

Улсын бүртгэлийн
Дугаар

Нууцын зэрэг: Б

Аравтын бүрэн ангиллын код: **13ББ04ШТ304**

УС, ЦАГ УУР, ОРЧНЫ СУДАЛГАА, МЭДЭЭЛЛИЙН ХҮРЭЭЛЭН

Цаг агаарыг урьдчилан тооцоолох загварчлалд супер компьютерийн технологи ашиглах

Шинжлэх ухаан технологийн төслийн тайлан

2013-2015

I Боть (1)

Төслийн удирдагч:

**П.Гомболүүдэв –доктор (Ph.D),
Ус, цаг уур, орчны судалгаа
мэдээллийн хүрээлэн**

Захиалагч байгуулагч:

**Байгаль орчин, ногоон хөгжил, аялал
жуулчлалын яам,
Цаг уур, орчны шинжилгээний газар**

Улаанбаатар · 2015 он

Улсын бүртгэлийн
дугаар.....

Нууцын зэрэг: Б

Аравтын бүрэн
гэрээний ангиллын код: 13ББ04ШТ304

Төсөл хэрэгжүүлэх
дугаар:

УС, ЦАГ УУР, ОРЧНЫ СУДАЛГАА, МЭДЭЭЛЛИЙН ХҮРЭЭЛЭН

Цаг агаарыг урьдчилан тооцоолох загварчлалд супер компьютерийн технологи ашиглах

Шинжлэх ухаан технологийн төслийн тайлан

2013-2015

I Боть (1)

Төслийн удирдагч:	П.Гомболүүдэв –доктор (Ph.D), Ус, цаг уур, орчны судалгаа, мэдээллийн хүрээлэн
Санхүүжүүлэгч байгуулага:	Боловсрол соёл, шинжлэх ухааны яам, Шинжлэх ухаан технологийн сан
Захиалагч байгуулагч:	Байгаль орчин, ногоон хөгжил, аялал жуулчлалын яам, Цаг уур, орчны шинжилгээний газар
Тайлан өмчлөгч:	Ус, цаг уур, орчны, судалгаа мэдээллийн хүрээлэн

**11-312765, Жуулчны гудамж-5,
Улаанбаатар-46**

Улаанбаатар . 2015 он

"Цаг агаарыг урьдчилан тооцоолох загварчлалд супер компьютерийн технологи ашиглах" ШУТ-ийн төслийн товч танилцуулга

Энэхүү судалгааны ажил нь Байгаль Орчин, Ногоон Хөгжил, Аялал Жуулчлалын Яамны захиалгаар ШУТС-гийн санхүүжилтээр Ус цаг уур, орчны судалгаа, мэдээллийн хүрээлэнд 2013-2015 онд хийгдэв.

Төслийн хүрээнд 6 эрдэм шинжилгээний ажлын үр дүнг гаргахаар гэрээ байгуулан ажилласан бөгөөд тэдгээрийн гол үр дүнг хураангуйлан авч үзвэл:

1. Цаг агаарыг урьдчилан тооцоолох супер компьютерын технологи

Цаг агаарыг урьдчилан тооцоолоход суперкомпьютерийн технологи ашиглан агаар мандлын гидростатик биш загварыг өөрийн орны онцлогт тохируулан зүгшрүүлэн Монгол орны хэмжээгээр 9км, Төвийн бүсээр 3км, Улаанбаатар хот орчмоор 1км орон зайн нарийвчлалтайгаар үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэв.

Загварын физик параметрчлалын оптималь хувилбарыг сонгон газар бүрхэвч, хотын болон нуурын дэд загварыг холбож, хиймэл дагуул, радарын мэдээгээр загварын анхны нөхцлийг ассиммляци хийн сайжруулав.

Агаар мандлын хаус шинж чанарын тооцох үүднээс 12 гишүүнт ансамбль прогнозын системийг үйлдвэрлэлд нэвтрүүлж, хур тунадасыг магадлалаар гаргаж эхлэв.

2. Дэлхий болон бүс нутгийн агаар мандлын динамик загварын гаралтын үр дүнд суурилсан статистик арга

Бүс нутгийн агаарын мандлын гидростатик биш загварын гаралтын 36000 орчим грид цэг болон 130 хот суурингаар агаарын хамгийн их, бага температур, салхины хурд, хур тунадасны прогнозыг MOS (model output statistic) техникт үндэслэсэн 1-5 хоногоор урьдчилан мэдээлэх аргуудыг боловсруулж үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэв.

Дэлхийн хэмжээний динамик загварыг анх удаа Монголд ажиллуулж тоон туршилтыг загварын уур амьсгалын тооцоо, сар улирлын прогноз гаргахад туршив.

Статистикийн орчин үеийн арга болох каноник кореляцит үндэслэн сар, улирлын прогноз гаргах аргыг боловсруулж үйлдвэрийн туршилтанд оруулав.

Сарын прогнозын мэдээг бүс нутгийн WRF динамик загвар ашиглан 10 хоногоор нарийвчлах технологийг үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэв.

3. Монгол орны уур амьсгалын ирээдүйн өөрчлөлтийн шинэчилсэн үнэлгээ

Уур амьсгалын өөрчлөлтийн асуудал хариуцсан Засгийн газрын хоорондох мэргэжилтэний бүлгээс гаргасан хамгийн сүүлийн үеийн V илтгэлд (AR5, IPCC) үндэслэн Монгол орны уур амьсгалын ирээдүйн өөрчлөлтийн тооцоог хүлэмжийн хийн янз бүр хувилбараар хийж үнэлгээ хийв.

Дээрх орон зайн бүдүүн нарийвчлалтай үр дүнг өөрийн орны хэмжээнд динамик буулгалт хийж 10-30км рүү өндөршил, газрын бүрхэвчээс хамаарсан бэсрэг хэмжээст тооцоог хийв. Ирээдүйн тооцооны мэдээг ашиглан Монгол оронд тохиолддог уур амьсгалын ган, зуд, хуурайшлын эрчим, давтагдлын өөрчлөлтийг үнэлгээг хийв.

4. Агаарын бохирдлыг урьдчилан мэдээлэх технологи

Сүүлийн үеийн агаарын бохирдлын эх үүсвэрийн тооллогын материалд үндэслэн ялгаралтын тооцоог 2012-2014 оны мэдээгээр шинэчлэн хийж Улаанбаатарт 1км грид цэгт шилжүүлэн нарийвчлав.

Агаар мандлын гидростатик биш загварын 1км-ийн нарийвчлалтай үр дүнг агаарын бохирдлын дисперсын болон химийн загвартай холбон ашиглан агаарын бохирдлын 24-48 цагийн урьдчилсан мэдээг Улаанбаатар хотоор гаргах технологийг туршиж ажиглалтын мэдээтэй харьцуулалт үнэлгээ хийв.

Тоосны дэгдэлт, ялгаралтын тооцоог хийж, шороон шуурга урьдчилан мэдээлэх загварыг туршив.

5. Уур амьсгалын элементүүдийн грид мэдээ, сан

Уур амьсгалын үндсэн элемент болох агаарын температур, хур тунадасыг газар зүйн мэдээллийн систем, динамик болон статистик загварчлалын аргыг ашиглан объектив анализ хийж 1971-2010 оны сарын алхамтай 5км-ын орон зайн нарийвчлалтай грид мэдээний санг үүсгэв.

Монгол орны хур тунадас, агаарын температурын 1961-1990 оны стандарт нормын газарзүйн тархалтыг 1км-ын нарийвчлалтайгаар өндрийн тоон загвар ашиглан хийж гүйцэтгэв.

6. Уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийн үнэлгээ

Уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийн үнэлгээг 10-30км-ын уур амьсгалын өөрчлөлтийн сценарийг ашиглан бэлчээр-хөрс, мал аж ахуй, газар тариалангийн салбараар V илтгэлд (AR5, IPCC) үндэслэн хийж гүйцэтгэв.

Төслийн хугацаанд эрдэм шинжилгээний нийт 50 орчим өгүүлэл бичиж хэвлүүлсэний дотор гадаадад 10 орчмыг нийтлүүлжээ.

ЭША-нараас докторын зэргийг гадаадад 2, харин магистрын зэргийг гадаад, дотоотод нийт ... хүн тус тус хамгаалав. Тайлангийн хугацаанд үйлдвэрлэлд ... технологийг туршиж нэвтрүүлэв.

Төслийн удирдагч

Доктор П.Гомболүүдэв

2015-12-14

Реферат

Энэхүү тайлан нь 304 хуудастай, 295 зураг, 81 хүснэгт, ... томъёо, 1 хавсралттай ба 5 бүлэг, 15 дэд бүлэг, дүгнэлт, ашигласан номзүй зэргээс бүрдэнэ.

Төслийн судалгааны ажлуудаар цаг агаарыг 1-5 хоногоор урьдчилан тооцоолох суперкомпьютерийн шуурхай ажиллагааны агаар мандлын гидростатик биш WRF загварыг зүгшрүүлэн Монгол орны хэмжээгээр 9км, Төвийн бүсээр 3км, Улаанбаатар хот орчмоор 1км орон зайн нарийвчлалтайгаар үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэв. Ингэхдээ харьцангуй алдаа багатай физик схем, параметрчлалын сонголтыг хийж, газар бүрхэвч, нуур, хотын загваруудыг холбож, оролтын мэдээг хиймэл дагуул, радарын мэдээгээр сайжруулах тоон туршилтыг амжилттай хийв.

Мөн цаг агаар муудах үед бичил хэмжээст процессыг нарийвчлан тооцоолох үүднээс 3км нарийвчлалтай бүс нутагт үүрлэж ажиллах технологийг Монгол орны 7 бүс нутагт нэвтрүүлэв.

Олон загварын 11 ансамбль гишүүнтэй системийг бүрдүүлж супер ансамбль дундажлах аргаар агаарын температурын прогноз мэдээг сайжруулж, хур тунадасны магадлалын прогнозын гаргах технологийг боловсруулж туршив.

Агаарын хамгийн их, бага температур, салхины хурдны 130 хот, суурингийн прогнозыг 1-5 хоногоор тооцоолох MOS статистик техникт суурилсан загварыг боловсруулав.

Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлтийн ирээдүйн тоон үнэлгээг хамгийн сүүлийн 5-р үнэлгээний илтгэлд суурилсан бүс нутгийн динамик загварыг 30км-ээр Монголын газар нутаг, зарим голын сав газраар ирээдүйн 100 жилээр явуулж уур амьсгалын үндсэн элементүүдийн үр дүнг гарган авав.

Суперкомпьютерийн технологид суурилсан агаарын бохирдлын системийг эх үүсвэрийн ялгаралтын тооцоог нарийвчилж шуурхай байдлаар 24-36 цагийн прогноз хийх технологийг үйлдвэрлэлд туршив.

Уур амьсгалын элементийн сарын дундаж орныг агаарын температур, хур тунадасны хувьд орон зайн 5-10км, цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтайгаар грид хэлбэрээр 1971-2014 оны хооронд үүсгэв.

Газар тариалан, бэлчээр-хөрст үзүүлэх уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийн үнэлгээг 5-р үнэлгээний илтгэлд суурилсан хүлэмжийн хийн хамгийн их ялгаралттай үеийн, орон зайн хувьд бүс нутгийн уур амьсгалын өөрчлөлтийн загвараар нарийвчилсан үр ашиглан хийв.

Түлхүүр үгс: тоон прогноз, уур амьсгал, агаарын бохирдол, тоос тоосонцор, бэлчээр хөрс, хиймэл дагуул

Гүйцэтгэгчдийн нэрийн жагсаалт

№	Нэр	Хариуцсан үр дүн	Гарийн үсэг
1.	Д-р П.Гомболүүдэв	Бүлэг III	
2.	Д-р Л.Оюунжаргал	Бүлэг I-3, Бүлэг II-1	
3.	Д-р А.Батболд	Бүлэг I-1.2, Бүлэг I-2.1, Бүлэг II-2.2	
4.	Д-р Д.Жүгдэр	Бүлэг IV-4.4	
5.	Б.Эрдэнэцэцэг	Бүлэг VI-6.2	
6.	Г.Батжаргал	Бүлэг I-1.1, Бүлэг I-2.3	
7.	М.Батжаргал	Бүлэг I-2.2	
8.	Б.Буянтогтох	Бүлэг IV-4.3	
9.	Ч.Алтантулга	Бүлэг III-3.1	
10.	А.Даваадорж	Бүлэг II-2.1	
11.	Б.Жаргалан	Бүлэг II-2.1	
12.	Д.Оюунчимэг	Бүлэг IV-4.1	
14.	Б.Ганцэцэг	Бүлэг VI-6.1	
15.	Э.Мөнхжаргал	Бүлэг V-5.2	
16.	Б.Мөнхбат	Бүлэг V-5.1, Бүлэг IV-4.2	
17.	Н.Мөнгөнчимэг	Бүлэг VI-6.2	

Агуулга

Бүлэг I. Цаг агаарыг урьдчилан тооцоолох супер компьютерын технологи	8
1.1 Агаар мандлын гидростатик биш загварыг зүгшрүүлэх.....	8
1.1.1 Загварын физик схемүүдийн түршилт	8
1.1.2 WRF загварын шуурхай ажиллах гормыг бүс нутгаар тогтоох (moving nesting) ..	25
1.2 Загварын анхны нөхцлийн оронг хиймэл дагуул, радарын мэдээгээр ассимляци хийж сайжруулах.....	34
1.2.1 Загварын газар бүрхэвчийн мэдээллийг MODIS хиймэл дагуулын мэдээгээр сайжруулах	34
1.2.2 Хиймэл дагуулын мэдээний ассимляци.....	47
1.2.3 Радарын мэдээний ассимляци	55
1.3 Цаг агаарын 1-5 хоногийн урьдчилсан мэдээ, магадлалт урьдчилсан мэдээ гаргах технологи турших.....	59
Бүлэг II. Дэлхий болон бүс нутгийн агаар мандлын динамик загварын гаралтын үр дүнд суурилсан статистик аргууд	74
2.1 Бүс нутгийн хэмжээнд грид цэг болон хот, суурингаар цаг агаарын элементүүдийг урьдчилан тооцоолох статистик загваруудыг боловсруулах, туршиж үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэх.....	74
2.2 Сар, улирлын урьдчилсан мэдээ гаргах шинэ технологи	108
2.2.1 Статистик буулгалт apra (statistic downscaling)	108
2.2.2 Динамик буулгалтын арга	115
Бүлэг III. Монгол орны уур амьсгалын ирээдүйн өөрчлөлтийн шинэчилсэн үнэлгээ	124
3.1 Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлтийн ирээдүйн сценари	124
3.2 Гамшигт үзэгдлийн өөрчлөлтийн ирээдүйн хандлага	136
Бүлэг IV. Агаарын бохирдлыг урьдчилан мэдээлэх технологи.....	142
4.1 Агаарын бохирдлын эх үүсвэрийн ялгаралтын тооцоо	142
4.2 Томоохон хотуудын агаарын бохирдлын талбайн эх үүсвэрийн геометр хэмжээг хиймэл дагуулын мэдээгээр нарийвчлан тодорхойлох	159
4.3 WRF-Chem загвараар агаарын бохирдлын прогноз гаргах технологи	168
4.4 Хөрснөөс дэгдэх тоосны дэгдэлт, ялгаралтын тооцоо	188
Бүлэг V. Уур амьсглаын грид мэдээ, сан	208
5.1 Динамик болон статистик загвар ашиглан Монгол орны агаарын температур, хур тунадасны тархалтыг тооцоолох нь	208
5.2 Уур амьсгалын элементийн дундаж орны грид мэдээ	239
Бүлэг VI. Уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийн үнэлгээ.....	250
6.1 Газар тариалангийн нөлөөллийн үнэлгээ	250
6.2 Бэлчээр, хөрсний нөлөөллийн үнэлгээ.....	269
Нэгдсэн дүгнэлт	286
Ашигласан номзүй	289
Хавсралт	302

Бүлэг I. Цаг агаарыг урьдчилан тооцоолох супер компьютерын технологи

1.1 Агаар мандлын гидростатик биш загварыг зүгшрүүлэх

1.1.1 Загварын физик схемүүдийн туршилт

Агаар мандлын хувьсал өөрчлөлт, үзэгдэл процессыг ялангуяа бэсрэг болон бичил хэмжээсийн хувьд физик хуульд үндэслэсэн гидростатик биш, бүс нутгийн цаг агаарын тоон прогнозын загвараар аль болох бодит байдалд хамгийн ойр байхаар загварчлахыг хичээдэг юм. Гэвч одоогоор дэлхийн уур амьсгалын системийн харилцан үйлчлэлийг тооцсон төгс загварчлалд хүрээгүй л байна. Судалгааны энэхүү зорилгод хүрэхийн тулд дэлхийн олон орны эрдэмтэд, судлаачид олон төрлийн харилцан адилгүй загвар, схемүүд боловсруулан ажиллаж байна.

Манай орны хувьд шинэ тутамд шинэчлэгдэн, боловсруулагдан нэмэгдэж байгаа эдгээр схемүүдээс Монгол орны хэмжээнд агаар мандлын үзэгдэл процессуудыг (цаг агаар, уур амьсгал) хамгийн сайн тооцоолох схемүүдийн уялдааг олон удаагийн тоон туршилтаар эрэлхийж олох, цаашлаад орон зайн нарийвчлалаас хамаарч урьдчилсан мэдээний таарц хэрхэн өөрчлөгдөх, хамгийн боломжит хувилбарыг тус тус тогтоох шаардлагатай.

Мөн түүнчлэн дэлхийн хамгийн их түгээмэл ашиглагддаг бүс нутгийн WRF (Weather Research Forecast) динамик загварын физик схем болон динамикт гарсан шинэчлэлт сайжруулалтыг туршиж, цаг агаарын урьдчилсан мэдээ гаргах шуурхай ажиллагаанд автомат горимоор ажиллах Суперкомпьютерын технологийг бий болгох нь хамгийн чухал юм.

Эдгээр тоон туршилт судалгааг хийж, шуурхай ажиллагааны технологийг нэвтрүүлсэнээр бүс нутгийн цаг агаарын тоон загварын 1-5 хоногийн урьдчилсан мэдээний таарц, чанар, орон зайн нарийвчлал сайжирна гэж үзэж байна.

Судлагдсан байдал

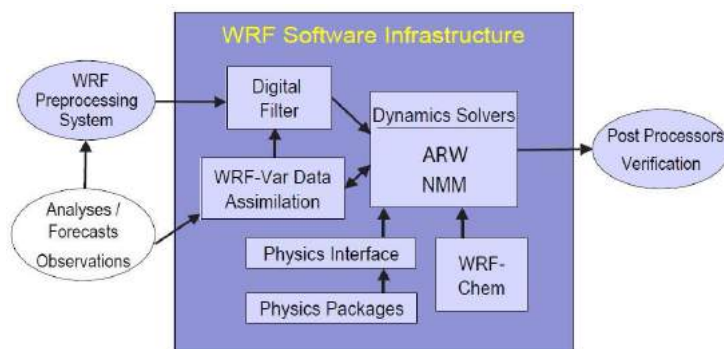
Цаг агаарын урьдчилсан мэдээ гаргах WRF тоон загвар бол судалгаа болон шуурхай үйлчилгээнд ашиглахад нэн тохиромжтой, дэлхийн олон оронд маш өргөн ашиглагдаж туршигдсан, мөн богино хугацаанд шинэчлэл хийгддэг хамтын хөгжүүлэлттэй, нээлттэй загвар юм.

WRF загварын хөгжил нь АНУ-ын Агаар мандлын судалгааны үндэсний төвийн (NCAR) дунд болон бичил масштабын 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 олон орны их дээд сургуулиуд, хүрээлэнгийн эрдэмтдийн оролцоотойгоор явагддаг.

WRF загварыг орон нутгийн онцлогийг тусгаж тухайн бүс нутагт тохируулан ажиллах, Суперкомпьютерын системд суурилж ажиллах боломжтой байдаг. Мөн загварын хэрэглээний болон судалгааны ажилд зориулсан програмчлалын хэлний эх код руу хандах боломжтой юм. Түүний физик схемүүд болон динамикын сонголтууд нь шинжлэх ухааны сүүлийн дэвшлийг оруулан сайжруулалтыг байнга тусгадаг юм. Тухайлбал WRF-Vар нь олон төрлийн ажиглалтын мэдээг зохистой байдлаар нэгтгэн

тооцоолох хувьсах өгөгдлийн ассимиляцын систем, WRF-Chem загвар нь агаар мандал дахь явагдах химийн урвалыг тусгасан байх жишээтэй.

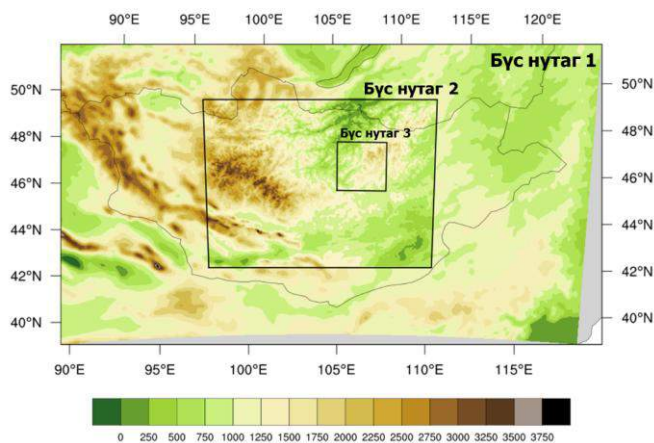
WRF нь судалгаа, үйлдвэрлэл, сургалтын зорилгоор дэлхийд өргөн хэрэглэгдэж агаар мандлын том хэмжээний циркуляцийг дэлхийн хэмжээнд ч загварчилж чаддаг. Тиймээс түүнийг олон оронд өгөгдлийн ассимиляци, физик параметрын судалгаа, бүс нутгийн уур амьсгал, агаарын чанарын загварчлал, агаар мандал-далайн холбоо харилцан үйлчлэл, идеал загварчлал гэх мэт чиглэлд шуурхай болон судалгааны зорилгоор ашиглаж байна. WRF-ийн системийн бүтцийг **Зураг 1**-т үзүүлэв.



Зураг 1. WRF системийн бүтэц

Монгол улсад УЦУХ-нд 2009 оны 7 дугаар сараас эхлэн бэсрэг масштабын WRF загварыг кластер систем дээр түршин ажиллуулж үйлдвэрлэлд нэвтрүүлж шуурхай үйлчилгээнд ашиглаж эхэлсэн. Солонгосын цаг уурын албаны дэлхий хэмжээний агаар мандлын загвар болох GDAPS загвараас UM 6.6 (Unified Model) загварт шилжсэнээр манай орон 2010 оны 12 сараас эхлэн уг загварын үр дүнг WRF загварын анхны болон захын нөхцлөөр ашиглаж байна.

Монголын Цаг уурын алба бэсрэг масштабын WRF (Skamarock.C et.al, 2008) загварыг 2009 оноос цаг агаарыг урьдчилан мэдээлэхэд 72 цагийн урьдчилалтай цаг агаарын прогнозыг Төв Азийн хэмжээнд 30 км, Монгол орны хэмжээгээр 10 км-ийн нарийвчлалтайгаар гаргаж эхэлсэн юм. Харин 2010-2012 оны хооронд УЦУОХ-д хэрэгжсэн шинжлэх ухааны төслийн хүрээнд 144 цагийн урьдчилалтай мэдээг Төв Азийн хэмжээнд 27 км, Монгол орны хэмжээгээр 9 км, төвийн бүс нутгаар 3 км, Улаанбаатар хот орчмоор 1 км-ийн нарийвчлалтайгаар загварыг ажиллуулж эхэлж (**Зураг 2**), өнөөг хүртэл хэрэглэгчдэд цаг агаарын урьдчилсан мэдээг Вэб хуудас, хөдөлгөөнт дүрс, 2 хэмжээст зураглал байдлаар дүрслэн үзүүлэх технологиор дамжуулан хүргэж байна.



Зураг 2. Загварын хамрах бүс нутаг, түүний өндөршил

Загварын үр дүнг сайжруулахын тулд гаднах болон доторх хамрах бүс нутгаар (цаашид домайн гэх) харилцан ялгаатай торын алхмаар тооцоолол явуулж байгаа домайн тус бүрд тохирох схемүүдийн уялдааг судлан тогтоох шаардлагатай юм.

Өвлийн нөхцөлд Аляск орчимд WRF загварыг ажиллуулсан судалгаанд инверсийг тооцохын тулд физик схемүүдийг сайн сонгох нь чухал гэж үзсэн байна (Nicol Molders, 2013).

Арга зүй

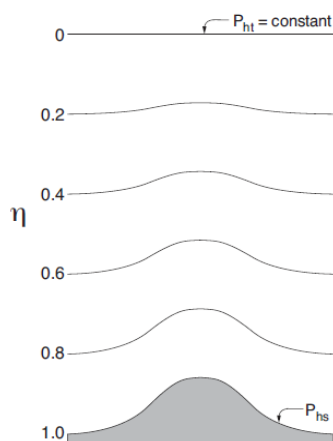
Энэхүү судалгааны ажилд бэсрэг хэмжээст WRF загварыг ашиглана. WRF-ийн динамик нь даралтын интеграл, гидростатик биш Эйлерийн онолд тулгуурладаг. Тэгшитгэл нь хувьсах хэмжигдэхүүнүүдийн шинж чанар өөрчлөгдөхөд тухайн төлөв байдал хадгалагдана гэсэн Ояамагийн (Ooyama, 1990) философийг мөрдлөг болгосон. Үндсэн тэгшитгэл нь газар нутгийн урсгалын босоо координатаар томъёолдог (Laprise, 1992).

Загварт өндөршлийг дагасан гидростатик даралтын босоо координат η -г ашиглах ба түүнийг дараах байдлаар томъёолдог.

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

p_h -даралтын гидростатик байгуулагч, p_{hs} болон p_{ht} харгалзан газрын гадарга болон дээд түвшний даралтын утгууд.

Зураг 3-т Лайпрайсын (Laprise, 1992) тодорхойлсон загварын координатыг үзүүлэв. Агаар мандлын гидростатик загваруудад ашиглагддаг уламжлалт σ координатад үндэслэгдсэн. η -ийн утгыг загварын домайны дээд хилд 0, газрын гадаргыг 1 гэсэн утгаар тооцоолдог.



Зураг 3. WRF загварын босоо η координат.

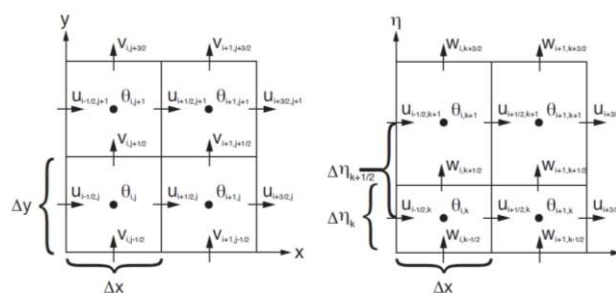
$\mu(x, y)$ –ээр загварын домайны бүс нутгуудын нэгж болгон дээр босоо баганы дагуу массыг тооцоолно, хувьсагчдыг дараах байдлаар тодорхойлно

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

$v = (U, V, W)$ нь хэвтээ дахь урсгалын өргөрөг, уртрагийн хоёр байгуулагч ба босоо урсгал, $\omega = \dot{\eta}$ нь η координатад тооцоолсон босоо хурд, θ потенциал температур.

Мөн түүнчлэн WRF-ийн үндсэн тэгшитгэлд үл хадгалагдах хувьсагч $\phi = gz$ (геопотенциаль), p (даралт), болон $\alpha = 1/\rho$ (инверсийн зузаан).

WRF загварт Аракава С грид цэгийн байршлаар дээрх үндсэн тэгшитгэлийг тооцоолдог (Зураг 4).



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

Эйлерийн урсгалын үндсэн тэгшитгэлийг дараах байдлаар бичнэ.

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

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

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

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

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

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

энд инверсийн зузааныг дараах байдлаар тодорхойлно.

$$\partial_\eta \phi = -\alpha \mu$$

мөн ерөнхий байдлаар даралтыг

$$p = p_0(R_d\theta/p_0\alpha)^\gamma \quad \text{гэж тодорхойлно.}$$

Дээрх тэгшитгэлүүд дэх x, y болон η нэгтгэж бичвэл дараахь байдалтай болно.

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

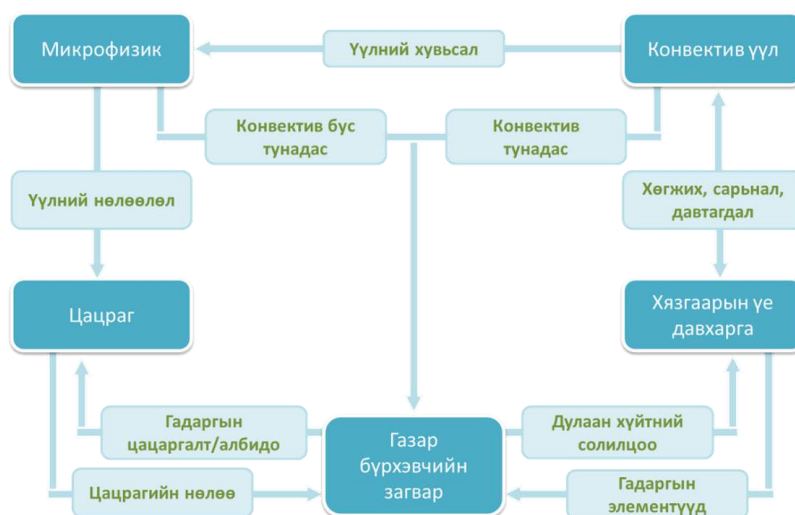
болон

$$V \cdot \nabla a = U\partial_x a + V\partial_y a + \partial_\eta \Omega a$$

Энд a ерөнхий хувьсагч. $\gamma = c_p/c_v = 1.4$ нь хуурай агаар дахь дулаан багтаамжийн харьцаа, R_d нь хуурай агаар дахь 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 загварын физик схемээр ойролцоологдож энергийн алдагдал, түрбулент холигдол, бөмбөрцгийн проекц, болон дэлхийн эргэлтийг тооцоолоход ашиглагдана.

WRF загвар нь олон тооны физик схемүүдтэй. Схемүүд нь байнга шинэчлэгдэн нэмэгдэж байдаг. Загварын бодолт дараах үндсэн схемүүд дээр тулгуурлан ажилладаг (**Зураг 5**). Үүнд:

1. Микрофизикийн (усны уур, үүл болон тунадас, чийгийг том хэмжээсийн хувьд тооцоолох)
2. Конвектив үүлний (агаарын өгсөх хөдөлгөөнтэй холбоотой конвекцийн үүл, хур тунадасыг тооцоолох)
3. Хязгаарын үе давхаргын (газрын гадаргаас дааш 1.5 км хүртэлх үе давхарга дахь физик процессуудыг тооцоолох)
4. Газрын гадаргын орчмын физик процесс буюу газар бүрхэвчийн (агаар мандал газар бүрхэвчийн харилцан үйлчлэлийг тооцоолох)
5. Урт болон богино долгионт цацрагийн схемүүд тус тус багтана (нарнаас ирэх урт ба богино долгионт цацрагийн хуваарилалтыг тооцоолох).



Зураг 5. WRF загварын физик схемүүдийн харилцан холбоо

Ашигласан мэдээ, өгөгдөл

Судалгаанд 2012-2013 оны 12 цаг тутмын мэдээнээс 4 улирлаас нэг сарыг сонгон авч тоон туршилтыг 960 удаа хийв. Туршилтад Солонгосын цаг уурын дэлхийн хэмжээний загвар GUM (Global Unified Model) болон АНУ-ын NCEP-GFS (Global Forecast System) дэлхийн хэмжээний загваруудын прогноз мэдээнээс олон түвшний изобар гадаргуугын анхны болон захын нөхцлийн мэдээг бүрдүүлэн авч ашиглав.

Үр дүн

Загварын тоон туршилтыг хязгаарын үе давхарга, газар бүрхэвчийн загвар, нуурын загвар, хотын загварыг холбох байдлаар 5 хоногийн прогнозын бодолтыг явуулж харьцуулалтыг хийв.

Хязгаарын үе давхарга схемийн тоон туршилт

Хязгаарын үе давхаргын схемийн тоон туршилтыг 9 км-ын grids-ийн нарийвчлалтай 1-р бүс нутгийн хувьд (**Зураг 1**) 2013 оны 1 болон 7 дугаар сарын эхний 10 хоногоор 144

цагын урьдчилалтай прогнозын бодолтыг CRAY төрлийн суперкомпьютер дээр 512 процессор зэрэг ажиллах байдлаар явуулав.

Хязгаарын үе давхаргын 12 схемийн хувьд тохирох газрын гадарга орчмын схемийг харгалзуулан сонгон авч тус бүр дээр дурьдсан хугацаагаар бодолтыг явуулав (**Хүснэгт 1**).

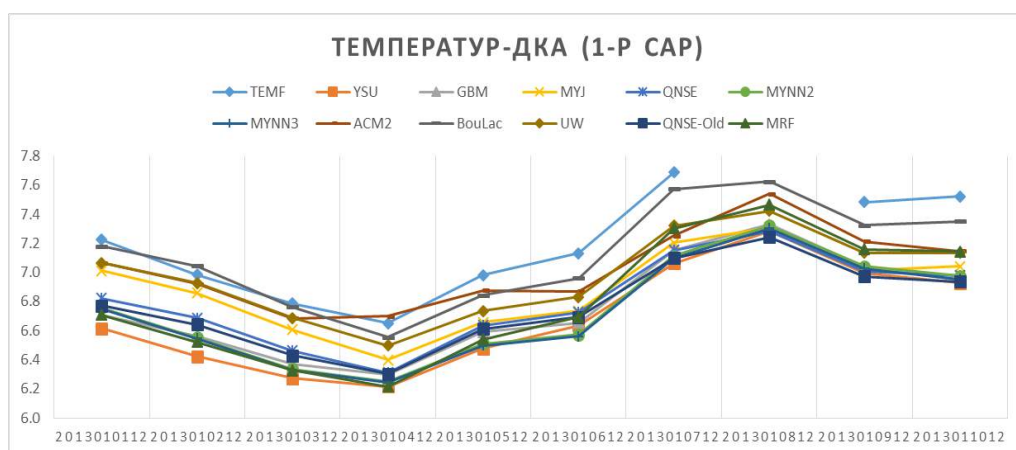
Хүснэгт 1. Загварын тоон туршилтад ашиглагдсан хязгаарын үе давхаргны схемүүд

№	10-10	Planetary	
		Boundary layer	Surface Layer
1	10-10	TEMF	TEMF
2	1-1	YSU	MM5 Monin-Obukhov
3	12-1	GBM	MM5 Monin-Obukhov
4	2-2	MYJ	Monin-Obukhov (Janjic Eta)
5	4-4	QNSE	QNSE
6	5-5	MYNN2	MYNN
7	6-5	MYNN3	MYNN
8	7-7	ACM2	Pleim-Xiu
9	8-2	BouLac	Monin-Obukhov (Janjic Eta)
10	9-2	UW	Monin-Obukhov (Janjic Eta)
11	94-4	QNSE-Old	QNSE
12	99-1	MRF	MM5 Monin-Obukhov

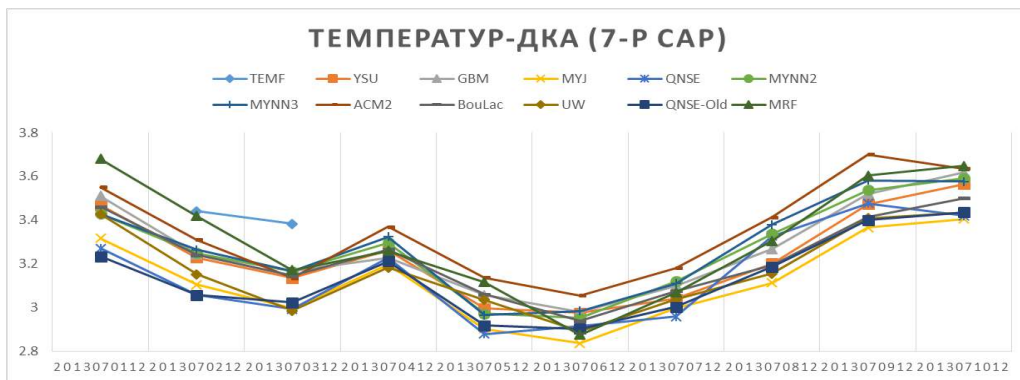
Загварын прогноз бодолтын 9км нарийвчлалтай грид үр дүнгээс цаг уурын 130 өртөөний байршил руу интерполяци хийж бодит ажиглалтын мэдээгээр дүгнэж статистик үнэлгээг агаарын температур, хур тунадас, салхины хувьд өвлийн улирлын 1-р сар, зуны 7-р сарын эхний 10 хоногоор хийв (**Зураг 6-7**).

Энэхүү үнэлгээнд ажиглалттай харьцуулсан дундаж квадрат алдааг сонгож авсан болно. Өвлийн саруудад 130 өртөөний байршлын цэгээр дундажласан алдаа харьцангуй их 6-7°C, зуны саруудад 2.8-3.6°C байна. Үүний шалтгааныг эх газрын инверсийн давхарга тогтдог, нөгөө талаас интерполяцийн алдаатай холбоотой гэж үзэж байна.

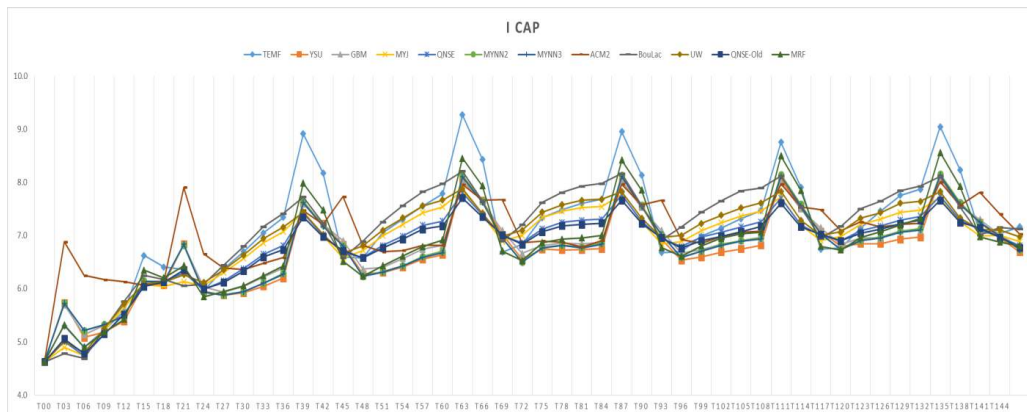
Прогнозын 144ц буюу 5 хоногийн 3 тутмын дундаж алдааг (**Зураг 8-9**)-д үзүүлэв. Ерөнхийдөө бүх схемүүд прогнозын хугацаа ихсэх тутам алдаа ихсэж байна. Харьцангуйгаар 24-48цагийн прогнозын алдаа харьцангуй бага байна.



