн Зүүнбүрэн, Хушаат сумдын орчим 60-80 % байсан бол 20-ны өдөр Зүүнбүрэн, Хушаат сумдын орчмоор нам өндрийн түвшинд үүлний услагийн хэмжээ 3.0-8.0 г/кг, чийгшилийн хэмжээ 75-90 % бусад хэсгээр 50-70 %-ийн чийгтэй агаарын масс зонхилжээ.

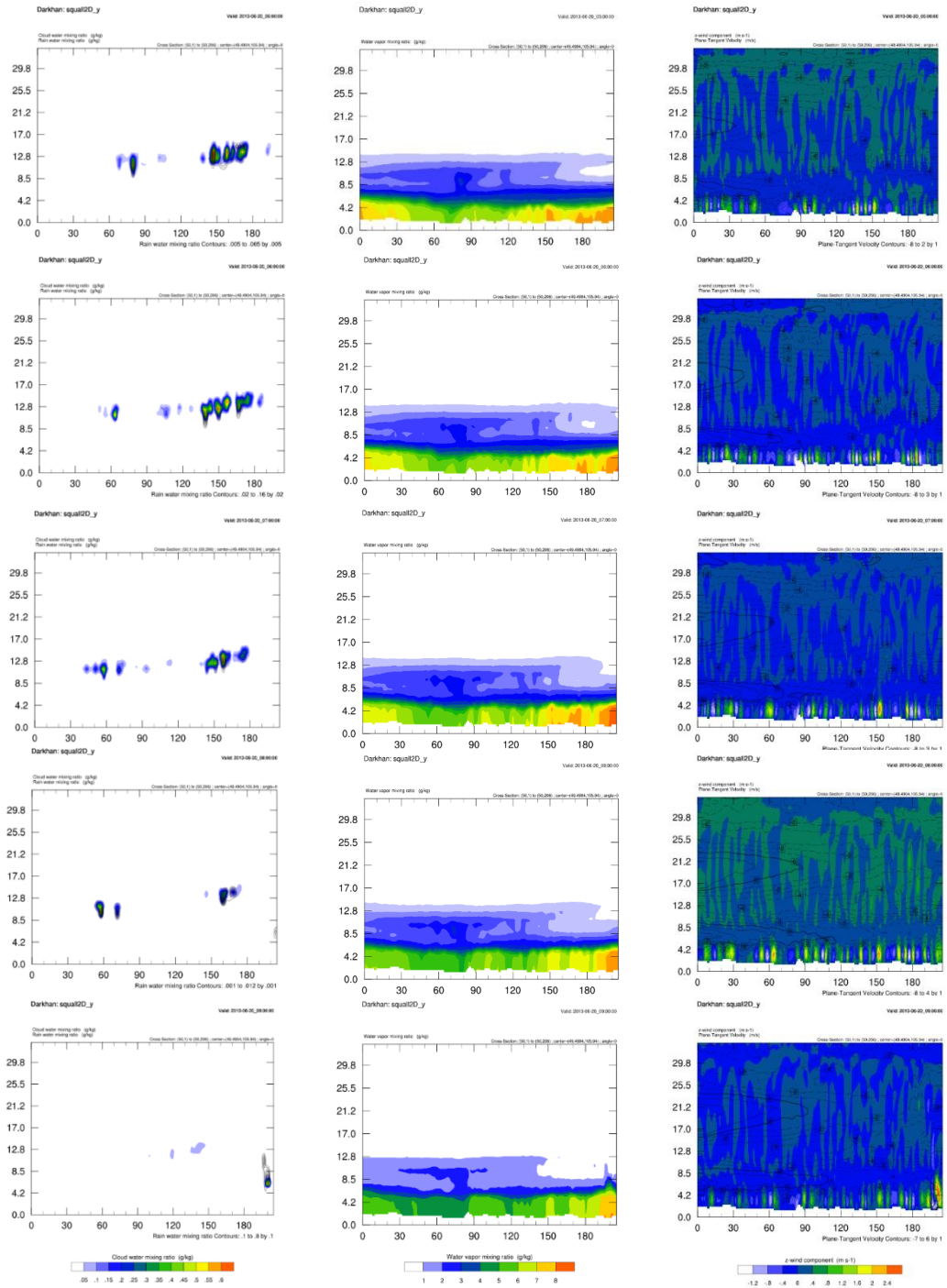
Босоо чиглэлийн салхины тухайд авч үзвэл газрын гадаргаас дээш ойролцоогоор 4 км хүртэлх өндөрт 0.4-1.2 м/с хурдтай буюу шилжилт багатай агаарын өгсөх-уруудах холилдомол хөдөлгөөн зонхилсон бол түүнээс дээш үе давхаргад маш удаан шилжилттэй агаарын уруудах хөдөлгөөн зонхилсон байв.



Зураг 30. Ү тэнхлэгийн дагууд босоо хөндөн огтлол хийсэн хэсгийг улаан шугамаар харуулж байна 2013.06.19-баруун, 2013.06.20-зүүн.



Зураг 31. Ү тэнхлэгийн дагууд хийсэн агаарын босоо хөндөн огтлол. 2013.06.19-ний өдрийн 11-15 цагийн хоорондох цаг тутмын үүлний услаг-баруун захын, агаарын чийг-гол хэсэгт, босоо чиглэлийн салхины хурд-зүүн захад



Зураг 32. Ү тэнхлэгийн дагууд хийсэн агаарын босоо хөндөн огтлол. 2013.06.20-ны өдрийн 11-15 цагийн хоорондох цаг тутмын үүлний услаг-баруун захын, агаарын чийг-гол хэсэгт, босоо чиглэлийн салхины хурд-зүүн захад

Их хүйтэн

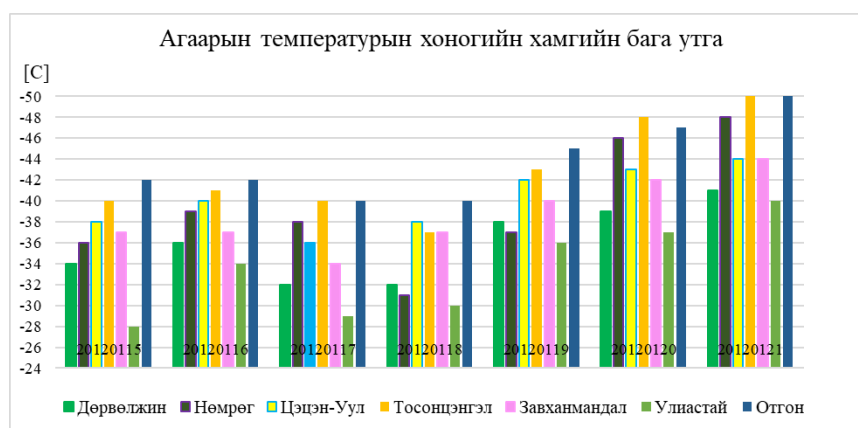
Идэр, Тэс голын сав газарт 2012 оны 01-р сарын 19-21-нд ажиглагдсан их хүйтний аюултай үзэгдлийг WRF загвараар загварчилж тоон туршилт хийв.

Ажиглалтын мэдээгээр хийсэн анализ. Цаг уурын ажиглалтын мэдээгээр хоногийн нийлбэр тунадасны хэмжээг авч үзвэл уг ИХү-ний АҮ болохоос өмнөх буюу 2012 оны 01-р сарын 17-нд Завханы Дөрвөлжин, Нөмрөг, Цэцэн-Уулд 0.4-

1.0 мм, 18-нд Завханмандалд 0.3 мм тунадас орж цасны зузаан нэмэгдсэн байв (Зураг 33). Хоногийн хамгийн бага температурын хувьд 15, 16-ны шөнө Завханы Отгон, Тосонцэнгэл, Завханмандал орчмоор -42 градус, бусад станын хувьд -28..-36 градус хүрч хүйтэрч харин 17, 18-ны шөнө өмнөх хоногуудаас 1-3 градусаар дулаарсан боловч 19-21-ний хооронд Завханы Отгон, Нөмрөг, Тосонцэнгэл орчмоор -45...-50 градус, Улиастай, Цэцэн-Уул, Дөрвөлжин, Завханмандал орчмоор -40...-45 градус хүрч хүйтний эрч чангарсан байна (Зураг 34)



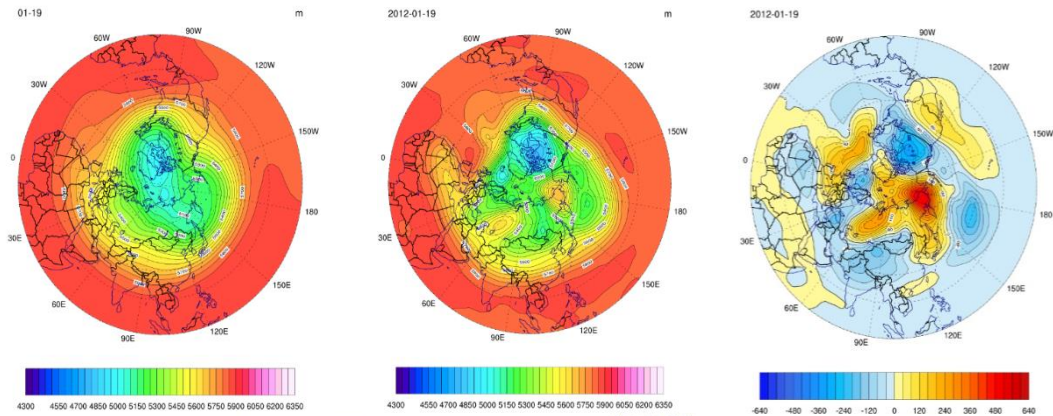
Зураг 33. 2012 оны 01-р сарын 15-21-ний өдрүүдэд ажиглагдсан хоногийн нийлбэр тунадасны хэмжээ



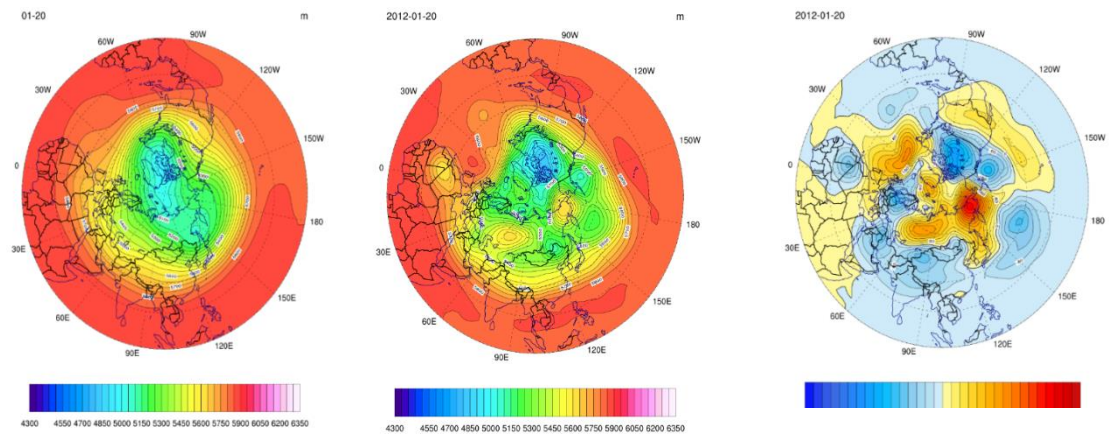
Зураг 34. 2012 оны 01-р сарын 15-21-ний өдрүүдэд ажиглагдсан агаарын температурын хоногийн хамгийн бага утга

Реанализын мэдээгээр ерөнхий орчил урсгалын онцлогийг тодорхойлохын тулд 500 гПа-ийн өндрийн түвшингээр зураглал хийж үзэхэд 1-р сарын 16-21-ны хооронд Уралын нуруу болон Номхон далайн хойд хэсэг, Чукотын орчмоор өндрийн хориг гүвээ тогтож улмаар туйлын циклоны хүйтэн хотос зүүн Сибирь, Хойд Америкийн зүүн хойд эргээр тогтож улмаар туйлын циклоныг шахаж, байршил нь өөрчлөгдсөнөөр хүйтэн агаарын цөмрөл буюу туйлын хүйтэн агаарын масс Зүүн Сибирь, Монгол, Зүүн Азийн нутгаар тогтох нөхцөл бүрдсэн байна (Зураг 35). Доорх зурагт 1-р сарын 19 ба 20-ны хоногийн олон жилийн дундаж 500гПа-ийн утга, тухайн утга, мөн аномаль буюу олон жилийн дунджаас хазайх утгыг харуулав.

Daily Long Term Mean Geopotential Height at 500hPa Daily Mean Geopotential Height at 500hPa Daily Mean Geopotential Height anomaly at 500hPa

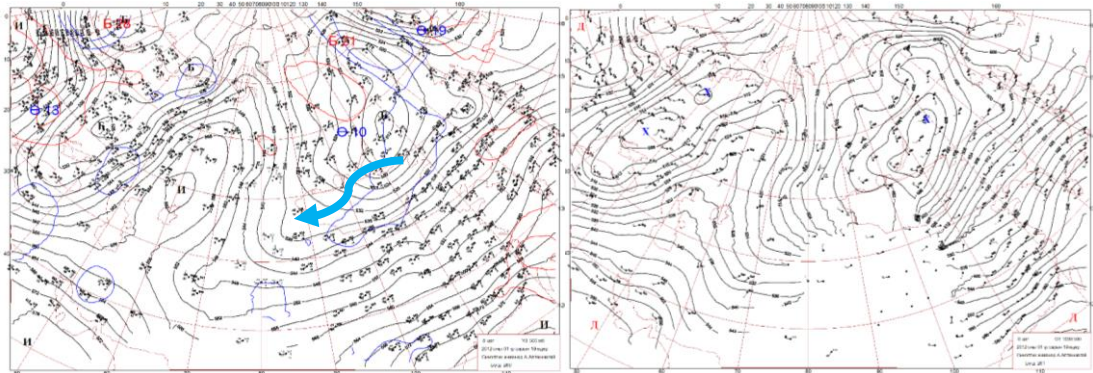


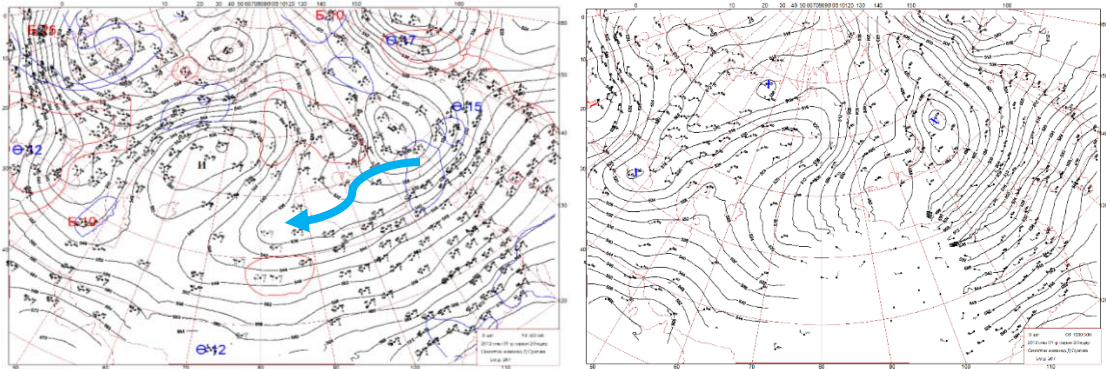
Daily Long Term Mean Geopotential Height at 500hPa Daily Mean Geopotential Height at 500hPa Daily Mean Geopotential Height anomaly at 500hPa



Зураг 35. NCEP-ийн 2.5 градусын алхам бүхий реанализын мэдээгээр зурсан 500гПа-ийн өндөрийн түвшний зураг

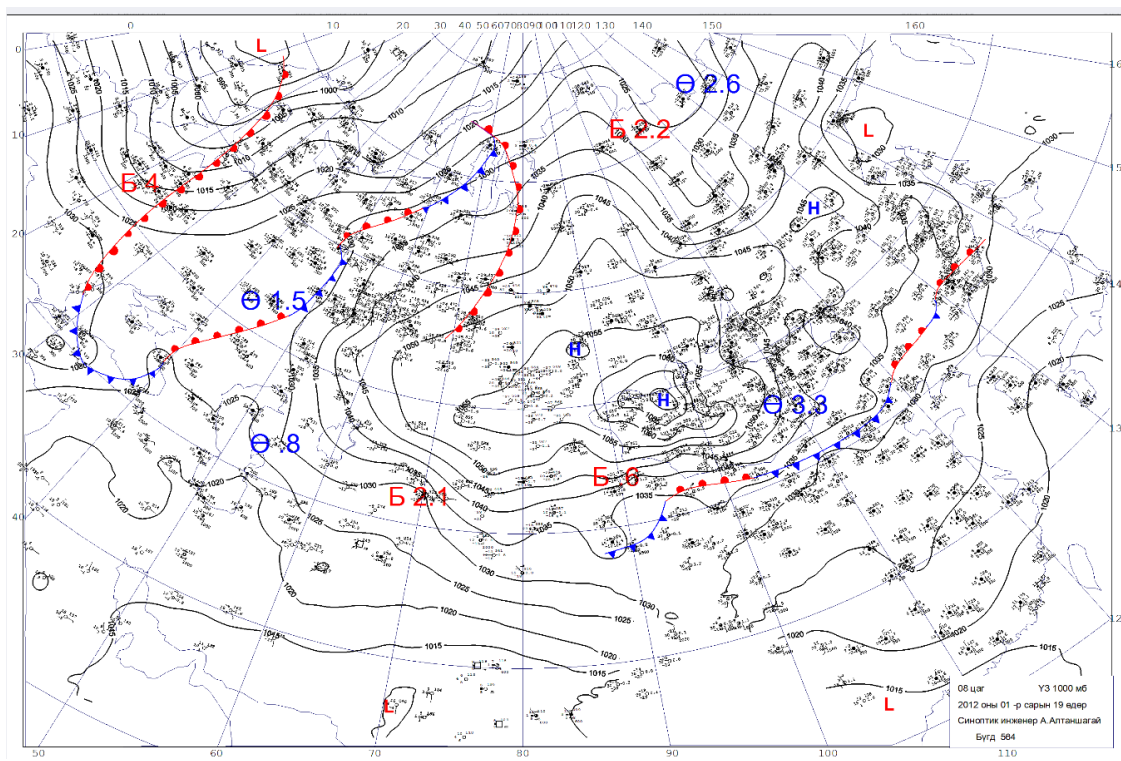
1-р сарын 19, 20-ны өглөөний 08 цагийн 500 гПа болон 1000 гПа, 500 гПа-ын хурьцангуй өндрийн (OT500:1000) мэдээллээс харахад 19, 20-нд Уралын нуруу орчмоор өндрийн хориг байрлаж, Зүүн Сибирь, Монгол орны хэмжээнд хойдын хүйтэн хотос байрлаж байв. Уг гүвээ, хотосын байрлалын улмаас хойноос ихээхэн хэмжээний хүйтэн агаарын масс орж ирснээр их хүйтний АҮ болох нөхцлийг бүрдүүлсэн байна (Зураг 36).

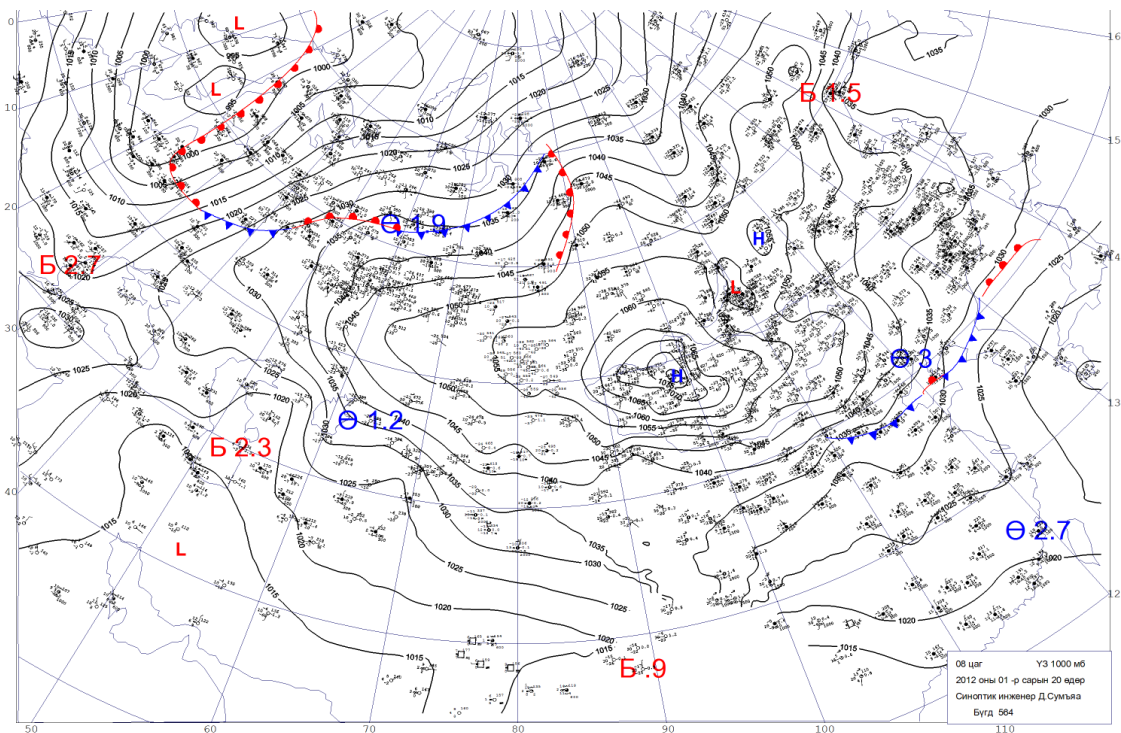




Зураг 36. ОТ1000:500 ба 500гПа-н өндрийн өглөө 08:00 цагийн зураг (дээд-2012.01.19, доод-2012.01.20; баруун-500гПа-ийн өндөр, зүүн-ОТ1000:500). Зураг цэнхэр сумтай шугамаар хойдын хүйтэн агаарын урсгалыг харуулж байна

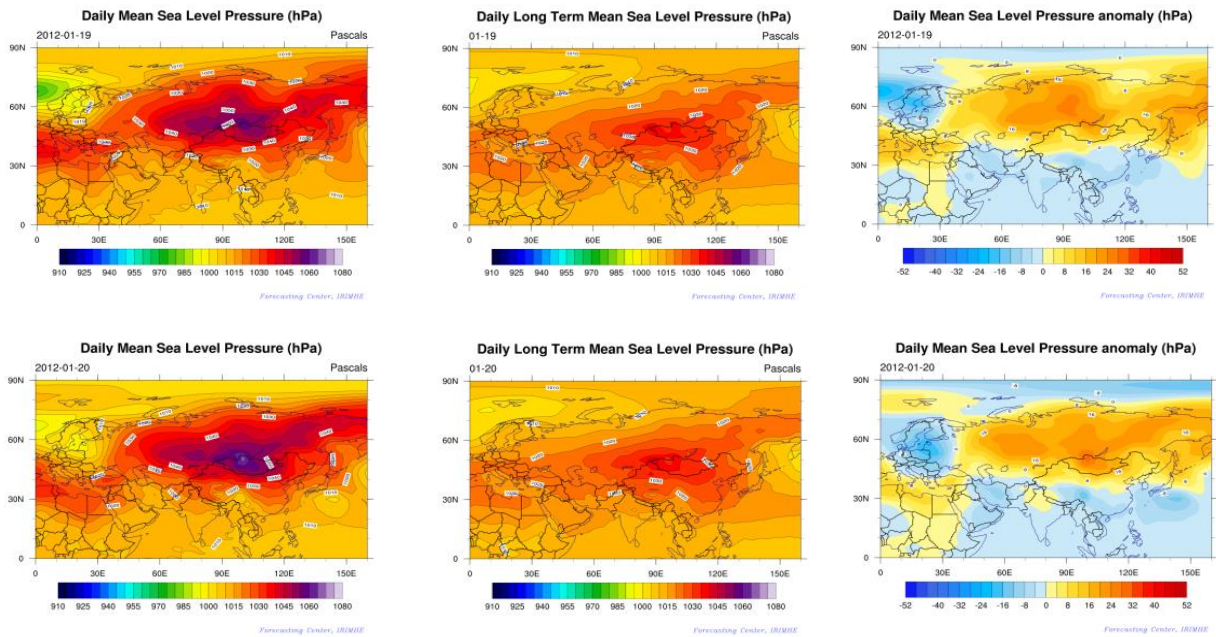
Өглөө 08:00 цагийн газрын даралтын орны мэдээгээр 1-р сарын 19-нд Монгол орны баруун зүгийн нутаг дээр 1070 гПа-н, 20-нд бага зэрэг зүүн тийш шилжиж, төвийн даралтын туга 1080 гПа болж эрчимшсэн (Зураг 37). Өвлийн улиралд Монгол оронд зонхилдог их даралтын орны нөлөөгөөр цэлмэг, хүйтэн, нягт ихтэй тогтвортой агаарын масс зонхилдог.





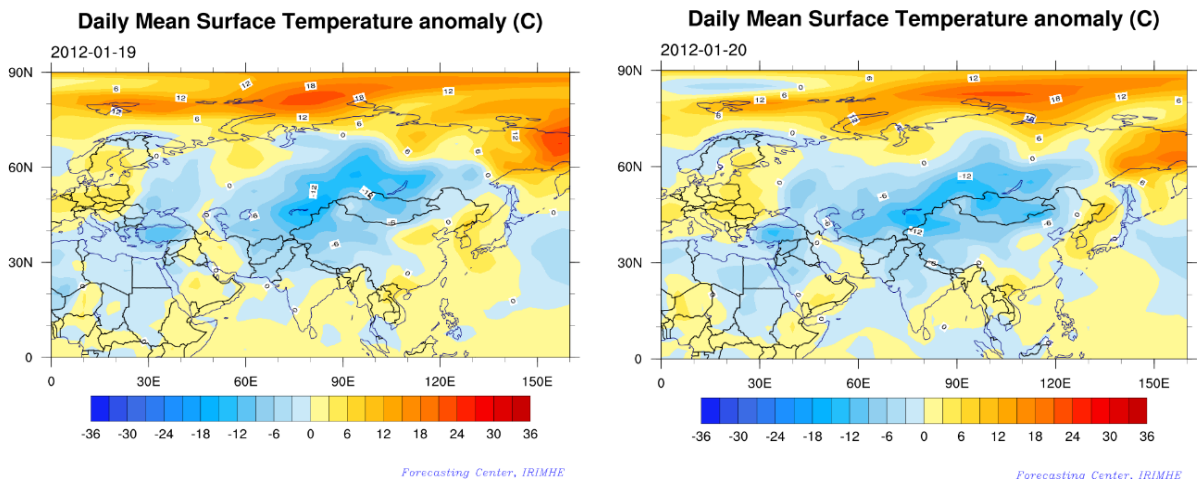
Зураг 37. Газрын даралтын орны зураг (дээд-2012.01.19, доод-2012.01.20).

Далайн түвшинд шилжүүлсэн газрын даралтын орны утгыг олон жилийн хоногийн дундаж утгатай нь харьцуулж үзвэл 2012 оны 1-р сарын 19-нд Монгол орны ихэнх нутгаар дунжаас 25-30 гПа, 20-ны өдөр дунджаас 30-35 гПа-иар их байв. Уг Азийн их даралтын орны үндсэн төв уг их хүйтний АҮ болсон Идэр, Тэс голын сав газар орчмоор байрлаж, төвийн даралтын утга 19-нд 1070 гПа байсан бол 20-нд 1080 гПа болж эрчим нь нэмэгдсэнээр Идэр тэс голын сав газар орчмоор нэг төрлийн, нягт ихтэй, хүйтэн тогтвортой агаарын масс тогтсон байна. Агаарын ерөнхий орчил урсгалын энэхүү том хэмжээст тогтоц нь уг бүс нутагт их хүйтний АҮ болох гол суурь хүчин зүйл хэмээн дүгнэж болох (Зураг 38) ба уг суурь хүчин зүйлс дээр агаар мандлын бичил хэмжээст физик процессын нөлөө хавсарч их хүйтний эрчмийг улам нэмэгдүүлсэн байна. Энэ талаар дараагийн хэсгүүдэд дэлгэрүүлэн судалсан болно.



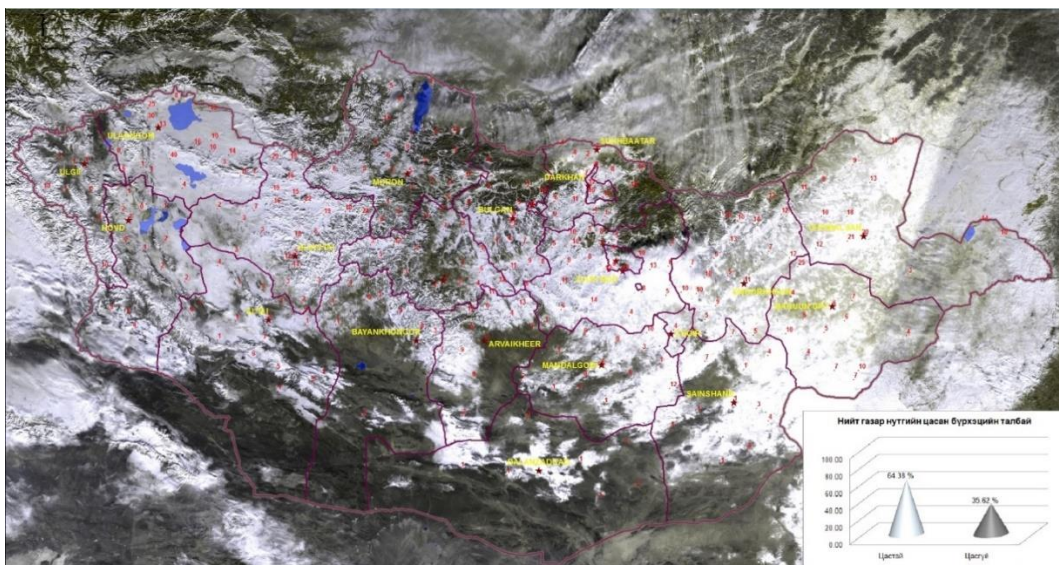
Зураг 38. NCEP-ийн 2.5 градусын алхам бүхий реанализын мэдээгээр зурсан далайн түвшний даралтын орны олон жилийн хоногийн дундаж болон бодит утгууд, олон жилийн хоногийн дундажтай харьцуулсан хазайцын зураг (19-дээд, 20-доод)

NCEP-ийн реанализын 2.5 градусын гридын алхам бүхий газрын гадаргын температурын мэдээгээр 2012 оны 1-р сарын 19-нд Монгол орны нутгийн хойд хэсгээр -8...-12 градусаар, бусад нутгаар -2...-8 градусаар, 20-нд Идэр, Тэс голын сав газраар -10...-15 градусаар, нутгийн хойд хэсэгт -5...-10 градусаар, бусад нутгаар -2...-5 градусаар олон жилийн хоногийн дундаж утгаас давж хүйтний эрч чангарсан байв (Зураг 39).



Зураг 39. NCEP-ийн 2.5 градусын алхам бүхий реанализын мэдээгээр зурсан газрын гадаргын температурын орны хазайцын зураг (баруун-2012.01.19, зүүн-2012.01.20)

MODIS хиймэл дагуулын мэдээгээр боловсруулсан 2012 оны 1-р сарын 2-р 10 хоногийн цасан бүрхүүлийн зургаар Монгол орны нийт нутгийн 65%-д тогтвортой цасан бүрхүүл тогтож (Зураг 40), улмаар өвөлжилтийн байдал хүндэрч Увс, Завхан, Төв аймгийн нутгуудаар зудын эрсдэл нүүрлэсэн хүндхэн үе байв.

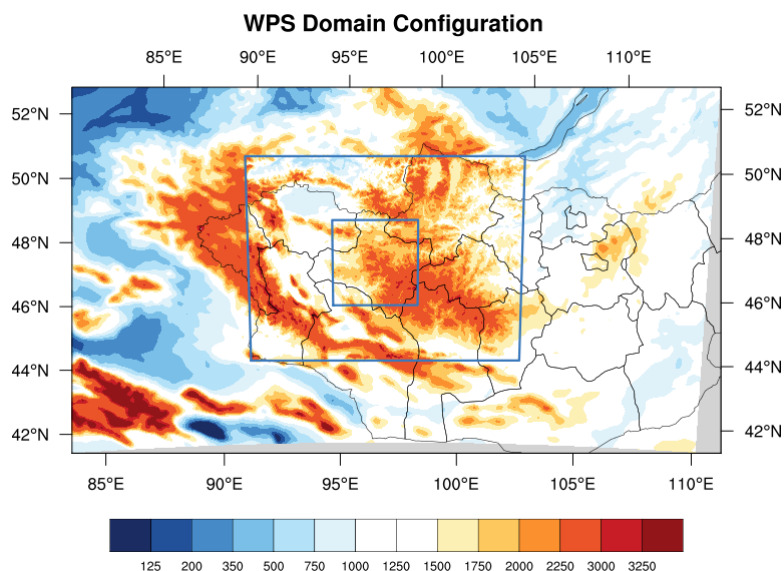


Зураг 40. MODIS хиймэл дагуулын мэдээгээр боловсруулсан 2012 оны 01-р сарын 2-р 10 хоногийн цасан бүрхэвчийн зураг

Загварын үр дүн. 2012 оны 01-р сарын 19-20-ны өдрүүдэд Идэр, Тэс голын сав газраар ажиглагдсан их хүйтний АҮ-г доорх зурагт харуулсан 3 хамрах бүс нутгаар тоон туршилт хийв. Үүнд:

- 1-р домайн: Монгол орны хэмжээнд: 9км, 3 цаг
- 2-р домайн: Нутгийн баруун хэсэг: 3км, 1 цаг
- 3-р домайн: Идэр, Тэс голын сав газар орчмоор буюу Завхан аймаг орчмоор: 1км, 1 цагийн

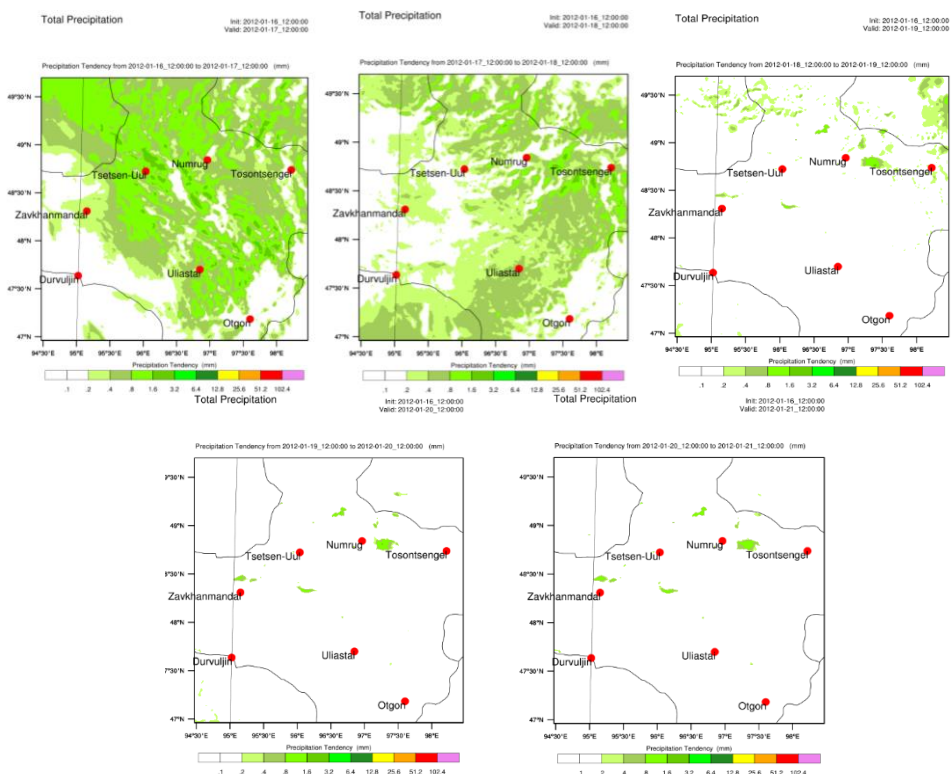
алхамт нарийвчлалтайгаар 3 бүс нутагт үүрэлсэн домайны туршилт хийв (Зураг 41).



Зураг 41. Тоон туршилтанд сонгож авсан 1, 2, 3-р бүс нутгийн өндөршил, м

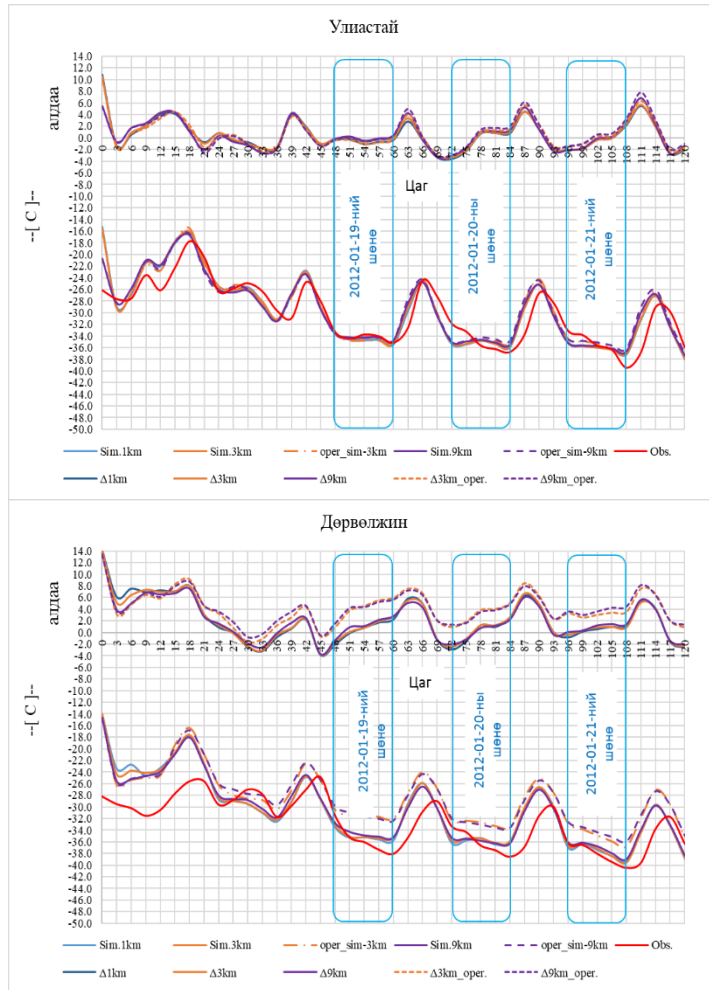
Загварын үр дүн. Хугацааны эхэн буюу 2012 оны 1-р сарын 17-ны өдөр сонгож авсан 3-р домайны нутгуудаар 0.0-2.0 мм, дараа өдөр буюу 18-нд 0.0-1.4 мм тунадас орж, харин 19-20-нд тунадас ороогүй байна. Загвараар тооцоолсон үр дүнг харвал 17-ны өдөр ажиглалтаас 1.0 мм-ээр их байв. 19-21-ны өдрүүдэд

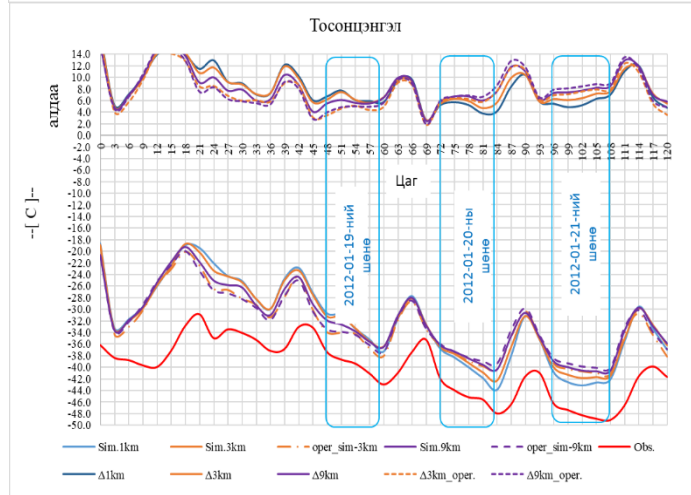
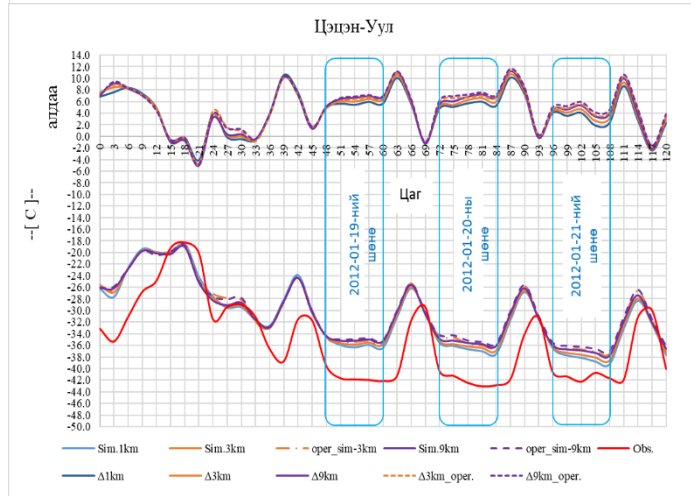
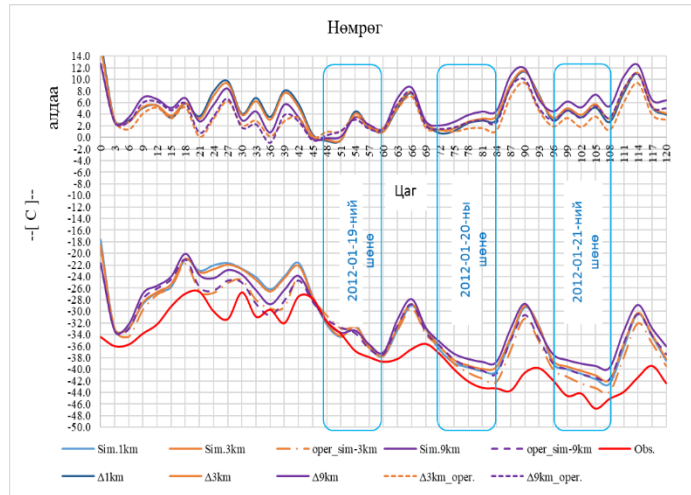
загвараар тооцоолсон дүнгээр сонгож авсан 7 станц дээр тунадасгүй байхаар загвар тооцоолсон нь бодит утгатай таарч байна (Зураг 42).

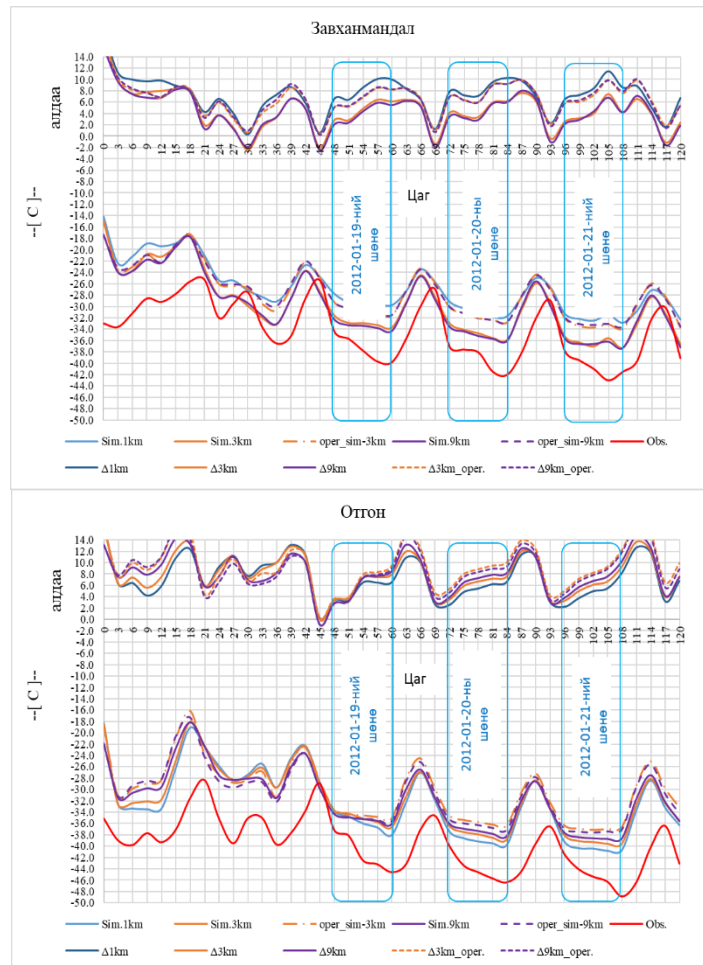


Зураг 42. 2012 оны 1-р сарын 17-21-нд WRF загвараар 1км нарийвчлалтай 3-р домайд тооцсон хоногийн нийлбэр тунадасны хэмжээг өдөр бүрээр харуулсан байдал

Температурын орны тухайд PBL-7 схемээр 1км-ийн нарийвчлалтай бодуулсан үр дүн 3 ба 9 км-ийн нарийвчлалтай үр дүнг болвол алдаа нь хамгийн бага дунджаар 1-3 градус дулаан талдаа өгсөн. Ялангуяа Улиастай, Нөмрөг зэрэг станцын хувьд алдаагүй байсан. Оператив ба PBL-7 схемийн 3 ба 9 км-ээр бодуулсан дүнг харьцуулж үзэхэд оперативын схемийн үр дүн PBL-7 схемийг бодвол алдаа нь харьцангуй их буюу Завханмандал, Отгон, Дөрвөлжин, Тосонцэнгэл зэрэг станцын хувьд 6-10 градусаар бодит утгаас дулааруулж өгсөн бол PBL-7 схемийн үр дүн бодит утгаас дунджаар 2-6 градусаар дулаан өгсөн ба алдааны хувьд оператив схемээс бага алдсан байна. Хоногийн хамгийн бага температурын утга 2012 оны 1-р сарын 21-нд Тосонцэнгэлд -50 градус хүрсэнийг 120 цагийн өмнөөс PBL-7 схемийн 1 км-ийн нарийвчлалтай үр дүн хамгийн ойролцоо буюу -44 градус, оператив схемийн үр дүн -40, Отгонд -49 градус хүйтэн байсныг PBL-7 схемээр бодуулсанаар -41, оператив -38 градус гэж тооцоолсон байв (Зураг 43).

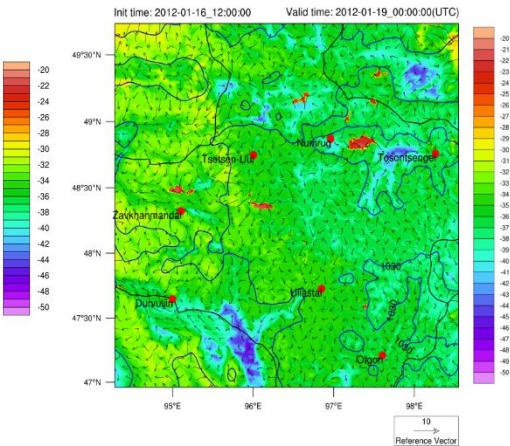
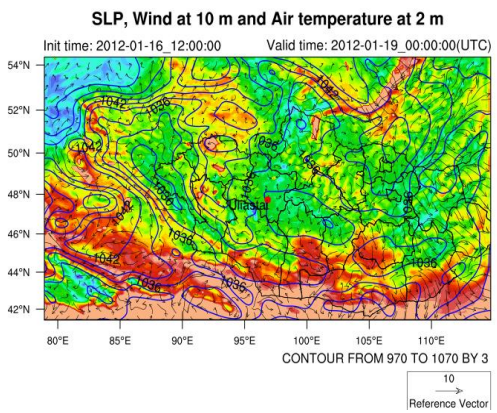
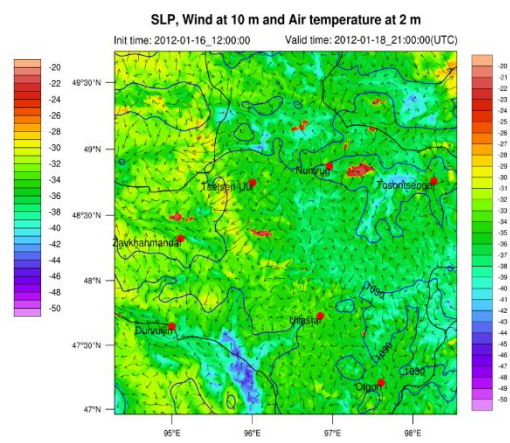
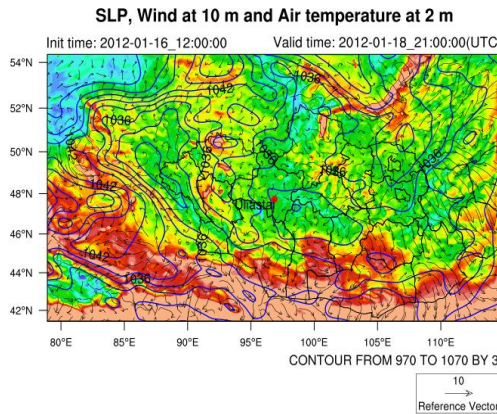
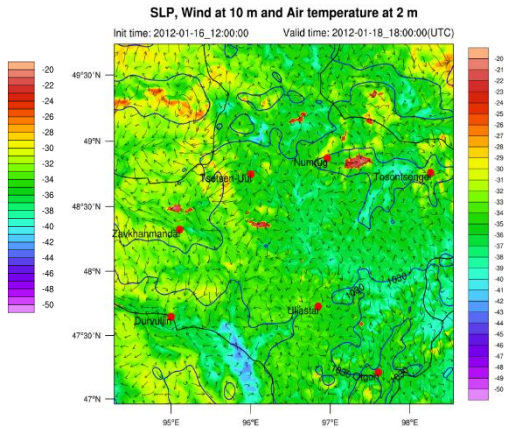
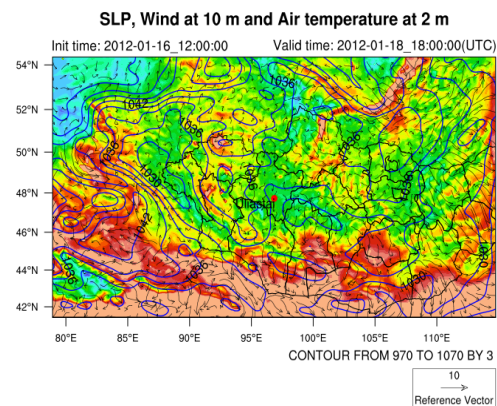




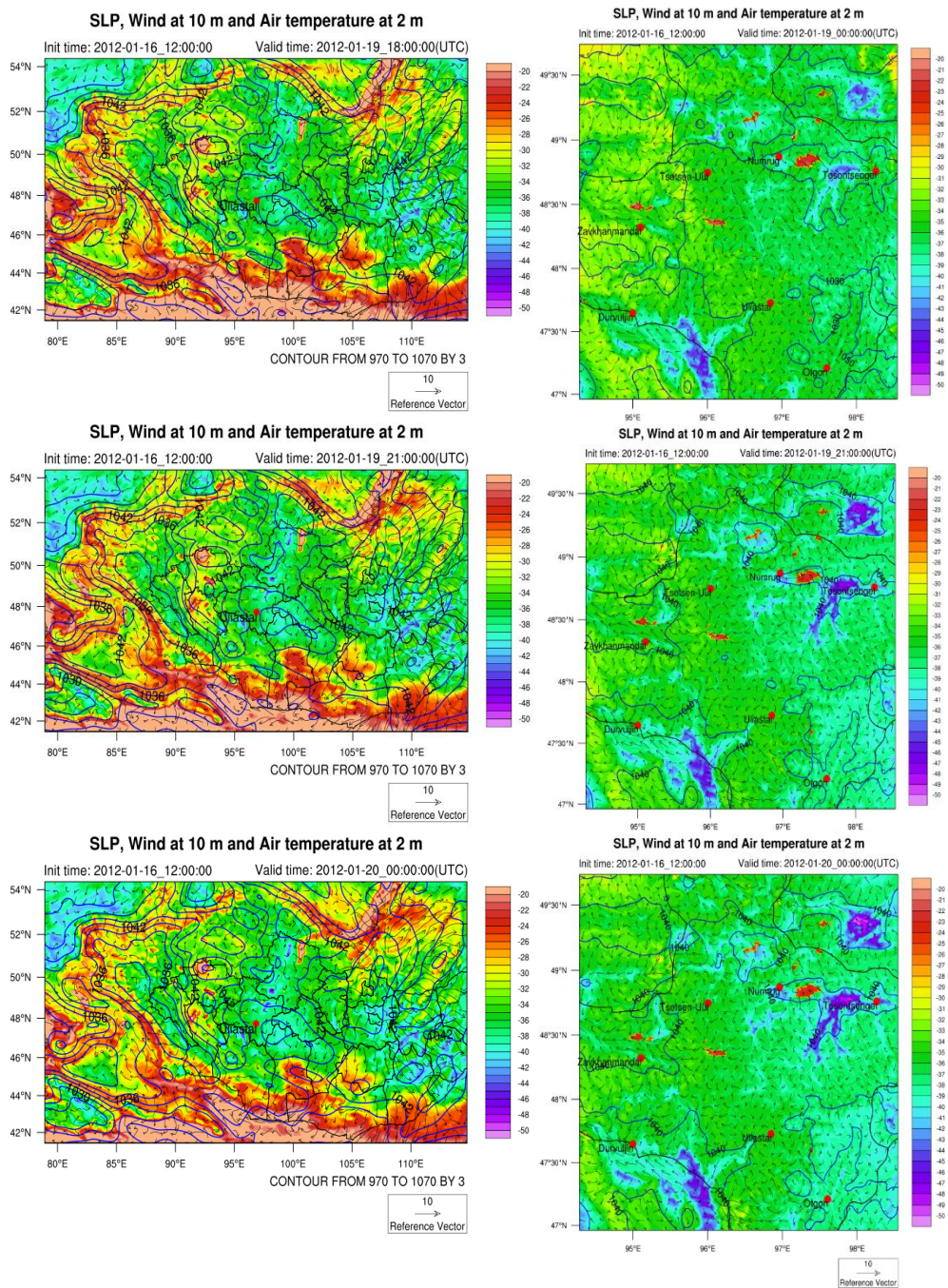


Зураг 43. 9 км, 3 км ба 1 км-ийн нарийвчлалтай домайны 2 м-ийн түвшний температурын орны прогнозын үр дүнг бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулсан график

PBL-7 схемээр тооцоолсон үр дүнг орон зайн хувьд авч үзвэл 1 ба 3 км-ээр тооцоолсон үр дүн 9 км-ээр тооцсон үр дүнгээс нарийвчлал сайтай байв. Зураг-13, 14-т харуулсанаар (өнгөний ялгаатай хуваариар температурын орныг, хөх зураасаар даралтын орныг, сум бүхий зураасаар салхины векторыг илэрхийлэв) T2м, салхийн зүг чиг, хурны вектор, даралтын орныг давхцуулж үзэхэд 2012 оны 1-р сарын 19-ний шөнө Монгол орны баруун болон Идэр, Тэс голын сав газар орчмоор байрлаж байсан их даралтын орны төв орон зайн байрлалын хувьд бодиттой ойролцоо өгсөн боловч эрчмийн хувьд бодитоос сул буюу бага талдаа, харин даралтын хандлага 19-20-нд шилжих шөнө нэмэгдэж буйг сайн илэрхийлж чаджээ. 1 км-ийн тооцооллын үр дүнгээс харахад температурын орны ялгаатай утгуудыг WRF v3.6 загвар нь орон зайд маш сайн ялгаруулж илэрхийлсэн ба утгын хувьд 3 ба 9 км-ийн үр дүнтэй харьцуулахад алдаа багатай орон нутгийн газар зүйн онцлог, хөрсөн бүрхэвчийн төрөл, газар ашиглалт, уул зүйн нөлөөлөл, өндөршил зэрэг газрын гадаргын суурь нөхцөлүүдийг нарийн тооцох боломж олгосноор хүрэх үр дүн харьцангуй сайн байв. Цаашид суперкомпьютерийн хүчин чадлыг нэмэглүүлсэнээр цаг агаарын аюултай болон гамшигт үзэгдлүүдийг орон зай, цаг хугацааны хувьд илүү нарийвчлал сайтай тооцоолох боломжийг бүрдүүлж өгвөл энэхүү цаг агаарын аюултай үзэгдлүүдээс эртнээс сэрэмжлүүлж, улс ардын нийгэм, эдийн засаг, хүн ардын эрүүл мэндэд учирч болзошгүй цаг агаарын хүчин зүйлсээс үүдэлтэй аюулт болон гамшигт үзэгдлүүдээс эртнээс сэрэмжилүүлэх боломж буй нь харагдаж байна (Зураг 44-45).



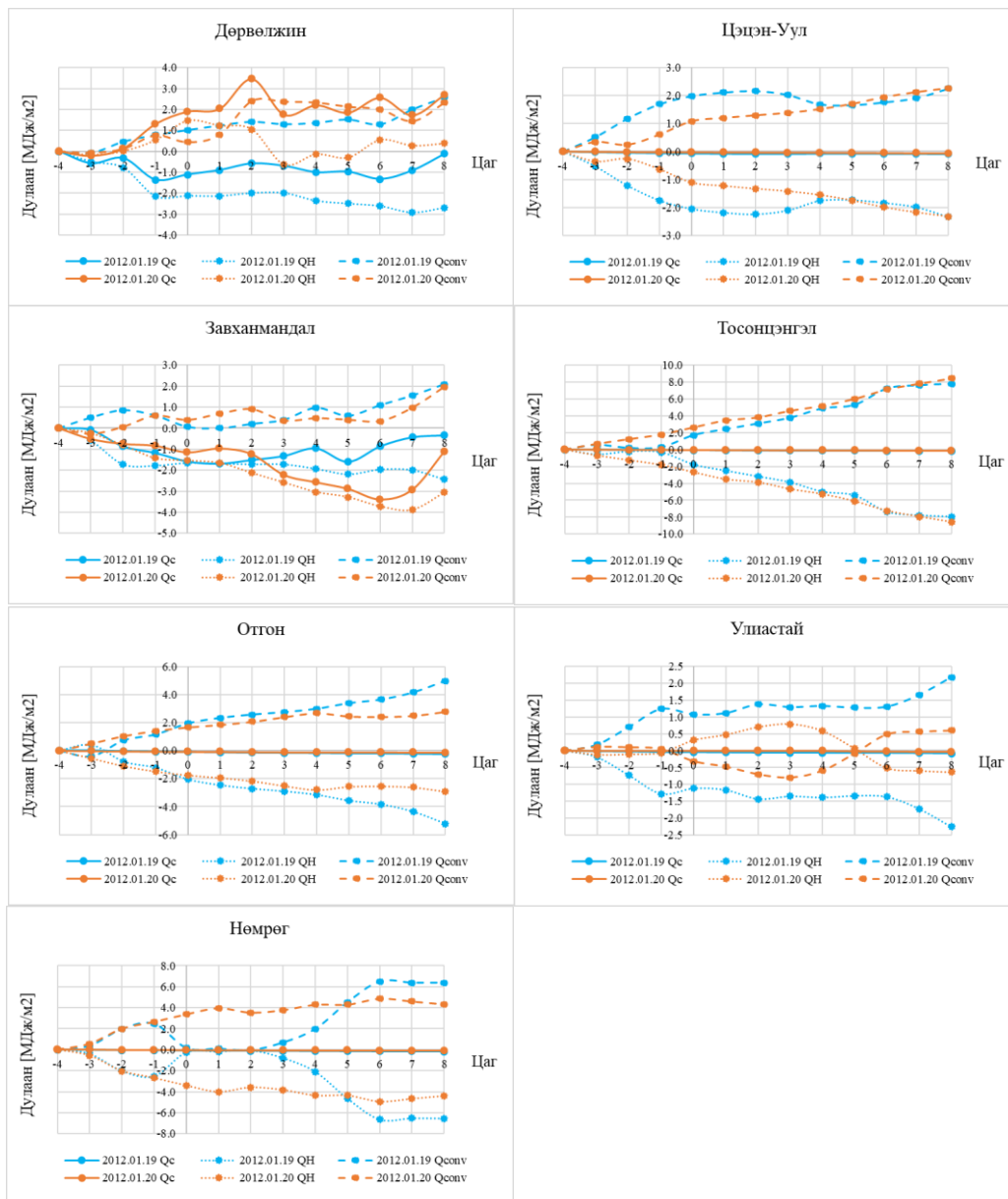
Зураг 44. 9 км ба 1 км-ийн нарийвчлалаар 1 ба 3-р бүс нутгийн 2 м-ийн түвшний агаарын температурын 19-ний шөний 02:00 цаг (дээд), 05:00 цаг (дунд), 08:00 цаг (доод)-ийн тархацын зураг



Зураг 45. 9 км ба 1 км-ийн нарийвчлалаар 1 ба 3-р бүс нутгийн 2 м-ийн түвшний агаарын температурын 20-ны шөний 02:00 цаг (дээд), 05:00 цаг (дунд), 08:00 цаг (доод)-ийн тархацын зураг

Шөнийн хугацаанд агаарын температурын хэт хүйтрэлт буюу их хүйтний АҮ үүсэх механизм нь хэд хэдэн физик процессын нөлөөгөөр үүссэн ба энэ удаад нэгж гадарга дээрх агаарын босоо багана дахь дулааны тоо хэмжээ, ил дулааны урсгалыг үнэлэх замаар уг их хүйтрэлийн физик процессыг бичил масштабын хүрээнд тайлбарлахыг оролдлоо. Энд уг босоо баганын дээд хилийг 850гПа-ын өндрийн түвшинээр сонгон авч, уг босоо багана дахь хуримтлагдсан дулааны хэмжээ 19 ба 20-ны шөнийн хугацаанд өмнөх хоногийн оройны 20 цагаас тухайн 19 ба 20-ны өглөөний 08 цаг хүртэл сонгож авсан 6 станц дээр шөнийн хугааны хувьд цаг тутам хэрхэн өөрчлөгдөж буйг тооцож анализ хийв.

Нөмрөг, Цэцэн-Уул, Тосонцэнгэл, Улиастай, Отгон станцуудын хувьд нэгж гадарга дээрх агаарын босоо багана дахь хуримтлал дулаан үүсээгүй бөгөөд энэ нь тухайн газар нутагт нэг төрлийн тогтвортой агаарын масс зонхилж буйг харуулж байна. Хэвтээ чиглэлийн хүйтэн адвекцийн нөлөөгөөр уг их хүйтэн үүссэн гэж дүгнэж байна (Зураг 46).



Зураг 46. 1 км-ийн нарийвчлалтай бүс нутгийн үр дүнгээр тооцоолсон Идэр, Тэс гоьлн сав газар орчмын цаг уурын 6 станц дээрх агаарын босоо багана дахь дулаан хуримтлал ба мэдрэмтгий дулааны урсгалын өдрийн хугацааны хэлбэлзэлийн график

Дүгнэлт

Газар тариалангийн бүс нутагт 2013 оны 6-р сарын 19-20-ны өдрүүдэд тохиолдсон их халалтын ерөнхий орчил урсгалын нөхцлийг тодорхойлбол тухайн үед 4-5 хоногт Монгол орны нутгийн төв хэсэг үндсэндээ өндрийн хориг гүвээний (их даралтын орон) нөлөөн доор байсан байна. Иймд уг хориг гүвээний нөлөөгөөр чийгтэй агаарын масс шилжин ирэх боломжгүй үндсэндээ хуурай, дулаан агаарын масс нутгийн төв хэсэгт зонхилсон. Аадар, түр зуурын бороо хугацааны эхэнд ажиглагдаж байгаад үндсэндээ бараг бороо ороогүй, хөрс чийгээр

дутагдаж байв. Үүл байхгүй цэлмэг тул богино долгионт цацрагийн хэмжээ олон жилийн дунджаас харьцангуй их, ил дулаан, нууц дулаанаас их (Бовэний харьцаа, $B > 1$) байж, газрын гадарга орчимд хуурай дулаан агаар ноёрхох болсон зэрэг нь их халууны АҮ үүсэх гол нөхцөл бүрдсэн гэж үзэж байна.

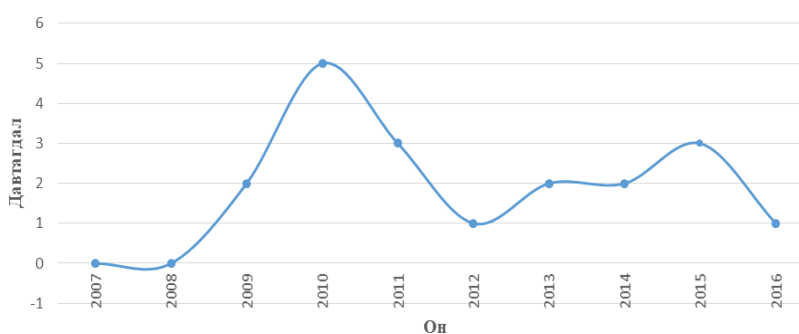
Энэхүү их халууны үзэгдлийг бичил, бэсрэг хэмжээст WRF загвараар загварчлан үр дүнг ажиглалтын мэдээ харьцуулан үзэхэд 1-км-ийн бичил хэмжээст загварын алдаа бэсрэг хэмжээсээс 3-9 км-ийнхаас 0.2-2.0 градусаар бага байв. Загвар нь бичил хэмжээст процесст энерги, чийгийн шилжилтыг сайн загварчилж байгааг батлан харуулж байна.

Идэр, Тэсийн голын сав газарт 2012 оны 01-р сарын 19-нд болсон их хүйтрэлтээр -50 градус хүрч хүйтэрсэн ерөнхий орчил урсгалын нөхцөл нь Уралын нуруу орчмоор өндрийн хориг гүвээ байрлаж, Зүүн Сибирь, Монгол орны хэмжээнд хойдын хүйтэн хотос байрлаж байв. Уг гүвээ, хотосын байрлалын улмаас хойноос ихээхэн хэмжээний хүйтэн агаарын масс цөмөрч орж ирсэнээр их хүйтний АҮ болох нөхцлийг бүрдүүлсэн байна. Уг даралтын орныг утгыг олон жилийн хоногийн дундаж утгатай нь харьцуулж үзвэл 19-нд дунжаас 25-30 гПа, 20-ны өдөр дунджаас 30-35гПа-иар их байв. Уг суурь хүчин зүйлс дээр цасан бүрхүүлийн энергийн баланст үзүүлэх агаар мандлын бичил хэмжээсийн физик процессын нөлөө хавсарч их хүйтний эрчийг улам нэмэгдүүлсэн байна.

Хоногийн хамгийн бага температурын утга 2012 оны 1-р сарын 21-нд Тосонцэнгэлд -50 градус хүрсэнийг 120 цагийн өмнөөс PBL-7 схемийн 1 км-ийн нарийвчлалтай үр дүн хамгийн ойролцоо буюу -44 градус гэж тооцоолсон байв. 1 км-ийн тооцооллын үр дүнгээс харахад температурын орны ялгаатай утгуудыг WRF v3.6 загвар нь орон зайд маш сайн ялгаруулж илэрхийлсэн ба утгын хувьд 3 ба 9 км-ийн үр дүнтэй харьцуулахад алдаа багатай үр дүн харьцангуй сайн байв.

2.2.2 Цасан шуурга

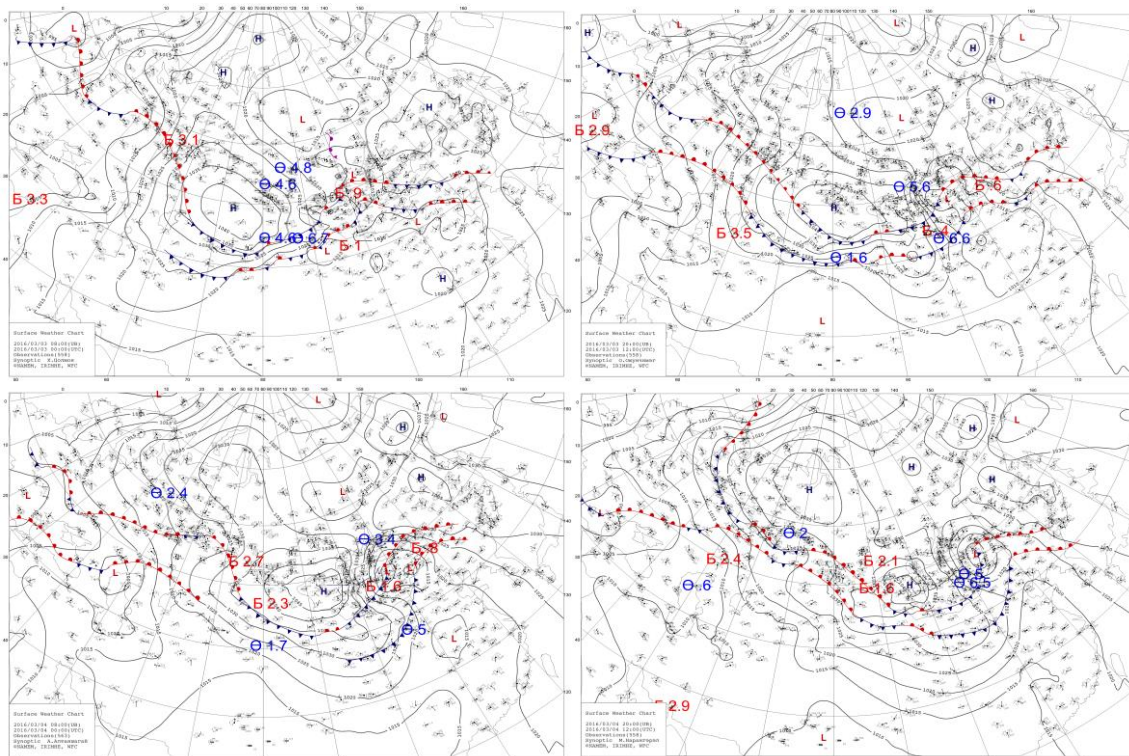
Нийгэм-эдийн засгийн салбар, ялангуяа бэлчээрийн мал аж ахуйн үйлдвэрлэлд ихээхэн хохирол учруулдаг цаг агаарын аюултай үзэгдэл нь цасан шуурга юм. Цасан шуургыг үргэлжилсэн хугацаа, салхины хурдаар ангилдаг (Хавсралт 2) ба сүүлийн жилүүдэд манай оронд ажиглагдсан цасан шуурганы гамшигт үзэгдлийн (ГҮ) давтагдлаас харвал 2010 онд хамгийн их ажиглагдсан байна (Зураг 47).



Зураг 47. Сүүлийн 10 жилд ажиглагдсан цасан шуурганы гамшигт үзэгдлийн давтагдал

Цасан шуурганы гамшигт үзэгдлийг орон зайн 1-10 км-ын нарийвчлалтай агаар мандлын бэсрэг болон бичил хэмжээст тооцон загварчлахын тулд ихээхэн газар нутгийг хамарч, хохирол дагуулсан 2016 оны 3 дугаар сарын 3-5 хооронд ажиглагдсан тохиолдлыг нарийвчлан судлахаар сонгон авав.