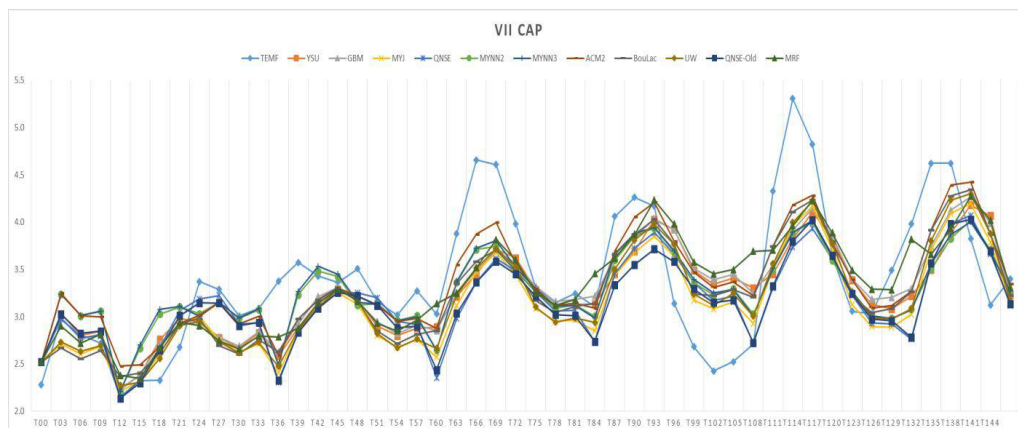
Зураг 6. Өвлийн 1 дүгээр сарын агаарын температурын дундаж квадрат алдаа, °C



Зураг 7. Зуны 7-р сарын агаарын температурын дундаж кавадрат алдаа, °C



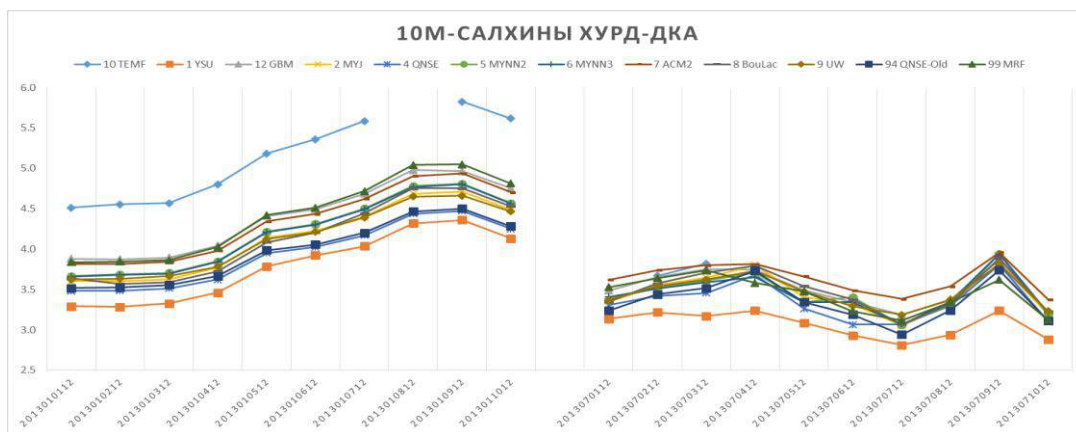
Зураг 8. Өвлийн сарын 144 цагийн агаарын температурын прогнозын дундаж кавадрат алдаа, °C



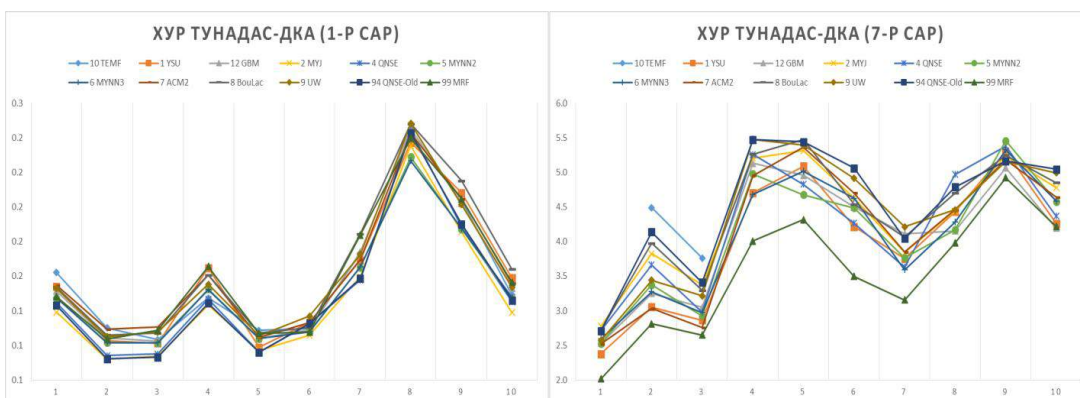
Зураг 9. Өвлийн сарын 144 цагийн агаарын температурын прогнозын дундаж кавадрат алдаа, °C

Газар орчмын 10м-ийн салхины хурлны үнэлгээнээс үзэхэд мөн л өвлийн улиралд харьцангуй алдаа ихтэй, зуны улиралд 4м/с-ээс бага алдаатай байна (Зураг 10).

Харин хур тунадасны хувьд дундаж алдаа өвөл 0.3мм-ээс бага, зун 6.0мм-ээс бага байна (Зураг 11). Дээрх алдааны газарзүйн тархалт манай орны баруун хэсэгт харьцангуй өндөр байгаа болно. Учир өндөршлийн нарийн төвөгтэй байдлыг загвар хэтэрхий мөлийлгөж авдагтай холбоотой.



Зураг 10. Өвөл ба зуны улирлын салхины хурдны дундаж квадрат алдаа, м/с



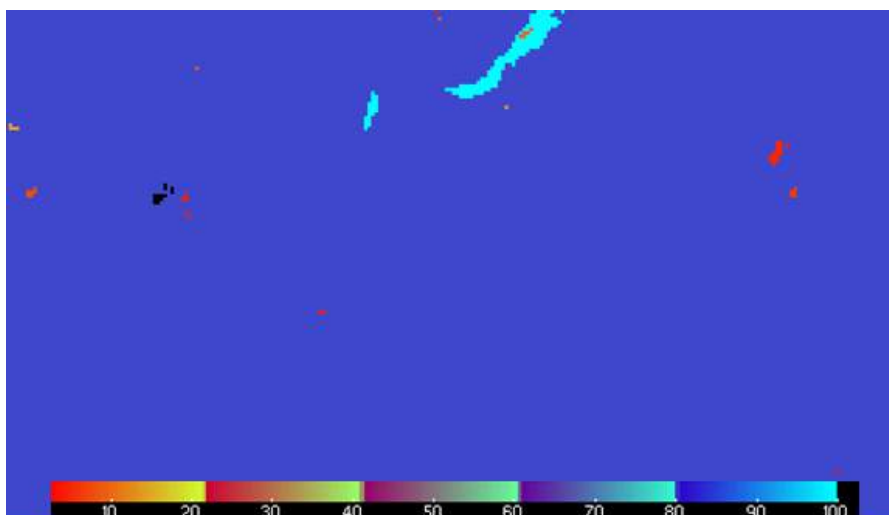
Зураг 11. Өвөл ба зуны улирлын хур тунадасны дундаж квадрат алдаа, мм

Бидний хийсэн тоон туршилтын статистик үнэлгээнээий үр дүн дээр суурилсан агаарын температурын хувьд өвлийн улиралд YSU (Yonsei University) схем, зуны сард MYJ схем харьцангуй сайн прогнозлож байна. Хур тунадасны хувьд MRF (Medium Range Forecast) сайн гарсан бол салхины хурдны хувьд бүх хугацаанд YSU схем харьцангуй бага алдаатай сайн прогнозлосон байна.

Нуурын загварыг холбосон тоон туршилт

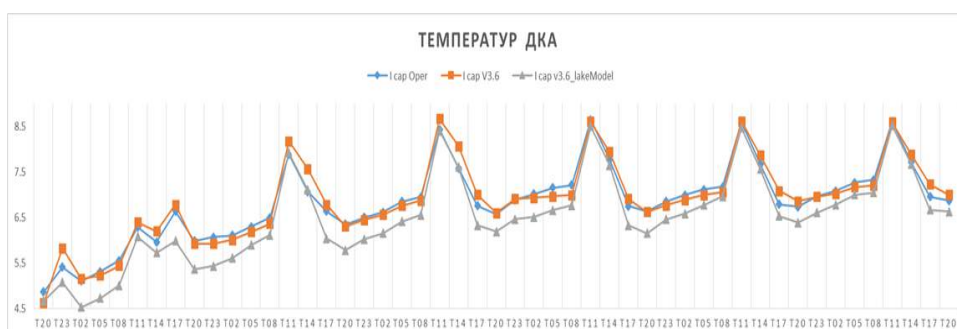
WRF загварын 2014 оны 4 дүгээр сард гарсан шинэчлэлтээр Нуурын загвар (Lake Physic) нэмэлтээр холбох боломжтой болов. Ингэхдээ газар бүрхэвчийн CLM 4.5 загварт нуурын дэд загвар ажиллуулж масс болон инергийн балансын схемтэй холбож загварын 20-25 босоо түвшинд тооцоолол хийв. Энэ загвар нь нуурын мөсөн гадаргуу дээр цасны 5 түвшин, усны 10 түвшин болон хөрсний 10 түвшингүүдэд тооцоолол хийнэ.

Нуурын загвар нь WRF загварын суурь мэдээллээс нуур гэсэн ангилалтай бүс нутагт тооцоолол хийх ба нуурын гүний мэдээллийг авч ажиллана (**Зураг 12**). Мөн гүний мэдээлэл өгөгдөөгүй нуур байхад тогтмолоор 50 метрээр тооцоолох тохиргоог 5 метр болгон өөрчилж оруулж өгсөн.

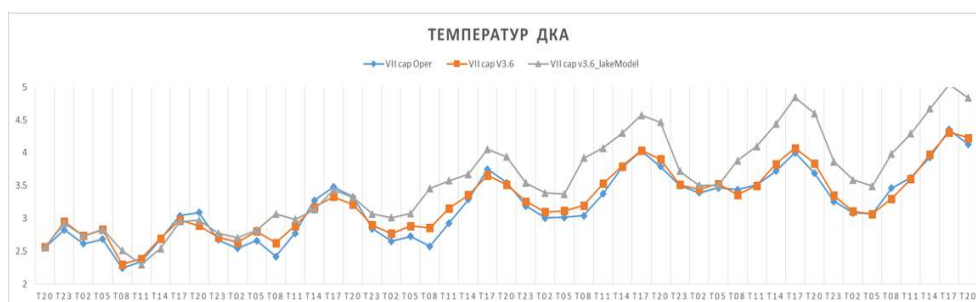


Зураг 12. Нуурын гүний мэдээлэл, м

WRF загварт нуурын загварыг холбож тоон туршилт хийхэд агаарын температурын хувьд нийт нутгаар өвлийн сард алдааг дунджаар 0.3°C -ээр сайжруулж байсан бол зуны сард 48 цагаас хойших прогнозын хугацаанд прогнозын алдаа ихсэж байгаа тул өвлийн хугацаанд нуурын загварын холбож цаг агаарын прогнозын бодолтыг явуулах нь зүйтэй гэсэн дүгнэлтийг хийж байна (Зураг 13-14). Цаашид зуны хугацааны бодолтыг нарийвчлан үзэх шаардлагатай болно.



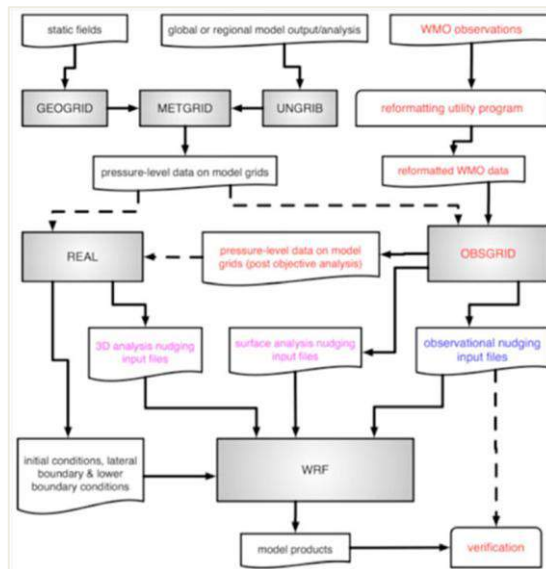
Зураг 13. Өвлийн 1 дүгээр сарын агаарын температурын дундаж квадрат алдаа (144 цагийн прогноз хугацаагаар)



Зураг 14. Зуны 7 дугаар сарын агаарын температурын дундаж квадрат алдаа (144 цагийн прогноз хугацаагаар)

Өгөгдлийн 4 хэмжээст ассимляци (Four-Dimensional Data Assimilation)

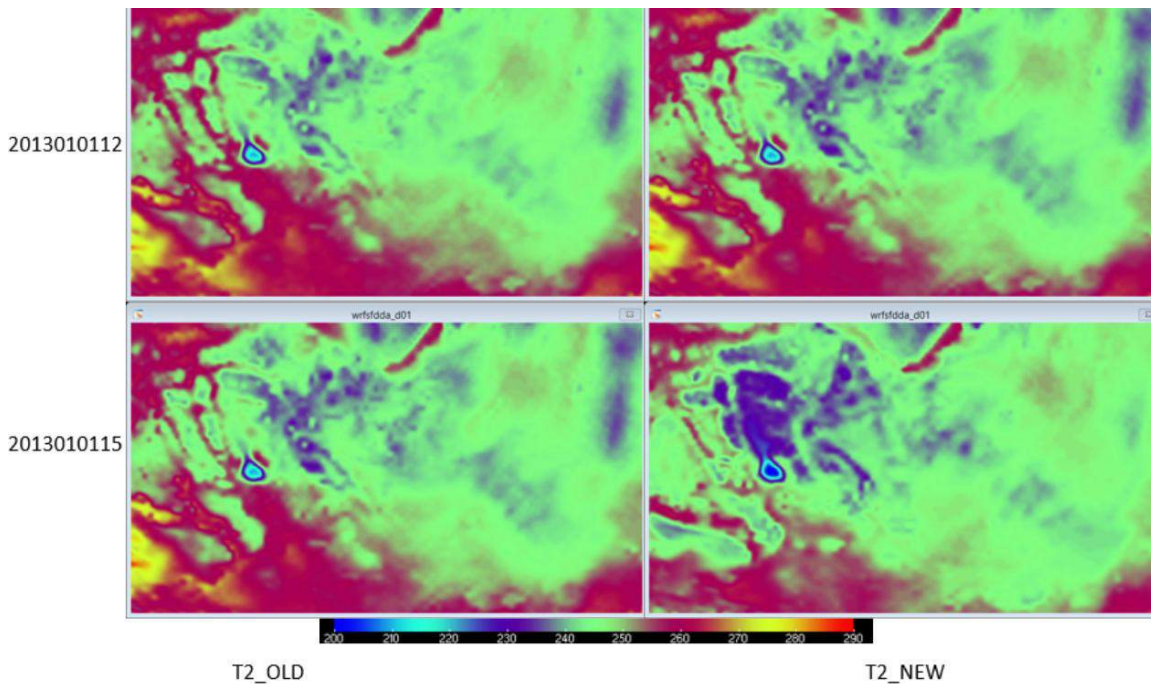
Тоон прогнозын загварт 4 хэмжээст өгөгдлийн ассимляцийн (nudging) аргыг анх 1974 онд Антес, Хөүке нар (Anthes, Hoke, 1974) нар хөгжүүлэн ашиглаж эхэлсэн. Энэ аргыг ашиглан WRF загварын анхны нөхцлийн сайжруулалтыг хийх оролдлогыг хийв. WRF загварт грид болон ажиглалтын мэдээний ассимляцийг Зураг 15-т үзүүлсэн схемийн дагуу хийв.



Зураг 15. WRF 4 хэмжээст өгөгдлийн ассимляцын ажиллагааны бүдүүвч.

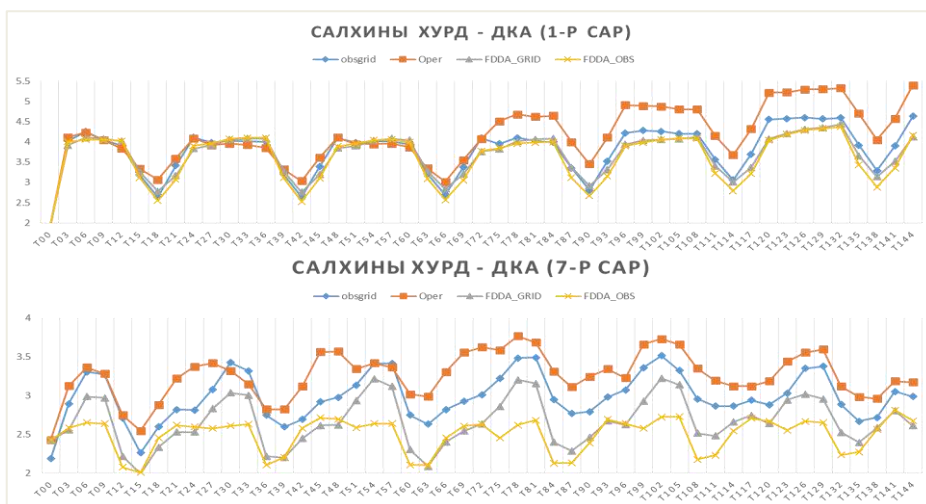
Тоон түршилт хийхдээ зөвхөн ажиглалтын мэдээний анализийг 9км домайнаар бодуулж зун болон өвлийн саруудыг төлөөлүүлж 7 болон 1-р саруудын эхний 10 хоног тус бүрт 144 цагийн прогнозын бодолтыг явуулж түршив.

Ажиглалтын мэдээнд бүсийн мэдээ солилцооны газрын болон аэрологийн өртөөний мэдээг авч ашиглан орон зайд тархаасан байдлыг **Зураг 16**-д үзүүлэв.

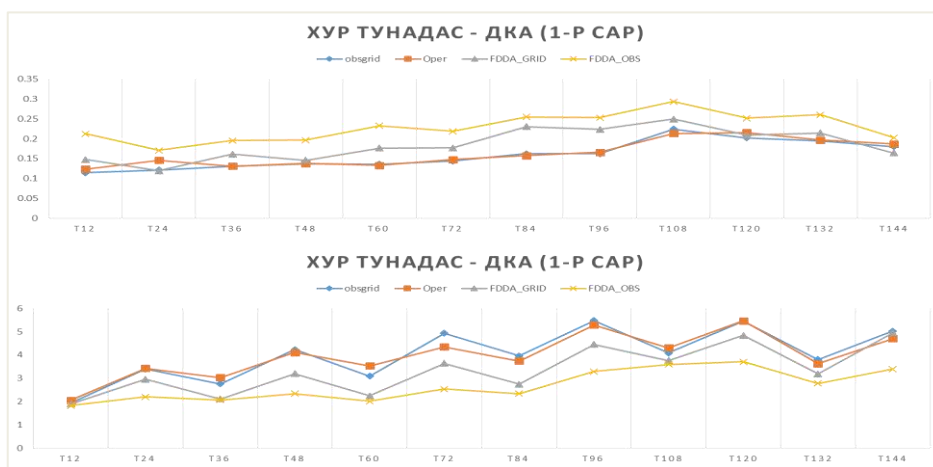


Зураг 16. Дэлхийн хэмжээний загварын 2 метрын температурын мэдээг өртөөний ажиглалтын мэдээгээр сайжруулсан байдал, K

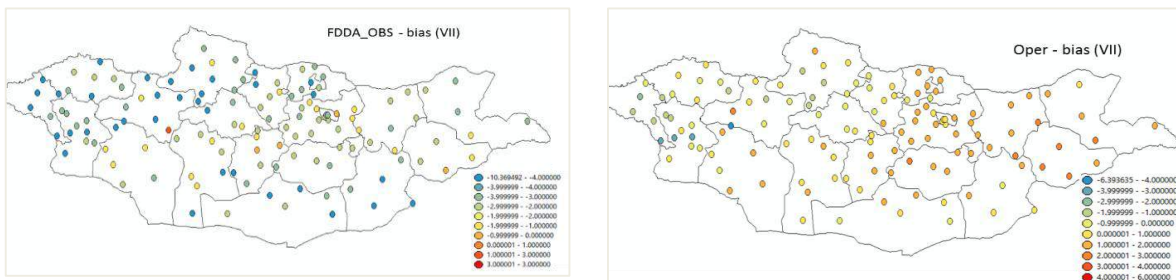
WRF-ын анхын нөхцлийг сайжруулах ассимляцийн аргийг түршсан үр дүнд үндэслэн салхи болон хур тунадасны хувьд л загварын прогнозын алдааг бууруулж байгаа боловч (**Зураг 17-19**), температурын хувьд төдийлөн алдааг бууруулаагүй юм.



Зураг 17. Салхины хурдны дундаж квадрат алдаа (прогноз хугацаагаар), м/с



Зураг 18. Хур тунадасны дундаж квадрат алдаа (прогноз хугацаагаар), мм



Зураг 19. Хур тунадасны дундаж квадрат алдаа (прогноз хугацаагаар), мм

Хотын загварын түршилт (Urban-Canopy Model)

Улаанбаатар хотод манай улсын тал илүү хувь нь ажиллаж амьдардаг ба Монгол улсад бүртгэлтэй аж ахуйн нэгж, байгууллагын 72.4 хувь, үйл ажиллагаа явуулж буй аж ахуйн нэгж, байгууллагын 64 хувь нь нийслэл хотод байршдаг. Жилээс жилд хотод шилжин ирэгсэдийн тоо нэмэгдсээр байна. Гадаадын хот судлаачид манай хотыг дэлхийн метрополис хотын ангилалд оруулах болсон байна (НСГ, 2013). Үүнтэй холбоотойгоор хотжилт, барилгажилт эрчимтэй явагдаж газар бүрхэвчийн байдал ихээхэн өөрчлөгдөж байна.

Хотын газар бүрхэвчийн энэ өөрчлөлт нь байгалийн газар бүрхэвчээсээ илүү дулаан шингээж, бас ялгаруулдаг байна. Хот орчмын гадаргуугийн температурын ижил шугамыг татахад арлын өндөршилийн шугамтай төстэй харагддаг. Иймээс үүнийг хотын

дулаан арал гэж нэрлэдэг. Ялангуяа энэ нь өвлийн улиралд хамгийн их ажиглагддаг (Kusaka and Kimura, 2004).

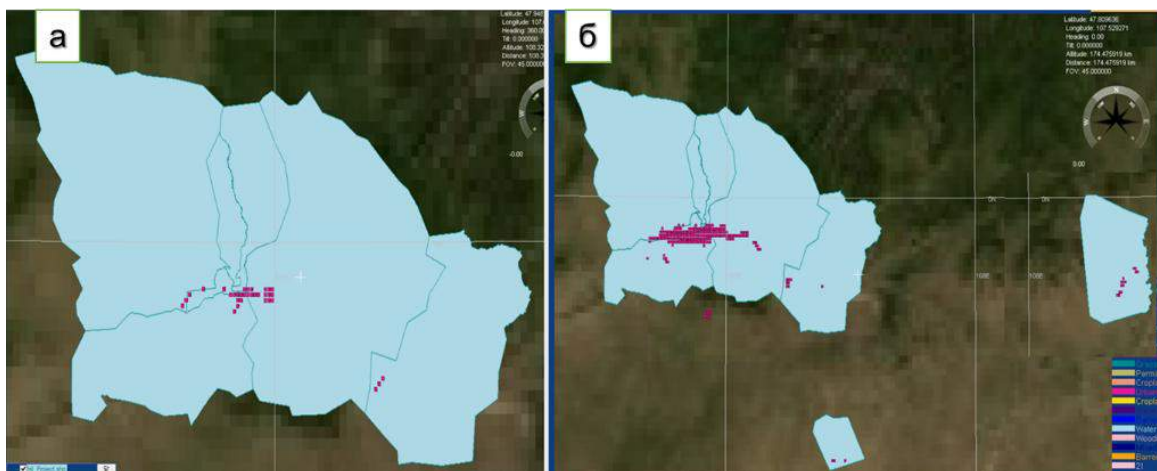
Дэлхийн олон хотуудад хийсэн судалгааны үр дүнгээс харахад нэг сая болон түүнээс олон хүн амтай томоохон хотуудад хотжилт үүсээгүй ойролцоох газар нутгаасаа агаарын температур 1- 3^oC-аар дулаан байдаг ба цэлмэг болон тогтуун шөнө энэ зөрөө 12^oC хүрдэг байна (Aniello et al. 1995).

Иймээс одоо шуурхай үйлчилгээнд ашиглагдаж байгаа WRF бүсийн тоон прогнозын загварт Улаанбаатар хотын мэдээллийг оруулан хотын загварыг ажиллуулснаар бодит байдалд илүү ойр прогнозоор хотын ард иргэдийг хангах боломжтой юм.

Хотын загвар нь хотын гудамж, байшингын дээвэр болон ханаар агаар мандалд үзүүлэх газрын гадаргын нөлөөллийг тооцоолно. Энэ загвар нь хотын уур амьсгалыг төлөөлүүлэн тооцоолох ба барилга байгууламж болон засмал замын агаар мандалд үзүүлэх энергийн балансыг тооцоолох замаар загварчилна.

Туршилт явуулахдаа WRF загварыг Монгол орны хэмжээгээр 9 км, төвийн бүсээр 3 км, Улаанбаатар хот орчимд 1 км орон зайн нарийвчлалтай бүс нутгаар сонгон авч ажиллууллаа (**Зураг 1**).

Загварт ашиглаж байгаа газар бүрхэвчийн мэдээний хот гэсэн газар бүрхэвчийн ангиллыг шинэчлэн өөрчилж загварын захын нөхцөлд оруулан өгсөн (**Зураг 20**). Хуучин болон шинэчилсэн газар бүрхэвчийн мэдээ хооронд харьцуулахад хот гэсэн ангилал хуучин 5.2 км² газар нутаг хамарч байсан бол шинэчилсэн мэдээгээр 44.8 км² газар нутаг загварын 1 км алхамтай 3-р бүс нутагт тооцоологдов.

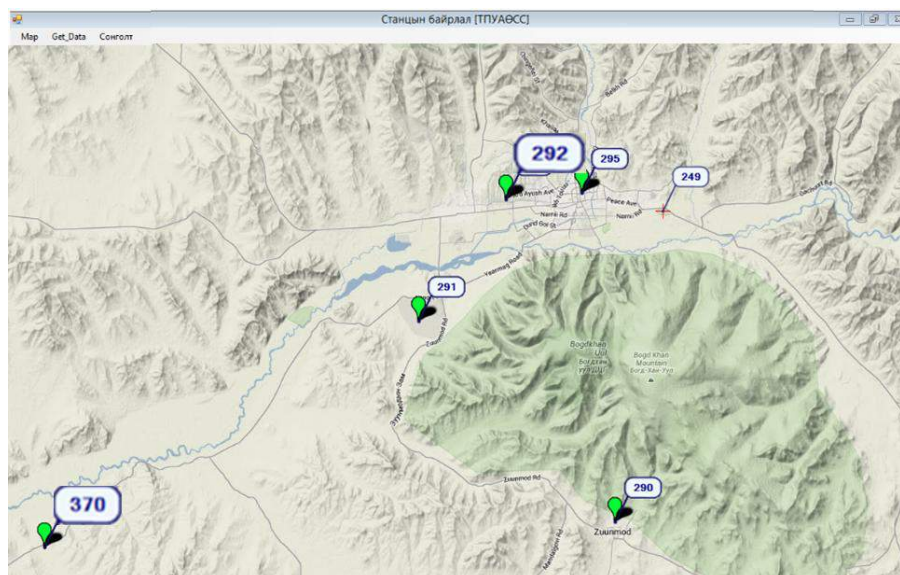


Зураг 20. Улаанбаатар хотын газар бүрхэвчийн мэдээнд орж байгаа тархалт. а) хуучин, б) шинэчилсэн

Хотжилтийн нөлөөг илэрүүлэхийн тулд туршилтийг газар бүрхэвчийн мэдээг хуучин хувилбараар WRF-тай хотын загвар UCM-ыг холболгүйгээр (хотжилтийг тооцоогүй), газар бүрхэвчийн мэдээг шинэ хувилбараар WRF-тай хотын загвар UCM-ыг холболсон (хотжилтийг тооцсон) гэсэн хоёр янзаар хийлээ.

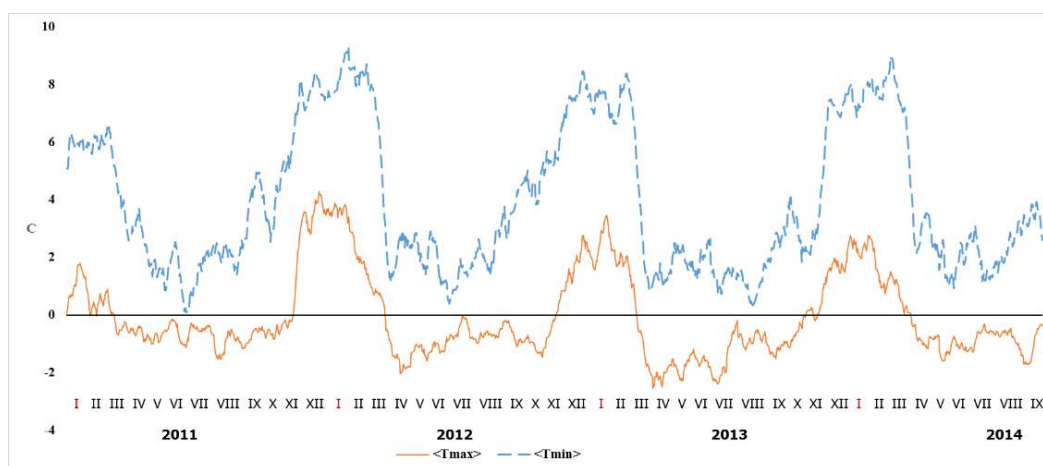
Загварын анхны нөхцөлөөр NCEP FNL реанализын мэдээг авч ашиглав. FNL мэдээ нь 1 градусын алхамтай 6 цаг тутмын мэдээ ба WRF загварыг өвлийн улирлыг төлөөлүүлэн 2013 оны 12 дугаар сарын 15-ны 20 цагаас 18-ны 20 цаг хүртэл, зуны улирлыг төлөөлүүлэн төлөөлүүлэн 2013 оны 7 дугаар сарын 24-ны 20 цагаас 27-ны 20 цаг хүртэл бодуулж туршилт явуулав.

Загвараар хотын дулааны нөлөөг илэрүүлэхийн тулд Улаанбаатар хотыг төлөөлүүлэн Тахилт цаг уурын өртөө (44292), харьцангуй хотжилт бага нөлөөлөх ба хоттой ойр орших Төв аймгийн Алтанбулаг өртөөг (44370) тус тус сонгон авч харьцуулалт хийв. Цаг уурын өртөөний байрлалыг **Зураг 21**-т үзүүлэв.



Зураг 21. Улаанбаатар хот орчим дахь цаг уурын өртөөдийн байрлал

Тахилт болон Алтанбулаг цаг уурын өртөө ажиглалтын мэдээнээс хамгийн их болон хамгийн бага температурыг харьцуулан авч үзэв. Эндээс шөнийн хугацаанд өдрийн хугацааг бодоход температурын зөрөө их буюу хотын станцад илүү дулаан байдаг байна. Энэ дулааралт өвлийн улиралд өдрийн хугацаанд мөн ажиглагддаг ба шөнийг бодвол харьцангуй бага нөлөөлдөг байна. Харин зуны өдөр эсрэгээрээ хотын нөлөө бага зэрэг сэрүүцүүлэх нөлөөтэй байж болохоор байна (**Зураг 22**).



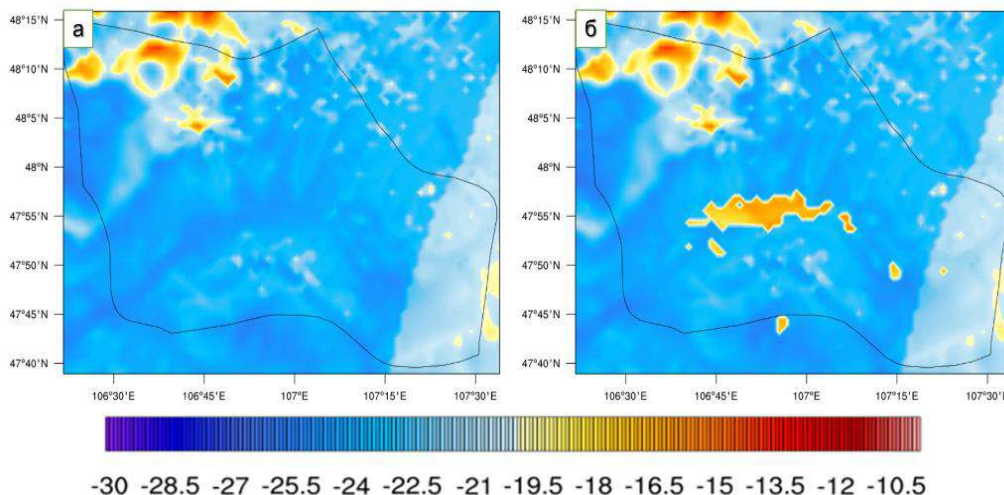
Зураг 22. Тахилт болон Алтанбулаг станцын 2 материйн температурын бодит ажиглалтын зөрөө [T292-T370]. (улаан – хамгийн их температурын зөрөө, цэнхэр – хамгийн бага температурын зөрөө)

Эндээс харахад агаарын температурт хотын үзүүлж байгаа нөлөө шөнийн цагт их байдаг ба өвлийн улиралд илүү их нөлөөлдөг байна.

Зураг 23-т хотын загвар ажиллуулсан болон ажиллуулаагүй WRF загварын 2 метрийн түвшний агаарын температурыг харьцуулан харуулав. Загварт хотжилтийг тооцсон үр дүнгээс харахад Улаанбаатар хот орчимд дулаан арлын илэрц тод ажиглагдаж байна.

Temperature

Init: 2013-12-15_12:00:00
Valid: 2013-12-17_09:00:00



Зураг 23. Загвараар тооцсон хотын дулаан арал. а) хотжилтгүй, б) хотжилттой (2013/12/17-ны 17 цагийн агаарын температур)

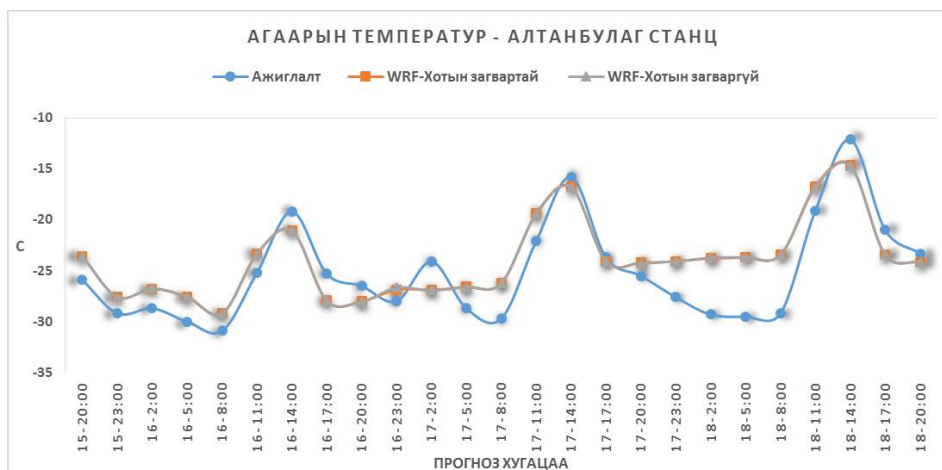
Бүс нутгийн тоон загварт Хотын загвар холбон ажиллуулахад хот орчим дахь станцын хувьд мэдэгдэхүйц өөрчлөлт гарч байгаа бол хотын нөлөө багатай станцад өөрчлөлт ажиглагдахгүй байна (Зураг 24-25).

Түршилтаас харахад хотжилтийг тооцоогүй тохиолдлын үр дүнг Улаанбаатар өртөөний бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулахад прогнозын бүх хугацаанд загвар хүйтэн буюу дунджаар 5.2°C алдаатай, хамгийн их зөрөө -10.6°C хүйтрүүлж байна. Харин хотын загвар ажиллуулснаар температурын энэ алдаа $4.2-4.5^{\circ}\text{C}$ хооронд болж, дундаж алдаа -0.1°C , дундаж үнэмлэхүй алдаа 1.9°C болж бодит ажиглалтад харьцангуй дөхсөн байдлаар загварчилж чадсан байна.

Эсрэгээр хотын нөлөө бага Алтанбулаг станцын хувьд хотжилтийг тооцсон болон тооцоогүй тохиолдлуудад WRF загвар адилхан үр дүн өгсөн ба бодит ажиглалттай харьцуулахад дундаж алдаа 1.2°C , дундаж үнэмлэхүй алдаа 2.5°C байг байна.



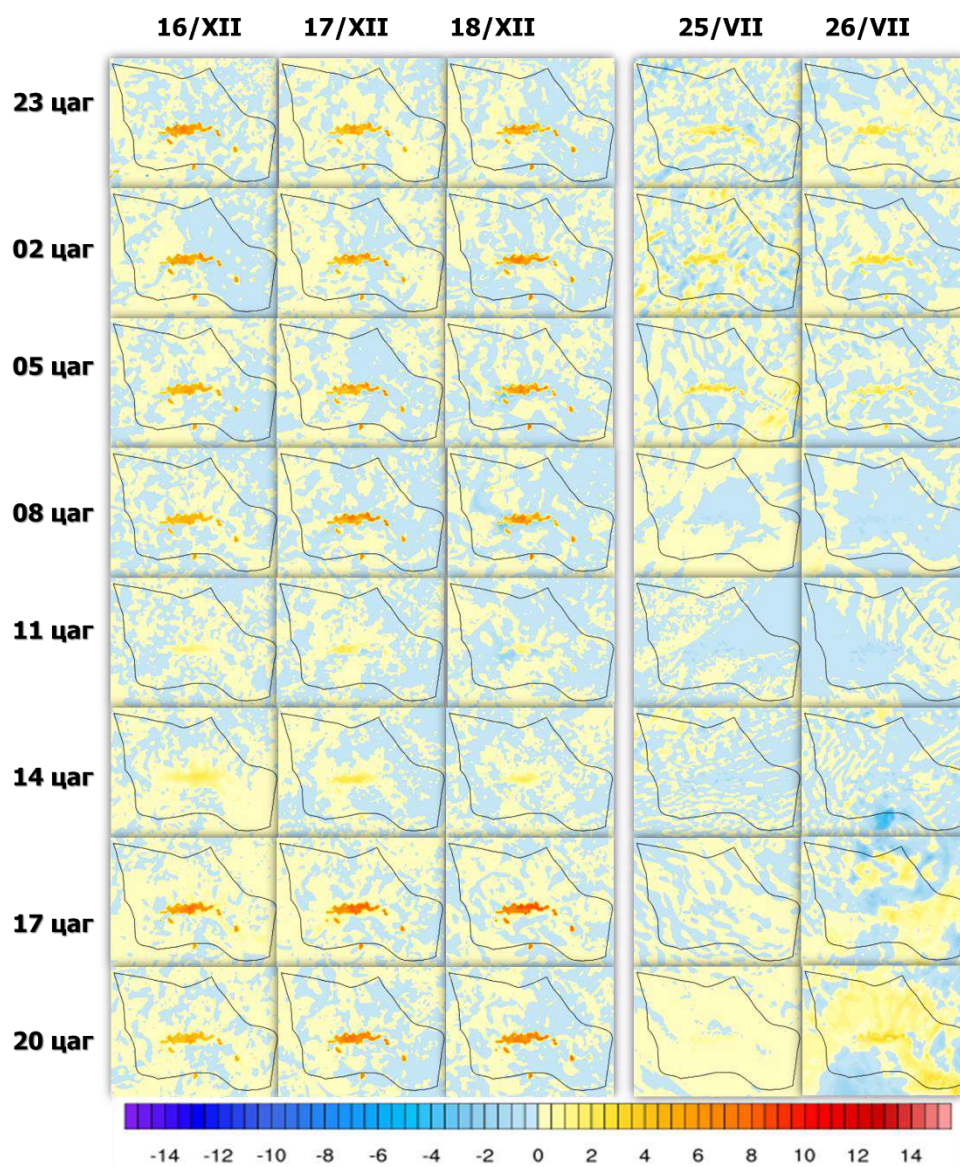
Зураг 24. Тахилт өртөөний загвараар тооцсон агаарын температур (2013 оны 12 дугаар сарын 15-наас 18-н)



Зураг 25. Алтанбулаг өртөөний загвараар тооцсон агаарын температур (2013 оны 12 дугаар сарын 15-наас 18-н)

Зураг 26-д өвөл болон зуны агаарын температурт хотжилтын нөлөө хоногийн турш хэрхэн нөлөөлж байгааг харуулав. Эндээс харахад өвлийн улиралд хотын нөлөөгөөр агаарын температур харьцангуй дулаардаг боловч энэ нөлөө өглөө нар мандсанаас хойш өдөр дунд өнгөртөл бараг ажиглагддаггүй байна. Харин зуны улиралд хотжилтын нөлөө зөвхөн шөнийн хугацаанд буюу тодруулбал нар шингэснээс мандах хүртэл хугацаанд дулааруулах нөлөө бага зэрэг байдаг бол өдрийн хугацаанд энэ нөлөө бараг илрээгүй ба зарим хугацаанд сэрүүсэх нөлөө ажиглагдаж байна.

Ерөнхийдөө бүс нутгийн тоон загварт хотын нөлөөллийг тооцоолж прогнозын таарцыг томоохон хотуудад дээшлүүэх бололцоотойг харуулж байна.

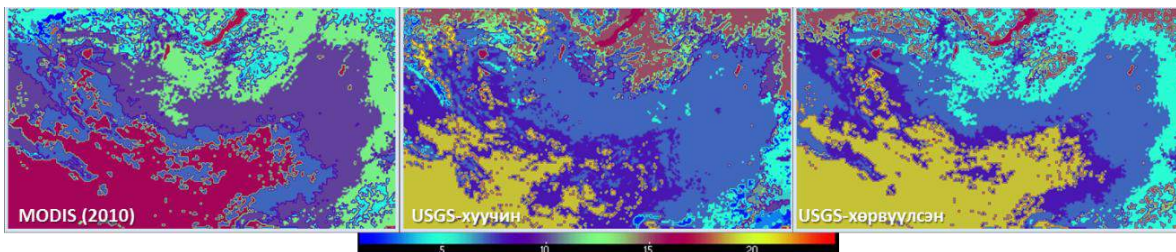


Зураг 26. Хотжилтын нөлөөний хоногийн явц [TURBAN-TnoURBAN]. оС

Газар бүрхэвчийн загварыг холбосон тоон туршилт

Газар бүрхэвчийн NOAH, NOAH-MP, CLM загваруудыг 2012 болон 2013 оны 1, 4, 7, 10-р сарын дээрхтэй адил загварын тохиргоогоор ажиллуулан харьцуулалтыг хийв.

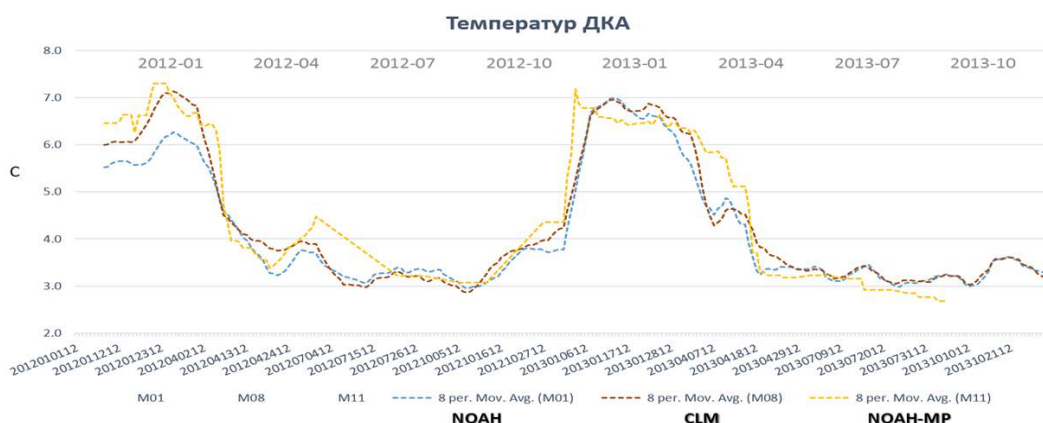
CLM загварын хувьд зөвхөн 24 категорийн USGS газар бүрхэвчийн мэдээг авч ашигладаг тул 20 категорийн MODIS-ын газар бүрхэвчийн мэдээг хөрвүүлэн ашиглав (Зураг 27).



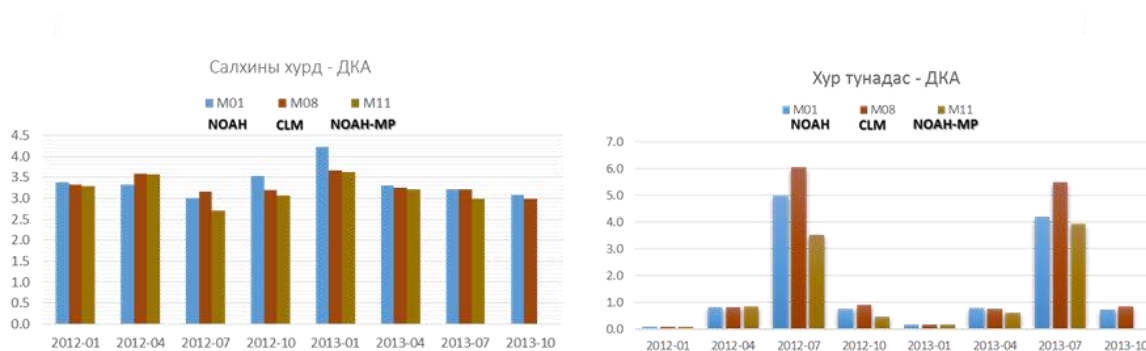
Зураг 27. Загварын газар бүрхэвчийн мэдээ

Загварын тооцоолсон үр дүнг цаг уурын өртөөдийн ажиглалтын мэдээтэй харьцуулан үзэхэд агаарын температурын хувьд 2012 оны 1 дүгээр сард NOAH загвар харьцангуй сайн үр дүн өгсөн боловч бусад хугацаанд 3 загвар ойролцоо прогнозлосон байна

(Зураг 28). Харин салхины хурд болон хур тунадасны хувьд NOAH-MP загварыг холбосон тохиолдолд ихэнх хугацаанд сайн прогнозлосон байна**(Зураг 29).**



Зураг 28. Температурын дундаж квадрат алдаа,



Зураг 29. Салхины хурд (м/с) болон хур тунадасны (мм) дундаж квадрат алдаа

Дүгнэлт

Хязгаарын үе давхаргын схемийн туршилтын үр дүнгээс хархад температурын хувьд өвлийн улиралд YSU схем, зуны сард MYJ схем харьцангуй сайн прогнозлож байна. Хур тунадасны хувьд MRF сайн гарсан бол салхины хурдны хувьд бүх хугацаанд YSU схем сайн прогнозлосон байна.

Харин газар бүрхэвчийн загварын туршилтаар температурын хувьд 2012 оны 1 дүгээр сард NOAH загвар харьцангуй сайн үр дүн өгсөн боловч бусад хугацаанд 3 загвар ойролцоо прогнозлосон байна. Харин салхины хурд болон хур тунадасны хувьд NOAH-MP загвар ихэнх хугацаанд сайн прогнозлосон байна.

WRF загварт нуурын загварыг оруулан туршихад температурын хувьд нийт нутгаар өвлийн сард дунджаар 0.3 градусаар сайжруулж байсан бол зуны сард 48 цагаас хойших прогнозын хугацаанд прогнозын чанар муудсан дүн гарч байна. Иймээс цаашид нарийвчлан тохируулж, тухайн газар нутгаар үзэх шаардлага байна.

WRF Four-Dimensional Data Assimilation (FDDA) аргийг туршсан туршилтын үр дүнгээс үзэхэд салхи болон хур тунадасны хувьд загварын прогнозын чанарыг сайжруулж байгаа боловч температурын хувьд сайн үр дүн гараагүй байна. Иймээс энэ аргаар температурын прогнозад нөлөөлж буй нөлөөллийг тогтоож прогнозын чанарыг сайжруулах шаардлагатай байна.

Хотын загварыг тооцсон үр дүнгээс харахад Улаанбаатар хот нь орчиндоо хотын нөлөөг үзүүлэх хэмжээнд хүрч өргөжин тэлж, томоохон хотуудын нэг болж байна гэж дүгнэж болохоор байна.

Улаанбаатар хотын “дулаан арал”-ын үзэгдэл бусад судалгааны үр дүнтэй адилхан шөнийн хугацаандаа болон өвлийн улиралд илүү эрчимтэй байгааг ажиглалтын үр дүн болон загварчлалын үр дүн харуулж байна.

Өвлийн улиралд хотын нөлөөгөөр агаарын температур харьцангуй дулаардаг боловч энэ нөлөө өглөө нар мандсанаас хойш өдөр дунд өнгөртөл бараг ажиглагддаггүй байна. Харин зуны улиралд хотжилтын нөлөө зөвхөн шөнийн хугацаанд буюу тодруулбал нар шингэснээс мандах хүртэл хугацаанд дулааруулах нөлөө бага зэрэг байдаг бол өдрийн хугацаанд энэ нөлөө бараг илрээгүй ба зарим хугацаанд сэрүүцүүлэх нөлөө ажиглагдаж байна.

Энэ судалгаагаар WRF загварт хотын загвар холбон ажиллуулснаар Улаанбаатар хотын агаарын температурыг ялангуяа өвлийн улиралд илүү бодит байдалд ойр загварчлах боломжтой болох нь харагдаж байна.

Одоо шуурхайд ажиллаж байгаа WRF загварын температурын прогноз ялангуяа өвлийн улиралд харьцангуй алдаа ихтэй байдаг ба тунадасны хувьд бодит байдлаас ихэнх тохиолдолд их прогнозлодог. Иймээс энэ судалгааны үр дүнгүүдээс харахад тухайн алдаануудыг тодорхой хэмжээгээр бууруулах боломжтой болохыг харуулж байна.

Хэвлүүлсэн бүтээл, хэлэлцүүлсэн илтгэл:

- Г.Батжаргал, “Агаарын температурт хотжилтын үзүүлэх нөлөө”, УЦУОХ-ийн эрдэм шинжилгээний бүтээл, дугаар 34, х30-38

1.1.2 WRF загварын шуурхай ажиллах гормыг бүс нутгаар тогтоох (moving nesting)

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 бүс 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.

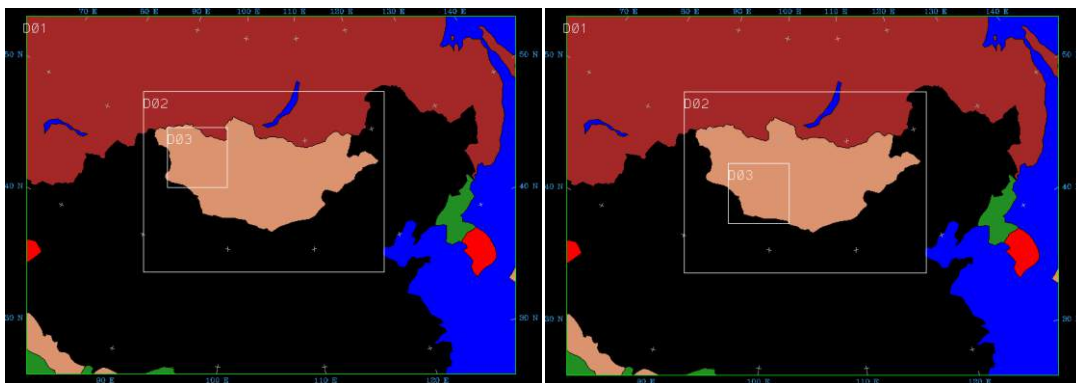
Энэхүү судалгааны ажлаар цаг агаарын аюултай үзэгдлийн нөхцөл бүрдсэн үед цаг агаарын процессыг илүү нарийн тодорхойлохын тулд тухайн аюултай үзэгдэл ажиглагдах газар нутагт илүү нарийвчлалтай бүс нутгийг сонгон ажиллуулах боломжийг шуурхай үйлчилгээнд нэвтрүүлэх технологийг бий болгох зорилго тавьсан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

Судлагдсан байдал

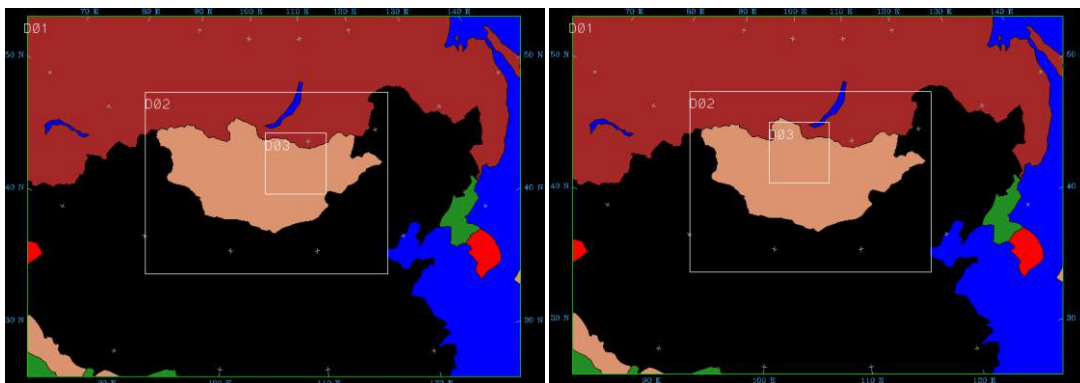
Монголын цаг уурын албанд 2004 оноос цаг агаарын тоон прогнозын загвар шуурхай үйлчилгээнд ашиглаж эхэлсэн. Монгол орны нутгаар тоон прогнозын загвар ашиглан хийсэн цаг агаарын гамшигт үзэгдлийн судалгаа цөөхөн байдаг. Гомболүүдэв (2005) нар Монгол орны төв хэсгээр богино хугацаанд ажиглагдсан догшин 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 байдаг.

Арга зүй

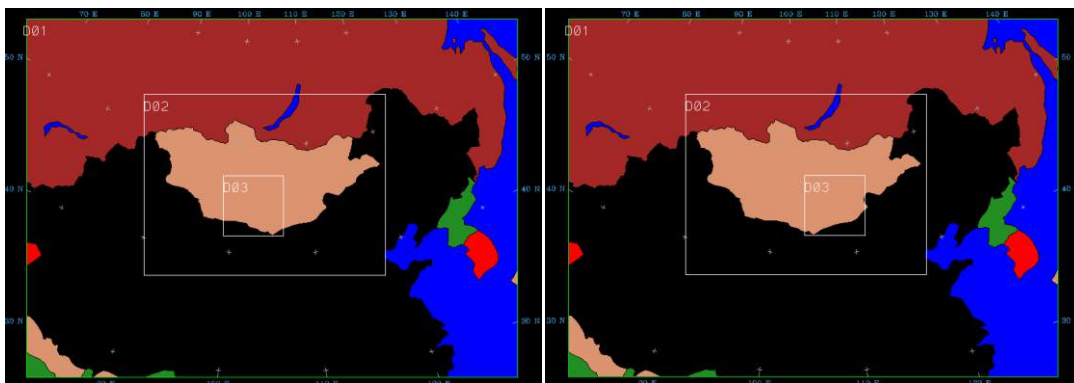
Энэ судалгааны ажилд агаар мандлын бэсрэг хэмжээст тоон загварыг Weather Research and Forecasting (WRF), (Skamarock et al., 2008) ашиглана. WRF загвар нь цаг агаарыг урьдчилан мэдээлэх чиглэлээр өргөн ашиглагддаг бөгөөд олон төрлийн физик схемүүдийн сонголттой юм. Загварын туршилтанд Kain-Frisch кумюлюс 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 planetary 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 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 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 30). 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.



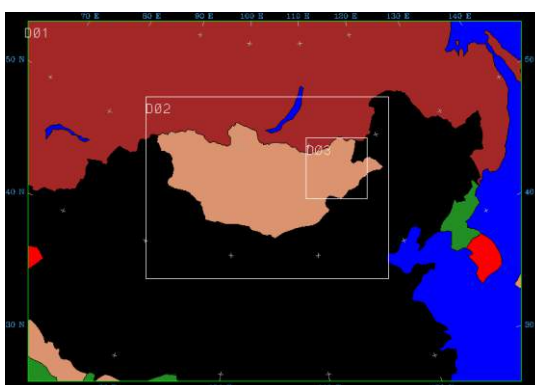
Монгол орны баруун зүгийн 3-р домайн



Монгол орны төвийн нутгийн 3-р домайн



Монгол орны өмнө зүгийн 3-р домайн



Монгол орны зүүн зүгийн 3-р домайн

Зураг 30. Цаг агаарын аюултай үзэгдэл ажиглагдсан үед тоон загвараар нарийвчлан тооцоолох 3-р бүс нутгууд

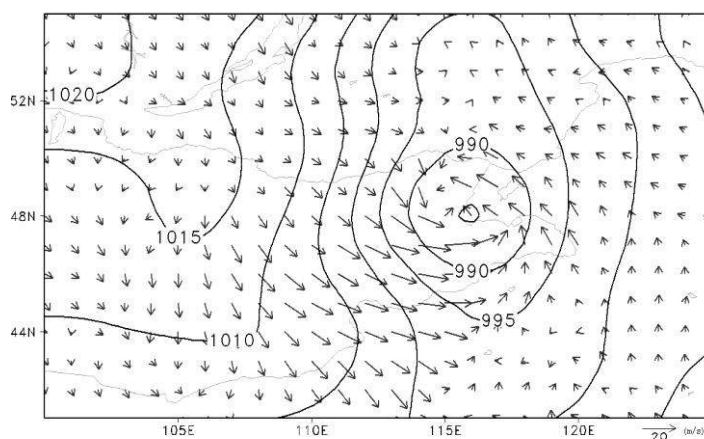
Үр дүн

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 туршилтыг 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

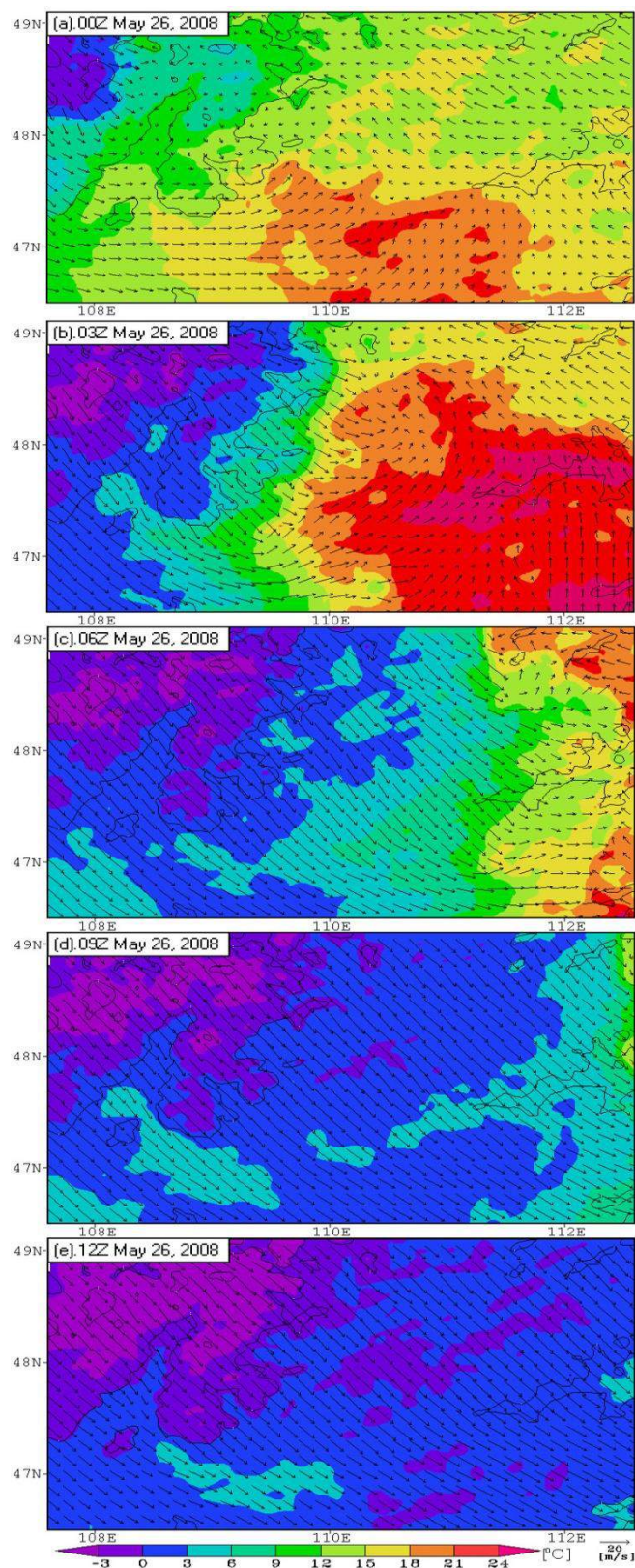
үндсэн шалтгаан нь осголт байсан. Энэ цаг агаарын гамшигт үзэгдэл нь богино хугацаанд гүнзгийрсэн циклоны нөлөөгөөр бий болсон. Энэхүү циклон нь 5 сарын 25-нд Хангай нурууны салхин доод талд үүсэж, улмаар эрчимтэй гүнзгийрч хурдтайгаар нутгийн зүүн хэсэг рүү шилжсэн ба 5 сарын 26-нд энэхүү гүнзгий циклон, түүнтэй холбоотой хүйтэн фронт Монголын зүүн хэсгээр дайран өнгөрсөн. **Зураг 31**-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 31. Монголын зүүн хэсгийн FNL анализийн 2008 оны 5 сарын 26-ны 12 цагийн далайн түвшний даралт болон 10м түвшний салхины вектор

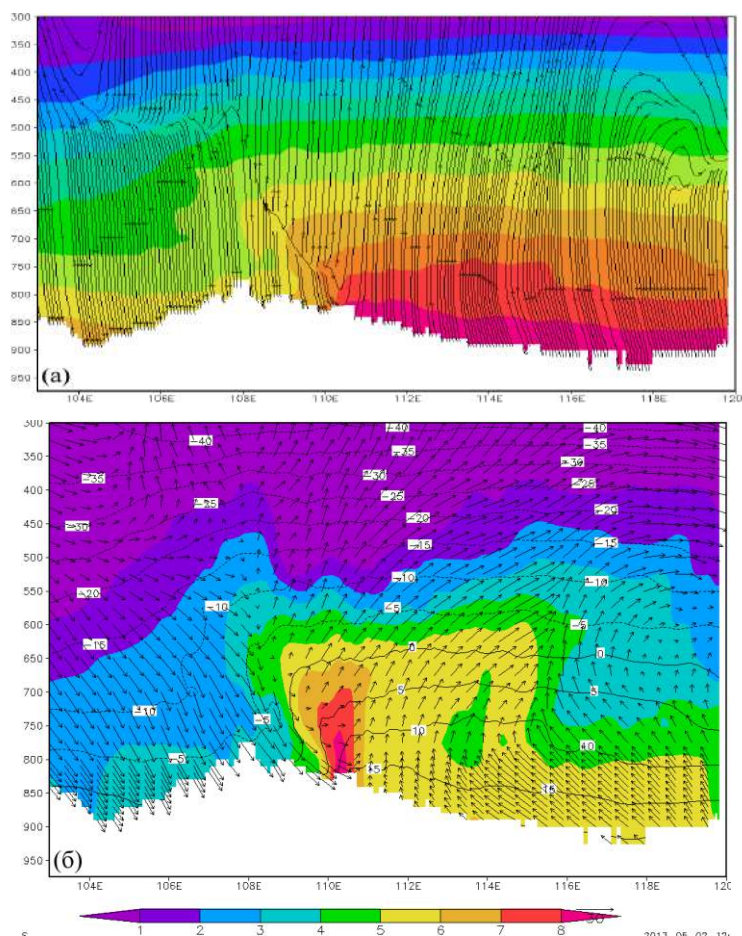
Зураг 32-т загвараар тооцоолсон D3 бүс нутгийн 2м түвшний агаарын температур болон 10м түвшний салхины векторыг орон зайн тархалтаар 5 сарын 26-ны 00 цагаас 12 цагийн хооронд үзүүлэв. Зурагт хүйтэн фронтын байрлалыг хэвтээ гадаргуу дахь салхины хурд, чиглэл болон температурын өөрчлөлтөөр илэрхий тодорхойлж болохоор байна (**Зураг 32а-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 32а**). 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 $20\text{-}25^{\circ}\text{C}$ -ээр дулаан байв. Температурын градиент хүйтэн фронтын хөндлөн огтлолд (ЗУ $108^{\circ}\text{-}109^{\circ}$, ХӨ $47^{\circ}\text{-}48^{\circ}$) ойролцоогоор 100км-т $15\text{-}20^{\circ}\text{C}$ хүрсэн (**Зураг 32b**).



Зураг 32. Загварын D3 бүс нутгийн 2м түвшний агаарын температур, 10м түвшний салхийн векторын орон зайн тархалт, өндөршлийн 1000м, 1500м-ийг ижил утгын шугамыг хамт

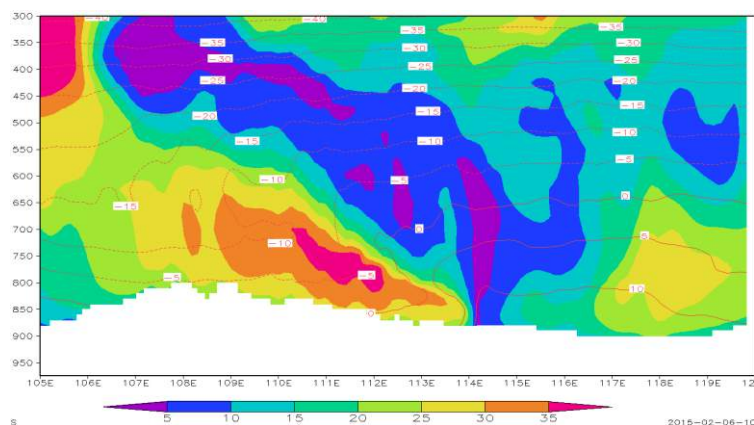
Хүйтэн фронт дайрч өнгөрсний дараа, 14 цагаас 20 цагийн хооронд, баруун хойноос хүйтэн агаарын масс түрж, салхины хурд аажмаар ихсэн, D3-ийн зүүн хэсэгт агаарын температур 18-24°C-ээс 0-3°C хүртэл огцом буурсан байна (Зураг 32c,d,e). Загварын D3-ийн салхи, температурын орон зайн болон цаг хугацааны дүрслэл нь D1, D2-тэй

ойролцоо, харин эдгээр бүс нутгуудад NCEP FNL-ийн загварын үр дүн бага зэрэг өөр байгаа нь харагдаж байна.



Зураг 33. 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)

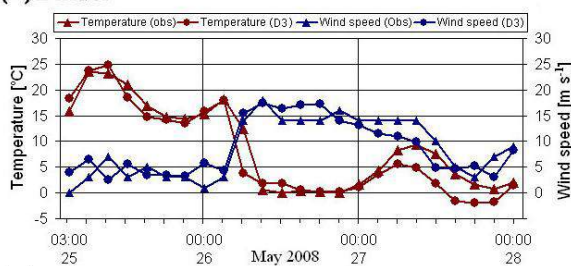
Зураг 33-т D3 бүс нутгийн уртрагийн дагуух, өргөргийн 48°-аар зүссэн 300мбар хүртэлх босоо хөндлөн огтлолын агаарын температур болон салхины урсгалын шугамыг үзүүлэв. Босоо хөндлөн огтлолын зургаас харахад агаар мандлын фронтын байрлал нь агаарын температурын өөрчлөлт, салхины урсгалын шугамаас тодорхой харагдаж байна. Салхины урсгалын шугам нь хүйтэн фронтын өмнө өгсөх чиглэлтэй, ард уруудах чиглэлтэй байна (**Зураг 33а**). Энэ нь циклоны өмнө чийглэг дулаан агаар өгсөх хөдөлгөөнтэй, ар талд уруудах хөдөлгөөний улмаас хүйтэн агаарын масс түрж байдаг юм (**Зураг 33б**). 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 34**).



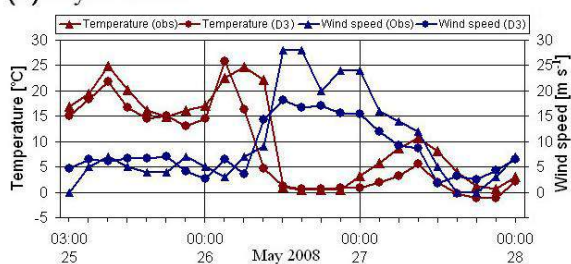
Зураг 34. Зураг 5. Уртрагийн дагуух, өргөргийн 48°-аар зүссэн 300мбар хүртэлх босоо хөндлөн огтлолын салхины хурд (м/с) болон агаарын температур (°C) (ижил утгын шугам)

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 35**-т үзүүлэв. Энэ 2 станцын салхины хурд, температурыг загварын D3 үр дүнгээс гарсан ойролцоох гридийн цэгийнхтэй харьцуулан үзсэн. Биндэр станц дээр (**Зураг 35а**) загвараар тооцоолсон салхины хурд, температурын утгын цаг хугацааны өөрчлөлт нь ажиглалтын мэдээтэй харьцуулахад маш сайн таарч байсан.

(a) Binder



(b) Bayan-Ovoo



Зураг 35. 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 35б**) 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°C-ээс 1°C 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 2-т 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 2. 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 M2**-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 туршив. 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.

1.2 Загварын анхны нөхцлийн оронг хиймэл дагуул, радарын мэдээгээр ассимляци хийж сайжруулах

1.2.1 Загварын газар бүрхэвчийн мэдээллийг MODIS хиймэл дагуулын мэдээгээр сайжруулах

Ургамал бүрхэвч нь газар бүрхэвч, агаар мандлын харилцан үйлчлэлд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг бөгөөд энэ нь газрын гадаргын чийг-дулаан энергийн харилцан солилцоог зохицуулж байдаг. Ургамлын бүрхэвчийн өөрчлөлт нь бүс нутгийн уур амьсгал бүрэлдэхэд хүчтэй нөлөө үзүүлж, ил болон далд дулааны хуваарилалтын харьцааг тодорхойлдог (Pielke, 2001). Эдгээр дулааны энергийн өөрчлөлтүүд нь конвектив системийн хөгжил, гадаргын цацрагийн тэнцэл, цаашлаад хур тунадас, температурын тархалт болон тоо хэмжээнд голлох нөлөө үзүүлж байдаг (Aman et al, 1992).

Монгол орны нийгэм эдийн засаг нь цаг агаар, уур амьсгал, байгалийн гамшиг зэрэг байгалийн хүчин зүйлээс ихээхэн хамааралтай учир түүний хувьсал өөрчлөлтийг цаг алдалгүй урьдчилан мэдээлэх нь нэн чухал юм. Цаг агаарын тоон загвар нь өндөр технологид суурьлагдсан уур амьсгал, цаг агаарын төлөвийг цаг хугацаа орон зайн өндөр нарийвчлалтай тодорхойлдог бөгөөд дэлхийн ихэнх цаг уурын төвүүд өргөн ашиглаж байна.

Сүүлийн жилүүдэд хот суурин руу шилжин ирж буй хүн амын өсөлт нэмэгдсэнтэй холбоотойгоор хотын бичил уур амьсгалын судалгаа хийх мөн цаашлаад тоон прогнозын загварт гадарга бүрхэвчийн өөрчлөлтийг тооцож оруулах зайлшгүй шаардлага урган гарч байгаа билээ. Fei Chen et al (2011), (Оклахома, АНУ) болон de Foy et al (2006), (Мехико, Мексик) зэрэг судлаачид бүсийн нутгийн загварыг ашиглан суурь

гадаргын параметруудийг бодит хугацааны хиймэл дагуулын өгөгдлөөр өөрчилж агаарын бохирдол болон хотжилтын дулааны нөлөөлөлийг тооцох судалгааг хийсэн. Эдгээр судалгаагаар загварлалаар тооцоолсон салхи болон температур мэдэгдэхүйц сайжирсан үр дүнг өгсөн. [Батболд \(2011, 2012\)](#) MODIS-ийн NDVI ашиглан зуны хугацааны НУБ-ийг зүүн хойд хагас бөмбөрцгөөр тооцож WRF загварт оруулан Монгол орны хэмжээгээр 2000-2010 оны зуны хугацаанд хур тунадасыг тооцсон түршилтийг хийсэн ба агаарын температур, тунадасны хэмжээг ажиглалтын мэдээ рүү мэдэгдэхүйц дөхсөн үр дүнг өгсөн.

Сүүлийн 70 шахам жилийн дотор Монгол орны нутаг дэвсгэр дээрх жилийн дундаж температур 2.14°C дулаарсан ([Нацагдорж болон Дагвадорж, 2010](#)). Мөн сүүлийн жилүүдэд хотжилт, малын өсөлт, газар тариалан эрхлэлт, ойн талбай багасах, уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөгөөр цөлжих зэргээс хамаарч гадарга бүрхэвчийн төрөл хурдацтай өөрчлөгдөж байна. Монгол орны нийт бэлчээрийн 70% ямар нэгэн хэмжээгээр цөлжилтөнд өртсөн байна ([Биологийн төрөл зүйлийн үндэсний тайлан, 1998](#)). [Adyasuren et al \(2005\)](#) нар NOAA AVHRR хэмжсэн NDVI-ийн 1982-2004 оны өгөдлийн олон жилийн явцыг Монголын төв болон зүүн хэсгээр тооцоолсон. Тэдний гаргасан үр дүнгээр NDVI-ийн утга зуны ургамал ургалтын хугацаанд буурч байгааг тогтоосон. Иймд хиймэл дагуулын мэдээгээр босгосон бодит хугацааны газар бүрхэвчийн параметрийг загварт оруулан тооцоолох явдал чухал юм.

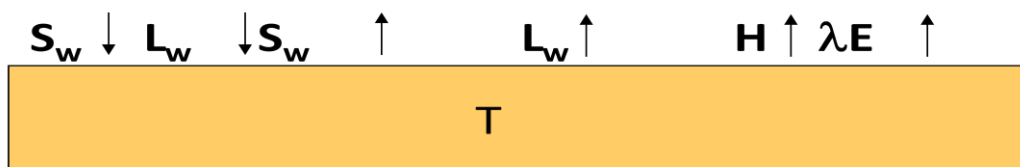
Энэхүү судалгаагаар уур амьсгалын өөрчлөлт, хүний үйл ажиллагааны нөлөөлөлөөс хамаарч өөрчлөгдөж байгаа гадарга бүрхэвчийн параметрийг хиймэл дагуулын мэдээллээр нарийвчлан тодорхойлж, эдгээр мэдээллийг бүсийн цаг агаарын загварт оруулан цаг агаарын прогнозын чанарыг дээшлүүлэх нь энэхүү судалгааны гол зорилго юм.

Арга зүй

Weather Forecasting and Research (WRF) ([Skamarock et al., 2005](#)) загварыг цаг агаарын өнгөрсөн болон ирээдүйн төлөвийг тодорхойлоход өргөн ашигладаг бүс нутгийн загвар юм. Энэ загвар нь сүүлийн үеийн бүс нутгийн загвар бөгөөд цаг агаарын прогнозын судалгаанд ихээхэн ашигладаг. Одоогийн байдлаар Монголын Ус, цаг уурын алба энэхүү загварыг шуурхай ажиллагаанд цаг агаарын урьдчилсан мэдээ гаргахад ажиллуулж байгаа болно.

WRF загвар нь анхны захын өгөгдлөө дэлхийн хэмжээний загварын үр дүнгээс авч динамик буулгалтын (dynamic downscaling) аргыг ашиглан сонгосон бүс нутгаар өндөр нарийвчлалтайгаар цаг агаарын төлөвийг дүрслэн гаргадаг. [Hagemann et al., \(2008\)](#) дэлхийн хэмжээний болон WRF загварын үр дүнг тунадас, салхи болон температур зэрэг элементүүдийг ажиглалтын мэдээтэй харьцуулж үзсэн бөгөөд WRF загварын үр дүн үнэлгээ сайн байсан. Хэдий тийм боловч бүсийн загварт ашиглаж байгаа газар бүрхэвчийн параметр болох ургамал бүрхэвч, газрын гадаргын алbedo, ногоон ургамлын бүрхэвч зэрэг нь 20-30 жилийн өмнөх хиймэл дагуулын мэдээнд тулгуурласан өгөгдөл байдаг тул жил бүрийн уур амьсгалаас хамаарсан өөрчлөлтийг тусгаж чаддаггүй дутагдалтай талтай юм.

Газар бүрхэвчийн загвар нь энергийн балансыг дараах томъёогоор тооцдог.



$$SW_d + LW_u = SW_d + LW_u + H + \lambda E + G$$

SW_d -нарнаас ирж буй шулуун цацраг

LW_d - агаар мандлаас ирж буй урт долгионт цацраг

SW_u -газрын гадаргуугаас ойж буй богино долгионт цацраг

LW_u -газрын гадаргаас цацруулж буй урт догионт

H -ил (sensible) дулаанд зарцуулж буй энерги

λE -нууц дулаан (ууршилт, цас мөсний хайлалт)

G -газрын гүн руу зарцуулах дулаан

Цацрагийн баланс нь дараах хэлбэрээр илэрхийлэгдэнэ.

$$R_n = SW_d + LW_d - SW_u - LW_u$$

Цацрагийн балансаар илэрхийлэгдэх энерги нь газрын гадаргын гадаргын шинж чанараас хамаарч ил, нууц болон хөрсний гүн руу шилжих дулаанд хувирч байдаг.

Газрын гадаргаас буцаж ойх шулуун цацраг нь гадаргын альбедогоос шууд хамааралтай байдаг.

$$SW_u = a * SW_d$$

a - газрын гадаргын альбедо

Газрын гадаргаас царуулах урт долгионт цацраг нь Стефан-Болцманы томъёогоор илэрхийлэгдэнэ.

$$LW_u = \epsilon \delta T^4$$

ϵ -газрын гадаргуугийн цацруулалтын чадвар

δ - Стефан-Болцманы тогтмол

T -газрын гадаргын температур

Ил дулааныг дараахь томъёогоор загварт тооцно.

$$H = r c_p r_a (T_s - T_r)$$

r - агаарын дундаж нягт

c_p -тогтмол даралтан дах агаарын дулаан багтаамж

T_s - газрын гадаргын температур

T_r - агаарын температур

r_a - агаарын аэроднамик эсэргүүцэл

Хөрсний гүн руу шилжих дулаан

$$G = -K_t \frac{\partial T}{\partial z}$$

Kt-дулаан солилцооны параметр, энэ хөрсны шинж чанар, бүтцээс хамаарна
Нууц дулаан нь ургамал, хөрс, цас болон мөсний ууршилтаар тодорхойлогдоно.

$$LH = \lambda_w E + (\lambda_w + \lambda_m) E_s$$

λ_w - усны уурын хувийн дулаан багтаамж

λ_m - цас болон мөснөөс уурших усны уурын хувийн дулаан багтаамж

E -хөрс, ургамлаас уурших нийлбэр ууршилт

E_s -цас, мөсөн гадаргаас уурших ууршилт

Хөрс, ургамал уурших нийлбэр ууршилт нь дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

$$E = E_{dir} + E_t + E_c$$

Ургамлаар дамжих уурших ууршилт буюу транспираци

$$E_t = \sigma_f E_p B_c \left[1 - \left(\frac{W_c}{S} \right)^n \right]$$

Ургамал бүрхэвчийн гадагуугаас уурших ууршилт

$$E_c = \sigma_f E_p \left(\frac{W_c}{S} \right)^n$$

Хөрсний гадаргуугаас уурших ууршилт

$$E_{dir} = (1 - \sigma_f) \beta E_p$$

σ_f -ногоон ургамлын бүрхэц

E_p -потенциаль ууршиц

B_c -ургамал бүрхэвчийн эсэргүүцлийн функц

W_c -Ургамал бүрхэвчид агуулагдах чийгийн агууламж

S -Ургамал бүрхэвчийн хамгийн их чийг агуулах багтаамж

β -Хөрсний чийгээс хамаарсан функц

Эдгээр ууршилт нь ногоон ургамлын бүрхэцээс шууд хамаарч байгаа нь харагдаж байна.