Ажиглалтын мэдээгээр хийсэн анализ. Энэхүү байгалийн гамшигт үзэгдлийн синоптик нөхцлийг авч үзвэл газарт 3-р сарын 3-ны 08 цагт Төвийн нутаг дээр 1015 гПа-аар зурагдсан бага даралтын оронтой, Балхаш нуур орчимд төвдөө 1040 гПа-ийн даралттай их даралтын орон баруун зүгийн нутгийн баруун хэсэг хүртэл тулж ирсэн байв (Зураг 48).

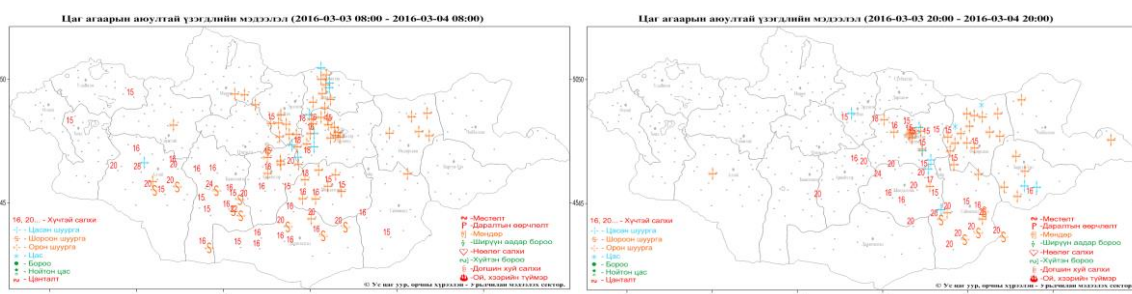


Зураг 48. 2016 оны 3 сарын 3-4-ны өдрүүдийн газрын зураг

3-ны өдрийн 20 цагт баруунаас хүйтэн агаарын цөмрөл эхэлж, газарт эсрэг циклон, циклоны хос үүсэж даралтын шатлуур 30 гПа болсон ба баруун зүгийн нутгийн баруун хэсгээр орж ирж байсан их даралтын орон, төвийн нутгийн баруун хэсэг хүртэл түрж, төвийн нутаг дээр байрлаж байсан бага даралтын орон 57 км/цагийн хурдтай зүүн өмнө тийш шилжихдээ гүнзгийрч, төвийн даралт нь 5 гПа-аар буурч 1010 гПа болж, түүний араас 6.6 мб-аар даралт өсч, нутгийн зүүн хагаст 2 давхар фронтын систем бүхий бага даралтын орон байрлаж байв. 4-ний өдрийн 08 цагт нутгийн баруун хагаст байрлаж байсан их даралтын орны төвийн даралт 1045гПа болон эрчимшин төвийн нутгийн зүүн хэсэг хүртэл түрж, нутгийн зүүн хагаст байрлаж байсан бага даралтын орон 42 км/цагийн хурдтай зүүн тийш шилжин зүүн зүгийн нутагт ирэхдээ төвдөө 1010 гПа-аар зурагдсан даралтын хос төвтэй болон гүнзгийрч, фронтын ард агаарын даралт 5 мб-аар өссөн байв. 4-ний өдрийн 20 цагт 1045 гПа-аар зурагдсан их даралтын орон зүүн зүгийн нутгийн баруун хэсэг хүртэл шилжин, нутгийн зүүн хагаст байрлаж байсан бага даралтын орон 66 км/цагийн хурдтай зүүн хойш шилжин, зүүн зүгийн нутгийн хойд хэсэгт ирсэн байв. Фронтын ард даралт 5-6 мб-аар өсч зүүн зүгийн нутаг дээр байрласан бага даралтын орон залуу циклоныхоо үе шатандаа байв.

Ихэнх нутгийг хамарсан хүчтэй салхи үүсэх нөхцөл нь циклоны идэвхжилттэй холбоотой бөгөөд өндрийн хотос дайран өнгөрөх, мөн хүйтэн нөөлөг болох явдал байдаг. Үүнтэй холбоотой фронтын циклон үүсч, уг циклоны араас цөмрөлтийн эсрэг циклон түргэн шилжиж ирснээс даралтын хэвтээ шатлал ихсэн их салхины бүс үүсдэг байна.

Тухайн үеийн цаг агаарын байдлыг авч үзвэл: 3-нд Увс аймгийн Өндөрхангай, Завханы нутгаар салхины хурд 13-28м/с хүрч, цасан шуурга 6-8 цаг үргэлжилсэн байна. Увс, Говь-Алтай, Баянхонгор аймгуудын зарим газраар салхины хурд 12-27 м/с хүрч, цасан шуурга 1-5 цаг үргэлжилжээ. Энэ өдрийн цасан шуурганаар Завхан аймгийн Баянтэс, Хөвсгөл аймгийн Цагаан-Үүр сумуудад 30-33 см, Увс, Завханы нутаг, Хөвсгөл аймгийн хойд хэсэг, Зүүн зүгийн нутгийн өмнөд хэсгээр 16-25 см-ийн зузаантай цасан бүрхүүл тогтсон. 04-нд Өвөрхангай аймгийн Баян-Өндөр, Зүйл, Бүрд, Булган аймгийн Могод, Төв аймгийн Өндөрширээт, Бүрэн, Баян-Өнжүүл, Нийслэлийн Партизан станц харуулуудад салхины хурд 12-25 м/с хүрч, цасан шуурга 7-15 цаг үргэлжилжээ. Архангай аймгийн Эрдэнэмандал, Чулуут, Түвшрүүлэх, Сэлэнгэ аймгийн Цагааннуур, Дундговь аймгийн Говь-Угтаал станц харуулуудад салхины хурд 12-17 м/с хүрч, цасан шуурга 6 цаг үргэлжилжээ. Увс, Завханы нутгаар цасны зузаан 0-2 см-ээр, Төвийн ихэнх нутгаар 6-8 см-ээр нэмэгджээ (Зураг 49).

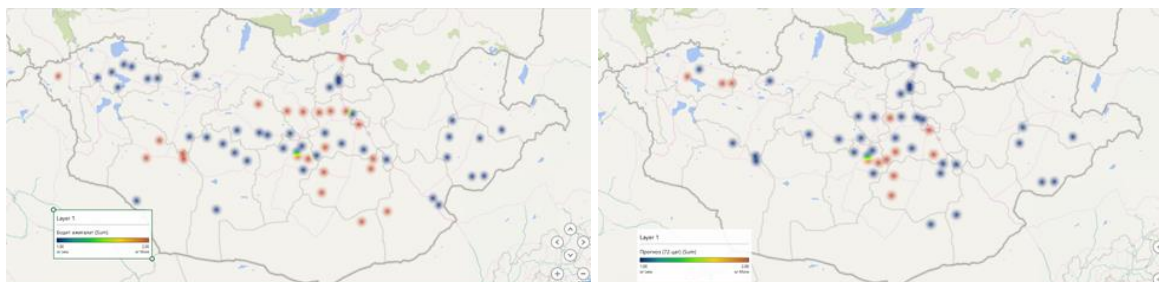


Зураг 49. Цаг агаарын аюултай үзэгдлийн мэдээ

Тухайн хугацаанд цасан шуургаар нийт 69 станц, харуулаас аюултай үзэгдлийн аюул ирсэнээс 23 нь ГҮ-ийн хэмжээнд, 42 нь аюултай үзэгдлийн хэмжээнд тус тус хүрсэн бол 4 нь аюултай үзэгдлийн хэмжээнд хүрээгүй байна.

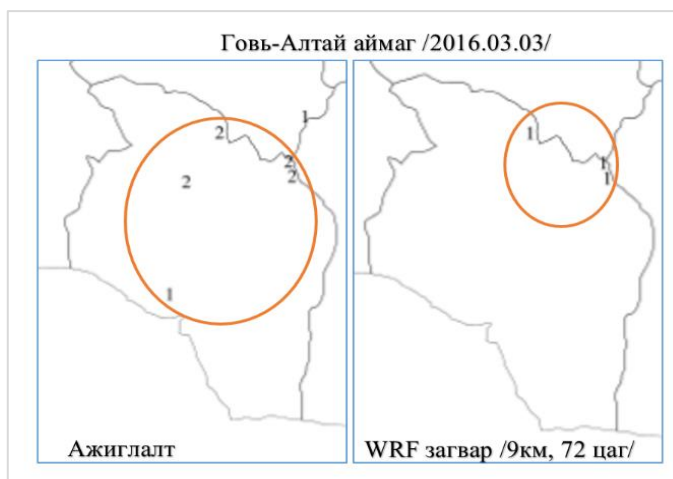
Уг цаг агаарын гамшигт үзэгдлийн улмаас үүдсэн хохирол нь хөдөө орон нутгуудад зорчиж явсан 4 автомашин цасанд сууж, Увс аймгийн Давст суманд малчин Мэндбаярын 700 бог мал цасанд дарагдаж, 127 иргэн сураггүй алга болсоноос 78 иргэн нь Завхан аймгийн нутгаас алга болсон. Эдгээр сураггүй болсон иргэдийн 120 нь эсэн мэнд олдсон байна.

Загварын тоон туршилтын үр дүн. WRF загварын 2016 оны 3 дугаар сарын 3-5-нд болсон цасан шуурганы АҮ болон ГҮ-ийг 72 цагийн өмнөөс 9 км-ын нарийвчлалтайгаар WRF загвар хэрхэн тооцоолсоныг бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулан Зураг 50-д үзүүлэв.



Зураг 50. 2016.03.03-ны цасан шуурганы АҮ болон ГҮ-ийн бодит болон прогноз мэдээний харьцуулалт (Цэнхэр-АҮ ажиглагдсан, Улаан-ГҮ ажиглагдсан)

Зургаас харвал загвар 72 цагийн өмнөөс загвараар тооцоолсон цасан шуурганы АҮ болон ГҮ болно гэсэн хандлагыг ерөнхийдөө сайн загварчлан тооцоолсон байна. Орон зайн хувьд зөрөөтэй, нутгийн өмнөд хэсгээр АҮ болон ГҮ болохгүй гэж үзсэн нь бодит байдал дээр болсон байгаа нь харагдаж байна. Жишээ нь бодит ажиглалтаар Говь-Алтай аймагт нийт 1 станц дээр АҮ, 4 харуул дээр ГҮ-ийн хэмжээнд хүрсэн бол 9 км-ийн орон зайн нарийвчлалтай бодуулсан WRF загвар нь 72 цагийн өмнөөс 3 харуул дээр АҮ болно бусад станц, харуул дээр АҮ болон ГҮ болохгүй гэж тооцоолсон байна (Зураг 51).



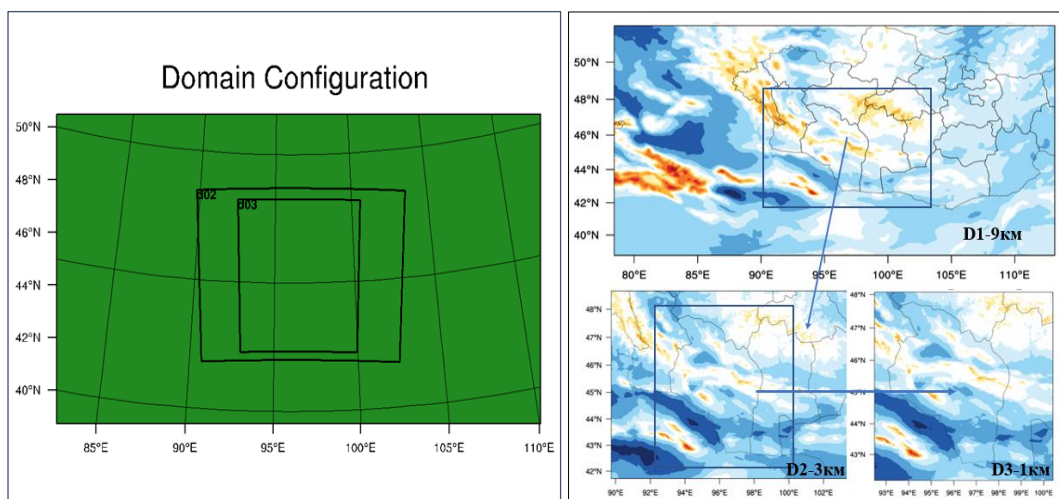
Зураг 51. Говь-Алтай аймгийн АҮ, ГҮ-ийн бодит ажиглалт, загварын үр дүн. (1-АҮ ажиглагдсан, 2-ГҮ ажиглагдсан)

Иймээс бид WRF загвараар тухайн процессийг бэсрэг болон бичил хэмжээст нарийвчлан судлахын тулд дараах 4 тоон туршилтыг хийв. Үүнд

- цаг агаарын АҮ, ГҮ ажиглагдах бүс нутгийг төв цэг болгон загварын хамрах бүс нутгийн сонголт хийх
- хязгаарын үе давхаргын схемийг солих
- 4 хэмжээст өгөгдлийн ассимиляци хийх
- кумулюс болон конвектив үүлний схемийг 5км-ээс бага гридийн нарийвчлалтайгаар тооцох

зэрэг туршилт оров.

Говь-Алтай аймгийг төв цэг болгон WRF загварын 9км-ийн нарийвлалыг 1-3км бичил хэмжээс болгон сайжруулснаар үр дүн хэрхэн өөрчлөгдөхийг туршилтыг 3 хамрах бүс нутагт 48 цагийн бодолтыг суперкомпьютер дээр хийв (Зураг 52).



Зураг 52. WRF загварын домайны сонголт. (D1-9км, D2-км, D3-1км-ийн нарийвчлалтай)

Сонгосон бүс нутагт Говь-Алтай аймгийн цаг уурын 1 станц, 4 харуулын мэдээг 3 хамрах бүс нутгаар бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулав. Хүснэгт 4-т цасан шуурганы АҮ, ГҮ ажиглагдсан станц, харуулын мэдээллийг харуулав.

Хүснэгт 4. Цасан шуурганы АҮ, ГҮ ажиглагдсан станц, харуул

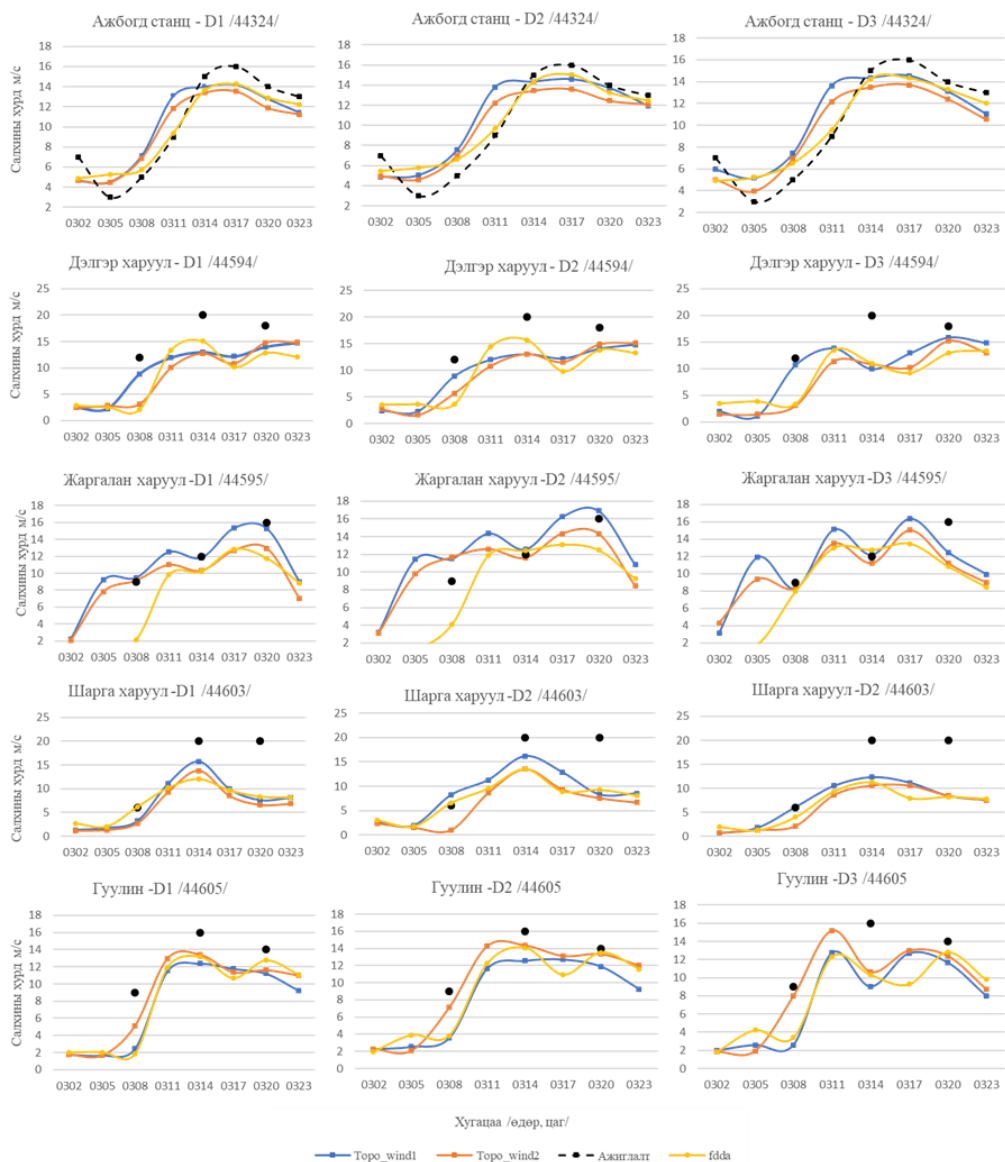
| № | Станц, харуулын нэр | Индекс | Өргөрөг | Уртгаг |
|---|------------------------|--------|---------|---------|
| 1 | Ажбогд | 324 | 44.6192 | 94.9234 |
| 2 | Дэлгэр | 594 | 46.3534 | 97.3639 |
| 3 | Жаргалан | 595 | 46.981 | 95.926 |
| 4 | Шарга | 603 | 46.2717 | 95.2675 |
| 5 | Гуулин | 605 | 46.5665 | 97.2923 |

2016 оны 3 дугаар сарын 3-ны өдөр Говь-Алтай аймагт цасан шуурганы АҮ, ГҮ 5 станц, харуул дээр тохиолдсоныг WRF загвараар 48 цагийн өмнөөс загварчлах тоон туршилтуудыг хийж, цасан шуурганы гол хэмжүүр нь салхи, тунадасыг тооцоолов.

Хязгаарын үе давхаргын схемийг өөрчлөх болон 4 хэмжээст өгөгдлийн ассимиляци хийж загварыг ажиллуулах тоон туршилтыг Говь-Алтай аймгийг төв цэг болгож, загварын 9км-ийн нарийвчлалыг 3км, 1км болгон багасгаж үр дүнг гарган авав. Туршилтыг 3 хамрах бүс нутгаар 2016 оны 3 дугаар сарын 1-ны 20 цагаас 4-ний 20 цаг хүртэл нийт 72 цагаар хийв (Зураг 6)

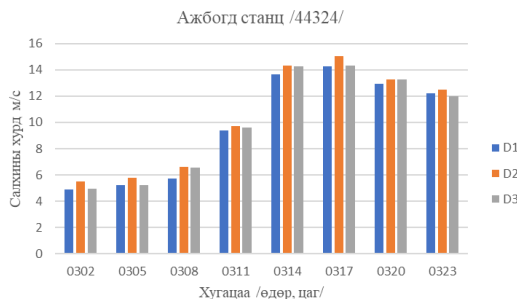
Үр дүнгээс үзвэл Говь-Алтай аймгийн Ажбогд станц, Дэлгэр, Жаргалан, Шарга, Гуулин харуулуудын салхины хурдны туршилтуудыг бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулан гаргав (Зураг 53). Зургаас харвал үр дүн станц, харуул тус бүр дээр харилцан адилгүй байна. Хүчтэй салхи болно гэсэн хандлагыг сайн өгч байна. Ажбогд станц, Жаргалан, Гуулин харуулууд дээр бодит байдалд 9-16м/с хүрч салхилсан бол загвараар хамгийн ихдээ салхи 10-16м/с хүрсэн бол Дэлгэр, Шарга харуулууд нь бодит ажиглалтан дээр 12-20м/с хүрч салхилсан бол загварчлалаар хамгийн ихдээ салхи 11-17м/с хүрсэн нь бодит байдлаас 2-4м/с бага байсан байна. Гуулин харуулаас бусад харуул, станц дээр topo_wind1-ээр авсан сонголт нь шуурхай үйлчилгээнд ашиглаж байгаа topo_wind2-оор авсан сонголтаас сайн буюу их салхи өгсөн байгаа нь харагдаж байна. Мөн 4 хэмжээст

ассимиляци хийсэн туршилт нь Дэлгэр харуул дээр бодит ажиглагдсан салхинд хамгийн ойр их салхи өгсөн хэдий ч бусад станц, харуулууд дээр салхины хурдыг бууруулж өгсөн байна. Иймээс бодит ажиглалтанд хамгийн дөхүү тооцоолсон туршилт нь topo_wind1-ээр авсан сонголт нь хамгийн сайн байна.

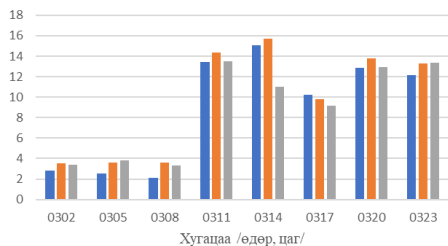


Зураг 53. Салхины хурдны прогноз болон бодит ажиглалт. (3 хамрах бүс нутаг, 2016.03.03-ны өдөр)

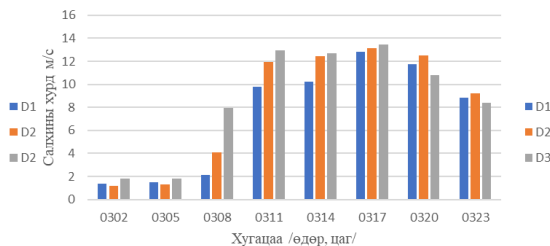
Говь-Алтай аймгийг төв цэгээ болгон загварын 9км-ийн нарийвлалыг 3км, 1км болгон багасгаснаар үр дүнд хэрхэн өөрчлөлт үзүүлэхийг зураг 8-д харуулав. Зургаас харвал 3км-ын үр дүн нь 9км-ын үр дүнгээс салхины утгыг нэмэгдүүлж чадаж байгаа бол загвараа бүр нарийвчлан 1км болгосон үр дүн Жаргалан харуулаас бусад станц, харуул дээр салхийг бүр бага болгон прогнозлосон байгаа нь харагдаж байна. Иймээс их орон зайг хамарсан фронтын гаралтай АҮ, ГҮ-ийн хувьд хэт их нарийвчлах буюу 1км болгох шаардлагагүй гэдэг нь харагдаж байна. Хамгийн сайн нь 3км-ын нарийвлалтай үр дүн байна.



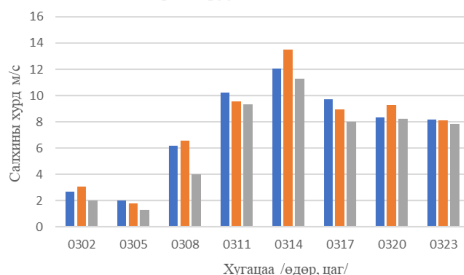
Дэлгэр харуул /44594/



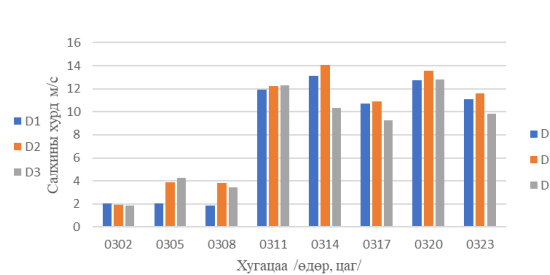
Жаргалан харуул /44595/



Шарга харуул /44603/

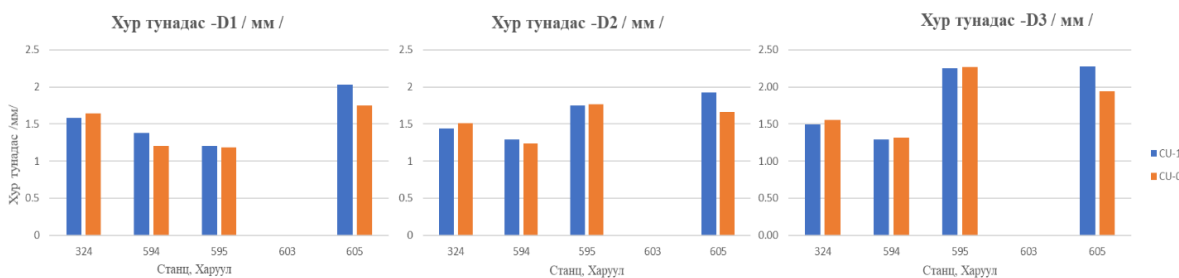


Гуулин /44605/



Зураг 54. Салхины хурдны 3 домайны харьцуулалт (2016.03.03)

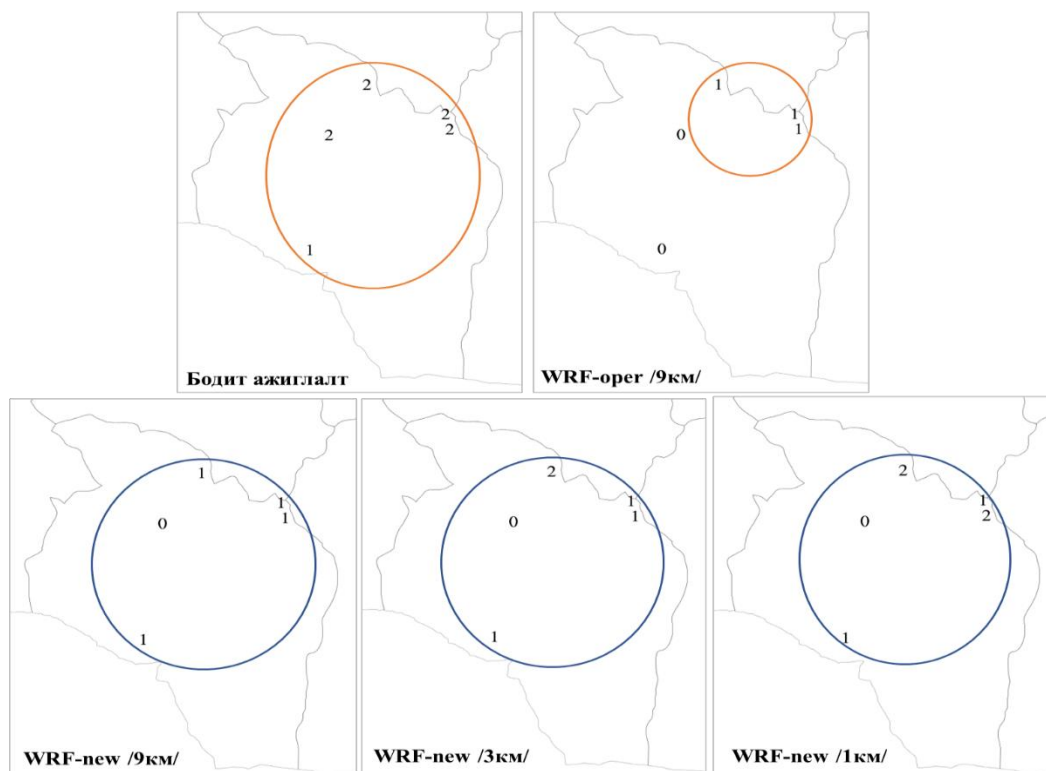
9 км-ийн гридийн нарийвчлалтай бодолт хийж байгаа загвар конвектив хуйлрааг загварчилж чаддаг учир кумулюс схем шаардлагагүй гэж үздэг ч 3км, 1км-ийн нарийвчлалтай бодолт хийхдээ кумулюс схемийн (Kain-Fritsch-ийн схем) сонгож туршилт хийж үр дүнд хэрхэн өөрчлөлт үзүүлэхийг харав (Зураг 55).



Зураг 55. Кумулюс схемийг сонгосон, сонгоогүй хоорондын харьцуулалт. (CU-1 кумулюс схем сонгосон, CU-0- кумулюс схем сонгоогүй үр дүн)

Кумулюс схемийг сонгосноор станц, харуулууд дээр харилцан адилгүй Ажбогд станц дээр тунадасыг багасгаад, бусад харуулууд дээр тунадасыг 0.1-0.3мм-ээр нэмэгдүүлж өгсөн байна. Энэ нь мэдэгдэхүйц өөрчлөлт үзүүлж чадахгүй байна. Реанализын мэдээгээр загварчилсан үр дүнг бодит болон WRF-ын прогноз мэдээтэй харьцуулан тухайн ГҮ-ийг 9км, 3км, 1км-т хэрхэн дүрсэлсэнийг Зураг 56-д харуулав.

Говь-Алтай аймаг /2016.03.03-72цаг/



Зураг 56. Реанализын мэдээгээр (WRF-new) загварчилсан үр дүнг бодит болон WRF-ын прогноз (WRF-oper) мэдээтэй харьцуулсан үр дүн. /0-аюултай үзэгдэл ажиглагдаагүй, 1-АУ, 2- ГҮ/

Зургаас харвал 2016.03.03-нд бодит ажиглалтаар 1 станц дээр АУ, 4 харуул дээр ГҮ ажиглагдсан байгаа бол 72 цагийн өмнөөс WRF загвар прогнозолходоо 3 харуул дээр АУ болно бусад станц, харуул АУ болон ГҮ болохгүй гэж үзсэн байна. Харин реанализын мэдээгээр Говь-Алтай аймгийг төв цэгээ болгон 3 домайнаар загварчлах туршилт явуулсанаар Шарга харуулаас бусад станц, харуул дээр АУ, ГҮ ажиглагдана гэж прогнозлосон байна. 9км-т 4 станц, харуул дээр АУ ажиглагдана, 3км-т Ажбогд станц, Дэлгэр, Гуулин харуулууд дээр АУ, Жаргалан харуул дээр ГҮ ажиглагдана, 1км-т Ажбогд станц, Гуулин харуул дээр АУ, Жаргалан, Дэлгэр харуулуудад ГҮ болно гэж прогнозлосон байна. АУ болон ГҮ болно гэж сайн прогнозлосон бөгөөд домайны хэмжээ багасах тусам 1-2 станц дээр ГҮ болно гэж гарч ирсэн нь сайн үзүүлэлт юм.

Дүгнэлт

Цасан шуурганы гамшигт үзэгдлийг орон зайн 1-10 км-ын нарийвчлалтай агаар мандлын бичил хэмжээст тооцон загварчлахын тулд ихээхэн газар нутгийг хамарч, хохирол дагуулсан 2016 оны 3 сарын 3-нд болсон цасан шуурганы АУ болон ГҮ-ийг 72 цагийн өмнөөс WRF загвар хэрхэн дүрсэлсэнийг бодит ажиглалттай харьцуулан хархад загвар 72 цагийн өмнөөс прогнозолход цасан шуурганы АУ болон ГҮ болно гэсэн хандлагыг сайн өгсөн байна. Орон зайн хувьд зөрөөтэй, нутгийн өмнөд хэсгээр АУ болон ГҮ болохгүй гэж үзсэн нь бодит байдал дээр болсон байгаа нь харагдаж байна. Иймд Говь-Алтай аймгийн нутаг орчмоор загварын 9км, 3км, 1км нарийвчлалтайгаар, реанализын мэдээг ашиглан 72 цагийн өмнөөс загварчлах туршилтыг явуулав. Цасан шуурганы гол хэмжүүр нь салхи, тунадас, алсын бараа юм. WRF загвараар салхи, тунадас 2-ыг тооцоолон гаргаж харьцуулалт хийсэн.

Салхины хувьд хязгаарын үе давхрагын схемийн topo_wind1-ээр салхины хурдыг тооцсон туршилт нь бусад туршилтуудаас бодит ажиглалтанд хамгийн дөхүү прогнозлсон байна. Хур тунадасны хувьд кумулюс схемийг сонгосноор мэдэгдэхүйц өөрчлөлт үзүүлж чадахгүй байна.

Загварын прогнозын үр дүнгээс реанализын мэдээгээр загварчилсан үр дүн сайн гарч байгаа нь бүс нутгийн загвар нь агаар мандлыг тодорхой хэмжээгээр сайн загварчилдаг байна. Эндээс хархад прогнозын чанарыг сайжруулахын тулд захын болон анхны нөхцлийн мэдээний анализыг хийж Говь-Алтай аймгийг төв цэгээ болгон загварын 9км-ийн нарийвлалыг 3км, 1км болгон багасгаснаар 3км-ын үр дүн нь 9км-ын үр дүнгээс салхины утгыг нэмэгдүүлж чадаж байгаа бол загвараа бүр нарийвчлан 1км болгосон Жаргалан харуулаас бусад станц, харуул дээр салхийг бүр бага болгон прогнозлосон байна. Иймээс их орон зайг хамарсан фронтын гаралтай АҮ, ГҮ-ийн хувьд хэт их нарийвчлах буюу 1км болгох шаардлагагүй гэдэг нь харагдаж байна. Хамгийн сайн нь 3км-ын нарийвлалтай үр дүн байна.

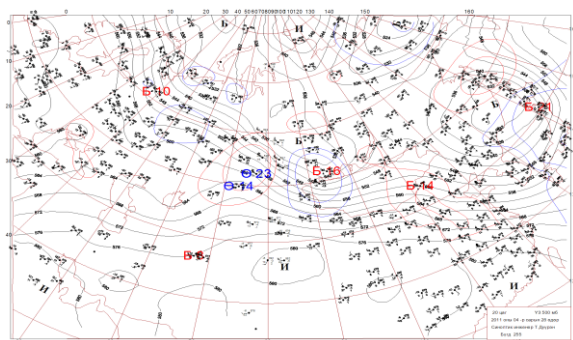
Иймд АҮ болон ГҮ ажиглагдах нөхцөл бүрдсэн үед WRF загвараар цасан шуургыг прогнозлохдоо тухайн бүс нутгаа төв цэгээ болгон анхны болон захын нөхцлийн мэдээгээр анализ хийж, орон зайн хувьд 3км-ээр нарийвчлан, салхины хурдыг хязгаарын үе давхрагын схемийн topo_wind1-ээр тохируулан тооцоолох сайн үр дүн өгч байна.

2.2.3 Шороон шуурга

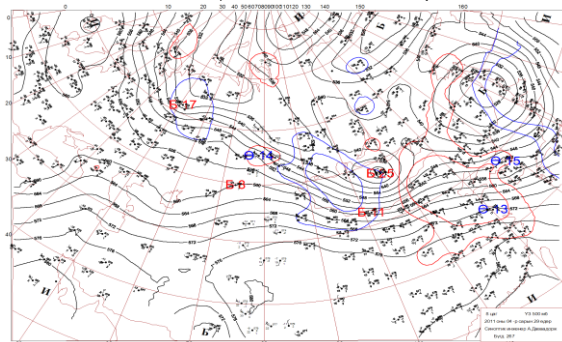
Салхины хурд ойт хээр, уулархаг нутагт 24м/с, тал хээр, говь цөлийн бүсэд 28м/с түүнээс дээш давж салхилбал хүчтэй салхины гамшигт үзэгдэл гэж үздэг. 2011 оны 04-р сарын 28-29-ны хооронд хүчтэй салхилж, шороон шуурга болж, гамшигт үзэгдлийн улмаас 524 хүн шуурганд төөрч эсэн мэнд олдсон боловч 3 хүн нас барсан, 58-н барилгын дээвэр, 30 айлын гэр, 218 айлын хашаа нурсан ба нийт 91,899,000 төгрөгийн хохирол учирсан байдаг. Иймд энэхүү гамшигт үзэгдлийг бэсрэг болон бичил хэмжээст WRF загвараар загварчлан тоон туршилтыг хийв.

Ажиглалтын мэдээгээр хийсэн анализ. Геопотенциаль өндрийн 500 гПа-ын 2017-04-28-ны 20 цагийн зургаас харахад Баруун Сибирь дээр төвтэй бага даралтын орны хотос манай орны баруун хэсгээр сунан тогтож, өндрийн фронтын бүс манай орон дээр байрласан байна. 2017-04-29 08 цагийн зургаас харахад Баруун Сибирь дээр төвтэй бага даралтын орны төв нь тасарч манай орны төвийн хэсгээр 2 битүү изобартай өндрийн бага даралтын орон үүсэв. Өндрийн фронтын зон шигүүссэн байна. 850 гПа-ын 2017-04-28 20 цагийн зургаас харахад нутгийн зүүн хагаст 16 градусын изотермтэй дулаан гүвээ байрласан, баруун аймгуудын хойд хэсгээр 0 градусын изотермтэй бөгөөд манай нутаг дээр баруун талаараа их даралтын орны нөлөөнд, зүүн талаараа бага даралтын орны нөлөөнд байна. 850 гПа 2017-04-29 08 цагийн байдлаар зүүн хэсгээр 2 битүү изобартай бага даралтын орон, баруун талаасаа хүйтэн цоморсон их даралтын орон нутгийн төв хүртэл нөлөөтэй байсан байна (Зураг 57).

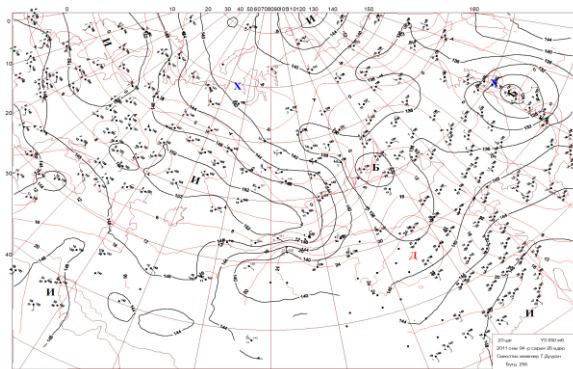
500 гПа, 2011-04-28 20 цаг



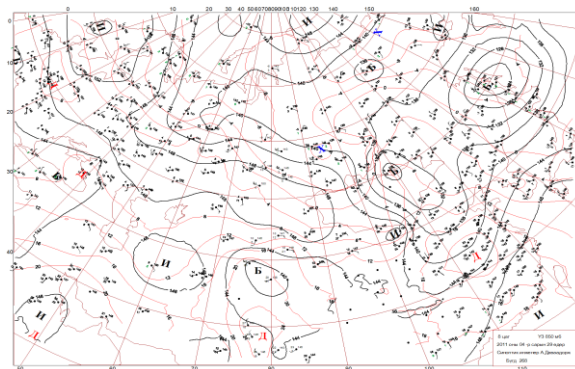
500 гПа, 2011-04-29 08 цаг



ҮЗ 850 гПа, 2011-04-28 20 цаг



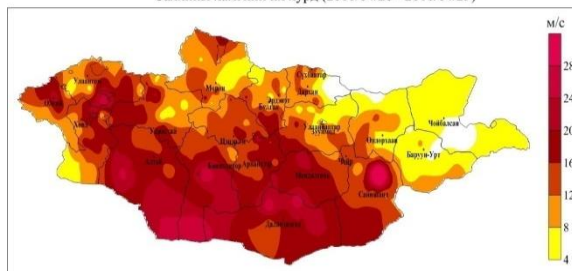
ҮЗ 850 гПа, 2011-04-29 08 цаг



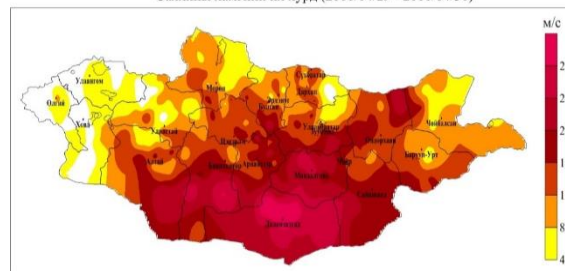
Зураг 57. 850 гПа, 500 гПа-ийн зураг

Хүчтэй салхины тархалтын зургаас харахад нутгийн өмнөд хэсгээр салхины хурд хамгийн ихдээ 28м/с хүрч, ялангуяа 4-р сарын 29-30-ны хооронд Өмнөговь аймгийн нутгаар хүчтэй салхилсан байна (Зураг 58).

Салхины хамгийн их хурд (2011/04/28 - 2011/04/29)

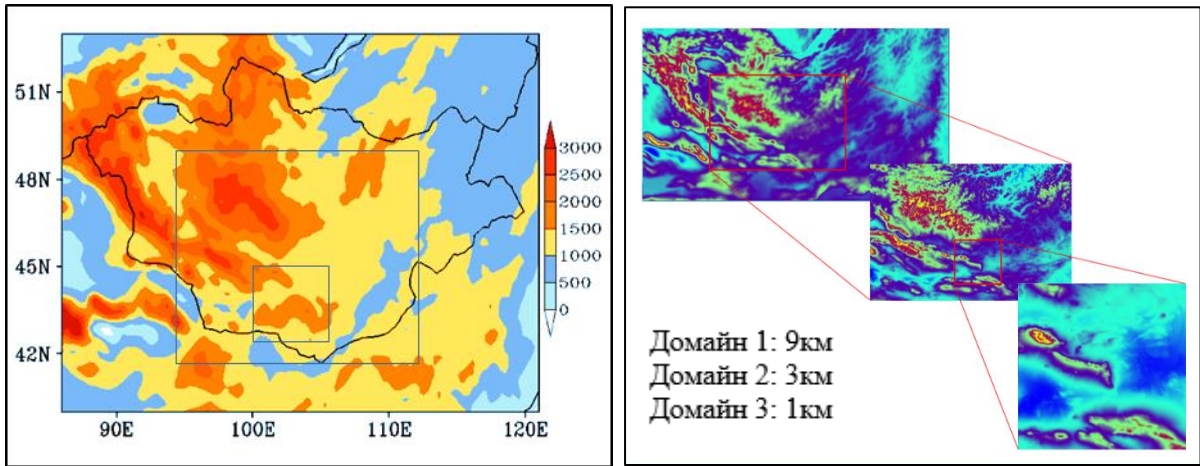


Салхины хамгийн их хурд (2011/04/29 - 2011/04/30)



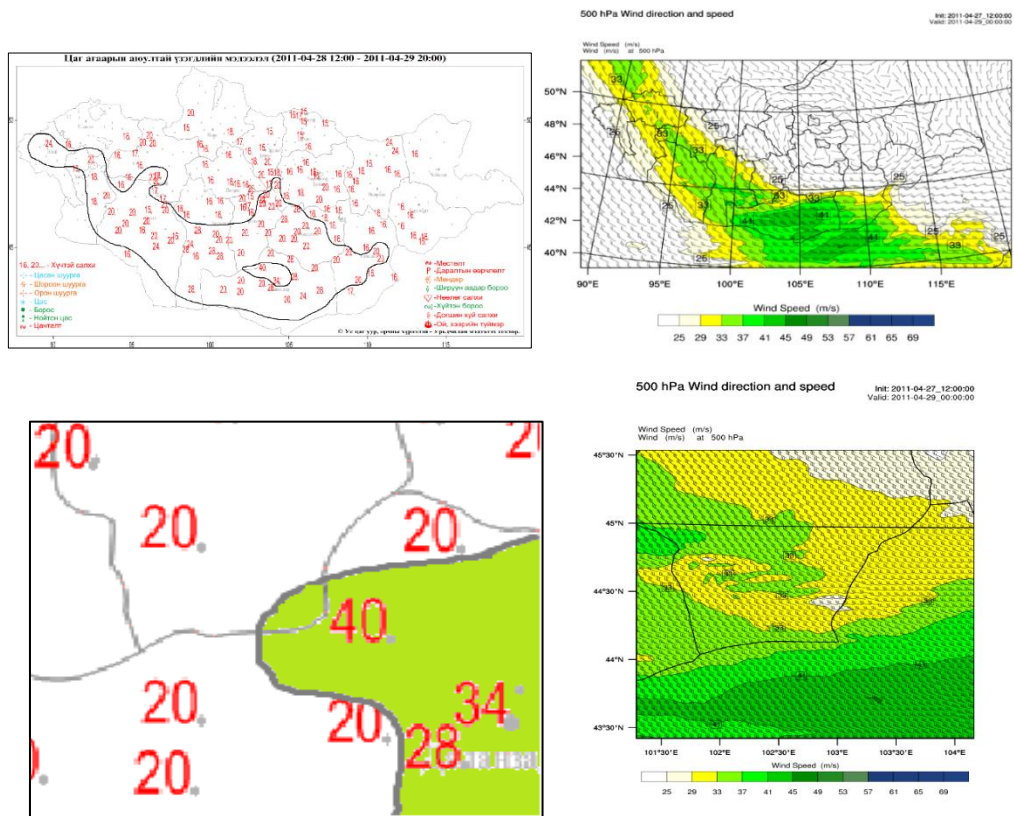
Зураг 58. Хүчтэй салхины тархалтын зураг

Загварын тоон туршилтын үр дүн. WRF загварын тоон туршилтанд ашиглагдсан хамрах бүс нутгийг Зураг 59-т үзүүлэв.



Зураг 59. Тоон туршилтын талбай сонголт

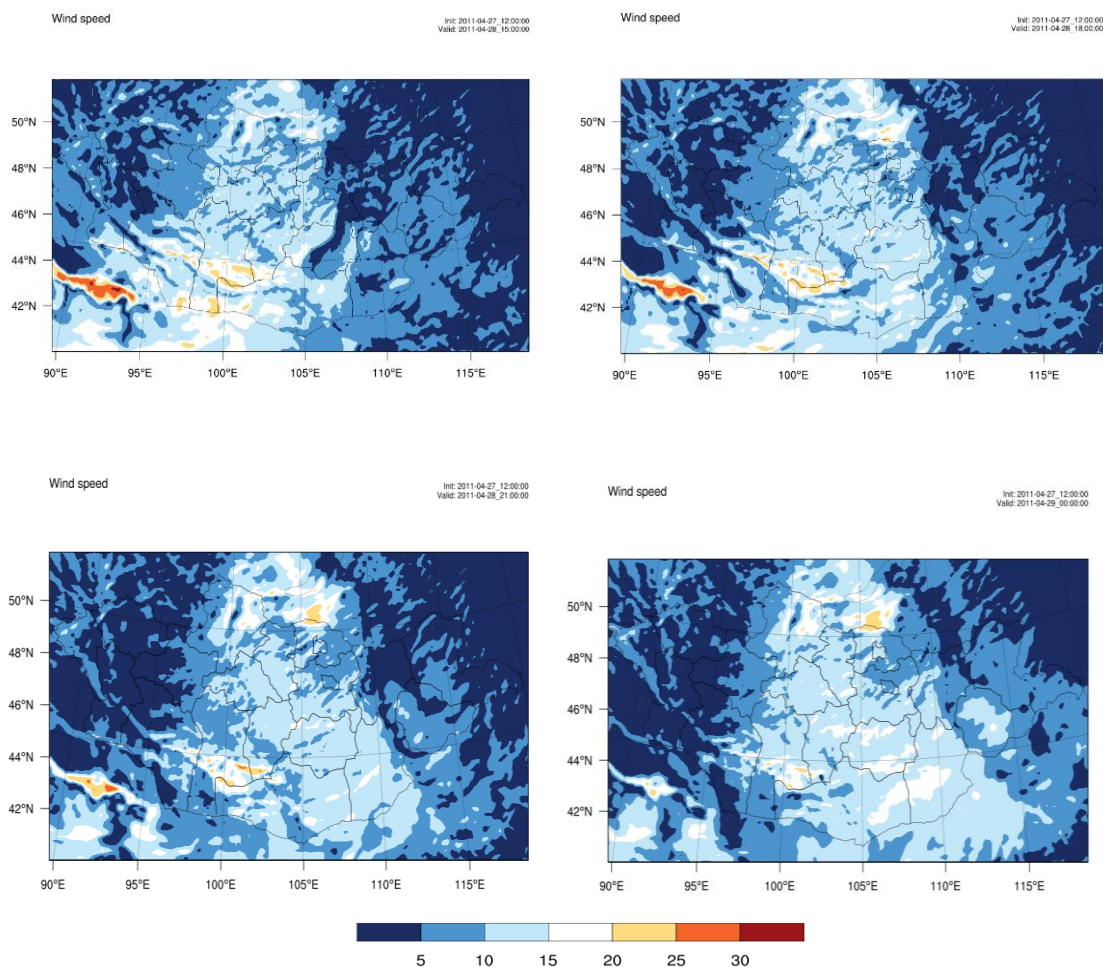
Загварыг 48 цагийн тооцооллыг 9 км болон 1 км-ын орон зайн нарийвчлалтайгаар бодуулав. Геопотенциаль өндрийн 500 гПа-н салхины хурд болон чиглэлийн тооцоолсон үр дүнг хүчтэй салхины аюултай үзэгдлийн мэдээлэлтэй харьцуулав (Зураг 60). Зургаас харахад WRF загварын өндрийн салхины тооцоолсон үр дүн хүчтэй салхины аюултай үзэгдлийн бүртгэлд тэмдэглэгдсэн их салхины оронтой давхцаж, агаарын удирдах урсгалын хувьд гамшигт үзэгдэл болох дохиог өгсөн байна.



Зураг 60. Хүчтэй салхины аюултай үзэгдлийн зураглал болон WRF загварын 500 гПа-н түвшний салхины үр дүнгийн харьцуулалт (9 болон 1 км хамрах бүс нутгийн хувьд)

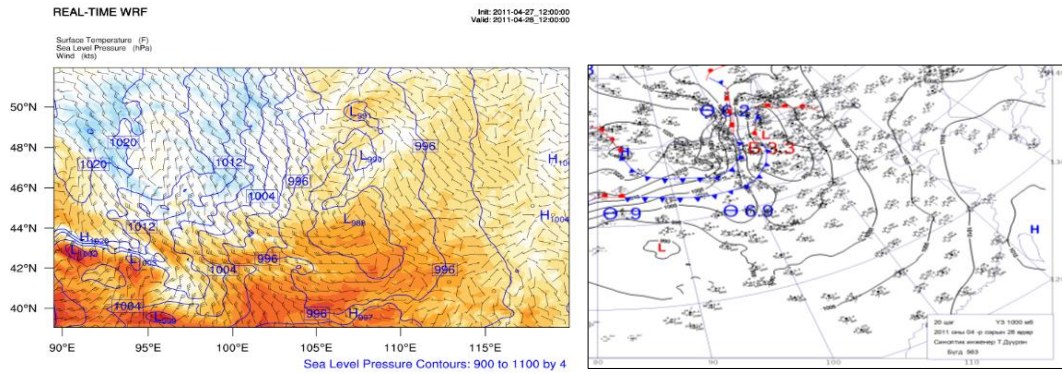
WRF загварын тооцоолсон газрын гадаргаас дээшхи 10 метрийн түвшний салхины тархалтыг хүчтэй салхи болсон үеийн хугацаагаар авч үзэхэд салхины хурдыг сайн тооцоолсон байна. Тухайлбал салхи болсон хугацааны эхлэлийн хугацаанд 10 метрийн түвшний салхийг 30м/с-н хүрнэ гэж тооцоолсон байна. Энэ

нь байршлын хувьд бага зэрэг зөрүүтэй ч хүчтэй салхи болох дохиог өгч чадсан байна (Зураг 61).



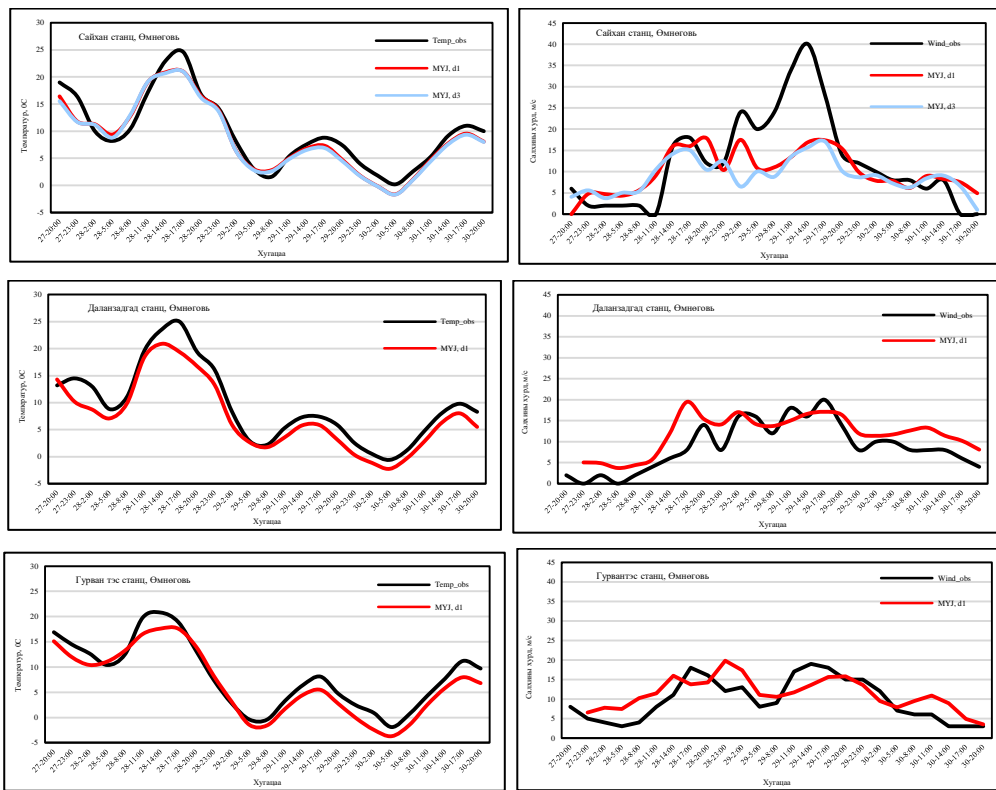
Зураг 61. WRF загварын 10 метрийн түвшний салхины 3-н цаг тутмын тархалт

Загварын 48 цагийн урьдчлалтай 9км нарийвчлалтай газрын гадаргын температур, далайн түвшний даралт, салхины зүгийг бодит 1000 мб-н түвшний зурагтай харьцуулалт хийв. Зургаас үзэхэд Монгол орны баруун хагас нь төвийн даралт нь 1020 гПа-н битүү изобартай их даралтын орны нөлөөнд, нутгийн зүүн хагас нь төвийн даралт нь 990гПа-н битүү изобартай бага даралтын нөлөөнд байгаа бөгөөд их, бага даралтын хослолтой, баруун хойноосоо хүйтэн фронтын нөлөөнд температурын бууралттай байна. Загварын хувьд мөн адил баруун хойноосоо их даралтын орны нөлөөнд, хүйтэн фронтын ард температурын бууралттай, зүүн хэсгээрээ бага даралтын орны нөлөөнд байрласан байдалтай байгаа нь загвар даралтын орны байрлал, салхи болон температурын өөрчлөлтийг сайн тооцоолж байна (Зураг 62).



Зураг 62. Загварын 9км нарийвчлалтай газрын гадаргын температур, 1000 мб-н түвшний далайн түвшний даралт, салхины зүгийн үр дүнг болон бодит ажиглагдсан харьцуулалт

Загварын тооцоолсон гридын мэдээнээс Өмнөговь аймгийн Сайхан, Даланзадгад, Гурвантэс цаг уурын станцын байрлалын цэг рүү интерполяци хийн цэгэн мэдээг гаргаж, ажиглалтын мэдээтэй харьцуулсан үр дүнг Зураг 63-т агаарын температур, 10м түвшний салхины хурдны хувьд үзүүлэв.



Зураг 63. Загварын тооцоолсон болон ажиглалтын мэдээтэй харьцуулсан үр дүн

Дүгнэлт

Энэхүү судалгаанд тоон симульцийн газрын гадаргын ойролцоох 10 метрийн түвшний салхины критерийг ашиглан аюултай салхин дахь салхины хурдны харьцангуй нөхцлийг тодорхойлох зорилготой байв. Агаарын урсгал, тофограф, хоногийн явц, загварчлалыг ашиглах шийдвэр, нөлөөллийн бүс нутаг зэрэгт нөхцөлдсөн хязгаарын үе давхаргын схемүүдийн алдаа нь өөр өөр нь байна.

Богино хугацааны явцтай салхины урсгал болон тофографийн харилцан хамаарал нь хүчтэй салхины урьчилан мэдээлэхэд чухал ач холбогдолтой байна.

Газрын гадарга болон хязгаарын үе давхаргын параметризацийн сонголт нь газрын гадаргын салхи болон температурын симульцид хүчтэй нөлөө үзүүлж байна.

WRF загварын физик схемүүдийн хоорондын уялдаа холбоог хүчтэй салхины нөхцөлд тохируулан сонгох нь чухал юм. Сонгож авсан судалгаанд хязгаарын үе давхаргын MYJ /Toro_wind0(off)/ схемээр бодуулсан үр нь бусад харьцуулсан схемүүдийг бодоход илүү хүчтэй салхины хурдыг тооцоолж байгаа нь бусад судлаачдын /Maria e. B. Frediani et al./ тооцоолсон үр дүнтэй тохирч байна.

Эндээс үзэхэд WRF загвар Монгол орны даралтын орны байрлал, салхи болон температурын өөрчлөлтийг сайн тооцоолж байна. 9 км-н нарийвчлалтай WRF загварын өндрийн салхины хамгийн их утгын тархалт нь Өмнөговь аймгийн нутаг дээгүүр байрлаж, аюултай үзэгдлийн мэдээлэлтэй давхцаж байгаа нь загвар хүчтэй салхи болох нөхцлийг тооцож чадаж байна. Өмнөговь аймгийн Булган сум нь газарзүйн байрлалын хувьд Арц Богд, Говь Гурван Сайхан уулсын хоородоо хоолойн аман дээр оршдог нутаг тул орон нутгийн онцлог шинжтэй байх бөгөөд энэ нь ойролцоох бусад нь станцаас илүү салхилах нөхцөл бүрдэж байна. Тиймээс динамик загварын гаралтын үр дүнд орон нутгийн онцлог бүхий газрын онцлогийг тооцоож статистик залгаж тайлал хийснээр хүчтэй салхи болох нөхцлийг илүү тооцоолж чадна.

2.2.4 Догшин хуй салхи

Газрын гадарга болон борооны бөөн үүлний хооронд үүсэх юүлүүр хэлбэртэй хүчтэй эргэлдсэн агаарын баганыг торнадо буюу догшин хуй салхи гэдэг. Догшин хуй салхи АНУ-д голчлон тохиолддог байна. Догшин хуй салхи тохиолдлын газар нутагт богино хугацаанд үүсч, дайрч өнгөрдөг ба тухайн үеийн салхины хурдыг хэмжих боломжгүй учраас учруулсан хохирлын үр дүнд үндэслэн хуй салхины эрчмийг ангилдаг. Тухайлбал, хуй салхины эрчмийг багаас их рүү (F1-ээс F5) илэрхийлсэн Фужитагийн ангилал өргөн хэрэглэгддэг (Fujita, 1971).

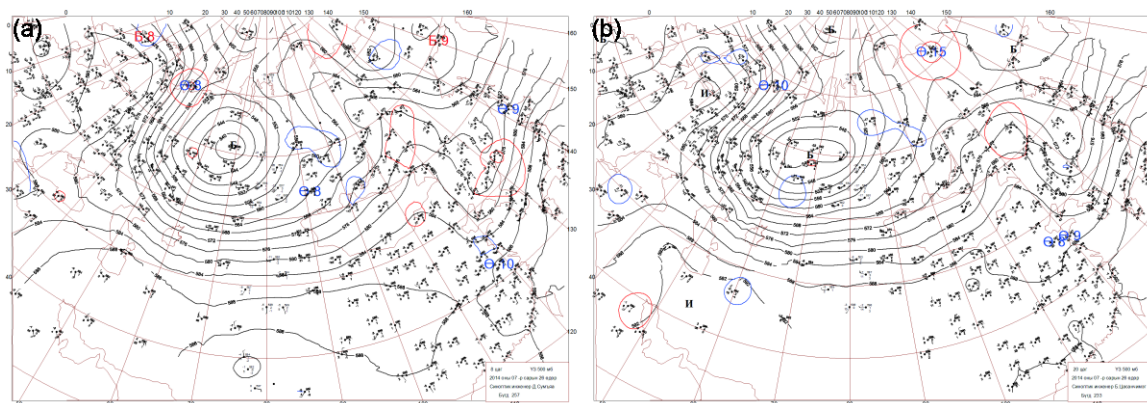
Өнгөрсөн зууны эхнээс хуй салхийг судлах, урьдчилан мэдээлж, анхааруулах оролдлого хийж, сүүлийн 30 гаруй жил тоон загварыг ашиглан загварчилж, урьдчилан мэдээлэх, судалгаа хийхэд өргөн хэрэглэх болжээ. Тухайлбал, Ху нар (2015) WRF загвар ашиглан төв Америкт болсон хүчтэй мезо-хуйлраа (mesovortex) үүссэн нөхцлийг судлахад газар орчимд салхи 50 м/с, босоо хуйлрааны эрчим 0.053 c^{-1} хүрч байжээ. 1981 оны 11-р сарын 23-нд 5 цагийн хугацаанд Англид болсон цуврал 102 догшин хуй салхины нөхцлийг WRF загвар ашиглан орон зайн 200 метрийн нарийвчлалтай тооцоолол хийсэн ажилд $0.035\text{--}0.04 \text{ c}^{-1}$ хүртэлх хуйлрааны эрчимтэй олон тооны догшин хуйг тооцоолж харуулж чаджээ (Apsley нар, 2016).

Ажиглалтын мэдээний анализ. Манай орны нутаг дэвсгэрт догшин хуй салхи хэд хэд тохиолдож байснаас 2014 оны 7-р сарын 26-нд Архангай аймгийн Хашаат сумын Номгон багийн нутаг, Хөөвөр гэх газарт догшин хуй салхи болж, мөндөр орсны улмаас 1 хүн нас барж, 9 хүн гэмтэж, 198 мал үхэж, 5 айлын гэр байшин нурж, 3 машин эвдэрч, нийт 413 сая төгрөгийн хохирол учирсан байна. Тухайн өдрийн 14 цагт тус сумын нутгаар агаарын температур 27°C , салхи зүүн өмнөөс 3 м/с байснаа, 17-19 цагийн хооронд хүйтэн фронт дайрч өнгөрсний дараа агаарын температур 9°C болон буурч, салхи баруун хойш эргэж хүчтэй нөөлөг

салхи ажиглагдсан байна. Хашаат сумын төвд 18 цаг 21 минутын үед мөндөр 28 минут орж, салхи 12 м/с хүрснийг ажигласан боловч хохирол учруулсан газарт салхины хурд хэд хүрснийг мэдэх боломж байгаагүй. Мөндрийн голч 19.6 мм хүрсэн байна.

Орчил урсгалын нөхцлөөр 2014 оны 7-р сарын 26-ны 08 цагт 500 гПа өндөрт Баруун Сибирийн тэгш тал дээр төвдөө 535 гПа даралттай 4 битүү изобартай өндрийн циклон оршиж байв (Зураг 64a). Энэ циклоны нөлөөгөөр манай нутгийн баруун хойд хэсэгт баруунаас зүүн хойш чиглэсэн өндрийн фронтын бүс, 90-100 градусын уртрагийн дагуу сул илрэлтэй өндрийн хотосын тэнхлэг байрлаж байсан. Манай орны нутаг дээр газар орчимд 2 фронтын систем баруунаас зүүн хойш чиглэлтэй байрлаж байсан ба арын фронт 850 гПа түвшний өндрийн 14°C-ийн изотермийн дагуу, дотор талын фронт 20°C-ийн изотермийн дагуу зурагдаж байв.

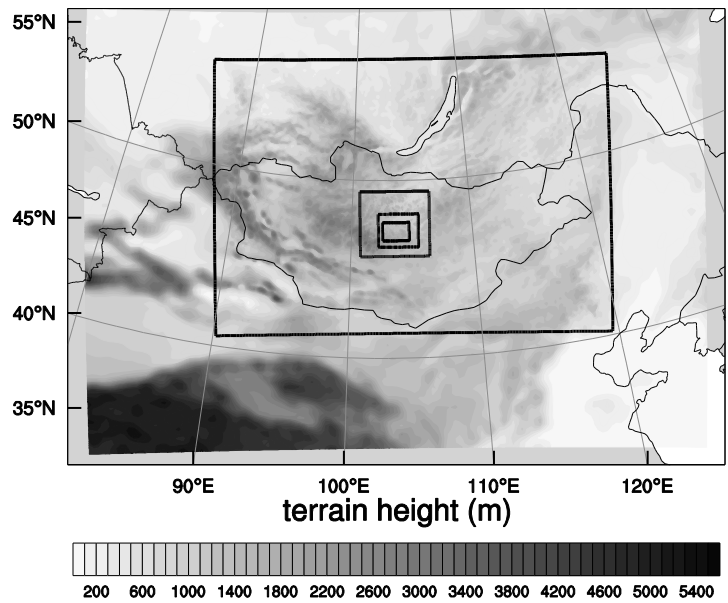
14 цагт үзэгдэл болсон газарт хамгийн ойр орших Хашаат харуулд ажиглагдсан салхины хурд 12 м/с хүрсэн. 15 цагт үүлний масс Хөвсгөл, Архангай, Булганы нутгаар дайрч, баруун өмнөөс зүүн хойш чиглэлээр шилжиж байсан (Зураг 3a) ба Хөвсгөл, Архангай аймгийн зарим газраар түр зуурын бороо, 10 мм хүртэл голчтой мөндөр орсон байв. 16-17 цагийн үед Архангай, Булган аймгийн зарим газраар салхины хурд 28 м/с хүрч ширүүссэн.



Зураг 64. 2014 оны 7-р сарын 26-ны (a) 08, (b) 20 цагийн 500 гПа гадаргын геопотенциал өндөр.

Өндрийн хотос 20 цаг гэхэд зүүн хойш чиглэлд шилжиж, Улаанбаатараас зүүн тийш уртрагийн 110 градусын дагуу байрласан байв (Зураг 64b). Өглөөний 08 цагт газар орчимд Завханы баруун талд байсан фронтын долгион Архангай, Булганы өмнөд хэсгээр 98 км/цаг хурдтайгаар дайрч зүүн хойш чиглэн 20 цаг гэхэд Сэлэнгийн сав газарт шилжин ирсэн байв.

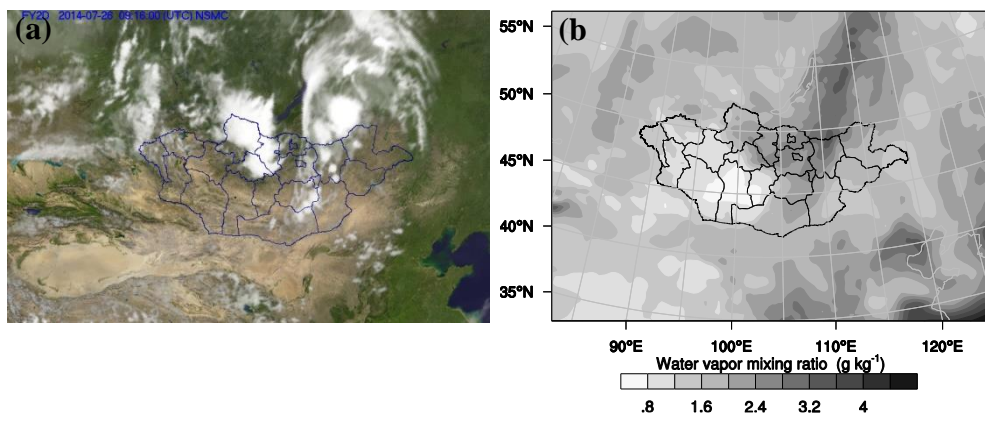
Загварын тоон туршилтын дүн. Энэхүү судалгаанд агаар мандлын судалгаа, цаг агаарын урьдчилсан мэдээнд өргөн хэрэглэгддэг бичил болон бэсрэг хэмжээст WRFv3.6 (Skamarock нар, 2008) загварыг ашиглав. Энэ загвар хуй салхины талаарх тоон судалгаанд ч мөн амжилттай ашиглагддаг (Litta нар, 2010; Apsley нар, 2016). Хязгаарын үе давхаргын YSU PBL схем (Hong нар, 2006), үүлний микрофизикийн Lin схем (Lin нар, 1983), богино долгионы Dudhia (Dudhia, 1989), урт долгионы RRTM (Mlawer нар, 1997) зэрэг физикийн процессийн схемүүдийг ашиглав. 27, 9, 3, 0.6, 0.12 км-ийн нарийвчлалтай бодолтын 5 бүс нутаг авсан ба хамгийн дотор талын бүс нутаг догшин хуй салхи болсон Архангай аймгийн Хашаат сумын Номгон багийн нутгийг хамарсан (Зураг 65). Хамгийн гаднах 2 бүс нутагт Kain-Fritsch



Зураг 65. Тооцооллын бүс нутаг

(Kain, 2004) кумулюс схем ажиллуулав. Тооцооллыг Cray XE6m суперкомпьютерийн 256 процессор ашиглаж 2014 оны 7-р сарын 25-ны 12 цагаас 26-ны 20 цаг хүртэл хийв.

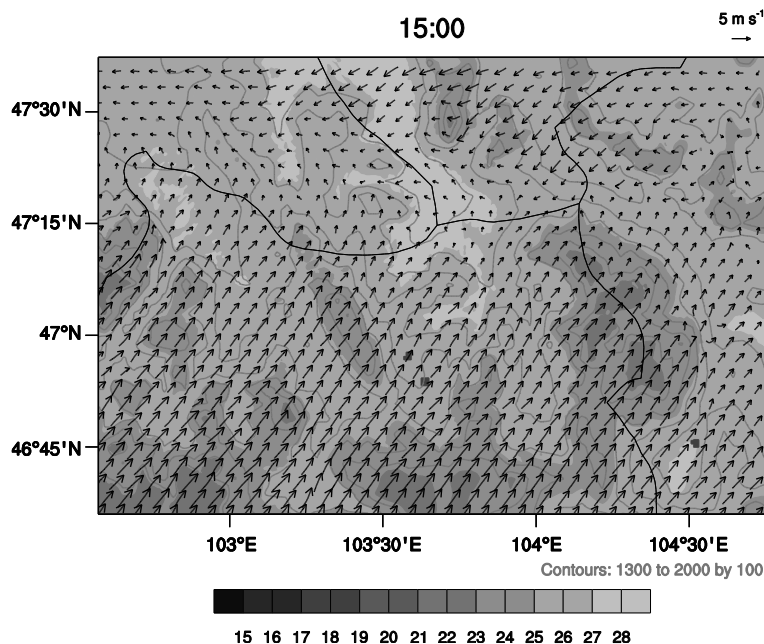
Зураг 66-т FY хиймэл дагуулаас авсан үүл болон загварын усны уурын хольцын харьцааг харуулав. Услагийн хэмжээ буюу үүлний массыг загвар боломжийн сайн тооцоолж үзүүлсэн. 16 цаг орчимд Хөвсгөл, Булган, Архангайн нутагт бөөн үүл хуралдсан байдалтай байсан. Бодолтын хугацааны загварын үр дүнг монгол орны 132 станц дээр хэмжсэн температур, салхитай харьцуулахад дундаж квадрат алдаа $\sim 2.3^{\circ}\text{C}$, ~ 1.8 м/с байв.