Ургамал бүрхэвчийн эсэргүүцлийн фундад навчны гадаргуугийн индекс чухал нөлөөтэй байдаг

$$B_c = \frac{1 + \frac{\Delta}{R_r}}{1 + R_c C_h + \frac{\Delta}{R_r}}$$

$$R_c = \frac{R_c - \min}{LAI * F_1 F_2 F_3 F_4}$$

LAI-навчны гадаргуугийн индекс

Rc_min ≈ ургамлын төрлөөс хамаарсан минимум эсэргүүцлийн коэффициент

F1 ≈ нарны цацрагаас хамаарсан функц

F2 ≈ агаарын температураас хамааралтай функц

F3 ≈ агаарын чийгээс хамаарсан функц

F4 ≈ хөрсний чийгээс хамаарсан функц

Дээрх энергийн балансын томъёололоор гадарга бүрхэвчийн параметр болох ургамал бүрхэвч, газрын гадаргын алbedo, ногоон ургамлын бүрхэвч, навчны гадаргуугийн индекс болон газрын гадаргын цацруулалтын коэффициент нь загварт хэрхэн нөлөө үзүүлэхийг зорьсон болно.

Энэхүү судалгааны ажлаар энэхүү загварын гадарга бүрхэвчийн параметруудыг Terra, Aqua хиймэл дагуулын мэдээллээр тодорхойлж, өмнө загварын суурь параметртэй харьцуулан өөрчлөлтийг тогтоох шаардлагатай юм. Үүнийг үндэслэн загварыг 2 тохиолдлоор а) олон жилийн дундаж б) бодит хугацааны хиймэл дагуулын мэдээллийг оруулан түршиж явуулна. Түршилтын хугацааг 3 сүүлийн 10 жилийн 3 тохиолдлоор (нормоос их, бага, хэвийн) сонгон явуулж, түршилтын үр дүнг бодит мэдээтэй харьцуулан гадаргын энергийн болон чийгийн балансыг үнэлэн дүгнэлт хийнэ.

Үр дүн

Газар бүрхэвчийн ангилал

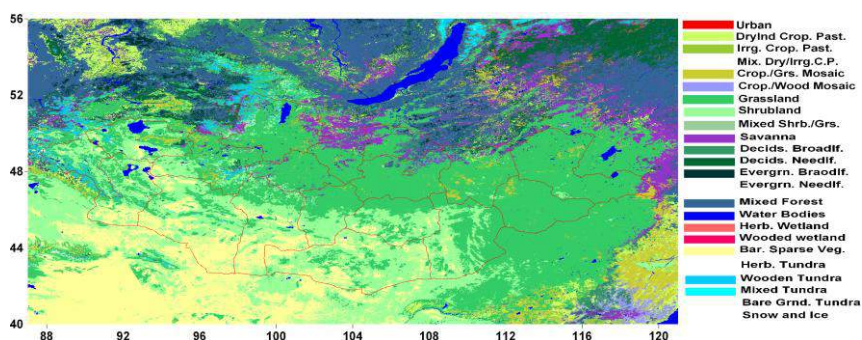
WRF загвар нь 1992-1993 оны NOAA хиймэл дагуулын AVHRR сенсороор тодорхолсон USGS –ийн 24 ангилалын 1км нарийвчлалтай гадарга бүрхэвчийг ашигладаг. Сүүлийн 20 жилд уур амьсгалын өөрчлөлт, байгалийн гамшиг, хүний үйл ажиллагаанаас хамаарч гадарга бүрхэвчид байнгын өөрчлөлт шилжилт гарч ирсэн. Тиймд энэхүү гадарга бүрхэвчийн байдал нь өнөөгийн гадарга бүрхэвчийг бүрэн илэрхийлж чадахгүй байгаа юм. Сүүлийн үед Terra хиймэл дагуулын MODIS сенсоров мэдээллийг маш өргөн ашиглаж байгаа бөгөөд эдгээр мэдээлэл нь цаг хугацаа болон орон зайн нарийвчлалын хувьд маш сайн юм. Yusel (2006) MODIS-ийн IGBP 17 ангилалын газар бүрхэвчийн ангилалыг харгалзах ойролцоо параметруудийг харьцуулан USGS-ийн 24 ангилал руу хөрвүүлэх аргыг ашиглан тоон загварт ашигласан (**Хүснэгт 3**). Энэ хөрвүүлэгийн үр дүнгээр 2009 оныг IGBP ангилалыг USGS ангилал руу хөрвүүлж үзэхэд Төв Ази болон Монгол орны хувьд Shrubland буюу бутархаг газар 12%-аар буурч, нүцгэн хөрстэй газар 12%-аар ихсэж гарсан. Мөн тал хээр, газар тариалан, хотжилтийн хэмжээ их, ой модтой газар багассан байна. **Зураг 36**-т USGS болон IGBP-г USGS руу хөрвүүлсэн зураглалыг Монгол орны хэмжээгээр үзүүлэв.

Хүснэгт 3. USGS болон IGBP гадарга бүрхэвчийн ангилал, тэдгээрийн зөрүү

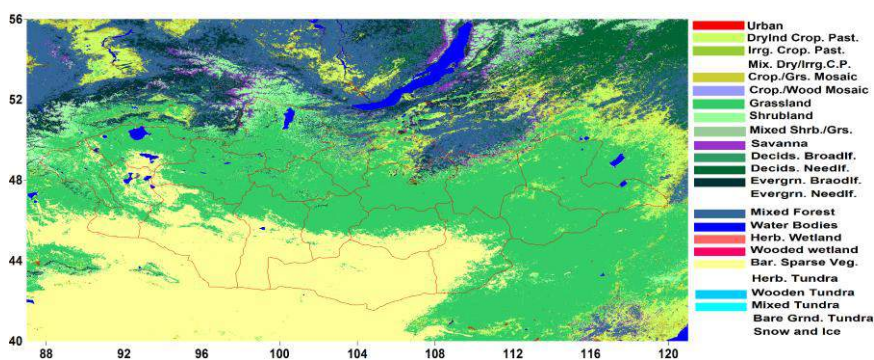
Total pixels – 7833600, Area(40-56N, 87-121E)						
USGS classes	IGBP classes	USGS, 1993		After conversion, 2009		Difference
		Pixels	Percent (%)	Pixels	Percent (%)	Percent (%)
1.Urban	13. Urban and built-up lands	5374	0.07	20460	0.26	0.19
2 DryIrd Crop. Past.	12. Croplands	317500	4.05	556098	7.10	3.05
3 Irrg. Crop. Past.		51986	0.66	0	0.00	-0.66
4 Mix. Dry/Irrg.C.P.		0	0.00	0	0.00	0.00
5 Crop./Grs. Mosaic	14. Crop/natural veg	289290	3.69	255156	3.26	-0.43

6 Crop./Wood Mosaic		58701	0.75	0	0.00	-0.75
7 Grassland	10. Grasslands	2406354	30.72	2743617	35.02	4.30
8 Shrubland	6. Closed shrublands	1235777	15.78	334483	4.27	-11.51
	7. Open shrublands					
9 Mix Shrb./Grs.		4139	0.05	0	0.00	-0.05
10 Savanna	8. Woody savannas	491430	6.27	201371	2.57	-3.70
	9. Savannas					
11 Decids. Broadlf.	4. Decids. broadleaf forests	237415	3.03	7762	0.10	-2.93
12 Decids. Needlf.	3. Decids. needleleaf forests	388384	4.96	401555	5.13	0.17
13 Evergrn. Braodlf.	2. Evergrn broadleaf forests	0	0.00		0.00	0.00
14 Evergrn. Needlf.	1. Evergrn needleleaf forests	104833	1.34	388052	4.95	3.61
15 Mixed Forest	5. Mixed forests	1020429	13.03	924526	11.80	-1.23
16 Water Bodies	17. Water bodies	144041	1.84	107970	1.38	-0.46
17 Herb. Wetland		622	0.01		0.00	-0.01
18 Wooded wetland	11. Permanent wetlands	26902	0.34	16988	0.22	-0.12
19 Bar. Sparse Veg.	16. Barren	934291	11.93	1871370	23.89	11.96
20 Herb. Tundra		0	0.00	0	0.00	0.00
21 Wooden Tundra		108031	1.38	0	0.00	-1.38
22 Mixed Tundra		8101	0.10	0	0.00	-0.10
23 Bare Grnd. Tundra		0	0.00	0	0.00	0.00
24 Snow or Ice	15. Snow and ice	0	0.00	4192	0.05	0.05

(a)



(б)



Зураг 36. USGS (а) болон IGBP-г UGSG (б) руу хөрвүүлсэн газар бүрхэвчийн ангилалын зураглал

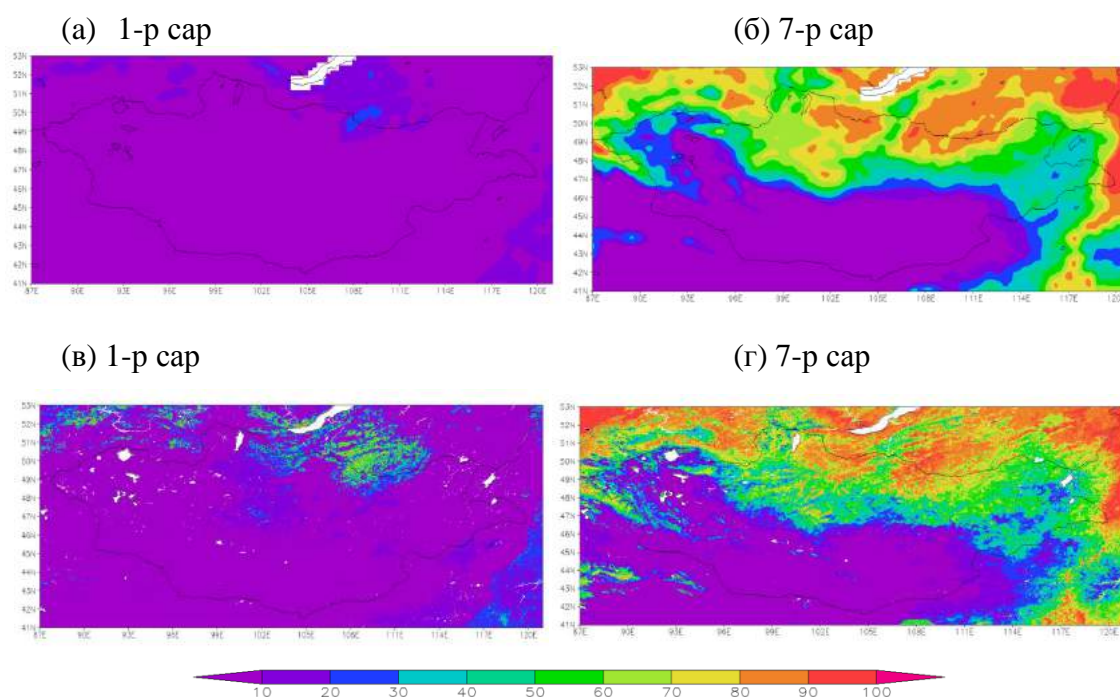
Ногоон ургамлын бүрхэц

Ургамал бүрхэвч нь газар бүрхэвч, агаар мандлын харилцан үйлчлэлд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг бөгөөд энэ нь газрын гадаргын чийг-дулаан энергийн харилцан солилцоог зохицуулж байдаг. Ургамал бүрхэвчийн нэг гол параметр бол ногоон ургамлын бүрхэц

(НУБ) юм. НУБ нь тодорхой нэгж гадаргууд байгаа ургамалтай хэсгийг хувьд шилжүүлэн тооцон авч үздэг бөгөөд энэ нь тухайн гадаргуу дахь ургамал болон нүцгэн хөрснөөс уурших ууршилтыг тодорхойлох гол параметр болдог. НУБ-ийн хэмжээ нь жил бүрийн уур амьсгалын онцлогоос хамаарч өөрчлөгдөж байдаг. Ерөнхийдөө энэ өөрчлөлт нь уур амьсгалын өөрчлөлт түүнтэй холбоотой ган болон цөлжилтийг үнэлэх гол үзүүлэлт болдог билээ. Ногоон ургамлын бүрхэц нь тоон загварт нийлбэр ууршилтаар тодорхойлогддог далд дулааны хэмжээг тооцох гол параметр юм. Энэ судалгааны ажилд MODIS сенсоорын 1км нарийвчлалтай NDVI (MOD13A3) бүтээгдэхүүнийг ашиглан НУБ-ийг тооцсон ба энэ нь дараахь шулууны томъёогоор илэрхийлэгдэнэ.

$$GVF(\%)=100*(NDVI-NDVI_0)/(NDVI_{100}-NDVI_0) \text{ (Gutman, Ignatov 1998)}$$

GVF- Хувиар илэрхийлсэн НУБ, NDVI - тухайн гридийн цэг дээрх өгөгдсөн хугацааны NDVI-ийн утга, $NDVI_{100}$ – 100% буюу шигүү ногоон ургамалтай үеийн NDVI-ийн утга, $NDVI_0$ – цөл буюу нүцгэн хөрсөнд дээрх NDVI-ийн утга. Энэ тохиолдолд Zeng et al. (2000) аргачлалаар $NDVI_{100}=0.92$ and $NDVI_0=0.05$ гэж авч үзсэн. Зураг 37-т жишээ болгон AVHRR сенсоорын 5 жилийн дундаж 16.5км нарийвчлалтай, MODIS сенсоорын 2009 оны 1км нарийвчлалтай сар бүрийн ногоон ургамлын бүрхэцийг үзүүлэв. Ерөнхийдөө ой мод тал хээрийн бүсэнд, MODIS сенсоорын NDVI-ийн утга нь AVHRR сенсоорын утганаас их байдаг (Miller, 2006). Тиймээс $NDVI_{100}$ -ийн утга нь сенсорт бүрт өөр өөр утгатай байдаг. Зургаас харахад MODIS сенсоорын NDVI-г ашиглан тооцоолсон ногоон ургамлын бүрхэц нь 5 жилийн дундажаас их байгааг нь харагдаж байна. Энэ нь өндөр нарийвчлалтай мөн NDVI-гийн утга нь их байдагтай холбоотой байгаа бөгөөд уулархаг газар, тал хээр болон голын хөндий газрын ногоон ургамлын бүрхэцийг илүү нарийвчлалтай илэрхийлж байна.



Зураг 37. 1985-1990 оны дундаж AVHRR NDVI (а, б) болон 2009 оны MODIS-ийн NDVI-аар (в, г) ногоон ургамлын бүрхэц

Гадаргын альбедо

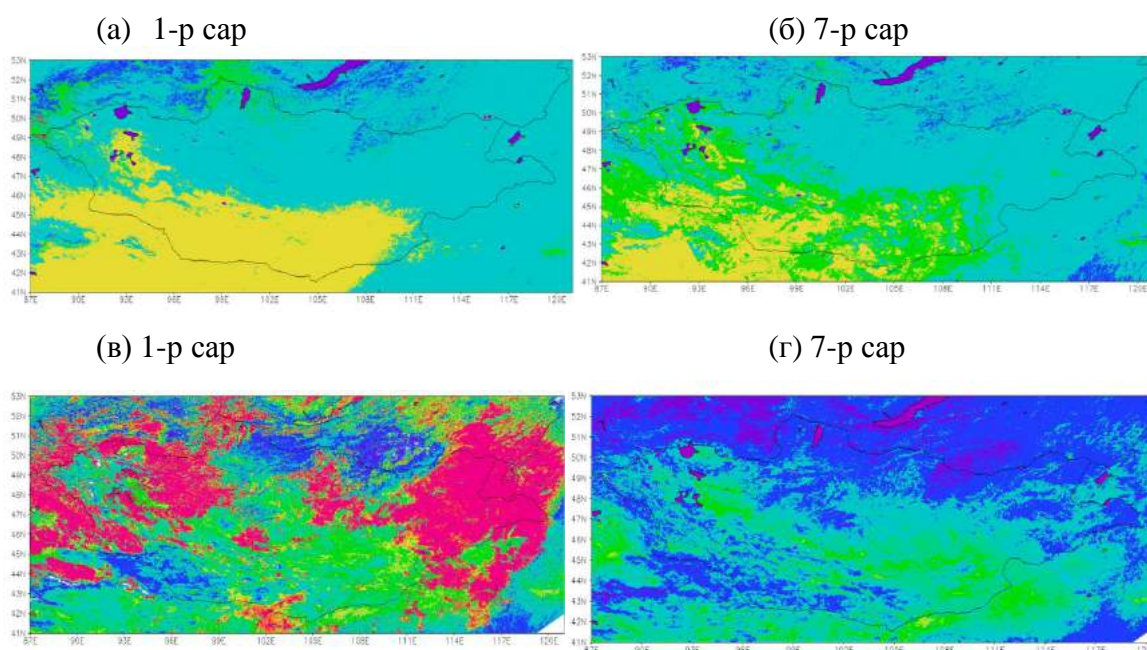
Гадаргын альбедог газар, агаар мандлын чийг энергийн солилцоонд маш их үүрэгтэй бөгөөд зун ногоон ургамлын бүрхэц, өвөл цасны бүрхэцээс маш их хамааралтай байдаг. Хиймэл дагуулын мэдээллээр гадаргын альбедог өндөр нарийвчлалаар хэмждэг бөгөөд

black-sky ба white-sky 2 төрлийн альбедогоор гадаргын албедог тооцоолдог. Black-sky альбедо нь газрын гадаргаас шууд харагдах гэрлээр, white-sky альбедо нь газрын гадаргаас ойж агаар мандалд сарнисан гэрлээр тодорхойлогддог.

Энэ судалгааны ажилд MODIS сенсоровын 8 хоног бүрийн 1км нарийвчлалтай black-sky albedo болон white-sky (MCD43B3) albedo-г сар бүрийн гадаргын альбедог тооцоолов. [Schaaf et al. \(2002\)](#) MODIS сенсоровын солонгын 7 өнгийн болон өргөн зурвасын долгионы black-sky болон white-sky ашиглан [Lucht et al. \(2000\)](#)-ийн аргаар гадаргын альбедог тоон загварт зориулан тооцоолов.

MODIS-аар тодорхойлсон гадаргын альбедо нь AVHRR сенсороос их байсан. Ерөнхийдөө MODIS-ийн гадаргын альбедо нь нарийвчлал өндөр, бусад сенсороор хэмжсэн гадаргын альбедотой харьцуулахад газрын хэмжилтээр тодорхойлсон альбедотой ойролцоо байдаг байна ([Liang et al., 2002](#)). [Jin et al. \(2003\)](#) MODIS болон AVHRR сенсоровын 2001 оны 6 болон 9 сарын гадаргын альбедог харьцуулж үзсэн. Үр дүн нь MODIS-ийн гадаргын альбедо нь ялангуяа Төв ази тэр тусмаа хятадын баруун болон хойд, Монголын өмнөд хэсгээр AVHRR-аас их байв.

Зураг 38-т USGS-ийн 1км нарийвчлалтай гадарга бүрхэвчид зориулан хүснэгтээр тодорхойлсон гадаргын альбедо болон MODIS сенсоровын 2009 оны 1км нарийвчлалтай сар бүрийн гадаргын альбедог үзүүлэв. Загварт цасгүй гадаргын альбедог анхны нөхцөлд оруулж өгдөг ба загвар нь цаашдийн тооцооллоор тухай тухай үеийн альбедог тодорхойлж явдаг. Энэ нь тухайн цаг агаарын нөхцөлөөс хамаарч өөрчлөгддөг. Гэхдээ энэ нь өвлийн улиралд цастай үед альбедог гадарга бүрхэвчийн хүснэгтээс шинэ цасны альбедог ашиглан гэсэн үг юм. Харин MODIS-ийн гадаргын альбедо нь тухайн цаг хуцагааны гадаргын альбедо тул загварын тооцоолсон албедогоос илүү нарийвчлалтай бодит юм. Зуны улиралд гадаргын альбедо нь өөрчлөлт их багатай байдаг. Харин хавар, намар, өвлийн улиралд хэлбэлзэл ихтэй байдаг. USGS-ийн гадарга бүрхэвчийн ангилалаар тодорхойлсон гадаргуугийн альбедо болон MODIS-ийн хэмжилтийн альбедог харьцуулахад хүндрэлтэй бөгөөд зөвхөн зуны улирлаар авч үзэх боломжтой юм. Зураг үзүүлснээр зуны үеийн гадаргын альбедо нь USGS гадарга бүрхэвчийн ангилалын альбедогоос бага байна. Цаашид MODIS-ийн альбедог газрын хэмжилтээр хийсэн гадаргуугийн альбедотой харьцуулан үнэлж дүгнэх шаардлагатай юм.



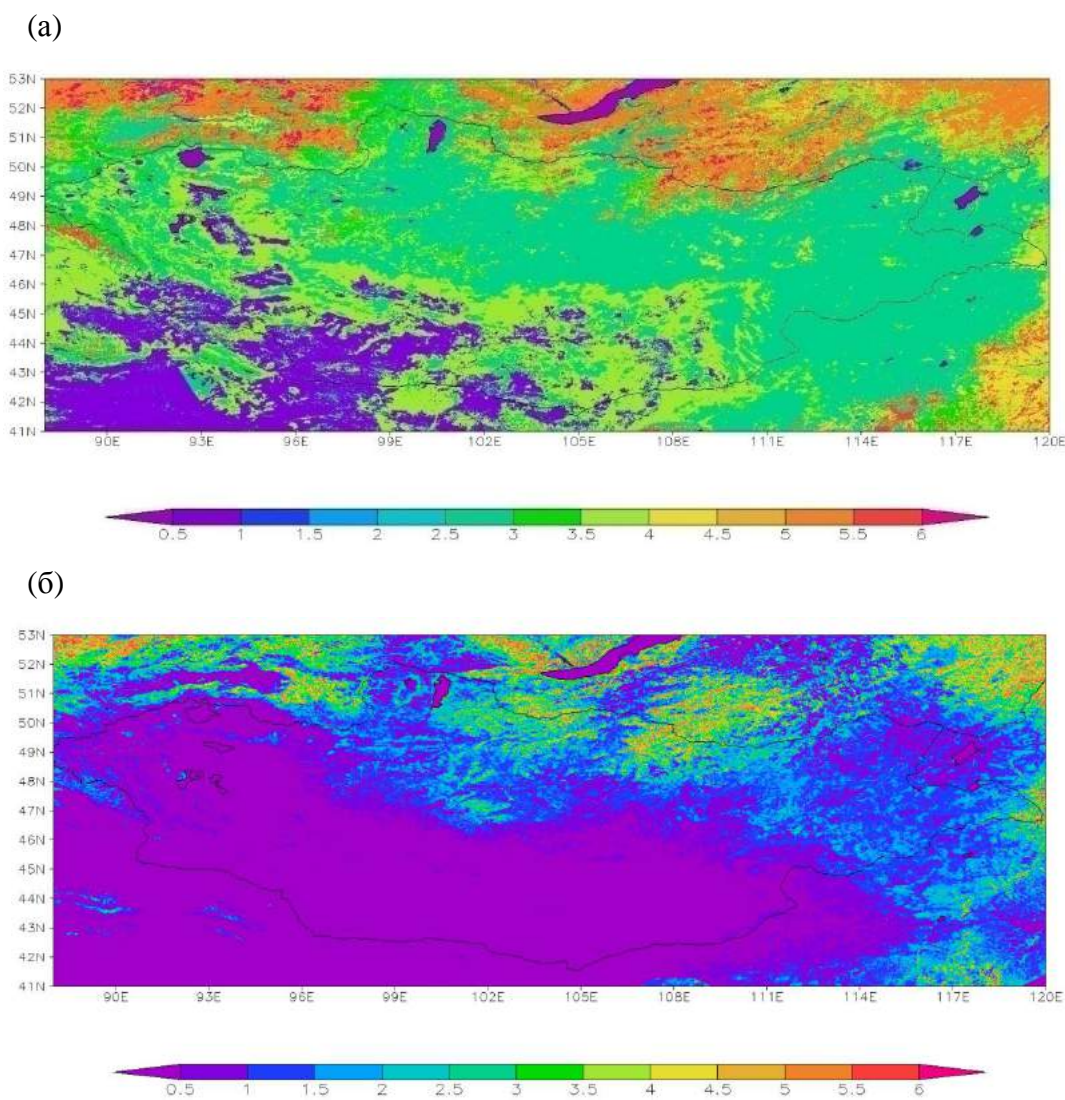


Зураг 38. 1985-1990 оны дундаж AVHRR NDVI (а, б) болон 2009 оны MODIS-ийн NDVI-аар (в, г) газрын гадаргын альбеда

Навчны гадаргуугийн индекс (LAI)

Навчны гадаргуугийн индекс (LAI) нь ургамлын босоо нягтыг тодорхойлдог параметр бөгөөд нэгж газрын гадаргуу дахь ногоон навчны талбайгаар илэрхийлэгдэнэ. LAI нь ургамлын биологийн болон физик шинж чанарыг тодорхойлдог ба үүнд гэрэл халхлах байдал, үе шат, нүүрсхүчил болон азотын эргэц гэт мэт. LAI нь агаар мандал болон биомандлын хоорондох ургамлаас гарч буй органик хийн харилцан солилцооны гол газар нутгийн хэмжээг үзүүлж байдаг. Мөн LAI нь ургамлын транспераци болон биомассыг тодорхойлогч гол параметр болж байдаг.

Зураг 39-т USGS ангилалын LAI болон MODIS-ийн LAI индексийг боловсруулсан үр дүнг үзүүлэв. Зургаас харахад MODIS-ийн LAI нь USGS ангилалын LAI-аас мэдэгдэхүйц бага утгатай байна. Магадгүй LAI-ийн энэхүү өөрчлөлт нь загварын ургамлын трансперацийг багасгах түүнчлэн нийлбэр ууршилт, агаар мандлын чийгийн нөөц, хур тунадасны хэмжээнд нөлөө үзүүлэх боломжтой юм.



Зураг 39. USGS (а) болон MODIS-ийн навчны гадаргуугийн индекс

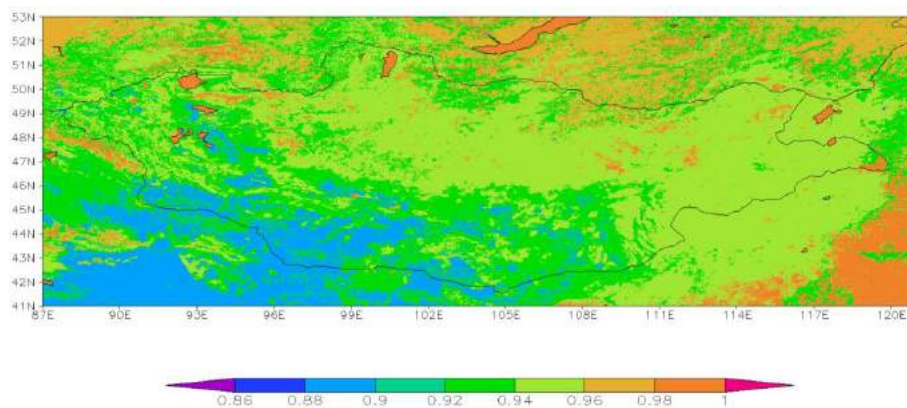
Гадаргын цацруулалт

Тоон прогнозын загварын нэг үндсэн хэсэг болох цацрагийн схем нь гадаргын цацруулалтын мэдээлэл голлох үүрэгтэй байдаг. Тоон загвар энэхүү мэдээллийг гадарга бүрхэвчийн ангилалаас хамаарч тогтмол утгуудыг авдаг. Бодит байдал дээр цацруулалт нь цаг хугацаа орон зайн тархалтаас хамаарч өөрчлөгдөж байдаг хэмжигдэхүүн юм.

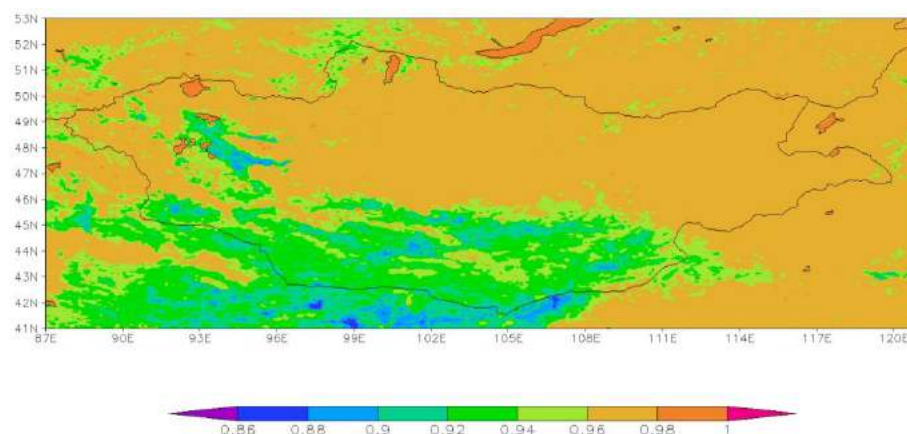
MM5 болон WRF нь хэт улааны туяны урттай долгионы 9μм урттай долгионы мэдээллээр цацруулалтыг тооцсон. MODIS нь 6 өөр урт долгионы цацруулалтын сувагтай (3.66-3.84 μм, 2.92-3.98 μм, 4.02-40.8 μм, 8.4-8.7 μм, 10.78-11.28 μм, 11.77-12.27 μм). Энэ судалгаанд сүүлийн 3 хэт ягаан туяаны сувгийн цацруулалтын мэдээллийг дундажлаж загварт тооцохоор бэлдсэн болно.

Зураг 40-т загварын USGS ангилалын болон MODIS-ийн газрын цацруулалтын зураглалыг үзүүлэв. Зургаас харахад MODIS сенсоров гадаргын цацруулалт нь загварын суурь цацруулалтаас их утгатай байна. Энэ нь газрын гадаргын урт долгионт цацрагийн хэмжээг нэмэгдүүлж газрын гадаргын энергийн хэмжээг багасгах нөлөө үзүүлж магадгүй юм.

(a)



(б)



Зураг 40. USGS (a) болон MODIS-ийн газрын гадаргын цацруулалт

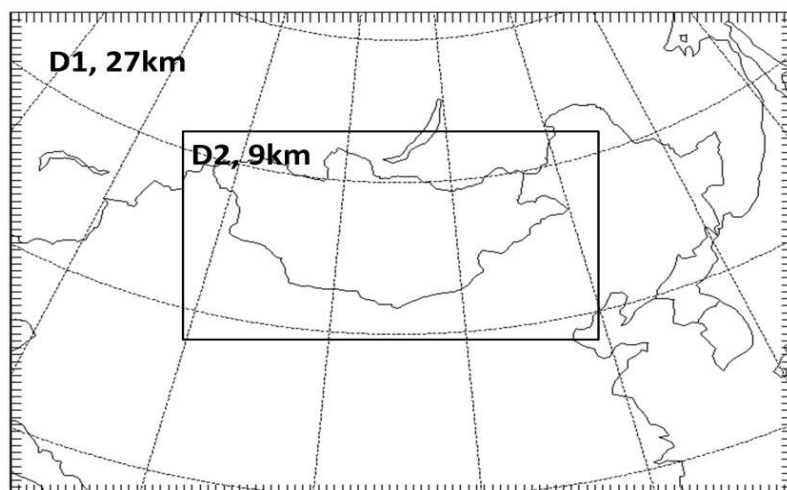
Загварын хамрах бүс нутаг

Энэ судалгааны ажилд агаар мандлын бэсрэг хэмжээст тоон загварыг Weather Research and Forecasting (WRF), (Skamarock et al., 2005) ашигласан. Загварын туршилтанд Kain-

Frisch кумулюс схем (Kain and Fritsch 1993), WRF single-moment three-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 ажиллуулав.

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 NCEP Final analysis 6 цагийн зайцтай $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ хэвтээ нарийвчлалтай анализ мэдээг ашигласан. WRF загварын бүс нутгийн алхамыг 27км (D1, D2)-ээр (Зураг 41) сонгож туршилтыг явуулсан бөгөөд энэхүү туршилтанд 2007 оны 7-р сарын 1-нээс 31-ний хүртэл хугацаагаар бдолтыг явуулсан. Туршилтыг 5 хувилбараар дараахь байдлаар явуулсан.

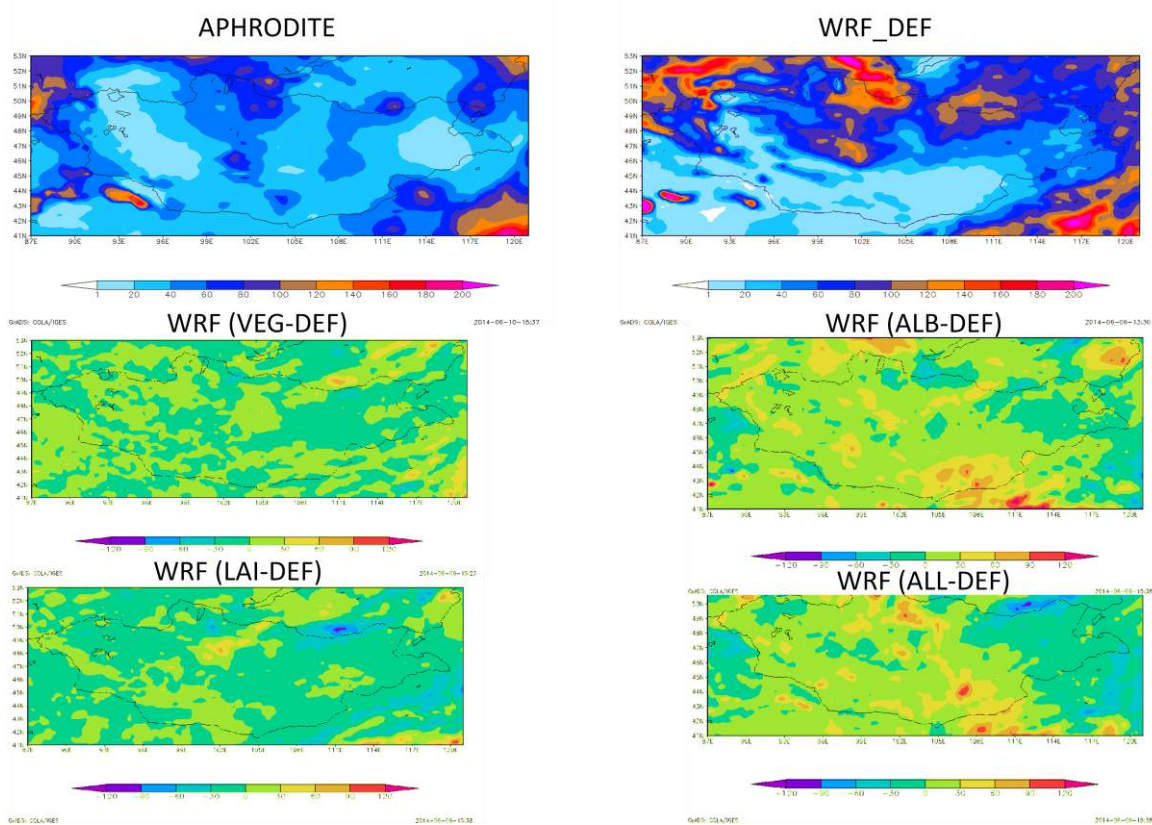
- WRF_DEF - загварын газар бүрхэвчийн ангилалаар тодорхойлсон газрын гадаргын альбеда болон навчны гадаргуугийн индекс, 5 жилийн дундажаар тооцсон ногоон ургамлын бүрхэцээр туршсан туршилт.
- WRF_VEG - загварын газар бүрхэвчийн ангилалаар тодорхойлсон газрын гадаргын альбеда болон навчны гадаргуугийн индекс, MODIS-ын 2007 оны 7 сарын NDVI-г ашиглан тооцсон ногоон ургамлын бүрхэцээр туршсан туршилт.
- WRF_ALB - загварын газар бүрхэвчийн ангилалаар тодорхойлсон навчны гадаргуугийн индекс, 5 жилийн дундажаар тооцсон ногоон ургамлын бүрхэц, MODIS-ын 2007 оны 7 сарын Албедогоор оруулсан туршилт
- WRF_LAI - загварын газар бүрхэвчийн ангилалаар тодорхойлсон газрын гадаргын альбеда, 5 жилийн дундажаар тооцсон ногоон ургамлын бүрхэц, MODIS-ын 2007 оны 7 сарын навчны гадаргуугийн индекс оруулсан туршилт
- WRF_ALL - MODIS-ын 2007 оны 7 сарын ногоон ургамлын бүрхэц, навчны гадаргуугийн индекс, газрын гадаргын альбеда оруулсан туршилт



Зураг 41. Загварын хамрах бүс нутаг

MODIS хиймэл дагуулын газар бүрхэвчийн параметруудийг WRF загварт оруулан нийт 5 туршилтыг хийсэн бөгөөд эдгээр туршилтын зарим үр дүнг үзүүлэв. Туршилтыг 2007 оны 7 сараар явуулсан бөгөөд тэдгээрийн үр дүнг бодит ажиглалтын мэдээгээр босгосон APHRODITE хур тунадас, температуртай харьцуулсан болно. Зураг 42-аас

харахад WRF_DEF түршилтын үр дүн бодит ажиглалтын мэдээгээр босгосон APHRODITE-ын хур тунадаснаас их үр дүнг өгсөн байна.



Зураг 42. Ажиглалт болон загварын хур тунадас болон зөрүү, а) APHRODITE-ын хур тунадас, б) WRF загварын контроль бодолтын хур тунадас, в, г, д, е-нь MODIS хиймэд дагуулын газар бүрхэвчийн параметрийг WRF загварт оруулсан түршилт болон контроль бодолтын зөрүү.

MODIS-ийн НУБ, альбеда болон навчны гадаргуугийн индексийг загварт оруулан туршиж үзэхэд WRF_ALB болон WRF_LAI түршилт нь мэдэгдэхүйц өөрчлөлтийг өгсөн. Тоон утгаар нь авч үзвэл WRF_ALB нь тунадасыг ихэсгэж харин WRF_LAI нь тунадасыг багасгасан үр дүнг үзүүлсэн. Энэ нь газрын гадаргын альбеда багаснаар газрын гадаргад шингэх цацрагийн энергийн хэмжээ ихсэж нууц дулаанаар агаар мандал руу чийгийн зөөгдөл ихэссэнтэй холбоотойгоор тайлбарлаж болно.

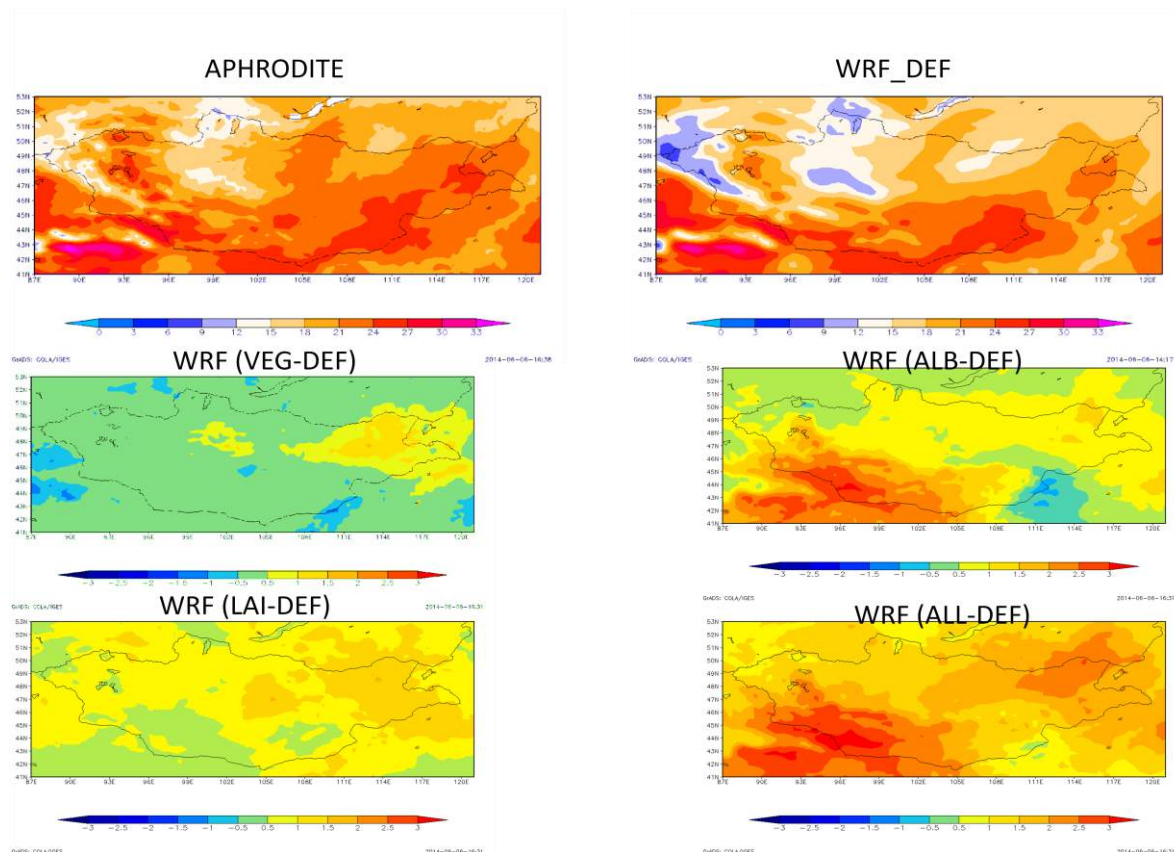
Харин навчны гадаргуугийн индекс багасах нь ургамлаар дамжих ууршилт буюу транспираци буурна. Үүнээс үүдэж агаар мандал руу зөөгдөх чийгийн хэмжээ багасах юм. Тоон утгаар авч үзвэл сонгож авсан бүс нутаг болон Монгол орны хэмжээгээр хур тунадас нь WRF_ALB хувьд ихэссэн, харин WRF_LAI хувьд багассан үр дүнг өгсөн. WRF_ALL түршилтийн тунадасны үр дүн нь ерөнхийдөө WRF_DEF түршилтээс их байна. Эндээс түршилтанд ашигласан газар бүрхэвчийн параметруудээс гадаргын альбеда болон навчны гадаргуугийн индекс нь хур тунадасны хэмжээнд нилээн нөлөө үзүүлж байна.

Агаарын температурын хувьд MODIS-ийн НУБ, альбеда болон навчны гадаргуугийн индексийг оруулсан WRF_VEG, WRF_ALB, WRF_ALB болон WRF_ALL түршилтууд нь тухайн газар бүрхэвчийн параметруудээс хамаарч өөр өөр өөрчлөлтийг өгсөн.

Зураг 43-аас харахад WRF_DEF түршилтын үр дүн нь APHRODITE-ын температураас уулархаг болон зүүн зүгийн нутгаар бага үр дүнг өгсөн байна. Энэ нь APHRODITE мэдээ

нь станцын мэдээг статистик арга ашиглан өндөрлөг газрын мэдээг гаргасан тул бодит байдал их гарсан байх боломжтой юм.

Тоон утгаар нь авч үзвэл газар бүрхэвчийн параметрыг өөрчилсөн туршилтууд нь WRF_DEF туршилтаас ихэсгэж өгсөн байна. Энэ нь ногоон ургамлын бүрхэц, газрын гадаргын альбеда болон навчны гадаргуугийн индекс зэрэг параметруудийн тоон хэмжээ нь багасах нь газрын гадаргад шингэх цацрагийн энергийн хэмжээ ихсэж тодорхой энерги нь газрын гадаргын температурын өөрчлөх гол энерги болох ил дулаан ихэссэнтэй холбоон тайлбарлаж болно. WRF_ALL туршилтийн температурын үр дүн нь үндсэндээ WRF_DEF болон бусад туршилтуудаас их байна.



Зураг 43. Ажиглалт болон загварын температур болон зөрүү, а) APHRODITE-ын агаарын температур, б) WRF загварын контроль бодолтын температур, в, г, д, е-нь MODIS хиймэд дагуулын газар бүрхэвчийн параметрийг WRF загварт оруулсан туршилт болон контроль бодолтын зөрүү.

Дүгнэлт

Энэхүү судалгааны ажлаар WRF тоон загварын суурь газар бүрхэвчийн параметр болох гадаргын ангилал, ногоон ургамлын бүрхэц, гадаргын альбеда, навчны гадаргуугийн индекс зэргийг бодит хугацааны MODIS сенсорийн газар бүрхэвчийн мэдээллээр орлуулан тоон туршилтыг явуулж харьцуулав.

Загвар болон MODIS-ын суурь газар бүрхэвчийн параметрийг харьцуулж үзэхэд MODIS-ын газар бүрхэвчийн ангилал нь цөлөрхөг болон тал хээрийн бүс нь 4-11%-аар ихсэж, бутархаг ургамалтай болон ой модтой газар нутаг 3-11%-аар багассан байна. MODIS-ын газрын гадаргын альбеда нь Монголын нийт газар нутгаар ихэссэн байхад ногоон ургамлын бүрхэц болон навчны гадаргуугийн индекс нь мэдэгдэхүйц багассан байна.

Загварын үр дүнг авч үзвэл суурь газар бүрхэвчийн параметр ашигласан туршилтын хур тунадасны тархалт нь газарзүйн байршлын хувьд маш сайн тооцоолж байгаа боловч тоон утгын хувьд мэдэгдэхүйц ахиу байна.

MODIS-ийн мэдээг оруулсан үр дүн нь мэдэгдэхүйц хур тунадасыг багассан байна. Суурь мэдээлэл ашигласан загварын агаарын температур нь бодит ажиглалтын мэдээнээс харьцангуй бага байгаа бөгөөд харин MODIS-ын мэдээлэл ашигласан туршилтын үр дүн нь загварын суурь газар бүрхэвчийн мэдээ ашигласан үр дүнгээс ихэссэн үр дүнг өгч бодит ажишлалт руу дөхсөн. Хэдий тийм боловч MODIS-ийн мэдээ ашигласан туршилтын үр дүн нь ажиглалтын мэдээтэй харьцуулахад дутуу үнэлгээтэй байна.

Сүүлийн жилүүдэд уур амьсгалын өөрчлөлтэй холбоотой Монгол оронд зуны улиралд хуурай халуун жилүүд зонхолж байгаа билээ. Үүний үр дүнд газар бүрхэвчийн параметрт өөрчлөлт орох хандлагатай болсон. Зонхилох ногоон ургамлын масст өөрчлөлт орсноор гадаргын альбедо ихсэх, ногоон ургамлын бүрхэц болон навчны гадаргуугийн индекс буурснаар газрын гадарга дахь ирэх цацрагийн баланс болон агаар мандалын чийгийн нөөцөд нөлөө үзүүлж цаашлаад хур тунадас, агаарын температурын тархалт тоон хэмжээнд өөрчлөгдөх гол хүчин зүйл нь болж байна.

Хэвлүүлсэн бүтээл, хэлэлцүүлсэн илтгэл:

- М.Батжаргал Гурван хэмжээст хувьсах өгөгдлийн ассимиляцийг бүс нутгийн загвартай холбож хүчтэй салхины эрч хүчийг тооцоолох боломж ЭШБ-34
- А.Батболд М.Батжаргал Ч.Алтантулга Монгол оронд тохиолдсон цаг агаарын гамшигт үзэгдлийг тоон загвараар тооцоолох боломж: 1980 оны 4 дүгээр сарын 17-нд болсон онц аюултай цасан шуурга ЭШБ-34
- "The Joint Mongolia-Korea Workshop for the Short-term to long-term prediction including climate changes in asia" Introduction of Mongolian NWP system. 11 August 2014, Ulaanbaatar, Mongolia
- А.Батболд М.Батжаргал Ч.Алтантулга Улаанбаатар хот орчимд ажиглагдсан хүчтэй аадар бороог тоон загвараар тооцоолох нь Ханан илтгэл: Бүс нутгийн уур амьсгалын өөрчлөлт ба цөлжилт Эрдэм шинжилгээний бага хурал 2013 он

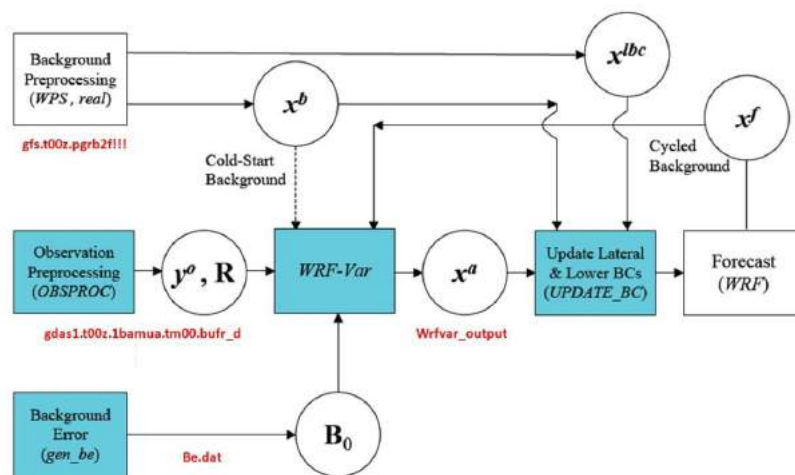
1.2.2 Хиймэл дагуулын мэдээний ассимляци

Цаг агаарын тоон прогнозын системд хиймэл дагуулын цацрагийн мэдээ, радарын мэдээлэл болон цаг уурын станц, харуулын ажиглалтын мэдээлэл оруулж өгөх нь агаар мандлын анхны нөхцлийг бодит төлөв рүү дөхүүлж тэр хэмжээгээр цаг агаарын урьдчилсан мэдээг сайжруулах алхам болдог.

Иймд хиймэл дагуул, радарын мэдээний ассимляцийн техникийг ашиглан WRF загварын анхны нөхцлийн оронг сайжруулах тоон туршилтуудыг хийх зайлшгүй шаардлагатай байдаг.

Арга зүй

Энэхүү судалгаанд бид гурван хэмжээст хувьсах өгөгдлийн ассимляцын (3DVAR) аргыг ашиглахыг зорьсон. Магадлалын тархалтын функцийг ашиглан динамик загварын алдааг арилгахад үндэслэгдсэн бөгөөд түүний бүдүүвч схемийг **Зураг 38**-д үзүүлэв.



Зураг 44. WRF загварын ассимиляцийн бүдүүвч схем

Загварын ассимиляцийн системд дараахь нөхцөл хангагдах ёстой.

$$x^a = \arg \text{Min} J(x):$$

Энд $J(x)$ -г дараах байдлаар бичнэ

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

x^b : анхны нөхцөл

x^{lbc} : захын нөхцөл

x^a : ассимиляцын системийн анализ

x^f : WRF загварын гаралт

y^o : ажиглалтын мэдээ

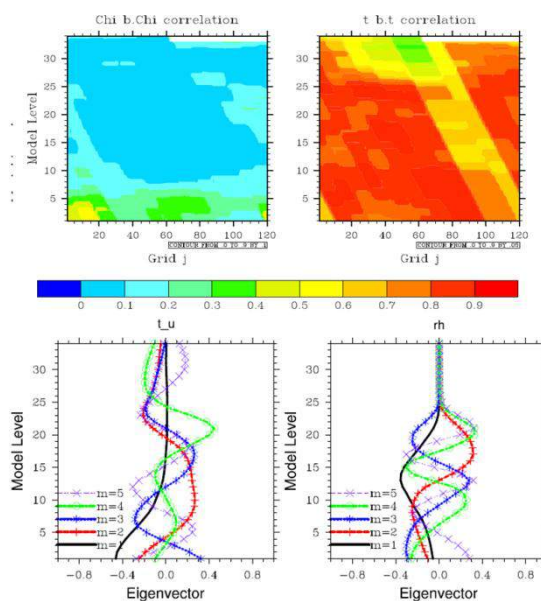
B_0 : загварын суурь алдааны статистик

R: ажиглалтын мэдээнд хийх боловсруулалт

WRF-Var системийн 3DVAR модулийг ажиллуулахын тулд загварын суурь алдааг урьдчилж тооцох хэрэгтэй ба алдааны статистикийг NMC аргаар (Parrish and Derber 1992) тооцоолон гаргав (Зураг 10).

$$B_0 = \overline{x'x'^T} \approx A(x^{t2} - x^{t1})(x^{t2} - x^{t1})^T$$

Энд: $t_2=24$ цаг, $t_1=12$ цагийн прогноз



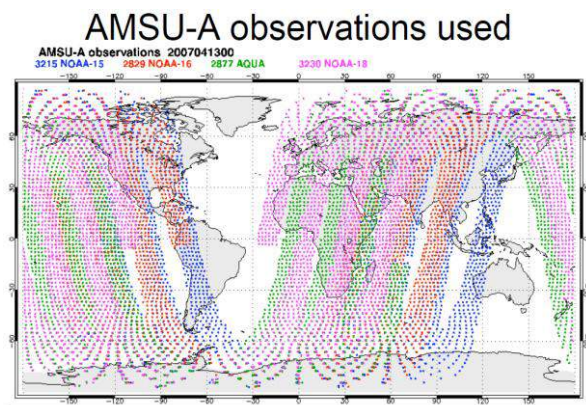
Зураг 45. Загварын чийг, температурын босоо дахь хамаарал /2011 оны 6 дугаар сар/

Ашигласан мэдээ, өгөгдөл

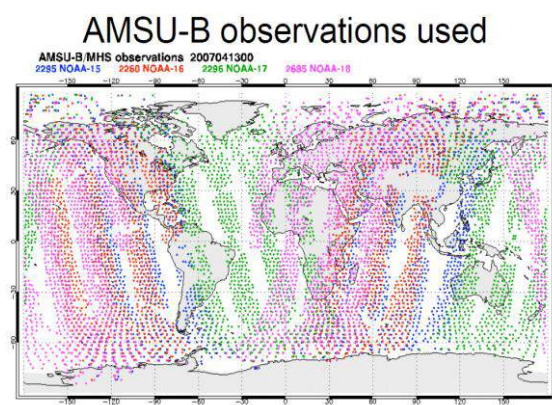
Судалгаанд Солонгосын цаг уурын албаны дэлхийн хэмжээний загварын үр дүн болох UM512-ийн 27 км нарийвчлалтай 12 цаг тутмын мэдээг анхны болон захын нөхцлөөр ашиглав.

Тоон туршилтад хиймэл дагуулын гадаргын цацрагийн мэдээлэлд АНУ-ын NOAA15-19 цуврал хиймэл дагуулуудын AMSU мэдрэгчийн бүтээгдэхүүн (Зураг 40а), мөн цаг уурын станцын бодит ажиглалтын мэдээллийг авч ашиглав (Зураг 40б).

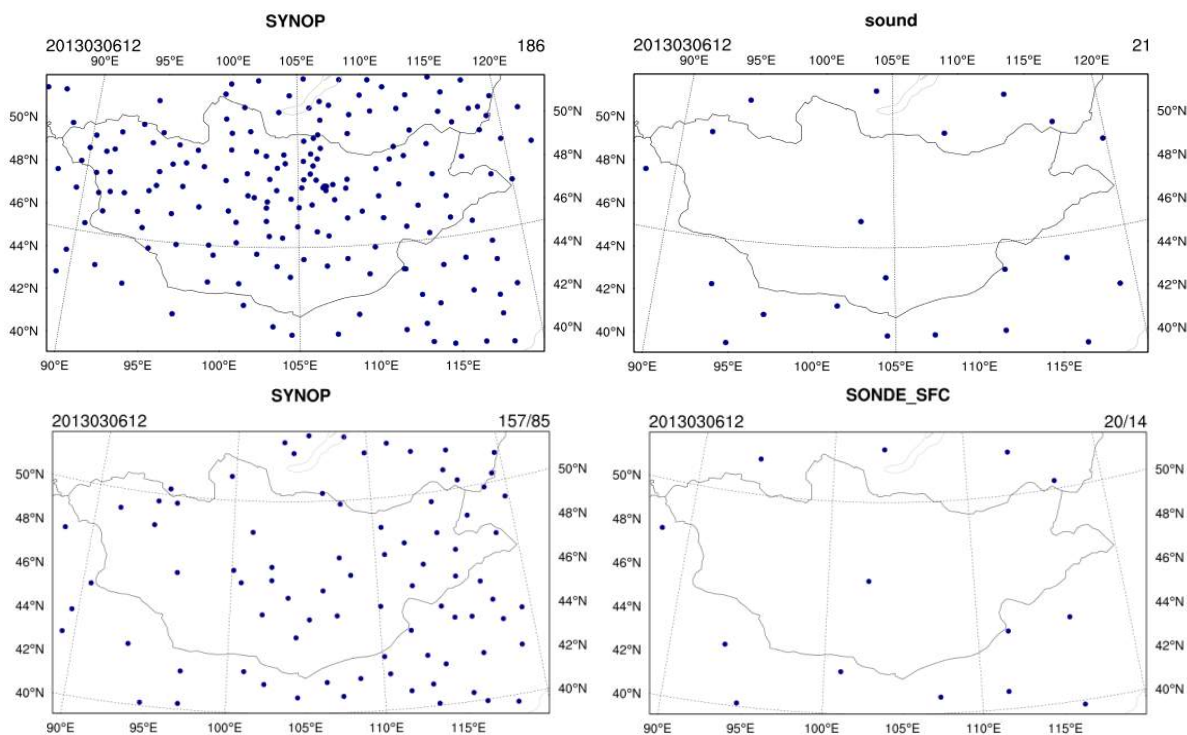
Мөн Монголын цаг уурын байгууллагын дотоод сүлжээгээр дамжин ирж байгаа газар, өндрийн мэдээллүүдийг бэлтгэж загварт ашиглав (Зураг 40в). Дотоодын сүлжээнд ашиглаж буй ажиглалтын мэдээний нягтшил харьцангуй их байна.



Brightness temperatures ch. 3-10



Brightness temperatures ch. 2-5



Зураг 46. Сонгон авсан домайны салхи, температур, даралт, чийгшлийн станцуудын орон зайн тархалт болон хиймэл дагуулын мэдээ

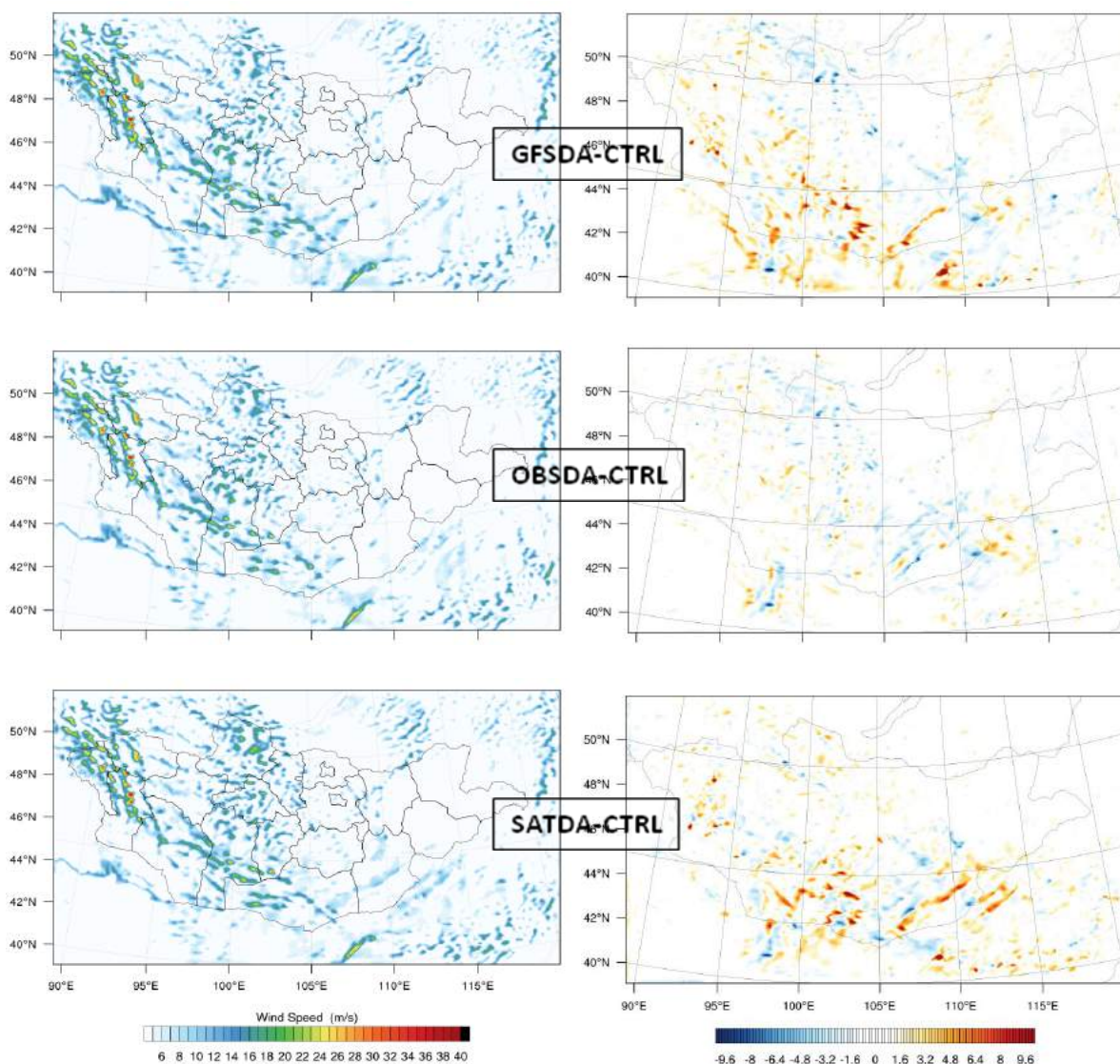
Үр дүн

Судалгаанд WRF загварын **Зураг 1-т** үзүүлсэн 2-р бүс нутгийн хувьд ажиллуулж салхины хурд болон чиглэл, өндрөөрхи өөрчлөлтөд ажиглалтын мэдээ хэрхэн нөлөөлж байгааг үнэлэхийг зорьсон юм.

Үүний тулд 2013 онд 3 дугаар сард ажиглагдсан хүчтэй салхи тохиолдсон процессыг сонгон авч дараахь дөрвөн төрлийн тоон туршилтыг хийв. Үүнд туршилтыг шуурхай байдлаар ашиглаж байгаа (CTRL), GFS-н ажиглалтын мэдээлэлтэй (GFS_DA), OBS-н ажиглалтын мэдээлэлтэй (OBS_DA), хиймэл дагуулын мэдээлэлтэй (SAT_DA) гэж тэмдэглэе. Загварыг (cold start) 3 цагийн алхамтай 6 хоногийн урьдчилалтайгаар ажиллуулсан болно.

Зураг 47 нь салхины хувьд дээрх тоон туршилтуудын CTRL туршилттай харьцуулсан ялгавар зөрүүг үзүүлэв. Загварын анхны нөхцөлд ажиглалтын мэдээллүүдийг оруулж өгсөн бодолтын үр дүнгүүдээс харахад салхины хурд болон чиглэлийн хувьд 10м/с хүртэл нарийвчилж тооцоолсон байна.

Энэхүү тоон туршилтын үед орчил үрсгалын нөхцлийг тоймлоход Монгол орон дээр өндрийн бүслэг шигүү зон байрлаж, үүний ар талаас баруун Сибирь орчим төвтэй циклоны салбар хотос 7-ны өдрийн өглөө 08 цагийн байдлаар арал, Балхаш хавьцаа байрлаж байсан бол 7-ны орой 20 цагийн байдлаар баг зэрэг зүүн тийшээ шилжсэн ба 24 цагийн дараа буюу 8-ны 20 цагийн байдлаар тухайн хотос Монгол орны нутгийн баруун хагаст шилжин байрласан байна.

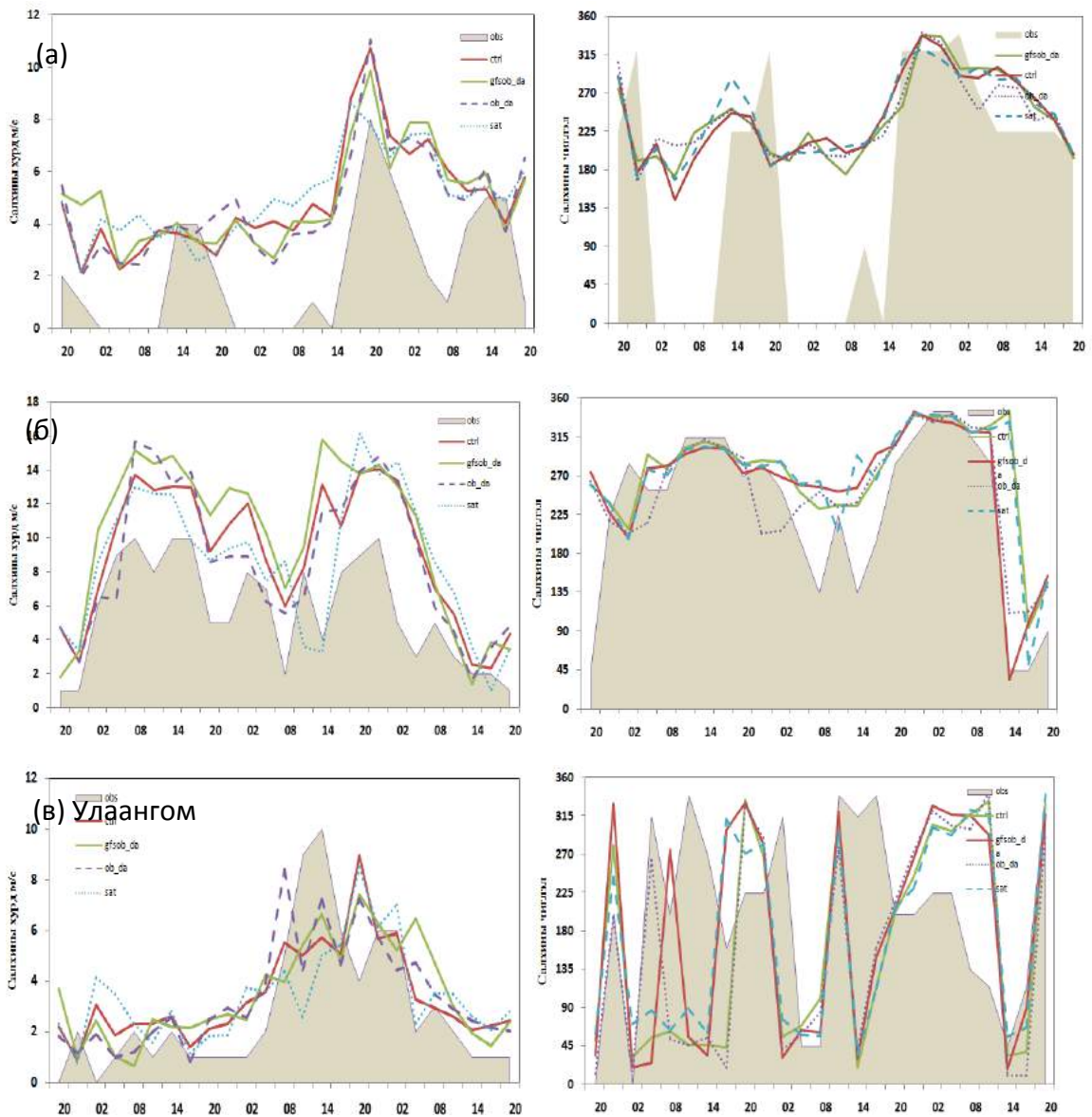


Зураг 47. Тоон туршилтуудыг CTRL туршилттай харьцуулсан зөрүү

Цаг уурын Улаанбаатар, Улаангом, Арвайхээр, Даланзадгад өртөөг сонгон авч газрын гадарга орчмын салхины хурдыг туршилт бүрээр харьцуулан үзлээ (Зураг 48). Салхины хурдны огцом өөрчлөлтийг загвар төдийлөн сайн прогнозлож чадахгүй байгаа ба харин ерөнхий явц, төлөвийг илэрхийлж байгаа боловч хугацааны хувьд зарим станц дээр нэг хугацаа буюу 3 цаг орчмоор хоцорч прогнозлож байгаа нь харагдаж байна.

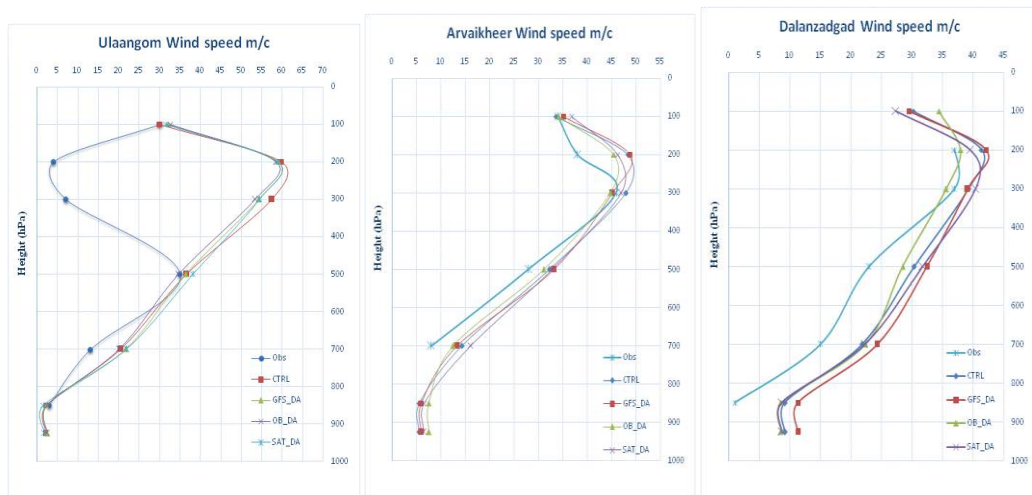
Улаанбаатарын хувьд сонгон авсан хугацааны хувьд (72 цаг) салхины хурд 0-8 м/с байсан боловч хугацаа хоорондох салхины өрөвхийлөлт 8-ны өдрийн 17 цагаас эхлэн 12-18 м/с хүрч байсныг сайн прогнозлосон байна. Даланзадгадын хувьд нийт хугацаанд салхины хурдыг сайн прогнозлосон, Улаанбаатар станцтай адилаар ажиглалтын хугацааны мэдээтэй харьцуулан график байгуулсан бөгөөд тус станц дээр хугацаа хоорондох салхины хурд 12-18м/с хүрсэн нь туршилтуудын үр дүнтэй ойролцоо үр дүн өгсөн байлаа. Улаангом болон Арвайхээрт хувьд мөн адил үр дүнг өгөв.

Нийт станцуудын салхины хурдны үзүүлэлтүүдээс харахад бодит салхины хурднаас илүү хурдтай прогнозлож байна



Зураг 48. Тооцоолсон болон ажиглалтын мэдээний газрын гадарга орчмын салхины хурд болон салхины чиглэлийн хугацааны өөрчлөлт (а) Улаанбаатар, (б) Даланзадгад, (в) Улаангом өртөө

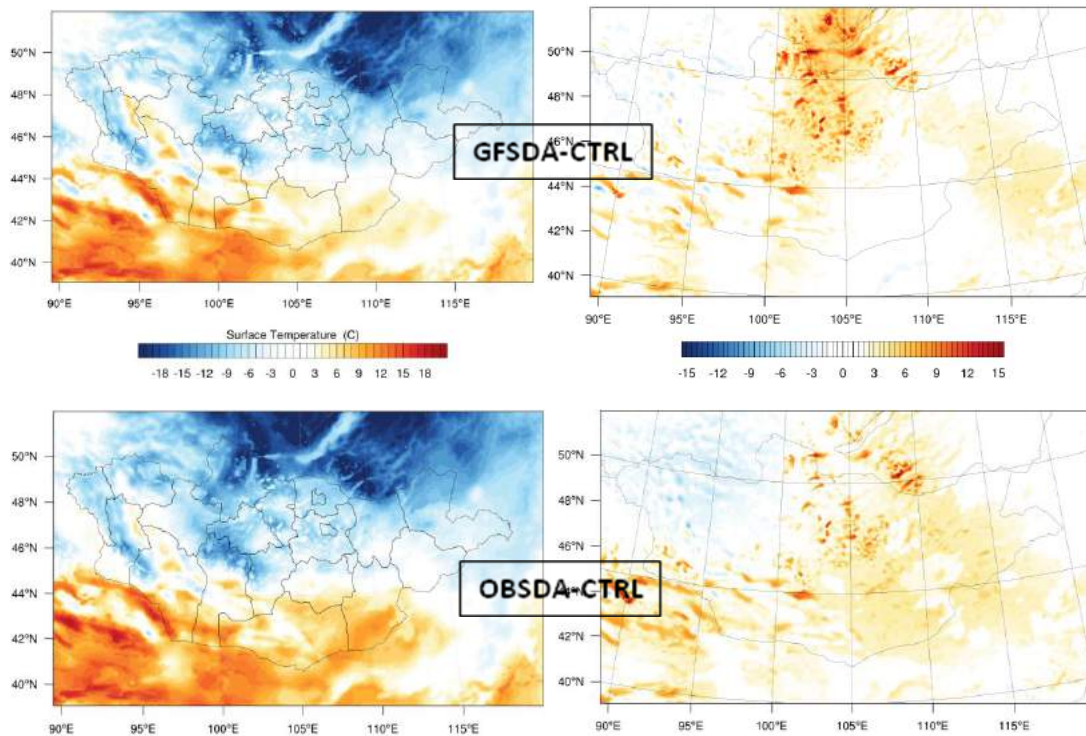
Салхины хурдны өндрөөрхи өөрчлөлтийг 2014.03.06-ны өдрийн 20 цагт аэрологийн зонд хөөргөсөн Улаангом, Арвайхээр, Даланзадгад аэрологийн ажиглалтын мэдээтэй харьцуулахад газрын гадарга орчимдоо хамгийн их өөрчлөлт гарч, харин өндөр өгсөх тусам ажиглалттай ойролцоо үр дүн өгч байв.

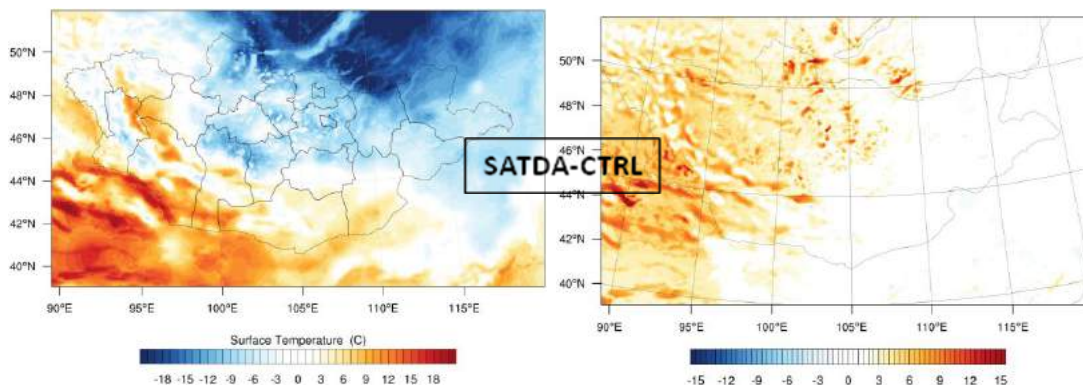


Зураг 49. Тооцоолсон болон ажиглалтын мэдээний салхины хурдны босоо тархалт (а) Улаангом, (б) Арвайхээр, (в) Даланзадгад

Мөн WRF загварын анхны нөхцлийн оронд хиймэл дагуул, ажиглалтын мэдээгээр ассимляци хийсэн тоон туршилтын 2013 оны 1, 4, 7, 10 саруудаар урт хугацаагаар бодуулан температур, салхи, тунадасны дундаж квадрат алдааг ажиглалтын мэдээтэй харьцуулан гаргав.

Агаарын температур, салхи, тунадасны хувьд дээрх саруудад тодорхой хэмжээгээр алдааг багасган сайжруулж байна (Зураг 50).





Зураг 50. Газрын гадарга орчмын агаарын температурын өөрчлөлтийн үр дүн болон CTRL түршилтэй харьцуулсан зөрүү

Ассимляцийн тоон түршилтыг өргөтгөн загварыг 2014 оноор бүтэн жилээр ажиллуулан шуурхай байдлаар ашиглаж байгаа загвартай харьцуулан алдааг дүгнэхэд аль ч сар, аль ч хугацаанд өнөөгийн шуурхай ажиллагаанд ашиглаж буй загвараас агаарын температурын хувьд алдааг бууруулж байна. Ялангуяа 5 хоногийн прогнозын хугацааны эхний хоногуудад алдааг мэдэгдэхүйц сайжруулж байгаа болно (Зураг 51).



Зураг 51. Загварын температурын прогнозын дундаж квадрат алдаа, °C

Дүгнэлт

WRF загварын анхны нөхцлийн оронг хиймэл дагуул, цаг уурын газрын болон өндрийн өртөөний мэдээгээр ассимляци хийсэн тоон түршилтын үр дүнгээр өнөөгийн шуурхай үйлчилгээнд ашиглаж байгаа загварын алдааг багасгаж байна.

Цаашид загварын суурь алдааны статистикийг ассимиляци хийх хугацаа бүр дээр тооцон гаргах хэрэгтэй байна. Бид компьютерын хүчин чадлын хязгаарлалтаас болж UTC12 цагийн 1 жилийн мэдээгээр сар бүрээр тооцон гарган авч судалгаанд ашиглаж байна. Цаашид загварын суурь алдааг 6 цаг тутам, UTC00 хугацаа бүр дээр бодуулан гарган авч цаашдын судалгаанд ашиглах шаардлагатай.

Монгол орны 130 өртөөний мэдээг авч ассимиляцид оруулан WRF-DA загварыг ажиллуулах нь дан ганц дэлхий хэмжээний загварын гаралтаас анхны болон захын нөхцөлөө хийж ажиллахаас алдаа багасгаж байна. Өртөөний тоо ихэсэхэд загварын таарц сайжирч байгаа болно.

WRF загвар агаар мандлын дээд давхаргын элементүүдийг харьцангуй сайн тооцоолж байна. Харин хязгаарын үе давхаргад алдаа харьцангуй их байгаа тул цаашид газар орчмын болон үрэлтийн давхаргын физик схем% параметрчлалд анхаарах нь зүйтэй юм.

1.2.3 Радарын мэдээний ассимляци

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 түрш 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.

Монгол улсын хүн амын 40 гаруй хувь нь оршин сууж буй Улаанбаатар хотод ус цаг уурын аюулт үзэгдлийн давтагдал нэмэгдэж байгаа нь олон хүний амь нас эрстэх, их хэмжээний хөрөнгө сүйдэхэд хүргэж байна. Тухайлбал: 2000 оноос 2009 оны хооронд нийт 72 удаа ус, цаг агаарын аюултай үзэгдэл ажиглагдаж, үүний улмаас 45 хүн амь насаа алдаж, улс, нийгэмд нийт 1 тэрбум 786.2 сая төгрөгийн хохирол учирсан байна. Үүнээс цасан шуурга хамгийн олон удаа буюу 12 удаа, уруйн үер 7 удаа, хүчтэй салхи 8 удаа, цочир хүйтрэлт 7 удаа, бусад үзэгдлүүд тус бүр 1-5 удаа ажиглагджээ. Дээрх хугацаанд хамгийн их хохирол дагуулсан аюултай үзэгдэл нь уруйн үер байв. Уруйн үерийн улмаас нийт 1 тэрбум 679.5 сая төгрөгийн хохирол учирч, 35 хүн үерт урсаж амь насаа алдсан 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 ашиглалт, мэдээллийн үр ашгийг өндөр гэдгийг үнэлсэн хэрэг юм (Х.Хангайсайхан 2009). Өөрөөр хэлбэл радар нь хүр тунадасны хэмжээ, эрчимшлийг урьдчилан мэдээлэх, газрын тунадсыг үнэлэх улмаар аадар бороо, уруйн үер зэрэг гамшгаас урьдчилан сэргийлэх боломжийг бүрдүүлдгээр онцгой ач холбогдолтой.