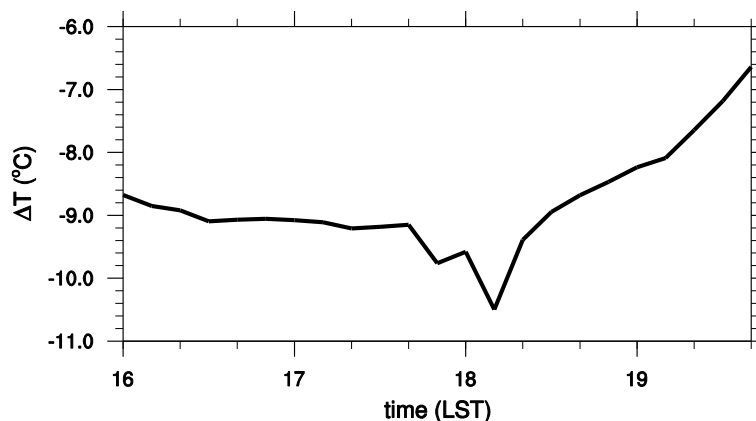
Зураг 66. (a) Хиймэл дагуулаар ажиглагдсан үүл 17 цаг 16 минутад, (b) загвараас гарсан усны уурын хольцын харьцаа 17 цагт

15 цагийн орчимд тооцооллын 5-р бүс нутагт газрын гадарга 40°C , агаарын температур 28°C хүртэл халж, зонхилох салхи газрын гадарга орчимд баруун өмнөөс 5 м/с байснаа (Зураг 67) 16 цагийн үед нутгийн баруун хойд зүгээс $6-11^{\circ}\text{C}$ -р хүйтэн, чийгтэй агаар урагш түрэн ирж их халсан агаарыг сольсон (Зураг 68). Салхи баруун өмнөөс хойш эргэв. Агаарын температурын зөрөө 18 цаг 30 минутын үед хамгийн ихдээ хүрсэн. Газрын гадарга их халалтын улмаас агаарын маш хүчтэй өгсөх (38 м/с) болон харгалзах уруудах (25 м/с) хөдөлгөөнийг

дэмжсэн. Чийг болон температур, даралтын градиент огцом нэмэгдсэнээс хэвтээ чиглэлд салхины хурд 17 цаг 10 минутад 56 м/с хүрсэн байна (Зураг 69).



Зураг 67. 15 цагийн 2 метрийн агаарын температур, 10 метрийн салхи. Өндөршлийг 100м тутамд саарал шугамаар хүрээлэв. Засаг захиргааны хилийг хар шугамаар зурав.

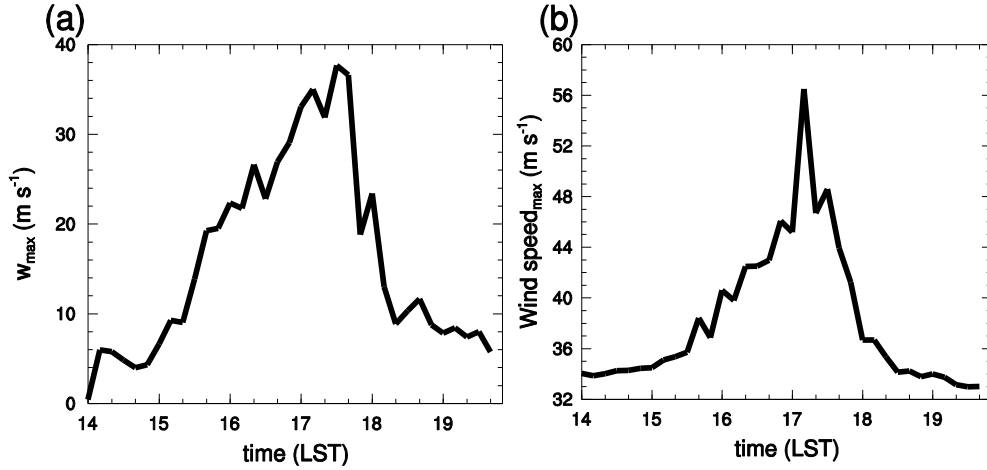


Зураг 68. Тооцооллын 5-р бүс нутаг дахь температурын хамгийн их өөрчлөлтийн хугацааны цуваа.

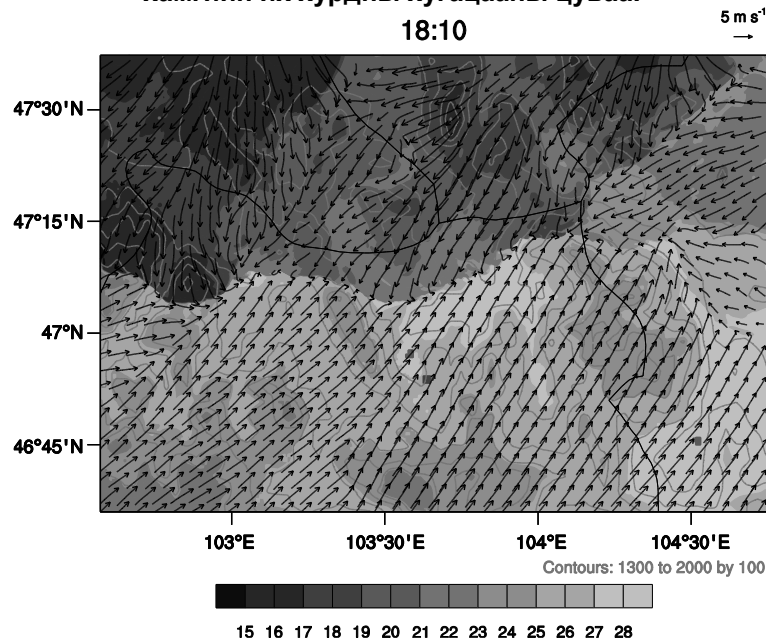
Агаарын өгсөх хөдөлгөөний хурд 17 цаг 30 минутын үед хамгийн ихдээ хүрсэн. Баруун өмнөөс чиглэлтэй дулаан агаар болон богино хугацаанд хойноос цөмрөн ирсэн хүйтэн агаарын зааг хэсгээр салхины чиглэлийн өөрчлөлтөөс хуйлраа үүссэн нь харагдаж байна. Догшин хуй салхины үзэгдэл хамгийн их эрчиндээ хүрсэн хугацаа буюу 18 цаг 10 минутын салхи, температурын орныг тооцооллын хамгийн доторх бүс нутгаар харахад (Зураг 70) хойноос агаарын хүйтэн масс цөмрөн түрж, салхины чигийг өөрчлөхөөс гадна өөр чиглэлтэй салхины уулзвар хэсэгт салхины хуйлраа үүссэн нь харагдаж байна. Энэхүү догшин салхины үүссэн нөхцөл байдал Англид догшин салхи үүсдэг цаг агаарын нөхцөл (тухайлбал, хүйтэн агаарын хүчтэй цөмрөлт, фронтын дотор талын фронтод перпендикуляр чиглэлтэй салхи, их биш CAPE зэрэг)-тэй төстэй байсан байна (Bolton нар, 2003; Apsley нар, 2016).

Догшин салхийг илрүүлэх, эрчмийг үнэлэх нэг хэмжүүр бол шуурганы харьцангуй хуйлраа (storm relative helicity, SReH) байдаг. Зураг 8-д тооцооллын

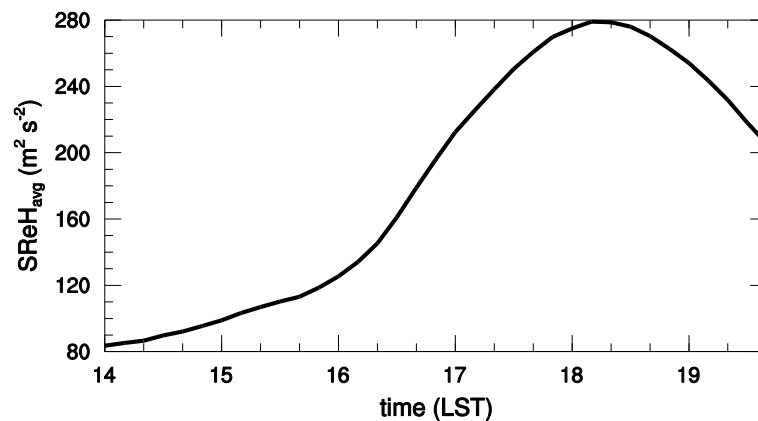
5-р бүс нутгийн хамгийн их хуйлрааны хугацааны цувааг харуулав. Хуйлрааны эрчим $150 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ утгаас давсан үед сулавтар догшин салхи болох боломжтой гэж үздэг ба тухайн бүс нутагт 16 цаг 20 минутаас эхлэн энэ нөхцөл бүрэлдсэн нь харагдаж байна. Хуйлрааны эрчим 18 цаг 10 минутын үед хамгийн их утгандаа хүрсэн нь бодит байдалд догшин хуйл салхи болсон хугацаатай сайн таарч байна.



Зураг 69. Тооцооллын 5-р бүс нутаг дээрх салхины (а) босоо (b) хэвтээ байгуулагчийн хамгийн их хурдны хугацааны цуваа.



Зураг 70. 18 цаг 10 минутын 2 метрийн агаарын температур, 10 метрийн салхи



Зураг 71. Тооцооллын 5-р бүс нутаг дахь харьцангуй хуйлрааны хугацааны цуваа

Дүгнэлт

Энэ судалгаа нь Монгол оронд болсон хуй салхийг өндөр нарийвчлалтай тоон загварын аргаар судалсан анхны ажил болсон гэж үзэж байна. Догшин хуй салхи үүссэн агаар мандлын динамик болон термодинамик нөхцлийг загварчилсан нь физик үндэслэлтэй болсон. Тооцооллын үр дүнгээс харахад салхины хурд 56 м/с хүрч буй нь Фужитагийн ангиллаар F2 эрчимтэй хуй салхи болжээ гэж хэлж болохоор байна. Болж өнгөрсөн хуй салхины хурдыг хэмжсэн хэмжилт байхгүй хэдий ч хохирол дээр үндэслэн тооцсон салхины хурдаас загварын үр дүн бага утга харуулж буй боловч цаашид технологийн боломжийг дагаж гамшигт үзэгдлийг урьдчилан мэдээлэхэд хэрэгтэй чухал мэдээллийг өгөх боломжтойг харуулж байна.

Монгол оронд өмнө нь болж байсан догшин салхины гамшигт үзэгдлийг дээрх аргачлалаар загварчилж дүн шинжилгээ хийж болох ба цаг агаарын гаралтай гамшигт үзэгдлийг тоон загварын аргаар илрүүлэх, урьдчилан мэдээлэхэд ашиглаж болно.

Хиймэл дагуул, радарын болон газар орчмын ажиглалтын мэдээний ассимиляц, нягтрал сайтай ажиглалтын сүлжээ, тооцоолох төхөөрөмжийг сайжруулах нь цаг агаарын гаралтай гамшигт үзэгдлийг урьдчилан мэдээлэх чадварыг дээшлүүлэхэд чухал алхам болно.

2.2.5 Тал хээрийн түймрийн тархалт

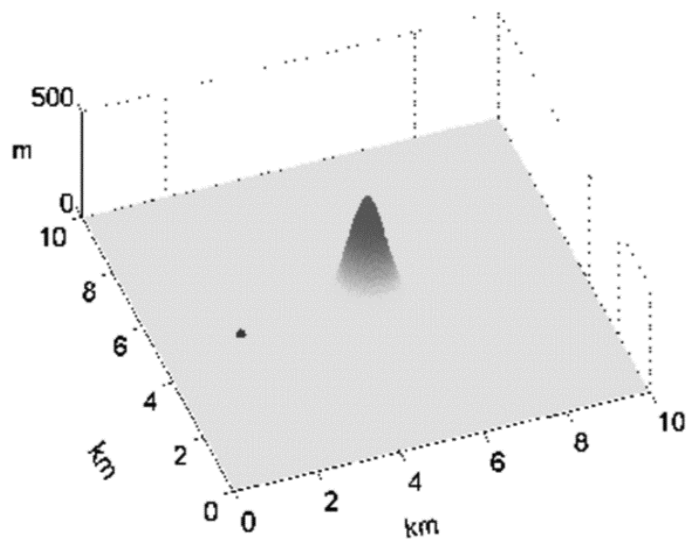
Монгол орны уур амьсгалын онцлогоос шалтгаалж ялангуяа хаврын улиралд ой, хээрийн түймрийн аюул нүүрлэж, экологи, эд материалын болон түймэртэй тэмцэхэд эдийн засгийн хор уршиг учирдаг. Тухайлбал, 2016 онд 138 удаагийн ой түймэр гарч ард иргэд, аж ахуйн нэгжид 1.3 тэрбум, экологид 10.7 тэрбум төгрөгийн хохирол учирсан (ОБЕГ).

Тал хээрийн түймрийн динамикийн судалгаа, загварчлалын арга шинжлэх ухааны хөгжил, тооцоолох техникийн ололт, дэвшилтэй холбоотойгоор байнга сайжирсаар байгаа билээ. Түймрийн тархалтыг газарзүйн мэдээллийн системийн аргаар тооцоолж болох хэдий ч цаг агаарын байдал, тухайлбал агаар болон хөрсний чийг, агаарын тогтворшил, уулын хөндий, налуугийн салхинаас хамаарсан тархалт, түүнчлэн түймрийн агаар мандалд үзүүлэх нөлөөг тооцоолох боломжгүй, тооцоолол хязгаарлагдмал байдаг. Түймрийн тархалтыг тооцоолдог, агаар мандлын физикийн үзэгдлүүд дээр суурилсан буюу агаар мандал-газрын гадарга-түймэр хосолсон CAWFE, FIRETEC, WRF-Fire зэрэг хэд хэдэн тоон загвар байдаг. Эдгээрээс нарийвчлал өндөртэй, шинэчлэлт байнга хийгддэг, хэрэглэгчдэд үнэгүй, нээлттэй эхээс гадна хэрэглэгчийн өөрчлөлтийг тусгах боломжтой, зориулалтаасаа хамаарч судалгаа болон практикт аль алинд нь хэрэглэх боломжтой зэрэг давуу талтай нь Америкийн Агаар Мандлын Судалгааны Үндэсний Төв (National Center for Atmospheric Research, NCAR)-с гаргасан Weather Research and Forecasting (WRF; Skamarock нар, 2008) загвар билээ. Энэ загвар нь цаг агаарын урьдчилсан мэдээ гаргахад хэрэглэгддэг тул түүн дээр суурилж, хосолсон загвараар түймрийн тархалтын урьдчилсан тооцоог хийх боломжийг бүрдүүлдэг. Тал, ой хээрийн түймэр их гардаг Австрали, Америкт агаар мандал-газрын гадарга-түймэр хосолсон динамик загвар ашиглан гал түймрийн талаарх тооцоолол, судалгаа хийхээс гадна практикт түймрийн

тархалтыг урьдчилан мэдээлэхэд хэрэглэж байна. Харин манай орны хувьд агаар мандал-газрын гадарга-түймэр хосолсон динамик загвар туршигдаж, хэрэглэгдэж байгаагүй.

Тал хээрийн түймрийн тархалт үндсэн 3 хүчин зүйлээс хамаардаг. Үүнд, цаг агаар (салхины чиглэл, хурд, агаарын тогтворшил, чийг зэрэг), шатах материалын шинж чанар (өвс, бут, мод зэрэг), газар орны байдал (тухайн газар орны топограф буюу тал газар, уулын налуу гүдгэр, хөндий зэрэг) орно. Тиймээс түймрийн тархалт эдгээр хүчин зүйлээс хэрхэн хамаарах, тархалтын явц, түймэр цаг агаарт хэрхэн нөлөөлөхийг судлах, ойлгох нь түймэртэй тэмцэх арга хэмжээ авахад чухал юм. Энэхүү ажлаар тал хээрийн түймрийн тархалт цаг агаар, газрын байдлын шинж чанарын хамаарлыг WRF-Fire загвар ашиглан гүйцэтгэв. Манай улсад агаар мандал-газрын гадарга-түймэр хосолсон тоон загварыг урьд өмнө нь туршиж, хэрэглэж байгаагүй нь энэ ажлыг эхлүүлж, гүйцэтгэх сэдэл болно. Түүнчлэн, энэхүү ажлаар тодорхой газар нутагт гарсан түймрийн тухайн тохиолдлыг загварчлахыг зориогүй, хээрийн түймрийн тархалтад нөлөөлөх ерөнхий шинж чанарыг судлах зорилготой онолын талын ажил болно.

Загварын тохиргоо, тоон туршилтын дизайн. Энэхүү судалгаанд агаар мандал-газрын гадарга-түймрийн динамик хосолсон WRF-Fire v3.6 загвар ашиглав. Энэ загвар нь агаар мандлын судалгаа, цаг агаарын прогнозад өргөн хэрэглэгддэг ба хээрийн түймрийн судалгаанд амжилттай ашиглаж байна (Lu нар, 2012; Kochanski нар, 2013). Түймрийн SFIRE загварыг WRF загварт холбосноор 2010 оноос WRF-Fire загвар гарч (Mandel нар, 2009), байнга шинэчлэгдэж байгаа. Хязгаарын үе давхаргын YSU PBL (Hong нар, 2006), богино долгионы Dudhia (Dudhia, 1989), урт долгионы RRTM (Mlawer нар, 1997), газар бүрхэвчийн 5-layer thermal diffusion (Dudhia, 1986), гадаргын үе давхаргын MM5 similarity (Paulson, 1970) зэрэг физикийн процессийн схемүүдийг ашиглав. Үүлний микрофизикийн процессийг тооцоогүй. 10 км × 10 км × 6 км хэмжээтэй, хэвтээ чиглэлдээ 50 метрийн нарийвчлалтай бодолтын бүс нутаг, түүний голд Гауссийн хэлбэртэй 500 м өндөртэй уул авав (Зураг 72). Бодолтын бүс нутгийн дээд хилийн 2 км давхаргыг гравитацийн долгионыг шингээх давхарга болгов. Бодолтын 61 босоо түвшин авав. Захын нөхцлийг нээлттэй (open) өгөв. Бодолтыг 1 секунд тутамд хийж, нийт 3 цагийн урттай гүйцэтгэв. Түймрийн эхлэл цэгийг (x, y)=(2 км, 5 км) гэж авсан ба үндсэн (CTRL симуляц) бодолтод бүс нутгийн баруун талаас x тэнхлэгийн дагуу өндрийн хувьд нэгэн жигдээр 5 м с⁻¹ салхи өгсөн.



Зураг 72. Бодолтын бүс нутаг. Түймрийн эхлэл цэгийг $(x, y)=(2 \text{ км}, 5 \text{ км})$ хар цэгээр тэмдэглэв.

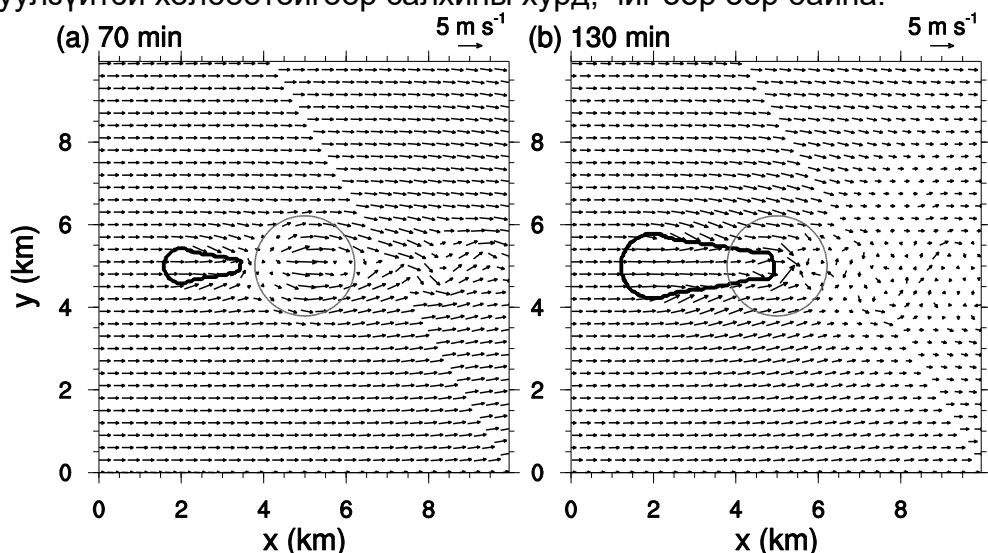
Түймрийн загвар нь шатах материалын болон газрын налуугийн шинж чанар, WRF загвараас дамжиж ирэх салхины хурд дээр үндэслэн хэвтээ чиглэлд 10 метр тутамд түймрийн шугамын (шатаж буй болон шатаагүй материалын зах) тархах хурдыг хагас эмпирик томъёогоор тооцоолно. Шаталтаас ялгарах дулааныг WRF загварт буцаан дамжуулж түймрийн цаг агаарт үзүүлэх нөлөөг тооцдог.

Түймрийн тархалт ба салхины хурдны хамаарлыг тогтоохын тулд 0 м с^{-1} , 10 м с^{-1} салхитай бодолтуудыг гүйцэтгэж үр дүнг CTRL симуляцийнхтай харьцуулав. Мөн түймрийн тархалт, газар орны байдлаас хэрхэн хамаарахыг тогтоохын тулд бодолтын бүс нутгийг уулгүй, тэгш гадаргатай байдлаар (Flat симуляц) өгч, үр дүнг CTRL симуляцийнхтай харьцуулав.

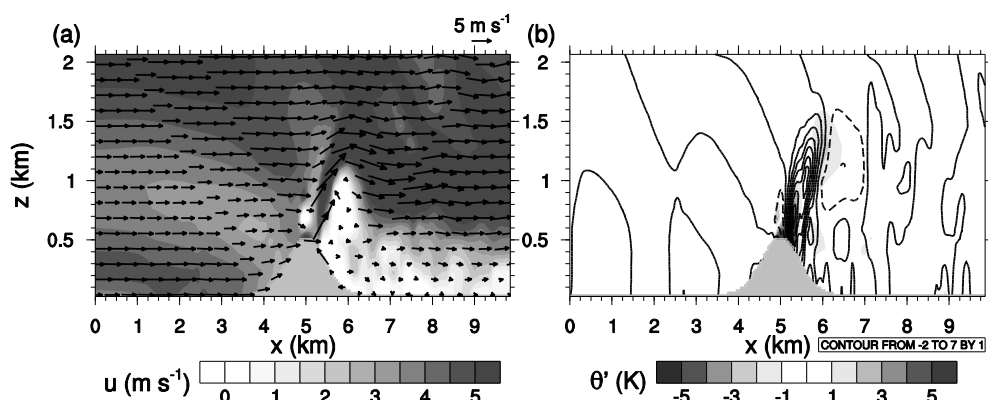
Зураг 73-т түймэр эхэлснээс хойш 70, 130 минутын дараах шатаж буй талбайн зах буюу түймрийн периметр болон салхины векторыг харуулав. Уулын салхин болон нөмөр талын налууд үүссэн салхи симметр бус байгаа нь намуун бусаар өгсөн анхдагч салхи, уулын налуугийн салхитай холбоотой. Хэдийгээр анхдагч салхи 5 м с^{-1} боловч түймэр эхэлснээс хойш 70 минутад уулын салхин талын налуугийн салхи уулын налуу өөд бус эсрэг чиглэлтэй байгаа нь түймэртэй холбоотой. Түймрийн периметр орчимд шаталтын улмаас агаарын температур нэмэгдсэнээр агаарын нийлэлт буюу конвергенц (convergence) үүснэ. Түймрийн периметр салхины чиглэл дагуу давшиж байна. Түймэр эхэлснээс хойш 70, 130 минутад түймрийн периметр $x = 3.4, 4.9 \text{ км}$ -т хүрч шатсан талбай $2.1 \text{ км}^2, 7.8 \text{ км}^2$ болжээ. Түймэр эхэлснээс хойш 130 минутад түймэр уулын орой хэсэгт хүрч, уулын нөмөр талд салхины чиглэл, хурд мэдэгдэхүйц өөрчлөгдсөн байна. Тухайлбал, уулын салхин доод талын налуугийн салхи нэмэгджээ. Уулын орой хэсэгт уулзүй болон түймэртэй холбоотой температурын аномаль нэмэгдэн 1.3 км хүртэл агаарын өгсөх хөдөлгөөн эрчимшиж (7.5 м с^{-1} хүртэл), харгалзах хүчтэй биш уруудах хөдөлгөөн (2.0 м с^{-1} хүртэл) ажиглагдаж байна (Зураг 74). Үүний улмаас харгалзах турбулент хөдөлгөөн нэмэгдэнэ. Түймрийн улмаас агаарын өгсөх урсгал дээд хэсэг рүүгээ салхины чиглэл дагуу хазайна. Энэ нь Katurji (2015) нарын судалгааны үр дүнтэй тохирч байна. Дээрхтэй холбоотойгоор түймрийн конвектив үүлний процесс (pyro-convection) явагдаж болох ч энэхүү судалгаанд

хуурай нөхцөл авч, үүлний микрофизикийн процессийг тооцоогүй тул түймрийн конвектив үүлний асуудлыг тусгаагүй болно. Эдгээрээс харахад түймэр агаарын циркуляц, тухайлбал, уулын налуугийн салхи болон температур, чийгийн хуваарилалтыг илт өөрчилдөг нь илэрхий байна.

Зураг 75-т түймэр эхэлснээс хойш 130 минутын дараах тэгш тал газартай болон уултай симуляцийн түймрийн периметрийн тархалт болон салхины векторыг харуулав. Эдгээр симуляцуудад авсан салхины хурд 5 м с^{-1} болно. Тэгш тал газартай болон уултай симуляцийн үр дүнгүүдийг харьцуулахад Flat симуляцид түймрийн периметр салхины чиглэл дагуу илүү хурдан давших боловч ($x = 5.6 \text{ км}$) CTRL симуляцид түймрийн периметр уулын налууд хүрмэгц чиглэлээ өөрчилж илүү өргөн газар нутгийг хамран давшиж байна. Аль аль симуляцид агаарын нийлэлт хэсэгт түймрийн гадна хэсгийн хурд дотроосоо их, түймрийн давших хэсэг нарийсч байна. 2 симуляцийг харьцуулахад түймрийн периметр орчимд агаарын нийлэлт ялгаатай байхаас гадна түймрийн периметрээс өмнөх хэсэгт уулзүйтэй холбоотойгоор салхины хурд, чиг өөр өөр байна.



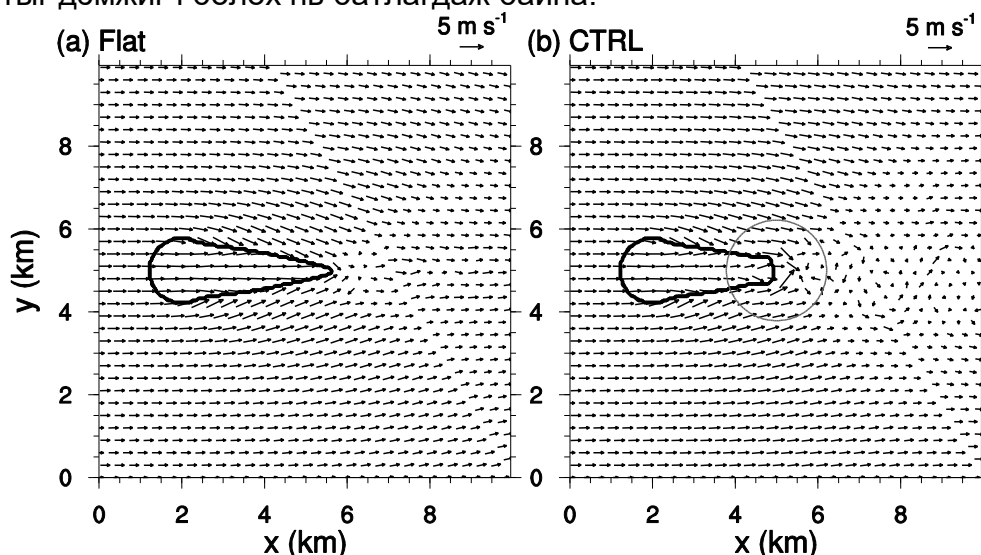
Зураг 73. Түймэр эхэлснээс хойш (a) 70, (b) 130 минутын дараах түймрийн периметр (хар) болон салхины вектор. (b)-д уулын хүрээг саарал өнгөөр ялгав (мөн Зураг 75, 76).



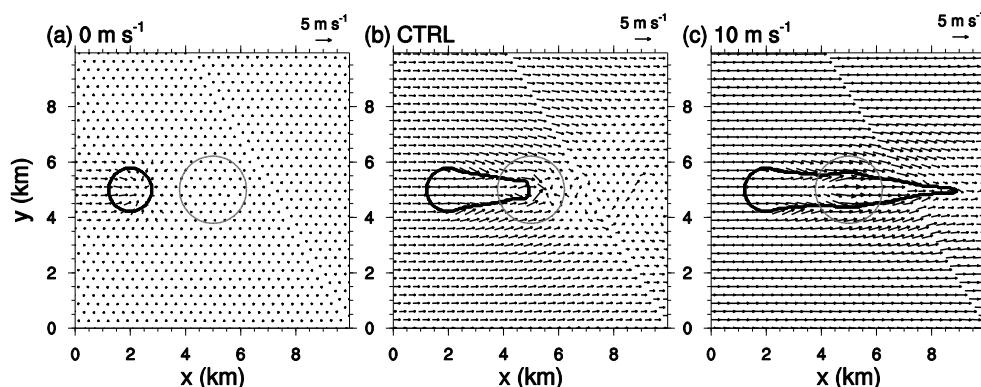
Зураг 74. Түймэр эхэлснээс 130 минутын дараах (a) салхины вектор болон хэвтээ хурд, (b) потенциал температурын аномаль (shaded) болон босоо хурдны (тасалдсан контур – сөрөг) $u = 5 \text{ км-ын}$ дагуу босоо огтлол.

Түймрийн тархалт салхины хурдаас хэрхэн хамаарахыг CTRL симуляцийн үр дүнг 0 м с^{-1} , 10 м с^{-1} салхитай симуляцийн үр дүнтэй харьцуулан үзэв (Зураг 76). Түймэр эхэлснээс хойш 130 минутад 0 , 5 , 10 м с^{-1} салхитай симуляцуудад түймрийн периметр $x = 2.7$, 4.6 , 8.9 км-т хүрсэн байна. Салхигүй тогтуун симуляцид түймэр голомтоосоо гадагш тойрог хэлбэрээр давшиж байна.

Түймрийн улмаас агаарын нийлэлт түймрийн голомт руу чиглэлтэй боловч симметр бус хэлбэртэй, уултай талдаа уулын налуугийн салхины улмаас салхины хурд нь бага байна. 10 м с^{-1} салхитай симуляцийн түймрийн периметрийг 5 м с^{-1} салхитай симуляцийнхтай харьцуулбал түймэр тэгш тал болон уулын налуу аль алинд илүү өргөн газрыг хамрах ба уул давж нөмөр хэсэгт нарийн зурвас болж давшиж байна. Эдгээрээс салхины их хурд түймрийн тархалтыг дэмжигч болох нь батлагдаж байна.

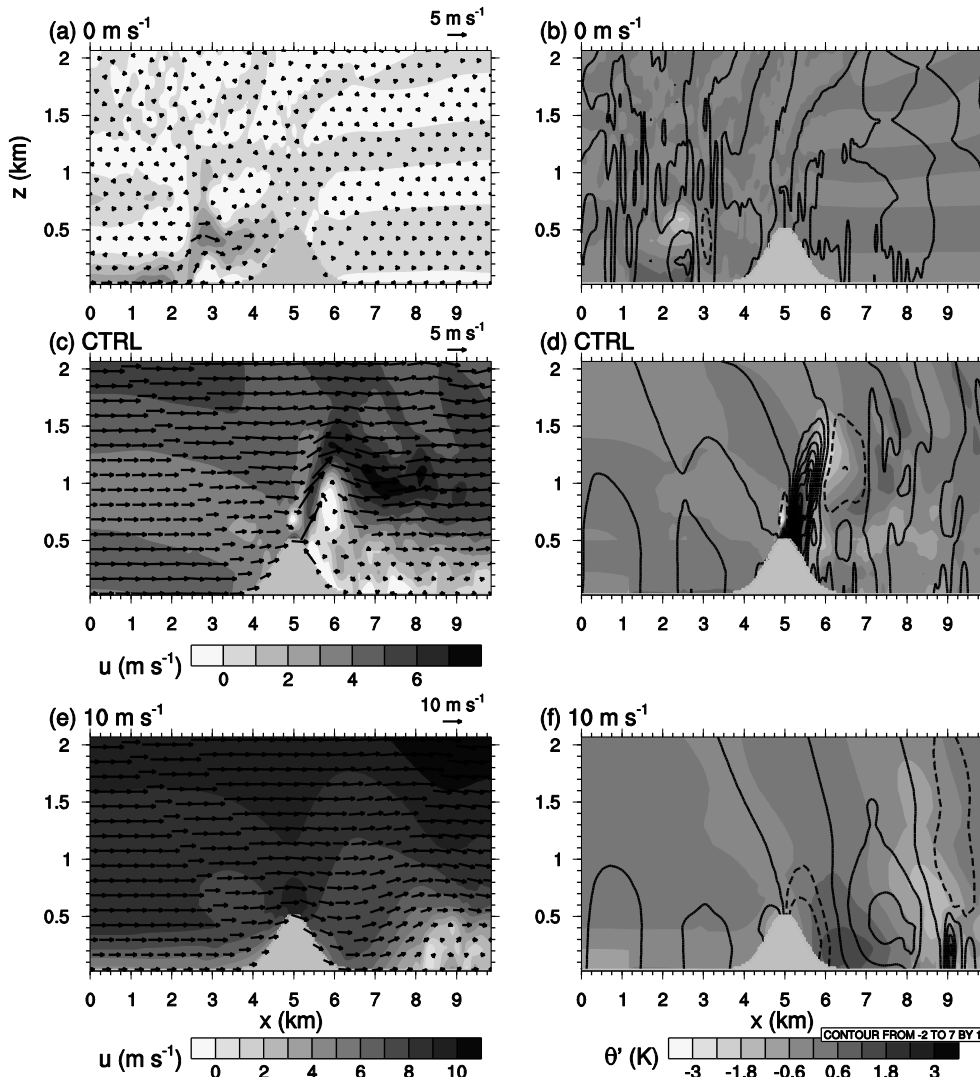


Зураг 75. Түймэр эхэлснээс 130 минутын дараах (a) Flat, (b) CTRL симуляцийн түймрийн периметр (хар) болон салхины вектор.



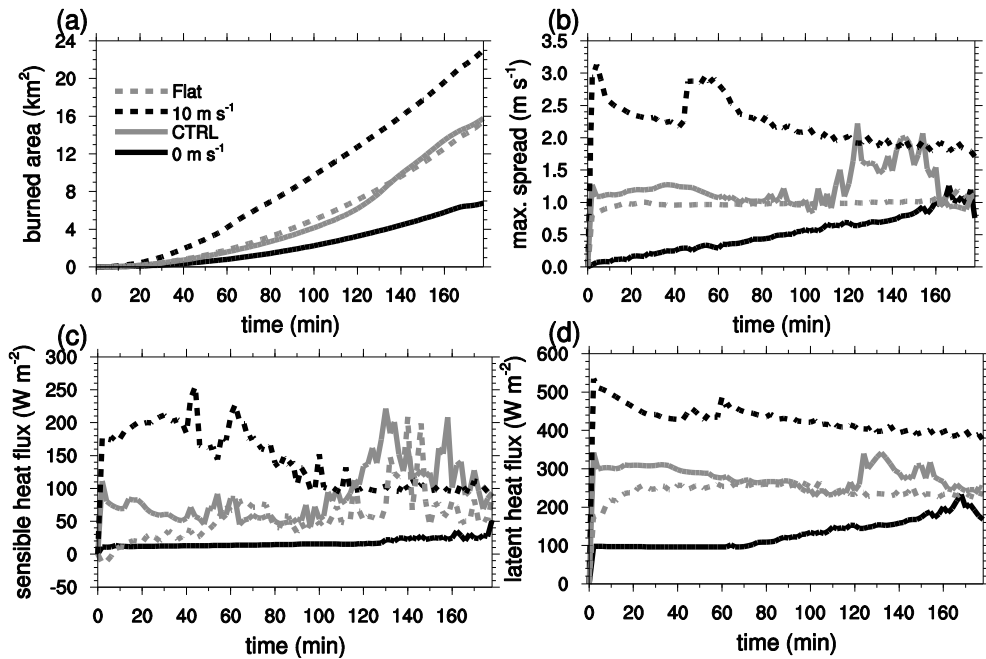
Зураг 76. Түймэр эхэлснээс 130 минутын дараах (a) 0 м с^{-1} , (b) 5 м с^{-1} , (c) 10 м с^{-1} салхитай симуляцийн түймрийн периметр болон салхины вектор.

0 м с^{-1} салхитай симуляцид түймрийн улмаас агаарын өгсөх, уруудах хөдөлгөөнийн хурд түймрийн периметр орчимд 700 м хүртэлх өндөрт 2.6 м с^{-1} , -1.5 м с^{-1} хүрч байна (Зураг 77a, b). Харин 10 м с^{-1} салхитай симуляцийн хувьд өгсөх хөдөлгөөнийн хурд түймрийн периметр орчимд 3.3 м с^{-1} , уруудах хөдөлгөөн -3.3 м с^{-1} хүрч байна (Зураг 77e, f). Их салхитай үед уулын налуугийн өгсөх салхинаас уулын нөмөр талын налуугийн уруудах салхи хүчтэй байгаа нь харагдаж байна. Мөн налуугийн уруудах салхины улмаас адиабат процесс явагдаж уулын нөмөр хэсэгт дулаан агаар ирсэн нь харагдана. Түүнчлэн, салхины их хурдтай холбоотойгоор турбулент хөдөлгөөн тушигдаж түймрийн конвекцийн процесс өндөрт хүрч хөгжихгүй нь илэрхий байна.



Зураг 77. Түймэр эхэлснээс 130 минутын дараах (a), (b) 0 m s^{-1} , (c), (d) 5 m s^{-1} , (e), (f) 10 m s^{-1} салхитай симуляцуудын салхины вектор болон хэвтээ хурд (a, c, e), потенциал температурын аномаль (shaded) болон босоо хурдны (тасалдсан контур – сөрөг) $y = 5 \text{ км}$ -ын дагуу босоо огтлол.

Зураг 78-д Flat болон $0, 5, 10 \text{ m s}^{-1}$ салхитай симуляцуудын шатсан талбай, түймрийн давших хурд, гадаргын ил болон нууц дулааны урсгалын хугацааны цувааг харуулав. Түймэр тэгш гадаргаар давших үед Flat симуляцид CTRL симуляцийнхаас илүү газар нутгийг хамрах боловч түймрийн периметр уулын налуу хэсэгт хүрмэгц CTRL симуляцид илүү газар түймэрт өртөх нь харагдаж байна. Давших хурдны хувьд ч CTRL симуляцид түймэр уулын налуу



Зураг 78. Flat болон 0, 5, 10 м с⁻¹ салхитай симуляцуудын (a) шатсан талбай, (b) түймрийн давших хурд, (c) ил дулааны урсгал, (d) нууц дулааны урсгалын хугацааны цуваа.

хүрмэгц хурд нэмэгдэж байна. Салхи ихтэй үед түймэр их газар нутгийг хамарч байна. Түймэр эхэлснээс хойш 180 минутын дараа 10 м с⁻¹ салхитай симуляцид бодолтын бүс нутгийн 23% түймэрт өртсөн байхад 0 м с⁻¹, 5 м с⁻¹ салхитай симуляцид бодолтын бүс нутгийн 7%, 16% орчим нь шатсан байна. Салхи ихтэй симуляцийн түймрийн давших хурдыг салхигүй симуляцийнхтай харьцуулбал дунджаар 3 дахин хурдан байна. Салхигүй симуляцид түймэр тархах хурд тогтмолоор нэмэгдэж хамгийн ихдээ 1 м с⁻¹ хурдаар тархаж байна. 10 м с⁻¹ салхитай симуляцид түймрийн периметр уулын налуу хүрмэгц тархах хурд огцом нэмэгдэж цаашид жигд хурдаар тархана. Салхи ихтэй үед түймрийн давших хурд, шатах талбай их зэргээс хамаарч газрын гадарга болон агаар мандлын харилцан үйлчлэл идэвхтэй явагдаж ил болон нууц дулааны урсгал их байна. CTRL симуляцид түймрийн периметр уулын налууд хүрч өргөн зурвасаар давших үеэс эхлэн давших хурд ихэсч, ил дулаан нэмэгдэж байна.

Дүгнэлт

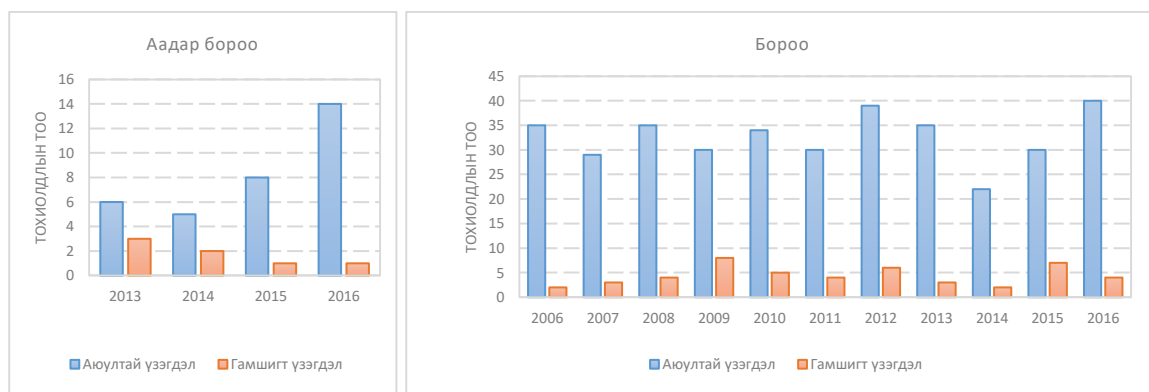
Энэхүү ажлаар өндөр нарийвчлалтай, агаар мандал-газар-түймэр хосолсон WRF-Fire тоон загвар ашиглаж, тал хээрийн түймэр тархахад цаг агаар болон газар орны байдлын шинж чанарын нөлөөллийг судлав. Салхины хурд болон газар орны байдал тэгш, уултай зэргээс түймрийн тархалт хэрхэн хамаарахыг авч үзэв. Симуляцуудын үр дүнд анализ хийхэд түймэр агаар мандалд нөлөөлдөг, тухайлбал, дотоод орчил урсгалыг өөрчлөх нь харагдав. Түймэр тархахдаа салхины чиглэлийн дагуу давших хэсгээрээ нарийсч, периметр орчимд агаарын нийлэлт үүснэ. Уултай үед тэгш тал газарт гарсан түймрийг бодвол уулын налуу хэсэгт илүү өргөн газрыг хамарч, илүү хурдтай давших нь харагдав. Шатах газрын талбай салхины хурдаас шууд хамаарч ихэсч байна. Тухайлбал, 0 м с⁻¹ ба 10 м с⁻¹ салхитай симуляцуудын үр дүнг харьцуулахад түймэр эхэлснээс 3 цагийн дараа 10 м с⁻¹ салхитай үед 0 м с⁻¹ салхитай үеийг бодвол түймэр 3 дахин их талбайг хамарч байна. Салхины хурд ихсэхэд түймрийн давших хурд нэмэгдэнэ. Салхины хурд ихсэхэд гадаргын ил болон далд дулаан нэмэгдэж байна.

Түймрийн периметр уулаар өнгөрөхөд уулзүйн нөлөөгөөр үүсэх агаарын босоо хөдөлгөөн түймрийн улмаас үүсэх өгсөх хөдөлгөөнтэй харилцан үйлчилж салхи тогтуун бус, их салхитай бус үед тохиромжтой нөхцөл бүрдвэл түймрийн конвектив үүл үүсэх боломжтой нь харагдав.

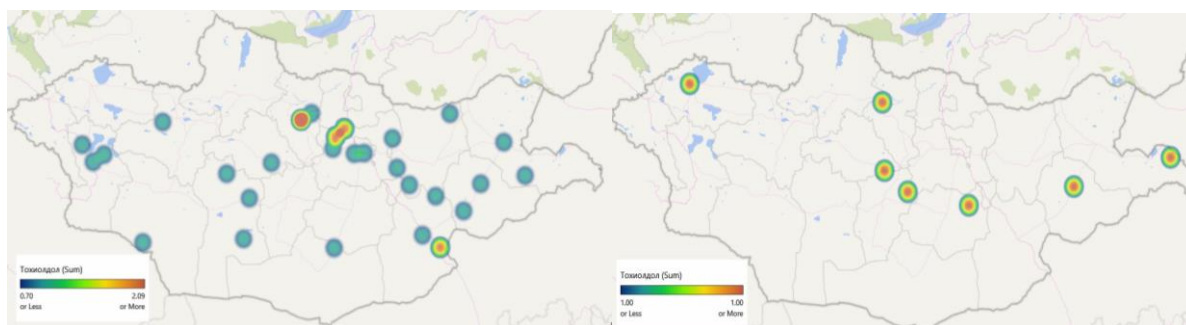
Тус судалгаа нь манай оронд энэ чиглэлээр хийгдсэн анхны ажил болно. Цаашид хийгдэх ажилд тусгагдах хэд хэдэн хязгаарлалт тус ажилд орсон. Тухайлбал, бодит түймрийн үеийн агаарын тогтворшил, түүний хугацаанаас хамаарсан өөрчлөлт, өндрөөс хамаарсан салхины чиглэл, хурдны өөрчлөлт, чийгийн хэмжээ зэрэг нь түймэр-агаар мандлын динамикт тус тусдаа үүрэг гүйцэтгэдэг. Цаашдын судалгаа, практикт тодорхой газар нутагт гарсан түймрийн тухайн тохиолдлыг загварчилж болохоос гадна тооцоолох техникийн боломжийг дагаж тал хээрийн түймрийг унтраах арга хэмжээг авахад, тухайлбал түймрийн тархалтыг урьдчилан мэдээлэхэд энэ төрлийн ажил чухал алхам болохыг харуулж байна.

2.2.6 Эрчимтэй тунадас, аадар бороо

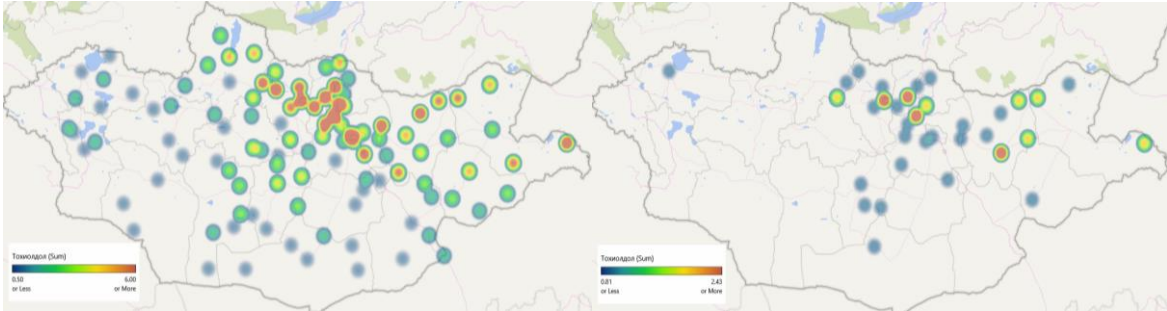
Эрчимтэй тунадас, аадар борооны аюултай болон гамшигт үзэгдлийг орсон тунадасны хэмжээ, үргэлжлэх хугацаагаар босго утга тогтоон тодорхойлдог (Хавсралт 3). Шалгуур үзүүлэлтээр 2013-2016 оны хооронд Монгол орны нутгаар аюултай үзэгдэл 33, гамшигт үзэгдэл 7 тохиолдол тэмдэглэгдсэнээс өдрийн хугацаанд ихэнх тохиолдол буюу 33 (аюултай үзэгдэл 27, гамшигт үзэгдэл 6) нь ажиглагдсан байна. Харин их борооны хувьд 2006-2016 оны хооронд аюултай үзэгдэл 359, гамшигт үзэгдэл 48 тохиолдол тэмдэглэгдсэн байна (Зураг 79-80).



Зураг 79. Аюултай болон гамшигт үзэгдлийн тохиолдол оноор



Зураг 80. 2013-2016 оны хооронд станцад ажиглагдсан аадар борооны аюултай болон гамшигт үзэгдлийн давтагдал тархалтаар. /зүүн: аюултай үзэгдэл, баруун: гамшигт үзэгдэл/



Зураг 81. 2006-2016 оны хооронд станцад ажиглагдсан их борооны аюултай болон гамшигт үзэгдлийн давтагдал тархалтаар. /зүүн: аюултай үзэгдэл, баруун: гамшигт үзэгдэл/

Ажиглалтын мэдээний анализ. Дээрх гамшигт үзэгдлээс 2016 оны 7 дугаар сарын 28-ны үдээс хойш Улаанбаатар хотын төвөөр орсон ширүүн аадар борооны тохиолдлыг сонгон авав. Тухайн үед Улаанбаатар хот орчимын цаг уурын станцууд дээр аюултай үзэгдлийн хэмжээнд хүрч тэмдэглэгдээгүй боловч хотын төв болон хойд хэсгээр хүчтэй аадар бороо орж үер буусан байв. Улаанбаатар хот орчмын цаг уурын станцуудад хамгийн их нь 24 мм, хамгийн бага нь 0 мм тунадас тэмдэглэгджээ. Тухайлбал Тэрэлж 24 мм, Амгалан станцад 6 мм тунадас тэмдэглэгдсэн бол Тахилт станцад 0.7 мм тунадас тэмдэглэгдсэн байна. Тухайн үеийн талаар ажиглагдаж тэмдэглэгдсэн баримтуудыг доор оруулав. Хотын төв орчмоор ойролцоогоор 19:20-с 20:15 хүртэл усархаг аадар орж хотын төвөөр үер буув (Зураг 82).



Зураг 82. 2016 оны 7 дугаар сарын 28-ний 19:05 цаг

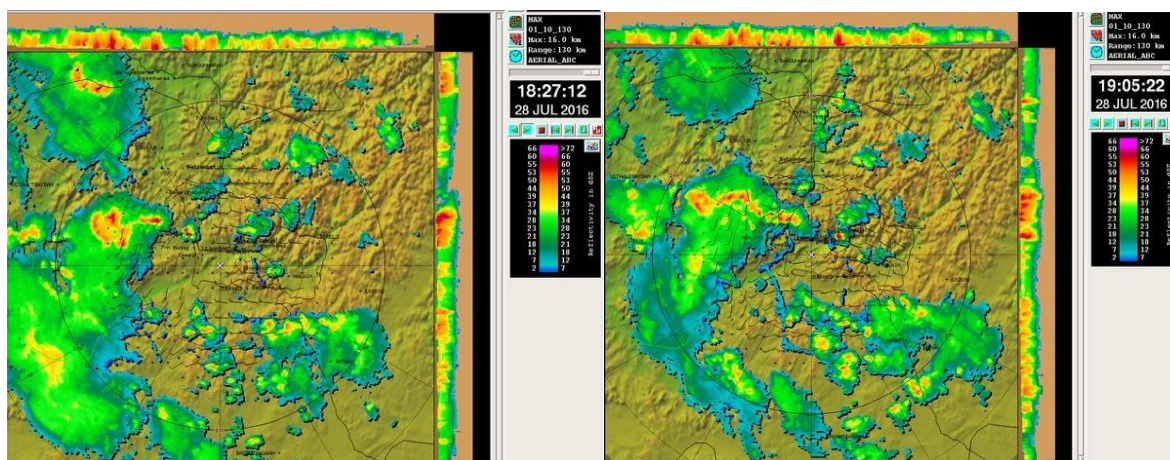
Загварын тоон туршилтын үр дүн. Тухайн үеийн прогноз тооцооллоор 2016 оны Улаанбаатар болон Буянт-Ухаа станцуудад 0.0 мм, Тэрэлж станцад 0.4 мм хур тунадас өгсөн байна (Зураг 83). Цаг уурын сүлжээний ажиглалтын станцуудад төдийлөн их хэмжээтэй хур тунадас ажиглагдаагүй боловч хотын төв хэсгээр их хэмжээний усархаг аадар бороо орсон байна.



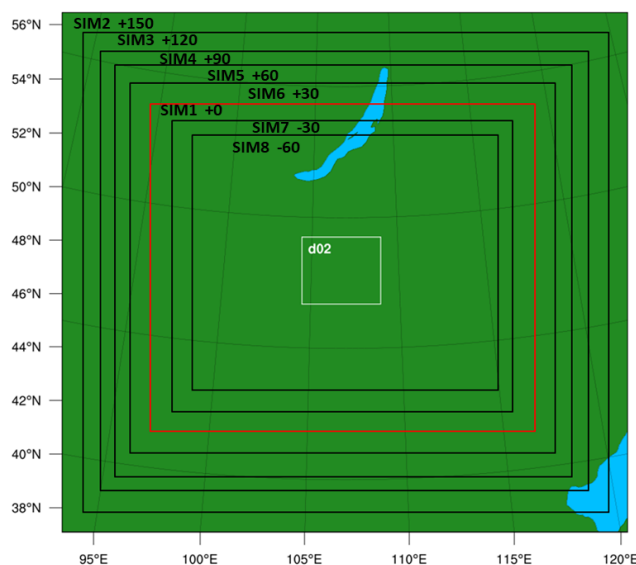
Зураг 83. Улаанбаатар хот орчимд 2016 оны 7 дугаар сарын 28-ны 08 цагаар 20 цагийн хооронд станцад тэмдэглэгдсэн болон WRF загвараар прогнозлосон тунадасны хэмжээ

Доплерын радарын мэдээнээс харахад 18:30 минутын орчмоос эхлэн богино хугацаанд Улаанбаатар хотын төв хэсэгт эрчимтэй конвекцын үүл хөгжин усархаг бороо орсон байна (Зураг 84). Тухайн нөхцлийг тоон прогнозын WRF загвараар бичил болон бэсрэг хэмжээст загварчлах боломжыг судлахын тулд дараахь байдлаар тоон туршилт явуулав.

Загварын үүрэлсэн 2 бүс нутгаар тохируулан захын нөхцлийн мэдрэмтгий байдлыг судлахын тулд гаднах бүс нутгийн хэмжээг өөрчлөх байдлаар тоон туршилтууд хийв. Загварын хамрах бүс нутгийн сонголтыг Зураг 85-т үзүүлэв.



Зураг 84. 2016 оны 7 дугаар сарын 28-ний радарын зураг



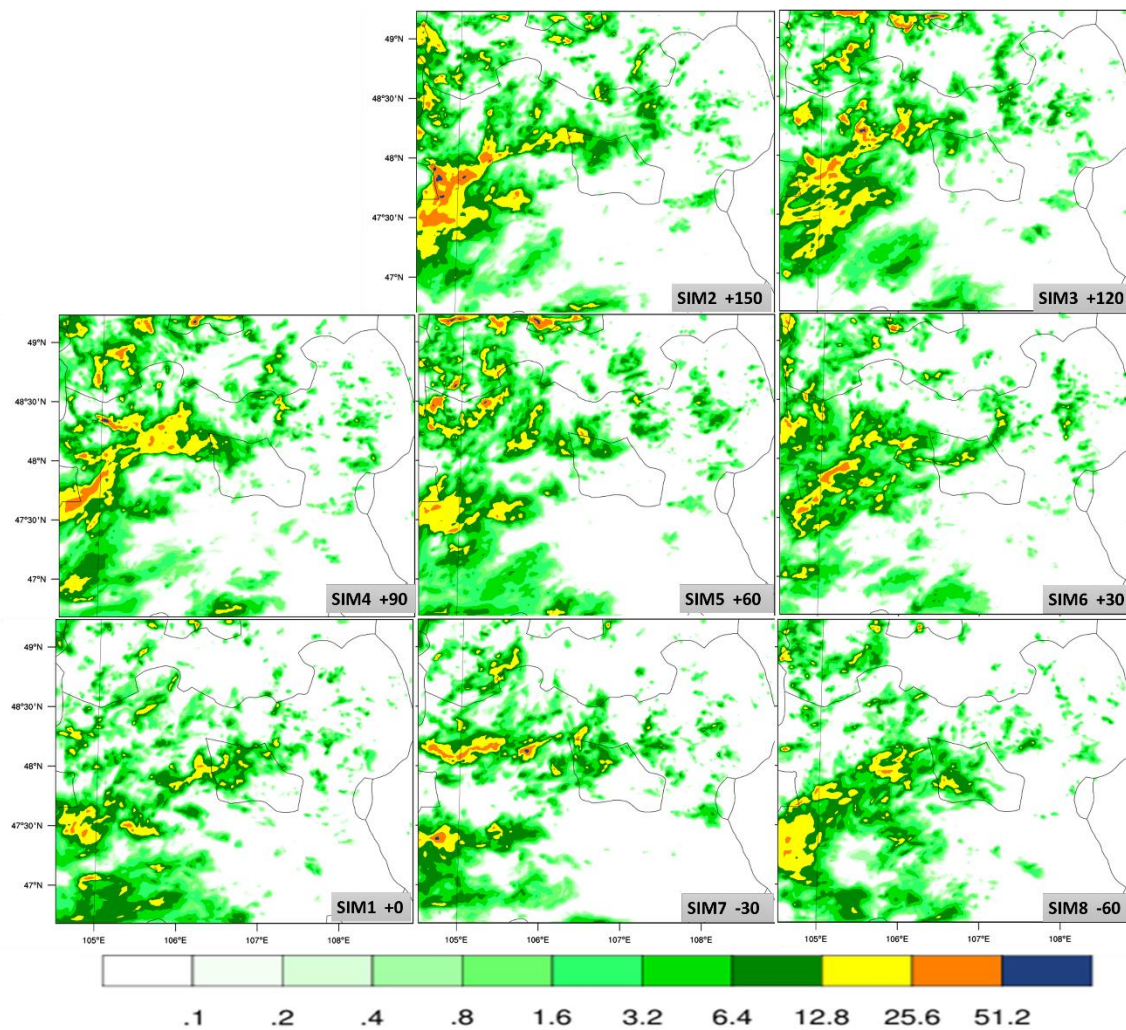
Зураг 85. Сонгон авсан бүс нутгийн хэмжээ.

Гаднах бүс нутгийг сонгохдоо анх сонгосон бүс нутгаас /SIM1/ гадагшаа болон дотогшоо 30 гридээр нэмэх болон хасах /SIM2-SIM8/ байдлаар нийт 8 бүс нутаг сонгон тохируулав. Багтсан буюу 2 дахь бүс нутгийг 8 туршилт тус бүрд ижил байхаар тохирууллаа. Туршилтанд захын болон анхны нөхцлөөр 3 цаг тутмын FNL 0.25 градус алхамтай реанализ мэдээ ашиглан хэвтээд 5 болон 1 км алхамтай бэсрэг болон бичил хэмжээсээр WRF загварыг ажилуулав.

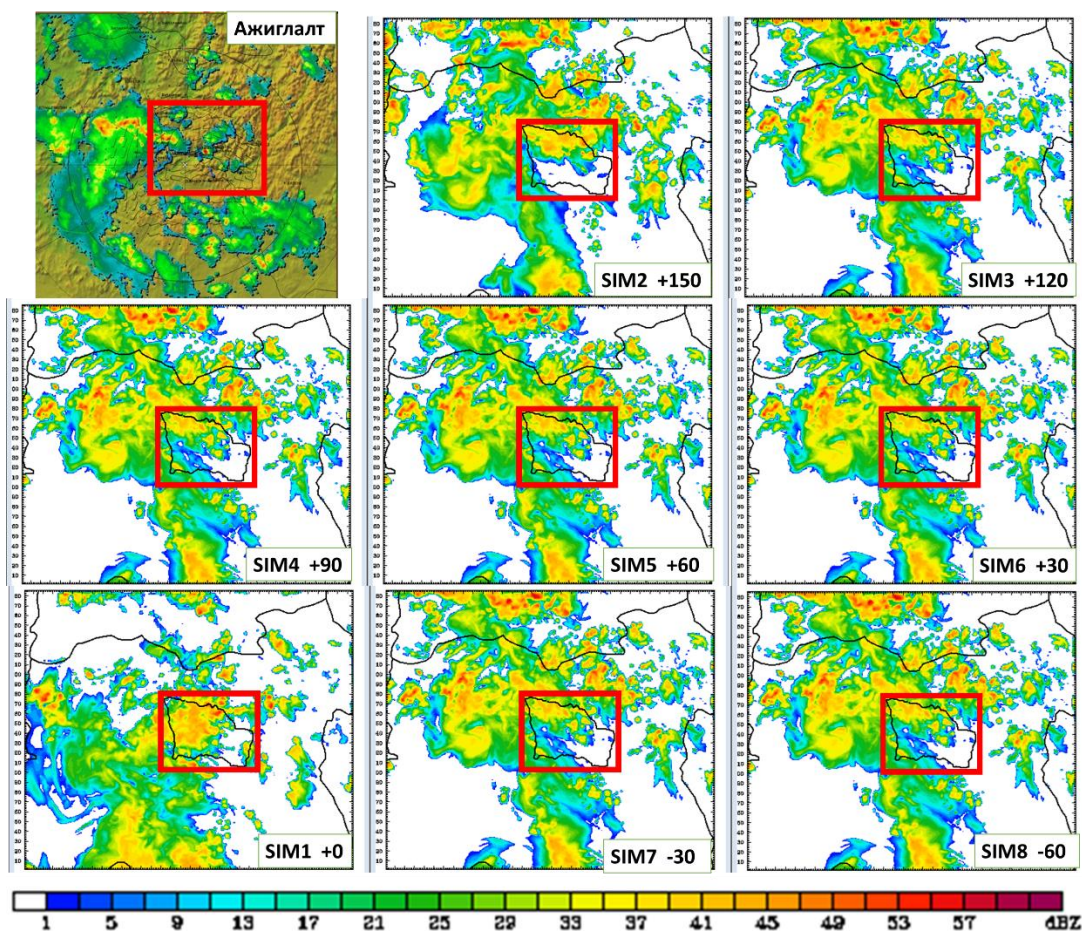
Нийлбэр тунадасны хэмжээг харахад станцууд дээр ажиглагдсан тунадасны хэмжээнээс харьцангуй зөрөөтэй харагдаж байна (Хүснэгт 5). Харин тунадасны тархалтаас харахад туршилт 6 болон 7 дээр Улаанбаатар хотын төв хэсэгт тунадасны эрчим тэмдэглэгдсэн байна (Зураг 86). Загвараар тооцоолсон үүлний ойцын тархалтаас харахад гаднах бүс нутаг томрох тусам ажиглалтын мэдээтэй ойрхон тархалт харагдаж байна (Зураг 87).

Хүснэгт 5. 2016 оны 7-р сарын 28-ний 08-20 цаг хүртэлх ажиглалт болон загвараар тооцоолсон тунадас

| Станцын нэр | Индекс | Obs | SIM2 | SIM3 | SIM4 | SIM5 | SIM6 | SIM1 | SIM7 | SIM8 |
|-------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Улаанбаатар | 292 | 0.7 | 0.3 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 6.1 | 0.0 | 4.7 |
| Буянт-Ухаа | 291 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 10.1 | 0.1 | 12.4 |
| Амгалан | 249 | 6.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.2 |
| Багануур | 296 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Тэрэлж | 248 | 24.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |



Зураг 86. 2016 оны 7-р сарын 28-ний 8-20 цаг хүртэлх загвараар тооцсон нийлбэр тунадасны тархалт, мм



Зураг 87. 2016 оны 7-р сарын 28-ний 19 цагын радарын ажиглалт болон загвараар тооцоолсон үүлний ойцын тархалт

Дүгнэлт

Аадар борооны гамшигт үзэгдлийн хувьд ихэнхдээ прогнозын таарц доогуур байдаг. Тухайн үед ажиллаж байсан загварын тооцоогоор аюултай үзэгдлийн хувьд нийт тохиолдлоос (126) 1 хоногийн өмнөөс 6 тохиолдолд, 2 хоногийн өмнөөс 4 тохиолдол, 3 болон 5 хоногийн өмнөөс тус бүр 2 тохиолдол, 4 болон 6 хоногийн өмнөөс тус бүр 1 тохиолдолд прогнозлож чадсан байдаг. Мөн ихэнхдээ хуурамч түгшүүр өгдөг.

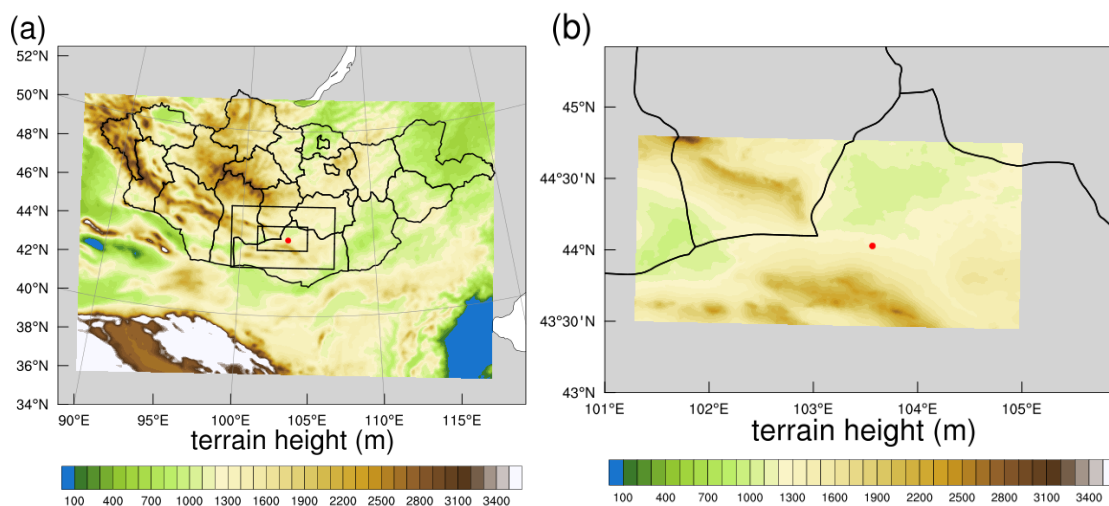
2016 оны 7 дугаар сарын 28-ны үдээс хойш Улаанбаатар хотын төв хэсгээр орсон хүчтэй аадар бороог WRF загвараар бэсрэг болон бичил хэмжээст загварчилсан үр дүнгээс харахад гаднах бүс нутгийг нэмэгдүүлсэн загварчлал нь бодит байдалд дөхүү үр дүн өгсөн байна. Загварын захын нөхцлийн өөрчлөлт загварчлалын үр дүнд мэдэгдэхүйц хэмжээгээр нөлөөлдөг болох нь харагдаж байна.

Цаашид Улаанбаатар хот орчимд орох гэнэтийн аадар бороог урьдчилан тооцоолохын тулд бүс нутгийн хэмжээсийг нарийвчлан тогтоож, цаашлаад хувьсах өгөгдлийн ассимиляцын (3DVAR) системийг зүгшрүүлэн ашиглах нь илүү үр дүнтэй гэж үзэж байна.

2.3 Нэг загварын ансамбль технологи

Энэхүү судалгааны ажилд цаг агаарын WRF загварын хязгаарын үе давхаргын YSU PBL схем (Hong нар, 2006), үүлний микрофизикийн Lin схем (Lin нар, 1983), богино долгионы Dudhia (Dudhia, 1989), урт долгионы RRTM (Mlawer нар, 1997) зэрэг физикийн процессийн схемүүдийг ашиглав. 9, 3, 1 км-ийн нарийвчлалтай бодолтын 3 бүс нутаг авсан ба хамгийн дотор талын бүс нутаг Өмнөговь аймгийн Булган сумын нутгийг хамарсан (Зураг 88). Хамгийн гаднах бүс нутагт Kain-Fritsch (Kain, 2004) кумулюс схем ажиллуулав.

Тоон симуляцийн захын болон анхны нөхцлөөр 6 цагийн интервалтай, $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ хэвтээ нарийвчлалтай NCEP FNL-ийн реанализ мэдээ (далайн түвшинд шилжүүлсэн даралтын утга, газрын гадарга орчмын агаарын температур, геопотенциал өндөр, газрын гадарга дээр ирэх богино долгионт цацрагийн хэмжээ, 0-10 см-ийн өнгөн хөрсний чийгшил гэх мэт)-г ашиглав. Тоон туршилтыг ерөнхий 2 хувилбараар (а) SKEBS схемгүй (noSKEBS гэж нэрлэв) (б) SKEBS схемтэйгээр тохируулсан ба SKEBS схемтэй симуляцийг санамсаргүй дугаарын урсгалын тоо (pens)-г 2, 3 (2seeds, 3seeds гэж нэрлэв) гэсэн хувилбараар сонгож тохируулсан. Тооцооллыг Cray XE6m суперкомпьютерийн 64 процессор ашиглаж УБ-ын цагаар 2011 оны 4-р сарын 28-ны 00 цагаас 30-ны 00 цаг хүртэл хийв. Тухайн хугацаанд баруун, төв, говийн нутгаар хүчтэй салхи, орон шуурга, шороон шуурга ажиглагдсан ба xxx-р (У.Дэлгэрмаагийн хийсэн ажил) бүлэгт хүчтэй салхины үзэгдлийг тооцоолох чадварын туршилтууд хийгдсэн тул тухайн хугацааны синоптик нөхцлийг дурдаагүй болно. Түүнчлэн WRF загварын прогнолох чадвар дээр фокуслаагүй болно. Харин нэг загварын ансамбль технологийг турших, цаашид үйлдвэрлэлд ашиглах боломжийг туршиж үзэхэд энэ ажил чиглэгдсэн болно.



Зураг 88. Загварын бодолтын (а) гурван бүс нутаг, (б) нэгдүгээр бүс нутгийн өндөршил. Сайхан станцийг (44339) улаан цэгээр тэмдэглэв.