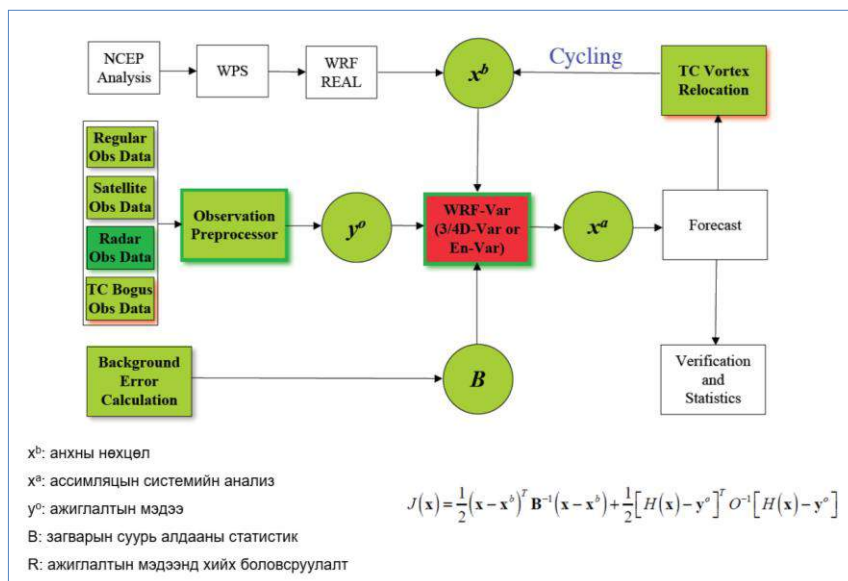
Өнөө үед дэлхийн олон улс орон өөрийн орон нутгийг цаг уурын радарын ажиглалтад бүрэн хамруулаад зогсохгүй бүс нутгийн хэмжээнд сүлжээ үүсгэн мэдээлэл солилцож, радиолакацийн зураглал хийж байна. Цаг уурын радарын өгөгдөл нь цаг агаарын хэт богино хугацааны прогноз зохиох, нисэх, ХАА, эрчим хүч, тээврийн 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 прогнозын загварт ассимляц хийн богино хугацааны прогнозыг нарийвчлан ашиглах нь илүү үр дүн, практик ач холбогдолтой тул энэхүү судалгааны ажлыг хийж гүйцэтгэв.

Арга зүй

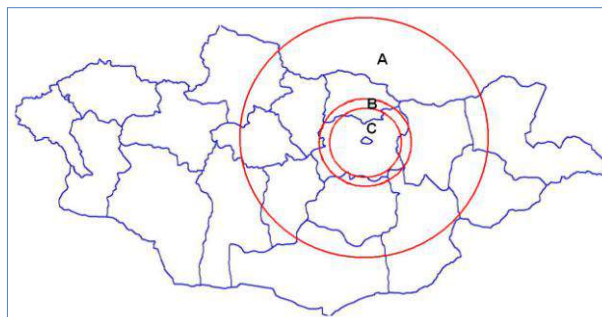
WRF-DA загварт 2002 оноос хойш Допплерийн радарын мэдээг ашиглан богино хугацаанд хүр тунадасны загварчилалд түршиж, ашиглаж ирсэн (Xiao et al. 2005). WRF-DA загварын ерөнхий схем болон үндсэн тэгшитгэлийг **Зураг 52**-т харуулав.

Өгөгдлийн 3 хэмжээст хувьсах ассимляцийн (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 богино хугацааны прогнозын хувьд мэдэгдэхүйц сайн үр дүн өгдөг нь бусад орны судалгааны ажлын жишээгээр харагддаг.



Зураг 52. WRFDA загварын ерөнхий схем болон тэгшитгэл

Энэ судалгааны ажилд Монгол улсад ашиглаж байгаа цорын ганц цаг уурын байран радар болох Морин Уул Допплерийн радарын мэдээнд тулгуурлан боловсруулалт хийж ашиглав. Морин Уул радарын ажиглалтын хамрах хүрээг **Зураг 53**-т харууллаа.

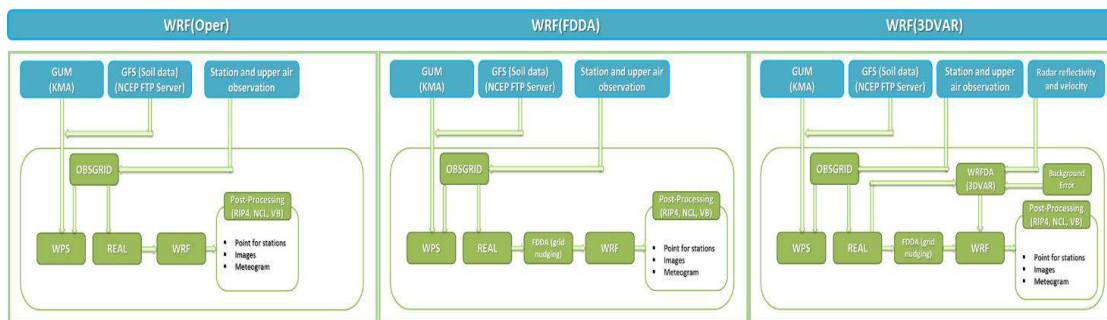


Зураг 53. Морин Уул дахь Допплерийн радарын ажиглалтын бүс: А- Радарын ажиглалтын хязгаар (480 км хүртэлх радиусын бүс) В- CAPPI бүтээгдэхүүн (180 км радиусын бүс)С- RAIN1 бүтээгдэхүүн (130 км радиусын бүс)

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 1**).

Туршилтыг явуулахдаа дараах 3 хувилбараар WRF загварыг 2014 оны 7 дугаар сарын 1-31-ний хооронд өдөр бүр 48 цагын урьдчилалтайгаар бодуулан харьцуулалт, үнэлгээг хийв (**Зураг 54**). Тоон туршилтыг дараахь байдлаар тэмдэглэе. Үүнд:

- WRF(Oper) -шуурхай үйлчилгээнд ашиглаж байгаа
- WRF(FDDA) -шуурхай үйлчилгээнд ашиглаж байгаа загварт анхны нөхцөлд грид анализ хийсэн
- WRF(3DVAR) -радарын мэдээгээр хувьсах өгөгдлийн ассимляци хийж ажлуулсан



Зураг 54. WRF загварын радарын мэдээний ассимляцийн үе шатны алгоритмууд

Үр дүн

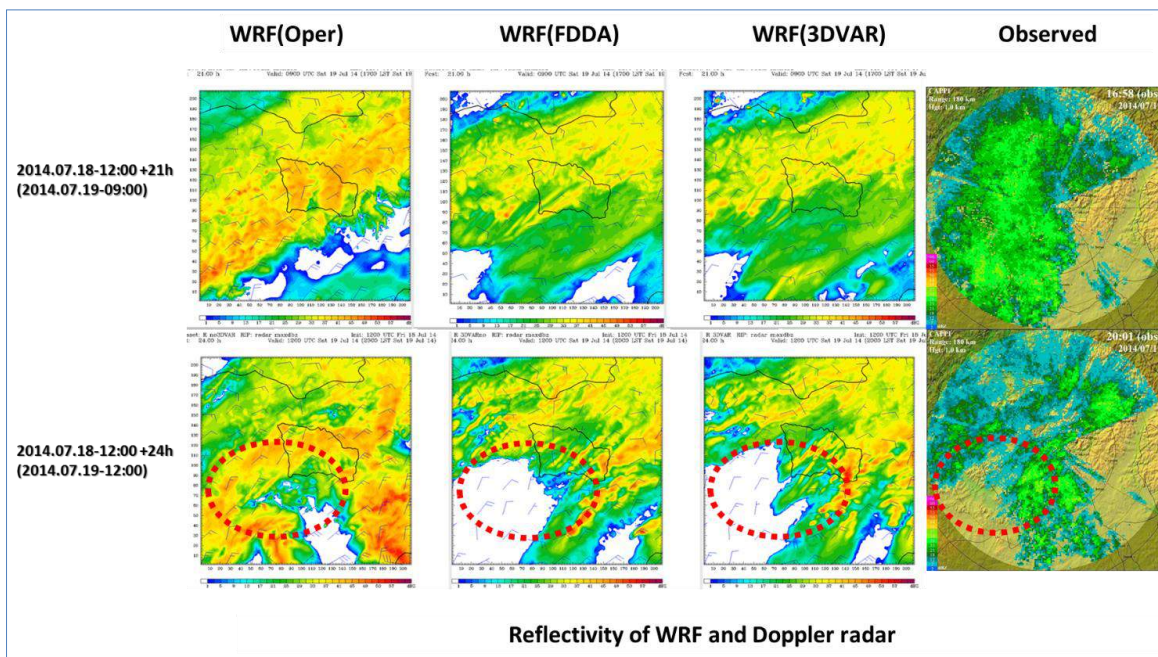
Хүснэгт 4-т WRF загварын 3 тоон туршилтын 12 цагын прогнозын үр дүнг ажиглалтын мэдээтэй харьцуулав. 2014 оны 7-р сарын 7-ны өглөө Тахилт станцад тэмдэглэгдсэн 40мм хур тунадасыг шүүрхайд ашиглагдаж байгаа загварын 36 цагийн прогнозад 6.6 мм өгсөн бол радарын ассимляци хийснээр 17.7 мм болгон бодит байдалт дөхүүлэн прогнозлосон байна.

Хүснэгт 4. Хур тунадасны прогноз болон ажиглалтын мэдээ

	Observation (Ulaanbaatar Station)	Precipitation (mm/12h) 2-8 Jul 2014														
		2-00:00	2-12:00	3-00:00	3-12:00	4-00:00	4-12:00	5-00:00	5-12:00	6-00:00	6-12:00	7-00:00	7-12:00	8-00:00	8-12:00	
		7		2		0		0		0	0.3	40	0			
IC: 1 Jul 2014 - 12:00	WRF(3DVAR)-01km	0.0	0.0	0.0	0.0											
IC: 2 Jul 2014 - 12:00				0.0	0.3	0.0	0.0									
IC: 3 Jul 2014 - 12:00						0.0	0.0									
IC: 4 Jul 2014 - 12:00								0.3	0.0							
IC: 5 Jul 2014 - 12:00								0.0	0.0	0.0	0.4					
IC: 6 Jul 2014 - 12:00										0.0	0.2	17.7	0.0			
IC: 1 Jul 2014 - 12:00	WRF(3DVAR)-09km	0.0	0.1	0.0	0.0											
IC: 2 Jul 2014 - 12:00				0.0	0.1	0.0	0.0									
IC: 3 Jul 2014 - 12:00						0.0	0.0	0.2	0.0							
IC: 4 Jul 2014 - 12:00								0.0	0.0	0.0	0.5					
IC: 5 Jul 2014 - 12:00										0.0	0.4	14.1	0.2			
IC: 6 Jul 2014 - 12:00												9.7	0.3	0.0	0.0	
IC: 1 Jul 2014 - 12:00	WRF(Oper)-09km	4.1	0.0	0.0	0.0											
IC: 2 Jul 2014 - 12:00				0.9	0.0	0.0	0.0									
IC: 3 Jul 2014 - 12:00						0.0	1.1	0.0	0.0							
IC: 4 Jul 2014 - 12:00								0.0	0.0	0.4	2.8					
IC: 5 Jul 2014 - 12:00										0.3	13.7	6.6	1.3			
IC: 6 Jul 2014 - 12:00												3.7	0.7	0.0	0.0	
IC: 1 Jul 2014 - 12:00	WRF(FDDA)-01km	0.1	0.0	0.0	0.0											
IC: 2 Jul 2014 - 12:00				0.0	0.0	0.0	0.0									
IC: 3 Jul 2014 - 12:00						0.0	0.0	0.0	0.0							
IC: 4 Jul 2014 - 12:00								0.0	0.0	0.0	0.1					
IC: 5 Jul 2014 - 12:00										0.0	7.0	2.2	0.0			
IC: 6 Jul 2014 - 12:00												6.2	0.2	0.0	0.0	
IC: 1 Jul 2014 - 12:00	WRF(FDDA)-09km	0.2	0.0	0.0	0.0											
IC: 2 Jul 2014 - 12:00				0.0	0.0	0.0	0.0									
IC: 3 Jul 2014 - 12:00						0.0	0.0	0.5	0.0							
IC: 4 Jul 2014 - 12:00								0.0	0.0	0.0	0.2					
IC: 5 Jul 2014 - 12:00										0.0	8.9	2.8	0.2			
IC: 6 Jul 2014 - 12:00												8.1	0.4	0.0	0.0	

2014 оны 7 дугаар сарын 19-ний өдөр Улаанбаатар хот орчим орсон хур тунадасны прогноз болон ажиглалтын мэдээг **Зураг 55-т** болон **Хүснэгт 5-т** үзүүлэв.

Шуурхай үйлчилгээнд ашиглагдаж байгаа загвар бодит байдалтай харьцуулахад харьцангуй ахиу хэмжээтэй прогнозлож байгаа бол радарын мэдээгээр загварт ассимляци хийснээр бодит байдалд хэмжээ болон тархалтын хувьд ойролцоо прогнозлосон байна.

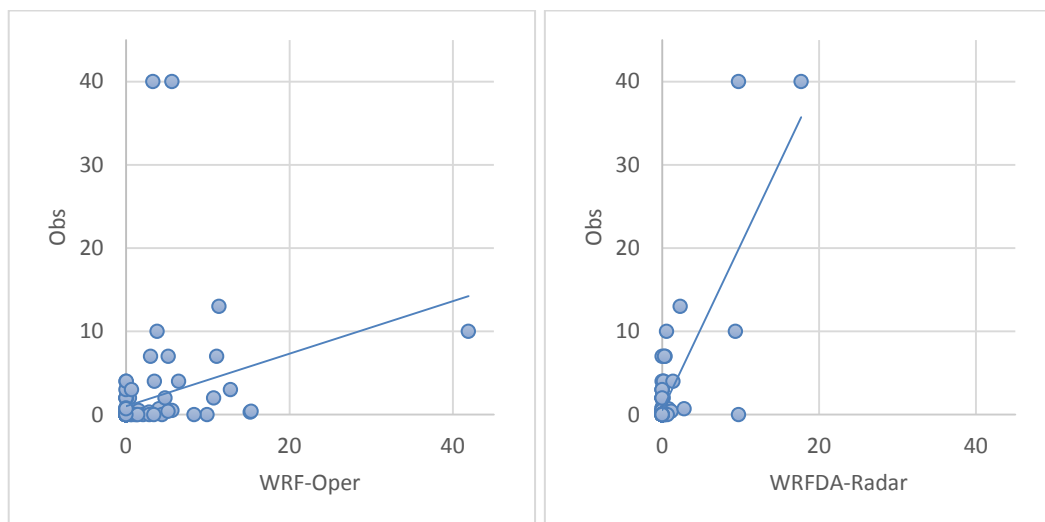


Зураг 55. 2014 оны 7 дугаар сарын 19-ний 17 болон 20 цагуудын хур тунадасны прогноз болон радарын ажиглалт

Хүснэгт 5. Улаанбаатар станц дээр ажиглагдсан болон прогнозлосон хур тунадас

	Precipitation (mm/12h) 2014.07.19 - UTC 00:00-12:00
Observation (Улаанбаатар станц)	10
WRF(Oper)	34.8
WRF(FDDA)	8.7
WRF(3DVAR)	10.6

WRF загварын хур тунадасны прогноз ихэнх хугацаанд бодит байдлаас харьцангуй их өгдөг бол Радарын мэдээг загварт оруулж өгсөнөөр эсрэгээр бодит байдлаас багасгаж өгч байна. Гэсэн хэдий ч ажиглалт болон прогнозын хоорондын хамаарал шуурхай загварын хувьд 0.28 байсан бол радарын мэдээг оруулсан загварынх 0.8 болж өссөн байна (Зураг 56).



Зураг 56. Тахилт станц дээрх хур тунадасны ажиглалт болон прогноз хоорондын хамаарал (2014.07).

Дүгнэлт

Судалгааны үр дүнд үндэслэн шуурхай мэдээ, үйлчилгээнд ашиглагдаж байгаа WRF загвар Улаанбаатар хот орчимд бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулхад харьцангуй ахиу хэмжээтэй прогнолож байгаа бол радарын мэдээгээр загварт ассимиляц хийснээр хур тунадасны хэмжээ бодит байдалд, мөн орон зайн тархалтын хувьд ч ойролцоо прогнолож байна.

Ажиглалт болон прогнозын хоорондын хамаарал шуурхай загварын хувьд 0.3 байсан бол радарын мэдээг оруулсан загварын хувьд 0.8 болж өссөн байна.

WRF-DA загварт радарын мэдээг оруулан 3 хэмжээст хувьсах өгөгдлийн ассимиляцийн аргийг ашигласнаар хэт богино хугацааны хур тунадасны прогнозын чанар болоод урьдчилан сэрэмжлүүлэх ажилд чухал ач холбогдолтой юм.

Цаашид энэ загварыг үйлдвэрлэлд ашиглахын тулд радарын мэдээний шалгалт болон засварыг хийх аргыг улам сайжруулах, WRF-DA загварын анхны нөхцлийн шинэчлэлтийн алхамыг ойртуулах болон бусад туршилтуудыг хийснээр прогнозын чанар илүү сайжирна гэж үзэж байна.

Хэвлүүлсэн бүтээл, илтгэл:

- Г.Батжаргал, “Радарын тоон мэдээний боловсруулалт”, МУИС, ШУС, Газарзүйн асуудлууд 2014 №13(408), х177-183
- G.Batjargal, Poster, “Radar data assimilation in WRFDA (Case study: Ulaanbaatar of Mongolia)”, Coupled Data Assimilation Symposium, 5-8 July, 2015, Beijing, China.

1.3 Цаг агаарын 1-5 хоногийн урьдчилсан мэдээ, магадлалт урьдчилсан мэдээ гаргах технологи турших

Урьдчилан тооцооллын цогц систем (УТЦС/EPS) нь цаг агаарын прогнозын тодорхой бус байдал болон илүү бодитой үр дүнг тооцоолох боломж олгодог цаг агаарын тоон прогнозын систем (ЦАТПС) юм. УТЦС нь олон янз байдаг. Үүнд янз бүрийн анхны нөхцөлтэй УТЦС, олон загварын УТЦС, олон физиктэй УТЦС, эдгээрийг холимог УТЦС гэж байж болдог. Цаг агаарын тоон прогнозын системийн тооцоолол бүрийг УТЦС-ийн гишүүн гэж нэрлэдэг.

УТЦС нь прогнозыг магадлалт тархалтын функцийг тодорхойлох ба гол төлөв магадлалт прогноз гаргахад хэрэглэгддэг.

Агаар мандлын сүүлийн үеийн тоон прогнозын загваруудыг ашиглаж байгаа ЦАТПС нь цаг агаарын хангалттай сайн илэрхийлж чадаж байна. Гэхдээ ЦАТПС нь цаг агаарын зарим элементийг илүү сайн тухайлбал, газрын гадарга орчмын температурыг сайн илэрхийлээд, хур тунадасыг түүнээс бага илэрхийлдэг.

Үүний зэрэгцээ, хэдий сайн загвар ч гэсэн прогнозын хугацаа уртсахад буруу үр дүн өгдөг. Энэ нь агаар мандлын хаос шинж чанартай холбоотой. Хаосын онол нь цаашдын агаар мандлын хувьсал нь анхны нөхцөл дэх маш бага алдаанд ч маш их мэдрэмтгий байдаг гэдэг. Энэ анхны нөхцөлд орсон жижиг алдаа нь (урьдчилан мэдээллэгчид ч хараад илрүүлж чадахааргүй) прогнозын хугацаа уртсахад маш том алдаа болж хувирдаг. Хэдий ажиглалтын мэдээ алдаагүй сайн байсан ч хэзээ ч анализын төгс орон босгож чадахгүй, иймд бид төгс прогноз хийж чадахгүй юм. Иймээс бид УТЦС-ийг ашигладаг.

Энэхүү судалгааны ажлын зорилго нь өөрийн орны нөхцөлд одоогийн бодит бололцоон дээр үндэслэн УТЦС –ийг боловсруулж, нэвтрүүлэх явдал. Энэ зорилгын хүрээнд дараах зорилтуудыг хэрэгжүүлнэ.

- УТЦС-ийн боломжит хэлбэрийг тогтоох
- УТЦС-ийн дунджах аргуудын туршилт хийх
- УТЦС-аар хур тунадасны магадлалт прогноз гаргах
- УТЦС-ийн бүтээгдхүүнүүдийг боловсруулах, үнэлэх, зурагжуулах програм хангамж боловсруулах

Судлагдсан байдал

Цаг агаарын дунд хугацааны прогнозын европын төв (ЦАДХПЕТ) 1992 оны 12 сараас УТЦС-ийг ажиллуулж эхэлсэн. Анхлан 33 янзын анхны нөхцөлтэй гишүүнтэй (perturbed members) орон зайн Т63, L19 түвшнээр долоо хоногт гурван удаа туршилтаар ажиллуулж эхэлсэн (ECMWF 2012).

Одоогоор УТЦС-ийг цаг агаарын бүх хугацааны прогнозад ашиглагддаг. Үүнээс гадна УТЦС-ийг усны төрөл бүрийн прогнозад ашиглаж байна.

Тооцоолох төхөөрөмжийн хүчин чадал сайтай Үндэсний цаг уурын төвүүд болон дэлхийн цаг агаарын прогнозын томоохон төвүүд гол төлөв анхны нөхцөлд бага зэргийн өөрчлөлт хийх Breeding of growing modes(BGM), Single Vector(SV), Breeding vector (BV), BV method with Ensemble Transform and Rescaling (BV-ETR; Wei and et al., 2008), Ensemble Kalman filter (EnKF), Ensemble Transform Kalman Filter (ETKF) зэрэг аргуудыг ашиглан 11-51 гишүүнтэй дэлхийн болон хагас бөмбөрцгийн хэмжээний УТЦС-ийг ажиллуулж байна. Тухайлбал ЦАДХПЕТ одоо анхны нөхцөлөө SV -ээр өөрчилж 51 гишүүнтэй ансамблийг хоногт 2 удаа Т639L62 орон зайн нарийвчлалтайгаар 10 хүртлэх хоногийг, Т319L19-оор 10-15 хоногийг, 32 хүртэлх хоногийг 7 хоногт 2 удаа ажиллуулж байна (ECMWF 2012).

Зарим их сургуулийн цаг уурын судалгааны төвүүд дээр дурьдсан янз бүрийн физиктэй УТЦС-ийг шуурхай үйл ажиллагаандаа ашиглаж байна. Тухайлбал Иллинойсийн их сургууль WRF v3.4 загварт 3 өөр (GFS, NAM, RAP) анхны нөхцөл дээр газар бүрхэвчийн RUC, Noah, Pleim_Xu загварууд, хязгаарын үе давхаргын Eta, YSU, Pleim-Xu, QNSE, BorLac болон янз бүрийн кумулис параметризаациудын хослолуудаар 20 гишүүн бүрдүүлэн УТЦС ажиллуулж байна.

Арга зүй

1 дүгээр туршилтийн арга зүй

Үүний зорилго нь УТЦС-ийн бүрэлдэхүүн болон гүшүүдийг тоог сонгоход чиглэгдэнэ. Судалгаанд холимог УТЦС-ийг ашиглана. Өөрөөр хэлбэл, олон загварын буюу MM5, WRF загваруудыг олон анхны нөхцөлтэйгээр (GUM, GFS загваруудын үр дүн), мөн янз бүрийн микрофизикийн схем, кумулис схем, цацрагийн схем, газар бүрхэвчийн загваруудаар УТЦС-ийг бүрдүүлнэ. Хувилбаруудын жишээг 1 дүгээр хүснэгтэд үзүүлэв. Эдгээр нь маш олон хувилбар буюу гишүүн болох тул эдгээрээс 12-16 гишүүнийг туршилтаар тогтооно.

2 дугаар туршилтийн арга зүй

Энэ хэсгийн зорилго нь УТЦС-ийн нэг чухал бүтээгдхүүн болох ансамбль дундажийг тооцоолох аргыг сонгох юм. Ансамбль дундаж гаргах аргууд дараах аргууд байдаг.

Үүнд:

Ядуу хүний арга: Энгийн математик дундаж

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_i$$

Биас засварласан ансамбль дундаж

$$S = \bar{O} + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - \bar{F}_i)$$

Олон загварын супер ансамбль дундаж

$$S = \bar{O} + \sum_{i=1}^N a_i (F_i - \bar{F}_i)$$

Энд: N - the number of models, a_i - the SuperEnsemble weights, F_i - the forecast value, \bar{F}_i - the mean forecast value, \bar{O} - the mean observation in the training period.

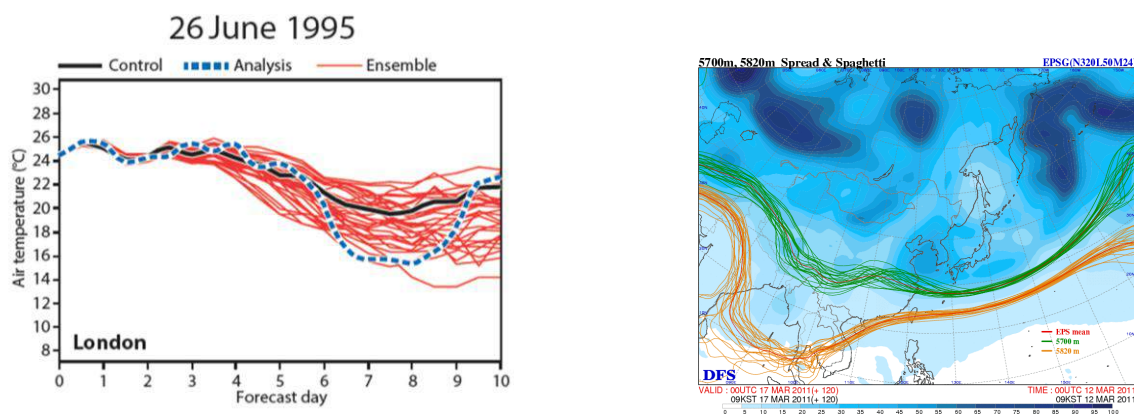
3 дугаар үр дүнгийн арга зүй

УТЦС-ийн гол бүтээгдхүүнүүд нь ансамбль дундаж, тархалт, гоймон хэлбэрт зураглал, цаг уурын шугаман бус үзэгдэл, элементийн магадлалт прогноз, ансамбль тархалтын хамгийн их, бага, 25, 50, 75%-үүд, тамган зураглал, хот, сууринд зориулсан метеограм буюу EPSgram юм. Цаг уурын үзэгдэл, элементийг магадлалаар прогнозлодог чанарыг ашиглаж тунадасныг магадлалаар прогнозлох технологийг боловсруулна. Энэ нь, үндсэндээ, ансамблийн гишүүдээс хэд нь тунадас өгсөн байна гэдгээр нь хувиан гаргана.

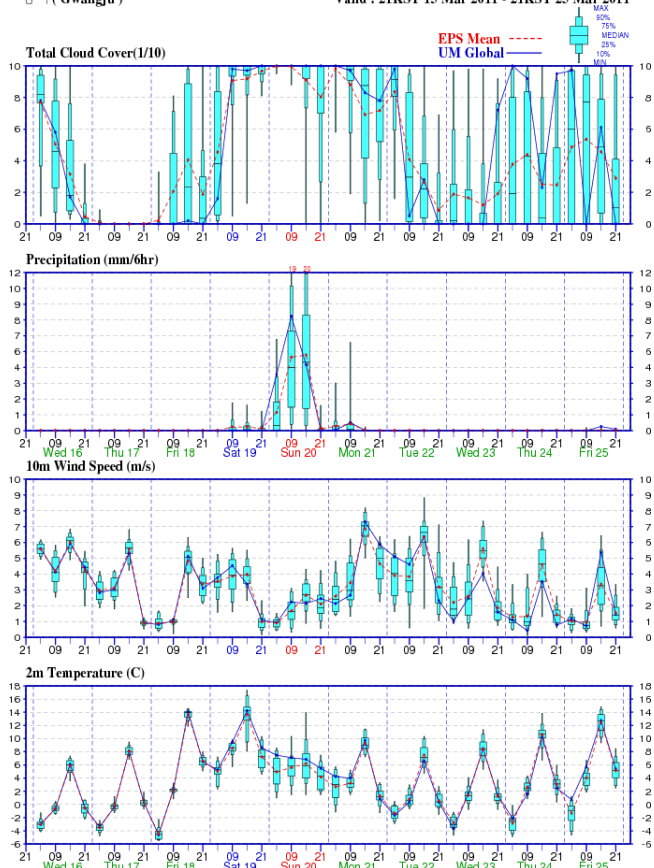
4 дүгээр үр дүнгийн арга зүй

Энэхүү ажлын зорилго нь УТЦС-ийн бүтээгдхүүнүүдийг боловсруулах, зурагжуулах, хэрэглэгчдэд ойлгомжтой хэлбэрт оруулах програм хангамж боловсруулах явдал юм.

УТЦС-ийн дээр дурьдсан бүтээгдхүүнүүдээс өөрийн оронд ашиглахад тохиромжтой бүтээгдхүүнүүдийг нь сонгож дараах хэлбэрүүдээр үзүүлэх боловсруулалтын програм хангамж боловсруулна (**Зураг 57-58**).



Зураг 57. Гоймон зураглалууд



Зураг 58. Метеограм/ЕПСграм

Магадлалт прогнозыг үнэлэхдээ ДЦУБ-аас зөвлөмж болгосон дараах үзүүлэлтүүдийг ашиглана (WMO 2012). Үүнд:

Үнэн зөв байдалын диаграм (reliability diagram). Энэ нь үзэгдлийн бодит ажиглагдсан давтамжийг прогноз давтамжтай харьцуулж графикт буулгадаг.

- Браейрийн үнэлгээ
- Браейрийн ур чадварын үнэлгээ
- Нарийвчлал
- Тасралтгүй эрэмбэлсэн магадлалт үнэлгээ

Үр дүн

Ансамблын зохист гишүүд

Хүснэгт 5-т үзүүлсэн ансамблын гишүүдээс WRF хувьд M01-M11 дүгээр гишүүдийг, MM5-ийн хувьд M15-M22 дүгээр гишүүдийг туршилтын хугацаанд туршсан. Гишүүн бүрийн үр дүнгийн статистик үзүүлэлтүүдийг температур, салхи, хур тунадас гэсэн 3-н үзүүлэлт бүрээр 144 цаг, 130 станцын дунджаар гаргаж **Хүснэгт 7**, **Зураг 59**-т тус тус үзүүлэв. Эдгээрээс харахад MM5 загварын бүх гишүүд температурын хувьд мөн салхины хурдны хувьд ч хамгийн бага алдаатай байна.

Эдгээрээс температур, салхи, хур тунадас гэсэн гурван элементийн хувьд дунджаар хамгийн сайн байгаа 12 гишүүнээр ансамблын гишүүдийг бүрдүүлнэ. Гишүүдийн сонголтыг хийхдээ олон шалгуурт анализын аргыг хэрэглэв.

Хүснэгт 6. Боломжит ансамбле гишүүдийн хувилбарууд

	Нэр	Загварын нэр	Анхны нөхцөл		Микро физик	Кумулюс	Цацраг		Хязгаарын үе давхаргийн физик	Газар бүрхэвчийн загвар	
							урт	богино			
1	M01	WRF	GUM		WDM5	Kain-Fritsch	RRTMG	Goddard	Yonsei	NOAH LSM	
2				3DVAR	WDM5	Kain-Fritsch	RRTMG	Goddard	Yonsei	NOAH LSM	
3	M02			OA	WDM5	Kain-Fritsch	RRTMG	Goddard	Yonsei	NOAH LSM	
4	M08				WDM5	Kain-Fritsch	RRTMG	Goddard	Yonsei	CLM	
5	M03				WSM3	Kain-Fritsch	RRTM	Dudhia	Mellor-Yamada-Janjic	NOAH LSM	
6	M11				WSM3	Kain-Fritsch	RRTM	Dudhia	Mellor-Yamada-Janjic	NOAH-MP LSM	
7	M10				WSM3	Kain-Fritsch	RRTM	Dudhia	Mellor-Yamada-Janjic	SSIb LSM	
8	M09				WSM3	Kain-Fritsch	RRTM	Dudhia	Mellor-Yamada-Janjic	CLM	
9	M04				WSM6	Kain-Fritsch	RRTMG	Goddard	Yonsei	NOAH LSM	
10	M05				WDM5	Kain-Fritsch	RRTMG	Goddard	Yonsei	NOAH LSM	
11	M06			GFS		WSM3	Kain-Fritsch	RRTM	Dudhia	Mellor-Yamada-Janjic	NOAH LSM
12	M07					WSM6	Kain-Fritsch	RRTMG	Goddard	Yonsei	NOAH LSM
13						WSM3	Kain-Fritsch	RRTM	Dudhia	Mellor-Yamada-Janjic	SSIb LSM
14				CMA		WDM5	Kain-Fritsch	RRTMG	Goddard	Yonsei	NOAH LSM
15	M15	MM5	GUM		Graupel(reisner2)	Grell	RRTM	MRF			
16				OA	Graupel(reisner2)	Grell	RRTM	MRF			
17	M16				Goddard	Kain-Fritsch	RRTM	MRF			
18	M17				Graupel(reisner2)	Kain-Fritsch	RRTM	MRF			
19	M18				Goddard	Grell	RRTM	MRF			
20	M19				Graupel(reisner2)	Grell	RRTM	MRF			
21	M20			GFS		Goddard	Kain-Fritsch	RRTM	MRF		
22	M21					Graupel(reisner2)	Kain-Fritsch	RRTM	MRF		
23	M22					Goddard	Grell	RRTM	MRF		
24					CMA		Graupel(reisner2)	Grell	RRTM	MRF	

Хүснэгт 7. Гишүүн бүрийн ДКА, сар бүрээр

a)

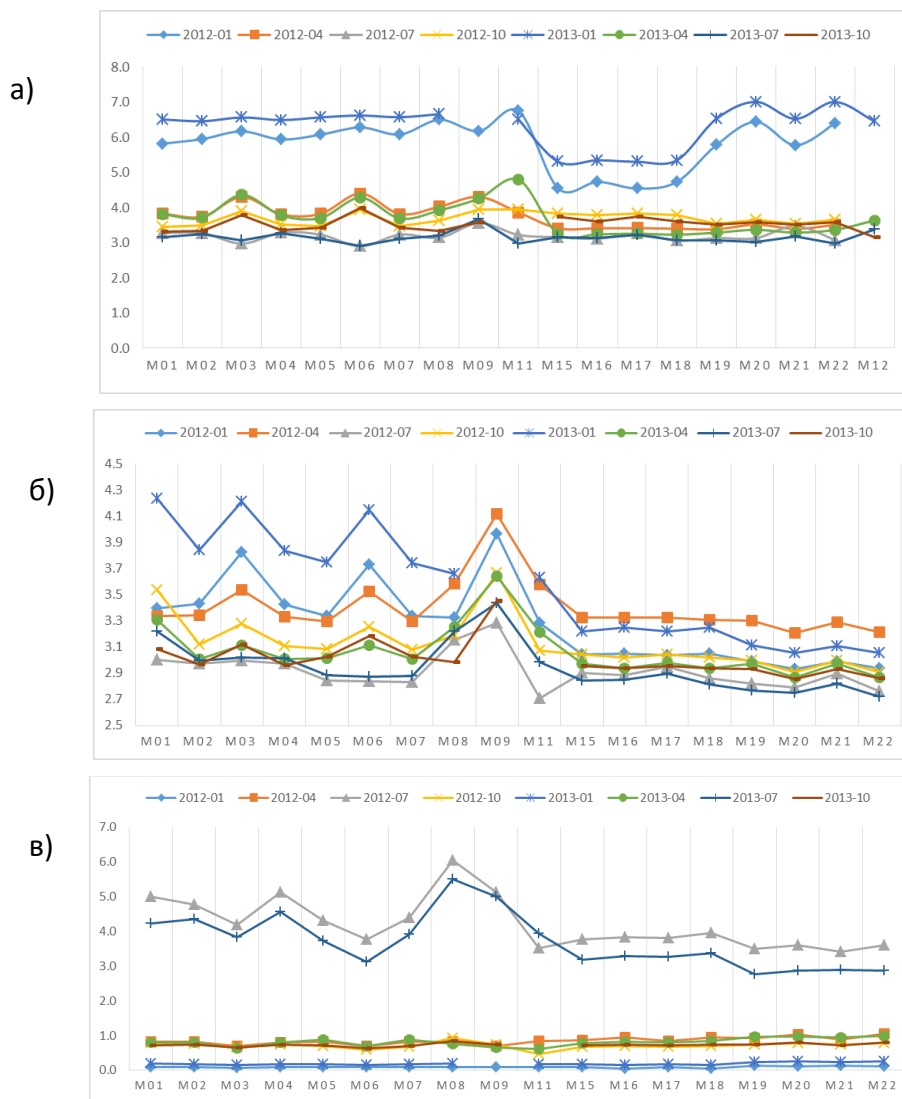
	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M11	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M12
I	6.2	6.2	6.4	6.2	6.3	6.4	6.3	6.6	6.2	6.6	4.9	5.0	4.9	5.0	6.1	6.7	6.1	6.7	6.4
IV	3.8	3.7	4.3	3.8	3.8	4.3	3.7	4.0	4.3	4.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.3	3.4	3.4	3.6
VII	3.2	3.3	3.0	3.3	3.2	2.9	3.2	3.2	3.6	3.1	3.1	3.1	3.2	3.1	3.1	3.1	3.3	3.0	3.4
X	3.4	3.4	3.8	3.4	3.4	4.0	3.4	3.5	3.8	3.9	3.8	3.7	3.8	3.7	3.5	3.6	3.5	3.6	3.1
Mean	4.1	4.1	4.4	4.2	4.2	4.4	4.2	4.3	4.5	4.5	3.8	3.8	3.8	3.8	4.0	4.2	4.1	4.2	4.1

б)

	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M11	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	
I	3.8	3.6	4.0	3.6	3.5	3.9	3.5	3.5	4.0	3.5	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	
IV	3.3	3.2	3.3	3.2	3.2	3.3	3.2	3.4	3.9	3.4	3.2	3.1	3.2	3.1	3.1	3.0	3.1	3.0	
VII	3.1	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	3.2	3.4	2.8	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.7
X	3.3	3.0	3.2	3.0	3.1	3.2	3.1	3.1	3.6	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	3.0	2.9	
Mean	3.4	3.2	3.4	3.2	3.2	3.3	3.1	3.3	3.7	3.2	3.0	3.0	3.1	3.0	3.0	2.9	3.0	2.9	

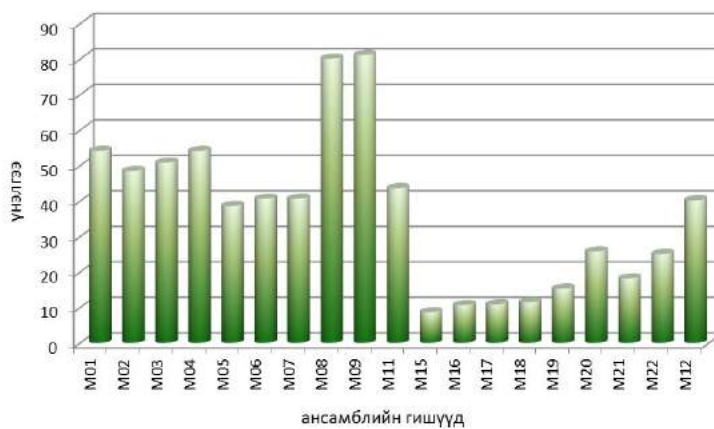
в)

	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M11	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22
I	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
IV	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.9	0.8	0.9	0.9	1.0	0.9	1.0
VII	4.6	4.6	4.0	4.8	4.0	3.4	4.2	5.8	5.1	3.7	3.5	3.6	3.5	3.7	3.1	3.2	3.1	3.2
X	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.9	0.7	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8
Mean	1.6	1.6	1.4	1.6	1.4	1.2	1.5	1.9	1.6	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.3	1.2	1.3



Зураг 59.Туршилтийн хугацаан дах а)температур, б) салхи, в) хур тунадасны ДКА

Олон шалгуурт анализын үр дүнг **Зураг 60**-т үзүүлэв. Зургаас харахад M05-07, M12, M15-M22 гишүүд хамгийн бага үнэлгээтэй буюу хамгийн сайн гишүүдээр сонгогдож байна. Өөрөөр хэлбэл, MM5 загварын бүх гишүүд, WRF загварын 3-н гишүүн ансамбль системийн зохист гишүүдээр сонгогдсон байна.