Хүснэгт 6-т Сайхан (44339) станцын температур, салхины хурд ба чиглэлийн хэмжилтийн утгыг симуляцуудын үр дүнтэй харьцуулсан дундаж квадрат алдааны дунджийг харуулав. Температурын хувьд дундаж квадрат алдаа SKEBS-гүй симуляцид 1.66°C бол SKEBS схемтэй симуляцид ихсэж 1.87°C болсон бол SKEBS схемийн урсгалын дугаар ихсэх тусам дундаж квадрат алдаа 1.59°C болж багасч буйг харуулж байна. Харин салхины хурдны хувьд дундаж квадрат алдаа 10 м/с-ээс их байгаа нь тухайн хугацаанд ажиглагдсан их салхины үзэгдлийг загвараар тооцоолоход үр дүн сайн биш байсныг харуулж байна. Гэвч

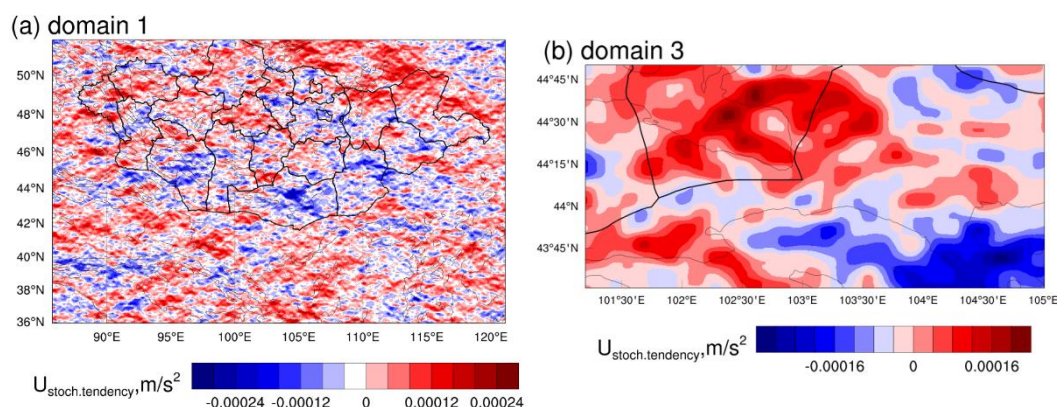
тус ажлаар өмнө дурдсанчлан тоон загварын үр дүнг сайжруулах зорилтыг тавиагүй, стохастик схемийг туршихыг зорилгоо болгосон тул загварын үр дүнгийн статистик дээр тусгайлан анхаарал хандуулаагүй болно. Их салхийг загварчилж чадаагүй нь тооцооллын бүс нутаг дээрх загварын тохиргоо (орон зайн нарийвчлал, загварын суурь өгөгдөл, физик схемүүдийн сонголт зэрэг)-той холбоотой байж болзошгүй. Үүнийг дараагийн ажилд нарийвчлан судалж тогтоох хэрэгтэй. Гэвч SKEBS схемийг ажиллуулахад SKEBS схемийг ажиллуулаагүй симуляцуудаас дундаж квадрат алдаа нь багасч байна.

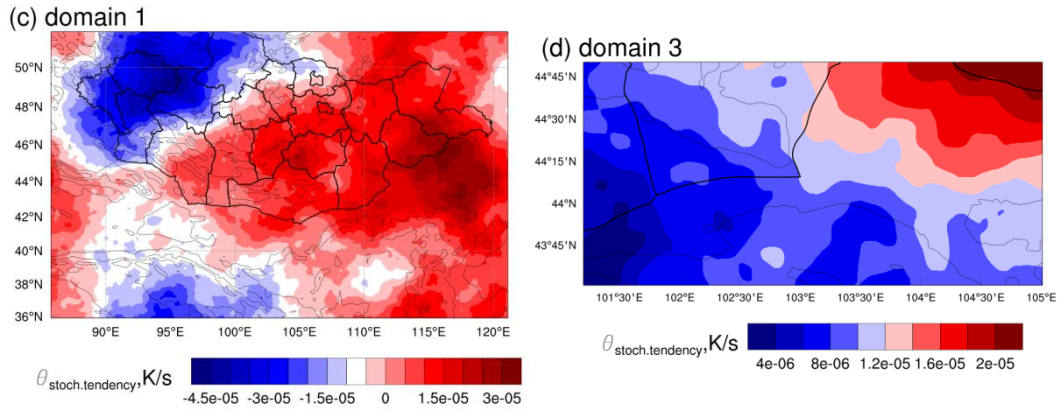
Тоон утгын хувьд хугацааны эхэн болон дунд үед зөрүү их, бусад хугацаанд бага байна. Салхины хурд нь газарзүйн байршил болон өндөршлөөс ихээхэн хамаардаг элемент юм. Хэдий тийм боловч загвар болон ажиглалтын салхины хурдны зөрүү нь агаарын температурын зөрүүнээс бага байна. Харин 2 туршилтын хувьд агаарын температурын хугацааны явц нь сайн таарсан, утгын хувьд маш бага зөрүүтэй байна.

Хүснэгт 6. 44339 станцын температур, салхины хэмжилтийг симуляцуудын үр дүнтэй харьцуулсан дундаж квадрат алдаа

| | noSKEBS | SKEBS | 2seeds | 3seeds |
|----------------------|---------|-------|--------|--------|
| Температур, °C | 1.66 | 1.87 | 1.69 | 1.59 |
| Салхины хурд, м/с | 10.91 | 10.58 | 10.63 | 10.50 |
| Салхины чиг, градус. | 84.30 | 84.18 | 84.56 | 83.35 |

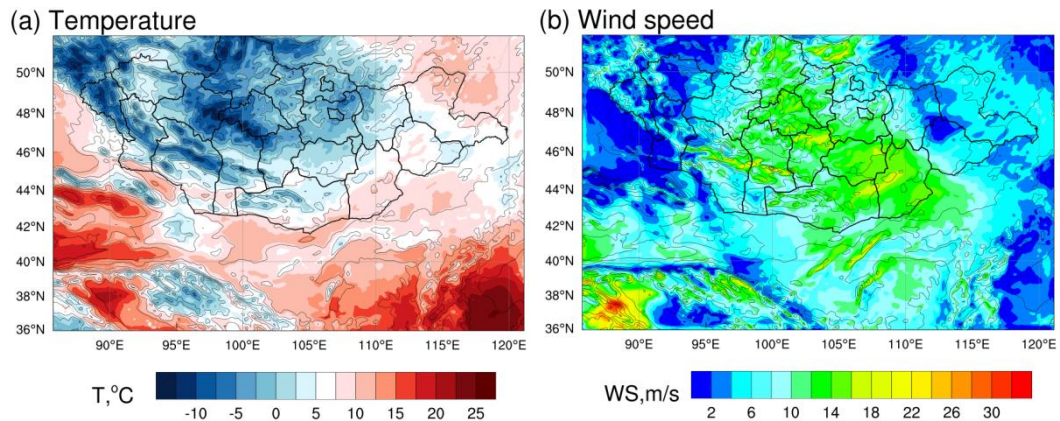
Зураг 89-т SKEBS схемийн меридиональ салхины болон температурын санамсаргүй тенденцийн утгыг 1 ба 3-р бүс нутгаар харуулав. Салхины хурдны тенденц орон зайн тархалтын хувьд өндөршлөөс хамааралгүй нэгэн төрлийн бус санамсаргүй байдлаар утга заагдсан байхад температурын тенденц газар нутгийн хувьд нэгэн төрлийн том газар нутгаар санамсаргүй утга авагдсан байна. Эдгээр санамсаргүй тенденцийн утгууд температур, салхины оронд хэрхэн нөлөөлөхийг харъя.





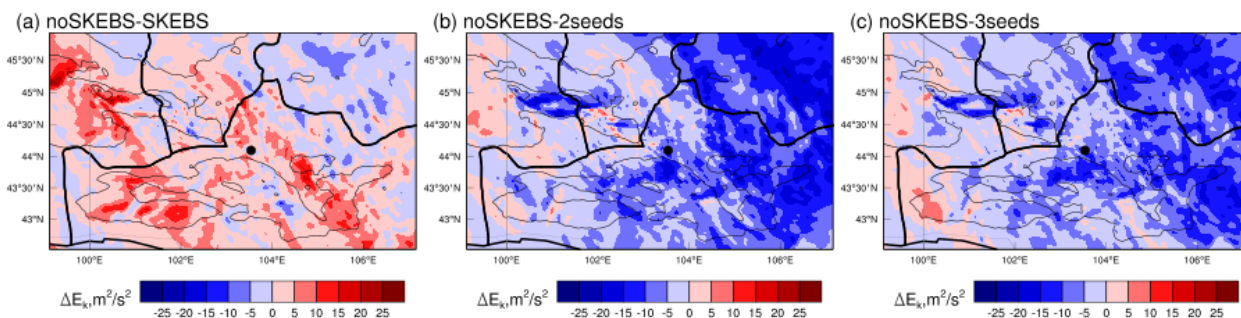
Зураг 89. 1 ба 3-р бүс нутгийн SKEBS схемийн меридиональ салхины болон температурын санамсаргүй тенденцийн утга.

Зураг 90-т тооцооллын 1-р бүсийн SKEBS-гүй симуляцийн 2-метрийн агаарын температур болон 10-метрийн салхины хурдны бодолтын сүүлийн 24 цагийн дунжийг харуулав. Өндөр уулын бүс нутгаар -15°C -аас 0°C орчим хүйтэн, говь талын нутгаар 0°C -аас 10°C дулаан, нутгийн төв хэсгээр салхины хурд бусад газруудынхаас илүү байгаа нь харагдаж байна. Эдгээр орон зайн тархалт санамсаргүй тенденцийн нэмэгдсэн утганд цаашид нөлөөлөх эсэхийг харъя.



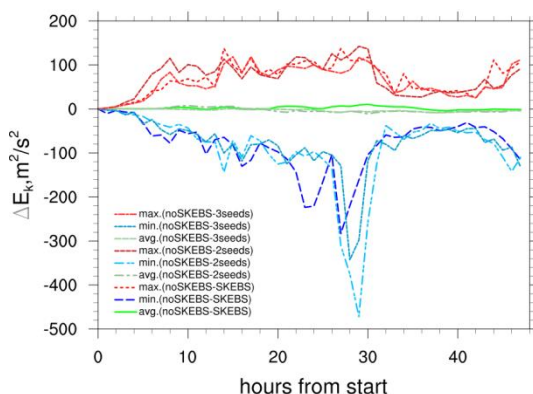
Зураг 90. noSKEBS симуляцийн (a) 2-метрийн агаарын температур болон (b) 10-метрийн салхины хурдны сүүлийн 24 цагийн дундаж.

Зураг 91-т тооцооллын 3-р бүс нутгийн noSKEBS болон SKEBS схемийн урсгалын дугаар нь 2, 3 байх симуляцуудын кинетик энергийн зөрөөг харуулав. SKEBS схем noSKEBS схемээс кинетик энерги багатай байхад SKEBS схемийн урсгалын дугаарыг 2, 3 болж өөрчилсөн симуляцуудад кинетик энергийн хэмжээ SKEBS схемийнхээс ихэсч байна. Энэ нь салхины байгуулагчийн дотоод тенденцийн прогностик тэгшитгэлд ороогүй хурдны байгуулагчийн хазайлтын тенденцийн гишүүн буцах сарнилын гишүүний утга өгч кинетик энергийг ихэсгэж, загварын тооцооллын үр дүнг сайжруулсан байна. Энэ нь 2-р хүснэгтээс мөн харагдаж байна. Орон зайн хувьд тооцооллын мужийн зүүн хагаст энерги ихэссэн нь харагдаж байна.



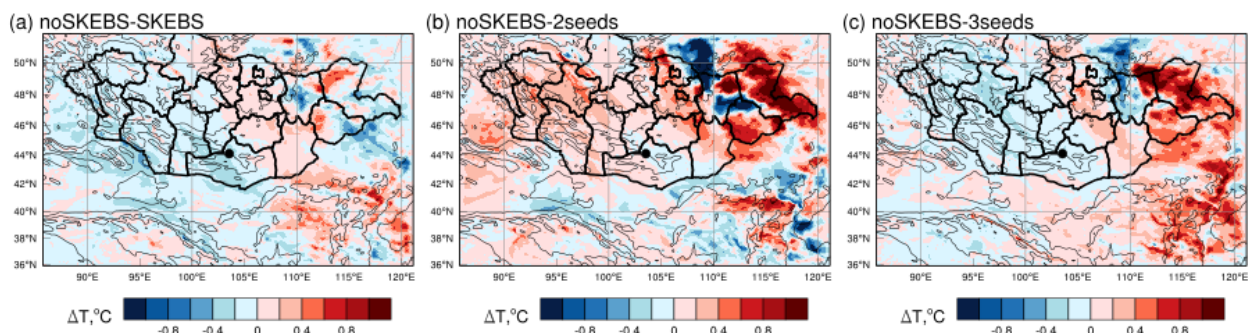
Зураг 91. Тооцооллын 3-р бүс нутгийн noSKEBS болон SKEBS схемийн урсгалын дугаар нь (a) 1, (b) 2, (c) 3 симуляцуудын кинетик энергийн зөрөө.

Зураг 92-т noSKEBS болон SKEBS-ийн урсгалын дугаар нь 1, 2, 3 байх симуляциудын кинетик энергийн дундаж зөрөөний хугацааны цувааг харуулав. Тооцооллын мужаар дундажласан кинетик энергийн зөрөө симуляцууд хооронд их ялгаа байхгүй байхад хамгийн их, бага утгын зөрөө SKEBS-ийн урсгалын дугаар нь 1-ээс 2 болоход нэмэгдэж, цаашид 3 болоход онцын зөрөөгүй нь тод харагдаж байна. Энэ кинетик энергийн зөрөө прогностик дотоод тенденцийн тэгшитгэлийн динамик, физик тенденцийн гишүүн болж ороогүй стохастик хазайлтын тенденц учраас тэгшитгэлийн шийдэд нөлөөлөх нь гарцаагүй.



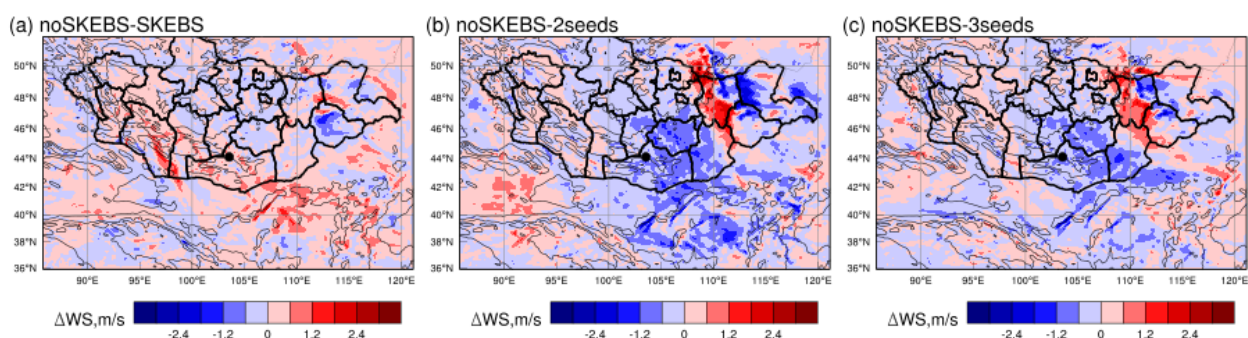
Зураг 92. noSKEBS болон SKEBS-ийн урсгалын дугаар нь (a) 1, (b) 2, (c) 3 байх симуляцуудын кинетик энергийн зөрөөний хугацааны цуваа.

Зураг 93-т 1-р бүс нутгийн noSKEBS болон SKEBS схемийн урсгалын дугаар нь 1, 2, 3 байх симуляцуудын температурын ялгааг харуулав. Зургаас харахад бүс нутгийн зүүн хагаст температурын зөрөө ихтэй байна. Температурын градиент ихтэй газруудаар, мөн өндөршил дагаж зөрөө ихтэй байх албагүй нь харагдаж байна. Энэ нь тооцооллын 3-р бүс нутагт харуулсанчлан мужийн зүүн хагас кинетик энерги буцаж сарнисан байна. Хэдийгээр сарнилын өсөлтийн параметр орон зай болон цаг хугацааны хувьд тогтмол ч сарнилын схем ажилласны дараа тархалт жигд бус байна. SKEBS схемийн урсгалын дугаар 1-ээс 2 болж өөрчлөгдөхөд кинетик энергийн өөрчлөлт тод илэрч, цаашид 3 болоход тогтворших хандлага харагдана.



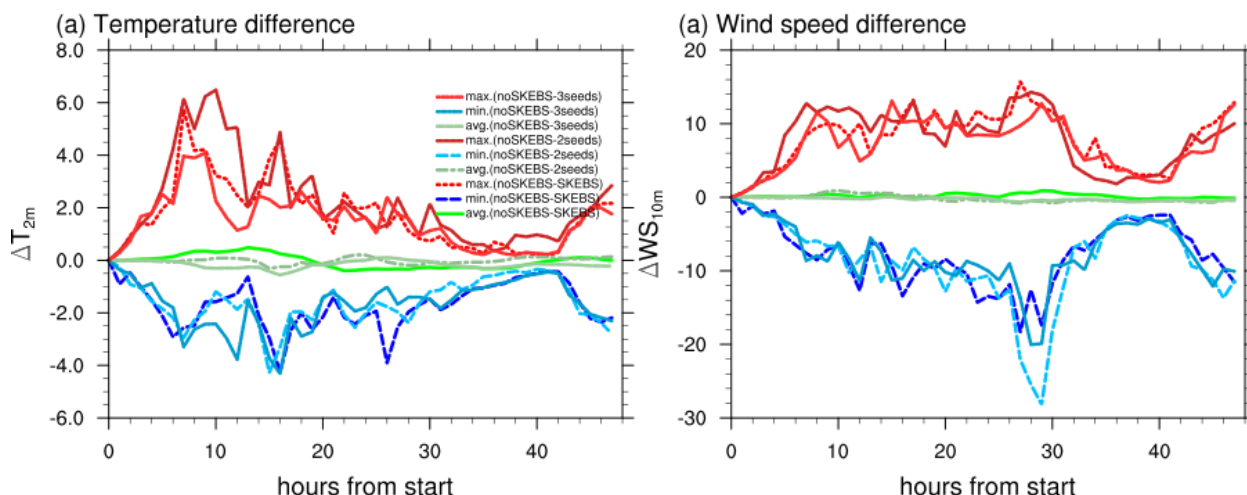
Зураг 93. noSKEBS болон SKEBS-ийн урсгалын дугаар нь (a) 1, (b) 2, (c) 3 байх симуляцуудын температурын ялгаа.

Зураг 94-т noSKEBS болон SKEBS схемийн урсгалын дугаар нь 1, 2, 3 байх симуляцуудын салхины хурдны ялгааг харуулав. Температурын зөрөөтэй адилаар noSKEBS болон SKEBS схемийн зөрөөний утга баруун хагаст нэгэн жигддүү, харин зүүн хагаст их, жигд бус харагдаж байна. Температурын зөрөөний тархалтаас ялгаатай байна. SKEBS-ийн урсгалын дугаар нь 2, 3 байх симуляцуудын зөрөө утгын хувьд их, мөн л голчлон зүүн хагаст байна. Салхины зөрөөний тархалттай адилаар симуляц хоорондын температурын зөрөөний тархалт монгол орны нутаг дэвсгэр дээр их утгатай байгаа нь сонирхолтой. Гэвч энэ нь тооцооллын бүс нутгийн сонголттой холбоотой байж болзошгүй.

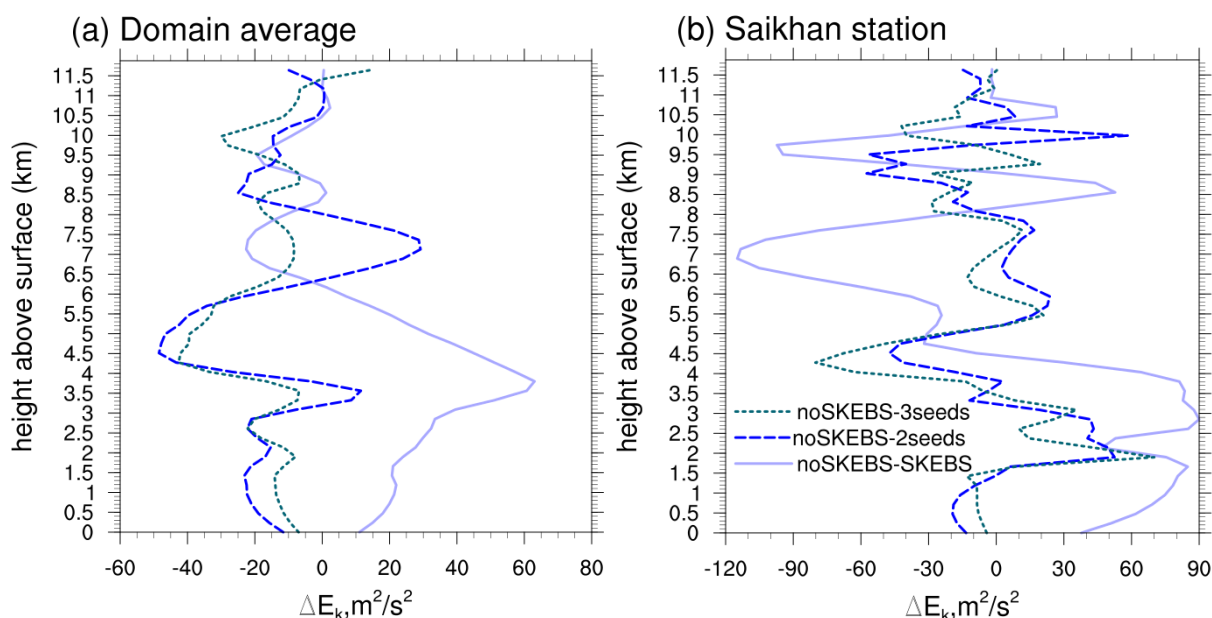


Зураг 94. noSKEBS болон SKEBS-ийн урсгалын дугаар нь (a) 1, (b) 2, (c) 3 байх симуляцуудын 10-метрийн салхины ялгаа.

Зураг 95-т noSKEBS болон SKEBS схемийн урсгалын дугаар нь 1, 2, 3 байх симуляцуудын хамгийн их, хамгийн бага, дундаж 2-метрийн температурын болон салхины хурдны ялгааны хугацааны цувааг харуулав. Температурын хувьд симуляцууд хооронд тод зөрөө байхгүй боловч зөрөөний хамгийн их утга бодолт эхэлснээс 7-8 цагийн дараа, цаашлаад зөрөө багасч байгаа нь харагдаж байна. Эдгээр зөрөөнүүд орон зайн хувьд ямар байгааг авч үзье. Салхины зөрөөний хувьд кинетик энергийн зөрөөнийхтэй адилаар SKEBS схемийн урсгалын дугаар нь 1-ээс 2 болоход хамгийн их зөрөө ажиглагдаж байна.



Зураг 95. noSKEBS болон SKEBS-ийн урсгалын дугаар нь (a) 1, (b) 2, (c) 3 байх симуляцуудын хамгийн их, хамгийн бага, дундаж (a) 2-метрийн температурын болон (b) 10-метрийн салхины ялгааны хугацааны цуваа.



Зураг 96. noSKEBS болон SKEBS схемийн урсгалын дугаар нь 2, 3 симуляцуудын (a) тооцооллын бүс нутгаар дундажласан болон (b) Сайхан станц (44339) дээрх кинетик энергийн зөрөөний өндрийн босоо тархалт.

Зураг 96-д noSKEBS болон SKEBS схемийн урсгалын дугаар нь 1, 2, 3 симуляцуудын тооцооллын бүс нутгаар дундажласан болон Сайхан станц дээрх кинетик энергийн зөрөөний өндрийн босоо тархалтыг харуулав. Кинетик энергийн сарнилын хурд өндрөөс хамааралгүй тогтмол утгатай боловч схемүүд хоорондын кинетик энергийн зөрөө өндрөөсөө ялгаатай харагдаж байна. Энэ ялгаатай байдал бүс нутгийн хувьд ч тухайн станцын хувьд ч харагдана. SKEBS схемийн урсгалын дугаар 1-ээс 2 болж өөрчлөгдөхөд тропосферийн доод давхаргад зөрөө ихтэй, улмаар дээшлэх тусам ялгаа багасч байна.

Дүгнэлт

Энэхүү ажлаар Кинетик энергийн буцах сарнилын стохастик схем (SKEBS) нь WRF загварын үр дүнд хэрхэн өөрчлөлт өгөх талаар туршиж үзэв. Туршилтыг

(a) SKEBS-гүй, (b) SKEBS схемийн урсгалын дугаар 2, 3 сонголтоор гүйцэтгэв. Энэ туршилтаар SKEBS нь загварын алдааг хэрхэн залруулж, үр дүнд хэрхэн өөрчлөлт өгөхийг харуулахын тулд туршилтын агаарын температур, салхины хурдыг ажиглалтын мэдээтэй харьцуулж үнэлэв. Загвар тодорхой хэмжээний статистик алдаа хэдий ч симуляцийн үр дүнгүүдийг харьцуулахад SKEBS схем ажиллаагүй симуляцаас SKEBS схемийн урсгалын дугаар ихэссэн симуляцийн үр дүн сайжирсан нь харагдав.

Энэхүү туршилтыг хаврын их салхины үзэгдлийн үед хийсэн. Цаашид цаг агаарын өөрчлөлт ихтэй болон өвлийн тогтуун цаг агаартай үед, мөн олон гишүүнт ансамблийн гишүүн бүр дээр SKEBS-ыг ажиллуулж үнэлж дүгнэх шаардлагатай байна.

2.4 Гамшигт үзэгдлийн сэрэмжлүүлэх шуурхай ажиллагааны систем

Монгол орны нийгэм эдийн засгийн гол салбар болох хөдөө аж ахуй болон мал аж ахуйн салбар нь байгаль, цаг агаарын гамшигт үзэгдэлд (хүчтэй салхи, цасан болон шороон шуурга, ган зуд гэх мэт) өртөмтгий юм. Сүүлийн 40 орчим жилийн цаг уурын ажиглалтын мэдээллээс авч үзэхэд Монгол оронд жилдээ 25-30 удаа агаар мандлын гаралтай аюултай үзэгдэл тохиолдож, эдгээрийн 30-35% орчим нь байгалийн гамшигт үзэгдлийн хэмжээнд хүрч нийгэм эдийн засагт маш их хохирол учруулсан байна (MARCC, 2009). Монгол оронд тохиолддог цаг агаарын гамшигт үзэгдлээс хүчтэй салхи, цасан болон шороон шуурга нь нийт гамшигт үзэгдлийн 25 орчим хувийг эзэлж хамгийн их хохирол учруулдаг байна. Монгол оронд тохиолддог агаар мандлын гаралтай байгалийн гамшигт үзэгдлээс онцлох нь хүчтэй салхи цасан шуурга юм (Нацагдорж, 2009). Наяад оны сүүлээр хийсэн судалгаанаас үзэхэд хүчтэй цасан шуурганы улмаас хүний амь нас хохирох, малын тоо толгой хорогдох явдал хамгийн их тохиолддог (Мягмаржав, Брагинская, 1988). Жишээ нь 1980 оны 4 сарын 16-20 хооронд зүүн аймгуудаар болсон хүчтэй цасан шуурга нь Монгол оронд тохиолдсон хамгийн их хохирол учруулсан цаг агаарын гамшигт үзэгдэл юм. Энэхүү гамшигт үзэгдлийн улмаас 43 хүний амь нас эрсдэж ойролцоогоор 800,000 толгой мал хорогдсон (Jugder et al., 2004, MARCC, 2009). Мөн 2008 оны 5 сарын 26-27-нд зүүн аймгийн нутгаар болсон хүчтэй салхины улмаас 52 хүний амь нас эрсдэж ойролцоогоор 360,000 толгой мал хорогдож нийгэм эдийн засагт маш их хохирол учирсан (НҮБ, 2008) бөгөөд хүний амь нас, малын хорогдлын үндсэн шалтгаан нь температурын огцом бууралт түүнтэй холбоотой осголт байсан. Түүнчлэн богино хугацаанд орсон аадар бороо нь хүн ам төвлөрсөн хот суурин газарт их хэмжээний хохирол учруулдаг. Жишээ нь: 2009 оны 7 сарын 17-ны өдөр Улаанбаатар хотод 1.30-2.30 минут орчим үргэлжилсэн аадар борооны улмаас (Буянт-Ухаа станц 51.6 мм, Их сургууль станц 36.8 мм, Улаанбаатар станц 22.9мм) 5 хүүхэд 1 том хүний амь нас эрсдэж ойролцоогоор 4 тэрбум төгрөгийн эд материалын хохирол учирсан. Мөн 2012 оны 7 сарын 13-14 шилжих шөнө Эрдэнэт хот орчимд ширүүн аадар борооны улмаас уруйн үер бууж 2 хүн амь нас эрсдэж дэд бүтцийн салбарт 8,3 тэрбум төгрөгийн хохирол учруулсан байна.

Цаг агаарын гамшигт үзэгдэл нь зарим тохиолдолд хүмүүний амьдрал, нийгэм эдийн засагт асар их хор хохирол учруулдаг бөгөөд энэхүү эдийн засгийн хохирлыг багасгах гол үндэс нь тухайн гамшигт үзэгдлийг цаг алдалгүй урьдчилан мэдээлж ард иргэдэд шуурхай хүргэх явдал юм.

Цаг агаарын тоон прогнозын загвар нь цаг агаарыг урьдчилан мэдээлэх нэгэн төрлийн технологи бөгөөд энэ нь математик загварчлал дээр тулгуурласан агаар мандлын одоогийн төлөв байдлыг үндэслэн ирээдүйн төлөв байдлыг орон зай болон цаг хугацааны өндөр нарийвчлалтай тооцоолох компьютер дээр суурилсан технологи юм. Цаг агаарын тоон прогнозын олон төрлийн загварууд байдаг бөгөөд ихэвчлэн бүс нутгийн уур амьсгалын загварыг богино хугацааны цаг агаарын урьдчилан мэдээлэхэд ашигладаг. Дэлхийн хэмжээний загварын үр дүн нь бага масштабын цаг агаарын гамшигт үзэгдлийг урьдчилан мэдээлэхэд орон зайн болон цаг хугацааны хувьд нарийвчлал нь хангалттай бус байдаг. Тиймээс дэлхийн хэмжээний загварын үр дүнгээс анхны нөхцлөө болгож динамик буулгалтын аргыг (Catro et al., 2005) ашиглан бүс нутгийн загвараар цаг агаарын гамшигт үзэгдлийг урьдчилан мэдээлэх нь хамгийн оновчтой шийдэл юм.

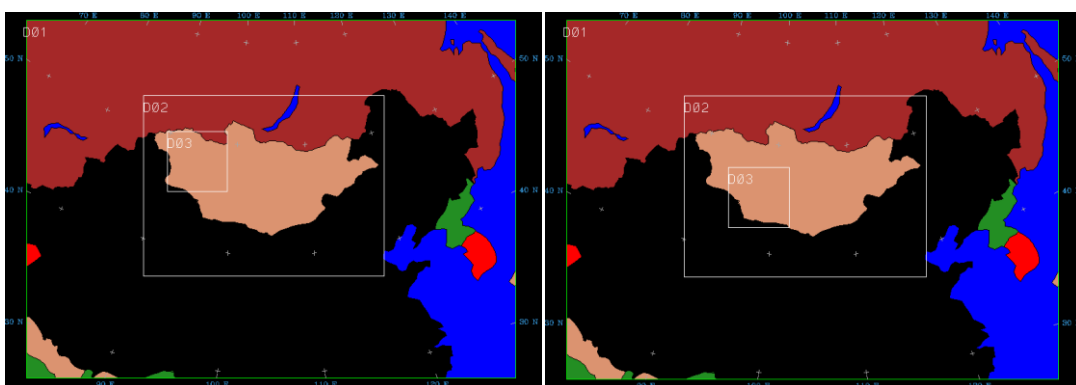
Одоогоор Цаг уурын албаны урьдчилан мэдээлэх шуурхай үйлчилгээнд Азийн хэмжээгээр 9км, Монгол орны нутгаар 3 км алхамтай 2 бүс нутгаар загварыг ажиллуулж байна. Цаг агаарын аюултай үзэгдлийн нөхцөл бүрдсэн үед ялангуяа хүчтэй салхи, их цас болон аадар бороо зэрэг үзэгдэлд илүү нарийвчлалтай бүс нутаг сонгон загварыг ажиллуулах шаардлагатай байдаг.

Энэхүү судалгааны ажлаар цаг агаарын аюултай үзэгдлийн нөхцөл бүрдсэн үед цаг агаарын процессийг илүү нарийн тодорхойлохын тулд тухайн аюултай үзэгдэл ажиглагдах газар нутагт илүү нарийвчлалтай бүс нутгийг сонгон ажиллуулах боломжийг шуурхай үйлчилгээнд нэвтрүүлэх технологийг бий болгох зорилго тавьсан болно.

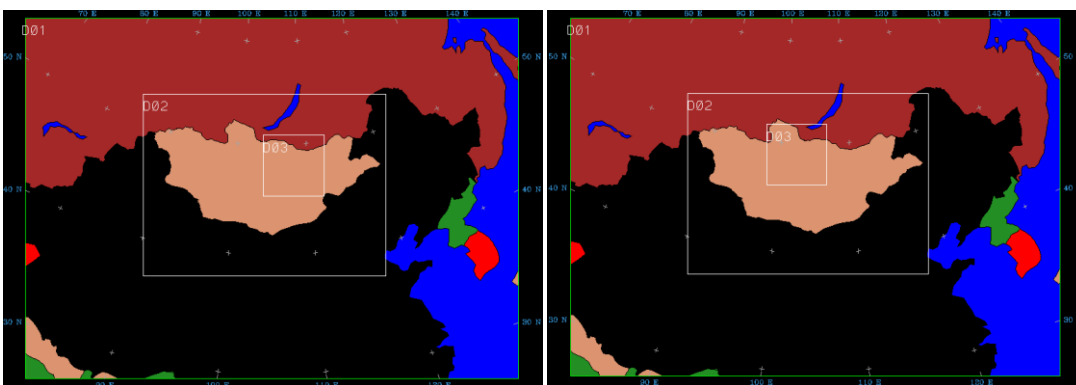
Монголын цаг уурын албанд 2004 оноос цаг агаарын тоон прогнозын загвар шуурхай үйлчилгээнд ашиглаж эхэлсэн. Монгол орны нутгаар тоон прогнозын загвар ашиглан хийсэн цаг агаарын гамшигт үзэгдлийн судалгаа цөөхөн байдаг. Гомболүүдэв (2005) нар Монгол орны төв хэсгээр богино хугацаанд ажиглагдсан догшин хуй салхийг MM5 загвар ашиглан 27 болон 9км орон зайн нарийвчлалтай тооцоолсон. Батболд (2011) нар Монгол орны зүүн хэсэгт 2008 оны 5 сарын 26-27-ны өдөр тохиолдсон онц аюултай цасан шуургыг MM5 загвар ашиглан 27, 9 болон 3 км бүс нутгаар туршсан, Батжаргал (2012) нар WRF загвар ашиглан 27 болон 9 км нарийвчлалтайгаар схемүүдийн туршилт хийсэн байдаг. Эдгээр судлаачдын туршилтаас илүү нарийвчлалтай бүс нутагт цаг агаарын элемент бодит хугацааны ажиглалттай илүү ойр үр дүнг өгсөн.

Энэ судалгааны ажилд агаар мандлын бэсрэг хэмжээст тоон загварыг Weather Research and Forecasting (WRF), (Skamarock et al., 2008) ашиглана. WRF загвар нь цаг агаарыг урьдчилан мэдээлэх чиглэлээр өргөн ашиглагддаг бөгөөд олон төрлийн физик схемүүдийн сонголттой юм. Загварын туршилтад Kain-Frisch кумулюс схем (Kain and Fritsch 1993), WRF single-moment six-class микрофизик үүлний схем (Hong and Lim, 2006), цацрагийн тооцооны схем /The Rapid Radiative Transfer Model Longwave Radiation Scheme/ (Mlawer et al., 1997), хязгаарын үе давхаргын схем /Yonsei University lanetary Boundary Layer (PBL)/ (Hong and Pan, 1996), газар бүрхэвчийн схемийг [NOAH, (Chen and Dudhia 2001)] сонгож загварыг ажиллуулна. Босоо чиглэлийн орон зайн хувьд газрын гадаргаас дээш 35 түвшинд тооцоог хийсэн бөгөөд, хамгийн дээд түвшнийг 100гПа, доод түвшнийг газрын гадаргаас дээш 19м-ээр авсан. Загварын захын болон анхны өгөгдөлд GFS Forecast 3 цагийн зайцтай 0.5°x0.5° хэвтээ нарийвчлалтай урьчилсан мэдээг ашигласан. WRF загварын бүс нутгийн алхамыг 27, 9, 3 км (D1, D2, D3) ээр сонгож, 3-р бүс нутгийг цаг агаарын аюултай үзэгдэл ажиглагдах

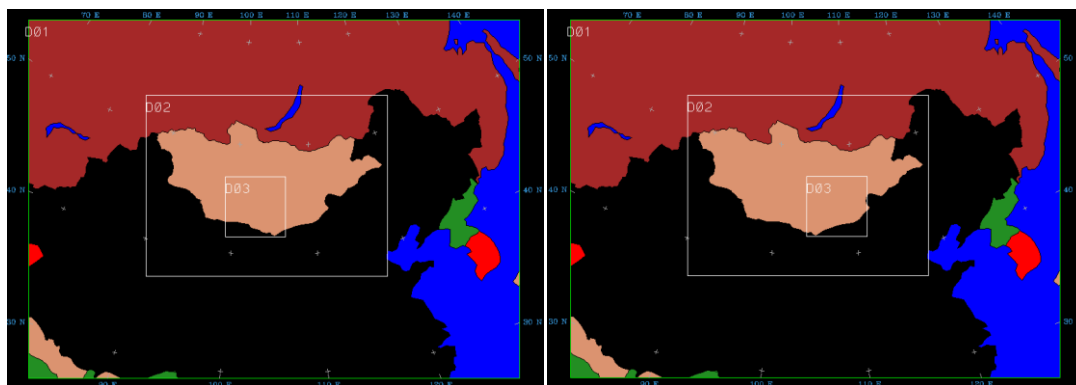
магадлалтай газар нутгаар сонгох боломжийг бүрдүүлсэн. Одоогоор урьдчилан мэдээлэх шуурхай үйлчилгээнд бүс нутгийн алхам 9км (Монгол орны хэмжээгээр), 3 км (төвийн хэсгээр), 1 км (Улаанбаатар орчмоор) загварыг ажиллуулж байгаа болно. Энэ туршилтаар цаг агаарын аюултай үзэгдлийн нөхцөл бүрдсэн үед 27км (Төв Ази), 9км (Монгол орны хэмжээгээр), 3 км-ээр тухайн аюултай үзэгдэл ажиглагдах бүс нутгийг сонгох юм. Ерөнхийдөө 3 км бүс нутаг нь тогтсон биш хөдөлгөөнт байдлаар сонгож байх шаардлага гарч байгаа юм. Үүний тулд Монгол орны газар нутгийн 7 бүс нутагт болгон хувааж өгсөн (Зураг 97). Тухайн үзэгдэл аль бүс нутагт голчлон ажиглагдахаас хамаарч бүс нутгийг сонгож өгнө. Тоон туршилтийг 72 цаг хүртэл аюултай үзэгдэл ажиглагдах хугацаагаар бодолтыг явуулах ба загварын үр дүнгээс тухайн аюултай үзэгдлээс хамаарч шаардлагатай мэдээллүүдийг зураглал хэлбэрээр гаргах боломжтой.



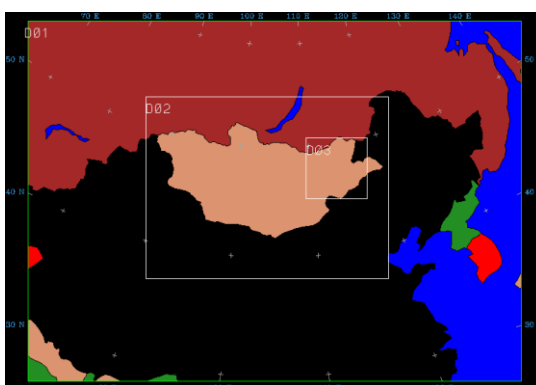
Монгол орны баруун зүгийн 3-р домайн



Монгол орны төвийн нутгийн 3-р домайн



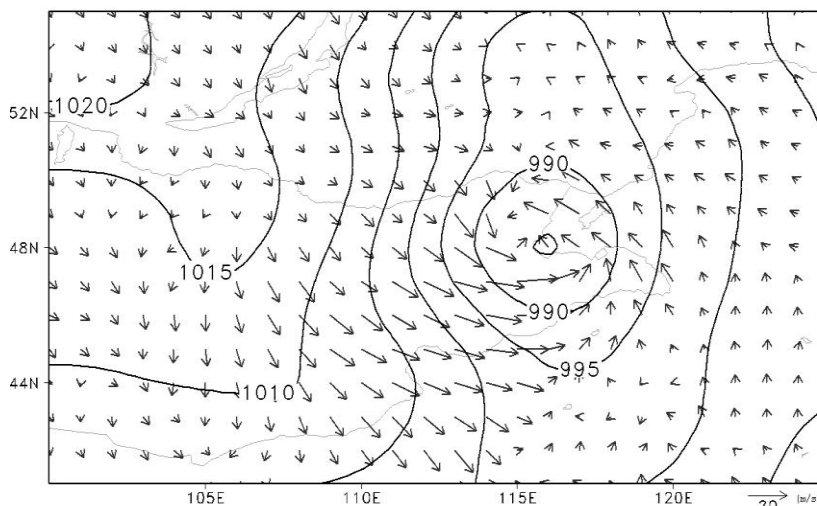
Монгол орны өмнө зүгийн 3-р домайн



Монгол орны зүүн зүгийн 3-р домайн

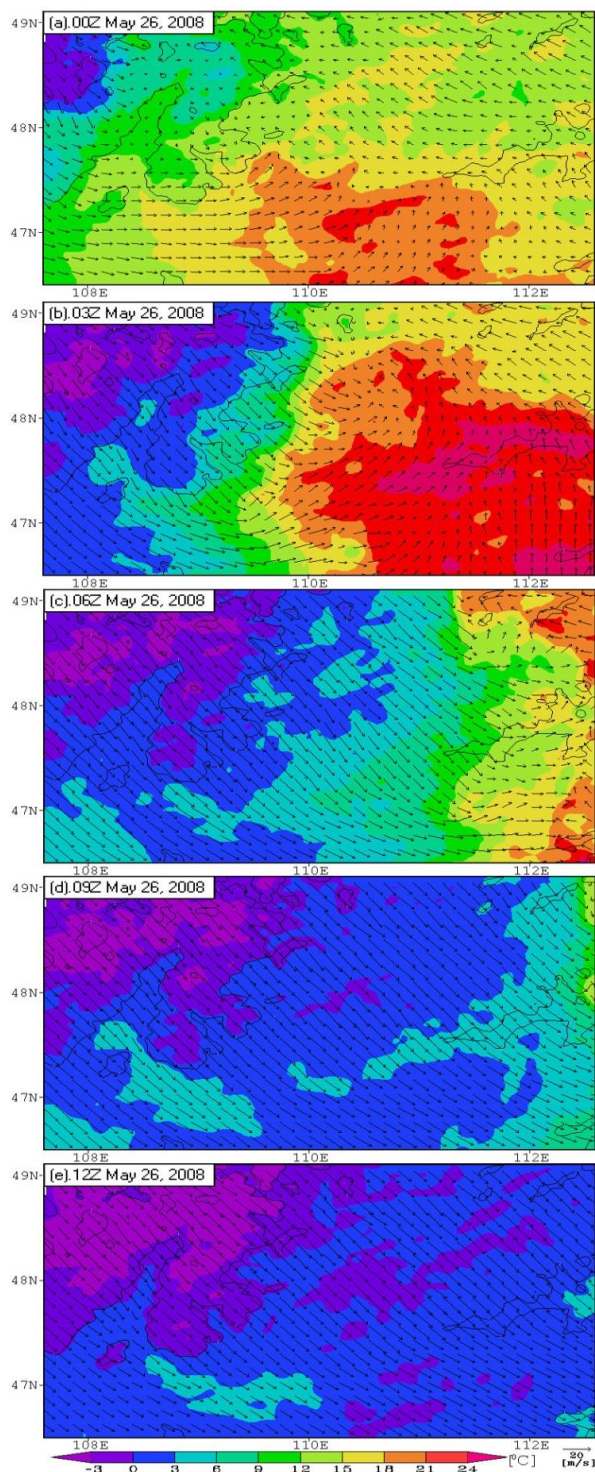
Зураг 97. Цаг агаарын аюултай үзэгдэл ажиглагдсан үед тоон загвараар нарийвчлан тооцоолох 3-р бүс нутгууд

Энэ ажлын хүрээнд 2008 оны 5 сарын 26-27-ны өдрүүдэд Монгол орны зүүн хэсэгт ажиглагдсан цаг агаарын гамшигт үзэгдлийг авч үзсэн. Зүүн зүгийн аймгуудыг хамааруулсан бүс нутгаар D3-г ашигласан. Загварын захын болон анхны өгөгдөлд NCEP Final Analysis-ийн 6 цагийн зайцтай $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ хэвтээ нарийвчлалтай анализ мэдээг ашигласан. Тоон туршилтийг 5 сарын 25-ны 00 цагаас 28-ны 00 цаг (гринвичийг цагаар тооцсон) хүртэл гамшигт үзэгдэл болсон хугацаагаар бодуулсан болно. Энэхүү гамшигт үзэгдлийн улмаас 52 хүний амь нас, ойролцоогоор 382,000 толгой мал хорогдож нийгэм эдийн засагт маш их хохирол учирсан (НҮБ, 2008) бөгөөд хүний амь нас, малын хорогдлын үндсэн шалтгаан нь осголт байсан. Энэ цаг агаарын гамшигт үзэгдэл нь богино хугацаанд гүнзгийрсэн циклоны нөлөөгөөр бий болсон. Энэхүү циклон нь 5 сарын 25-нд Хангай нурууны салхин доод талд үүсэж, улмаар эрчимтэй гүнзгийрч хурдтайгаар нутгийн зүүн хэсэг рүү шилжсэн ба 5 сарын 26-нд энэхүү гүнзгий циклон, түүнтэй холбоотой хүйтэн фронт Монголын зүүн хэсгээр дайран өнгөрсөн. Зураг 98-т 5 сарын 26-ны 20 цагийн далайн түвшний даралт, салхины векторыг үзүүлэв (National Center for Environmental Prediction (NCEP) final analysis (FNL)). Агаарын температурын өөрчлөлт ихтэй, эрчимтэй хүйтэн фронт дайран өнгөрөх явцад, Хэнтий аймгийн Баян-Овоо 26-ны үдээс хойш 3 цагийн дотор агаарын температур 22°C -ээс 1°C хүртэл буурч, салхины хурд 28м/с хүрч ширүүссэн. Эдгээр элементүүдийн тоон утга нь Монголын цаг уурын байгууллагад мөрдөж буй цаг агаарын гамшигт үзэгдлийн шалгуурт хүрсэн билээ. Монгол улсын засгийн газрын 2000 оны 190 дүгээр тогтоолоор салхины хурд $\geq 28\text{м/с}$, агаарын температурын эрс бууралт хоногт $\leq 20^{\circ}\text{C}$ бол цаг агаарын гамшигт үзэгдэлд тооцдог (УЦУОШГ, 2008). Энэхүү цаг агаарын гамшигт үзэгдлийн улмаас учирсан хохирлын ихэнх хэсэг нь Баян-Овоо станцын эргэн тойронд бүртгэгджээ.



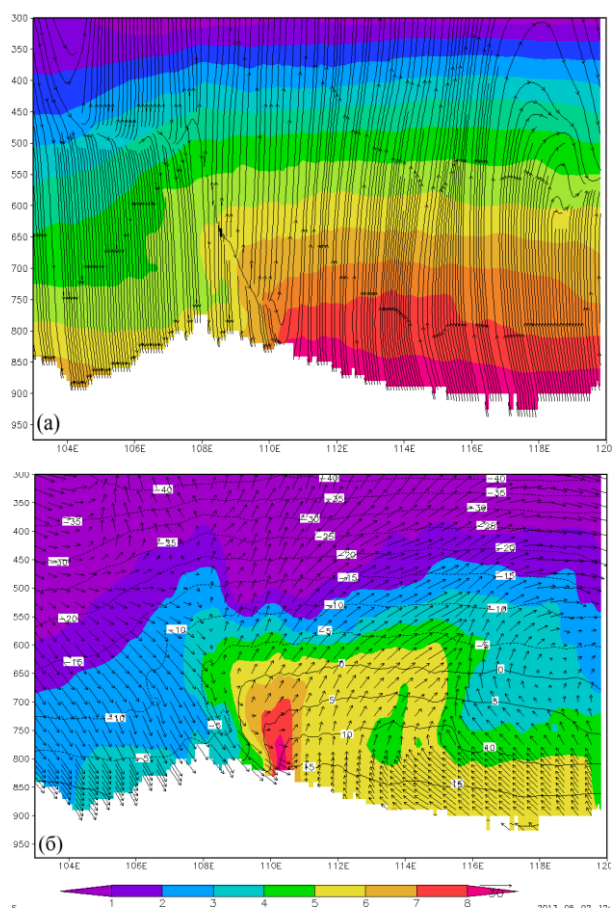
Зураг 98. FNL анализийн 2008 оны 5 сарын 26-ны 12 цагийн далайн түвшний даралт болон 10м түвшний салхины векторыг Монголын зүүн хэсэгт үзүүлэв.

Зураг 99-т загвараар тооцоолсон D3 бүс нутгийн 2м түвшний агаарын температур болон 10м түвшний салхины векторыг орон зайн тархалтаар 5 сарын 26-ны 00 цагаас 12 цагийн хооронд үзүүлэв. Зурагт хүйтэн фронтын байрлалыг хэвтээ гадаргуу дахь салхины хурд, чиглэл болон температурын өөрчлөлтөөр илэрхий тодорхойлж болохоор байна (Зураг 99а-с, M1). Энэ эрчимтэй хүйтэн фронтын хувьсал нь загварын салхины вектор болон температурын өөрчлөлтөөр маш сайн илэрхийлэгдэж байна. 5 сарын 26-ны өглөөний 00 цагт, хүйтэн фронт D3 бүс нутгийн баруун хойно байрлаж байсан. Энэ үед салхины хурд сул, өмнө болон зүүний салхитай, дулаан агаар зонхилж байв (Зураг 99а). Өдрийн 11 цагийн үед хүйтэн фронт тухайн газар нутгийг дайран өнгөрөхөд, салхины зүг зүүн өмнөөс баруун хойш эргэж, циклоны дулаан секторын температур хүйтэн фронтын ар талын температураас 20-25°C-ээр дулаан байв. Температурын градиент хүйтэн фронтын хөндлөн огтлолд (ЗУ 108°-109°,ХӨ 47°-48°) ойролцоогоор 100км-т 15-20°C хүрсэн (Зураг 99b).



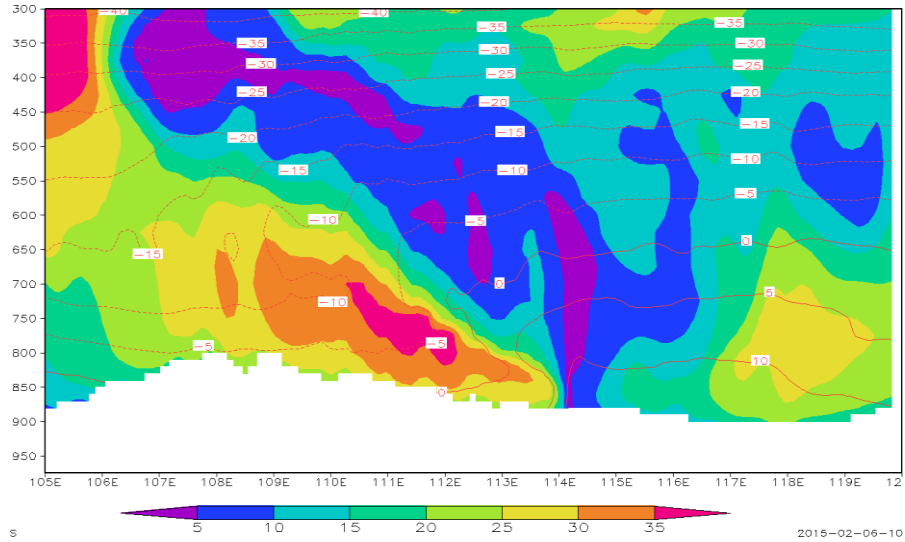
Зураг 99. Загварын D3 бүс нутгийн 2м түвшний агаарын температур, 10м түвшний салхийн векторын орон зайн тархалт, өндөршлийн 1000м, 1500м-ийг ижил утгын шугамыг хамт үзүүлэв.

Хүйтэн фронт дайрч өнгөрсний дараа, 14 цагаас 20 цагийн хооронд, баруун хойноос хүйтэн агаарын масс түрж, салхины хурд аажмаар ихсэн, D3-ийн зүүн хэсэгт агаарын температур 18-24°C-ээс 0-3°C хүртэл огцом буурсан байна (Зураг 99с, d болон e). Загварын D3-ийн салхи, температурын орон зайн болон цаг хугацааны дүрслэл нь D1, D2-тэй ойролцоо, харин эдгээр бүс нутгуудад NCEP FNL-ийн загварын үр дүн бага зэрэг өөр байгаа нь харагдаж байна.



Зураг 100. Уртрагийн дагуух, өргөргийн 48°-аар зүссэн 300мбар хүртэлх босоо хөндлөн огтлолын агаарын температур (°C) (өнгөөр) болон салхины урсгалын шугам(а), хувийн чийг (г/кг) (өнгөөр), агаарын температур (°C) (ижил утгын шугам)

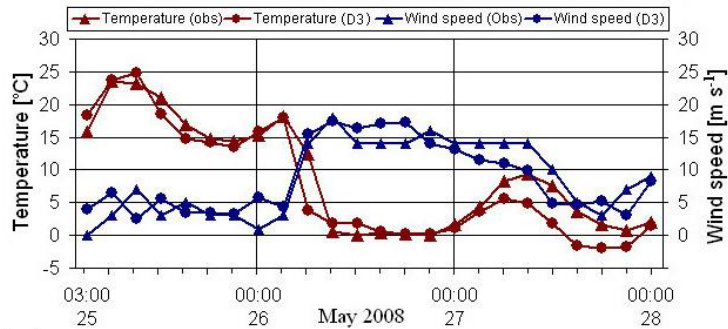
Зураг 101-т D3 бүс нутгийн уртрагийн дагуух, өргөргийн 48°-аар зүссэн 300мбар хүртэлх босоо хөндлөн огтлолын агаарын температур болон салхины урсгалын шугамыг үзүүлэв. Босоо хөндлөн огтлолын зургаас харахад агаар мандлын фронтын байрлал нь агаарын температурын өөрчлөлт, салхины урсгалын шугамаас тодорхой харагдаж байна. Салхины урсгалын шугам нь хүйтэн фронтын өмнө өгсөх чиглэлтэй, ард уруудах чиглэлтэй байна (Зураг 101а). Энэ нь циклоны өмнө чийглэг дулаан агаар өгсөх хөдөлгөөнтэй, ар талд уруудах хөдөлгөөний улмаас хүйтэн агаарын масс түрж байдаг юм (Зураг 101б). Салхины хурдны хувьд хүйтэн фронтын ар талд хүйтэн агаарын түрэлттэй холбоотой газрын гадарга орчимд салхины хурд огцом 25-30м/с хүрч, газрын гадаргаас дээш 500-1000м-т 35м/с-ээс их салхины хурд ажиглагдаж байна (Зураг 102).



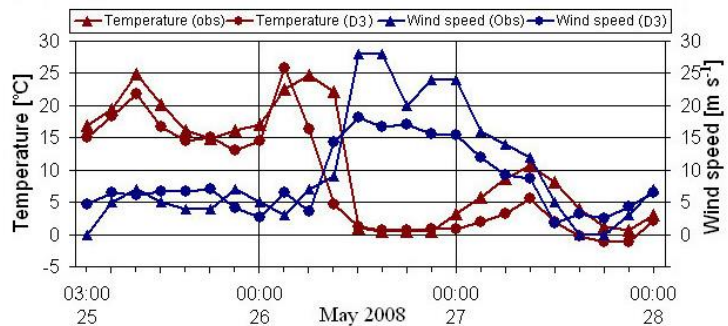
Зураг 101. Уртрагийн дагуух, өргөргийн 48°-аар зүссэн 300мбар хүртэлх босоо хөндлөн огтлолын салхины хурд (м/с) болон агаарын температур (°C) (ижил утгын шугам).

Тоон загварын үр дүн нь бодит ажиглагдсан салхины хурд, чиглэл болон температурыг сайн дүрслэн гаргасан. Эдгээр цаг агаарын элементүүдийн тоон утгын цаг хугацааны өөрчлөлтийг үнэлэхийн тулд Баян-Овоо, Биндэр станц дээр гамшигт үзэгдэл ажиглагдсан хугацааны агаарын температур болон салхины хурдны явцыг тоон загварын үр дүнтэй харьцуулж Зураг 102-д үзүүлэв. Энэ 2 станцын салхины хурд, температурыг загварын D3 үр дүнгээс гарсан ойролцоох гридийн цэгийнхтэй харьцуулан үзсэн. Биндэр станц дээр (Зураг 102а) загвараар тооцоолсон салхины хурд, температурын утгын цаг хугацааны өөрчлөлт нь ажиглалтын мэдээтэй харьцуулахад маш сайн таарч байсан.

(a) Binder



(b) Bayan-Ovoo



Зураг 102. загвар болон ажиглалтын 2м түвшний агаарын температур (улаан), 10м түвшний салхины хурдны(хөх) хугацааны явцыг үзүүлэв. а)Биндэр станц, б) Баян-Овоо станц.

Баян-Овоо станц дээр (Зураг 102b) температурын бууралт болон салхины хурд нь бусад станцуудаас илүү эрчимтэй байсан. Ажиглалтын мэдээгээр 3 цагийн дотор салхины хурд 9м/с-ээс 28м/с хүртэл ихсэж, агаарын температур 22°С-ээс 1°С хүртэл огцом буурсан. Энэ нь тухайн гамшигт үзэгдлийн ажиглагдсан үеийн цаг агаарын өөрчлөлтийн хамгийн их эрчимтэй үе байсан. Загварын температурын бууралтын утга ажиглалтын мэдээтэй ойролцоо байгаа боловч хугацааны хувьд бодит ажиглалтаас арай эрт тооцооллогдсон байна. Загварын хамгийн их салхины хурд нь 26-ны өдрийн 12 цагт Баян-Овоо станц дээр ажиглагдсан хугацаатай таарч байгаа боловч бодит их хурднаас ойролцоогоор 10м/с-ээр бага байна. Хэдийгээр энэ станцын орчинд тооцоолсон салхины хурд бага байсан боловч D3 бүс нутгийн хувьд загварын хамгийн их салхины хурд нь 26-ны өдрийн 18 цагт Баян-Овоо станцын ойролцоо 25м/с хүртэл тооцоолсон байна (48.32°N, 111.9°E). Энэ үр дүнгээс харахад, дэлхийн хэмжээний загварын үр дүнд бага масштабын цаг агаарын гэнэтийн өөрчлөлт, эрчимтэй хүйтэн фронтын шилжилтийг тоон загвараар илүү сайн тооцоолж байгаа нь харагдаж байна.

Тоон загварын чадварыг бүх бүс нутгаар авч үзэж үнэлэхийн тулд гамшигт үзэгдэл ажиглагдсан үеийн загварын болон бодит ажиглалтын хоногийн агаарын температурын бууралт (dT), салхины их хурдны (W_{max}) утгыг харьцуулж үзсэн. Хүснэгт 7-д NCEP FNL болон MM5 загварын D1, D2, D3 бүс нутгийн алхамаар тооцоолсон цаг уурын энэ хоёр элементийн индексийг D3 бүс нутагт тохирох сонгосон газар нутгаар 107.5–112.5°E, 46.5–49°N (зураг S1-д тэгш өнцөг дүрсээр харуулсан) харьцуулж үзүүлэв. Цаг уурын ажиглалтын D3 бүс нутагт хамаарагдах 7 станцаар гаргасан дээрх индексийг мөн хүснэгтэд үзүүлсэн. dT индексийг 5 сарын 26-ны 00 цаг болон 27-ны 00 цагийн агаарын температурын зөрүүгээр тодорхойлсон, энэ хугацаа нь D3 бүс нутгийг хүйтэн фронт дайрч өнгөрөхийн өмнөх болон дараах үетэй тохирч байгаа юм. W_{max} индексээр мөн бүс нутагт туршилт явуулсан хугацаанд ажиглагдсан хамгийн их салхины хурдыг авч үзсэн. Ажиглалтын мэдээний хувьд, D3 бүс нутагт хамрагдаж байгаа 7 цаг уурын станцын мэдээллээс хамгийн бага dT индекс болон хамгийн их W_{max} утгыг авч харьцуулалт хийсэн. Мөн FNL анализ мэдээнээс D3 бүс нутагт хамрагдаж байгаа грид цэгүүд дээр энэ хоёр индексийн утгыг сонгож авсан. FNL анализ мэдээний хувьд энэ 2 индексийн утгыг ажиглалтын мэдээтэй харьцуулахад маш бага байсан нь дэлхийн хэмжээний анализ мэдээ нь бага масштабын цаг агаарын гэнэтийн өөрчлөлт, үзэгдлийг сайн дүрслэн тооцоолж чадахгүй нь харагдаж байна.

Хүснэгт 7. 2008 оны 5 сарын 26-ны 00 цагаас 27-ны 00 цагийн хоорондох температурын бууралтын хамгийн бага утга (dT), туршилтын хугацааны хамгийн их салхины хурд (W_{max}).

| | Obs | FNL | D1(27km) | D2(9km) | D3(3km) |
|-----------------|-----|-----|----------|---------|---------|
| dT (°C) | -20 | -16 | -19 | -20 | -22 |
| W_{max} (M/c) | 28 | 18 | 20 | 23 | 25 |

Загварын үр дүн болон FNL анализийн мэдээгээр тооцсон хоёр индексийн утгыг харьцуулж үзэхэд, захын D1 бүс нутагт ажиглалтын мэдээтэй ойрхон байсан бөгөөд загварын DD нь FNL анализийн утгыг маш сайн сайжруулж тооцоолж байгааг Зураг 102-аас тодорхой харж болно. DD аргыг ашиглаж байгаа тоон загвар нь зөвхөн температур, салхины явцыг урьдчилан тооцохоос гадна

эдгээр элементийн өөрчлөлтийг бас сайн дүрсэлж байна. Түүнээс гадна загварын гридийн зай багасахад (D2, D3) dT , W_{max} индексүүдийн утга нь ажиглалтын утга руу ойртож байна. Энэ нь тоон загвар бүс нутаг буюу гридийн зайн нарийвчлалаас их хамааралтай байгааг харуулж байна. Жишээ нь: D2 бүс нутаг дээр dT индекс маш сайн үнэлгээтэй байхад D3 бүс нутагт илүү үнэлгээтэй байна. Энэ шалтгааныг тодорхойлоход төвөгтэй бөгөөд сийрэг байрласан цаг уурын ажиглалтын сүлжээ нь цаг агаарын гамшигт үзэгдлийг үнэлж дүгнэхэд учир дутагдалтай байгаа юм. D3 хэмжээсийн хувьд салхины их хурд тааруу гарч байгаа тул цаашид илүү өндөр нэрийвчлалтай бүс нутгаар тооцох шаардлагатай байж болох юм.

Тоон загвар нь дэлхийн хэмжээний анализ мэдээг ашиглан цаг агаарын гамшигт үзэгдэл, температурын эрс бууралт, салхины их хурдыг, тодорхой газар нутгийн хэмжээнд маш сайн дүрслэн харуулж байна. Салхины их хурд ажиглалтын утгатай ойролцоо байгаа боловч Баян-Овоо станц дээр бүс нутгийн D1, D2, D3 хэмжээс бүрд арай тааруу үр дүн өгч байна. Ажиглалтын сийрэг сүлжээг анхаарч үзвэл, загварын үр дүнг станцын байрлал дээр үнэлж дүгнэх нь нилээн түвэгтэй юм.

Дүгнэлт

Энэ туршилтаар Монгол орны нутгийн зүүн хэсэгт болсон цаг агаарын гамшигт үзэгдлийн үеийн температур болон салхины бодит өөрчлөлтийг тоон загварын нарийвчилсан бүс нутаг ашиглан туршсан, учир нь хаврын улиралд хүчтэй салхины давтагдал энэ бүс нутаг өндөр байдаг бөгөөд энэ нь мал аж ахуйн салбарт асар их хохирол учруулдаг юм. Тоон загварын үр дүнгээр D3 бүс нутгийн температур, салхины хурдны өөрчлөлтийг бодит мэдээтэй харьцуулахад маш сайн үр дүн үзүүлсэн. FNL анализ мэдээ нь тоон туршилтын захын нөхцөл бөгөөд dT , W_{max} индексүүд нь тааруу үр дүнтэй байсан бөгөөд энэ нь цаг уурын байгууллагад мөрөж буй цаг агаарын гамшигт үзэгдлийн шалгуурт хүрээгүй. Загварын туршилтын dT , W_{max} индексүүд нь FNL анализтай харьцуулахад ажиглалтын утгуудад маш ойртсон бөгөөд температурын өөрчлөлтийн утга, салхины хурд нь бүс нутгаас хамаарч (гридийн цэгийн хэвтээ нарийвчлал сайжрахад) ихсэж байна.

Хэдий тийм ч загвараас гарсан салхины их хурд нь бүх бүс нутагт тааруу үнэлгээтэй байгаа ба гридийн цэгийн нарийвчлалаас хамаарч ажиглалтын утга руу илүү ойртож байсан. Харин загвараар тооцоолсон температурын эрс бууралт нь D1, D2 хэмжээст бүс нутагт маш сайн үр дүнтэй байна. Эндээс дүгнэхэд, dT индексийн хувьд бүс нутгийн нарийвчлалтай өндөр байх шаардагагүй байхад харин W_{max} индекс загварын бүс нутгийн нарийвчлалаас ихээхэн хамаарч байна. Цаашид хүчтэй салхийг нарийн тооцоолохын тулд өндөр нарийвчлалтай D3 бүс нутгийг сонгож, онц хүчтэй салхи ажиглагдах нөхцөл бүрдсэн бодолтыг явуулж үр дүнд анализ хийж урьдчилсан мэдээлэх үйл ажиллагаанд ашиглаж байх шаардлагатай гэж үзэж байна.

2.5 Сар, улирлын уур амьсгалын загварчлал

2.5.1 Агаар мандлын дэлхийн хэмжээний CAM5 динамик загварын зүгшрүүлэлт

Дэлхийн агаар мандалын системийн тухайн үеийн төлөв байдал болон түүний хөгжил, хувьсал өөрчлөлтийн цаашдын чиг хандлагыг тодорхой хугацааны өмнөөс үнэлэх, таамаглахад физикийн тулгуур хуулд үндэслэсэн математик загварчлалын арга гол үндэс болдог. Энэхүү загварчлалын аргын суурь үндэслэл нь агаар мандлын системийн дотоод мөн чанар, зүй тогтол, түүнийг тодорхойлогч, хөтлөгч үндсэн хүчин зүйлүүдийг тодорхойлсоны үндсэн дээр эдгээр хүчин зүйлүүдийн харилцан хамаарлыг ямар нэгэн үнэмшил, магадлалтайгаар илэрхийлж чадах янз бүрийн нарийвчлал бүхий математик аппарат ашиглан загварчлах явдал байдаг.

Агаар мандлын үзэгдэл, процессыг загварчлах нь агаар мандлын физик, цаг уурын шинжлэх ухаан, улмаар физик болон тооцоолон бодох математикийн салбар үүсч хөгжсөн үетэй холбогддог. Нөгөө талаар агаар мандлын загвар боловсруулах, ашиглах тухай асуудал нь тооцоолон бодох машин, компьютергүйгээр төсөөлөх ч боломжгүй тул Чарльз Баббаже (1791-1871), математикийн тооцоог гүйцэтгэх, програмчлах боломжтой тооцоолох машин зохион бүтээх санааг дэвшүүлж байсан үетэй мөн холбогдоно (Д.Дагвадорж, 2015).

1956 онд АНУ-ын эрдэмтэн Норман Филипс математик загварчлал ашиглан анхны уур амьсгалын загварыг туршиж, сар болон улирлын трофосфер дахь цаг уурын хэмжигдэхүүнүүдийг урьдчилан мэдээлсэн байна. Түүний туршилт дээр үндэслэн Агаар мандлын ерөнхий орчил урсгалын загвар бий болсон байдаг(А.Даваадорж, П.Гомболүүдэв 2018).

Загварын тэгшитгэлийг анхны нөхцөлд өгөгдсөнөөр орон зайн 3 хэмжээстэй торын зангилаан цэгүүд дээрх агаар мандлын хувьсагчуудаар ойролцоолон бодно. Жишээ нь агаар мандлын хувьд торын зангилааны цэг бүрд салхи, температур, даралт, харьцангуй чийгийг бодох бөгөөд зэргэлдээх цэгийн утгуудаас хамааруулан тухайн процессийн харилцан үйлчлэлийг ч тооцоолдог. Иймд уур амьсгалын загвар нь агаар мандал, далай, газар бүрхэвч, цэвдэг мандлын хоорондын харилцан үйлчлэлийг физикийн хуульд үндэслэгдсэн тоон аргаар тооцоолох боломжийг олгодог (П.Гомболүүдэв 2011).

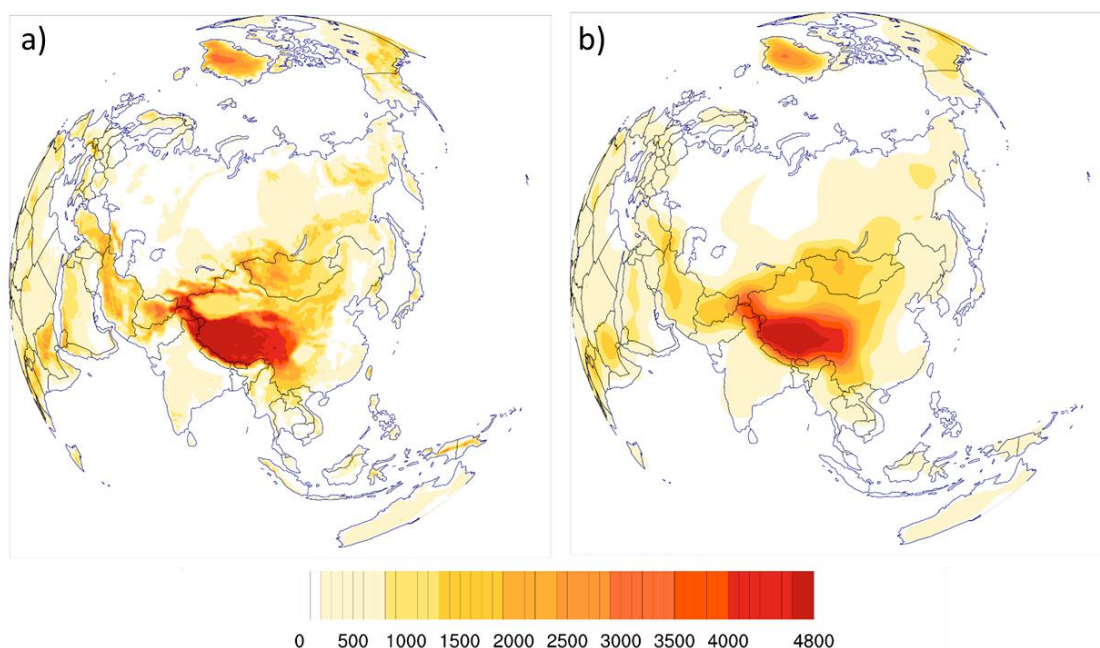
Энэхүү ажлын хүрээнд АНУ-ын Агаар мандлын судалгааны үндэсний төвийн CESM (Community Earth System Model) ерөнхий орчил урсгалын загварын агаар мандлын загвар болох Community Atmosphere model 5 (цаашид АМЕОУЗ) загварыг ажиллуулав. Тус загварыг ажиллуулахдаа загварын физик схемд ямар нэгэн өөрчлөлт хийхгүйгээр 1981-2018 он хүртэл 2 цагийн алхамтай 1.9x2.5км гридийн цэгийн алхамтай 1 болон 7 дугаар сарын сарын дундаж утгыг тооцоолж Монгол орны бүс нутгаар (87-121°З, 41-53°Х) реанализ мэдээтэй аномалийн орон зайн корреляцийн коэффициентийг (цаашид АОЗКК) тооцоолов. АМЕОУЗ-ийг ажилуулахдаа анхны нөхцлийг Европын дунд хугацааны төвийн 1981-2018 оны 1 болон 7 дугаар сарын эхний өдрийн 08 цагийн 60 түвшиний агаарын температур, хувийг чийг, салхины хэвтээ болон босоо байгуулагчын мэдээг татан авч АМЕОУЗ-ийн 30 түвшин рүү буулгалт хийж АМЕОУЗ-ийн анхны нөхцлийг бэлтгэв.