Зураг 60. Олон шалгуурт анализын үр дүн

Ансамбль дундаж гаргах аргын туршилт

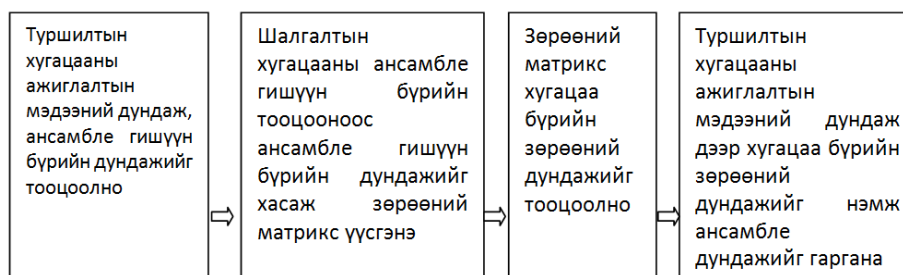
Ансамбль дундаж гаргах аргын туршилтанд сонгогдсон ансамблийн гишүүдээс 10 гишүүнийг оруулсан. Температур салхины хурд, зүгийн хувьд дээр дурдсан аргууд дээр туршилт хийсэн. Туршилтийг Улаанбаатар хот дээр 42 цагийн агаарын температурын хувьд хийв. Туршилт хийсэн алгоритмүүдийг **Зураг 61**-т үзүүлэв. Үр дүнг **Хүснэгт 8**-д үзүүлэв.

- Томъёогоор дундаж тооцоолох алгоритм энгийн ансамблийн гишүүдийн тооцооллын үр дүнгийн энгийн арифметик дунджыг гаргана
- Томъёоны тооцоолол дараах дэс дараагаар хийгдсэн. Туршилтанд 11 ансамблийн гишүүдийг авсан.
- Томъёоны тооцоолол дараах дэс дараагаар хийгдсэн. Туршилтанд 10 ансамблийн гишүүдийг авсан. α коэффициентүүдийг тооцоолохдоо

$$G = \sum_{k=1}^T (S_k - O_k)^2$$

алдааг хамгийн бага байлгах нөхцөлийг хангах шаардлагатай. Үүний тулд дараах тэгшитгэлийн матрицыг тооцоолох шаардлагатай.

$$\begin{pmatrix} \sum_{k=1}^T (F_{1k} - \bar{F}_1)^2 & \sum_{k=1}^T (F_{1k} - \bar{F}_1)(F_{2k} - \bar{F}_2) & \dots & \sum_{k=1}^T (F_{1k} - \bar{F}_1)(F_{Nk} - \bar{F}_N) \\ \sum_{k=1}^T (F_{2k} - \bar{F}_2)(F_{1k} - \bar{F}_1) & \sum_{k=1}^T (F_{2k} - \bar{F}_2)^2 & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \sum_{k=1}^T (F_{Nk} - \bar{F}_N)(F_{1k} - \bar{F}_1) & \dots & \dots & \sum_{k=1}^T (F_{Nk} - \bar{F}_N)^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ a_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{k=1}^T (F_{1k} - \bar{F}_1)(O_k - \bar{O}) \\ \vdots \\ \vdots \\ \sum_{k=1}^T (F_{Nk} - \bar{F}_N)(O_k - \bar{O}) \end{pmatrix} \quad (5)$$



Зураг 61. Туршилт хийсэн алгоритм

Хүснэгт 8. α коэффициентүүд

	1-р гишүүн	2-р гишүүн	3-р гишүүн	4-р гишүүн	5-р гишүүн	6-р гишүүн
1-сар	-9.5644	9.7239	9.7378	0.3415	-9.7157	-0.0191
4-р сар	0.4768	-0.0832	-1.9124	-1.2268	1.2683	1.8265
7-р сар	2.2379	-2.3088	0.81	-0.5786	0.2013	-0.162
10-р сар	-0.6425	1.2121	7.3459	-0.4971	-7.259	0.6831

	7-р гишүүн	8-р гишүүн	9-р гишүүн	10-р гишүүн	11-р гишүүн
1-сар	2.3844	0.2461	-1.9411	-0.0977	2.3844
4-р сар	1.1229	-0.7252	-0.5562	0.8951	1.1229

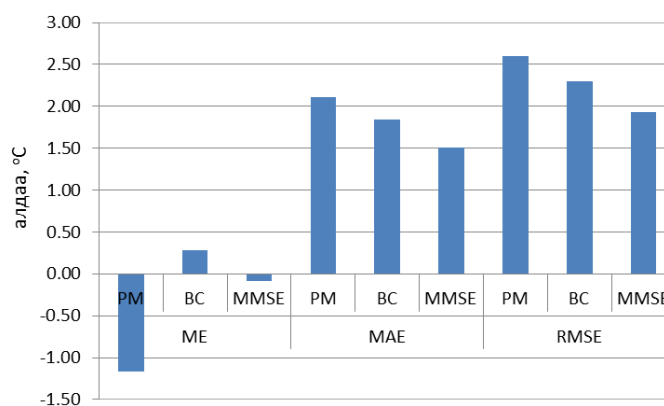
7-р сар	-0.0961	0.4605	0.5727	-0.2944	-0.0961
10-р сар	0.6008	-1.3127	-0.6172	1.5465	0.6008

Туршилтийн нэгдсэн дүн

Туршилтын нэгдсэн үр дүнгийн статистикийг Хүснэгт 8, Зураг 62-т үзүүлэв. PM нь энгийн дунджлах арга буюу (1) томъёогоор тооцоолсон дунджлах арга, BC нь Системийн алдааг засварласан дунджлах арга буюу (2) томъёогоор тооцоолсон дунджлах арга, MMSE нь олон загварын супер ансамбль дунджлах арга буюу (3) томъёогоор тооцоолсон дунджлах аргыг илэрхийлнэ. Статистик үнэлгээнээс харахад MMSE –ийн бүх үзүүлэлтүүд бүх сар дээр хамгийн бага байна.

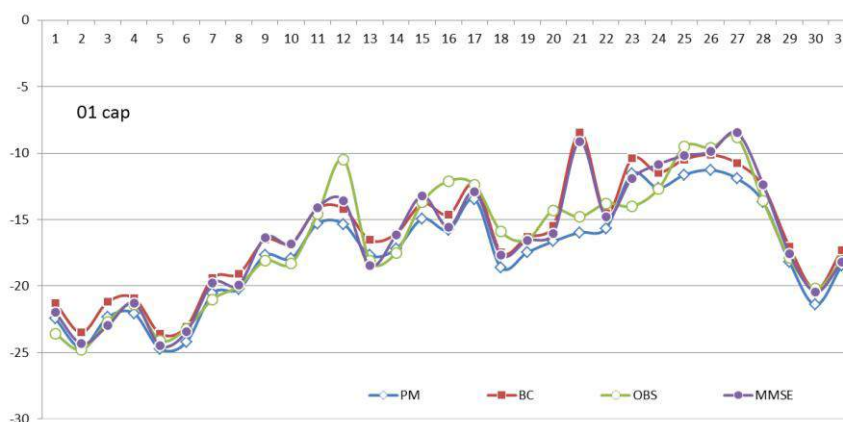
Хүснэгт 9. Туршилтын нэгдсэн үр дүнгийн статистик

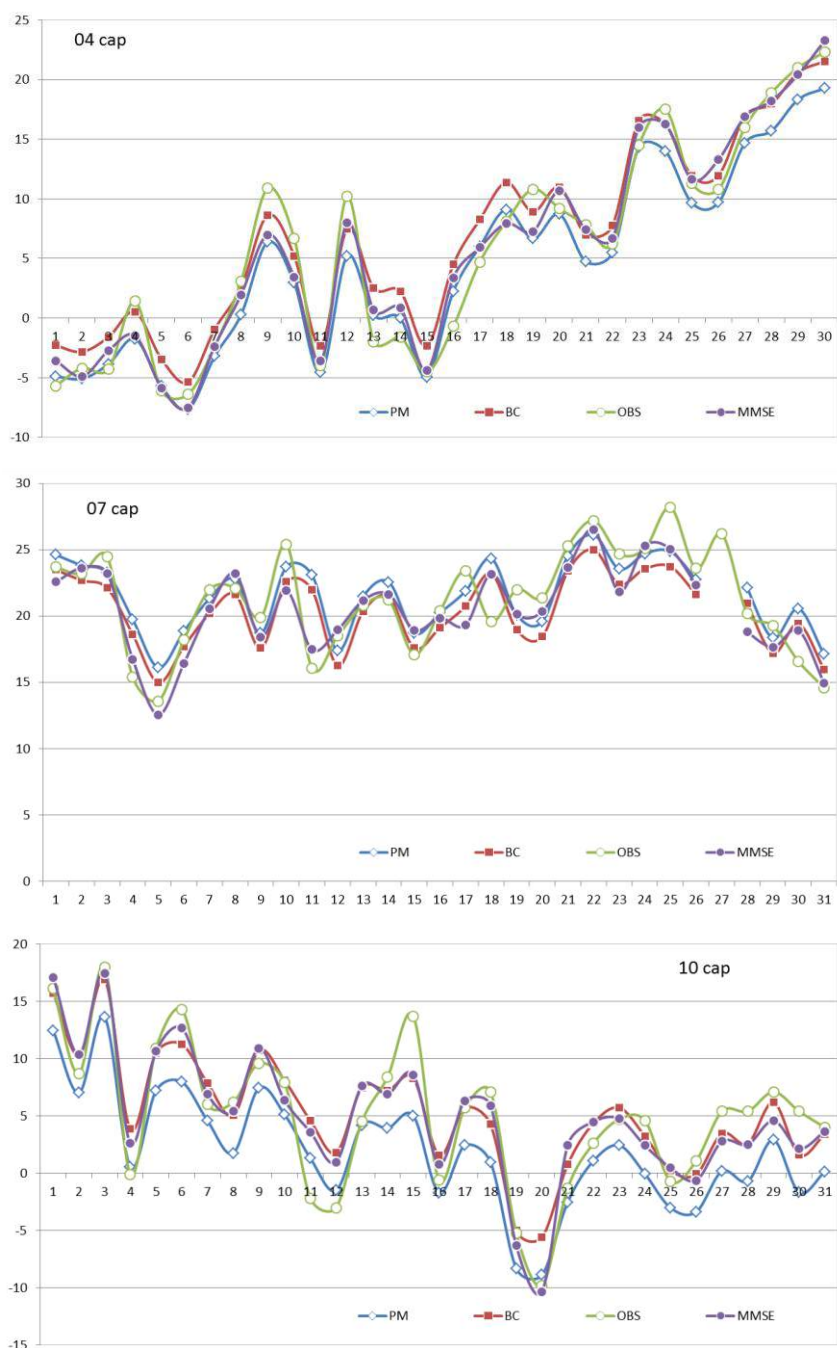
	ME			MAE			RMSE		
	PM	BC	MMSE	PM	BC	MMSE	PM	BC	MMSE
1-сар	-0.83	0.53	0.21	1.23	1.38	1.12	1.68	1.88	1.64
4-р сар	-1.26	1.03	0.04	1.97	1.96	1.50	2.41	2.32	1.92
7-р сар	0.47	-0.67	-0.59	1.78	1.99	1.52	2.33	2.38	1.82
10-р сар	-3.03	0.24	-0.01	3.45	2.05	1.90	4.00	2.63	2.35
дундаж	-1.16	0.28	-0.09	2.11	1.85	1.51	2.61	2.30	1.93



Зураг 62. Туршилтийн нэгдсэн үр дүнгийн статистик

Туршилт хийсэн саруудын Улаанбаатар хотын өдөр бүрийн агаарын температурыг 3-н дунджлах аргаар тооцоолсон байдлыг Зураг 63-т үзүүлэв.





Зураг 63. Аргуудын өдөр бүрийн мэдээн дээр туршсан үр дүн

Зургаас харахад энгийн дунджлах арга буюу PM нь 7-гоос бусад сард хүйтэн системтэй алдаатай байна. Системийн алдааг засварласан дунджлах арга буюу BC болон олон загварын супер ансамбль дунджлах арга буюу MMSE аргаар тооцоолсон утгууд нэлээд ойролцоо байна.

Хур тунадасны магадлалын прогнозын статистик үнэлгээ

Ансамбель прогнозын системийн нэг давуу тал нь цаг агаарын үзэгдэл, элементүүдийг магадлалаар урьдчилан тооцоолох боломж олгодог. Эдгээрээс хур тунадасыг магадлалаар урьдчилан тооцоолох нь олон улсын практикт нэлээд түгээмэл байдаг.

Энэ судалгаагаар 2012-2014 оны өдөр бүрийн хур тунадасыг магадлалаар тооцоолох туршилт хийж, үр дүнг дараах үзүүлэлтүүдээр үнэлэв.

ДЦУБ-аас зөвлөмж болгож буй дараах 2 үзүүлэлтийг хур тунадасны магадлалын прогнозын үнэлгээнд өргөн ашигладаг тул эдгээр 2 үзүүлэлтийг судалгаанд ашигласнаас гадна үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэхээр програмчлаж байна.

- Браейрийн үнэлгээ нь магадлалын урьдчилсан мэдээг үнэлэхэд хамгийн түгээмэл хэрэглэгддэг шалгах хэмжүүр юм. Энэ нь магадлалын прогнозын дундаж квадрат алдаа бөгөөд доорх томъёогоор тодорхойлдог:

$$BS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (p_i - o_i)^2$$

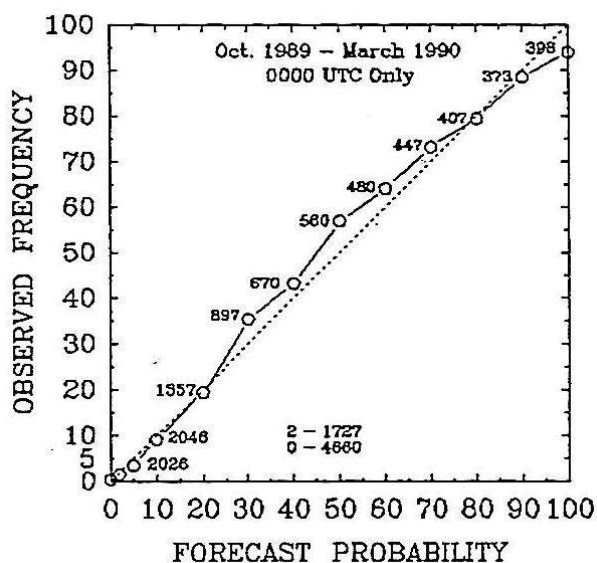
Энд N бол урьдчилсан мэдээний тохиолдлын тоо

O_i- бодит ажиглалтын мэдээ /энэ нь бинар буюу хос илрүүлэгч байдлаар орсон байна. Тунадас орох бол 1, орохгүй бол 0 байна./

P_i- прогноз мэдээ

BS-нь 0-1-ийн хооронд хэлбэлзэж болно. 0-рүү дөхөх нь прогнозын чанар сайн буюу 100 %-ийн таарц рүү дөхсөн прогноз, харин 1-рүү дөхөх нь алдаа ихтэй буюу буруу таамаглал гэж үзнэ.

- Магадлалын прогнозын үнэмшлийн диаграмм. Үүнээс гадна урьдчилалын үнэмшлийг шалгах хэрэгтэй. Энд дараах байдлаар дүгнэж оруулав (**Зураг 64**).



Зураг 64. Магадлалын прогнозын үнэмшлийн диаграмм

Урьдчилсан мэдээний утга зөвшөөрөгдсөн хэмжээтэй хамгийн ойр байгаагаар нь диаграмм байгуулав. Диаграм дээрх тоонууд нь тус бүрдээ урьдчилал таарсан тохиолдлын тоог илэрхийлнэ. Ер нь зорилго нь бол Pop-ын урьдчилсан мэдээг найдвартай байлгах, энэ 100% руу илүү дөхсөн ч байдаг. Иймээс урьдчилсан мэдээг үнэлэхдээ BS болон найдвартай байдал аль алиныг нь авч үзэх хэрэгтэй.

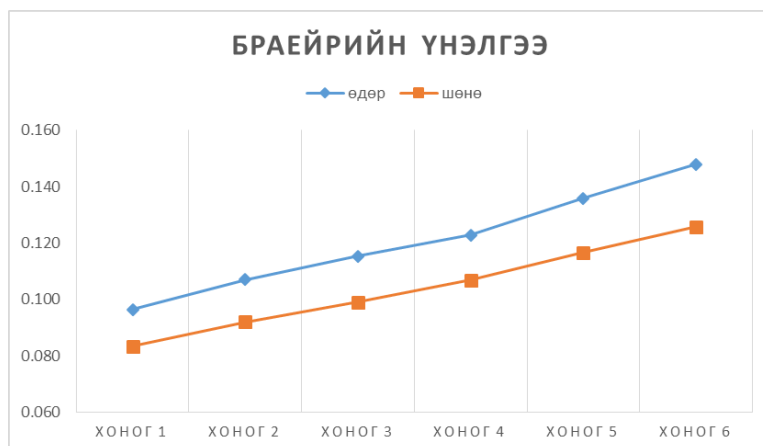
Туршилтын үр дүнгийн үнэлгээ

Браейрийн үнэлгээ нь 0-руу дөхөхөд прогнозын чанар сайн байх ба туршилтын дүнгээс харахад 0-руу нэлээд ойролцоо байна. Прогнозын хугацаа нэмэгдэхэд үнэлгээ буурч

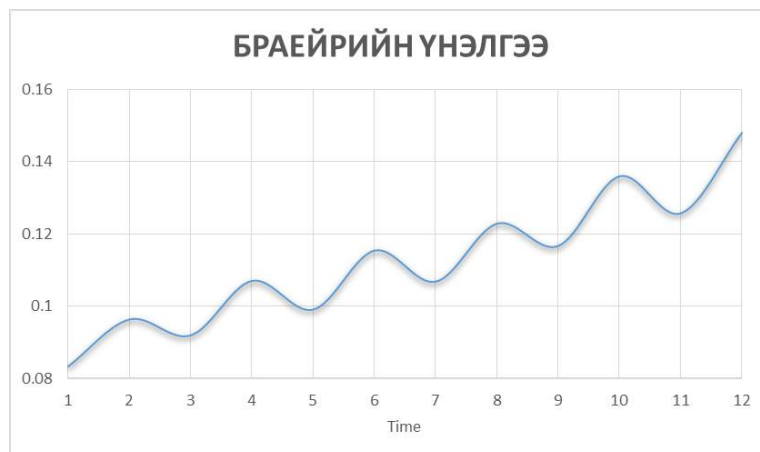
байгаагийн зэрэгцээ, шөнийн хугацааны тунадасны хувьд өдрийн хугацааны тунадаснаас илүү үнэлгээ сайтай байна (Хүснэгт 10, Зураг 65-66).

Хүснэгт 10. Хур тунадасны магадлалт прогнозын Брайерийн үнэлгээ

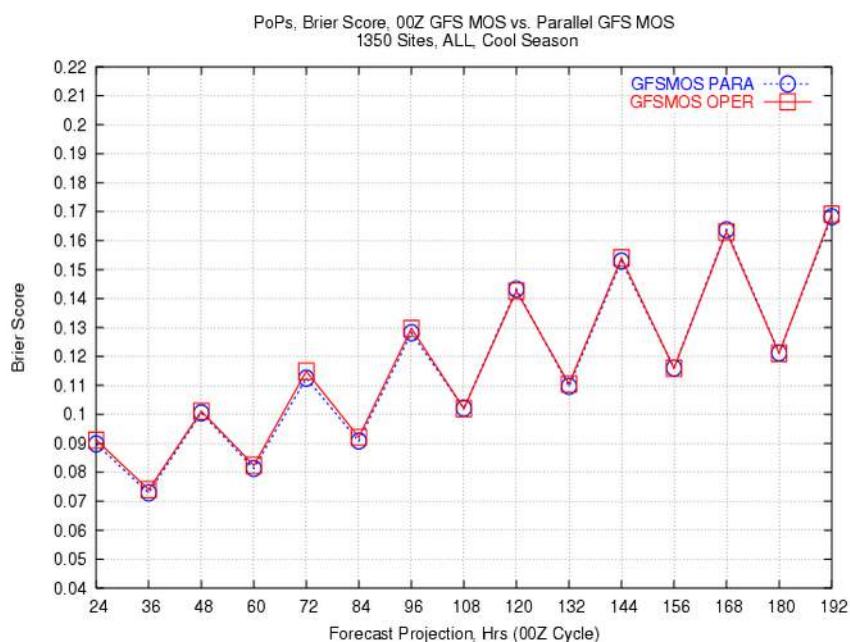
	хоног 1	хоног 2	хоног 3	хоног 4	хоног 5	хоног 6
өдөр	0.096	0.107	0.115	0.123	0.136	0.148
шөнө	0.083	0.092	0.099	0.107	0.117	0.126



65-р зураг. Хур тунадасны магадлалт прогнозын Брайерийн үнэлгээ, прогнозын хугацаа бүрээр



66-р зураг. Хур тунадасны магадлалт прогнозын Брайерийн үнэлгээ, прогнозын хугацаагаар



67-р зураг. NCEP-ийн GFS-д үндэслэгдсэн MOS магадлалын прогнозын үнэлгээ (2015)

Туршилтын хугацаанд Брайерийн үнэлгээ NCEP-ийн GFS загварт үндэслэгдсэн MOS магадлалын прогнозын үнэлгээтэй ойролцоо байна.

Хур тунадасны прогнозын магадлалын утга харгалзах бодит хур тунадасны давтагдалтайгаа ойролцоо байвал магадлалын прогнозын үнэмшлийг өндөр гэж үнэлдэг. Туршилтын хугацаанд 10 хүртэлх магадлалын прогнозоос бусад магадлалын зайц бүр дэх давтагдлууд бага байна. Өөрөөр хэлбэл хур тунадас орох магадлал 10%-аас бага гэж прогнозлоход орсон тохиолдол олон, 10-20% гэсэн буюу түүнээс дээш тохиолдолд цөөхөн тоотой орсон байна (Хүснэгт 11-12, Зураг 68).

Магадлалын прогноз 60%-иас дээш болоход прогнозын хугацаанаас хамаарч давтагдалын тоо багасаж байна.

Хүснэгт 11. Өдрийн хугацааны хур тунадасны прогнозын магадлалд харгалзах бодит хур тунадасны давтагдал

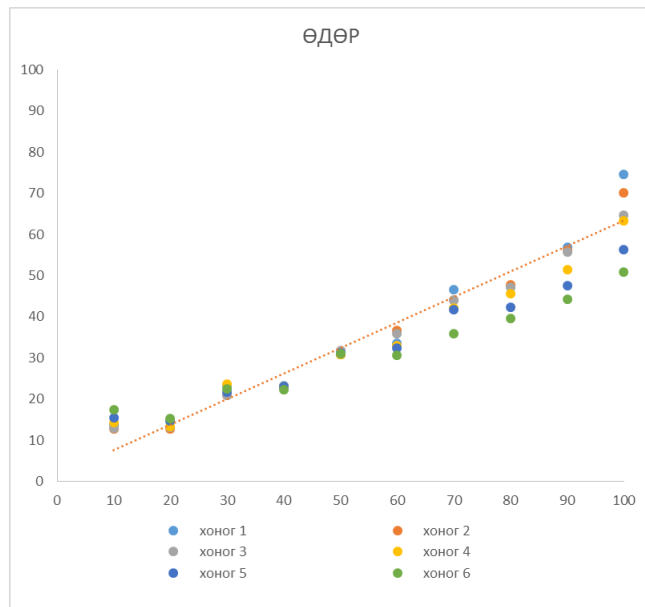
ӨДӨР						
давтагдал	хоног 1	хоног 2	хоног 3	хоног 4	хоног 5	хоног 6
10	14	13	13	14	15	17
20	15	13	13	13	15	15
30	23	21	21	24	22	23
40	23	23	23	23	23	22
50	31	31	32	31	31	31
60	34	37	36	33	32	31
70	47	44	44	42	42	36
80	47	48	47	46	42	40
90	57	56	56	52	48	44
100	75	70	65	63	56	51

Хүснэгт 12. Шөнийн хугацааны хур тунадасны прогнозын магадлалд харгалзах бодит хур тунадасны давтагдал

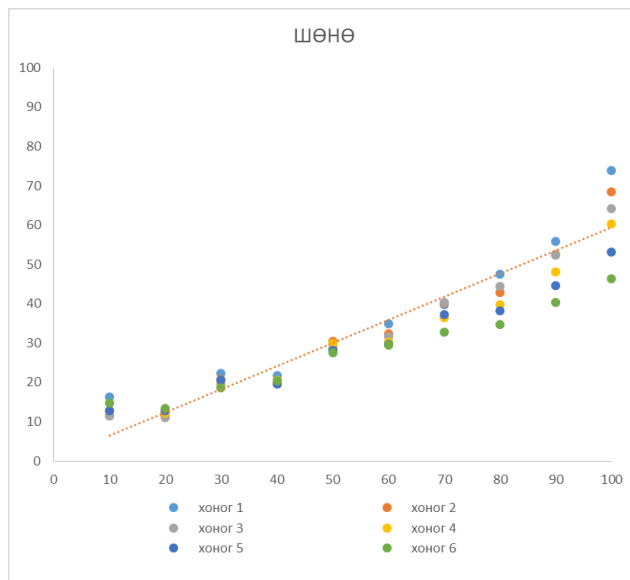
ШӨНӨ						
давтагдал	хоног 1	хоног 2	хоног 3	хоног 4	хоног 5	хоног 6
10	16	12	11	13	13	15

20	12	12	11	12	13	13
30	22	21	20	20	21	19
40	22	20	20	21	20	20
50	28	30	29	30	28	27
60	35	32	32	30	30	29
70	40	40	40	37	37	33
80	47	43	44	40	38	35
90	56	52	52	48	45	40
100	74	68	64	60	53	46

а)



б)



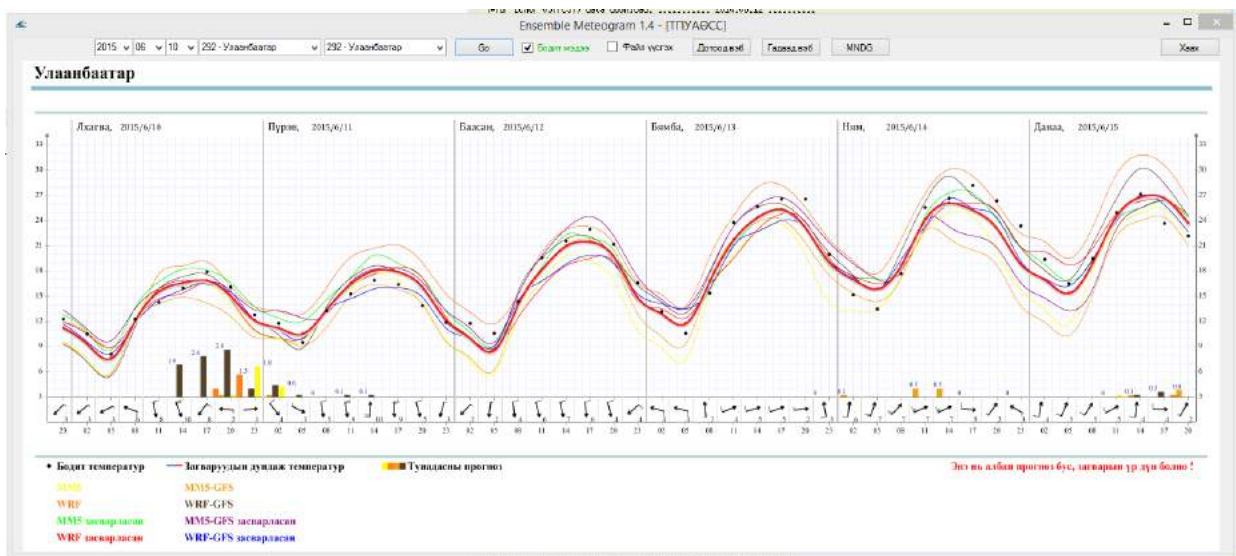
Зураг 68.Туршилтын хугацааны а) өдрийн болон б) шөнийн хугацааны магадлалын прогнозын үнэмшлийн диаграмм

УТЦС-ийн бүтээгдхүүнүүдийг боловсруулах, үнэлэх, зурагжуулах програм хангамж боловсруулах

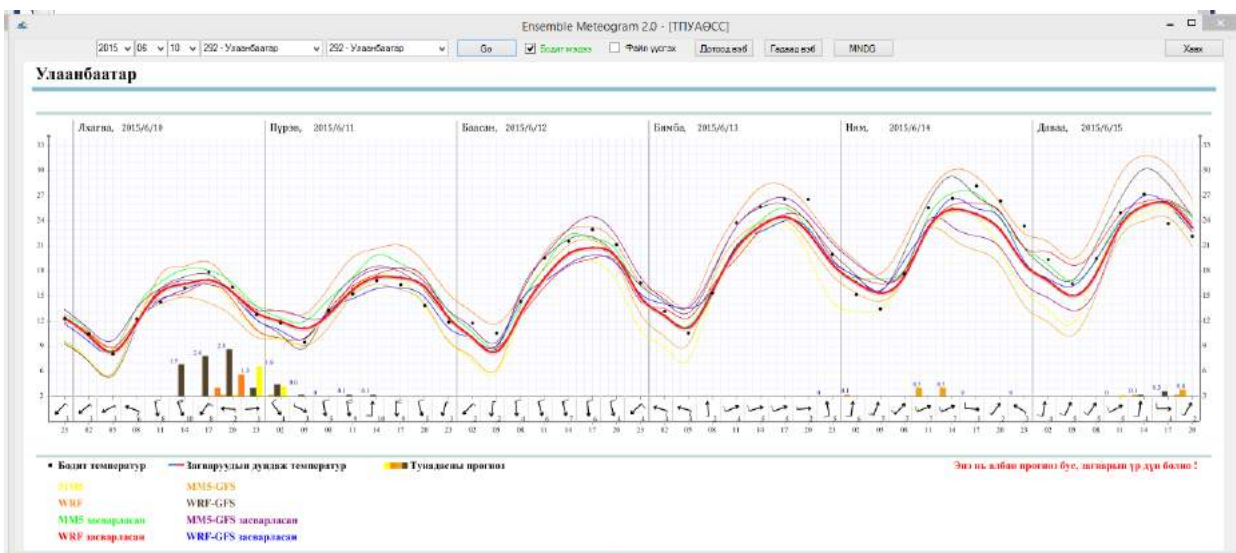
Боловсруулалтын програм хангамжийг боловсруулав. Одоогоор ашиглагдаж буй загваруудын үр дүнг ансамбель гишүүдээр авч үзэж ансамблийн үр дүнг энгийн дундажлах арга болон ВС аргаар дундажлан, метеограмаар зураглах ажлын үр дүнгүүдийг **Зураг 69, 70-т** үзүүлэв.

130 хот, суурингаар энэ зураглалыг харах боломжтой. Энгийн дундажлах аргаар ансамбель дундаж гаргаж зураглах ажлыг 2014 оны 9 дүгээр сард нэвтрүүлсэн бол судалгааны үр дүнд үндэслэн ВС аргаар дундажлах аргыг боловсруулан 2015 оны 7 дугаар сарын 10-наас үйлдвэрлэлд нэвтрүүлсэн болно.

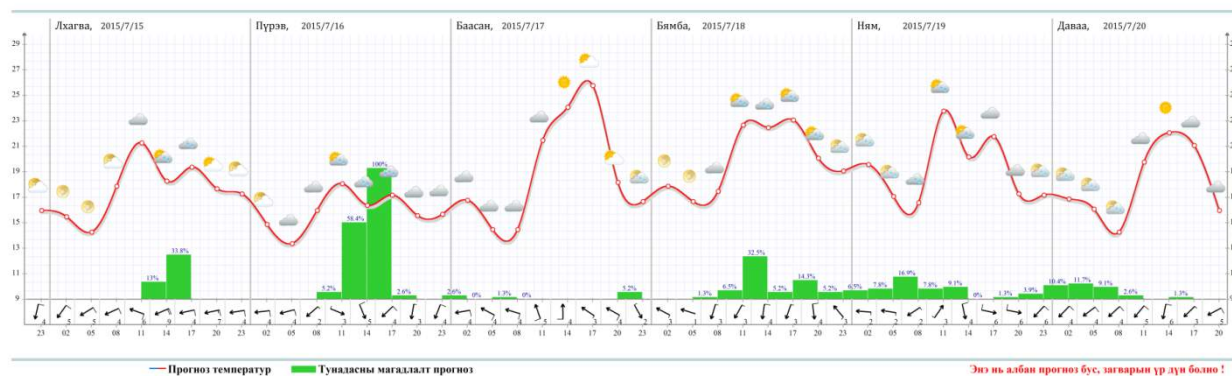
а)



б)



Зураг 69. Улаанбаатар хотын 5 хүртэлх хоногийн прогноз-Улаанбаатар хотын метеограм а) энгийн дундажлах арга ашигласан, б) ВС арга ашигласан



Зураг 70. Хур тунадасны магадлалын прогнозыг оруулсан метеограм

Дүгнэлт

- Олон загварын олон анхны нөхцөлтэй, олон төрлийн физиктэй өөрөөр хэлбэл холимог ансамбль системийг бүрдүүлсэн.
- Боломжит 22 гишүүнээр туршилтыг 2012-2013 оны 1,4,7,10 сарын хувьд туршилт хийн 11 гишүүнийг сонгосон. Сонгохдоо олон шалгуурт дүн шинжилгээний аргыг ашигласан. Сонгосон гишүүд дээрээ дунджах аргын туршилт хийсэн. Туршилтийн дүнгээс харахад олон загварын супер ансамбль дунджах арга хамгийн сайн алдаа багатай арга байна. Гэхдээ ашиглахад нэлээд төвөгтэй, үйлдвэрлэлд ашиглахад ансамблийн бүх гишүүд бүрэн байх шаардлагатай байдаг байна.
- Сонгосон ансамбль гишүүдээ ашиглан хур тунадасны магадлалыг прогнолох туршилт хийж, үр дүнг үнэлэх статистик үнэлгээгээр NCEP-ийн GFS дэлхийн хэмжээний загварын гаралтаар анхны боон захын нөхцлөө хийсэн бүс нутгийн загварт үндэслэгдсэн MOS магадлалын прогнозын үнэлгээтэй ойролцоо байна. Харин үнэмшлийн диаграммаас харахад магадлалыг хэтрүүлэн үнэлж байгаа байдал ажиглагдаж байна.
- Судалгааны үр дүнг тооцоолох төхөөрөмжийн хязгаарлагдмал байдлаас шалтгаалж үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэх боломжгүй байна.

Бүлэг II. Дэлхий болон бүс нутгийн агаар мандлын динамик загварын гаралтын үр дүнд суурилсан статистик аргууд

2.1 Бүс нутгийн хэмжээнд GRID цэг болон хот, суурингаар цаг агаарын элементүүдийг урьдчилан тооцоолох статистик загваруудыг боловсруулах, түршиж үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэх

Тоон прогнозын загварын анхны нөхцөл болох UM512 дэлхийн хэмжээний прогноз мэдээг 2011 оны 4 дүгээр сарын 1-нээс Солонгосын цаг уурын албанаас авч тоон прогнозын бүс нутгийн MM5, WRF загваруудад ашиглаж ирлээ. Энэ хугацаанд эдгээр загваруудын гаралтын прогноз үр дүн болох 2 жил гаруйн 9км орон зайн нарийвчлалтай тоон мэдээний архив бүрдэв.

Тоон прогнозын загвар (ТПЗ)-ууд нь агаар мандлын процессын динамик байдлаар физик хууль, параметрчлал, тооцоолох алгоритм дээр үндэслэн нарийн хийдэг хэдий ч, тооцоолох төхөөрөмжийн хүчин чадал, гридын цэг доторх явагдах торын алхамд багтах процессын параметрчлалын дутагдалтай байдал зэргээс хамаарч тодорхой алдаатай байдаг. Одоогоор ТПЗ-ууд нь том хэмжээст цаг агаарын процессыг харьцангуй сайн тооцоолдог боловч бэсрэг хэмжээст болон жижиг хэмжээст үзэгдлийг дээрх дутагдалтай байдлаас хамааран тодорхой цэг буюу хот сууринд дээр бодит ажиглалттай харьцуулахад заримдаа хангалтгүй байдаг.

Мөн тоон прогнозын загваруудад ойролцооллыг нэлээд ашигладаг, физик параметрчлал, анхны болон хязгаарын нөхцлийн төгс биш байдлаас хамаарч дээрх алдаа гарах бөгөөд мөн гаралтын үр дүн нь тодорхой нарийвчлалтай торын зангилаан дээрх тоон утга байдаг. Иймд үр дүнд нь статистик тайлал хийх маягаар цаг агаарын үзэгдэл, элементийг урьдчилан тооцоолох математик, статистик аргуудыг өргөн хэрэглэдэг.

Статистик арга дотроо "боловсруулалт"-ын цуваагаа хэрхэн бүрдүүлж байгаагаараа "төгс прогнозын (ТП) зарчим" (PPM-Perfect Prog Method) [57], "загварын гаралтын статистик (ЗГС) зарчим" (MOS-Model Output Statistic) дээр үндэслэгдсэн гэж ялгагдана. Цаг агаарын прогнозын судалгааны практикт ТП зарчимд үндэслэгдсэн олон гишүүнт регрессийн аргыг ТП арга, ЗГС зарчимд үндэслэгдсэн олон гишүүнт регрессийн аргыг ЗГС арга гэж нэрлэдэг.

Иймд энэхүү судалгааны ажлаараа бид тооцоолох төхөөрөмжийн хүчин чадал, хуримтлагдсан мэдээллээ ашиглан MM5 загварын үр дүнд статистик тайлал хийх ЗГС-д үндэслэгдсэн гридын цэгээр болон, хот, суурингаар цаг агаарын үзэгдэл элементийг богино хугацаагаар урьдчилан тооцоолох систем боловсруулах зорилгыг тавьсан болно. Үүний тулд дараах туршилт судалгааг хийв.

- Цаг уурын ямар үзэгдэл, элементэд ашиглах тохиромжтойг тогтоох
- Ашиглах тохиромжтой үзэгдэл, элементийн гридын цэг дээр 144 цаг хүртэлх прогнозын аргыг боловсруулна.
- Ашиглах тохиромжтой үзэгдэл, элементийн хот, суурин дээрх 144 цаг хүртэлх прогнозын арга боловсруулна.

Судлагдсан байдал

Одоогоор MM5 загварын шууд үр дүн болон тасралтгүй хэмжигдхүүн буюу салхи, температур, шүүдэр цэгийн температурын хувьд гүйдэг дунджийн аргаар системийн алдааг засварлан ашиглаж байна. Мөн агаарын хамгийн их, бага температур

(Л.Оюунжаргал 2012, Л.Оюунжаргал, Г.Баясгалан 2007, Л.Нацагдорж, Б.Чулуунбаатар 1999), хур тунадас (Л.Оюунжаргал 2012, Л.Нацагдорж, Д.Галбаяр 1999), салхины хурд (Л.Оюунжаргал 2013, Д.Жүгдэр 1998,1999)-ыг Дэлхийн хэмжээний загварын үр дүн болох ЦАДХПЕТ-ийн загварын үр дүнд статистик тайлал хийж урьдчилан тооцоолох аргууд боловсруулан үйлдвэрлэлд ашиглаж байсан ба ашиглаж байна.