Хүснэгт 8-д АМЕОУЗ-ийн физик схем орон зайн нарийвчлэлийг үзүүлэв. Тус загварыг 1.9x2.5° гридийн цэгийн алхамтайгаар (ойролцоогоор 200x278км) симуляци хийв (Зураг 103).

Хүснэгт 8. АМЕОУЗ-ийн физик схем, орон зайн нарийвчлал

| Загварын физик схем | | |
|-----------------------|------------------------|--|
| Орон зайн нарийвчлал | Хэвтээ | 96*144 grid, ~200*278 km 1.9*2.5° |
| | Босоо | 30 hybrid sigma-pressure levels (top 3.64347 mb) |
| Чийгийн процесс | Хүчтэй конвекц | Zhang and McFarlane (1995) |
| | Сул конвекц | Park and Bretherton (2009) |
| Цацраг | Богино долгионт цацраг | Solomon and Qiang (2005) |
| | Урт долгионт цацраг | Kiehl and Briegleb (1991) |
| ХҮД | Хязгаарын үе давхарга | Mass spectrometer-Incoherent Scatter model (Hedin, 1987, 1991) |
| Газар бүрхэвчийн схем | | NCAR Land surface model 2 (Bonan et al 2002) |

Аливаа АМЕОУЗ-ийн орон зайн нарийвчлалаас газрын гадаргын өндөршил шууд хамаарах бөгөөд өндөр нарийвчлалтай торын зангилаа сонговол газрын гадаргын өндөршил мөн адил сайжирдаг. Зураг 103-т АМЕОУЗ-ийн өндөршлийг үзүүлэв. Зураг 3a нь өндөр нарийвчлалтай торын зангилааны өндөршил (0.23x0.31°), Зураг 3b нь энгийн нарийвчлалтай торын зангилааны өндөршил (1.9x2.5°) бөгөөд бид хэдий өндөр нарийвчлалтай торын зангилаа сонгоно төдий чинээ загварын үр дүн сайн байна. Гэсэн хэдий ч динамик загварын бодолтыг орон зайн 3 хэмжээс, мөн хугацааны гээд нийт 4 хэмжээсээр тооцоо хийдэг тул харьцангуй өндөр хүчин чадалтай тооцоолох компьютер хадгалах төхөөрөмж шаарддаг. Нөгөө талаар энэ нь загварын цаг хугацаа, орон зайн нарийвчлэлийг хязгаарлах хүчин зүйл болдог (П.Гомболүүдэв 2011).



Зураг 103. АМЕОУЗ-ийн өндөршлийн мэдээ а) 0.23x0.31° б) 1.9x2.5°

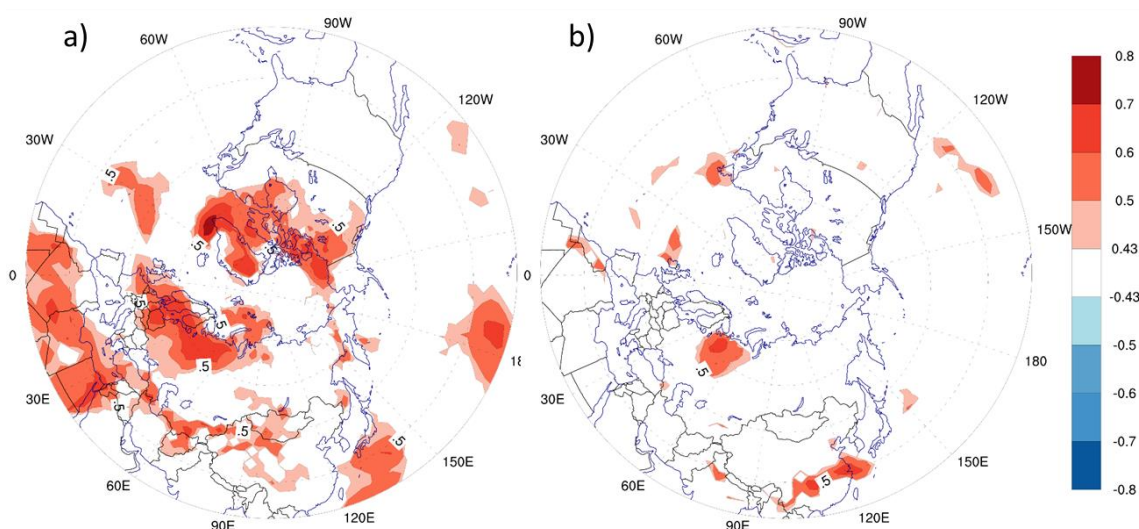
Загварын үр дүнг дүгнэхдээ 1981-2018 оны Европын дунд хугацааны прогнозын төвийн реанализын (Era-interm) мэдээний 0.75x0.75 грид цэгийн

алхамтай сарын дундаж агаарын температур, далайн түвшний даралт 500, 100 гПа-ийн геопотенциал өндөр, 500, 200гПа түвшний геопотенциал, өндрийн салхины хэвтээ байгуулагчийн мэдээ ашиглав.

АМЕОУЗ-ийн үнэлгээ

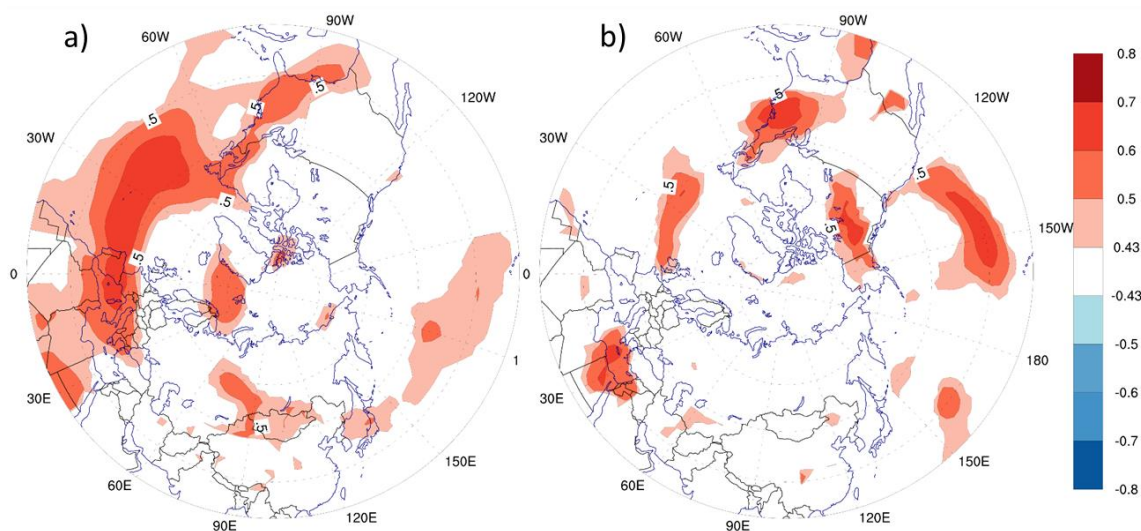
АМЕОУЗ-ийг $1.9 \times 2.5^\circ$ орон зайн нарийвчлалтайгаар 1981-2018 оны 1 дүгээр сарын 1981-2016 оны 7 дугаар сарын сарын дундаж нөхвөр (hindcast) прогнозыг тооцоолж үр дүнг үнэлэв. Тус АМЕОУЗ-ийн 1981-2010 оны агаарын температур, далайн түвшний даралт, 500гПа геопотенциал өндөр, 200гПа геопотенциал өндрийн салхины хэвтээ байгуулагчийн уур амьсгалын норм (1981-2010 оны дундаж) утгыг Европийн дунд хугацааны прогнозын төвийн анализ мэдээтэй шугаман корреляцийн коэффициент, аномалийн орон зайн корреляцийн коэффициент болон уур амьсгалын дундаж утгыг харьцуулж дүгнэлт гаргав.

Зураг 104-т 1 болон 7 дугаар сарын АМЕОУЗ-ийн 1981-2018 оны агаарын температурыг европийн дунд хугацааны прогнозын төвийн агаарын температурын тоон анализ мэдээтэй шугаман корреляцийн коэффициентийг тооцоолж зураглав. 1 дүгээр сарын агаарын температурын шугаман корреляцийн коэффициент баруун европ болон хойд америкийн хойд хэсгээр 0.4-0.8, манай орныхнх нутгаар 0.4-0.6-ийн хооронд байгаа бөгөөд статистик үнэмшил нь 99% байна. Харин 7 дугаар сарын температурын шугаман корреляцийн коэффициентийн статистик үнэмшил бага байна.



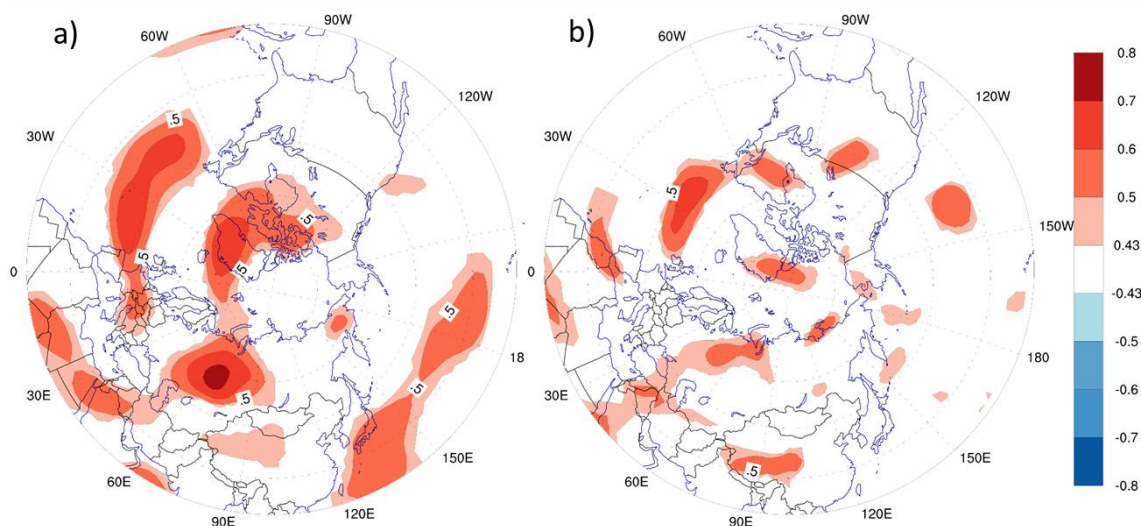
Зураг 104. 1 болон 7 дугаар сарын АМЕОУЗ, тоон анализын агаарын температурын шугаман корреляцийн коэффициент (Статистик үнэмшил 99% -ийг будав)

Зураг 105-т 1 болон 7 дугаар сарын АМЕОУЗ-ийн 1981-2018 оны далайн түвшний даралтыг европийн дунд хугацааны прогнозын төвийн далайн түвшний даралтын тоон анализ мэдээтэй шугаман корреляцийн коэффициентийг тооцоолж зураглав. 1 дүгээр сард АМЕОУЗ хойд Атлантын далай дээрх Азорын их даралтын орны бүс нутгийн далайн түвшний даралтыг сайн тооцоолж байгаа бөгөөд шугаман корреляцийн коэффициент 0.4-0.7 –ийн хооронд байна. Харин манай орны бүс нутаг болон баруун хойд хэсгээр шугаман корреляцийн коэффициент 0.4-0.5 хооронд байгаа бөгөөд Сибирийн их даралтын орныг маш сайн тооцоолж байна гэж үзэж болохоор байна. Харин 7 дугаар сард Исландын бага даралтын орон болон Хавайн их даралтын орны бүс нутагт статистик үнэмшил өндөртөйгөөр тооцоолж байна (Зураг 105).



Зураг 105. 1 (a) болон 7 (b) дугаар сарын АМЕОУЗ, тоон анализын далайн түвшний даралтын шугаман корреляцийн коэффициент (Статистик үнэмшил 99% -ийг будав)

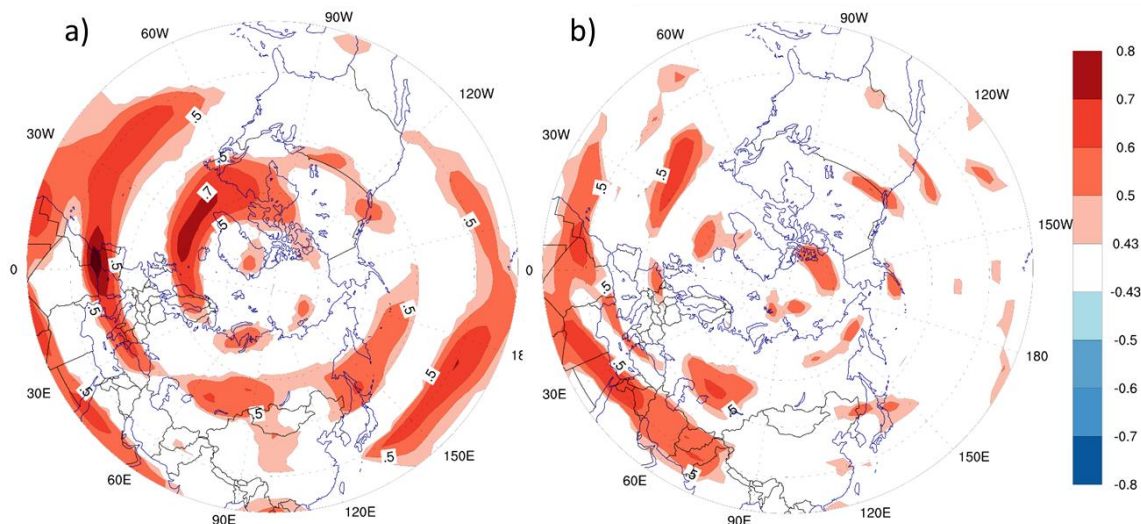
Зураг 106-д 1 болон 7 дугаар сарын АМЕОУЗ-ийн 1981-2018 оны 500 гПа өндрийг Европийн дунд хугацааны прогнозын төвийн 500 гПа өндрийн тоон анализ мэдээтэй шугаман корреляцийн коэффициентийг тооцоолж зураглав. 1 дүгээр сард АМЕОУЗ хойд Атлантын далай, Гренланд болон баруун сибирийн 500 гПа өндрийг статистик үнэмшил өндөртэйгээр тооцоолж байна. Шугаман корреляцийн коэффициент 0.4-0.8-ийн хооронд байгаа бөгөөд Урал орчмын бүс нутагт өндөр хамааралтай тооцоолж байна. Харин зүүн Азийн бага даралтын орныг газар нутгийн хувьд бага тооцоолж байна. 7 дугаар сард хойд Атлантын далайд статистик үнэмшил сайн байгаа хэдий ч бусад нутгаар бага байна (Зураг 106).



Зураг 106. 1 (a) болон 7 (b) дугаар сарын АМЕОУЗ, тоон анализын 500 гПа өндрийн шугаман корреляцийн коэффициент (Статистик үнэмшил 99% -ийг будав)

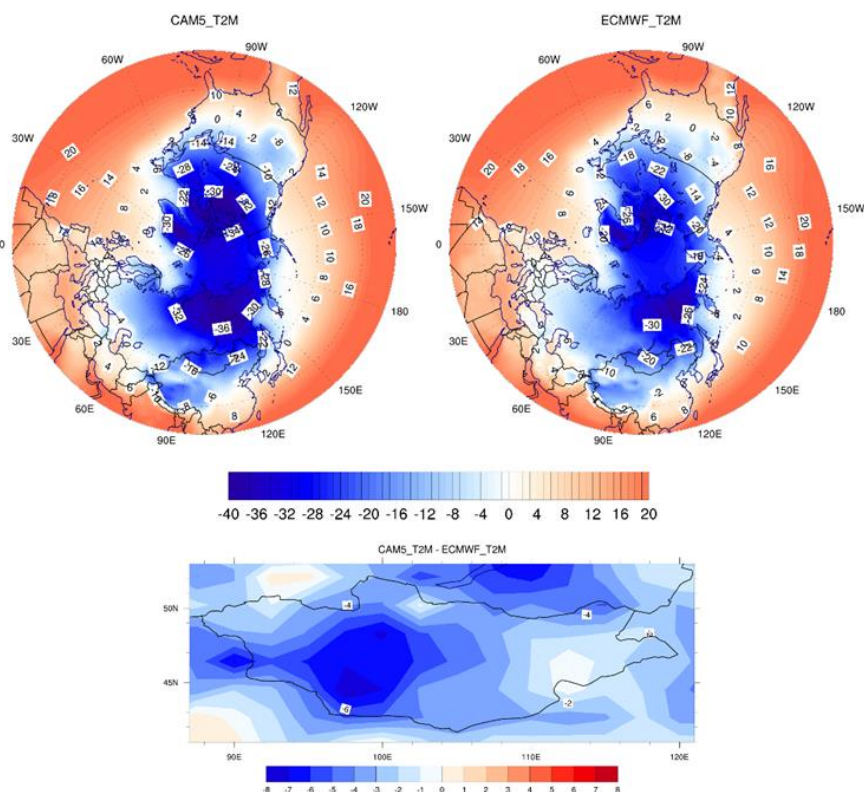
Зураг 107-д 1 болон 7 дугаар сарын АМЕОУЗ-ийн 1981-2018 оны 200 гПа өндрийн салхины хэвтээ байгуулагчийг европийн дунд хугацааны прогнозын төвийн 200 гПа өндрийн салхины хэвтээ байгуулагчийн тоон анализ мэдээтэй шугаман корреляцийн коэффициентийг тооцоолж зураглав. 1 дүгээр сард АМЕОУЗ хойд Туйлын болон Субтропикийн олгойдох урсгалыг статистик үнэмшил өндөртэйгээр тооцоолж байна. Шугаман корреляцийн коэффициент

0.4-0.9 –ийн хооронд байна. Ялангуяа хойд Атлантын далай дээрх хойд туйлын болон субтропикийн олгойдох урсгалыг маш сайн тооцоолж байна. 7 дугаар сард хойд АМЕОУЗ хойд Туйлын болон Субтропикийн олгойдох урсгалыг статистик үнэмшилтэйгээр тооцоолж байгаа хэдий ч газар нутгийн хувьд бага байна (Зураг 107).



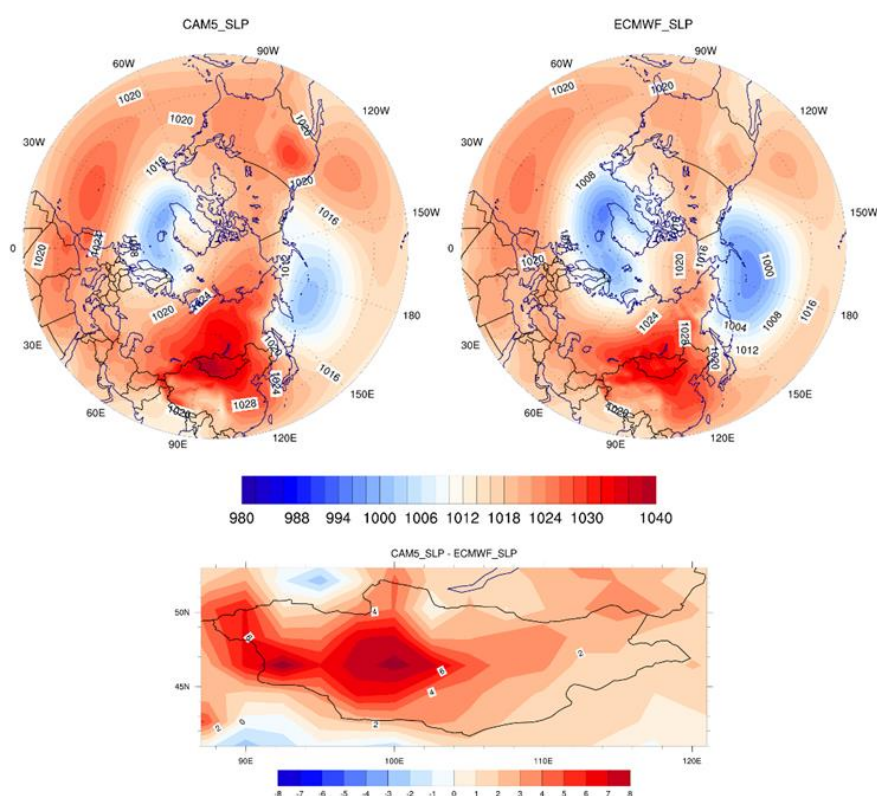
Зураг 107. 1 (а) болон 7 (b) дугаар сарын АМЕОУЗ, тоон анализын 200 гПа өндрийн салхины хэвтээ байгуулагчын шугаман корреляцийн коэффициент (Статистик үнэмшил 99% -ийг будав)

Зураг 108-т АМЕОУЗ, тоон анализын 1981-2010 оны 1 дүгээр сарын агаарын температурын уур амьсгалын дундаж болон зөрүүг харуулав. АМЕОУЗ нь агаарын температурыг төв болон зүүн Сибир, манай орны бүс нутагт харьцангуй хүйтэн өгч байна. Ялангуяа Манай орны баруун бүс нутгаар 0-7 градус хүйтэн байна. Мөн түүнчлэн баруун болон төв сибир дээр 6-8 градус хүйтэн байна.



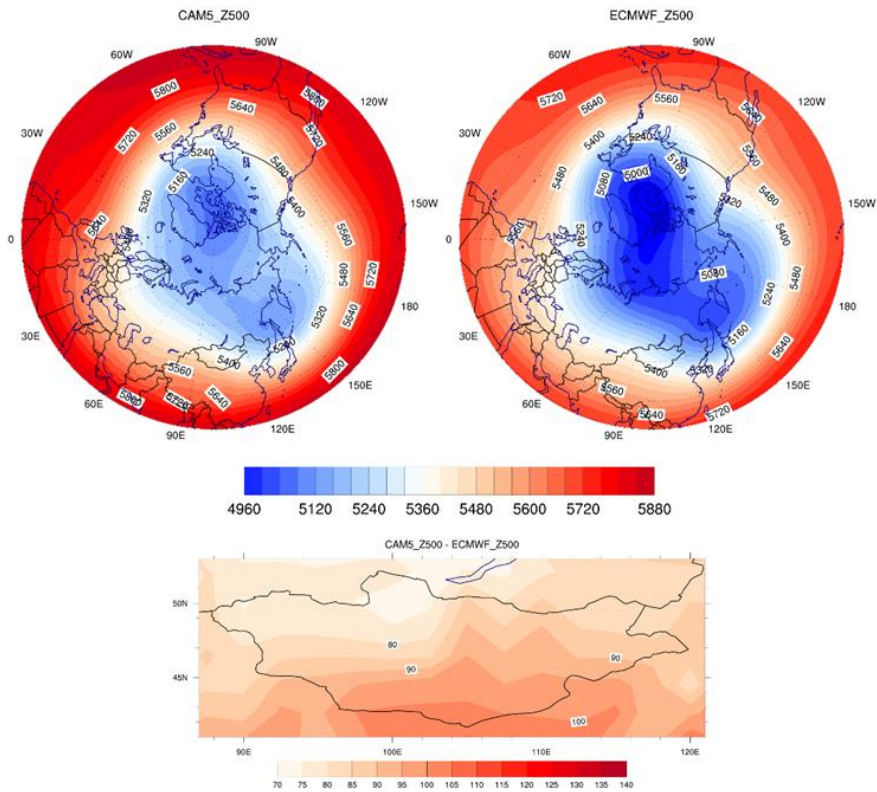
Зураг 108. 1 дүгээр сарын АМЕОУЗ, тоон анализын агаарын температурын уур амьсгалын норм (1981-2010), зөрүү

Зураг 109-т АМЕОУЗ, тоон анализын 1981-2010 оны 1 дүгээр сарын далайн түвшний даралтын уур амьсгалын дундаж болон зөрүүг харуулав. Далайн түвшний даралтын хувьд АМЕОУЗ Сибирийн их даралтын орныг Сибирийн бүс нутагт хүчтэй, Исланд болон Алеутын бага даралтын орныг сул тооцоолсон байна. Энэ нь Сибирийн бүс нутагт агаарын температур хүйтэн байх нөхцлийг бүрдүүлсэн байна. Манай орны баруун хагаст далайн түвшний даралтыг 1-9 гПа-аар их тооцоолсон нь агаарын температурын сөрөг аномалтай таарч байна (Зураг 109). Исландын бага даралтын орон сул жилүүдэд Атлантын далайгаас Евро-Ази-ийн бүс нутагруу зөөгдөх дулаан чийгтэй агаар багасах тул хүйтэн хахир өвөл болох үндсэн нөхцөл бүрддэг байна (А.Даваадорж, Л.Оюунжаргал 2017).



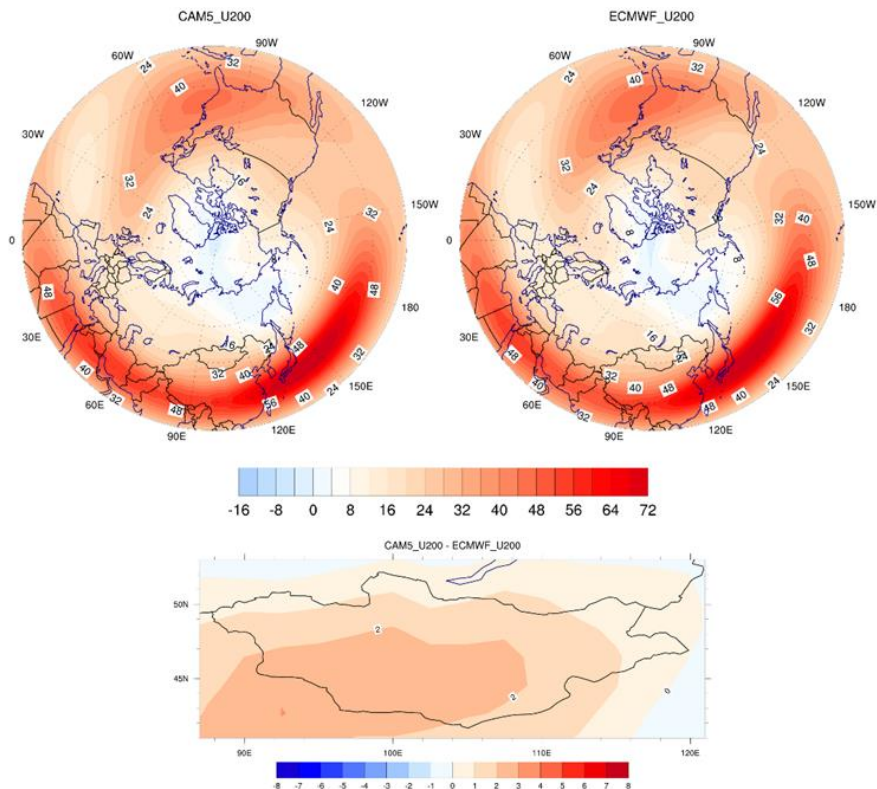
Зураг 109. 1 дүгээр сарын АМЕОУЗ, тоон анализын далайн түвшний даралтын уур амьсгалын норм (1981-2010), зөрүү

Зураг 110-т АМЕОУЗ, тоон анализын 1981-2010 оны 1 дүгээр сарын 500гПа өндрийн уур амьсгалын дундаж болон зөрүүг харуулав. АМЕОУЗ дэлхийн бөмбөрцгийн хойд хагаст дахь нам өндөрт туйлын циклоныг маш сул өгч байна. Энэ нь Канадын хойд хэсэг дэх циклон, Каренц болон Карын тэнгис дэх салбар хотос мөн Зүүн Азийн бага даралтын орон дээр илэрч байна (Зураг 11). Харин Уралын гүвээг эрчимтэй тооцоолсон нь Сибирийн их даралтын орон идэвхжиж манай оронд агаарын температурын сөрөг аномал тогтох нөхцөл бүрдсэн байна.



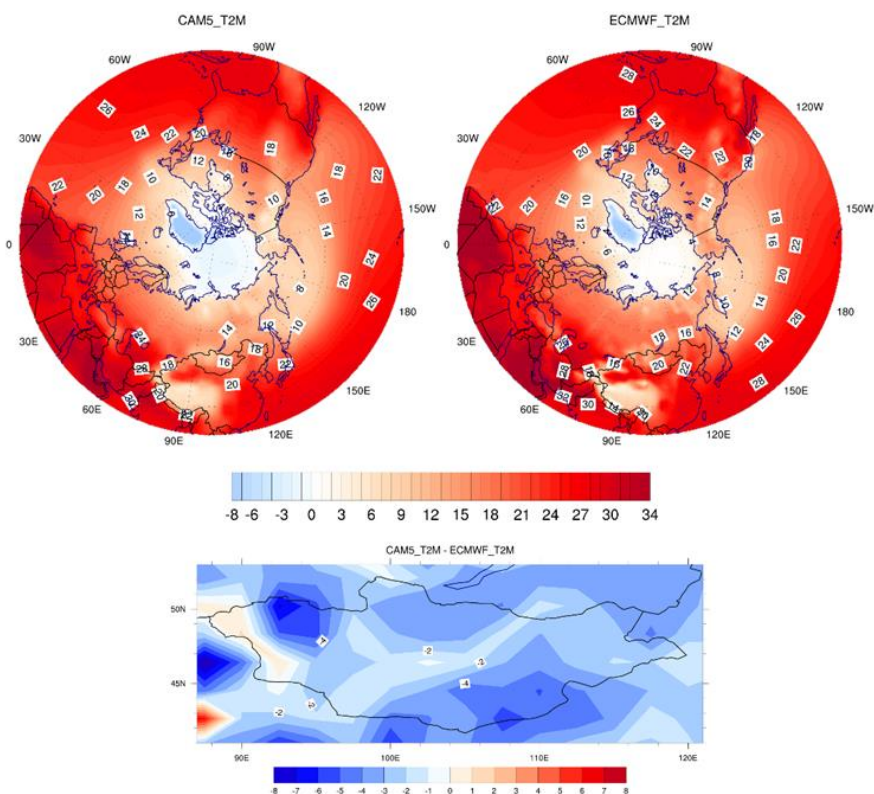
Зураг 110. 1 дүгээр сарын АМЕОУЗ, тоон анализын 500 гПа өндрийн уур амьсгалын норм (1981-2010), зөрүү

Зураг 111-т АМЕОУЗ, тоон анализын 1981-2010 оны 1 дүгээр сарын 200гПа салхины хэвтээ байгуулагчийн уур амьсгалын дундаж болон зөрүүг харуулав. АМЕОУЗ 1 дүгээр сарын Зүүн Азийн олгойдох урсгалыг эрч хүч болон газар нутгийн хувьд сайн тооцоолж байна.



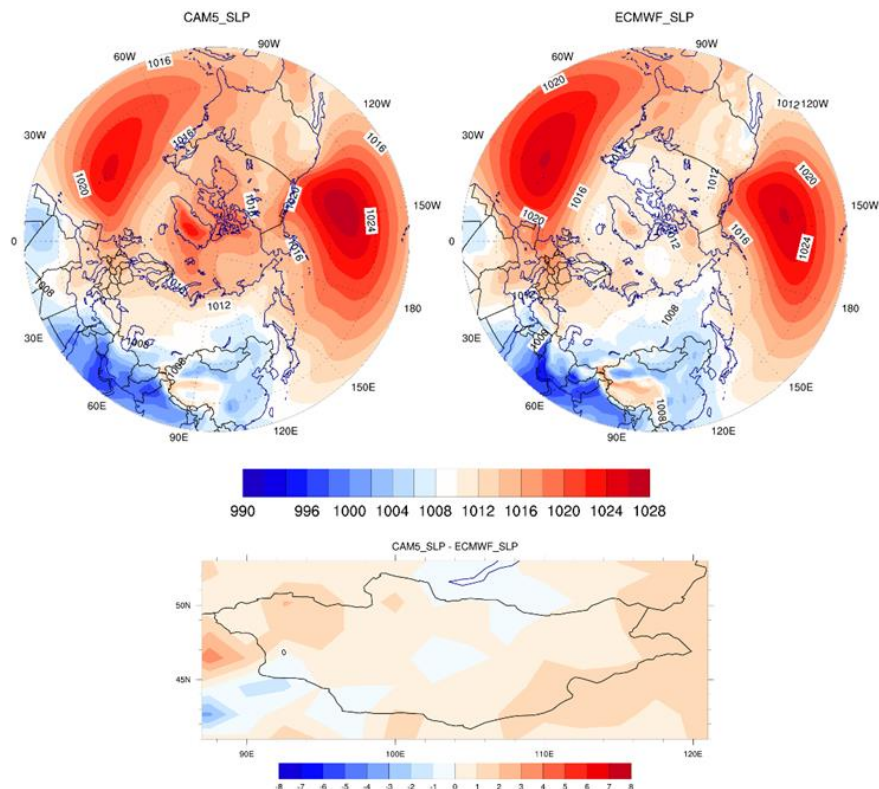
Зураг 111. 1 дүгээр сарын АМЕОУЗ, тоон анализын 200 гПа өндрийн салхины хэвтээ байгуулагчийн уур амьсгалын норм (1981-2010), зөрүү

Зураг 112-т АМЕОУЗ, тоон анализын 1981-2010 оны 7 дугаар сарын агаарын температурын уур амьсгалын дундаж болон зөрүүг харуулав. АМЕОУЗ 7 дугаар сарын агаарын температурыг дэлхийн хойд хагас бөмбөрцөгт орон зайн хувьд сайн тооцоолж байгаа хэдий ч тоон анализаас хүйтэн өгч байна. Манай орны бүс нутгаар 0-6 градус хүйтэн өгч байна.



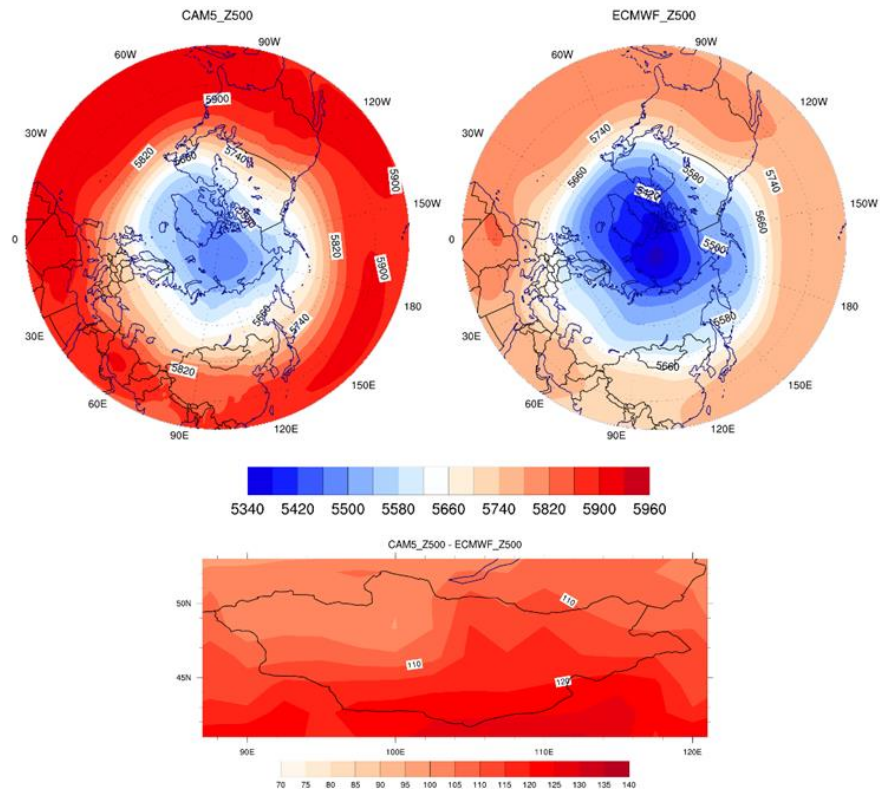
Зураг 112. 7 дугаар сарын АМЕОУЗ, тоон анализын агаарын температурын уур амьсгалын норм (1981-2010), зөрүү

Зураг 113-т АМЕОУЗ, тоон анализын 1981-2010 оны 7 дугаар сарын далайн түвшний даралтын уур амьсгалын дундаж болон зөрүүг харуулав. АМЕОУЗ хойд туйлын бүс нутаг болон Хавайн их даралтын орныг орон зай болон эрчимийн хувьд их тооцоолсон байна. Харин Атлантын далай дээрх Азорын их даралтын орныг орон зөй болон эрчимийн хувьд сул тооцоолсон байна.



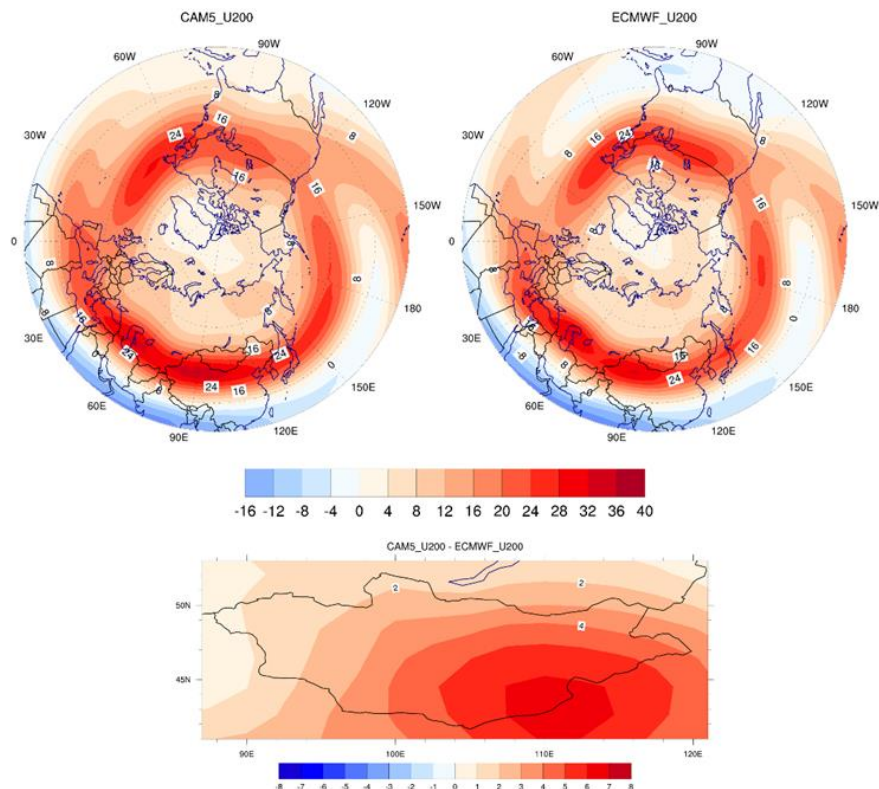
Зураг 113. 7 дугаар сарын АМЕОУЗ, тоон анализын далайн түвшний даралтын уур амьсгалын норм (1981-2010), зөрүү

Зураг 114-т АМЕОУЗ, тоон анализын 1981-2010 оны 7 дугаар сарын 500гПа өндрийн уур амьсгалын дундаж болон зөрүүг харуулав. АМЕОУЗ туйлын циклоныг орон зай, эрчимийн хувьд маш бага тооцоолсон байна. Харин уртрагын 60°-аас урагш бүх нутагт 500гПа өндрийг маш их тооцоолсон байна. Манай орны бүс нутгаар 60-120 метр хүртэл их тооцоолсон байна.



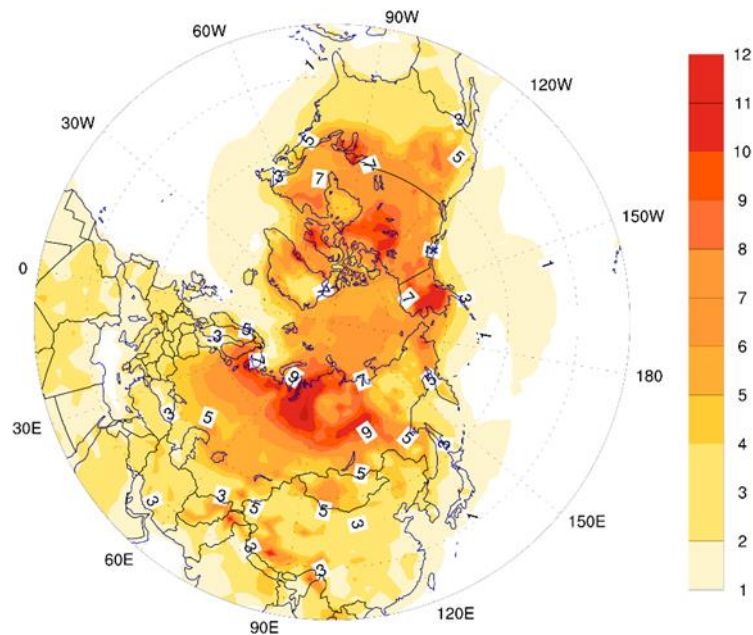
Зураг 114. 7 дугаар сарын АМЕОУЗ, тоон анализын 500 гПа өндрийн уур амьсгалын норм (1981-2010), зөрүү

Зураг 115-т АМЕОУЗ, тоон анализын 1981-2010 оны 7 дугаар сарын 200гПа өндрийн салхины хэвтээ байгуулагчын уур амьсгалын дундаж болон зөрүүг харуулав. АМЕОУЗ олгогдох урсгалыг орон зайн хувьд сайн тооцоолсон хэдий ч Евро-Азийн бүс нутгаар эрчимийн хувьд их тооцоолсон байна. Харин уртрагын 60° –аас урагш бүх нутагт 500гПа өндрийг маш их тооцоолсон байна. Манай орны бүс нутгаар 1-6 м/с хүртэл их тооцоолсон байна.

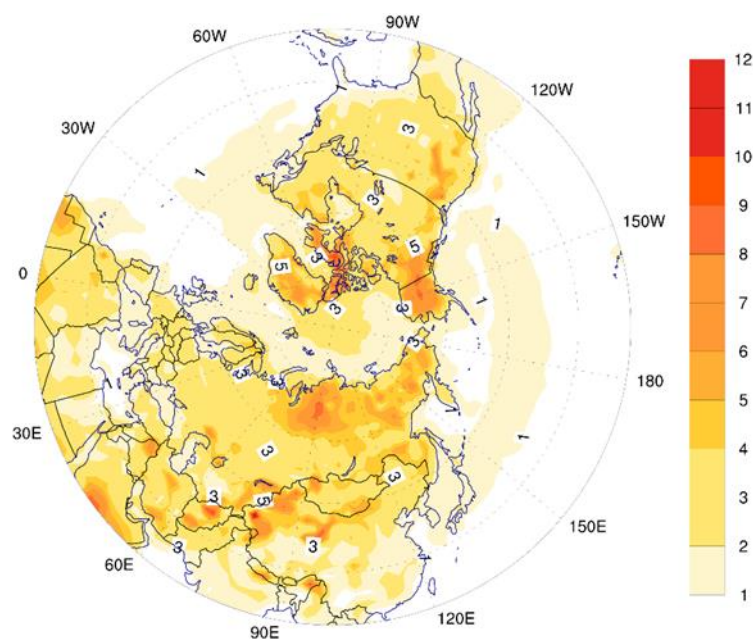


Зураг 115. 7 дугаар сарын АМЕОУЗ, тоон анализын 200 гПа өндрийн салхины хэвтээ байгуулагчийн уур амьсгалын норм (1981-2010), зөрүү

Зураг 116-д 1981-2018 оны 1 дүгээр сарын агаарын температурын дэлхийн хойд хагас бөмбөрцгийн дундаж квадрат алдааг үзүүлэв. Евро-Азийн эх газар, Канадын хойд хэсгээр хамгийн их алдаатай байна. Манай орны бүс нутгаар 3-7 градусын алдаатай байна. Зураг 117-т 1981-2016 оны 7 дугаар сарын агаарын температурын дэлхийн хойд хагас бөмбөрцгийн дундаж квадрат алдааг үзүүлэв. Мөн адил Евро-Азийн эх газар, Канадын хойд хэсгээр хамгийн их алдаатай байна. Манай орны бүс нутгаар 3-5 градусын алдаатай байна.



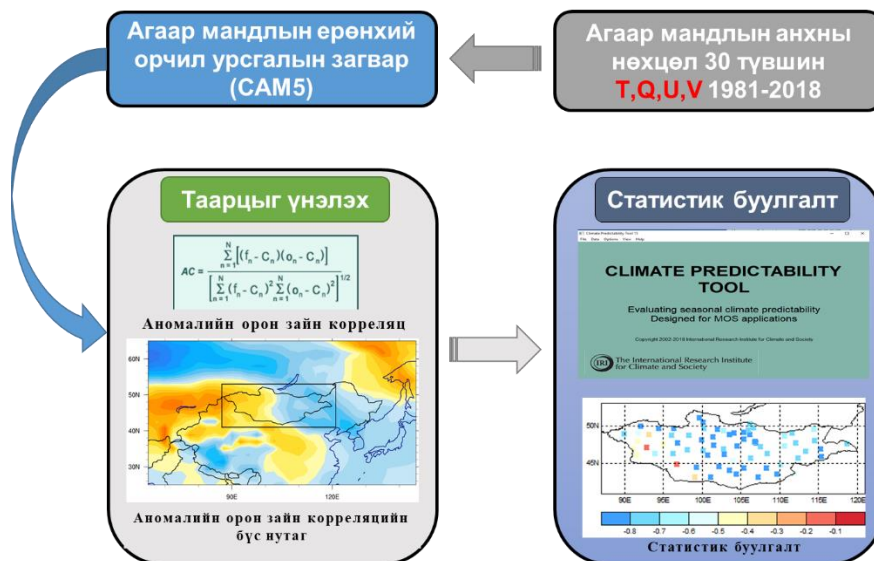
Зураг 116. 1981-2018 оны 1 дүгээр сарын АМЕОУЗ, тоон анализын агаарын температурын дундаж квадрат алдаа



Зураг 117. 1981-2016 оны 7 дугаар сарын АМЕОУЗ, тоон анализын агаарын температурын дундаж квадрат алдаа

2.5.2 Динамик болон статистик тайлалын аргаар мэдээний орон зайн нарийвчлалыг сайжруулах

Аливаа АМЕОУЗ ойролцооллын аргыг өөртөө агуулж байдаг тул тооцооны тодорхой алдаатай байдаг. Энэхүү алдааг арилгахын тулд загварын гаралтын статистик (MOS, model output statistics) концепцийг ашиглан Монгол орноор жигд тархсан 70 цаг уурын станцын 1 болон 7 дугаар сарын дундаж температурын статистик буулгалтыг хийв. Статистик буулгалт хийхдээ Зураг 118-т үзүүлсэн алхамаар тооцоог хийв.



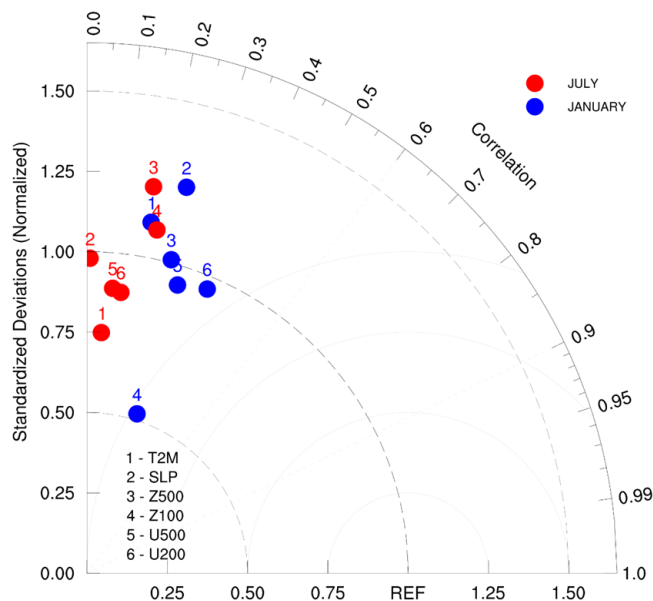
Зураг 118. Статистик буулгалтын алхам

АМЕОУЗ-ийг 1.9x2.5° гридийн цэгийн алхамтайгаар 1981-2018 оны 1 болон 7 дугаар сарын дундаж нөхвөр прогнозыг бодуулж 2 метрийн түвшний агаарын температур, далайн түвшний даралт, 500, 200гПа түвшний геопотенциал өндрийн салхины хэвтээ байгуулагч, 500, 100гПа түвшний геопотенциал өндрөөр Тайлорын диаграм байгуулж загварын таарцыг үнэлэв. 1 дүгээр сарын агаар мандлын хувьсагчуудын АОЗКК нь 0.18-0.39 хооронд байгаа бөгөөд агаар мандлын дээд үе давхаргад хамгийн өндөр байна. Ялангуяа 200гПа геопотенциал өндрийн салхины хэвтээ байгуулагчын АОЗКК нь 0.39 байна. Харин 2 метрийн түвшний агаарын температур хамгийн муу АОЗКК нь 0.18 байна. 7 дугаар сарын агаар мандлын хувьсагчуудын АОЗКК нь 0.06-0.20 хооронд байгаа бөгөөд хамгийн өндөр нь 100 геопотенциал өндрийн АОЗКК 0.20 байна. Харин газрын гадарга орчимд хамгийн муу АОЗКК нь 0.01-0.06 байна (Хүснэгт 9).

Хүснэгт 9. АМЕОУЗ-ийн АОЗКК болон стандарт хазайц

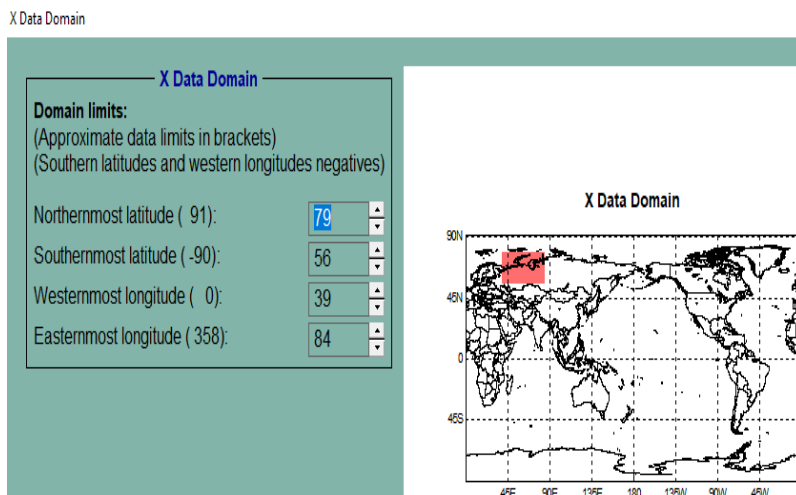
| | | T2M | SLP | Z500 | Z100 | U500 | U200 |
|--------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| 1 дүгээр сар | АОЗКК | 0.18 | 0.25 | 0.26 | 0.30 | 0.30 | 0.39 |
| | Стандарт хазайц | 1.11 | 1.24 | 1.01 | 0.52 | 0.94 | 0.96 |
| 7 дугаар сар | АОЗКК | 0.06 | 0.01 | 0.17 | 0.20 | 0.09 | 0.12 |
| | Стандарт хазайц | 0.75 | 0.98 | 1.22 | 1.09 | 0.89 | 0.88 |

1-р сард АМЕОУЗ газрын гадарга орчимд агаар мандлын хувьсагчуудыг их агаар мандлын дээд давхаргад бага өгч байна. Ялангуяа 100 геопотенциал өндрийн стандарт хазайц 0.52 байгаа нь өвлийн улиралд АМЕОУЗ нь манай орны бүс нутагт агаар мандлын дээд давхаргын геопотенциал өндрийг маш бага тооцоолдог гэдэг дүгнэлтэнд хүрч болохоор байна. Харин агаар мандлын дунд хэсэгт (500 геопотенциал өндөр) стандарт хазайц нь 1.01 байгаа нь АМЕОУЗ геопотенциал өндрийг сайн тооцоолж байна гэж үзэж байна. 7 дугаар сард АМЕОУЗ далайн түвшний даралтын утгыг сайн тооцоолдог бол 2 метрийн түвшний агаарын температур, өндрийн салхины хэвтээ байгуулагчуудын утгыг бага харин геопотенциал өндрүүдийн утгыг их тооцоолдог байна. 7 дугаар сард АМЕОУЗ далайн түвшний даралтын утгыг сайн тооцоолдог бол 2 метрийн түвшний агаарын температур, өндрийн салхины хэвтээ байгуулагчуудын утгыг бага харин геопотенциал өндрүүдийн утгыг их тооцоолдог байна (Зураг 119).



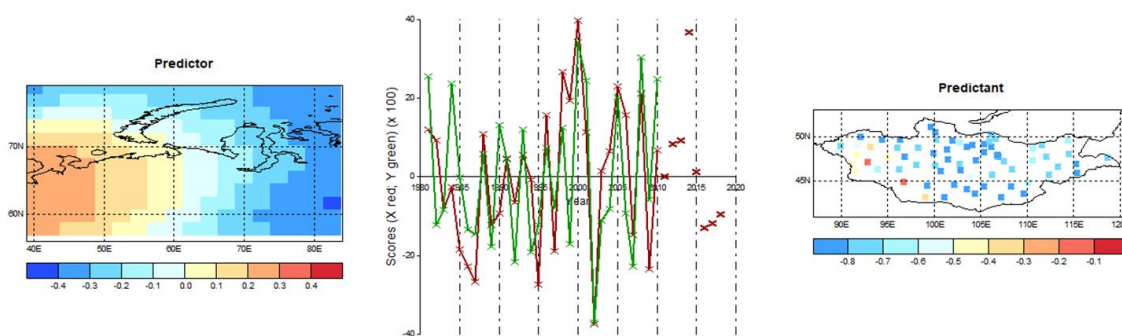
Зураг 119. АМЕОУЗ-ийн Тайлорын диаграм

1981-2010 оны сургалтын цуваанд каноник корреляцын аргыг ашиглан предиктороор АМЕОУЗ-ийн 1 дүгээр сарын 200 геопотенциал өндрийн салхины хэвтээ байгуулагч предиктантаар Монгол орны 70 станцын сарын дундаж агаарын температурыг авч регрессийн тэгшитгэл босгов. Уг тэгшитгэлийг босгохдоо байгалийн ортогональ функцийн 1-5 хүртэлх хувилбараар Монгол орны бүс нутаг, даралтын үйлчлэлийн төвүүд, өмнөдийн хэлбэлзэл, евроазийн бүс нутаг дээр предикторын грид цэгийг олон хувилбараар өөрчлөн 1 дүгээр сарын Монгол орны агаарын температуртай хамгийн өндөр хамааралтай дараах бүс нутгийг сонгож авав (Зураг 120). Энэ бүс нутаг Монгол орны температур хоорондын каноник корреляцын хамаарал нь 0.64 байна.

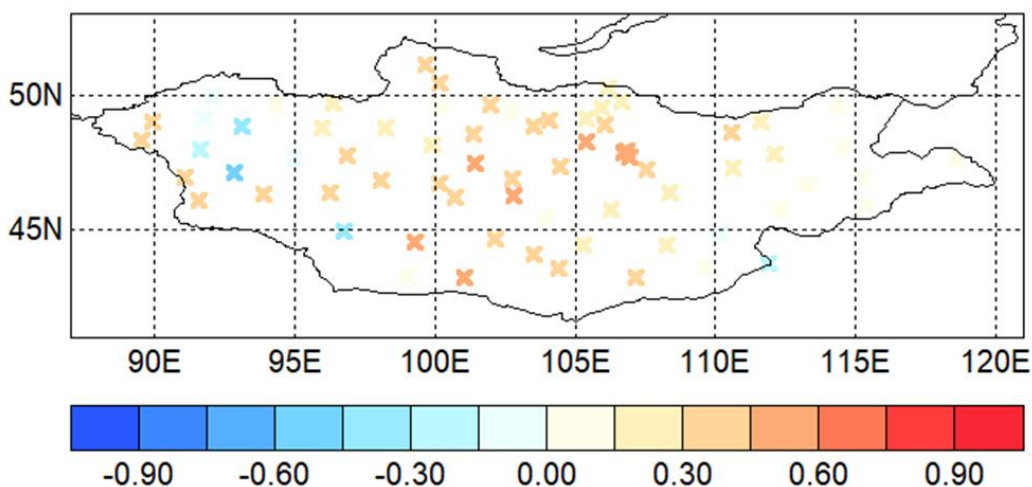


Зураг 120. 1 дүгээр сарын статистик буулгалтанд сонгогдсон бүс нутаг

Энэхүү сонгогдсон бүс нутаг нь Уралын нурууны баруун болон зүүн хэсэг дэх барууны болон зүүний салхины зааг бүс нутаг бөгөөд каноник корреляцын анализ Монгол орны ихэнх нутгаар өндөр сөрөг хамааралтай байна. Харин Алтайн өвөр говь, Их нууруудын хотгорын зарим газраар бага зэрэг сулавтар сөрөг хамааралтай байна (Зураг 121). Харин предиктор болон предиктантын хоорондын шугаман хамаарал нутгийн төв хэсгээр өндөр байна (Зураг 122).



Зураг 121. 1 дүгээр сарын каноник корреляцын анилиз (1981-2010)



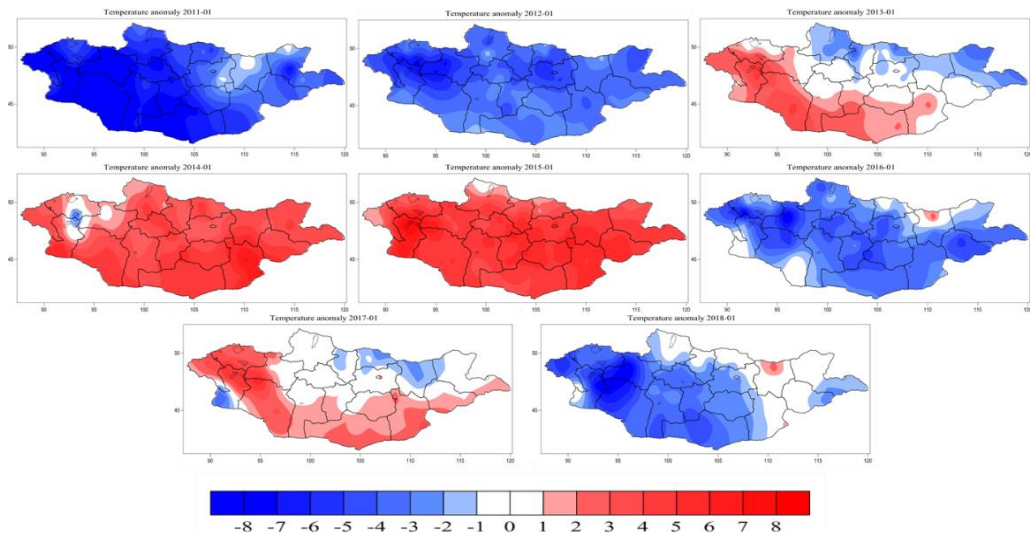
Зураг 122. 1 дүгээр сарын предиктор болон предиктант хоорондын хамаарал (1981-2010)

Каноник корреляцын аргаар 2011-2018 оны 1 дүгээр сарын агаарын температурыг статистик буулгалт хийж таарцыг дүгнэв (Хүснэгт 10) Прогнозын дундаж таарц 39.77 байгаа бөгөөд хамгийн өндөр нь 50.36 нь прогнозод ашиглах боломжгүй гэж үзэж байна. Харин ансамбль гишүүнүүд нь харилцан адилгүй үр дүн өгч байна.

Хүснэгт 10. 1 дүгээр сарын статистик буулгалтын таарц

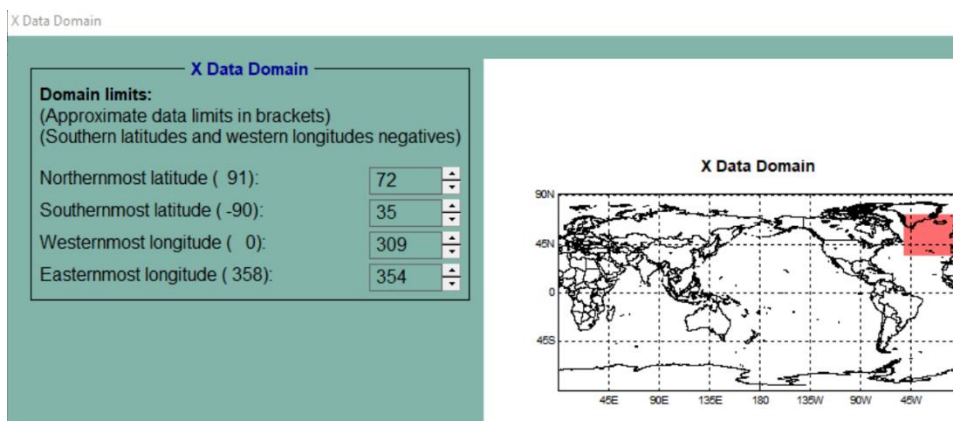
| | Прогноз | Ансамбль гишүүнүүд | | | | | | | | |
|--------|---------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 2011 | 26.09 | 99.28 | 99.28 | 99.28 | 77.17 | 26.09 | 26.09 | 17.75 | 0.72 | 0.72 |
| 2012 | 25 | 100 | 100 | 100 | 98.91 | 25 | 25 | 21.74 | 0 | 0 |
| 2013 | 52.17 | 44.2 | 44.2 | 44.2 | 51.81 | 52.17 | 52.17 | 48.91 | 55.8 | 55.8 |
| 2014 | 37.32 | 2.9 | 5.7 | 26.09 | 27.17 | 37.32 | 97.1 | 97.1 | 97.1 | 97.1 |
| 2015 | 50.36 | 0.72 | 5.8 | 23.91 | 26.09 | 50.36 | 99.28 | 99.28 | 99.28 | 99.28 |
| 2016 | 32.61 | 93.48 | 93.48 | 93.48 | 58.33 | 32.61 | 32.61 | 17.75 | 6.52 | 6.52 |
| 2017 | 51.09 | 36.23 | 36.23 | 52.17 | 51.09 | 51.09 | 55.43 | 63.77 | 63.77 | 63.77 |
| 2018 | 43.48 | 84.78 | 84.78 | 84.78 | 47.1 | 43.48 | 43.12 | 17.39 | 15.22 | 15.22 |
| Дундаж | 39.77 | 57.70 | 58.68 | 65.49 | 54.71 | 39.77 | 53.85 | 47.96 | 42.30 | 42.30 |

Ансамблейн 1-ээс 3 дахь гишүүн нь 2011, 2012, 2016, 2018 оны экстрем хүйтэн утгыг сайн прогнозолж байгаа бол 6-аас 9 дэх гишүүн нь 2014, 2015 оны экстремаль дулаан утгыг сайн прогнозолж байна.

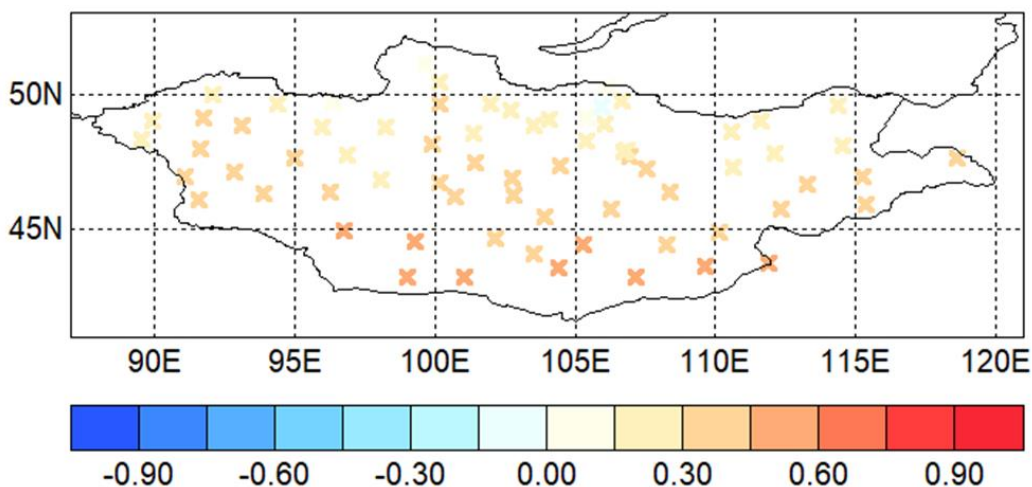


Зураг 123. 2011-2018 оны 1 дүгээр саруудын температурын аномаль

Харин 2013 болон 2017 оны нутгийн баруун өмнөд хэсгээр дулаан зүүн хойд хэсгээр хүйтэн аномалийг ансамбль гишүүнүүд 36.23-63.77% -ийн хооронд прогнозолж байна. 7 дугаар сарын статистик буулгалтанд Исландын арал орчимийн 100ГПа геопотенциал өндөр сонгогдсон бөгөөд каноник корреляцын хамаарал нь 0.56 байна (Зураг 124).



Зураг 124. 7 дугаар сарын статистик буулгалтанд сонгогдсон бүс нутаг



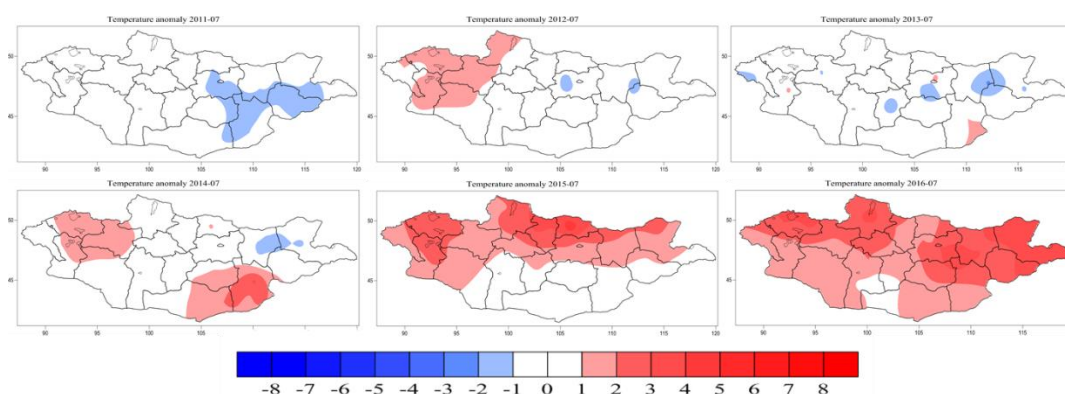
Зураг 125. 7 дугаар сарын предиктор болон предиктант хоорондын хамаарал (1981-2010)

Харин предиктор болон предиктантын хоорондын шугаман хамаарал нутгийн өмнөд хэсгээр бага зэрэг өндөр байна (Зураг 125).

Каноник корреляцын аргаар 2011-2016 оны 7 дугаар сарын агаарын температурыг статистик буулгалт хийж таарцыг дүгнэв (Хүснэгт 3). 7 дугаар сарын статистик буулгалтын дундаж таарц 68.96, 9 ансамблийн 6 нь 60-аас дээш хувийн таарцтай байна. (Хүснэгт 11).

Хүснэгт 11. 7 дугаар сарын статистик буулгалтын таарц

| | Прогноз | Ансамбль гишүүнүүд | | | | | | | | | |
|--------|---------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| 2011 | 86.96 | 58.70 | 86.96 | 86.96 | 86.96 | 86.96 | 86.96 | 53.26 | 43.48 | 42.75 | 42.75 |
| 2012 | 74.64 | 59.78 | 80.43 | 80.43 | 80.43 | 80.43 | 74.64 | 58.33 | 58.70 | 58.70 | 58.70 |
| 2013 | 98.91 | 49.28 | 95.29 | 98.91 | 98.91 | 98.91 | 98.91 | 90.22 | 54.35 | 50.72 | 50.72 |
| 2014 | 77.17 | 39.13 | 39.13 | 42.75 | 74.28 | 77.17 | 77.17 | 77.17 | 77.17 | 77.17 | 60.87 |
| 2015 | 47.83 | 16.30 | 47.83 | 47.83 | 47.83 | 47.83 | 47.83 | 81.88 | 83.70 | 84.78 | 84.78 |
| 2016 | 28.26 | 2.17 | 3.62 | 27.90 | 28.26 | 28.26 | 28.26 | 28.26 | 33.70 | 94.57 | 97.83 |
| Дундаж | 68.96 | 37.56 | 58.88 | 64.13 | 69.45 | 68.96 | 68.96 | 64.85 | 58.52 | 68.12 | 65.94 |



Зураг 126. 2011-2016 оны 7 дугаар саруудын температурын аномал

Дүгнэлт

Энэхүү ажлын хүрээнд АМЕОУЗ-ийг 1981-2018 оны 1 дүгээр сар 1981-2016 оны 7 дугаар сарын нөхвөр прогнозыг бодуулж үр дүнг реанализ мэдээтэй харьцуулав. 1981-2018 оны Монгол орны бүс нутаг дахь 1 дүгээр сарын агаарын температур, далайн түвшний даралтын шугаман корреляцын коэффициент 0.43-0.6 байгаа бөгөөд статистик үнэмшил 99% байна. Харин 500гПа өндөрт манай орны өмнөд хэсгээр, 200гПа өндрийн салхины хэвтээ байгуулагч манай орны баруун хагаст шугаман корреляцын коэффициентийн статистик үнэмшил 99% байна. Харин 7 дугаар сарын хувьд төдийлөн өндөр хамаарал өгөхгүй байна.

1981-2010 оны 1 дүгээр сарын уур амьсгалын дундаж зураглалыг хийж харьцуулан үзэхэд АМЕОУЗ нь Уралын гүвээг эрчимтэй тооцоолсноор Сибирийн их даралтын орон эржчимжиж Монгол орны бүс нутагт хүйтэн болох нөхцлийг бүрдүүлсэн байна. 1 дүгээр сарын агаар мандлын хувьсагчуудын АОЗКК нь 0.18-0.39 хооронд байгаа бөгөөд агаар мандлын дээд үе давхаргад хамгийн өндөр байна. Ялангуяа 200 геопотенциал өндрийн салхины хэвтээ байгуулагчын АОЗКК нь 0.39 байна. Харин 2 метрийн түвшний агаарын температур хамгийн муу АОЗКК нь 0.18 байна Сарын нийлбэр хур тунадасны хувьд орон зайн

корреляцийн коэффициент 0.54-0.85 хооронд байгаа хэдий ч өвлийн улирлын хур тунадасыг маш их, бусад улирлын хур тунадасыг маш бага өгч байна.

Каноник корреляцын аргаар 2011-2018 оны 1 дүгээр сарын агаарын температурыг статистик буулгалт хийж таарцыг дүгнэхэд прогнозын дундаж таарц 39.77 байгаа бөгөөд хамгийн өндөр нь 50.36 нь прогнозод ашиглах боломжгүй гэж үзэж байна. Харин прогнозын ансамбль гишүүд харилцан адилгүй үр дүн өгч байна. Ансамблийн 1-ээс 3 дахь гишүүн нь 2011, 2012, 2016, 2018 оны экстремаль хүйтэн утгыг сайн прогнозолж байгаа бол 6-аас 9 дэх гишүүн нь 2014, 2015 оны экстрем дулаан утгыг сайн прогнозолж байна. Каноник корреляцын аргаар 2011-2016 оны 7 дугаар сарын агаарын температурыг статистик буулгалт хийж таарцыг дүгнэхэд прогнозын дундаж таарц 68.96 байгаа бөгөөд прогнозод ашиглах боломжтой гэж үзэж байна.

Цаашид АМЕОУЗ-ын физик схем, агаар мандлын анхны нөхцлийг сайжруулж, алдааг засаж үр дүнд статистик тайлал хийх ажлыг үргэлжлүүлэх нэн шаардлагатай гэж үзэж байна.

2.6 Хиймэл дагуулын мэдээний ассимляци

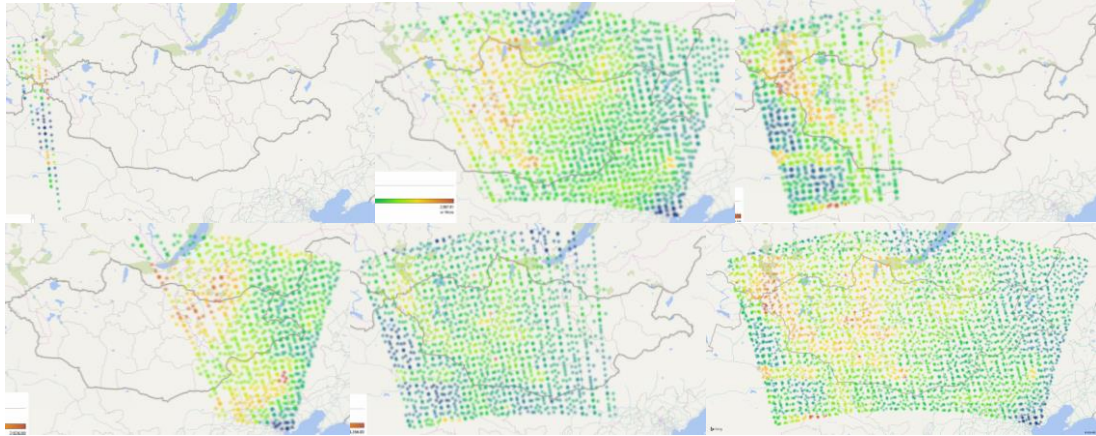
2.6.1 Хиймэл дагуулын радианс мэдээний боловсруулалт

Дэлхий болон бүс нутгийн тоон прогнозын загварууд нь агаар мандлын үзэгдэл процессыг физик хуульд үндэслэн аль болох бодит байдалд хамгийн ойр байхаар загварчлахыг хичээдэг. Гэвч дэлхийн системийн (earth system) хувьд төгс загварчлалд хүрээгүй учир харилцан адилгүй сонирхол, зорилготой эрдэмтдийн судалгааны үр дүнд олон төрлийн харилцан адилгүй загвар схемүүд боловсруулагддаг.

Монгол орны хувьд бүсийн тоон загварыг ашиглан шуурхай үйлчилгээ болон судалгаанд ашиглан агаар мандлийн үзэгдэл процессыг загварчилж ирсэн боловч хувьсах өгөгдлийн ассимиляци түүн доторх хиймэл дагуулын мэдээ, радианс мэдээний ассимляцын чиглэллээр төдийлөн хийсэн туршилт судалгаа ховор байна.

Дэлхийн олон улс орнууд бүсийн тоон загварын үр дүнд ассимляци хийх тэр дундаа хиймэл дагуулын мэдээ ашиглан загварчлалын үр дүнг сайжруулах тал дээр олон ололт амжилт гаргаж хэрэглээнд нэвтрүүлэн өргөн ашиглаж байна. Монгол орны хувьд бүсийн тоон загварын анхны болон захын нөхцөлд хиймэл дагуулын мэдээгээр ассимляци хийснээр загварын чанар сайжирна гэж үзэн энэхүү судалгааны ажлыг хийв.

Туршилтанд шуурхайд ашиглагдаж байгаа Солонгосын цаг уурын байгууллагын дэлхийн хэмжээний загварын (KGUM) үр дүнгийн ойролцоогоор 25км нарийвчлалтай 12 цаг тутмын мэдээ болон Америкийн Орчны прогнозын төвийн GFS загварын үр дүнгийн ойролцоогоор 50 км нарийвчлалтай 6 цаг тутмын мэдээг татан авч ашиглаж байна. Мөн ассимиляцад ашиглагдах ажиглалтын мэдээг Орчны прогнозын үндэсний төв (NCEP) -ийн файл дамжуулах протокол (FTP)-ийн серверээс татан авч ашигласан ба тооцоонд хамрагдсан хиймэл дагуулын мэдээний хэмжилт хийсэн цэгүүдийн тархалтын жишээг хугацааны хувьд сонгон авсан хамрах бүс нутгаар харуулав (Зураг 127).

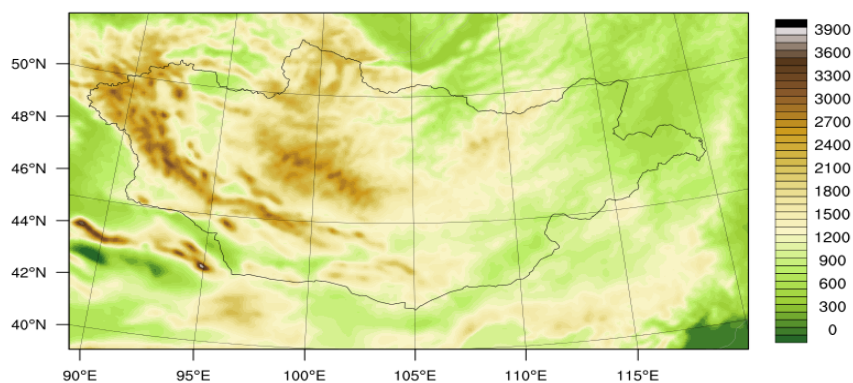


Зураг 127. Хиймэл дагуулын радианс мэдээний 2016 оны 7 дугаар сарын 04-ий өдрийн 09-15 цагийн хооронд Монгол орныг дайран өнгөрсөн хэмжилтын тархалт (харгалзан 09:00, 10:00, 12:00 13:00, 14:00 цагийн орчим болон нийт 09-15 цагт хамрагдах хэмжилтүүд)

Тоон туршилтад WRF болон WRFDA загварын 3.9.1 хувилбарыг ашигласан ба дараахь тохиргоог хийв (Хүснэгт 12). Загварын хамрах бүс нутгийн байрлалыг (цаашид домэйн гэх) Зураг 128-т үзүүлэв. Бүс нутгийн нарийвчлэлийг шуурхай үйлчилгээнд ашиглаж байгаатай адилаар 9 км нарийвчлалтайгаар Монгол орны нутгаар сонгон авсан. Домэйн нь газрын гадаргаас дээш 5ГПа хүртэл 35 босоо давхаргаас тогтоно.

Хүснэгт 12. WRF загварын физик схем

| Domain 1 (WRFv3.9.1) | |
|------------------------------|---------------|
| Horizontal grid | 255x145 |
| Horizontal resolution | 9 km |
| Vertical layers | 35 sigma |
| PBL/Turbulence | Yonsei |
| Microphysics | WSM3 |
| Land-Surface | NOAH |
| Radiation (SW/LW) | Goddard/RRTMG |

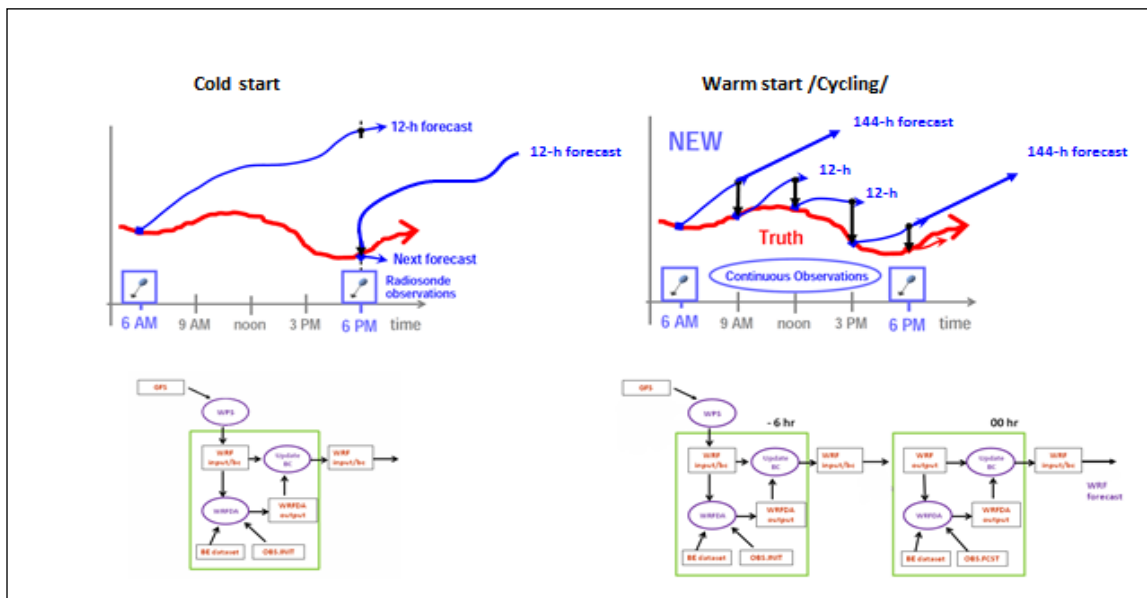


Зураг 128. Хамрах бүс нутгийн сонголт

Гурван хэмжээст хувьсах өгөгдлийн ассимиляцыг үндсэн 2 горимоор ажиллуулдаг. Cold start горим буюу дэлхийн хэмжээний загварын прогнозоос авсан эх мэдээг ашиглан прогнозын эхлэх хугацаанд хамаарах ажиглалтын мэдээтэй хамт ашиглан анализыг хийнэ. Харин Warm start буюу циклинг горим нь дэлхийн хэмжээний загварын прогнозоос эх мэдээг авалгүй өмнөх хугацааны загварын бодолтын үр дүнг анхны нөхцөл болгон хамаарах ажиглалтын мэдээтэй

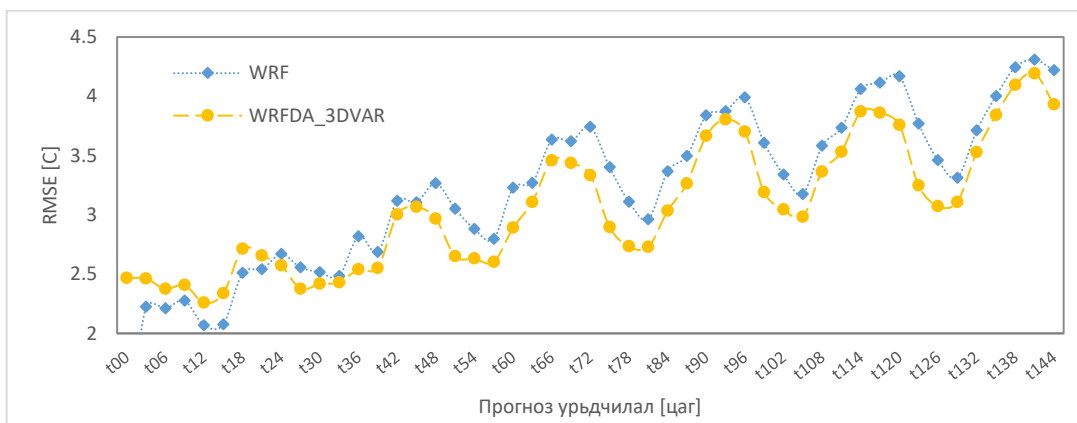
хамт ашиглан анализ хийх юм. Дээрх хоёр ажиллах горимын бүдүүвчийг Зураг 129-т үзүүлэв.

Загварын суурь алдааг туршилт хийх 2016 оны 7 дугаар сарыг сонгон авч суурь алдааны статистик тооцоолох 2 аргаар тооцоолон гаргасан.

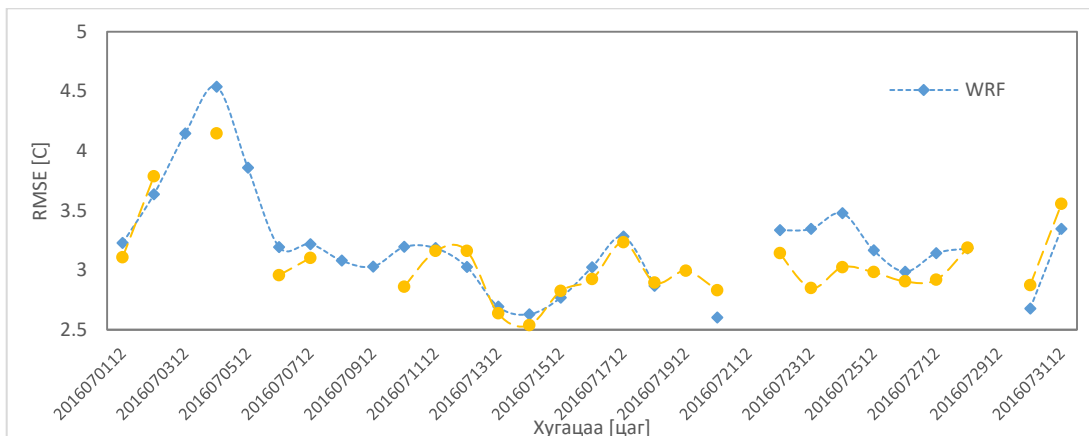


Зураг 129. WRFDA загварыг ажиллуулсан горимын бүдүүвч

Туршилтанд 2016 оны 7 дугаар сарыг сонгон авч WRF загварыг өдөр бүрээр 144 цагийн урьдчилалтайгаар бодуулсан ба харгалзан WRFDA загварыг өдөр бүр 00 болон 12 цагуудаар бодуулан 144 цагийн прогнозыг гарган авч харьцуулав. Температурын прогнозыг цаг уурын 135 өртөөний мэдээтэй харьцуулан дундаж квадрат алдааг (RMSE) прогнозын хугацааны дундаж болон хугацаа бүрээр зурагт үзүүлээ (Зураг 130-131).



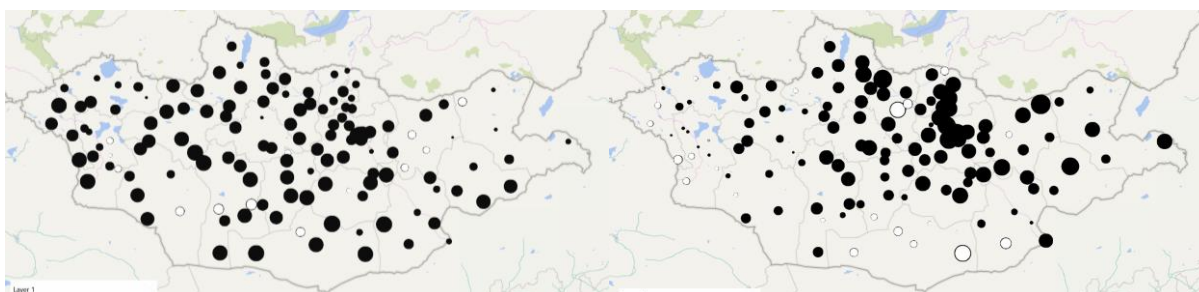
Зураг 130. 135 өртөөдийн 2 метрийн агаарын температурын дундаж квадрат алдаа



Зураг 131. 2 метрийн агаарын температурын дундаж квадрат алдаа

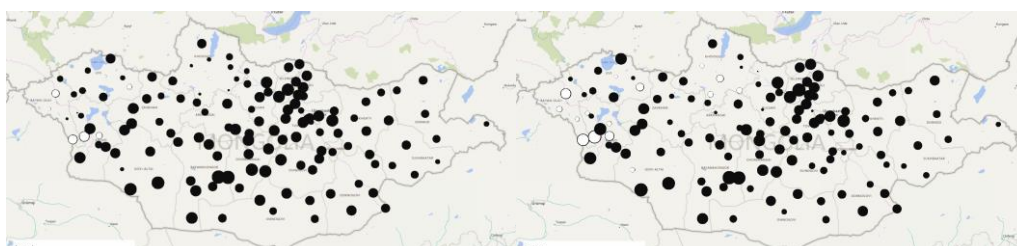
Үр дүнгээс хархад хиймэл дагуулын радианс мэдээгээр WRF загварт ассимиляци хийсэн температурын прогнозын үр дүн WRF загварын үр дүнгээс ихэнх хугацаанд сайн үр дүн өгсөн байна. Харин дундаж квадрат алдаа (RMSE) сарын дунджаар WRF загвар 3.1°C, WRFDA загвар 3.2 °C байсан бол хамгийн ихдээ 3°C-ээр сайн прогнозлосон байна.

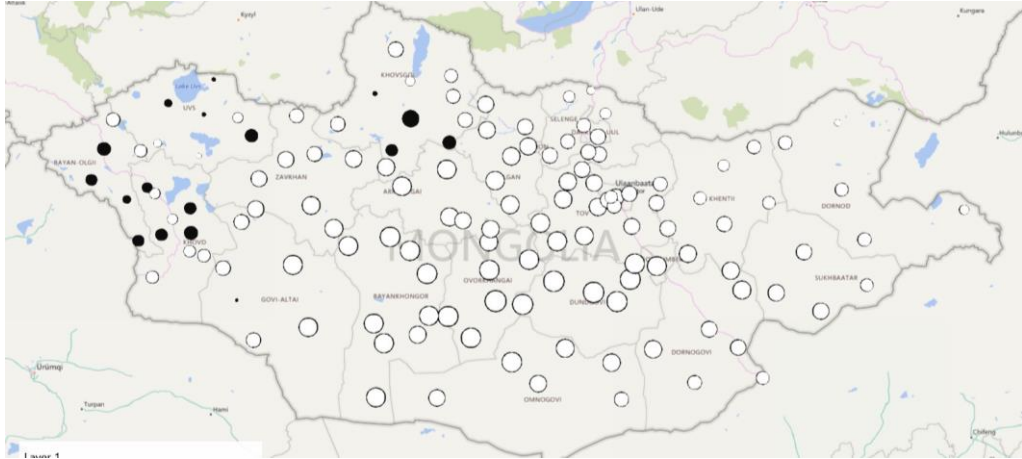
Прогнозын урьдчиллын хувьд радианс мэдээний ассимиляцын алдаа WRF загварынхаас эхний 21 цагийн дотор бага байсан бол прогнозын урьдчилал холдох тусам буюу 24 цагаас хойш сайжирсан үр дүн өгсөн байна (Зураг 132). Эндээс хархад хиймэл дагуулын радианс мэдээгээр WRF загварт ассимиляци хийснээр температурын прогнозын үр дүн хугацааны эхэнд төдийлөн сайн үр дүн өгөөгүй боловч хугацаа уртсах тусам прогнозын чанар сайжирдаг байна.



Зураг 132. 10 метрын түвшний салхины хурд (а) болон хур тунадасны (б) алдааны (bias) зөрөөний тархалт (WRFDA- WRF), (хар-ээрэг, цагаан-сөрөг)

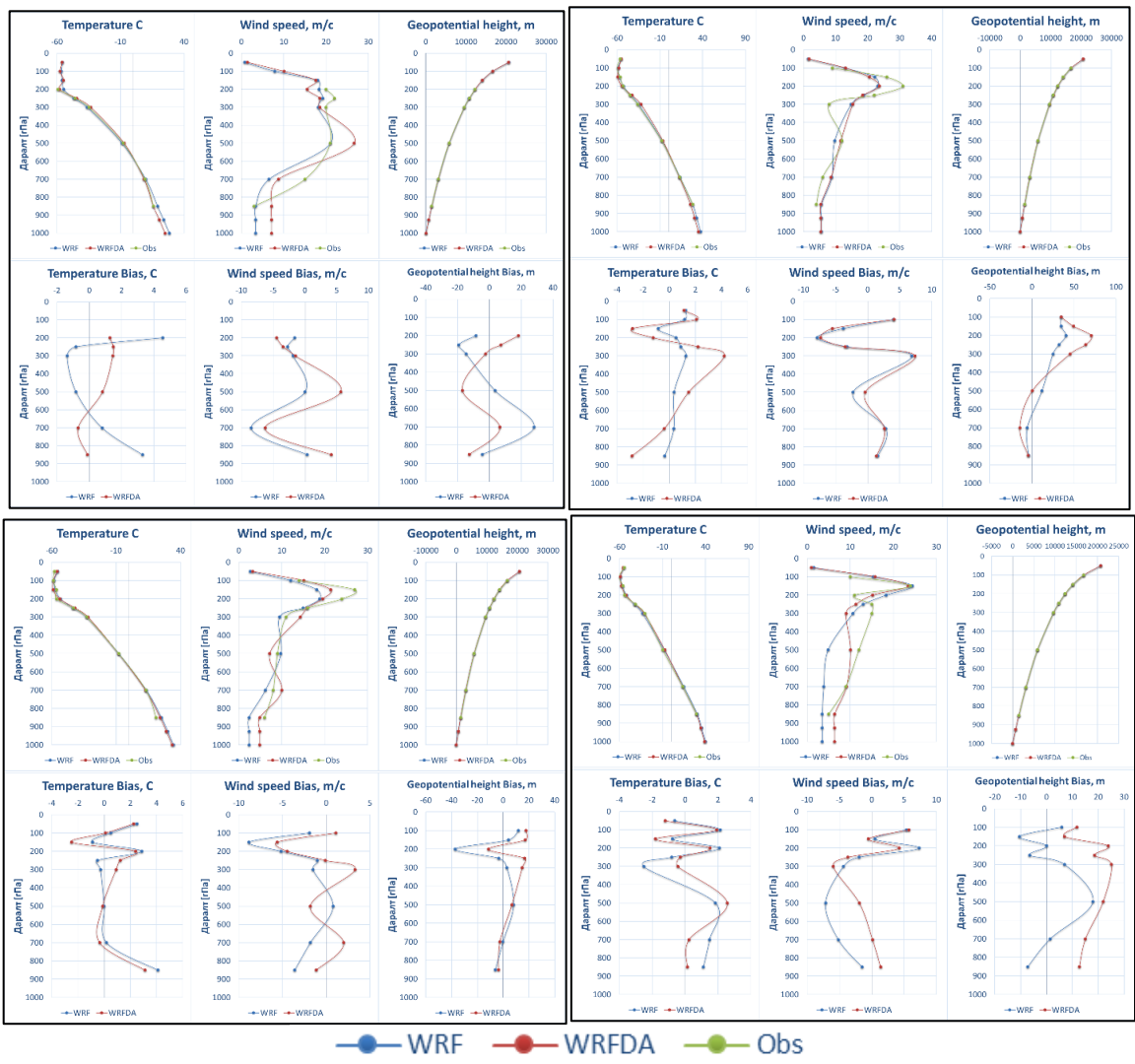
Хур дунадас болон салхины хурдны үр дүнгээс харахад хиймэл дагуулын радианс мэдээгээр ассимиляц хийснээр нутгийн бүх хэсгээр сайн үр дүн өгөөгүй байна. Харин хур тунадасны хувьд говийн өмнөд хэсгээр болон баруун аймгийн баруун хэсгээр бодит байдалд дөхүүлсэн үр дүн өгсөн байна (Зураг 132).





Зураг 133. 2 метрийн агаарын температурын алдааны (bias) тархалт (хар-эерэг, цагаан-сөрөг) а) WRF загварын алдаа, б) WRFDA (radiance assimilation) загварын алдаа, в) Зөрөө (WRFDA- WRF)

Зураг 133-т агаарын температурын сарын дундаж алдааг цаг уурын 135 өртөөний тархалтаар харууллаа. Эндээс хархад бүсийн загвар туршилтын хугацаанд нийт нутгаар бодит байдлаас дулаан прогнозлосон ба энэ дундаас төвийн нутаг болон баруун зүгийн нутгийн өмнөд хэсгээр илүү дулаан прогнозлодог байна. Энэ алдааг хиймэл дагуулын радианс мэдээгээр ассимиляц хийснээр тодорхой хэмжээгээр бууруулсан болох нь харагдаж байна. Туршилтаас жишээ болгон 2016 оны 7 дугаар сарын 4-ны 12 цагаар бодуулсан үр дүнг Тахилт цаг уурын өртөөний өндрийн ажиглалтын мэдээтэй харьцуулан үр дүнг Зураг 134-т харуулав.



Зураг 134. Босоо түвшин дэх температур, салхины хурд болон геопотенциал өндрийн загварын үр дүн (+12,+24,+36,+48 цаг) болон ажиглалтын мэдээний харьцуулалт (бодолтын хугацаа 2016/07/04-12:00)

Үр дүнгээс харахад даралтын орны хувьд радиацийн ассимиляци хийсэн үр дүн өглөөний ажиглалтын хувьд бодит байдлыг дөхүүлсэн бол оройны 20 цагийн хувьд төдийлөн сайжруулж чадаагүй байна. Салхины хурдны хувьд ихэнх хугацаанд бүх түвшинд алдааг багасгасан үр дүн гарсан бол агаарын температурын хувьд ихэнх хугацаанд нам өндөрт буюу 500-700гПа-аас доош түвшиний алдааг багасгаж загварчилсан байна.

Дүгнэлт

Үр дүнгээс харахад хиймэл дагуулын радианс мэдээгээр WRF загварт ассимиляци хийсэн температурын прогнозын үр дүн WRF загварын үр дүнгээс ихэнх хугацаанд сайн үр дүн өгсөн байна. Харин дундаж квадрат алдаа (RMSE) сарын дунджаар WRF загвар 3.1°C, WRFDA загвар 3.2°C байсан бол хамгийн ихдээ 3°C-ээр сайн прогнозлосон байна.

Прогнозын урьдчиллын хувьд радианс мэдээний ассимиляцын алдаа WRF загварынхаас эхний 21 цагийн дотор бага байсан бол прогнозын урьдчилал холдох тусам буюу 24 цагаас хойш сайжирсан үр дүн өгсөн байна. Эндээс хархад хиймэл дагуулын радианс мэдээгээр WRF загварт ассимиляци хийснээр

температурын прогнозын үр дүн хугацааны эхэнд төдийлөн сайн үр дүн өгөөгүй боловч хугацаа уртасах тусам прогнозын чанар сайжирдаг байна.

Хур тунадас болон салхины хурдны үр дүнгээс харахад хиймэл дагуулын радианс мэдээгээр ассимиляци хийснээр нутгийн бүх хэсгээр сайн үр дүн өгөөгүй байна. Харин хур тунадасны хувьд говийн өмнөд хэсгээр болон баруун аймгийн баруун хэсгээр бодит байдалд дөхүүлсэн үр дүн өгсөн байна.

Агаарын температурын сарын дундаж алдааны тархалаас хархад бүсийн загвар туршилтын хугацаанд нийт нутгаар бодит байдлаас дулаан прогнозлосон ба энэ дундаас төвийн нутаг болон баруун зүгийн нутгийн өмнөд хэсгээр илүү дулаан прогнозлодог байна. Энэ алдааг хиймэл дагуулын радианс мэдээгээр ассимиляц хийснээр тодорхой хэмжээгээр бууруулсан болох нь харагдаж байна.

Даралтын орны хувьд радиацийн ассимиляц хийсэн үр дүн өглөөний ажиглалтын хувьд бодит байдалруу дөхүүлсэн бол орионы 20 цагийн хувьд төдийлөн сайжруулж чадаагүй байна. Салхины хурдны хувьд ихэнх хугацаанд бүх түвшинд алдааг багасгасан үр дүн гарсан бол агаарын температурын хувьд ихэнх хугацаанд нам өндөрт буюу 500-700гПа-аас доош түвшиний алдааг багасгаж загварчилсан байна.

Нийтэд нь хархад хиймэл дагуулын радианс мэдээгээр бүсийн тоон загварын анхны болон захын нөхцөлд сайжруулалт хийснээр салхи болон хур тунадасны хувьд төдийлөн сайн үр дүн өгөөгүй боловч агаарын температурын хувьд бодит байдалруу сайн дөхүүлэн прогнозлосон байна. Иймээс хиймэл дагуулын радианс мэдээ ашиглан WRFDA заварыг үйлдвэрлэд ашиглах, цаашид илүү нарийвчилсан судалгаа хийн чанарыг сайжруулах бүрэн боломжтой болох нь харагдаж байна.

2.6.2 Агаар мандлын төлөвийн босоо тархалтыг хиймэл дагуулын мэдээгээр боловсруулах

Радарын ассимляцаар тооцоолсон үр дүн

Улаанбаатар хотын Чингис Хаан олон улсын нисэх буудлын баруун талд байрлах Морин Ууланд 1999 оны сүүлчээс Япон улсад үйлдвэрлэсэн RC-53C маягийн Допплерийн радарыг ажиллуулсан билээ. Тус радар нь Япон улсын буцалтгүй тусламжаар “Цаг агаарын урьдчилан мэдээлэх тогтолцоог сайжруулах” төслийн хүрээнд тавигдсан бөгөөд хоногийн турш тасралтгүй ажиллаж, бүтээгдэхүүнийг нь цаг агаарын хэт богино хугацааны урьдчилсан мэдээ, нэн ялангуяа тунадасны талаарх мэдээ зохиоход ашиглаж, нийслэл хотын хүн амыг хүчтэй аадар, мөндрийн улмаас болдог уруйн үерээс сэрэмжлүүлэх, мөн түүнчлэн нислэг хөдөлгөөний аюулгүй байдлыг хангах үндсэн зориулалттай ашиглаж байна.

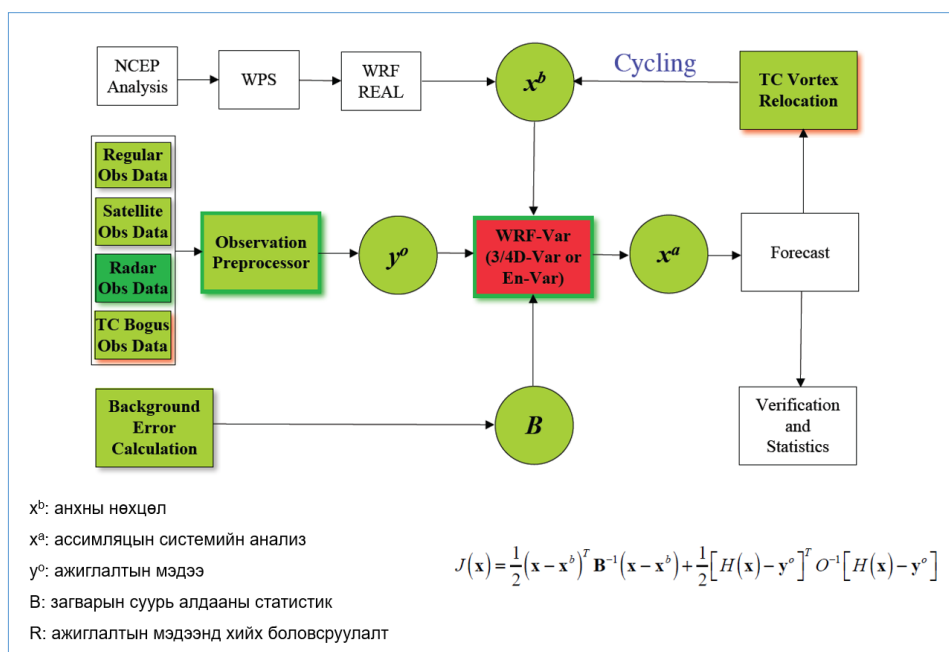
Дэлхийн олон улсын Ус цаг уурын албадын ажиглалт, шинжилгээ, судалгаа, мэдээллийн ажилд Зайнаас тандан судлах төхөөрөмж онцгой байр эзэлдэг бөгөөд түүний дотор цаг уурын радиолокатор (радар)-аар үүл, тунадас, тэдгээртэй холбоотой цаг агаарын аюултай, байгалийн гамшигт үзэгдлүүдийг урьдчилан мэдээлэх, судлах ажил жилээс жилд улам бүр өргөжиж байна. Тиймээс ч Дэлхийн цаг уурын байгууллага (ДЦУБ)-ын тайланд “Цаг агаарын хэт богино хугацааны прогнозод дээд зэргээр тохируулга хийсэн Допплерын радарын мэдээ онцгой үүрэг гүйцэтгэнэ” гэж тэмдэглэсэн нь радарын техникийн ажиглалт,

мэдээллийн үр ашгийг өндөр гэдгийг үнэлсэн хэрэг юм (Х.Хангайсайхан 2009). Өөрөөр хэлбэл радар нь хур тунадасны хэмжээ, эрчимшлийг урьдчилан мэдээлэх, газрын тунадсыг үнэлэх улмаар аадар бороо, уруйн үер зэрэг гамшгаас урьдчилан сэргийлэх боломжийг бүрдүүлдгээр онцгой ач холбогдолтой.

Өнөө үед дэлхийн олон улс орон өөрийн орон нутгийг цаг уурын радарын ажиглалтад бүрэн хамруулаад зогсохгүй бүс нутгийн хэмжээнд сүлжээ үүсгэн мэдээлэл солилцож, радиолакацийн зураглал хийж байна. Цаг уурын радарын өгөгдөл нь цаг агаарын хэт богино хугацааны прогноз зохиох, нисэх, ХАА, эрчим хүч, тээврийн салбарыг үйлчлэх, томоохон хот суурин, аж үйлдвэрийн төвөөр аюултай үзэгдлээс урьдчилан сэргийлэх ажилд ашиглагдаж байна.

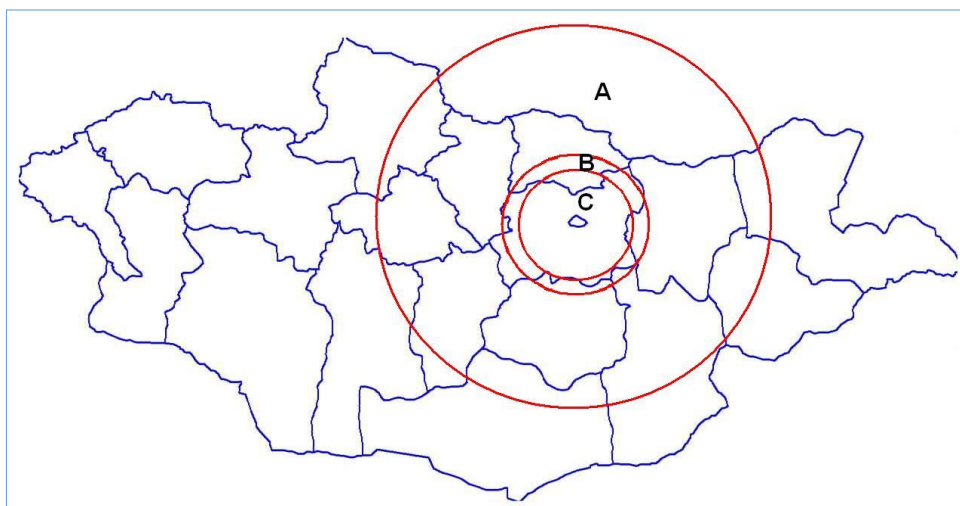
Цаашид Улаанбаатар хот орчимд радарын мэдээг ашиглан бүс нутгийн тоон загварт ассимиляц хийн богино хугацааны прогнозыг нарийвчлан ашиглах нь илүү үр дүнтэй.

Дэлхийд WRFDA загвар ашиглан 2002 оноос хойш Допплерийн радарын мэдээг ашиглан богино хугацаанд хур тунадасны загварчилалд туршиж, ашиглаж ирсэн (Xiao et al. 2005). WRFDA загварын ерөнхий схем болон үндсэн тэгшитгэлийг Зураг 135-т харуулав. 3 хэмжээст хувьсах өгөгдлийн ассимляцын (3DVAR) систем нь WRF бүсийн загварын анхны нөхцөлд олон төрлийн ажиглалтын мэдээгээр сайжруулалт хийх юм. Үүн дундаа радарын мэдээг ашиглан тооцоолол хийх нь хур тунадасны хэт богино хугацааны прогнозын хувьд мэдэгдэхүйц сайн үр дүн өгдөг нь бусад орны судалгааны ажлын жишээгээр харагддаг.



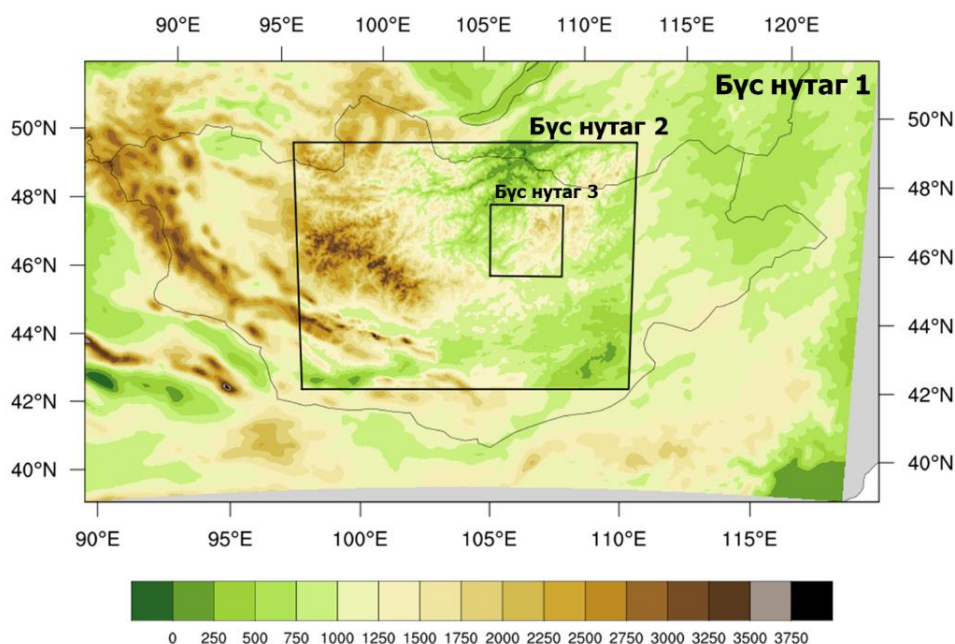
Зураг 135. WRFDA загварын ерөнхий схем болон тэгшитгэл

Энэ ажилд Монгол улсад ашиглаж байгаа цорын ганц цаг уурын байран радар болох Морин Уул доплерийн радарын мэдээнд тулгуурлан боловсруулалт хийн ашиглалаа. Морин Уул радарын ажиглалтын хамрах хүрээг Зураг 136-д харуулав.



Зураг 136. Морин Уул дахь Допплерын радарын ажиглалтын бүс: А- Радарын ажиглалтын хязгаар (480 км хүртэлх радиусын бүс) В- CAPPI бүтээгдэхүүн (180 км радиусын бүс) С- RAIN1 бүтээгдэхүүн (130 км радиусын бүс)

Тоон туршилтанд WRF загварыг Монгол орны хэмжээгээр 9 км, төвийн бүс нутгаар 3 км, Улаанбаатар хот орчмоор 1 км-ийн нарийвчлалтай бүс нутаг сонгон авав (Зураг 137).

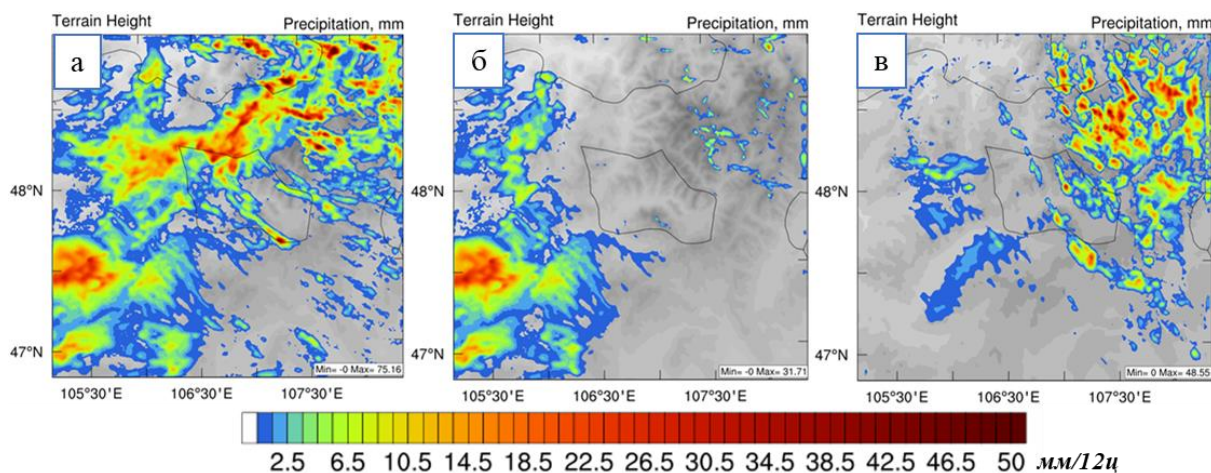


Зураг 137. Загварын хамрах бүс нутаг болон түүний өндөршил.

Дээрх сонголтоор 2016 оны 7 дугаар сарын 28-ны үдээс хойш Улаанбаатар хотын төвөөр орсон ширүүн аадар борооны тохиолдлыг сонгон авч бодуулан харьцуулалт хийлээ. Үүний тулд загварыг 2016 оны 7 дугаар сарын 27-ны 20 цагаас эхлэлтэй WRF загварыг 48 цагаар буюу 29-ний 20 цаг хүртэл бодуулан үүнээс 12 цагын үр дүнг авч ассимиляцын өмнөх прогноз болгон ашигласан. Эндээс WRF загварын анхны болон захын нөхцөлийн боловсруулалтыг өмнөх бодолтын 12 цагтай харгалзуулан 28-ны 08 цагаар эхлүүлэн үр дүнг радарын мэдээгээр ассимиляц хийн WRF загварыг 36 цагаар буюу 29-ний 20 цаг хүртэл бодуулан үр дүнг харьцууллаа.

Мөн ассимяцын захын нөхцөлийн нөлөөг харуулахын тулд дээрх үндсэн 9x3x1 км-ын буюу гаднах буюу 9 км-ээс захын нөхцөлөө авч бодхоос гадна шууд 1 км-ын үр дүнгээс захын нөхцөл авч, үүнийг ассимляцын системийн бүрэлдэхүүн болох захын нөхцөлийн сайжруулалт хийн (update bc) wrf загварыг зөвхөн 1 км-ын бүс нутгаар бодуулан үр дүнг өмнөх 2 үр дүнтэй харьцуулан харууллаа.

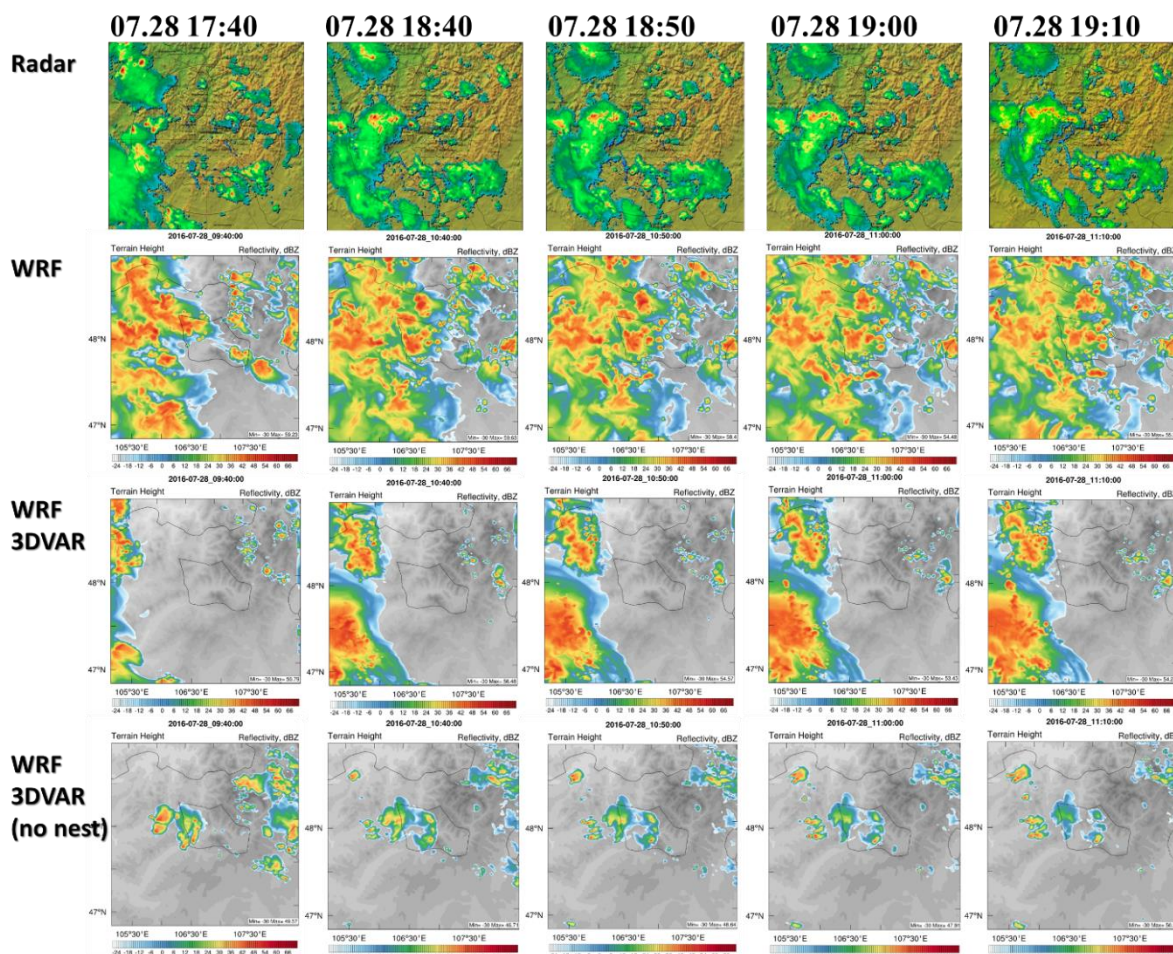
Тухайн авч үзсэн эрчимтэй аадар борооны улмаас Улаанбаатар хотын төв хэсгээр 28-ны өдөр ойролцоогоор 19:20-с 20:15 орчимд үер буусан ба үүнийг загвараар хэрхэн загварчилсанг хархын тулд тунадасны тархалтыг 28-ны өглөөний 8 цагаас 20 цаг хүртэл орсон нийлбэрыг Зураг 138-д харууллаа.



Зураг 138. 1 км бүс нутгаар 2016 оны 7 дугаар сарын 28-ний 8 цагаас 20 цаг хүртэлх загвараар тооцсан нийлбэр тунадасны тархалт (а) WRF загварын үр дүн б) Радарын ассимляц хийсэн үр дүн в) Радарын ассимляц шууд 1км-ээр бодуулсан үр дүн)

Тунадасны тархалтаас хархад WRF загварын үр дүн хотын төв орчимд 6-10 мм тунадас өгч байгаа боловч тархалтын хувьд зарим газраар ахиу өгсөн харагдаж байна. Харин ассимляц хийсэн үр дүнгээс хархад зөвхөн анхны нөхцөлд ассимляц хийсэн үр дүн нийт тунадасны тархалтыг багасгасан ба Улаанбаатар хот орчимд тунадас тооцоолж чадаагүй, эсэргээр зөвхөн 1 км-ээр бодуулсан буюу захын нөхцөлийг ассимляц хийсэн бодолтоор Улаанбаатар хотын баруун хойд бүсэд конвекцын гаралтай буюу бага газар нутагт 40 мм тунадас өгсөн байна. Энэ нь тухайн бодит байдалд авч үзсэн үерийг үүсгэх боломжтой байгаа нь газар зүйн хувьд таарч байна. Мөн тухайн хугацаанд бодит байдалд Улаанбаатар хотын ойролцоох станцуудад хамгийн их буюу Тэрэлж станцад 24 мм тунадас ажиглагдсан ба тухайн загварт 17 мм тунадас ажиглагдсан байна.

Доорх Зураг 139-т радарын ажиглалтаар илэрсэн үүлний тархалт болон загвараар тооцоолсон үүлний тархалтыг харууллаа.



Зураг 139. Ажиглалт болон загвараар тооцоолсон үүлний ойцын тархалт [MAX dBZ]

Үүлний тархалтаас харахад WRF загвар нь тухайн бүс нутгын хойд болон төв хэсгээр үүлийг бодит байдлаас их хэмжээгээр загварчилсан ба завхэн анхны нөхцөлд ассимляц хийсэн үр дүнгээр үүлний масс болон орон зайн хэмжээгээр нийлээн дөхүүлэн загварчилсан боловч Улаанбаатар хотын төв хэсгээр ажиглагдсан конвекцын гаралтай үүлийг загварчилж чадаагүй байна. Эсэргээр зөвхөн 1 км-ээр бодуулсан буюу захын нөхцөлийг ассимляц хийсэн бодолтоор Улаанбаатар хотын баруун хойд бүсэд конвекцын гаралтай үүлийг харьцангуй сайн загварчилсан байна.

Дүгнэлт

Аадар борооны хувьд 2013-2016 оны хооронд Монгол орны нутгаар аюултай үзэгдэл 33, гамшигт үзэгдэл 7 тохиолдол тэмдэглэгдсэнээс өдрийн хугацаанд ихэнх тохиолдол буюу 33 (аюултай үзэгдэл 27, гамшигт үзэгдэл 6) нь ажиглагдсан байна. Харин их борооны хувьд 2006-2016 оны хооронд аюултай үзэгдэл 359, гамшигт үзэгдэл 48 тохиолдол тэмдэглэгдсэн байна.

Аадар борооны гамшигт үзэгдлийн хувьд дээрх ажиглагдсан 7 тохиолдлуудыг бүгдийг прогнозлож чадаагүй байна. Харин аюултай үзэгдлийн хувьд дээрх ажиглагдсан 33 тохиолдлоос 1, 2 болон 3 хоногийн урьдчилал дээр тус бүр нэг тохиолдолд прогнозлож чадсан байна.

Их борооны хувьд 2013-2016 оны хугацаанд гамшигт үзэгдлийн 16 тохиолдол ажиглагдсан ба эдгээр тохиолдлуудыг WRF загвар бүгдийг

прогнозлож чадаагүй байна. Харин аюултай үзэгдлийн хувьд нийт тохиолдлоос (126) 1 хоногийн өмнөөс 6 тохиолдолд, 2 хоногийн өмнөөс 4 тохиолдол, 3 болон 5 хоногийн өмнөөс тус бүр 2 тохиолдол, 4 болон 6 хоногийн өмнөөс тус бүр 1 тохиолдолд прогнозлож чадсан байна. WRF загвар их борооны аюултай үзэгдлийг 0.8-5.5%, дунджаар 2.4%-ын ончтой прогнозлосон байна.

WRF загвар нь аадар болон их борооны аюултай болон гамшигт үзэгдлийг болох үед ямар нэгэн байдлаар тунадас өгч байсан эсхийг тооцсон онч нь 31-72.3% байсан байна. Тухайлбал аадар борооны гамшигт үзэгдлийг 50-85.7%, аюултай үзэгдлийг 62.5-80.6%, их борооны гамшигт үзэгдлийг 26.7-80%, аюултай үзэгдлийг 21.8-41.8%-ийн ончтой тус тус прогнозлосон байна.

2013-2016 оны хугацаанд WRF загвар их борооны гамшигт үзэгдлийн хэмжээнд 1-6 хоногийн урьдчилалтайгаар тус бүр 6-28 удаа прогнозлосон нь бүх тохиолдолд хуурамч түгшүүр болсон байна. Харин аюултай үзэгдлийн хэмжээнд 68-213 удаагийн прогноз өгсөнөөс хуурамч түгшүүр 91.9-99.5%, дунджаар 97.6% байсан байна.

Дээрх үр дүнгүүдээс хархад WRF загвар нь ихэнх тохиолдолд бодит байдлаас харьцангуй их тунадас өгдөг болох нь харагдаж байна.

2016 оны 7 дугаар сарын 28-ны үдээс хойш Улаанбаатар хотын төв хэсгээр орсон хүчтэй аадар бороог WRF загвараар рианализ мэдээ ашиглан загварчилсан үр дүгээс хархад гаднах бүс нутгийг нэмэгдүүлсэн загварчлал нь бодит байдалд дөхүү үр дүн өгсөн байна. Эндээс хархад загварын захын нөхцөлийн өөрчилөлт загварчлалын үр дүнд мэдэгдэхүүц хэмжээгээр нөлөөлдөг болох нь харагдаж байна.

WRF загварт радарын мэдээгээр ассмляц хийсэн үр дүнгээс хархад тунадасны хувьд WRF загварын үр дүн тархалтын хувьд зарим газраар ахиу өгсөн харагдаж байна. Харин ассимляц хийсэн үр дүнгээс хархад зөвхөн анхны нөхцөлд ассимляц хийсэн үр дүн нийт тунадасны тархалтыг багасгасан ба Улаанбаатар хот орчимд тунадас тооцоолж чадаагүй, эсэргээр зөвхөн 1 км-ээр бодуулсан буюу захын нөхцөлийг ассимляц хийсэн бодолтоор Улаанбаатар хотын баруун хойд бүсэд конвекцын гаралтай буюу бага газар нутагт 40 мм тунадас өгсөн байна. Энэ нь тухайн бодит байдалд авч үзсэн үерийг үүсгэх боломжтой байгаа нь газар зүйн хувьд таарч байна.

Эндээс дээрх 2 туршилтаас хархад захын нөхцөлийн нөлөө Улаанбаатар хот орчимд орох хур тунадасны загварчилд харьцангуй их нөлөөлж байгаа нь ажиглагдаж байна. Үүнээс дүгнэхэд загварын захын нөхцөлийн сонголт болон ассимляцыг сайжруулснаар тунадасны загварчлалын чанар сайжрах боломж байна гэж харж байна.

Цаашид Улаанбаатар хот орчимд орох гэнтийн аадар бороог урьдчилан мэдээлхийн тулд бүс нутгийн хэмжээсийг нарывчилан тогтоож бодуулан, цаашилаад хувьсах өгөгдлийн ассимляцын /3DVAR/ системийг зүгшрүүлэн ашиглах, ассимляцын давталт буюу шинэчлэлтын зайг 1-3 цаг болгон ойртуулан, прогнозын урьдчиллыг 12 цаг дотор бодуулах нь илүү үр дүнд хүрнэ гэж бодож байна.

2.7 Бүс нутгийн уур амьсгалын мониторингийн технологи

2.7.1 Сар болон уур амьсгалын өөрчлөлтийн мониторингийн технологи

Монгол орны анхны цаг уурын станц Өргөө хотод 1869 онд байгуулагдаж 1869-1875, 1889-1909 оны хооронд нийтдээ 20 гаруй жил бүрэн бус хөтөлбөрөөр цаг уурын ажиглалт хийж байгаад хаагдсан.¹ Харин цаг уурын байнгын ажиглалтын улсын сүлжээний анхны 7 станц 1936 онд байгуулагдснаас хойш 1940 онд 12, 1950 онд 19, 1960 онд 30, 1970 онд 52, 1980 онд 67, 1990 онд 80 станц, 2000 онд 111 (Зураг 140) гэх мэтчилэн цаг уурын ажиглалтын сүлжээ жилээс жилд нэмэгдсээр байна. 2018 оны байдлаар цаг уурын улсын сүлжээнд 137 станц, 181 харуул дэлхийн цаг уурын байгууллагын хөтөлбөрийн дагуу хоногт 8 болон 3 удаа агаар, хөрсний гадаргын температур, агаарын даралт, чийгшил, хур тунадас, салхи, цасан бүрхүүлийн тархац, ба зузаан /цас тогтсон үед/, агаарын үзэгдэлд байнгын ажиглалт хийж байна. Монгол оронд цаг уурын улсын сүлжээ байгуулагдаад өнөөдрийг хүртэл 70 гаруй жилийн мэдээ, материал хуримтлагдаад байна.

Уур амьсгалын мониторинг гэдэг нь цаг уурын хэмжигдэхүүнүүдийн олон жилийн мэдээ материалыг нэгдсэн нэг системд оруулахыг хэлдэг. Уур амьсгалын мониторинг хийх нь цаг агаар, уур амьсгалын өөрчлөлтийг тодорхойлох, урьдчилан мэдээлэхэд чухал билээ. Дэлхийн бөмбөрцгийн хойд хагаст Азийн эх газарт оршдог Монгол оронд илүү их дулааралт ажиглагдаж, хур тунадасны горим өөрчлөгдөж, хуурайшилт эрчимжин, байгалийн гамшигт үзэгдлийн давтамж нэмэгдсэж, нийгэм эдийн засаг, байгаль орчинд нөлөөлөх нөлөөлөл жилээс жилд нэмэгдсээр байгаа тул уур амьсгалын нэгдсэн мониторинг хийх нь цаашдын өөрчлөлтийг үнэлэх, дасан зохицох арга хэмжээг эртнээс авах, мөн уур амьсгалын загварын анхны нөхцөл болж өгөхөөрөө чухал билээ. Иймд Монгол орны цаг уурын ажиглалтын 70 гаруй жилийн мэдээ материалыг нэгтгэх, уур амьсгалын нэгдсэн мониторинг үүсгэх, мониторингийн бүтээгдэхүүнийг хэрэглэгчдэд түргэн шуурхай хүргэх хэрэгцээ шаардлагатай байв.

Энэхүү судалгааны ажил нь Монгол орны цаг уурын улсын сүлжээний олон жилийн мэдээ, материалыг нэгтгэж, уур амьсгалын нэгдсэн мониторинг үүсгэн, мониторингийн бүтээгдэхүүнүүдийг автоматжуулах, түргэн шуурхай хэрэглэгчдэд хүргэхэд энэ судалгааны зорилго оршино.

Дэлхийн цаг уурын байгууллага (ДЦУБ)-аас уур амьсгалын өөрчлөлттэй холбоотой асуудлыг шийдвэрлэхэд шаадлагатай нэгдсэн цаг уурын ажиглалтын мэдээллийг бүрдүүлэхийн тулд Дэлхийн цаг уурын ажиглалтын систем (GCOS)²-ийг 1992 онд байгуулсан. Энэ системд 189 орны цаг уурын алба бүртгэлтэй байдаг. ДЦУБ-ын энэхүү сүлжээ нь гишүүн орнуудын мэдээллийн санг бүрдүүлж, уур амьсгалын үндэсний мониторингийн системийг бий болгодог.

Монгол орны хувьд Ардын хувьсгалаас хойш 1924 онд Монголын судар бичгийн хүрээлэн, ЗХУ-ын ШУА-тай хамтарсан судалгаа хийх явцдаа цаг уурын ажиглалтын станц байгуулсанаар уур амьсгалын мониторинг хийх анхны алхам тавигдсан. Гэвч энэхүү мэдээлэл архивт хадгалагдаж үлдээгүй. Харин цаг уурын байнгын ажиглалтын улсын сүлжээ 1936 онд байгуулагдснаас хойш 70 гаруй жилийн мэдээ материал УЦУОШГ-ийн архивт бүрдээд байна. Энэхүү мэдээ материалыг ашиглан УЦУОСМХ-ийн судлаачдын хийсэн уур амьсгалын мониторингийн томоохон бүтээлүүдээс дурьдвал 1971 онд “Монгол орны уур

¹ УАӨҮИ-2009

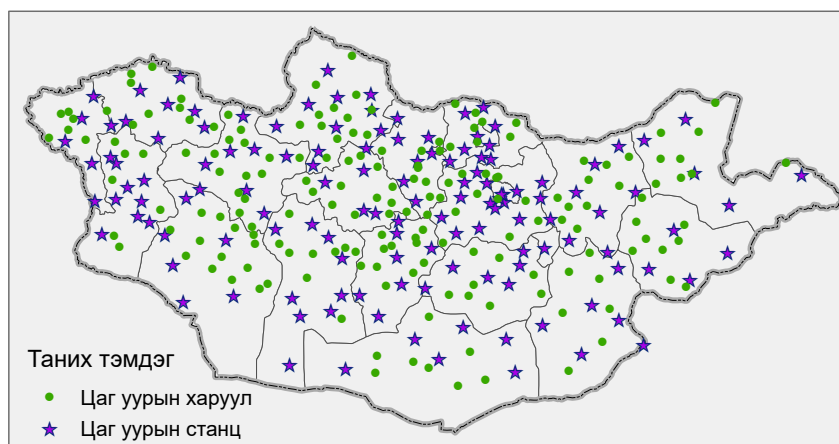
² <https://public.wmo.int/en>

амьсгалын лавлах” [Б.Жамбаажамц, 1971] хэвлэгдэж гарсан бөгөөд мэдээний тоон үзүүлэлтүүд хуучирсан учир 2000-2006 онд ШУТСангийн санхүүжилтээр “Монгол орны нэгдсэн уур амьсгалын лавлах”-ыг урт цуваатай 72 станцын 1940-2004 оны мэдээгээр 70 гаруй үзүүлэлтүүдээр шинэчилэн гаргасан. Мөн БОЯ-ны захиалгаар 2006 онд “Барилгын норм дүрмийн шинэчилсэн хувилбар”-ыг тухайн үеийн 118 станц, 200 орчим харуулын байгуулагдснаас 2004 он хүртэлх мэдээгээр гаргасан. [Г.Намхайжанцан, 2006] Энэхүү бүтээлүүд нь хэрэглэгчдийн эрэлт хэрэгцээнд нийцсэн уур амьсгалын үйлчилгээний томоохон бүтээгдэхүүн болж чадсан.

Уур амьсгалын олон жилийн мэдээ материалыг ашиглан Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлт, түүний ирээдүйн хандлагыг талаар Р.Мижиддорж, Г.Намхайжанцан, Б.Жамбаажамц, Л.Нацагдорж, Д.Давгадорж, П.Гомболүүдэв зэрэг үе үеийн судлаачид судалсан байдаг ба судалгааны үр дүнд мониторингийн олон бүтээгдэхүүн хэрэгдэгчдэд хүрсэн. Энэхүү судалгаа шинжилгээний ажил болон лавлах, нормын хүрээнд уур амьсгалын мониторингийн цуваа жилээс жилд шинэчлэгдэн хуримтлагдсаар байна.

Уур амьсгалын норм

Уур амьсгалын мониторинг хийхдээ цаг уурын улсын сүлжээнд одоо ажиллаж байгаа 137 станцын 1940-2017 оны хоногийн дундаж, максимум, минимум температур, хур тунадас, 1971-2000 оны сарын дундаж агаарын даралт, харьцангуй чийгийн мэдээлэл, 181 харуулын 1985-2015 оны 10 хоногийн дундаж температур, нийлбэр хур тунадасны мэдээллийг тус тус авч ашиглав. Станц, харуулын байршилыг Зураг 140-д үзүүлэв.



Зураг 140. Одоо ажиллаж байгаа станц, харуулын байршил

Дэлхийн цаг уурын байгууллагаас (ДЦУБ) уур амьсгалын стандарт (суурь) нормыг 1961-1990 оноор гаргахыг зөвлөсөн байдаг. Дараагийн уур амьсгалын стандарт норм 1991-2020 оноор гарах ёстой. Гэсэн хэдий ч ДЦУБ-аас судалгааны ажлын зорилго, хэрэглээнээс хамаарч 1971-2000, 1981-2010 оны мэдээгээр уур амьсгалын норм тогтоохыг зөвлөмж болгосон. Иймд цаг уурын улсын сүлжээнд ажиглалт хийж байгаа 135 станцын 1981-2010, 181 харуулын 1986-2015 оны агаарын дундаж температур, хур тунадасны 10 хоног, сарын нормыг гаргасан.

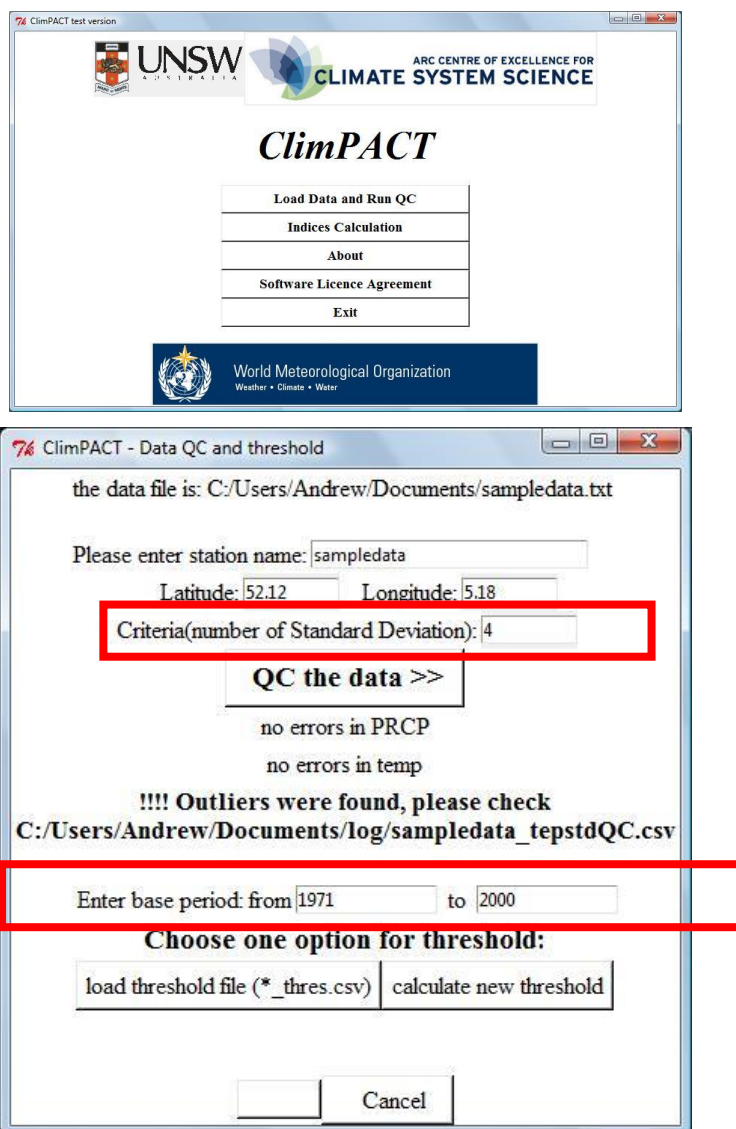
Монгол орноор дунджилсан (урт цуваат 44 станц) болон 135 станцын жилийн дундаж агаарын температур, нийлбэр хур тунадасны 1940-2017 оны олон

жилийн өөрчлөлтийн график, сар, улирал жилийн тоймын зураглалыг NCL програмчлалын хэлээр автоматжуулав.

Уур амьсгалын экстремаль индексийг тооцоолох

Дэлхийн цаг уурын байгууллагын CCI/CLIVAR-ын ажлын хэсгийнхэн 2013 онд ClimPACT програм хангамжийг үйлдвэрлэлд нэвтрүүлсэн. Тус программ хангамж нь R 2.15.2 програмчлалын хэлд ажилладаг. Нэгэн зэрэг байгаль, нийгэм эдийн засгийн салбаруудад ашиглагдах 80 гаруй уур амьсгалын индексийг тооцолдог.

Цаг уурын 135 станцын 1961-2017 оны хоногийн максимум, минимум температур, хур тунадасны мэдээллийг ClimPACT програм хангамжийн стандарт алдаа 4-өөр сонгон шалгаж, буруу мэдээллийг зассан. Тооцоолсон 80 гаруй индексүүдээс Монгол орны газар тариалан, гадаргын ус, хүний эрүүл мэндэд хамгийн их нөлөөлдөг 10 гаруй индексийг сонгосон уур амьсгалын экстремаль индексийн мониторинг үүсгэв (Зураг 141).



Зураг 141. Алдааг шалгах босго утга, уур амьсгалын дунджийг сонгосон байдал

Агаар мандлын хуурайшилт буюу цаг уурын ганг тодорхойлдог олон арга байдаг. Эдгээр аргууд дундаас хамгийн түгээмэл хэрэглэгддэг нь цаг уурын ганг хур тунадасны стандартчилагдсан индекс SPI (standardized precipitation index)³ юм. SPI- индекс нь хур тунадасны тархалтын функцаар тодорхойлогдох бөгөөд тухайн жил, сар хэр зэрэг хуурай, хур тунадасаар дутмаг байдлыг илэрхийлдэг. Бид цаг уурын ганг SPI индексээр орлуулан гангын мониторинг 3, 6,12 сараар тооцоолов. SPI - индексийн ангилалыг Хүснэгт 13-т үзүүлэв.

Хүснэгт 13. SPI - индексийн ангилал

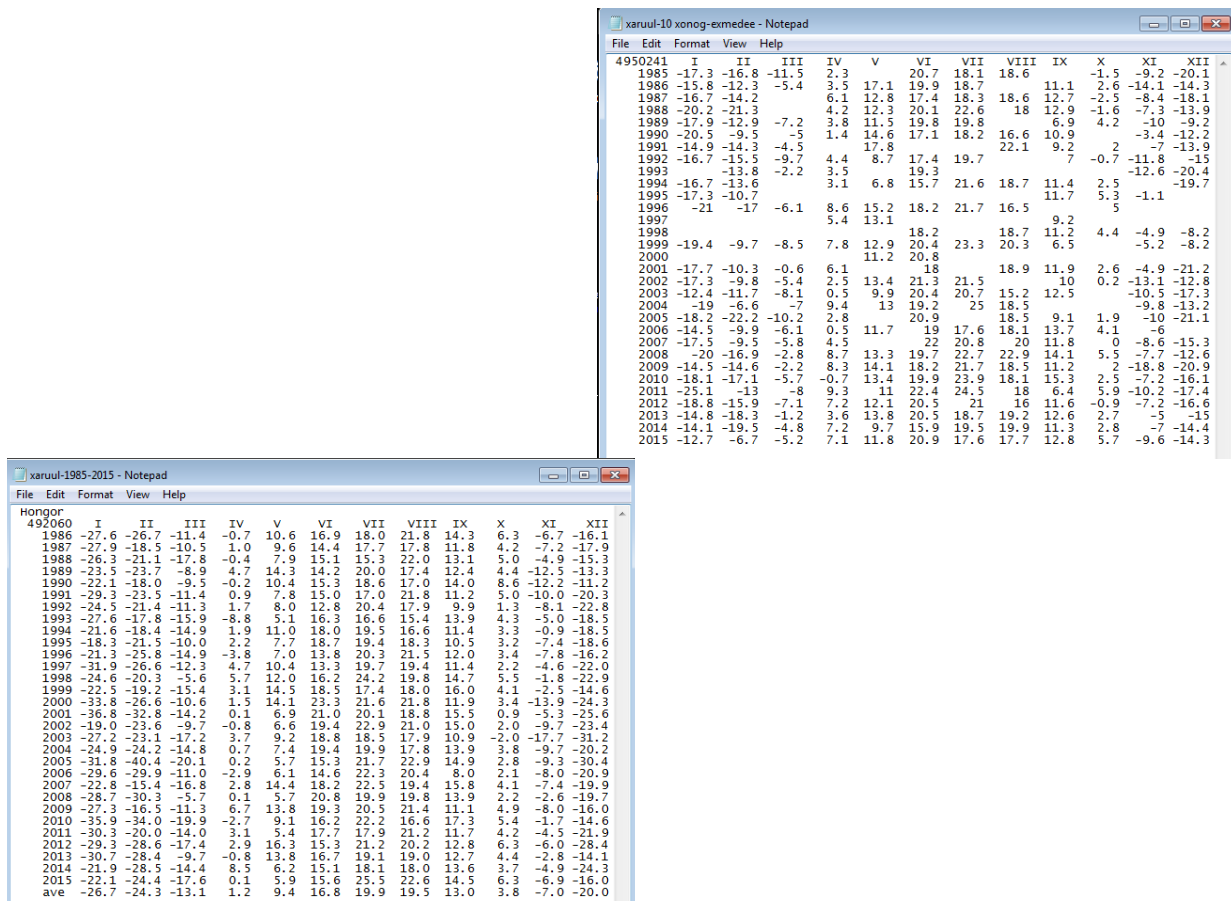
| SPI –ийн хэмжээгээр хуурайшилтыг ангилах | |
|--|---------------------|
| SPI хэмжээ | ангилал |
| 1.0 < | Маш их чийглэг |
| 0.51-1.0 | их чийгтэй |
| 0.31-0.5 | Дун зэргийн чийгтэй |
| 0.3-(-0.3) | ОЖД орчим |
| -0.31-(-0.5) | Дунд зэргийн хуурай |
| -0.51-(-1.0) | Онцгой хуурай |
| -1 > | Маш их хуурай |

Уур амьсгалын мониторинг хийх

Уур амьсгалын мониторинг хийхийн тулд олон жилийн мэдээ материалыг нэгтгэж, цувааг жигдрүүлж, нэгэн төрлийн байдлыг хангах хэрэгтэй байдаг. Иймд бид дараах мэдээллүүдийн цувааг бүрдүүлж, нэгэн төрлийн байдлыг шалгаж, мэдээллийн дэд сан үүсгэсэн. Үүнд:

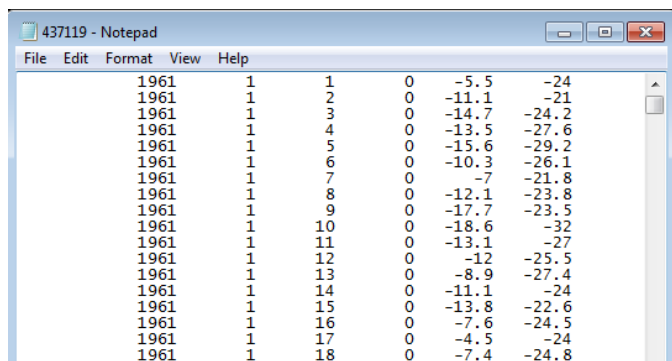
- Цаг уурын харуул өдөрт 3 удаа ажиглалт хийдэг мөн ээлжгүй тул жилдээ 1 удаа амардаг учир бүтэн жилийн ажиглалтын мэдээ дундаа тасралт ихтэй байдаг. 1985-2015 оны харуулын мэдээг уур амьсгалын сүүлийн үеийн боловсруулалтын пермона-мис программ хангамжийн форматын дагуу дахин шивүүлж, шалгалтыг тус програмаар хийсэн. Персона-мис программ хангамж нь харуулын 3 хугацааны мэдээгээр шөнийн 02 цагийн ажиглалтыг тооцоолж бодож гаргадаг. Энэхүү тооцоолсон утгыг оролцуулсан 4 хугацааны дундаж утга, 3 хугацааны дундаж утгыг 8 хугацаа лүү хөрвүүлж тооцоолсон утгатай ойролцоо гарч байгаа тул тус програмаар тооцоолсон 4 хугацааны дундаж утгыг авсан болно. 181 харуул болон богино цуваат 44 станцын харуул байх үеийн 1985-2015 оны мэдээллийг шалгаж, харуулын агаарын температурын 10 хоногийн дундаж утгын тасарсан болон гологдлыг математик статистикийн регрессийн болон жингийн аргаар нөхөж цувааг бүрэн бүтэн, нэгэн төрлийн болгосон.

³ McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales.



Зураг 142. Харуулын сарын дундаж агаарын температур а). нөхөлт хийгээгүй б). нөхөлт хийсэн

- Уур амьсгалын экстремаль индексийг тооцоолох болон хоногийн температурын норм гаргахад цаг уурын элементүүдийн хоногийн мэдээлэл шаардлагатай тул 135 станцын 1961-2018 оны хоногийн агаарын дундаж, максимум, минимум температур, хур тунадасны мэдээг бүрдүүлж (Зураг 143), буруу мэдээллийг засаж, дутуу мэдээг ЦХ-1 хүснэгтээс түүвэрлэж, нөхсөн. Энэ ажлын хүрээнд агаарын максимум температурын 54 жил 5 сар, минимум температурын 32 жил 4 сар, хур тунадасны 36 жил 8 сарын мэдээг нөхөв.



Зураг 143. Хоногийн агаарын максимум, минимум температур, хур тунадасны ОЖ-ийн цуваа

Уур амьсгалын мониторингийн бүтээгдэхүүнүүд

Энэхүү олон жилийн мэдээ материалыг нэгтгэж цаг уурын урт цуваат 80 станцын 1981-2010 он, богино цуваат 55 станц, 181 харуулын 1986-2015 оны агаарын дундаж, максимум, минимум температур, хур тунадасны 10 хоног, сар, жилийн дундаж болон тэдгээрийн статистик үзүүлэлтүүдээр уур амьсгалын нэгдсэн нормыг анх удаа гаргасан. Энэхүү нормыг цаг уурын улсын сүлжээнд ашиглаж байна (Зураг 144, Хүснэгт 14-15).

| УС ЦАГ УУР, ОРЧНЫ СУДАЛГАА МЭДЭЭЛЛИЙН ХҮРЭЭЛЭН | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| УУР АМЬСГАЛЫН НОРМ | | | | | | | | | | | | | |
| цаг уурын станц (1981-2010), харуул (1986-2015) | | | | | | | | | | | | | |
| Уур амьсгалын өөрчлөлт, нөөцийн судалгааны хэлтэс | | | | | | | | | | | | | |
| 2017 он | | | | | | | | | | | | | |

| 1. Архангай аймаг | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Сарын дундаж агаарын температурын статистик үзүүлэлтүүд | | | | | | | | | | | | | |
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Жил |
| Цэцэрлэг станц | | | | | | | | | | | | | |
| Дундаж | -14.9 | -12.3 | -6.2 | 2.5 | 9.3 | 13.8 | 15.7 | 13.8 | 8.6 | 1.3 | -7.2 | -12.6 | 1.0 |
| Стан/хазайлт | 2.6 | 3.1 | 2.5 | 2.3 | 1.3 | 1.6 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.8 | 2.6 | 2.1 | 2.0 |
| Үнэм/их | 8.4 | 10.3 | 18.2 | 25 | 29.9 | 32.9 | 35.2 | 32.4 | 27.7 | 22.4 | 14.7 | 11.1 | 35.2 |
| Үнэм/бага | -36.9 | -32.7 | -28.3 | -19.5 | -10.8 | -1.9 | 0 | -0.2 | -9.7 | -22.7 | -28.8 | -34.2 | -36.9 |
| 1-р 10 хоног | -14.5 | -13.5 | -8.9 | 0.4 | 7.2 | 12.7 | 15.2 | 15.0 | 10.5 | 4.3 | -4.0 | -11.5 | 1.1 |
| 2-р 10 хоног | -15.0 | -11.8 | -6.8 | 2.4 | 9.6 | 14.3 | 16.0 | 13.7 | 8.6 | 1.3 | -7.8 | -12.9 | 1.0 |
| 3-р 10 хоног | -15.2 | -11.6 | -3.0 | 4.7 | 11.2 | 14.4 | 15.8 | 12.7 | 6.8 | -1.5 | -9.7 | -13.4 | 0.9 |
| Тох/тоо | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Орднымандал станц | | | | | | | | | | | | | |
| Дундаж | -18.4 | -14.7 | -7.3 | 2.0 | 9.2 | 13.9 | 15.8 | 13.7 | 8.1 | 0.4 | -8.9 | -15.4 | -0.1 |
| Стан/хазайлт | -2.9 | 3.4 | 2.7 | 2.2 | 1.4 | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 2.1 | 2.8 | 2.5 | 2.1 |
| Үнэм/их | 7.6 | 11.9 | 19.4 | 24.9 | 30.9 | 34.4 | 36.2 | 34.8 | 29.2 | 23.3 | 14.6 | 12.5 | 36.2 |
| Үнэм/бага | -40.2 | -36.6 | -32.7 | -21.3 | -11.2 | -4.4 | -0.5 | -1 | -12.1 | -20.6 | -33 | -38.8 | -40.2 |
| 1-р 10 хоног | -18.1 | -16.8 | -10.4 | -0.2 | 6.8 | 12.7 | 15.4 | 15.0 | 10.2 | 3.5 | -5.2 | -14.0 | -0.1 |
| 2-р 10 хоног | -18.5 | -13.3 | -3.8 | 4.3 | 11.3 | 14.5 | 15.6 | 12.5 | 5.9 | 2.8 | -11.8 | -16.3 | -0.2 |
| 3-р 10 хоног | -18.5 | -13.3 | -3.6 | 4.3 | 11.3 | 14.5 | 15.6 | 12.5 | 5.9 | 2.8 | -11.8 | -16.3 | -0.2 |
| Тох/тоо | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Тариаг станц | | | | | | | | | | | | | |
| Дундаж | -22.1 | -18.9 | -11.5 | -1.6 | 5.8 | 11.0 | 13.1 | 11.1 | 5.7 | -2.1 | -12.0 | -18.9 | -3.4 |
| Стан/хазайлт | 2.2 | 3.1 | 2.6 | 2.4 | 1.3 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.3 | 2.0 | 2.7 | 2.6 | 2.0 |
| Үнэм/их | 3.1 | 7.8 | 13.4 | 22.3 | 26.8 | 30 | 32.9 | 29.8 | 25.6 | 19.2 | 8.5 | 7.1 | 32.9 |
| Үнэм/бага | -39.6 | -38 | -34.3 | -25.6 | -15.9 | -8 | -1.3 | -2.8 | -19.2 | -28.5 | -31.9 | -37.5 | -39.6 |
| 1-р 10 хоног | -21.0 | -21.1 | -14.8 | -4.1 | 3.4 | 9.8 | 12.5 | 12.4 | 7.8 | 1.1 | -8.4 | -17.3 | -3.3 |
| 2-р 10 хоног | -22.4 | -18.3 | -12.0 | -1.6 | 6.0 | 11.5 | 13.5 | 11.0 | 5.7 | -2.0 | -12.6 | -19.4 | -3.4 |
| 3-р 10 хоног | -22.7 | -17.3 | -7.9 | 0.9 | 8.0 | 11.9 | 13.1 | 9.9 | 3.5 | -5.3 | -15.0 | -20.0 | -3.4 |
| Тох/тоо | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Генеруулалт станц | | | | | | | | | | | | | |
| Дундаж | -16.9 | -13.8 | -7.0 | 2.5 | 9.2 | 14.2 | 16.1 | 14.7 | 8.5 | 0.9 | -8.5 | -14.2 | 0.5 |
| Стан/хазайлт | 3.7 | 4.1 | 3.8 | 3.1 | 2.6 | 2.0 | 1.9 | 2.4 | 2.5 | 2.6 | 3.6 | 3.8 | 3.0 |
| Үнэм/их | 7.5 | 9 | 19.3 | 26 | 34.1 | 33.1 | 34.5 | 39.4 | 29.4 | 26 | 15 | 9.2 | 39.4 |
| Үнэм/бага | -37 | -33.4 | -30.4 | -22.8 | -14.4 | -2.9 | 0.9 | -1.5 | -10.8 | -21.4 | -35 | -34.5 | -37 |
| 1-р 10 хоног | -16.7 | -15.8 | -10.5 | -0.3 | 7.0 | 12.9 | 15.6 | 15.9 | 10.8 | 4.0 | -4.7 | -13.1 | 0.4 |
| 2-р 10 хоног | -17.0 | -13.1 | -7.5 | 2.7 | 9.4 | 14.9 | 16.5 | 14.5 | 8.3 | 0.9 | -8.3 | -14.6 | 0.5 |
| 3-р 10 хоног | -17.0 | -12.8 | -3.1 | 5.2 | 11.3 | 14.9 | 16.3 | 13.6 | 6.3 | -2.2 | -11.5 | -14.9 | 0.5 |
| Тох/тоо | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Булган харуул | | | | | | | | | | | | | |
| Дундаж | -18.4 | -15.7 | -9.3 | 0.6 | 7.9 | 12.9 | 14.5 | 12.5 | 6.5 | -1.5 | -10.3 | -15.6 | -1.3 |
| Стан/хазайлт | 3.0 | 2.8 | 2.6 | 2.3 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.5 | 1.9 | 2.6 | 2.2 | 3.0 | 2.0 |
| Үнэм/их | 5.8 | 9 | 16.5 | 24.5 | 29.3 | 31.2 | 32.1 | 30.6 | 40 | 20.2 | 13.3 | 8.5 | 40 |
| Үнэм/бага | -36.8 | -36.8 | -35.6 | -23.5 | -14.5 | -6.2 | -1.1 | -4.1 | -16.6 | -21.7 | -31.8 | -35.9 | -36.8 |
| 1-р 10 хоног | -18.3 | -17.2 | -12.4 | -2.3 | 5.6 | 11.5 | 14.0 | 13.7 | 8.8 | 1.7 | -6.9 | -14.4 | -1.3 |
| 2-р 10 хоног | -18.3 | -15.1 | -9.8 | 0.7 | 7.9 | 13.8 | 14.9 | 12.4 | 6.4 | -1.7 | -10.9 | -16.2 | -1.3 |
| 3-р 10 хоног | -18.5 | -14.7 | -5.8 | 3.4 | 10.1 | 13.5 | 14.5 | 11.5 | 4.4 | -4.6 | -13.1 | -18.3 | -1.3 |
| Тох/тоо | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |

Зураг 144. Уур амьсгалын норм

Хүснэгт 14. Сарын дундаж агаарын температурын статистик үзүүлэлтүүд (Цэцэрлэг станц)

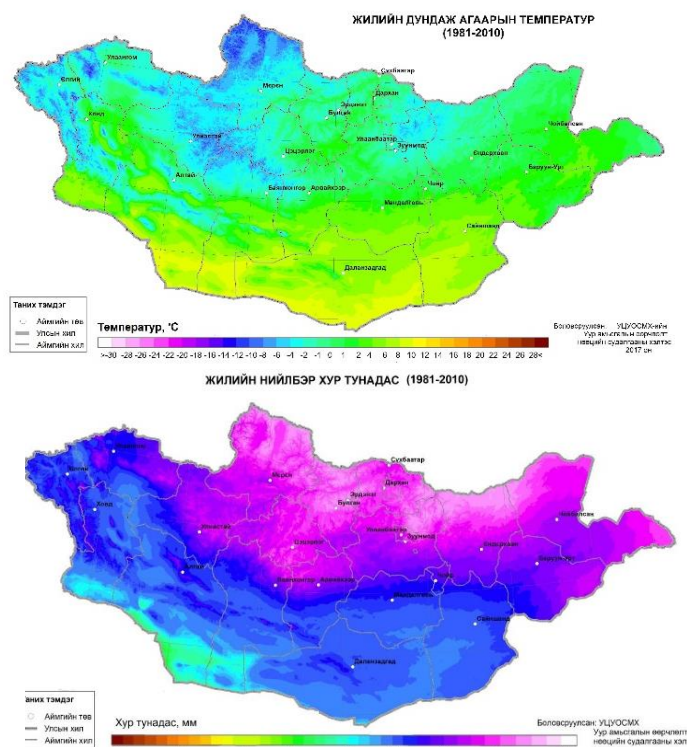
| Үзүүлэлт | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Жил |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Дундаж | -14.9 | -12.3 | -6.2 | 2.5 | 9.3 | 13.8 | 15.7 | 13.8 | 8.6 | 1.3 | -7.2 | -12.6 | 1.0 |
| Стан/хазайлт | 2.6 | 3.1 | 2.5 | 2.3 | 1.3 | 1.6 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.8 | 2.6 | 2.1 | 2.0 |
| Үнэм/их | 8.4 | 10.3 | 18.2 | 25 | 29.9 | 32.9 | 35.2 | 32.4 | 27.7 | 22.4 | 14.7 | 11.1 | 35.2 |
| Үнэм/бага | -36.9 | -32.7 | -28.3 | -19.5 | -10.8 | -1.9 | 0 | -0.2 | -9.7 | -22.7 | -28.8 | -34.2 | -36.9 |
| 1-р 10 хоног | -14.5 | -13.5 | -8.9 | 0.4 | 7.2 | 12.7 | 15.2 | 15.0 | 10.5 | 4.3 | -4.0 | -11.5 | 1.1 |
| 2-р 10 хоног | -15.0 | -11.8 | -6.8 | 2.4 | 9.6 | 14.3 | 16.0 | 13.7 | 8.6 | 1.3 | -7.8 | -12.9 | 1.0 |
| 3-р 10 хоног | -15.2 | -11.6 | -3.0 | 4.7 | 11.2 | 14.4 | 15.8 | 12.7 | 6.8 | -1.5 | -9.7 | -13.4 | 0.9 |
| Тох/тоо | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |

Хүснэгт 15. Сарын нийлбэр хур тунадасны статистик үзүүлэлтүүд

| Үзүүлэлт | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Жил |
|--------------|-----|-----|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|
| Нийлбэр | 2.6 | 2.8 | 7.8 | 13.1 | 32.2 | 61.2 | 88.7 | 72.8 | 24.2 | 12.9 | 5.9 | 2.9 | 327.3 |
| Стан/хазайлт | 2.2 | 2.2 | 4.5 | 10.0 | 18.1 | 27.7 | 38.5 | 33.5 | 13.4 | 9.5 | 4.3 | 2.6 | 13.9 |
| дунд хам/их | 8.2 | 7.7 | 16.7 | 39.9 | 75.4 | 116.6 | 164.4 | 187.9 | 53.8 | 35.1 | 15.5 | 10.0 | 187.9 |
| 1-р 10 хоног | 1.3 | 0.7 | 2.3 | 3.1 | 6.1 | 14.3 | 30.8 | 28.0 | 9.9 | 6.3 | 3.6 | 1.4 | 107.8 |
| 2-р 10 хоног | 0.9 | 1.4 | 3.2 | 5.8 | 10.5 | 20.7 | 33.2 | 22.9 | 10.0 | 6.4 | 2.2 | 1.0 | 118.1 |
| 3-р 10 хоног | 1.2 | 1.3 | 3.2 | 4.9 | 16.9 | 26.2 | 24.7 | 22.0 | 4.9 | 3.5 | 1.3 | 1.4 | 111.5 |

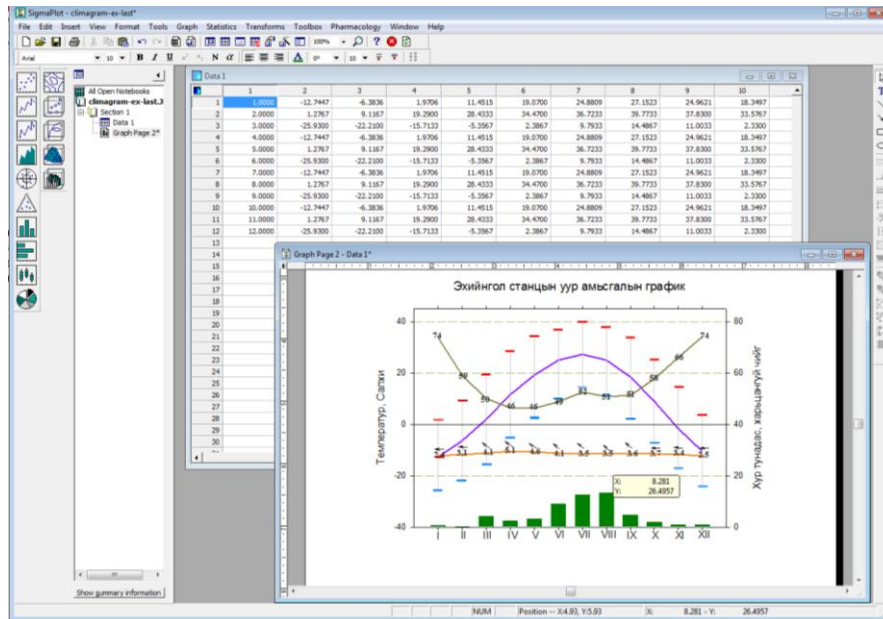
| | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Тох/тоо | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

129 станцын 1981-2010 оны олон жилийн дундаж агаарын температур, нийлбэр хур тунадасны нормыг Статистик (Anusplin загвар) буулгалтаар тооцоолж 1 км-ын нарийвчлалтай босгосон үр дүнд статистик засвар хийж, Монгол орны агаарын дундаж температур, нийлбэр хур тунадасыг цаг хугацааны улирал, жилийн орон зайн $0.008^{\circ}\text{X}0.008^{\circ}$ (~1.0км) буюу маш өндөр нарийвчлалтай тархалтын зургийг 1: 8500 000 масштабээр зохиосон (Зураг 145).



Зураг 145. Монгол орны 1981-2010 оны жилийн дундаж агаарын температур, хур тунадасны газарзүйн тархалт

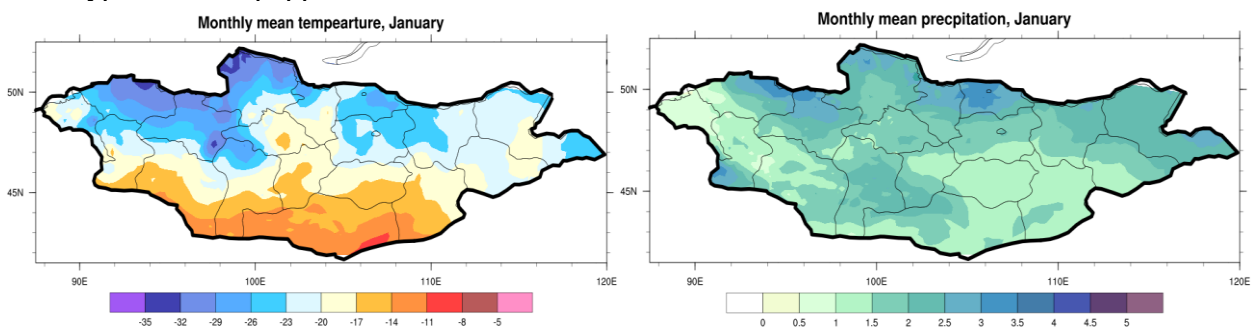
Тухайн орон нутгийн уур амьсгалыг олон жилийн дундаж үзүүлэлтүүдээр ойгомжтой харуулдаг дүрсэл бол климаграфик билээ. Монгол орны урт цуваат 69 станцын 1981-2010 оны сарын дундаж, үнэмлэхүй их, бага температур, нийлбэр хур тунадасны нормыг, салхины дундаж хурд, зонхилох чиглэл, харьцангуй чийгийн 1981-2010 оны нормыг ашиглаж, Sigmaplot программ хангамж дээр климаграфикийг автоматаар зурдаг болгож загварчилсан (Зураг 145). Мөн эдгээр 69 станцын уур амьсгалын товч тодорхойлолтыг станц бүрээр бичсэн. Жишээ болгож Өвөрхангай аймгийн Арвайхээр сумын уур амьсгалын товч тодорхойлолтыг Хавсралт 1-д үзүүлэв.



Зураг 145. Уур амьсгалын климаграф

Уур амьсгалын мониторингийн бүтээгдэхүүнийг автоматжуулах

Уур амьсгалын мониторингийн нэг томоохон бүтээгдэхүүн бол өнгөрсөн сар, улирал, жилийн уур амьсгалын тойм билээ. Энэхүү уур амьсгалын тойм нь хэрэглэгчдийн хэрэгцээ шаардлагад нийцсэн байх тул сар бүрийн дундаж температур, нийлбэр хур тунадасны ОЖД нормын зураг хэт өндөр нарийвчлалтай байх хэрэггүй. Иймд бид дээрх 1 км-ын нарийвчлалтай тооцоолсон сар бүрийн дундаж температур, нийлбэр нийлбэр хур тунадасны ОЖД нормыг орон зайн $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ буюу 27 км-ын нарийвчлал руу шилжүүлж NCL-ийн скрипт ашиглан зурагласан. Энэ нормын зураг нь дараагийн норм шинэчлэгдэх хүртэл дахин зурах шаардлагагүй болно. Жишээ болгож 1 дүгээр сарын дундаж температур, нийлбэр хур тунадасны нормын газарзүйн тархалтыг Зураг 146-д үзүүлэв.

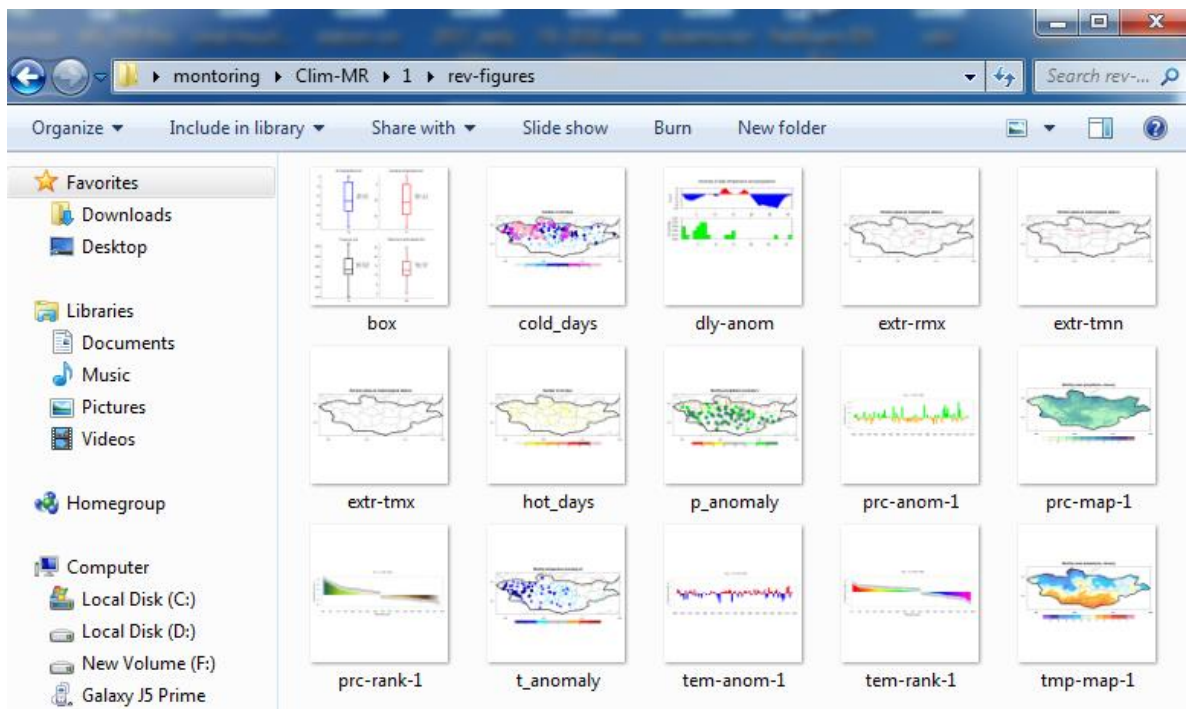


Зураг 146. 1981-2010 оны 1 дүгээр сарын дундаж температур, нийлбэр хур тунадасны газарзүйн тархалт

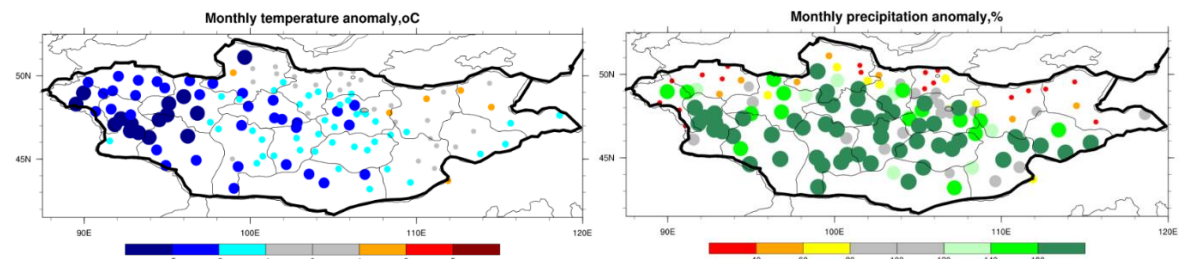
Сар, жилийн уур амьсгалын тоймыг хэрэглэгчдэд ойлгомжтой түргэн шуурхай хүргэхийн тулд загвар боловсруулж, боловсруулалтын программыг Fortran дээр, график, тархалтын зураглалыг NCL-ийн програмчлалын хэл ашиглан LUNIX үйлдлийн систем дээр автоматжуулсан. Тухайн сарын агаар, хөрсний дундаж температур, даралт, салхи, хур тунадас болон тэдгээрийн үнэмлэхүй их бага утгыг түүвэрлэж гаргадаг программ бичиж, автоматжуулсан. Жишээ нь: Зураг 147-д 129 станцын 2018 оны 1 сарын түүвэрийг үзүүлэв.

| Station ID | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|------------|-------|-------|-------|-----|----|-----|-----|-------|-------|-------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 4320101 | -16.1 | -4.0 | -28.6 | -16 | 9 | -34 | 7.1 | 826.4 | 836.3 | 815.2 | 2.9 | 17 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4320721 | -14.1 | -1.0 | -27.4 | -14 | 7 | -29 | 1.7 | 894.8 | 906.6 | 878.6 | 4.7 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4329900 | -17.0 | -4.3 | -30.1 | -18 | 4 | -34 | 4.3 | 912.6 | 925.4 | 898.9 | 1.7 | 9 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4360441 | -17.9 | -0.5 | -32.3 | -17 | 11 | -33 | 7.6 | 855.4 | 868.4 | 840.4 | 3.0 | 21 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4360961 | -16.3 | -2.9 | -30.8 | -16 | 4 | -32 | 1.2 | 908.0 | 922.8 | 890.1 | 5.4 | 16 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4371191 | -16.9 | -1.7 | -30.5 | -17 | 4 | -33 | 0.8 | 910.8 | 925.8 | 893.6 | 3.4 | 20 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4410361 | -18.0 | -3.9 | -32.2 | -17 | 4 | -32 | 3.7 | 874.2 | 888.1 | 858.8 | 7.9 | 21 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 4410681 | -17.4 | 0.8 | -31.5 | -17 | 7 | -32 | 1.1 | 872.7 | 886.4 | 857.4 | 6.3 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4440531 | -18.4 | -2.9 | -33.1 | -19 | -1 | -37 | 2.1 | 874.2 | 888.2 | 858.8 | 3.1 | 16 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 4440881 | -17.7 | -2.5 | -33.1 | -18 | 4 | -35 | 1.4 | 871.1 | 885.0 | 855.1 | 6.2 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4441111 | -18.9 | -4.8 | -32.8 | -19 | 1 | -34 | 1.1 | 907.5 | 922.5 | 890.9 | 4.4 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 4459930 | -19.6 | -6.3 | -32.8 | -22 | -3 | -41 | 8.6 | 774.6 | 784.3 | 763.9 | 4.3 | 18 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 4460411 | -20.5 | -6.7 | -37.1 | -21 | -0 | -39 | 1.9 | 836.2 | 849.8 | 821.1 | 5.0 | 18 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| 4470221 | -20.1 | -1.3 | -35.9 | -21 | 5 | -36 | 5.0 | 849.8 | 863.3 | 834.4 | 2.1 | 16 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| 4480031 | -20.3 | -8.8 | -33.0 | -22 | 2 | -37 | 4.4 | 839.2 | 850.7 | 825.2 | 2.1 | 14 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 4491011 | -18.3 | -5.5 | -32.7 | -18 | -0 | -33 | 2.6 | 914.1 | 929.5 | 897.0 | 4.5 | 16 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4499550 | -15.5 | -2.7 | -29.1 | -14 | 8 | -29 | 5.6 | 858.8 | 869.0 | 849.3 | 4.2 | 18 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4499680 | -20.7 | -5.2 | -38.2 | -18 | 4 | -34 | 4.2 | 889.1 | 902.1 | 878.0 | 2.2 | 12 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| 4509890 | -18.5 | -3.3 | -32.3 | -19 | 5 | -37 | 3.8 | 794.7 | 806.1 | 783.3 | 4.5 | 23 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| 4520081 | -18.5 | -4.6 | -31.6 | -19 | 1 | -35 | 3.9 | 878.0 | 891.4 | 863.0 | 4.1 | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 4520141 | -20.2 | -6.8 | -33.7 | -21 | 1 | -35 | 2.7 | 880.1 | 893.9 | 864.5 | 4.9 | 17 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| 4531381 | -24.0 | -10.4 | -38.2 | -27 | -8 | -43 | 4.0 | 876.0 | 890.3 | 860.9 | 3.3 | 11 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 |
| 4540391 | -21.7 | -7.6 | -36.5 | -22 | -2 | -38 | 3.8 | 872.2 | 886.6 | 855.6 | 2.6 | 14 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| 4540701 | -18.3 | -5.5 | -31.3 | -18 | 2 | -32 | 3.8 | 887.8 | 902.7 | 872.4 | 6.1 | 18 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4549440 | -19.0 | -4.7 | -29.9 | -20 | 2 | -34 | 2.4 | 783.2 | 792.3 | 772.8 | 5.1 | 24 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4560301 | -20.2 | -5.7 | -33.9 | -20 | 3 | -35 | 1.2 | 861.8 | 876.6 | 847.4 | 2.3 | 16 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4571241 | -19.7 | -6.1 | -32.5 | -20 | -1 | -35 | 2.4 | 892.6 | 907.0 | 877.0 | 3.7 | 12 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 4580631 | -19.9 | -6.6 | -33.0 | -22 | -6 | -36 | 5.8 | 861.7 | 875.4 | 846.3 | 5.5 | 18 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 4581121 | -19.0 | -3.6 | -32.7 | -19 | 3 | -34 | 1.7 | 897.1 | 912.4 | 880.5 | 5.3 | 15 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 4591541 | -21.0 | -8.0 | -34.4 | -22 | -4 | -38 | 4.2 | 894.7 | 908.4 | 880.6 | 3.5 | 14 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |

Зураг 147. 2018 оны 1 сарын түүвэр, 129 станцаар

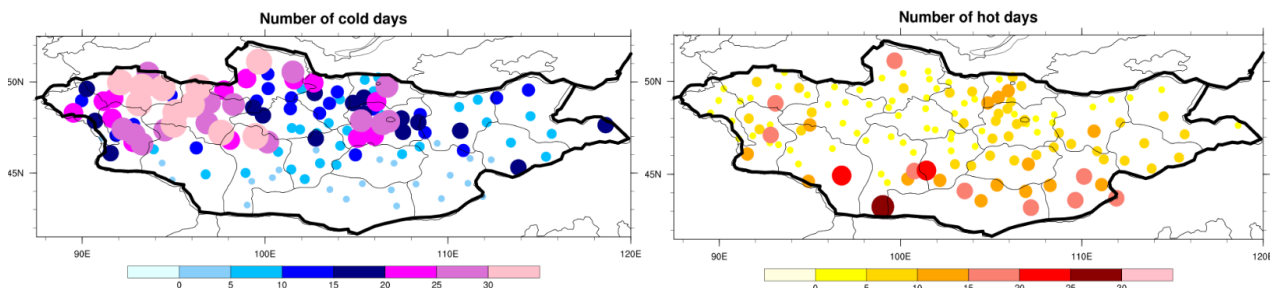


Цаг уурын 129 станцын тухайн сарын дундаж температур, нийлбэр хур тунадасны ОЖД-аас (1981-2010 оны дунджаас) хазайх хазайлтыг тооцоолдог программ хийж NCL-ийн скрипт ашиглан зураглалыг автоматжуулсан. Жишээ нь: Зураг 148-д 2018 оны 1 дүгээр сарын дундаж температур, нийлбэр хур тунадасны ОЖД-аас хазайх хазайлтын зураглалыг үзүүлэв.



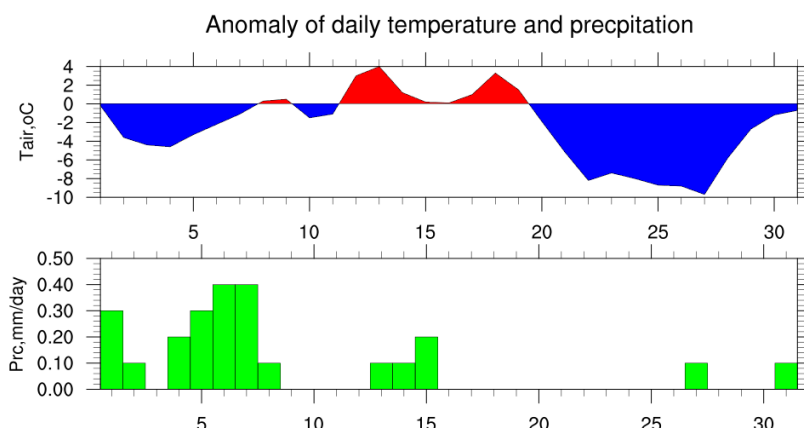
Зураг 148. 2018 оны 1 дүгээр сарын дундаж температур, нийлбэр хур тунадасны ОЖД-аас хазайх хазайлт

Өвлийн саруудад тохиолдсон -30°C -аас хүйтэн, зуны саруудад тохиолдсон 30°C -аас халуун өдрийн тоог тооцоолж, үр дүнг зурагладаг прорамм хийсэн. Жишээ болгож Зураг 149-д 2018 оны 1 дүгээр сарын -30°C -аас хүйтэн өдөр, 6 дугаар сарын 30°C -аас халуун өдрийн тооны тархалтыг үзүүлэв.



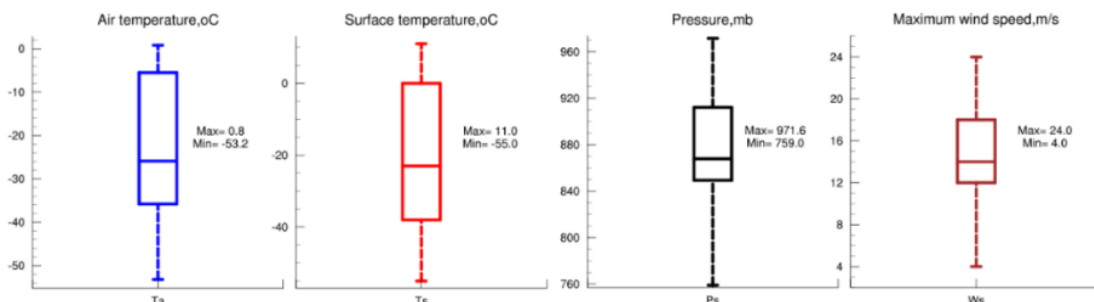
Зураг 149. 2018 оны 1 дүгээр сард тохиолсон -30°C -аас хүйтэн өдөр, 6 дугаар сард тохиолсон 30°C -аас халуун өдрийн тооны газарзүйн тархалт

Агаарын дундаж температурын хоногийн нормыг (1981-2010 он) температурын нормыг ашиглан тухайн сарын хоногийн температур ОЖД-аас хэр, хур тунадасны нормыг гаргасан. Энэхүү нормыг ашиглан тухайн сарын сарын уур амьсгалын тоймонд ашиглаж байна (Зураг 150).



Зураг 150. 2018 оны 1 дүгээр сарын хоногийн дундаж температурын ОЖД-аас хазайх хазайлт болон хур тунадасны явц

Тухайн сард ажиглагдсан үнэмлэхүй утгуудыг агаарын температур, хөрсний гадаргын температур, даралт, салхины хурд гэсэн элементүүдээр гаргав (Зураг 151).

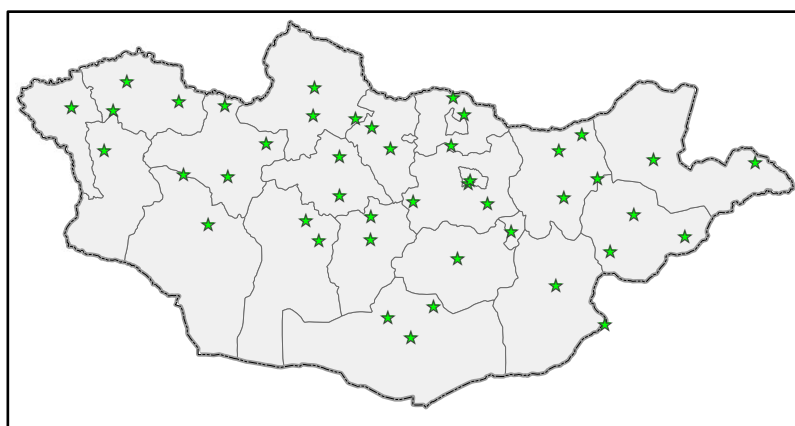


Зураг 151. Тус сард ажиглагдсан экстремаль утгууд

Уур амьсгалын өөрчлөлтийн мониторингийн автоматжуулалт

Одоо ажиллаж байгаа 135 станц нь цаг хугацааны хувьд харилцан адилгүй. Иймд 1940 оноос хойших Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлтийг авч үзэхдээ 1965 оноос өмнө байгуулагдсан станцуудыг сонгон авсан. Энэхүү сонгон авсан станцуудын цуваа мөн харилцан адилгүй тул цувааг математик статистикийн корелляцийн аргаар уртасгаж нөхсөн.

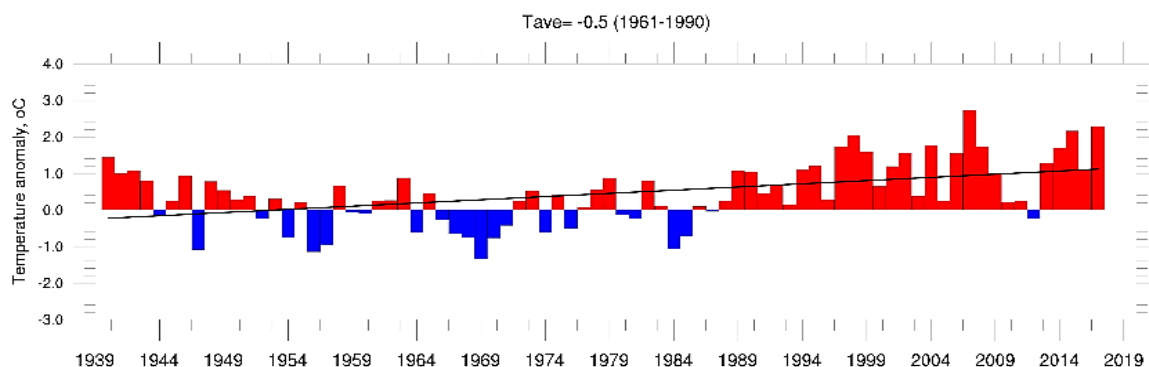
Монгол орны хэмжээнд 1965 оноос өмнө байгуулагдсан 46 станц байдаг. Харин бид 44 станцыг сонгон авч цувааг 1940 он хүртэл урагш уртасгасан. Цөлийн бүсийн 1961 онд байгуулагдсан Тоорой, Байтаг станцуудын сарын дундаж температур бусад станцуудтай хамаарал муу гарсан тул энэ 2 станцыг орхисон болно. Сонгон авсан 44 станцын газарзүйн байрлалыг зураг 152-т, станцын нэрийг Хавсралт 5-т тус тус үзүүлэв.

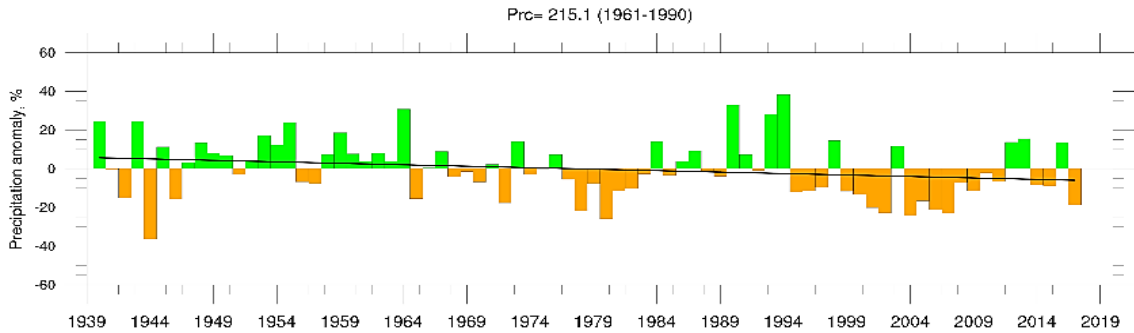


Зураг 152. Сонгон авсан 44 станцын газарзүйн байршил

Уур амьсгалын өөрчлөлтийг илэрхийлэгч хамгийн гол үзүүлэлтүүд бол агаарын температур, хур тунадас билээ. Иймд бид уур амьсгалын өөрчлөлтийн бүтээгдэхүүн болох жилийн дундаж температур, нийлбэр хур тунадасны ОЖД-аас хазайх хазайлтын явц болон эдгээрийн олон жилийн эрэмбэ, мөн 3, 6, 12 сараар тооцолсон хуурайшилтын индекс (SPI)-ийн олон жилийн явцыг NCL-ийн програмчлалын хэлийг ашиглан LINUX систем дээр автоматжуулав.

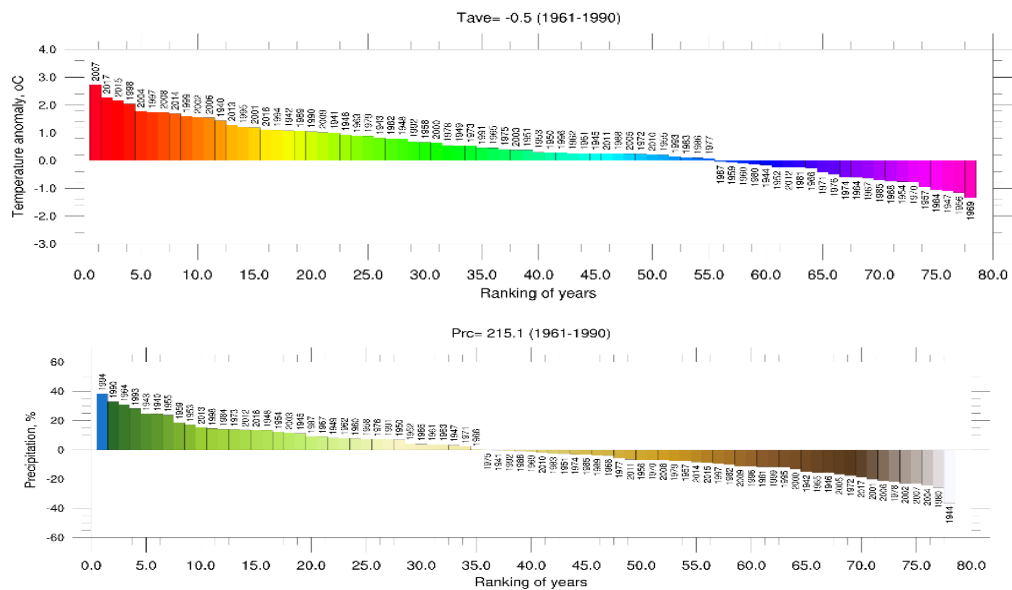
Уртасгасан 44 станцын дунджаар тооцоолсон Монгол орны 1940-2017 оны жилийн дундаж температур, нийлбэр хур тунадасны ОЖД-аас хазайх хазайлтын явцыг Зураг 153-т үзүүлэв. Тухайн жил дуусангуут жилийн дундаж температур, нийлбэр хур тунадасны олон жилийн дунджаас хазайх хазайлт болон шугаман трендийн хандлагын график шинэчлэгдэж хэрэглэгчдэд хүрэх болно.





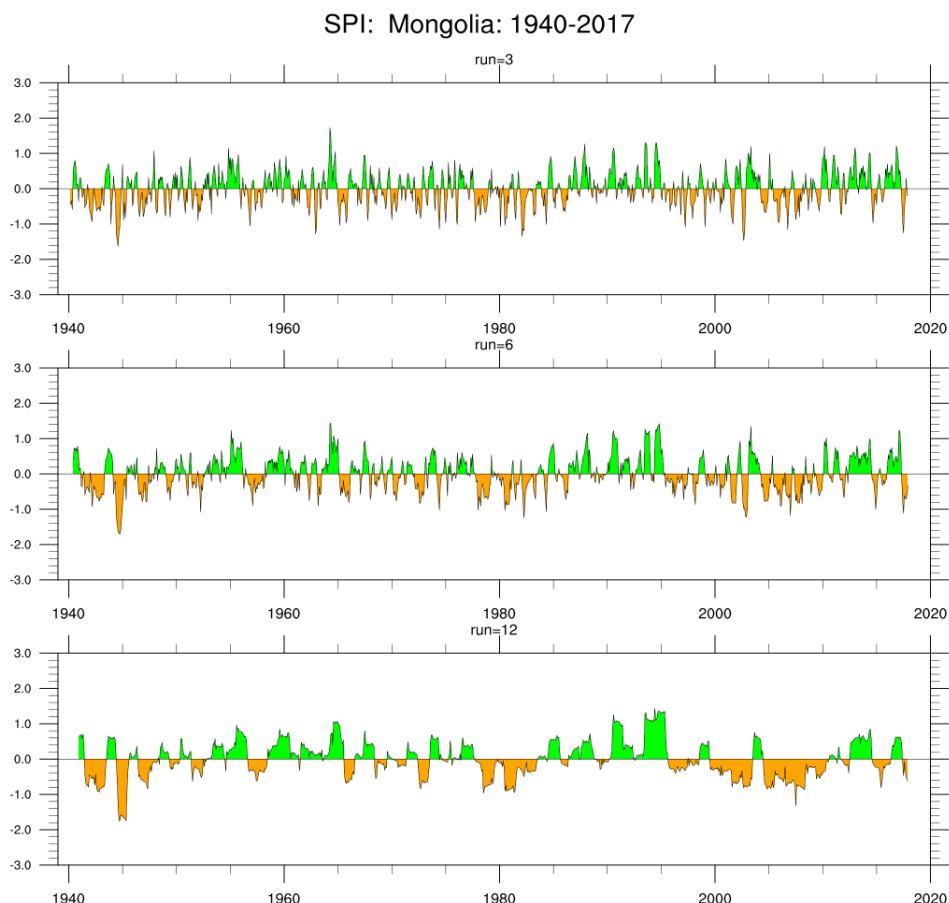
Зураг 153. Монгол орноор дундажласан жилийн дундаж температур, нийлбэр хур тунадасны ОЖД-аас хазайх хазайлтын явц

Монгол орны жилийн дундаж температур, нийлбэр хур тунадасны олон жилийн эрэмбийн график дээрээс хэрэглэгч өөрийн сонирхож буй жил түүхэнд ажиглагдсан хэд дэх дулаан болон хүйтэн жил байсан мөн хур тунадасны хувьд хэд дэх ахиу болон бага тунадастай жил байсанг тус тус харж болно. Монгол орны урт цуваат 44 станцын дунджаар байгуулсан жилийн дундаж температур, нийлбэр хур тунадасны 1941-2017 оны цувааны эрэмбийн графикаас (зураг) харахад 2017 он хамгийн дулаан жил, 1989 он хамгийн хүйтэн жил, харин 1994 он хамгийн их тунадастай жил, 1944 он хамгийн бага хур тунадастай жил тус тус байжээ.



Зураг 9. Монгол орны урт цуваат 44 станцын дунджаар байгуулсан жилийн дундаж температур, нийлбэр хур тунадасны олон жилийн (1941-2017 он) цувааны эрэмбэ.

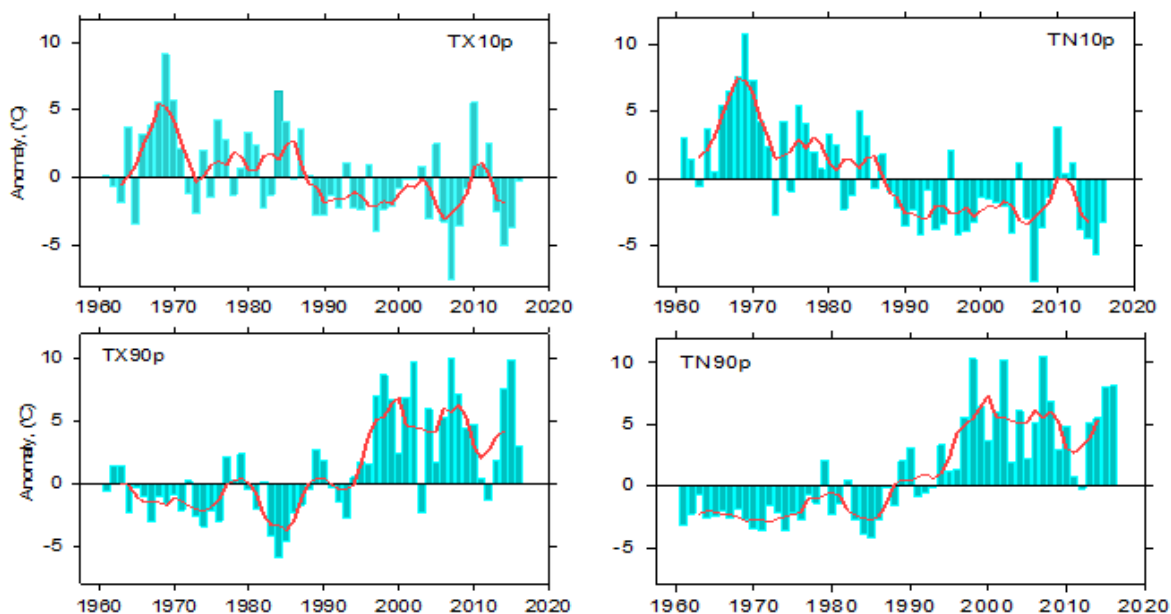
Цаг уурын ганг тооцоолоход хамгийн өргөн ашигладаг арга бол хур тунадасны стандартчиллагдсан индекс (SPI) билээ. Энэ индексийг 3, 6, 12 сараар тооцоолж Зураг ... үзүүлэв. 3 сараар тооцоолсон хуурайшилтын индекс (SPI) нь тухайн сарын чийглэг болон хуурайг, 6 сарын өөрчлөлт нь хөдөө аж ахуйн ган буюу хөрсний чийгийг, 12 сарын өөрчлөлт нь гадаргын усны өөрчлөлтийг тодорхойлоход чухал үзүүлэлт болдог.



Зураг 154. SPI-ийн 3,6,12 сараар тооцоолсон цаг уурын гангийн олон жилийн явц

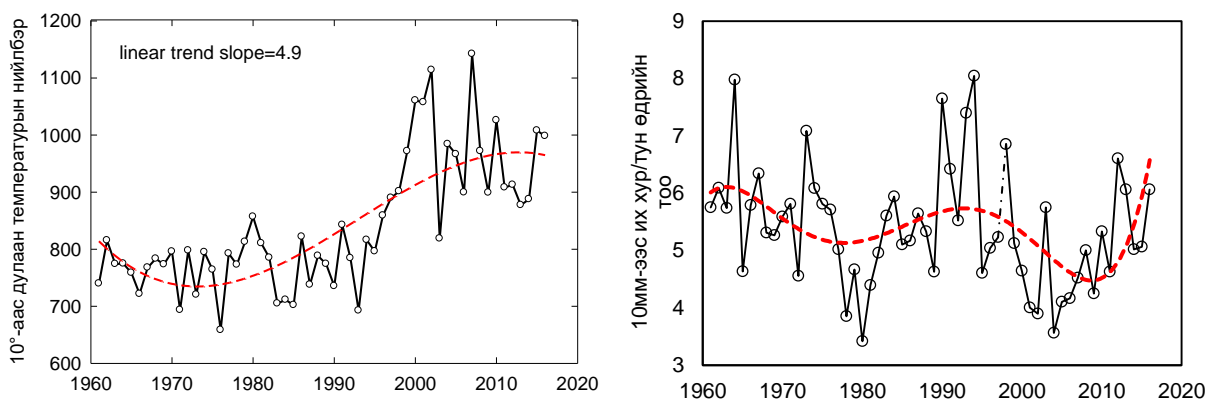
Уур амьсгалын өөрчлөлт эрчимтэй явагдаж байгаа өнөө үед түүний захын утгуудын өөрчлөлтийг судлах нь маш чухал юм. Дэлхийн цаг уурын байгууллагын CCI/CLIVAR-ын ажлын хэсгийнхэн 2013 онд ClimPACT програм хангамжийг үйлвэрлэлд нэвэрүүлсэн. Уг программыг ашиглан Монгол орны 135 станцаар нийгэм эдийн засагт хамгийн их нөлөө үзүүлдэг агаарын максимум, минимум температур болон хур тунадасны 80 гаруй индексийг тооцоолсон. Эдгээр индексүүдээс Монгол орны экосистемд хамгийн их нөлөө үзүүлж байгаа дараах индексүүдийг сонгон авч олон жилийн өөрчлөлтийг үзүүллээ.

Хүйтэн өдөр (TX10p), хүйтэн шөнө (TN10p) гэдэг нь агаарын үнэмлэхүй бага температур 10 хувийн хангамжтай өдрийг хэлнэ. Халуун өдөр (TX90p), халуун шөнө (TN90p) гэдэгт агаарын үнэмлэхүй их температур 90 хувийн хангамжтай өдрийг хэлнэ. Энэхүү хүйтэн өдөр, шөнө болон халуун өдөр шөнийн олон жилийн өөрчлөлт хөдөө аж ахуй, ус, эрүүл мэндэд нөлөө үзүүлдэг хамгийн чухал үзүүлэлт билээ. Энэхүү индексүүдийн олон жилийн өөрчлөлтийг Зураг 155-д үзүүлэв. Зургаас харахад 1988 оноос хойш хүйтэн, өдөр шөнө эрчимтэй буурч, эсрэгээр халуун өдөр, шөнө эрс нэмэгдсэн байна.



Зураг 155. Монгол орноор дунджилсан хүйтэн өдөр (TX10p), хүйтэн шөнө (TN10p), халуун өдөр (TX90p), халуун шөнө (TN90p) –ийн ОЖД-аас хазайх хазайлтын явц

10°C-аас дулаан агаарын дундаж температурын нийлбэр нь ургамлын ургалтын хугацаанд шаардагдах дулаан болон ууршилтыг тодорхойлох учир хөдөө аж ахуй, гадаргын урсацад ихээхэн нөлөө үзүүлдэг индекс юм (Зураг 156). Зургаас харахад 10°C-аас дулаан температурын нийлбэр буюу таримал ургамлын ургалтанд шаардлагтай дулааны нөөц 1995 оноос хойш эрс нэмэгдсэн байна. Нөгөөтэйгүүр 10°C-аас дулаан температурын нийлбэр дэвсгэр гадаргын ууршилтанд ихээхэн нөлөөлдөг учир 1995 оноос хойш ууршилт нэмэгджээ. Хоногт 10 мм-ээс их хур тунадас орсон өдрийн тоо 1960-2017 оны хооронд буурсан хандлагатай боловч сүүлийн жилүүдэд ерөнхийдөө нэмэгдэх хандлагатай болсон байна.



Зураг 156. 10°C-аас дулаан температурын нийлбэр хоногт 10 мм-ээс их хур тунадас орсон өдрийн тоо

Дүгнэлт

Энэ судалгааны ажлын хүрээнд Монгол орны цаг уурын улсын сүлжээнд одоо ажиллаж байгаа 135 станцын 1981-2010, 181 харуулын 1985-2015 оны жилийн дундаж агаарын температур, нийлбэр хур тунадас болон эдгээрийн

статистик үзүүлэлдүүдээр шинэчилэн норм гаргасан нь шинэлэг бөгөөд практик ач холбогдолтой ажил болсон.

Энэхүү шинэчилсэн нормыг ашиглан ANUSPLIN статистик загвараар 1 км-ын нарийвчлалтай Монгол орны агаарын дундаж температур, нийлбэр хур тунадасны сар, улирал, жилийн 1: 8500 000 масштабын зураглал хийсэн.

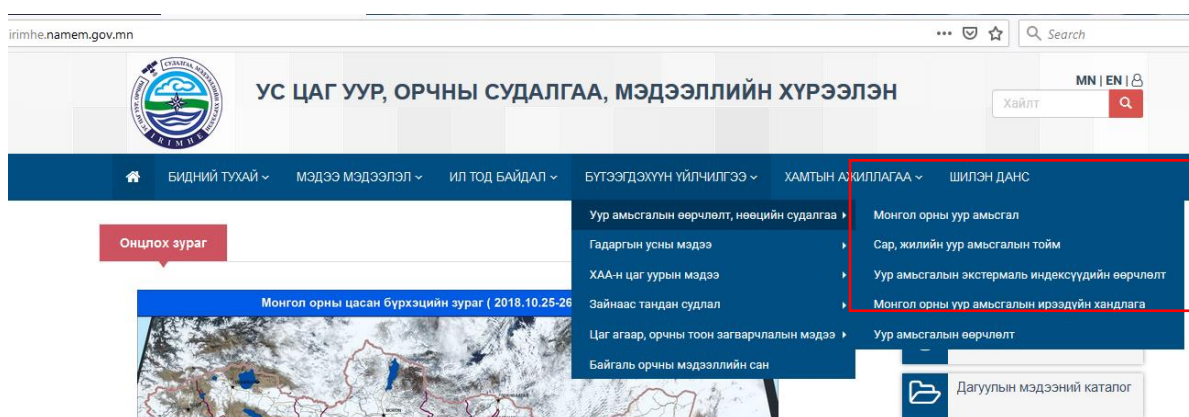
Урт цуваат цуваат 69 станцын салхины дундаж хурд, зүг, харьцангуй чийгийн 1971-2000 оны нормыг гаргаж, уур амьсгалын климаграфик болон уур амьсгалын товч тодорхойлолтыг станц бүрээр бичиж гаргасан.

Уур амьсгалын мониторингийн сар жилийн нормын боловсруулалтын программыг Fortran дээр, тухайн сар, жилийн дундаж температур, нийлбэр хур тунадсаны ОЖД-аас хазайх хазайлтын тархалт болон уур амьсгалын өөрчлөлтийн бүтээгдэхүүнүүдийн олон жилийн өөрчлөлтийн графикийг Lunix систем дээр NCL –ийн скрипт ашиглан автоматжуулж, үйлвэрлэлд нэвтрүүлснээр тухайн сар, жилийн уур амьсгалын тоймыг хэрэглэгчдэд түргэн шуурхай хүргэж байна.

Дэлхийн цаг уурын байгуулагын CCI/CLIVAR-ын ажлын хэсгийг хамтран гаргасан ClimPACT програм хангамжийг ашиглан Монгол орны 135 станцаар нийгэм эдийн засагт хамгийн их нөлөө үзүүлдэг агаарын максимум, минимум температур болон хур тунадасны 80 гаруй индексийг тооцоолсон. Эдгээр индексүүдээс Монгол орны экосистемд хамгийн их нөлөө үзүүлж байгаа хүйтэн өдөр (TX10p), шөнө (TN10p), халуун өдөр (TX90p), шөнө (TN90p), 10°C-аас дулаан температурын нийлбэр, хоногт 10 мм-ээс их хур тунадасны мониторинг үүсгэсэн.

Үйлдвэрлэлт нэвтрүүлсэн байдал

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд автоматжуулсан программ хангамжийг ашиглан уур амьсгалын мониторингийн бүтээгдэхүүнийг тус хүрээлэнгийн www.tsag-agaar.mn, <http://irimhe.namem.gov.mn> сайтад түргэн шуурхай байрлуулж байна (Зураг 157).



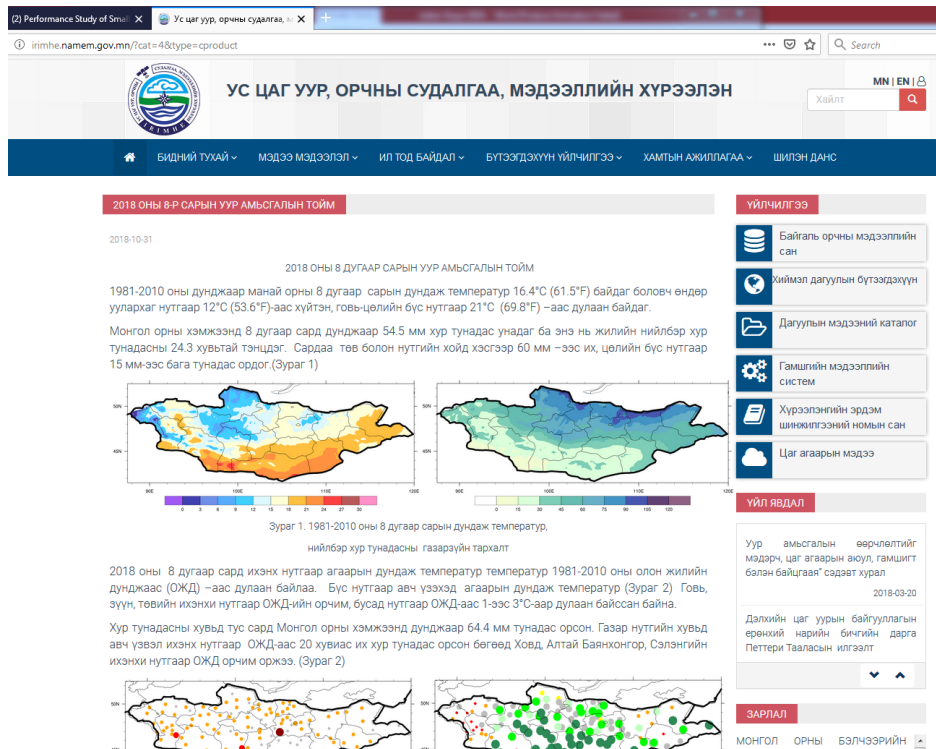
Зураг 157. Ус цаг уур, орчны судалгаа, мэдээллийн хүрээлэн

Уур амьсгалын 1981-2010 оны шинэчилсэн норм болон статистик загвараар 1 км-ын нарийвчлалтай босгосон Монгол орны агаарын дундаж температур, нийлбэр хур тунадасны зургийг ашиглан Монгол орны уур амьсгалын бичиглэлийг хийж сайтын уур амьсгал хэсгийн Монгол орны уур амьсгалыг шинэчлэн хэрэглэгчдэд хүргэв (Зураг 158).



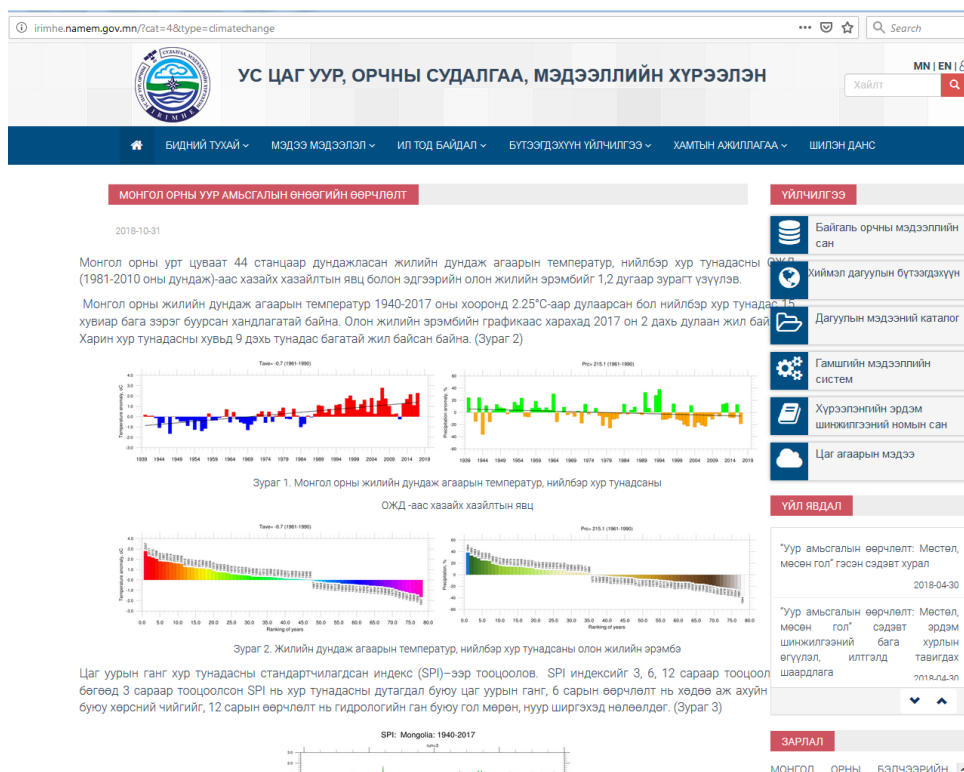
Зураг 158. Өндөр нарийвчлалтай уур амьсгалын зураг

Сар, жилийн уур амьсгалын тоймын программ хангамжийг ашиглан тухайн сарын уур амьсгалын тоймыг хэрэглэгчдэд хүргэж байна. Жишээ нь 2018 оны 8 сарын уур амьсгалын тоймыг Зураг 159-т үзүүлэв.



Зураг 159. Сарын уур амьсгалын тойм

Уур амьсгалын өөрчлөлтийн мониторингийн бүтээгдэхүүнийг веб хуудсанд Зураг 160-т үзүүлсэн байдлаар байрлуулав.



Зураг 160. Уур амьсгалын өөрчлөлтийн мониторинг

2.7.2 Цаг агаар, уур амьсгалын аюултай үзэгдлийн мэдээллийн сан

Цаг агаар, уур амьсгалын өөрчлөлт, хэлбэлзэлд өртөхгүй улс орон, бүс нутаг, аж ахуй, нийгэм эдийн засгийн салбар гэж үгүй билээ. Хүн төрөлхтөний соёл иргэншилд сүйрэл авчирч болох уур амьсгал, байгаль орчны сөрөг өөрчлөлт, байгалийн нөөцийн хомсдол сүүлийн хагас зуун жилд дэлхийн бүх улс орны төрийн ба төрийн бус байгууллагууд, эрдэмтдийн сэтгэлийг хамгийн ихээр зовоосон асуудлууд болж, байгаль орчныг хамгаалах, уур амьсгал, байгалийн нөөцийг зөв зохистой, үр бүтээлтэй ашиглах шинэ арга зам, чиг хандлагыг эрэлхийлж улс орны тогтвортой хөгжлийн зарчмуудыг мэдлэгт суурилсан экологийн эдийн засгийн үнэлэмжид тулгуурлан хөгжүүлэх нь зүйтэй гэсэн дүгнэлтэд хүрч байна.

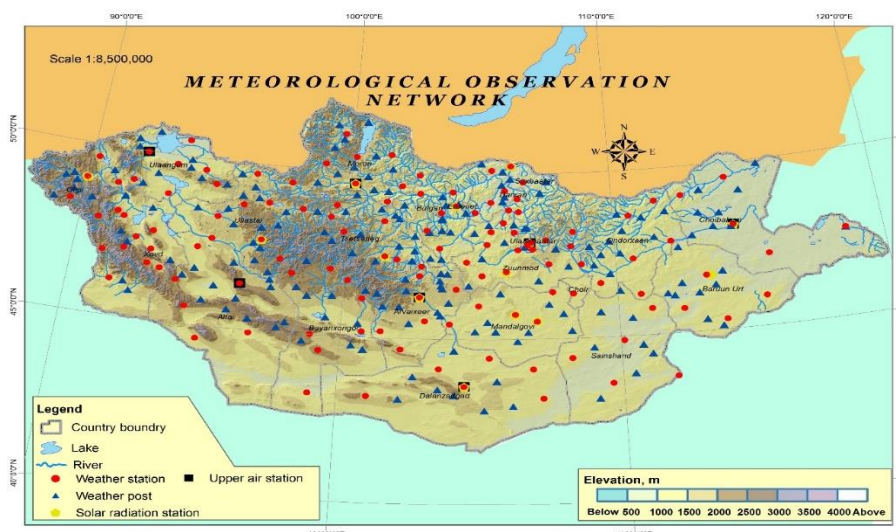
Хүн төрөлхтөнд өнөөдөр нүүрлэж буй хамгийн шууд аюул нь хүчтэй салхины үүсэл, түүний давтагдал болон ган, үер зэрэг цаг агаар, уур амьсгалтай уялдаа бүхий бусад аюултай ба гамшигт үзэгдлүүдийн эрчим улам нэмэгдэж байгаа явдал юм. Түүнчлэн цаг агаар, уур амьсгалын аюултай ба гамшигт үзэгдлийн үзүүлэх нөлөөлөл тогтвортой хөгжилд ихээхэн саад тогтвор учруулж байна. Тухайлбал, дэлхийн янз бүрийн бүс нутагт тохиолдож байгаа тропикийн циклон, үер, ган, хэт халуун цаг агаар зэргийг дурдаж болох юм.

Дэлхийн нийтийг хамарсан уур амьсгалын дулааралт нь эрс тэс уур амьсгалтай Монгол орны байгаль, цаг агаар, уур амьсгалд хүчтэй нөлөөлснөөр байгалийн аюулт үзэгдэл түүний дотор агаар мандлын гаралтай аюулын давтамжид ихээхэн нөлөөлж байна. Далаад оноос хойш үеийн мэдээллээр Монгол орны нутагт жилдээ 25-30 удаа агаар мандлын гаралтай аюулт үзэгдэл

тохиолдож, гуравны нэг орчим нь байгалийн гамшгийн хэмжээнд хүрч, жил тутамд 5-7 тэрбум төгрөгийн хохирол учруулж байсан бол 90-ээд оны дунд үеэс хойш ган, зудыг тооцохгүйгээр ус, цаг агаарын түр зуурын гамшигт үзэгдлийн улмаас учирдаг хохирлын хэмжээ жил бүр 10-12 тэрбум төгрөгт хүрэх болсон байна⁴.

Дэлхийд хүн амыг олноор нэрвэж, тухайн орны эдийн засагт ихээхэн хохирол учруулдаг 30 гаруй төрлийн байгалийн гамшиг тохиолдож байна⁵. Агаар мандалд болж буй физик үзэгдэл, түүний үр дагавар, цаг уурын элемент утгын хүлцэх босгыг давах зэргээр цаг агаарын үзэгдэл тодорхойлогдоно. Цаг агаарын шинжилгээний өртөө, харуулд түүний харагдах орчинд болж байгаа агаарын үзэгдлүүд, ажиглалтын ба завсрын хугацааны цаг агаарын байдлыг хоногийн туршид тасралтгүй ажигладаг (ЦУОХШ, 2014).

Тухайн сарын уур амьсгалын онцгой аномаль үзэгдлийн хувьд цаг уурын өртөө, харуулд хүснэгт 1-д үзүүлсэн аюул мэдээ зохиох зааврын дагуу, Засгийн газрын 1993 оны 68-р тогтоолын 2-р хавсралтанд (УЦУА, 2000) заагдсан хязгаарт хүрсэн цаг агаар, уур амьсгалын аюултай үзэгдлийн мэдээг бүрдүүлэн ашигласан. Тухайн судалгааны ажлын хүрээнд физик газар зүйн янз бүрийн нөхцөлд орших цаг уурын 135 өртөөний (Зураг 161) 1999-2016 оны хугацааны минут, цаг, хоног тутмын мэдээг ашиглаж цаг агаарын аюултай, гамшигт 10 гаруй үзэгдлийн үзэгдлийн интерактив мэдээллийн сан бий болгосон.



Зураг 161. Цаг уурын өртөө, харуулын байршил

Дэлхийн уур амьсгалын эрчимтэй өөрчлөлтийн явцад агаарын мандлын гаралтай аюултай болон гамшигт үзэгдлийн давтамж нэмэгдэн, учруулах хор хохирол нь улам бүр өсөх хандлагатай байгаа тул тэдгээрээс улс орны тогтвортой хөгжил, хүн амын эрүүл мэндэд үзүүлэх сөрөг нөлөөллийг бууруулах асуудал хурцаар тавигдаж байна(УАӨҮИ 2014).

Уур амьсгалын өөрчлөлтийн асуудлаарх Засгийн газар хоорондын мэргэжилтний хороо (УАӨЗГМХ, IPCC)-ны байгалийн аюулын тухай тусгай тайлан [SREX, IPCC, 2012] дурдсанаар 1950 оноос хойш дэлхий даяар агаарын мандлын гаралтай байгалийн гамшигт үзэгдлийн давтамж, уур амьсгалын зарим хэмжигдэхүүний захын (экстремаль) утгууд өөрчлөгдөж байгаа нь Монгол улсын

⁴ "Цаг агаарын гамшигт үзэгдэл" 2008 оны 5 дугаар сарын 26-27-ны өдрүүдэд Зүүн аймгуудад тохиолдсон цаг агаарын гамшигт үзэгдлийн тухай судалгааны тайлан, НҮБХХ-ийн МОН/08/305 төсөл, 2008 он

⁵ Annual Disaster Statistical Review, The numbers and trends 2007, Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), www.emdat.be

нутаг дэвсгэр дээр ч нэгэн адил хандлагатай байна(УАӨҮИ 2014). Тиймээс Монгол оронд тохиолддог цаг агаар, уур амьсгалын аюултай үзэгдлийн интерактив мэдээллийн сан бий болгох нь маш чухал судалгаа, шинжилгээний ажил юм.

Энэхүү цаг агаар, уур амьсгалын аюултай үзэгдлийн интерактив мэдээллийн сан ус, цаг уурын улсын сүлжээнд аюултай үзэгдлийг урьдчилан мэдээлэх, түүнээс учирч болох хор уршигаас урьдчилан сэргийлэх, сэрэмжлүүлэх арга зүйг боловсронгуй болгох, нийгэм эдийн засагт гамшигт үзэгдлийн улмаас учруулсан хохирлыг үнэлэх, мөн түүнчлэн эрдэмтэн судлаач, олон нийтэд шаардлагатай гамшгийн мэдээгээр үйлчлэх зэрэгт ихээхэн ач холбогдолтой юм.

Монгол оронд тохиолддог цаг агаарын аюултай болон гамшигт үзэгдлийн нөхцлийг тодорхойлон ЦУОШГ-аас ЗГ-ын 190-р тогтоолыг батлуулан мөрдөж байгаа билээ. 190-р тогтоолд хүчтэй салхи, мөстлөг, цочир хүйтрэлт, шороон шуурга, цасан шуурга, бороо, аадар бороо, мөндөр, цас (аадар цас, нойтон цас, аадар нойтон цас) зэрэг үзүүлэлтүүд багтана.

Энэхүү тогтоолд заасан цаг агаарын аюултай болон гамшигт үзэгдлийн критерүүдээр гамшигт үзэгдлийн мэдээг түүвэрлэн боловсруулж, цаг агаар, уур амьсгалын аюултай үзэгдлийн интерактив мэдээллийн санг шуурхай сан байгуулах, тэдгээрийг богино хугацаанд төр засаг болон олон нийт, эрдэм шинжилгээний судлаачдад хүргэх явдал хамгийн чухал зорилго тавьж тухайн судалгааны ажлыг хийж гүйцэтгэсэн.

1980 оны сүүлчээс эхэлж цаг уурын горимын мэдээг архивлаж хэрэглэгчдэд үйлчлэх зориулалттайгаар уур амьсгалын боловсруулалтын “Вакс” (VAX), “Кликом” (CLICOM) системийг нэвтрүүлж, зохих мэдээллийн электрон хуримтлалтай болсон.

2005 оны 11-р сараас Япон улсын ЗГ-ын техникийн хамтын ажиллагааны төслөөр орон нутгийн УЦУОШ-ний төвүүдэд VSAT (Very Small Aperture Terminal)-ын сүлжээг суурилуулсан нь цаг уурын мэдээ, мэдээллийг харилцан онлайнаар солилцох боломж бүрдсэн ба энэ сүлжээнд тулгуурласан Ус, цаг уурын сүлжээний өртөө, харуул, ХАА харуул, гол мөрний усны 8 хугацаа, өдөр бүрийн мэдээг ашиглан HTTP (HyperText Transfer Protocol), FTP (File Transfer Protocol), Winsock, SQL Server-ээр хүлээн авах, шалгах, зураг хэлбэрт оруулах, архивлах цогц программ хангамжийг доктор А.Батболд 2007 онд үйлдвэрлэлд нэвтрүүлсэн байна.

Уур амьсгалын мониторингийн судалгаа, тойм болон экстерималь үзэгдлийн мэдээллийн шуурхай сан байгуулж, мэдээллийн санг байгуулах, мэдээллийн сангийн хамгаалалтыг хангах зэрэг олон үйл ажиллагааг хангах SQL server 2014-ийг ашиглан цаг уур, уур амьсгал, нарны цацраг судлалын мэдээллийн санг бий болгож, Б.Мөнхбат 2017 онд үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэв.

Энэхүү цаг уурын горимын мэдээлэл боловсруулалт, хангалтын автоматжуулсан систем Персона-МИС (PERSONA-MIS)-ийг ашиглан цаг уурын ажиглалтын 135 өртөөний цаг хугацааны минут, цаг, хоног, сарын нарийвчлалтай 1999-2017 оны уур амьсгалын горимын мэдээлэлд анхдагч, бүтэц, утгын шалгалт болон орон зайн шалгалт хийгдсэн цаг агаарын үзэгдэл болон цаг агаар, уур амьсгалын аюултай үзэгдлийн мэдээ, мэдээллээр өгөгдлийн сан удирдах систем Майкрософт аксесс (Microsoft Access) болон мэдээллийн санг байгуулах, мэдээллийн сангийн хамгаалалтыг хангах зэрэг олон үйл ажиллагааг хангах SQL-

ийг ашиглан Цаг агаар, уур амьсгалын аюултай үзэгдлийн интерактив мэдээллийн сан бий болгосон.

Цаг агаарын аюултай үзэгдлийн мэдээний боловсруулалт

Цаг агаарын аюултай болон гамшигт үзэгдлийг тодорхойлон ЦУОШГ-аас ЗГ-ын 190-р тогтоолыг батлуулан мөрдөж байгаа билээ. 190-р тогтоолд хүчтэй салхи, мөстлөг, цочир хүйтрэлт, шороон шуурга, цасан шуурга, бороо, аадар бороо, мөндөр, цас (аадар цас, нойтон цас, аадар нойтон цас) зэрэг үзүүлэлтүүд багтана (Хүснэгт 16).

Хүснэгт 16. Ус цаг агаарын аюултай болон гамшигт үзэгдлийн жагсаалт

| АҮ-ийн нэр | АҮ-ийн шифр | Үзэгдлийн аюултай гэж үзэх шинжүүр | X1 шинж | X2 шинж |
|---|-------------|--|---|-------------------|
| Хүчтэй салхи | 03 | Салхины дундаж хурд 16 м/с түүнээс их, 3 цагаас дээш хугацаагаар үргэлжлэх | Салхины чиглэл, градус | Салхины хурд, м/с |
| Мөстлөг | 12 | Мөстлөг диаметр нь 20 мм ба түүнээс их болох | Жин, грамм | Диаметр, мм |
| Цочир хүйтрэлт | 15 | Хөрсний гадаргын температур 0 хэм(°C) болж хүйтрэх | Температур, °C | "/" |
| Шороон шуурга | 33 | Шороон шуурга 16 м/с-ээс хүчтэй салхи, 6 цагаас удаан үргэлжилж, шороо босох | Алсын бараа, м | Салхины хурд, м/с |
| Намын цасан шуурга | 42 | Цасан шуурга салхины хурд 15 м/с-ээс их | Алсын бараа, м | Салхины хурд, м/с |
| Цасан шуурга | 44 | Цас орох үеэр 10 м/с-ээс хүчтэй салхи 6 цагаас дээш хугацаагаар үргэлжлэх | Алсын бараа, м | Салхины хурд, м/с |
| Бороо | 63 | Хагас хоногт 15 мм-ээс их хур буух | Тунадасны хагас хоногт орсон хэмжээ, мм | "/" |
| Аадар бороо | 64 | 3 цагийн дотор 36 мм түүнээс их аадар бороо, мөндөр буух | Тунадасны хэмжээ, мм | "/" |
| Мөндөр | 65 | Мөндөр (диаметр нь 20 мм ба түүнээс их, түүнчлэн бага хэмжээтэй ч гэсэн УАА-д хохирол учруулж буй хүчтэй мөндөр | Мөндрийн диаметр, мм | "/" |
| Цас (аадар цас, нойтон цас, аадар нойтон цас) | 70-73 | Цас, нойтон цас хагас хоногт 5 мм-ээс их тунадас унах эсвэл цасны зузаан ойт хээрийн бүсэд 30 см, нягт нь 0.35 г/см ³ , хээрийн бүсэд 26 см, нягт нь 0.35г/см ³ , Алтайн уулсаар 20 см, нягт нь 0.26 г/см ³ давах | Тунадасны хэмжээ, мм | "/" |
| | 99 | Салхины дундаж хурд 30 м/с-ээс их хурдтай салхи | Салхины чиглэл, градус | Салхины хурд, м/с |

Интерактив мэдээллийн сангийн бүтэц

Цаг агаарын үзэгдэл (1999-2016) болон аюултай, гамшигт үзэгдлийн (2010-2017) интерактив мэдээллийн санд цаг уурын ажиглалтын 135 өртөөний 1999-2016 оны анхдагч, бүтэц, утгын шалгалт болон орон зайн шалгалт хийгдсэн мэдээ, мэдээллээр сан бий болсон ба сангийн бүтэц дараах 2 мэдээллээс бүрдэнэ. Үүнд:

- Үндсэн буюу цаг агаарын аюултай, гамшигт үзэгдэл (хүчтэй салхи, мөстлөг, цочир хүйтрэлт, шороон шуурга, цасан шуурга, бороо, аадар бороо, мөндөр, цас (аадар цас, нойтон цас, аадар нойтон цас) мэдээ,
- Туслах буюу цаг агаарын үзэгдлийн (хар салхи, шороон хуй, хүчтэй салхи, зэргэлээ, нөөлөг салхи, шүүдэр, хяруу, мөстлөг, талст цан, үрэн цан, мөсөн бүрхүүл, уур, будан, манан, сиймхий манан, явган манан, мөсөн манан, мөсөн сиймхий манан, мөсөн явган манан, униар, явган шороон шуурга,

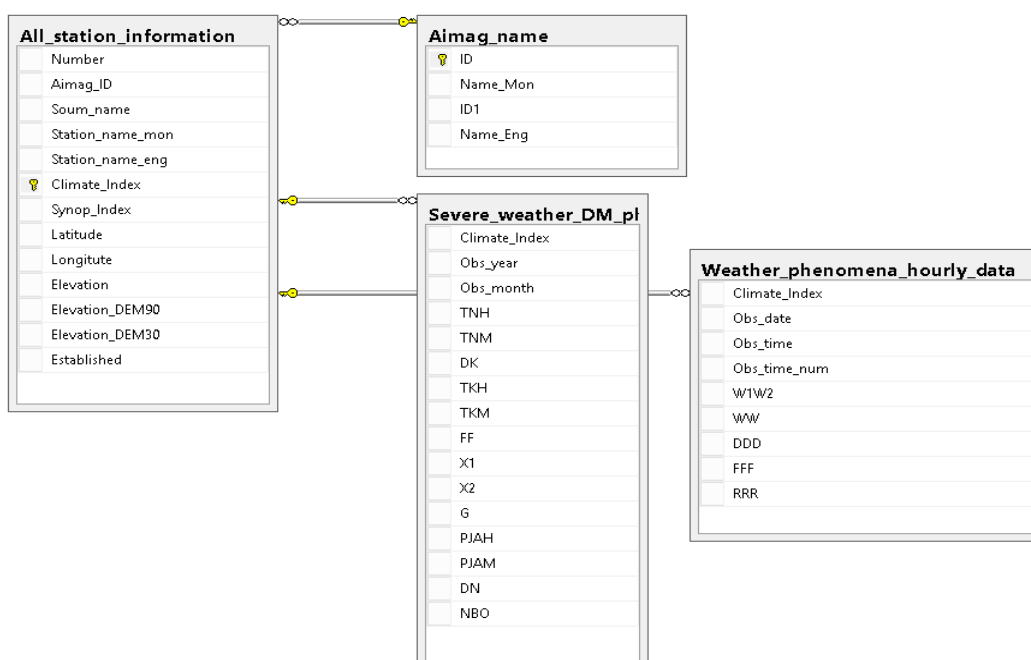
шороон шуурга, цасан униар, явган цасан шуурга, намын шуурга, орон шуурга, цасан шуурга, хялмаа, мөсөн бороо, мөсөн туйлаадас, цасан туйлаадас, шамрага, шиврээ бороо, бороо, аадар бороо, мөндөр, цас, аадар цас, нойтон цас, аадар нойтон цас, дуу цахилгаан, гялбаа, туйлын туяа, шингэн тунадас (зүс, шиврээ, мөсөн бороо, аадар бороо), шороон шуурга, явган шороон шуурга, хатуу тунадас (цас, шамрага, мөсөн туйлаадас аадар цас, цасан туйлаадас), нойтон хатуу тунадас (нойтон цас, аадар нойтон цас) мэдээ, мэдээллээс бүрдэнэ.

Цаг агаарын аюултай, гамшигт үзэгдлийн интерактив мэдээллийн сан

Цаг агаарын аюултай, гамшигт үзэгдлийн интерактив мэдээллийн санд цаг уурын ажиглалтын 135 өртөөний 2010-2017 оны анхдагч, бүтэц, утгын шалгалт болон орон зайн шалгалт хийгдсэн мэдээ, мэдээллийг хүснэгт 1-т үзүүлсэн үзүүлэлтээр Майкрософт (Microsoft)-той холбогдох Microsoft Access өгөгдлийн сан удирдах систем хэрэглээний программ дээр сан бий болсон (Хүснэгт 17, Зураг 162).

Хүснэгт 17. Цаг агаарын аюултай, гамшигт үзэгдэл

| Хүснэгтийн нэр | Формат | Тайлбар |
|----------------|--------|--|
| Climate_Index | Int | Уур амьсгалын станцын дугаар |
| Obs_year | Int | Ажиглалтын он |
| Obs_month | Int | Ажиглалтын сар |
| TNH | Int | Аюултай үзэгдэл эхлэх хугацаа (цаг) |
| TNM | Int | Аюултай үзэгдэл эхлэх хугаца (минут) |
| DK | Int | Аюултай үзэгдэл дууссан өдөр |
| TKH | Int | Аюултай үзэгдэл дууссан хугацаа (цаг) |
| TKM | Int | Аюултай үзэгдэл дууссан хугацаа (минут) |
| FF | Real | Аюултай үзэгдлийн шифр |
| X1 | Int | Аюултай үзэгдлийн АҮ 1-р шинж |
| X2 | Int | Аюултай үзэгдлийн АҮ 2-р шинж |
| G | Int | Сараас сард дамжсан АҮ-ийг ялгах тэмдэг |
| PJAH | Int | Өмнөх сараас дараа сард үргэлжилсэн АҮ .хуга (цаг) |
| PJAM | Int | Өмнөх сараас дараа сард үргэлжилсэн АҮ .хуга (мин) |
| DN | Int | Аюултай үзэгдэл эхэлсэн өдөр |
| NBO | Int | Аюултай үзэгдлийн блокын дугаар |

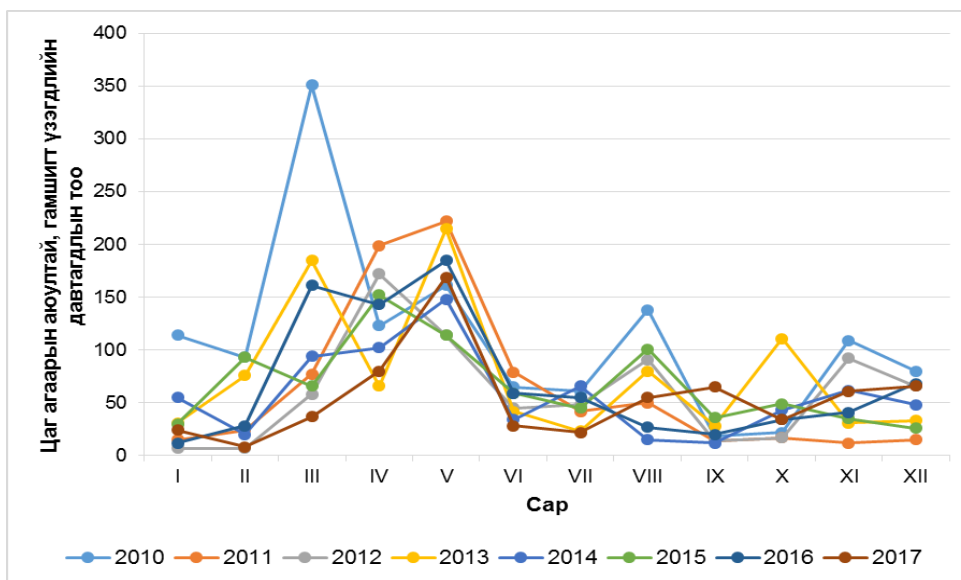


Зураг 162. Цаг агаарын аюултай, гамшигт үзэгдлийн хүснэгтүүдийн уялдаа

| Climate Index | Obs_year | Obs_month | TNH | TNM | DK | TKH | TKM | FF | X1 | X2 | G | PIAH | PIAM | DN | NBO |
|---------------|----------|-----------|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|----|---|------|------|----|-----|
| 4549440 | 2010 | 10 | 3 | 50 | 5 | 8 | 10 | 3 | 315 | 18 | | | | 5 | 60 |
| 4549440 | 2010 | 10 | 4 | 40 | 7 | 8 | 0 | 3 | 270 | 24 | | | | 7 | 61 |
| 4591541 | 2010 | 10 | 6 | 20 | 25 | 10 | 20 | 3 | 360 | 16 | | | | 25 | 60 |
| 4639390 | 2010 | 10 | 5 | 10 | 6 | 9 | 20 | 3 | 270 | 18 | | | | 6 | 60 |
| 4639390 | 2010 | 10 | 2 | 26 | 23 | 7 | 58 | 3 | 45 | 18 | | | | 23 | 61 |
| 4649620 | 2010 | 10 | 0 | 30 | 6 | 4 | 17 | 3 | 250 | 20 | | | | 6 | 60 |
| 4649620 | 2010 | 10 | 2 | 48 | 21 | 11 | 6 | 3 | 250 | 22 | | | | 21 | 61 |
| 4889310 | 2010 | 10 | 2 | 25 | 21 | 7 | 20 | 72 | 52 | | | | | 21 | 60 |
| 4909000 | 2010 | 10 | 5 | 0 | 5 | 16 | 20 | 3 | 270 | 20 | | | | 4 | 60 |
| 4909000 | 2010 | 10 | 4 | 20 | 6 | 14 | 0 | 3 | 270 | 20 | | | | 5 | 61 |
| 4909000 | 2010 | 10 | 4 | 10 | 6 | 10 | 5 | 3 | 250 | 23 | | | | 6 | 62 |
| 4909000 | 2010 | 10 | 4 | 10 | 6 | 10 | 5 | 33 | 97 | 23 | | | | 6 | 63 |
| 4909000 | 2010 | 10 | 1 | 30 | 7 | 8 | 20 | 3 | 270 | 24 | | | | 7 | 64 |
| 4909000 | 2010 | 10 | 5 | 20 | 17 | 12 | 20 | 3 | 250 | 19 | | | | 16 | 65 |
| 4909000 | 2010 | 10 | 5 | 0 | 17 | 12 | 20 | 33 | 97 | 19 | | | | 16 | 66 |
| 4961441 | 2010 | 10 | 2 | 10 | 15 | 4 | 23 | 3 | 340 | 18 | | | | 15 | 60 |
| 4320101 | 2010 | 11 | 12 | 11 | 9 | 16 | 41 | 3 | 290 | 23 | | | | 9 | 60 |
| 4320101 | 2010 | 11 | 12 | 44 | 18 | 17 | 40 | 3 | 270 | 23 | | | | 18 | 61 |
| 4320101 | 2010 | 11 | 14 | 17 | 26 | 22 | 20 | 3 | 290 | 27 | | | | 26 | 62 |
| 4329900 | 2010 | 11 | 22 | 38 | 10 | 1 | 53 | 3 | 320 | 16 | | | | 10 | 60 |
| 4329900 | 2010 | 11 | 4 | 16 | 20 | 8 | 14 | 3 | 290 | 16 | | | | 20 | 61 |
| 4410361 | 2010 | 11 | 2 | 20 | 2 | 7 | 5 | 3 | 250 | 16 | | | | 2 | 60 |
| 4410361 | 2010 | 11 | 6 | 10 | 9 | 19 | 40 | 3 | 315 | 16 | | | | 8 | 61 |
| 4410361 | 2010 | 11 | 1 | 8 | 10 | 10 | 35 | 44 | 91 | 16 | | | | 10 | 62 |
| 4410361 | 2010 | 11 | 1 | 10 | 10 | 7 | 40 | 3 | 315 | 16 | | | | 10 | 63 |
| 4410361 | 2010 | 11 | 23 | 15 | 17 | 7 | 50 | 3 | 250 | 16 | | | | 17 | 64 |
| 4410361 | 2010 | 11 | 8 | 20 | 19 | 7 | 45 | 3 | 225 | 18 | | | | 18 | 65 |
| 4410361 | 2010 | 11 | 17 | 20 | 23 | 4 | 25 | 3 | 250 | 18 | | | | 23 | 66 |
| 4410361 | 2010 | 11 | 17 | 20 | 23 | 7 | 40 | 42 | 94 | 18 | | | | 23 | 67 |
| 4410361 | 2010 | 11 | 16 | 50 | 26 | 22 | 20 | 3 | 270 | 16 | | | | 26 | 68 |
| 4410361 | 2010 | 11 | 4 | 5 | 28 | 7 | 20 | 3 | 250 | 16 | | | | 27 | 69 |
| 4410361 | 2010 | 11 | 10 | 25 | 29 | 22 | 35 | 3 | 250 | 18 | | | | 28 | 70 |
| 4410361 | 2010 | 11 | 2 | 25 | 30 | 8 | 30 | 3 | 250 | 24 | | | | 30 | 71 |

Зураг 163. Цаг агаарын аюултай, гамшигт үзэгдлийн интерактив мэдээллийн сан

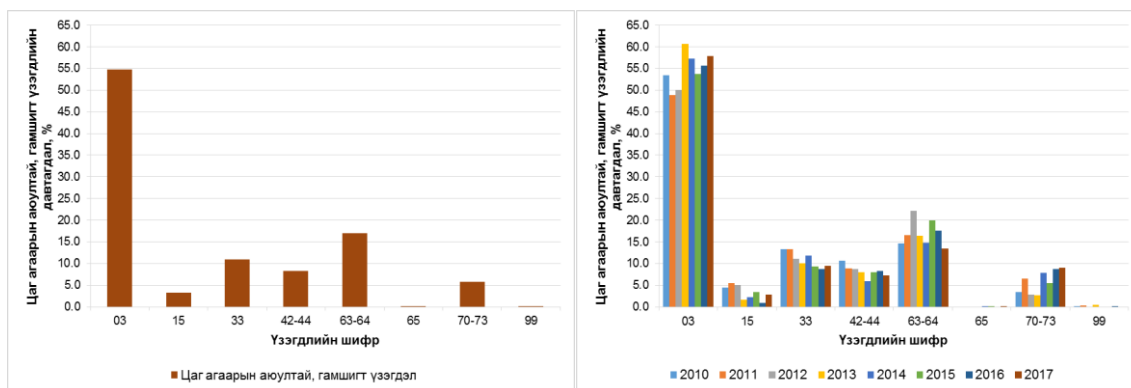
Цаг агаарын аюултай, гамшигт үзэгдлийн интерактив мэдээллийн санд 2010-2017 оны хооронд 6740 удаагийн цаг агаарын аюултай, гамшигт үзэгдлийн тохиолдол цаг уурын 135 өртөөнд ажиглагдаж, мэдээллийн санд орсон байна. 2010-2017 оны хооронд цаг уурын ажиглалтын 135 өртөөнд тохиолдсон цаг агаарын аюултай, гамшигт үзэгдлийн нийлбэр давтагдалын сарын явцыг Зураг 164-т харуулав.



Зураг 164. Цаг уурын ажиглалтын 135 өртөөнд тохиолдсон цаг агаарын аюултай, гамшигт үзэгдлийн давтагдалын тоо

Зураг 164-өөс үзэхэд сүүлийн 8 жилд цаг уурын ажиглалтын 135 өртөөнд нийт 6740 цаг агаарын аюултай, гамшигт үзэгдэл тохиолдсон байна. Цаг агаарын аюултай, гамшигт үзэгдлийн нийт тохиолдлыг 4-н улирлаар тооцвол хамгийн олон 50.4% хавар, хамгийн цөөн 14.5% намар тохиолдсон бол зун, өвлийн

улиралд 15.4-19.7% байна. Харин цаг агаарын аюултай, гамшигт үзэгдлийн төрлөөр харьцуулж Зураг 165-т үзүүлэв.



Зураг 165. Цаг уурын ажиглалтын 135 өртөөнд тохиолдсон цаг агаарын аюултай, гамшигт үзэгдлийн төрлийн давтагдал, хувь

Зураг 165-аас үзэхэд Монгол оронд тохиолдох цаг агаарын аюултай, гамшигт үзэгдлийн талаас илүү буюу 54.7%-ийг 03 (хүчтэй салхи), 16.9%-ийг 63-64 (бороо, аадар бороо), 10.9%-ийг 33 (шороон шуурга), 8.2%-ийг 42-44 (намын болон цасан шуурга), 5.8%-ийг 70-73 (аадар цас, нойтон цас, аадар нойтон цас), 3.3%-ийг 15 (цочир хүйтрэлт) эзэлж байна. Харин 0.05-0.13% буюу 65 ба 99 (мөндөр, хүчтэй догшин хар салхи) багахан хувийг тус тус эзэлж байна.

Цаг агаарын үзэгдлийн интерактив мэдээллийн санд цаг уурын ажиглалтын 135 өртөөний 1999-2016 оны анхдагч, бүтэц, утгын шалгалт болон орон зайн шалгалт хийгдсэн мэдээ, мэдээлэл Майкрософт (Microsoft)-той холбогдох Microsoft Access өгөгдлийн сан удирдах систем хэрэглээний программ дээр сан бий болсон (Хүснэгт 18, Зураг 166).

Хүснэгт 18. Цаг агаарын үзэгдэл

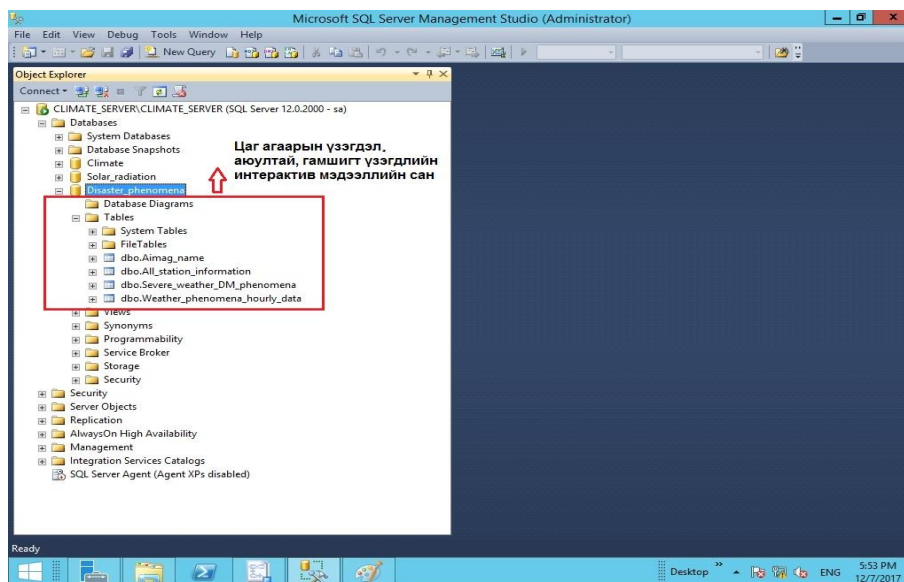
| Хүснэгтийн нэр | Формат | Тайлбар |
|----------------|----------|--|
| Climate_Index | Int | Уур амьсгалын станцын дугаар |
| Obs_date | Datetime | Ажиглалтын он, сар, өдөр, цаг уурын өдрөөр 23 цагийг дараа өдөрт тооцож оруулсан |
| Obs_time | Datetime | Ажиглалтын цаг |
| Obs_time_num | Tinyint | Ажиглатын цагийн дугаар 23-0, 02-1, 05-2, 08-3, 11-4, 14-5, 17-6, 20-7 |
| W1W2 | Smallint | Өнгөрсөн 3 цагийн ажиглагдсан үзэгдэл |
| WW | Smallint | Ажиглалтын хугацааны үзэгдэл |
| DDD | Smallint | Салхины чиглэл |
| FF | Smallint | Салхины хурд |
| RRR | Real | Тунадасны хэмжээ, ороогүй бол NULL |

| Climate_Index | Obs_date | Obs_time | Obs_time_num | W1W2 | WW | DDD | FFF | RRR |
|---------------|-----------|----------|--------------|------|----|-----|-----|-----|
| 4320101 | 1/1/1999 | 23:00 | 1 | 1 | 1 | 315 | 7 | |
| 4320101 | 1/2/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 4320101 | 1/3/1999 | 23:00 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | |
| 4320101 | 1/4/1999 | 23:00 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | |
| 4320101 | 1/5/1999 | 23:00 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | |
| 4320101 | 1/6/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 4320101 | 1/7/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 4320101 | 1/8/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 4320101 | 1/9/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 180 | 5 | |
| 4320101 | 1/10/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 4320101 | 1/11/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 4320101 | 1/12/1999 | 23:00 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| 4320101 | 1/13/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 4320101 | 1/14/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 4320101 | 1/15/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 4320101 | 1/16/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 4320101 | 1/17/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 4320101 | 1/18/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 270 | 9 | |
| 4320101 | 1/19/1999 | 23:00 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | |
| 4320101 | 1/20/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 4320101 | 1/21/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 180 | 8 | |
| 4320101 | 1/22/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 180 | 5 | |
| 4320101 | 1/23/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 180 | 5 | |
| 4320101 | 1/24/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 315 | 5 | |
| 4320101 | 1/25/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 225 | 3 | |
| 4320101 | 1/26/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 270 | 4 | |
| 4320101 | 1/27/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 4320101 | 1/28/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 270 | 5 | |
| 4320101 | 1/29/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 180 | 4 | |
| 4320101 | 1/30/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 4320101 | 1/31/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 4320101 | 2/1/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 4320101 | 2/2/1999 | 23:00 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | |

Зураг 166. Цаг агаарын үзэгдлийн интерактив мэдээллийн сан

Цаг агаарын үзэгдлийн интерактив мэдээллийн санд 1999-2016 оны хооронд 6501592 удаагийн өнгөрсөн 3 цагт ажиглагдсан болон ажиглалтын хугацааны үзэгдлийн давхардсан тохиолдол цаг уурын 135 өртөөнд ажиглагдаж, санд орсон байна.

Майкрософт (Microsoft)-той холбогдох Microsoft Access өгөгдлийн сан удирдах систем хэрэглээний программ дээр байгуулсан Цаг агаарын үзэгдэл болон аюултай, гамшигт үзэгдлийн интерактив мэдээллийн санг уур амьсгалын мониторингийн судалгаа шинжилгээний ажилд шуурхай үйлчилгээ, мэдээллийн цогц сан байгуулах, түүний хамгаалалтыг хангах зэрэг олон үйл ажиллагааг гүйцэтгэхийн тулд SQL 2014 серверийн мэдээллийн санруу хөрвүүлэлт хийсэн (Зураг 167).



Зураг 167. Windows Server 2012 R2 үйлдлийн системтэй сервер PC дээр SQL 2014-д хөрвүүлсэн бааз

Дүгнэлт

Судалгааны үр дүнд сүүлийн үеийн цаг агаарын үзэгдэл (1999-2016) болон аюултай, гамшигт үзэгдлийн (2010-2017) интерактив мэдээллийн сан бий болгосон нь онцгой ач холбогдолтой юм.

Цаг агаарын аюултай, гамшигт үзэгдлийн интерактив мэдээллийн санд 2010-2017 оны хооронд 6740 удаагийн цаг агаарын аюултай, гамшигт үзэгдлийн тохиолдол цаг уурын 135 өртөөнд ажиглагдаж, мэдээллийн санд орсон байна.

Монгол оронд тохиолдох цаг агаарын аюултай, гамшигт үзэгдлийн талаас илүү буюу 54.7%-ийг 03 (хүчтэй салхи), 16.9%-ийг 63-64 (бороо, аадар бороо), 10.9%-ийг 33 (шороон шуурга), 8.2%-ийг 42-44 (намын болон цасан шуурга), 5.8%-ийг 70-73 (аадар цас, нойтон цас, аадар нойтон цас), 3.3%-ийг 15 (цочир хүйтрэлт) эзэлж байна. Харин 0.05-0.13% буюу 65 ба 99 (мөндөр, хүчтэй догшин хар салхи) багахан хувийг тус тус эзэлж байна.

Уур амьсгал, гамшигт үзэгдлийн мониторингийн судалгааны ажил хийхэд аюултай, гамшигт үзэгдлийн мэдээллийн сангаар шуурхай үйлчлэх боломж бүрдсэн.

Цаашид үргэлжлүүлэн мэдээллийн санг баяжуулалт хийх бүрэн боломжтойгоос гадна мэдээллийн сангийн хамгаалалтыг хангах зэрэг олон үйл ажиллагааг **SQL server** дээр бий болгосон болно.

Нэгдсэн дүгнэлт

- Судалгааны ажлаар цаг агаарын аюултай болон гамшигт үзэгдлийг бичил болон бэсрэг хэмжээст богино хугацаандаа 1-5 хоногоор урьдчилан мэдээлэх технологи, загварчлалын суурь нөхцөл тавигдав.
- Мөн загварын анхны болон захын нөхцлийг сайжруулах хиймэл дагуул, радарын ассимляцийн систем шуурхай байдлаар ажиллах бололцоотой болов.
- Дэлхийн хэмжээний ерөнхий орчил урсгалын загварыг анх удаа өөрийн оронд бие дааж туршсан явдал нь цаашид сар, улирал, жилийн уур амьсгалын прогнозыг гаднаас хамаарахгүй хийх боломж бүрдэв.

Санал зөвлөмж

- Дээрх судалгааны ажлын үр дүнг үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэхэд тооцоолох машины хүчин чадлыг нэмэгдүүлэх
- Загвараас гарах үр дүнгээр манай орны нийгэм-эдийн салбарт шаардагдах нарийвчилсан прогноз бүтээгдэхүүнийг диагностик байдлаар тооцоолох

Нэвтэрсэн технологи

- Цаг агаарын гамшигт үзэгдлийн үед Монгол орны 7 бүс нутагт 1-3км орон зайн нарийвчлалтай ажиллах бичил хэмжээст гидростатик биш динамик загварчлал (суперкомпьютерын технологи)
- Загварын оролтын анхны нөхцлийг сайжруулах хиймэл болон радарын мэдээний хувьсах өгөгдлийн ассимляцийн систем (3DVAR)
- Уур амьсгал, түүний өөрчлөлтийн мониторингийн систем
- Дэлхийн хэмжээний ерөнхий орчил урсгалын динамик загвар

Ашигласан номзүй

Altangerel Batbold, Tomonori Sato, Mamoru Ishikawa, and Jamba Tsogt, 2011: Performance of Dynamic Downscaling for Extreme Weather Event in Eastern Mongolia: Case Study of Severe Windstorm on 26 May 2008. SOLA, 7, 117-120.

Castro, C. L., R. A. Pielke Sr. and G. Leoncini, 2005: Dynamical downscaling: Assessment of value retained and added using the Regional Atmospheric Modeling System (RAMS), J. Geophys. Res., 110, D05108, doi:10.1029/2004JD004721.

Chen, F., and J. Dudhia, 2001. Coupling an advanced land surface–hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 Modeling System. Part I: Model implementation and sensitivity, Mon. Weather Rev., 129, 569-585.

Gomboluudev P., L.Natsagdorj, A.Batbold, L.Oyunjargal, 2005: Mesoscale Numerical Case Study and Analysis of Cyclone Development, Terrestrial and Climate Changes in Mongolia, Terrestrial and Climate Changes in Mongolia, UB., p.58-60.

Hong, S. Y., and H. L. Pan, 1996. Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model, Mon. Weather Rev., 124, 2322–2339.

Hong, S.-Y., and J.-O. J. Lim, 2006. The WRF Single-Moment 6-Class Microphysics Scheme (WSM6). J. Korean Meteor.Soc., 42, 129-151.

Jugder, D., Chung, Y.S., Batbold, A., 2004. Cyclogenesis over the territory of Mongolia during 1999–2002. Journal of the Korean Meteorological Society 40 (3), 293–303

Kain, J. S., and J. M. Fritsch, 1993. Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch scheme. The representation of cumulus convection in numerical models, K. A. Emanuel and D. J. Raymond, Eds., Amer. Meteor. Soc., 246 pp.

Ministry of Nature, Environment and Tourism of Mongolia (MNETM), 2009: Mongolia Assessment Report on Climate Change, 62 pp., Ulaanbaatar, Mongolia.

Mlawer, E. J., S. J. Taubman, P. D. Brown, M. J. Iacono, and S. A. Clough, 1997. Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-K model for the longwave, J. Geophys. Res., 102 (D14), 16663-16682.

Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, and J. D. Powers, 2005. A description of the Advanced Research WRF version 2, Tech. Note, NCAR/TN-306+STR, 88 pp., Natl. Cent. for Atmos. Res., Boulder, Colo.

Батжаргал М., 2012, Бүс нутгийн MM5 болон WRF загварын захын нөхцөл, орон зайн нарийвчлалыг шинэчлэх, ШУТСТөсөл-Цаг агаарын урт ба богино хугацааны урьдчилсан мэдээ гаргах арга технологийг шинэлэг загвар, аргазүй, техникийн дэвшилд тулгуурлан боловсронгуй болгох.

Гомболүүдэв П., Нацагдорж Л., 2006, Монгол орны уур амьсгалд цөлжилтийн үзүүлэх нөлөөлөл, түүнийг бүс нутгийн уур амьсгалын загвар (RegCM3) ашиглан судалсан тоон туршилт. УЦУХ-ийн 40 жилийн ойд зориулан гаргасан эрдэм шинжилгээний бүтээлийн тусгай дугаар, х. 65-74.

Мягмаржав Д, Брагинская Л.Л, 1988. Цаг агаарын аюултай үзэгдлийн прогнозын эдийн засгийн үр ашгийг үнэлэх нь, УЦУШИ-ийн ЭШБ., 13, х. 51-60.

Нацагдорж Л., 2005. Монгол орны нутаг дэвсгэр дээрх ургамал ургалтын хугацааны хур тунадасны зарим онцлог, түүний өөрчлөлтийн тухайд, Монгол орны геоэкологийн асуудлууд, № 5, х. 157-177.

Нацагдорж Л., 2009. Монгол улсын байгалийн гамшгаас урьдчилан анхааруулах систем ба сэрэмлэх арга хэмжээ. Ган зуд, х. 278-298, ISBN 978-99929-77-85-X.

Нэгдсэн Үндэсний байгууллага (НҮБ), 2008: Монгол улсад гамшгийн аюулыг бууруулах, менежментийн тогтолцоог боловсронгуй болгох нь, 3 хуудас., Улаанбаатар.

Laprise R., 1992: The Euler Equations of motion with hydrostatic pressure as independent variable, *Mon. Wea. Rev.*, 120, 197–207

Berner, J., 2011: "Verfahren zur Berücksichtigung von Modellfehlern in der numerischen Wettervorhersage", in "Probabilistische Wettervorhersagen (Probabilistic Weather Forecasting)", *promet*, 37. Jahrgang, Heft 3/4

Jonathan E. Pleim, Robert Gilliam, 2009: An Indirect Data Assimilation Scheme for Deep Soil Temperature in the Pleim–Xiu Land Surface Model, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48, p 1362-1376.

Jeffrey J. Danielson and Dean B. Gesch, 2011: Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010), U.S. Geological Survey, Open-File Report 2011–1073.

Csiszar, I., and Gutman, G., 1999: Mapping global land surface albedo from NOAA AVHRR. *J. Geophys. Res.*, 104, 6215-6228.

Gutman, G. and A. Ignatov, 1997: The derivation of green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models. *Int. J. Remote Sensing.*, 19, 1533-1543.

Shao, Y., M.R. Raupach, and P.A. Findlater (1993), The effect of saltation bombardment on the entrainment of dust by wind, *J. Geophys. Res.*, 98, 12,719–12,726, doi:10.1029/93JD00396.

Chappell, A., A. Warren, A. O'Donoghue, A. Robinson, A. Thomas, and C. Bristow (2008), The implications for dust emission modeling of spatial and vertical variations in horizontal dust flux and particle size in the Bodélé Depression, northern Chad, *J. Geophys. Res.*, 113, D04214, doi:10.1029/2007JD009032.

Skamarock.C, Klemp.B, Jimy Dudhia, David O. Gill, Dale M. Barker, Michael G. Duda, Xiang-Yu Huang, Wei Wang, Jordan G. Powers., A Description of the Advanced Research WRF Version 3, 2008

Joon-Bum Jee and Sangil Kim., Sensitivity Study on High-Resolution WRF Precipitation Forecast for a Heavy Rainfall Event, *Atmosphere*, 2017

Б.Жамбаажамц “Монгол орны уур амьсгал” ном, 1989,УБ.

Гомболүүдэв П. (2014).“Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлтийн ирээдүйн төсөөлөл”,УАӨҮИ

Монгол орны уур амьсгалын лавлах I,II боть,УБ,1971

“Монгол орны уур амьсгалын лавлах” Бүс нутгийн уур амьсгалын өөрчлөлт ба цаг агаарын гамшигт үзэгдлийг урьдчилан мэдээлэх арга технологийг боловсронгуй болгох төслийн тайлан, ШУТС, 2006он

Мижиддорж Р. (2002). Уур амьсгалын өөрчлөлт, тогтвортой хөгжлийн асуудал, Улаанбаатар, Монгол улс, х201-219.

Мижиддорж Р. (2007). Монголын түүхэн үеийн уур амьсгалын өөрчлөлт, түүний онцлог, УЦЭХ-ын ЭШБ тусгай дугаар, х46-53.

Намхайжанцан Г. (2001). Эх газрын хэрэглээний уур амьсгал, Жэмр хэвлэл, х182-200.

Нацагдорж Л. (2009). уур амьсгал судлалын асуудалд, Бемби сан хэвлэлийн газар, х45-48.

Цаг уур, орчны хяналт шинжилгээний заавар: Цаг уурын ажиглалт, хэмжлийн технологийн заавар, 2014.

Yuya T. and Kusaka H., 2011, Formation Mechanisms of the Extreme High Surface Air Temperature of 40.98C Observed in the Tokyo Metropolitan Area: Considerations of Dynamic Foehn and Foehnlike Wind. X.1827-1839, <https://www.ametsoc.org/ams/index.cfm/publications/>

Ohashi Y. and Kida H., 2002, Effects of Mountains and Urban Areas on Daytime Local-Circulations in the Osaka and Kyoto Regions, x. 539-559, Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol. 80, No. 4.

JEFF C., ALEXIS K. болон бусад эрдэмтэд, 2006, Urban Modification in a Mesoscale Model and the Effects on the Local Circulation in the Pearl River Delta Region, x. 2645-2691, <https://www.ametsoc.org/ams/index.cfm/publications/>

А. Батболд, М. Батжаргал, 2014, Монгол оронд тохиолдсон цаг агаарын гамшигт үзэгдлийг цаг агаарын тоон загвараар тооцоолох боломж: 1980 оны 4-р сарын 17-нд болсон онц аюултай цасан шуурга, х. 7-17, УЦУОХ-ийн Эрдэм Шинжилгээний бүтээл-34, 2014.

Gantuya G., 2015, Local circulation in Mountainous Urban Areas, p.5-35, A Dissertation submitted to the Faculty of the Graduate School of Seoul National University in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy

Enkhbat E., 2016, Statistical and numerical study of hot extremes in Mongolia: possible contribution of soil moisture to the recent increase in the heat waves, p. 56-65, Doctoral

Dissertation to the Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, Japan

Л. Т. Матвеев, 2000, Физика Атмосферы, ст. 28-140, Санкт-Петербург, Гидрометеоиздат.

Wei Wang, Cindy Bruyère, Michael Duda, Jimy Dudhia, Dave Gill, Michael Kavulich, Kelly Keene, Hui-Chuan Lin, John Michalakes, Syed Rizvi, and Xin Zhang, (2010), ARW Version 3 Modeling System User's Guide

Jimenez and Dudhia (2012, JAMC), The WRF Model: 2012 Annual update

Jimy Dudhia. WRF Four-Dimensional Data Assimilation (FDDA)

Цаг уур, орчны шинжилгээний газрын даргын А/171 урьдчилан мэдээлэхийн ажил дүгнэх журам.

Л.Нацагдорж (2009).“Монгол орны хүчтэй салхины горимоос” - Уур амьсгал судлалын асуудалд, х. 8-20.

Л.Нацагдорж (2009).“Монгол оронд хүчтэй салхи болох Аэросиноптикийн нөхцөл”, - Бүс нутгийн синоптикийн судалгаа, х. 9-20.

Р.Мижиддорж, Д.Дуламсүрэн, “Өмнөговь аймгийн булган сумын төв орчимд салхины эрчим хүчийг ашиглан цахилгаан үйлдвэрлэх боломж”

Maria e. B. Frediani et al., Evaluation of PBL Parameterizations for Modeling Surface Wind Speed during Storms in the Northeast United States, Weather and Forecasting, volume31, p1511-1528

Weather Research & Forecasting – ARW Version 3 Modeling System User's Guide, 2015

Apsley MA, Mulder KJ, and Schultz DB (2016) Re-examining the U.K.'s greatest tornado outbreak: Forecasting the limited extent of tornadoes along a cold front. Weather and Forecasting doi:10.1175/WAF-D-15-0131.1.

Bolton ND, Elsom M, and Meaden GD (2003) Forecasting tornadoes in the United Kingdom. Atmospheric Research 67–68:53–72.

Fujita, TT (1971) Proposed characterization of tornadoes and hurricanes by area and intensity. SMRP Research Paper 91, University of Chicago, Chicago, IL, 42 pp.

Lin YL, Farley RD, and Orville HD (1983) Bulk parameterization of the snow field in a cloud model. Journal of Climate and Applied Meteorology 22:1065–1092.

Dudhia J (1989) Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model. Journal of the Atmospheric Sciences 46:3077–3107.

Hong SY, Noh Y, and Dudhia J (2006) A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. Monthly Weather Review 134:2318–2341.

Kain, JS (2004) The Kain-Fritsch convective parameterization: An update. *Journal of Applied Meteorology* 43:2318–2341.

Litta, AJ, Mohanty UC, and Bhan SC (2010) Numerical simulation of a tornado over Ludhiana (India) using WRF-NMM model. *Meteorological Applications* 17:64–75.

Mlawer EJ, Taubman SJ, Brown PD, Iacono MJ, and Clough SA (1997) Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *Journal of Geophysical Research* 102:1663–1683.

Skamarock WC, Klemp JB, Dudhia J, Gill DO, Barker DM, Duda MG, Huang XY, Wang W, and Powers JG (2008) A description of the advanced research WRF version 3. NCAR, Boulder.

Xu X and Xue M (2015) The genesis of mesovortices within a real data simulation of a bow echo system. *Journal of the Atmospheric Sciences* 72:1963–1986.

ОБЕГ, <https://nema.gov.mn/?p=22326>

Dudhia J (1996) A multi-layer soil temperature model for MM5. The sixth PSU/NCAR Mesoscale Model Users' Workshop.

Dudhia J (1989) Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model. *Journal of the Atmospheric Sciences* 46:3077–3107.

Hong SY, Noh Y, and Dudhia J (2006) A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. *Monthly Weather Review* 134:2318–2341.

Katurji M, Simpson C, and Seto D (2015) WRF-FIRE simulation of pyro-convection under the influence of low-level jet wind profiles. 21st International congress on modeling and simulation, <http://www.mssanz.org.au/modsim2015/>.

Kochanski AK, Jenkins MA, Mandel J, Beezley JD, and Krueger SK (2013) Real time simulation of 2007 Santa Ana fires. *Forest Ecology and Management* 294:136–149.

Lu W, Zhong S, Charney JJ, Bian X, and Liu S (2012) WRF simulation over complex terrain during a southern California wildfire event. *Journal of Geophysical Research* 117: D05125.

Mandel J, Beezley JD, Coen JL, and Kim M (2009) Data Assimilation for Wildland Fires: Ensemble Kalman filters in coupled atmosphere-surface models. *IEEE Control Systems Magazine* 29:47–65.

Mlawer EJ, Taubman SJ, Brown PD, Iacono MJ, and Clough SA (1997) Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *Journal of Geophysical Research* 102:1663–1683.

Paulson CA (1970) The mathematical representation of wind speed and temperature profiles in the unstable atmospheric surface layer. *Journal of Applied Meteorology* 9:857–861.

Skamarock WC, Klemp JB, Dudhia J, Gill DO, Barker DM, Duda MG, Huang XY, Wang W, and Powers JG (2008) A description of the advanced research WRF version 3. NCAR, Boulder.

Tewari MF, Chen F, Wang W, Dudhia J, LeMone MA, Mitchell K, Ek M, Gayno G, Wegiel J, and Cuenca RH (2004) Implementation and verification of the unified NOAA land surface model in the WRF model. 20th conference on weather analysis and forecasting/16th conference on numerical weather prediction, pp. 11–15.

Skamarock.C, Klemp.B, Jimmy Dudhia, David O. Gill, Dale M. Barker, Michael G. Duda, Xiang-Yu Huang, Wei Wang, Jordan G. Powers., A Description of the Advanced Research WRF Version 3, 2008

Joon-Bum Jee and Sangil Kim., Sensitivity Study on High-Resolution WRF Precipitation Forecast for a Heavy Rainfall Event, Atmosphere, 2017

Д.Дагвадорж Уур амьсгалын систем: Тодорхойлох хүчин зүйлс, өөрчлөлт, хэлбэлзэл, 2015 он.

P.Gomboluudev, Future projections of extreme climate in Mongolia using Regional climate model, IMH vol 29, 4-14, 2007.

Karl E. Taylor, Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. JGR8 vol 106, no. D7, 7183-7192, April 16, 2001.

D. P. Dee et al, The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system, Q.J.R. Meteorol. Soc., Vol. 137: 553-597, DOI: 10.1002/qj.828 2011.

А.Даваадорж, Л.Оюунжаргал, Дэлхийн агаар мандалын даралтын үйлчлэлийн төвүүд, тэдгээрийн эрчимшил нь Монгол орны дулаан чийгийн горимд нөлөөлөх асуудалд, УЦУОСМХ, ЭШБ, 2017

А.Даваадорж, П.Гомболүүдэв, Дэлхийн хэмжээний агаар мандлын загваруудын үнэлгээ, сарын урьдчилсан мэдээгээр цаг агаар, уур амьсгалын экстремаль нөхцөлийг урьдчилан тооцоолох боломж, УЦУОСМХ, ЭШБ, 2018

Skamarock.C, Klemp.B, Jimmy Dudhia, David O. Gill, Dale M. Barker, Michael G. Duda, Xiang-Yu Huang, Wei Wang, Jordan G. Powers., A Description of the Advanced Research WRF Version 3, 2008

Wei Wang, Cindy Bruyère, Michael Duda, Jimmy Dudhia, Dave Gill, Michael Kavulich, Kelly Keene, Hui-Chuan Lin, John Michalakes, Syed Rizvi, and Xin Zhang, (2015), ARW Version 3 Modeling System User's Guide

T. Auligné, H.-C. Lin, X. Zhang, X.-Y. Zhang, H. Shao, D. M. Barker, X.-Y. Huang, and D. Wang, Radiance Data Assimilation for WRF model, 2008

Dongmei Xu, Jinzhong Min, Feifei Shen, Junmei Ban, and Peng Chen., Assimilation of MWHS radiance data from the FY-3B satellite with the WRF Hybrid-3DVAR system for the forecasting of binary typhoons, Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 2016.

Novvria Sagita1, Rini Hidayati, Rahmat Hidayat and Indra Gustari., Satellite radiance data assimilation for rainfall prediction in Java Region, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 54 (2017) 012037.

Б.Жамбаажамц “Монгол орны уур амьсгал” ном, 1989,УБ.

Гомболүүдэв П. (2014).“Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлтийн ирээдүйн төсөөлөл”,УАӨҮИ

Монгол орны уур амьсгалын лавлах I,II боть,УБ,1971

“Монгол орны уур амьсгалын лавлах” Бүс нутгийн уур амьсгалын өөрчлөлт ба цаг агаарын гамшигт үзэгдлийг урьдчилан мэдээлэх арга технологийг боловсронгуй болгох төслийн тайлан, ШУТС, 2006он

Мижиддорж Р. (2002). Уур амьсгалын өөрчлөлт, тогтвортой хөгжлийн асуудал, Улаанбаатар, Монгол улс, х201-219.

Мижиддорж Р. (2007). Монголын түүхэн үеийн уур амьсгалын өөрчлөлт, түүний онцлог, УЦЭХ-ын ЭШБ тусгай дугаар, х46-53.

Намхайжанцан Г. (2001). Эх газрын хэрэглээний уур амьсгал, Жэмр хэвлэл, х182-200.

Нацагдорж Л. (2009). уур амьсгал судлалын асуудалд, Бемби сан хэвлэлийн газар, х45-48.

Цаг уур, орчны хяналт шинжилгээний заавар: Цаг уурын ажиглалт, хэмжлийн технологийн заавар, 2014.

McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993) The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, 17-22 January1993,179-184.

БНМАУ-ын уур амьсгалын лавлах , I, II боть, 1971, УБ.

Б.П.Алисов и др. Курс климатологии. ч. I,II,III. Гидрометеоиздат.Л, 1952

МОНГОЛ УЛСЫН ЗАСГИЙН ГАЗРЫН ТОГТООЛ 190,

Ус, цаг уурын албаны заавар (XI-I-99), 1999, УБ хот.

Ус, цаг уур орчны шинжилгээний заавар (XI-2-99), 1999, УБ хот.

Ус, цаг уур орчны шижилгээний ажлын заавар, ШЗ. III:00, 2000, Улаанбаатар

Ус, цаг уур орчны шижилгээний ажлын заавар, ШЗ. VIII.06.02, 2006, Улаанбаатар

Microsoft SQL Server 2016, USA, 2014

Microsoft Access 2013 Complete, Philip J. Pratt, Course Technology, Computer Science, 2015

Microsoft Access 2013, Step by step, Step by step, Joyce Cox and Joan Lambert, A Division of Microsoft Corporation One Microsoft Way Redmond, Washington 98052-6399, 2013

Visual Studio 2017, Alessandro Del Sole, Syncfusion Inc. March 2017

Skamarock.C, Klemp.B, Jimy Dudhia, David O. Gill, Dale M. Barker, Michael G. Duda, Xiang-Yu Huang, Wei Wang, Jordan G. Powers., A Description of the Advanced Research WRF Version 3, 2008

Joon-Bum Jee and Sangil Kim., Sensitivity Study on High-Resolution WRF Precipitation Forecast for a Heavy Rainfall Event, Atmosphere, 2017

Hongli Wang, Juazhen Sun, Xin Zhang, Xiang-Yu Huang, And Thomas Auligne, 2012, "Radar Data Assimilation with WRF 4D-Var. Part I: System Development and Preliminary Testing", 2013 American Meteorological Society

Арвайхээр цаг уурын станц

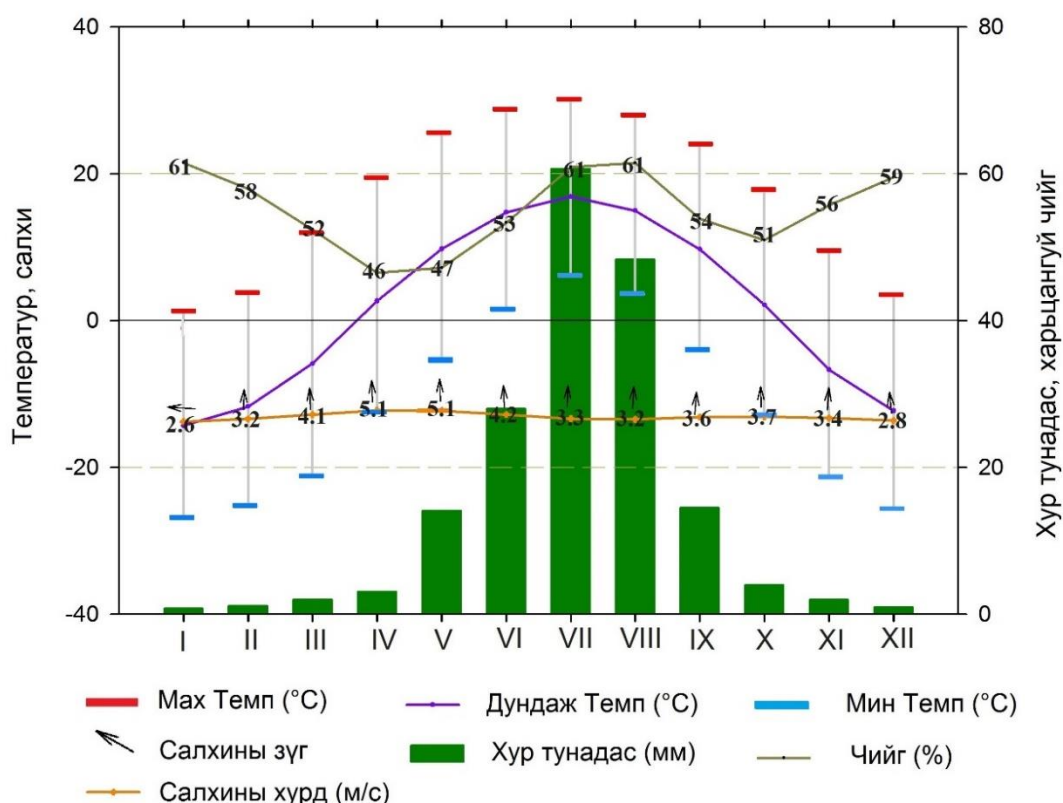
Тус станц нь далайн түвшнөөс дээш 1813 м өндөрт байрладаг. Аялал жуулчлалын идэвхтэй бүсэд хамаардаг, хуурайдуу, сэрүүвтэр уур амьсгалтай. Жилийн дундаж агаарын температур 1.7°C орчим, өвөлдөө -11.7°C-аас -14.3°C, зундаа 14.8°C-аас 17°C хооронд хэлбэлздэг. Өвлийн улирлын хамгийн хүйтэн 1 дүгээр сард агаарын үнэмлэхүй бага температур дунджаар -26.8°C ба хамгийн багадаа -31.6°C хүрч хүйтэрдэг. Зуны улирлын хамгийн дулаан 7 дугаар сард агаарын үнэмлэхүй их температур дунджаар 30.3°C ба хамгийн ихдээ 35.5°C хүрч халдаг.

Жилдээ 224 мм тунадас ордог бөгөөд үүний 94 орчим хувь нь дулааны улиралд ордог. Үүнээс зуны улиралд 171 мм, хоногийн хамгийн их нь 2004 оны 7 сарын 23-ны өдөр 100 мм бороо орсон байна.

Харьцангуй чийгшил өвлийн улиралд 58-62%, зуны улиралд 53-61% ба хавар салхины хурд ихэсдэгтэй холбоотой чийг багасаж хамгийн бага утгадаа хүрдэг. Тус нутгаар баруун хойд зүгийн салхи зонхилж ажиглагддаг. Жилийн дундаж салхины хурд 3.7 м/с, хаврын улиралд салхи бага зэрэг ихсэж 4-5 м/с болж зарим үед 34 м/с хүрч ширүүсдэг.

Жилийн нарны гийгүүлэл 3040 цаг, өвөл нар 08:46 мандаж 17:26 жаргадаг, зун 05:18 мандаж, 21:01 жаргадаг байна.

Арвайхээр станцын уур амьсгалын график



Өвөл нар 08:46 мандаж 17:26 жаргана Зун нар 05:18 мандаж 21:01 жаргана

Хавсралт 2. Станцын нэр, өргөрөг, уртраг

| Аймаг нэр | Станц нэр | Уур/а-ын индекс | Өргөрөг | Уртраг | Ажиглалт хийх эхэлсэн он |
|-------------|--------------|-----------------|---------|--------|--------------------------|
| Архангай | Цэцэрлэг | 474015 | 47.5 | 101.5 | 1937 |
| Архангай | Эрдэнэмандал | 485014 | 48.5 | 101.4 | 1964 |
| Баян-өлгий | Өлгий | 490900 | 49.0 | 90.0 | 1958 |
| Баянхонгор | Баянхонгор | 461007 | 46.2 | 100.7 | 1963 |
| Баянхонгор | Галуут | 467001 | 46.7 | 100.1 | 1956 |
| Булган | Булган | 488036 | 48.8 | 103.5 | 1941 |
| Булган | Хутаг | 494027 | 49.4 | 102.7 | 1961 |
| Дорнод | Халхгол | 476186 | 47.6 | 118.6 | 1961 |
| Дорнод | Чойбалсан | 481146 | 48.1 | 114.5 | 1936 |
| Дорноговь | Замийн-үүд | 437119 | 43.7 | 111.9 | 1955 |
| Дорноговь | Сайншанд | 449101 | 44.9 | 110.1 | 1938 |
| Дундговь | Мандалговь | 458063 | 45.7 | 106.3 | 1944 |
| Говь-алтай | Есөнбулаг | 464962 | 46.4 | 96.2 | 1954 |
| Өмнөговь | Даланзадгад | 436044 | 43.6 | 104.4 | 1937 |
| Өмнөговь | Сайхан | 441036 | 44.1 | 103.5 | 1961 |
| Өмнөговь | Цогт-овоо | 444053 | 44.4 | 105.3 | 1962 |
| Өвөрхангай | Арвайхээр | 463028 | 46.3 | 102.8 | 1940 |
| Өвөрхангай | Хужирт | 469028 | 46.9 | 102.8 | 1947 |
| Сэлэнгэ | Баруунхараа | 489061 | 48.9 | 106.1 | 1940 |
| Сэлэнгэ | Ерөө | 498067 | 49.7 | 106.7 | 1960 |
| Сэлэнгэ | Сүхбаатар | 502062 | 50.2 | 106.2 | 1965 |
| Сүхбаатар | Баяндэлгэр | 457124 | 45.7 | 112.4 | 1939 |
| Сүхбаатар | Эрдэнэцагаан | 459154 | 45.9 | 115.4 | 1940 |
| Сүхбаатар | Баруун-урт | 467133 | 46.7 | 113.4 | 1960 |
| Төв | Эрдэнэсант | 472042 | 47.3 | 104.5 | 1962 |
| Төв | Мааньт | 473075 | 47.3 | 107.5 | 1956 |
| Улаанбаатар | Буянт-ухаа | 478068 | 47.8 | 106.8 | 1936 |
| Улаанбаатар | Тахилт | 479070 | 47.9 | 106.8 | 1965 |
| Увс | Хар-ус | 491917 | 49.1 | 91.7 | 1963 |
| Увс | Баруунтуруун | 496944 | 49.7 | 94.4 | 1960 |
| Увс | Улаангом | 498921 | 50.0 | 92.1 | 1943 |
| Хэнтий | Өндөрхаан | 473107 | 47.3 | 110.7 | 1936 |
| Хэнтий | Баян-овоо | 478121 | 47.8 | 112.1 | 1962 |
| Хэнтий | Биндэр | 486106 | 48.6 | 110.6 | 1941 |
| Хэнтий | Дадал | 490116 | 49.0 | 111.6 | 1961 |
| Ховд | Ховд | 480616 | 48.0 | 91.6 | 1937 |
| Хөвсгөл | Мөрөн | 496002 | 49.6 | 100.2 | 1941 |
| Хөвсгөл | Тариалан | 496020 | 49.6 | 102.0 | 1963 |
| Хөвсгөл | Хатгал | 504002 | 50.4 | 100.2 | 1963 |
| Завхан | Дөрвөлжин | 476950 | 47.6 | 95.0 | 1962 |
| Завхан | Улиастай | 478968 | 47.8 | 96.8 | 1937 |
| Завхан | Тосонцэнгэл | 487983 | 48.8 | 98.3 | 1964 |
| Завхан | Баян-уул | 497964 | 49.7 | 96.4 | 1962 |
| Говь-сүмбэр | Чойр | 464082 | 46.5 | 108.5 | 1941 |