Ашигласан мэдээ, өгөгдөл

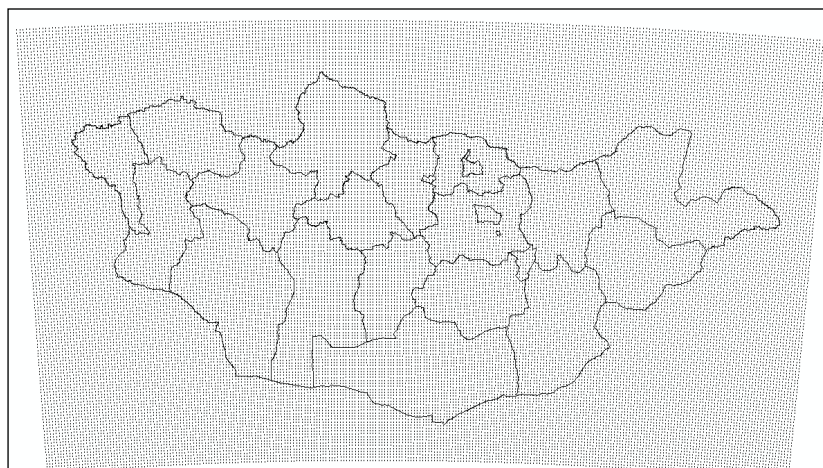
Энэхүү аргын боловсруулалтанд MM5 загварын, бодит ажиглалтын мөн ECMWF-ын 0.5 градусын алхамтай реанализын мэдээ тус бүрийн 2011 оны 3 дугаар сараас 2013 оны 3 сар хүртлэх өдөр бүрийн температур, тунадас, салхины мэдээг, туршилтанд MM5 загварын, бодит ажиглалтын мөн ECMWF-ын 0.5 градусын алхамтай реанализын мэдээ тус бүрийн 2013 оны 3 дугаар сараас 2014 оны 3 сар хүртлэх өдөр бүрийн температур, тунадас, салхины мэдээг тус тус ашиглав.

Өдөр бүрийн агаарын хамгийн их, бага температур, салхи, хур тунадасны бодит ажиглалтын мэдээ гридээр байхгүй тул ECMWF-ын 0.5 градусын алхамтай реанализын мэдээний агаарын хамгийн их, бага температурыг авч предиктантаар авч ашиглав. Ашиглахын өмнө бодит агаарын агаарын хамгийн их, бага температуртай харьцуулж үр дүнг үр дүнгийн хэсэгт оруулав.

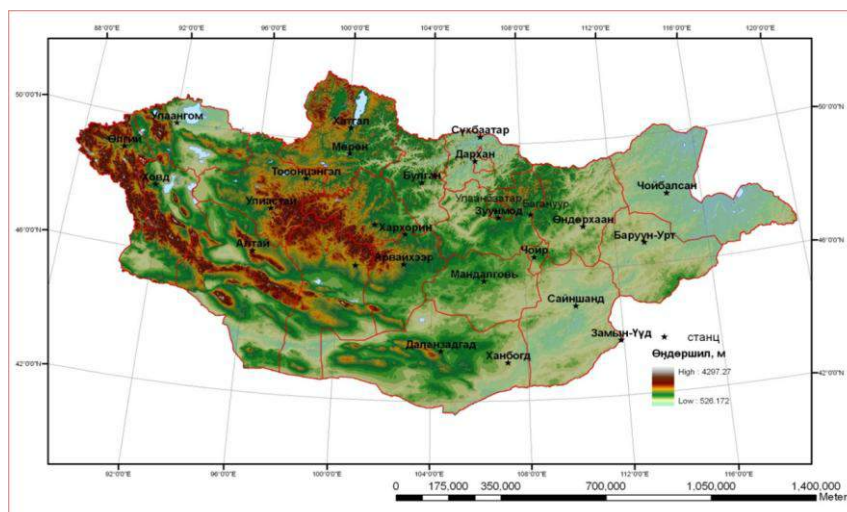
Арга зүй

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд дараах хоёр даалгаварыг гүйцэтгэнэ.

- Цаг агаарын үзэгдэл, элементийн гридын цэг дээрх прогнозыг тооцоолох арга боловсруулах **(Зураг 71)**
- Цаг агаарын үзэгдэл, элементийн хот, суурингийн прогнозыг тооцоолох арга боловсруулах **(Зураг 72)**



Зураг 71. Гридийн цэгийн байршил



Зураг 72. Хот, суурингийн байршил

ЗГС нь потенциал предикторын сангаас тухай **бүр** хамгийн сайн мэдээлэл сайтай предикторын сонголтыг хийв.

Загварын гаралтын статистик (ЗГС) арга

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

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

Энд: y -предиктант, a_j -коэффициент, x_j – предиктор, b -сул гишүүн болно.

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

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

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

Загварын үр дүнгийн таарцыг дүгнэх дараахь статистик үзүүлэлтүүдийг ашиглав. Үүнд:

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

ME - дундаж алдаа, ДА

F - прогнозын утга,

X - ажиглалтын утга

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

MAE - дундаж үнэмлэхүй алдаа, ДҮА

N -тохиолдлын тоо

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

RMSE-Дундаж квадрат алдаа, ДКА

Үр дүн

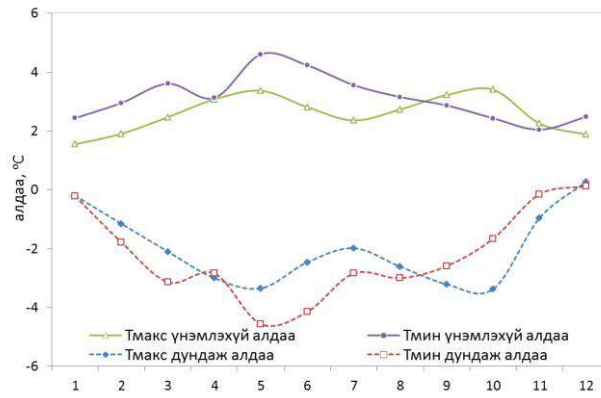
Агаарын хамгийн их, бага температурын грид цэгүүдээр прогнолох

Эхний ээлжинд агаарын хамгийн их, бага температурыг прогнозыг ЗГС аргыг ашиглан гридын цэгээр 144 цаг хүртэлх хугацаагаар гаргахыг зорилоо. Гридийн цэгийн алхам нь 9 км-ийн алхамтай (**Зураг 71**). Х тэнхлэгийн дагуу 253 цэг, Y тэнхлэгийн дагуу 143 цэг нийт 36179 цэг дээр 144 цаг хүртэлх агаарын хамгийн их, бага температурын прогноз гаргав.

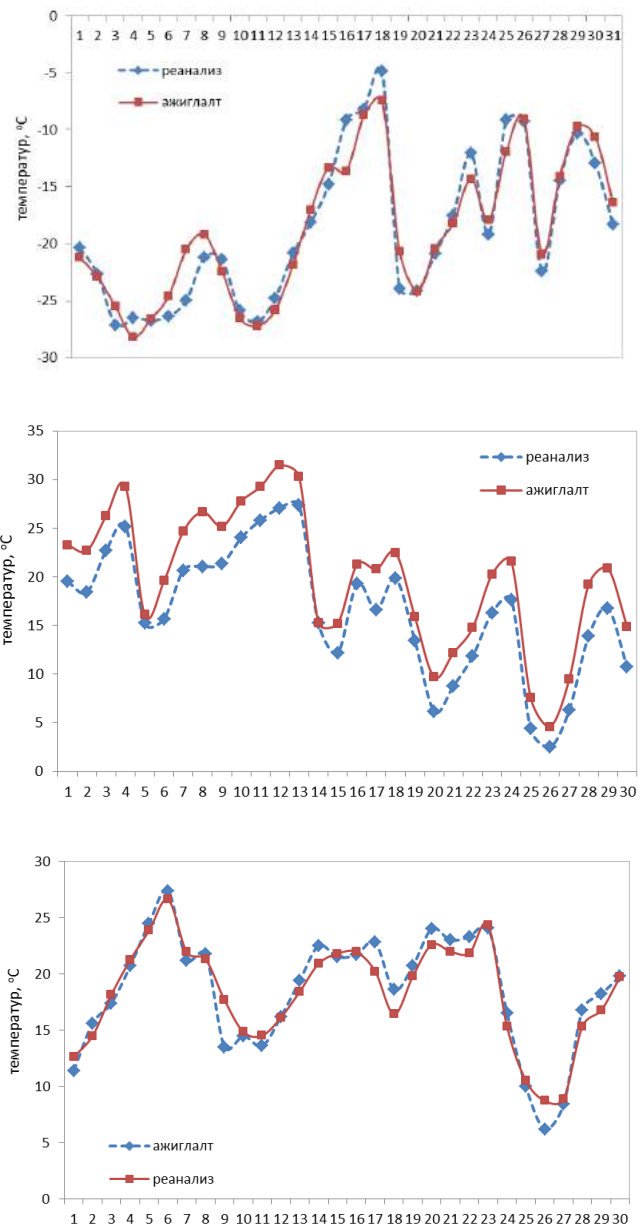
Агаарын хамгийн их, бага температурын реанализын грид мэдээнээс Улаанбаатар хотын байршил дээрх мэдээг олж, бодит ажиглалтын агаарын хамгийн их, бага температуртай харьцуулалт хийж үзэв. Харьцуулалтын дүнг **Зураг 73**-т үзүүлэв. Зургаас харахад агаарын хамгийн их температурын хувьд ч, агаарын хамгийн бага температурын хувьд ч өвлийн улиралдаа алдаа хамгийн бага байна.

2010 оны 1 дүгээр сарын өдөр бүрийн агаарын хамгийн их температурын бодит утга болон реанализын мэдээг зурагт үзүүлэв. Зургаас харахад температурын явц нэлээд сайн таарч байгаагийн зэрэгцээ алдаа багатай байна. Харин 9 дүгээр сард температурын явц нэлээд сайн таарч байгаа ч нэлээд их системийн алдаатай байгаа нь харагдаж байна (**Зураг 74б**). 2012 оны 9 дүгээр сарын өдөр бүрийн мэдээнд системийн алдааны засвар хийхэд алдаа нэлээд багассан байгаа нь харагдаж байна (**Зураг 74в**).

Дээрхээс дүгнэхэд реанализын суурь алдааг системийн алдааг засварлах аргаар засварлаж болохыг харуулж байна.



Зураг 73. Улаанбаатар хотын агаарын хамгийн их, бага температурын реанализын болон бодит ажиглалтын мэдээ хоорондын харьцуулалт.



Зураг 74. Улаанбаатар хотын агаарын хамгийн их температурын реанализын болон бодит ажиглалтын сарын явц. а) 2010 оны 1сар, б) 2010 оны 9 сар, в) 2010 оны 9 сарын системийн алдаан засварласан явц

Хамгийн их, бага температурын потенциал предикторын санд физик уялдаа холбоо сайтай дараахь 49 шууд үр дүнгүүдийг оруулна (**Хүснэгт 13**). Үүнд 4 түвшиний 18 төрлийн нийт 49 предиктор багтав.

Хүснэгт 13. Хамгийн их, бага температурын потенциал предикторын сан

№	Бүтээгдэхүүний нэр	Үе давхрага	Тэмдэглэгээ
1	Horizontal wind (x-comp)	Surface	uuu
2	Horizontal wind (x-comp)	850rПа	uuu
3	Horizontal wind (x-comp)	700rПа	uuu
4	Horizontal wind (x-comp)	500rПа	uuu
5	Horizontal wind (y-comp)	Surface	vvv
6	Horizontal wind (y-comp)	850rПа	vvv
7	Horizontal wind (y-comp)	700rПа	vvv
8	Horizontal wind (y-comp)	500rПа	vvv
9	Relative humidity	Surface	rhu
10	Relative humidity	850rПа	rhu
11	Relative humidity	700rПа	rhu
12	Relative humidity	500rПа	rhu
13	Temperature (2m)	Surface	tsfc
14	Temperature	850rПа	tmc
15	Temperature	700rПа	tmc
16	Temperature	500rПа	tmc
17	Vertical velocity	Surface	www
18	Vertical velocity	850rПа	www
19	Vertical velocity	700rПа	www
20	Vertical velocity	500rПа	www
21	Explicit precip 3h		rexpsh3
22	Cumulus precip 3h		Rcum3h
23	Snow mixing ratio	Surface	qsn
24	Snow mixing ratio	850rПа	qsn
25	Snow mixing ratio	700rПа	qsn
26	Snow mixing ratio	500rПа	qsn
27	Rain water mixing ratio	Surface	qra
28	Rain water mixing ratio	850rПа	qra
29	Rain water mixing ratio	700rПа	qra
30	Rain water mixing ratio	500rПа	qra
31	Cloud water mixing ratio	Surface	qcw
32	Cloud water mixing ratio	850rПа	qcw
33	Cloud water mixing ratio	700rПа	qcw
34	Cloud water mixing ratio	500rПа	qcw
35	Ground(sea –surface temperature	Surface	tgc
36	Total precip3h		rtot3h
37	PBL height		pblh
38	Water vapor mixing ratio	Surface	qvp
39	Water vapor mixing ratio	850rПа	qvp
40	Water vapor mixing ratio	700rПа	qvp
41	Water vapor mixing ratio	500rПа	qvp
42	10 meter U component	10m	u10
43	10 meter V component	10m	v10
44	Geopotential height above ground	Surface	ghtagl
45	Geopotential height above ground	850rПа	ghtagl
46	Geopotential height above ground	700rПа	ghtagl
47	Geopotential height above ground	500rПа	ghtagl
48	Soli temperature	Layer1	Soil1
49	Soli temperature	Layer2	Soil2

Тооцооны алгоритмыг **Зураг 75**-д үзүүлэв.



Зураг 75. Агаарын хамгийн их, бага температурыг гридын цэгээр урьдчилан мэдээлэх аргын алгоритм

1-ECMWF-ын 0.5 градусын реанализын 2011 оны 3 сараас 2013 оны 2 сар хүртлэх агаарын хагийн их, бага температурын мэдээг татаж авах.

2-ECMWF-ын 0.5 градусын реанализын мэдээ нь 50км-ын алхамтай, харин MMS5 загварын үр дүн 9 км-ын алхамтай байдаг. Иймээс ECMWF-ын реанализын мэдээг 50км-ээс 9км-т хөрвүүлнэ.

3-MMS5 загвар нь 2012 оны 10 сараас 144 цагаар прогнозлодог болсон учир 2011 оны 3 сараас 2012 оны 10 сар хүртэл 144 цаг болгон нөхөж бодуулан, сургалтын цувааны 2011 оны 3 сараас 2013 оны 2 сар хүртлэх 2 жилийн архив бүрдүүлнэ.

4-MMS5 загвар нь маш олон тооны бүтээгдэхүүнүүдтэй үүнээс боломжит 49 предиктороор потенциал предикторын сан бүрдүүлнэ (RIP-ээр хөрвүүлж авна).

5-Потенциал предикторын сангаас алхамт регрессээр хамгийн ихдээ 9 предиктор байхаар улирал бүрээр, хамгийн их, бага температураар нь предиктор сонголтыг хийнэ.

6-Олон гишүүнт регрессээр коэффициентоо босгож авна. Нийт 36179 гридийн цэг дээр, 4 улирлаар, хамгийн их, бага температурын 12 хугацаагаар коэффициентоо босгож авна.

7- Түршилтын цувааны 2013 оны 3 сараас 2014 оны 2 сар хүртлэх 1 жилийн мэдээний архив бүрдүүлнэ.

8-Предикторуудаа улирал бүрээр, хамгийн их, бага температур бүрээр RIP-ээр хөрвүүлж авна.

9-хамгийн их, бага температурын прогнозыг ЗГС арга ашиглан гридийн цэгээр гаргах.

Алхамт регрессыг ашиглан потенциал предикторын сангаас хамгийн их, бага температур тус бүрээр, мөн улирал бүрээр нь предикторын сонголтуудыг хийсэн.

Хүснэгт 14-т предиктор сонголт хийхдээ хамгийн ихдээ 9 предиктор байхаар сонгов.

Хүснэгт 14. Хамгийн их, бага температурын предикторын сонголт.

Хамгийн их Т	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Намар	15	48	38	42	2	33			
Өвөл	15	11	40	4	26	25	23	21	20
Хавар	15	48	4	30	27	37	35	22	
Зун	14	47	49	20	16	19	5	21	34
Хамгийн бага	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Намар	14	47	15	10	2	38	5		
Өвөл	14	9	40	11	17	22	28	20	21
Хавар	14	49	32	10	50				
Зун	15	33	21	30	40	27	16	35	37

Хамгийн их, бага температурын предиктор сонголт нь потенциал предикторын сангийн нийт 49 предиктороос улирал бүр дээр өөр өөр хамгийн ихдээ 9, хамгийн багадаа 5 предиктор сонгогдсон байна. Хамгийн их, бага температурын предиктор сонголтонд ямар бүтээндэхүүн ямар түвшинд сонгогдсоныг улирлаар нь **Хүснэгт 15,16**-т харуулав.

Хүснэгт 15. Хамгийн их температур предиктор сонголтууд улирлаар

Намрын улирлын предиктор			
1	Temperature	850rPa	tmc
2	Geopotential height above ground	500rPa	ghtagl
3	PBL height		pblh
4	Water vapor mixing ratio	500rPa	qvp
5	Horizontal wind (x-comp)	Surface	uuu
6	Cloud water mixing ratio	850rPa	qcw
Өвлийн улирлын предиктор			
1	Temperature	850rPa	tmc
2	Relative humidity	850rPa	rhu
3	Soli temperature	Layer2	Soil2
4	Horizontal wind (x-comp)	700rPa	uuu
5	Snow mixing ratio	500rPa	qsn
6	Snow mixing ratio	700rPa	qsn
7	Snow mixing ratio	Surface	qsn
8	Vertical velocity	500rPa	www
9	Vertical velocity	700rPa	www
Хаврын улирлын предиктор			
1	Temperature	850rPa	tmc
2	Geopotential height above ground	500rPa	ghtagl
3	Horizontal wind (x-comp)	700rPa	uuu
4	Rain water mixing ratio	700rPa	qra
5	Snow mixing ratio	500rPa	qsn
6	Total precip3h		rtot3h
7	Cloud water mixing ratio	500rPa	qcw
8	Explicit precip 3h		rexpsh3
Зуны улирлын предиктор			
1	Temperature (2m)	Surface	tsfc
2	Geopotential height above ground	700rPa	ghtagl
3	Soli temperature	Layer1	Soil1
4	Vertical velocity	700rPa	www
5	Temperature	700rPa	tmc
6	Vertical velocity	850rPa	www
7	Horizontal wind (x-comp)	500rPa	uuu
8	Vertical velocity	500rPa	www
9	Cloud water mixing ratio	700rPa	qcw

Хүснэгт 16. Хамгийн бага температур предиктор сонголтууд улирлаар

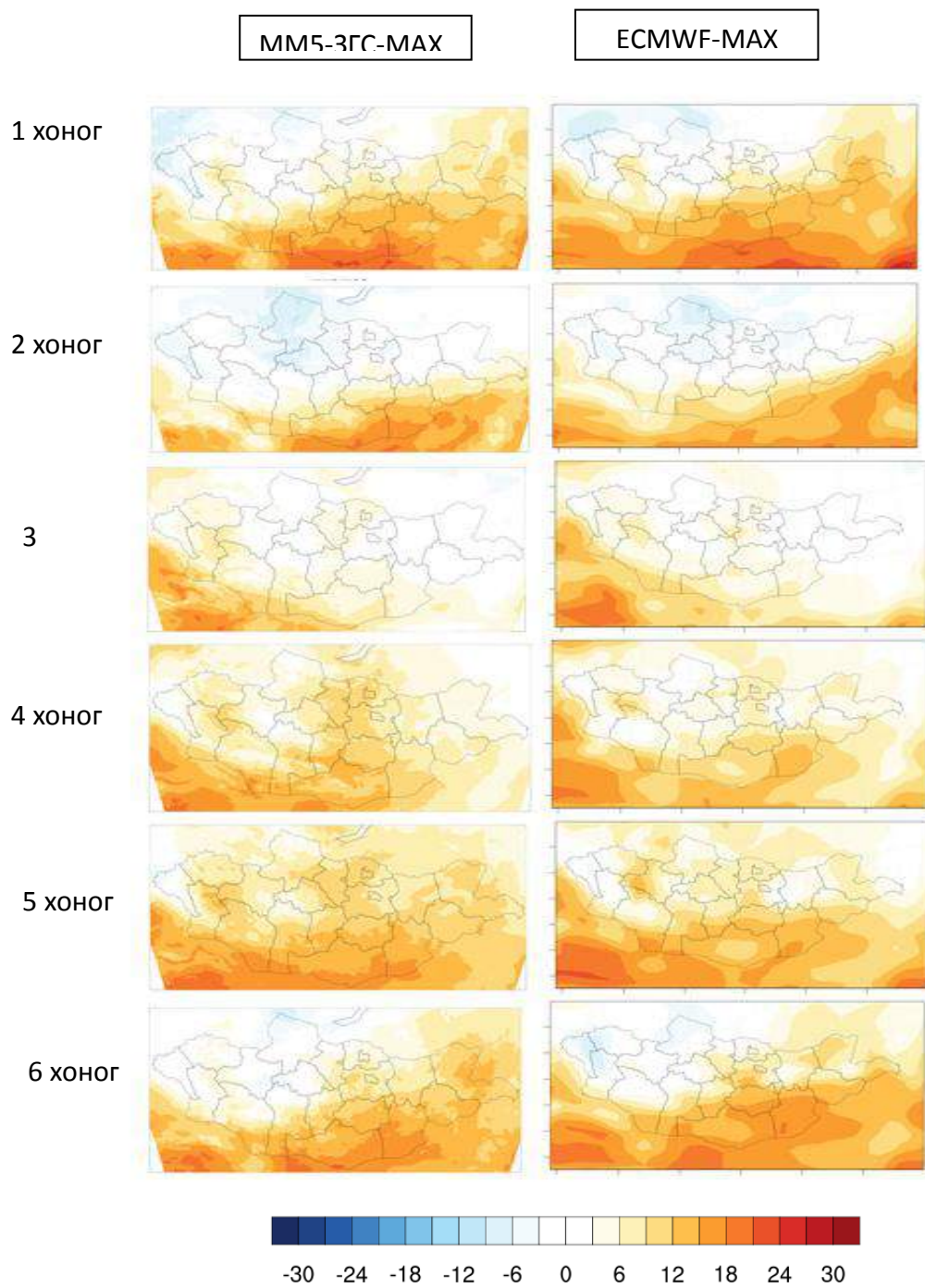
Намрын улирлын предиктор			
1	Temperature (2m)	Surface	tsfc
2	Geopotential height above ground	700rPa	ghtagl
3	Temperature	850rPa	tmc
4	Relative humidity	Surface	rhu
5	Horizontal wind (x-comp)	Surface	uuu
6	PBL height		pblh
7	Horizontal wind (x-comp)	500rPa	uuu
Өвлийн улирлын предиктор			
1	Temperature (2m)	Surface	tsfc
2	Horizontal wind (y-comp)	500rPa	vvv
3	Geopotential height above ground	700rPa	ght
4	Relative humidity	850rPa	rhu
5	Temperature	500rPa	tmc
6	Explicit precip 3h		rexpsh3
7	Cloud water mixing ratio	Surface	qcw
8	Vertical velocity	700rPa	www
9	Vertical velocity	500rPa	www
Хаврын улирлын предиктор			
1	Temperature (2m)	Surface	tsfc
2	Soil temperature	Layer1	Soil1
3	Cloud water mixing ratio	Surface	qcw
4	Relative humidity	Surface	rhu
5	Soil temperature	Layer2	Soil2
Зуны улирлын предиктор			
1	Temperature	850rPa	tmc
2	Cloud water mixing ratio	850rPa	qcw
3	Vertical velocity	500rPa	www
4	Rain water mixing ratio	700rPa	qra
5	Water vapor mixing ratio	850rPa	qvp
6	Snow mixing ratio	500rPa	qsn
7	Temperature	700rPa	tmc
8	Cloud water mixing ratio	500rPa	qcw
9	Total precip3h		rtot3h

Монгол орныг бүхэлд нь хамарсан 36179 гридын цэг дээрх агаарын хамгийн их, бага температурыг 144цагаар (5 хоног) урьдчилан тооцоолох туршилтыг явуулав. Сургалтын цуваандаа 2011 оны 3 сараас 2013 оны 3 сар хүртэл 2 жилийн, туршилтын цуваанд 2013 оны 3 сараас 2014 оны 3 сар хүртэл 1 жилийн MM5 загварын үр дүн болон ECMWF-ын 0.5 градусын алхамтай реанализын мэдээний хамгийн их бага температурын мэдээг ашиглав. Иймд **Зураг 78, 79**-д үзүүлсэн ECMWF-MAX, ECMWF-MIN гэдэг нь бодит ажиглалтын температурыг төлөөлнө. Сургалтын цуваанаас 36179 цэгээр, 4 улирлаар, хамгийн их, бага температурыг 5 хоногоор гэж тооцон жингийн коэффициентийг босгож авав. Уг коэффициентийг олон гишүүнд регрессээр тооцоолсон.

Туршилтыг 1 жилийн мэдээн дээр явуулсан үр дүнг 36179 гридийн цэгийн тархалтаар авч үзэв (**Зураг 76, 77**). Зургаас агаарын хамгийн их, бага температурыг хандлагыг сайн тооцоолж байна. Харин прогноз хугацаа холдох тусам зөрөө ихсэж байна. MM5 загварын үр дүнгээр ЗГС аргыг ашиглан тооцоолсон хамгийн их, бага температур, ECMWF-ийн хамгийн их, бага температурын тархалтыг харьцуулан харвал ЗГС нь илүү нарийвчлал сайтай харагдаж байна. Энэ нь MM5 загвар өндөршлийг илүү тооцоолж байна. Өөрөөр хэлбэл орон нутгийн шинж чанарыг илүү тусгаж байна.

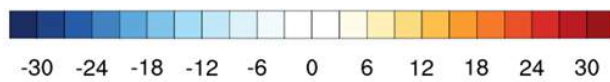
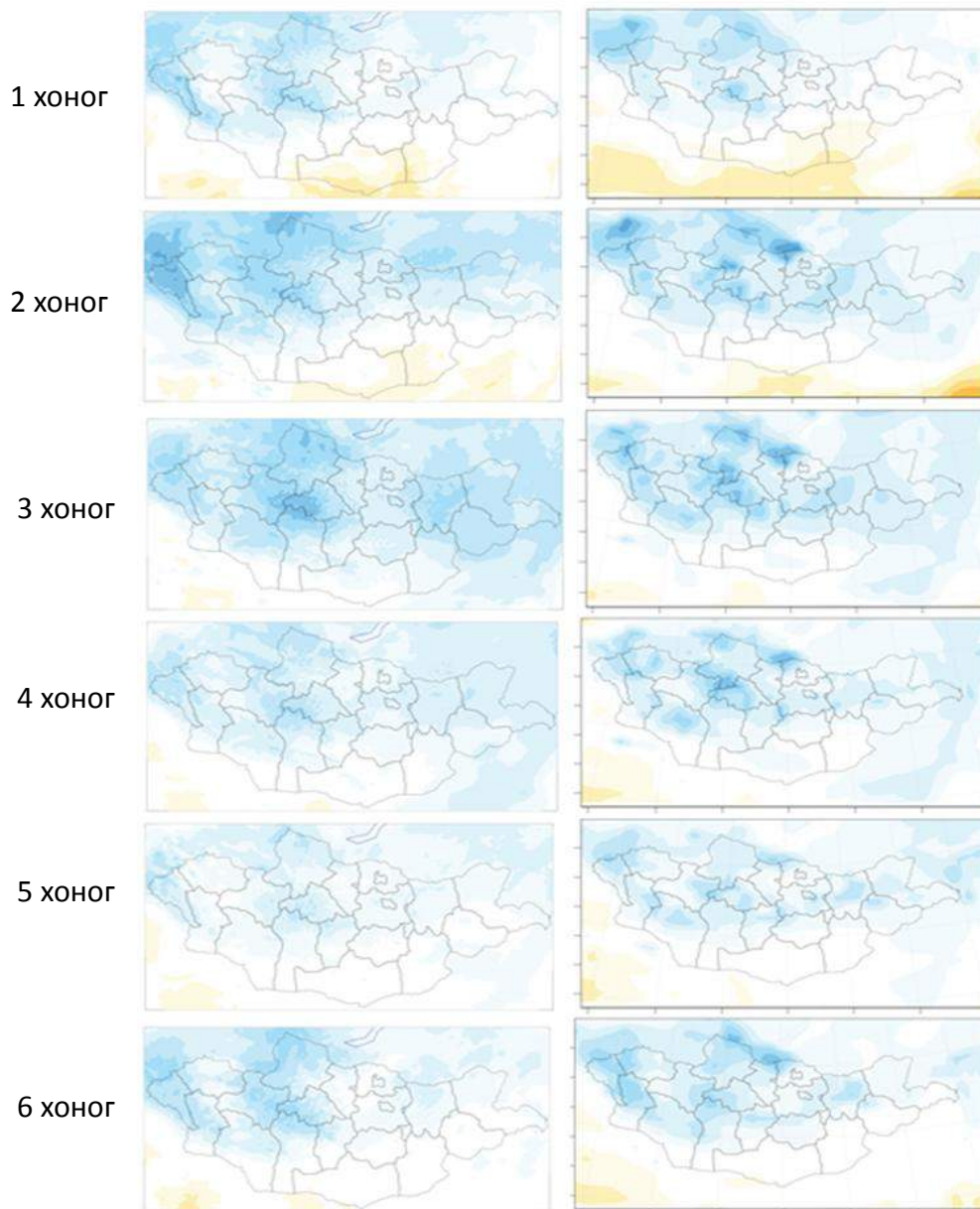
Гридийн цэг дээр хэрхэн прогнозлож байгааг Тахилт (292) станцтай ойролцоох 4 гридын цэгийн сонгож 292 станцтай хамгийн ойр гридийн цэгийн мэдээг бодит ажиглалтын

мэдээтэй харьцуулан авч үзэв. Тахилт станцтай хамгийн ойр гридийн 4 цэгийн байршлыг **Зураг 8**-д харуулав. Энд гридийн цэгийн алхам нь 9км болно.



Зураг 76. Хамгийн их температурын тахралт. (2013.10.11.12, °C)





Зураг 77. Хамгийн бага температурын тархалт. (2013.10.11.12, °C)



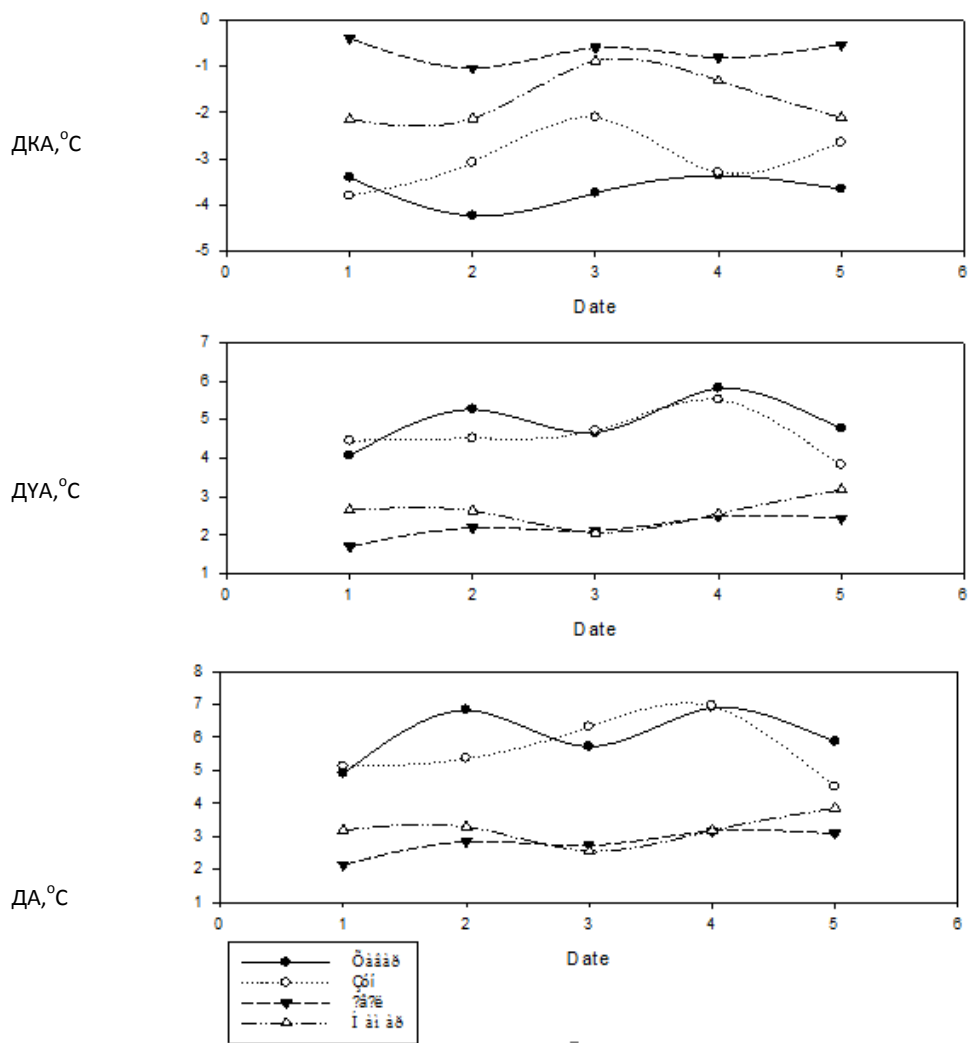
Зураг 78. Улаанбаатар станцын ойролцоох 4 гридийн цэгийн байршил,

Зургаас харвал гридын 4 цэгээс Тахилт станцтай хамгийн ойр байгаа цэг нь 3-р цэг байна. Гридийн 4 цэгийн уртраг, өргөрөгийг **Хүснэгт 17**-д үзүүлэв.

Хүснэгт 17. 292 индекстэй станцын ойролцоох гридын 4 цэгийн уртраг, өргөрөг болон гридын цэгийн дугаар

Гридийн цэг /292/	Өргөрөг	Уртраг	Гридийн цэгийн дугаар
1-р цэг	47.84666	106.7316	20640
2-р цэг	47.84206	106.8715	20641
3-р цэг	47.93594	106.8785	20894
4-р цэг	47.94054	106.7383	20893

292 индексн дугаартай станцтай хамгийн ойр гридийн 3-р цэг болон 292 станцын хамгийн их, бага температурын мэдээг хооронд нь харьцуулан улирал бүрээр нь дундаж алдаа (ДА), дундаж үнэмлэхүй алдаа (ДҮА), дундаж квадрат алдаа (ДКА)-г тус бүр тоцоолон **Зураг 79, 80**-т үзүүлэв.

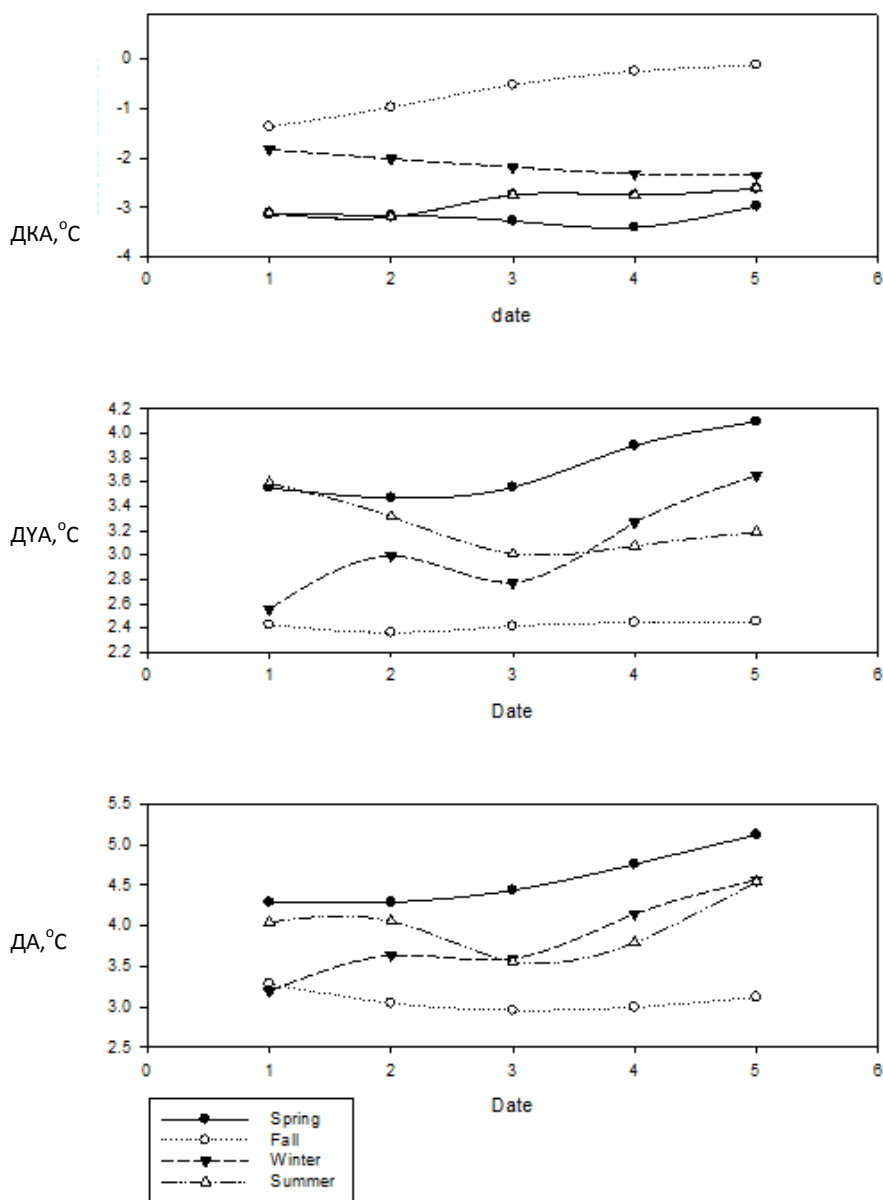


Зураг 79. Хамгийн их температурын статистик үзүүлэлтүүд улирлаар. (3-р цэгийн хувьд)

Зураг 18-аас харвал хамгийн их температурын хувьд ЗГС арга нь бодит ажиглалтаасаа хүйтэн өгдөг байна. Өвөл, намрын улиралдаа алдаа бага буюу ДА -0,4-(-2.16) градус, ДҮА 1.7-3.18 градус, ДКА 2.14-3.86 градусын хооронд байна. Харин хавар, зуны улиралдаа алдаа ихтэй буюу ДА -2.11-(-4.24) градус, ДҮА 3.83-5.82 градус, ДКА 4.5-6.96 градус байна.

Хүснэгт 18. Хамгийн их температурын статистик үзүүлэлтүүд

Хамгийн их температур	Дундаж алдаа				Дундаж үнэмлэхүй алдаа				Дундаж квадрат алдаа			
	Хавар	Зун	Өвөл	Намар	Хавар	Зун	Өвөл	Намар	Хавар	Зун	Өвөл	Намар
1-р хоног	-3.41	-3.81	-0.40	-2.16	4.06	4.45	1.70	2.65	4.90	5.12	2.14	3.19
2-р хоног	-4.24	-3.09	-1.05	-2.13	5.27	4.52	2.19	2.63	6.83	5.36	2.84	3.29
3-р хоног	-3.74	-2.11	-0.60	-0.89	4.66	4.72	2.11	2.06	5.72	6.32	2.73	2.55
4-р хоног	-3.37	-3.30	-0.82	-1.31	5.82	5.52	2.48	2.56	6.91	6.96	3.17	3.18
5-р хоног	-3.65	-2.65	-0.54	-2.12	4.77	3.83	2.44	3.18	5.87	4.50	3.09	3.86



Зураг 80. Хамгийн бага температурын статистик үзүүлэлтүүд улирлаар. (3-р цэгийн хувьд)

Зураг 80-аас хамгийн бага температурын статистик үзүүлэлтүүдийг харвал хамгийн их температурын адил ЗГС арга нь бодит ажиглалтаасаа хүйтэн тооцоолдог байна. Өвөл, намрын улиралдаа алдаа бага буюу ДА -0.12-(-2.35) градус, ДҮА 3.36-3.65 градус, ДКА 2.96-4.15 градусын хооронд байна. Харин хавар, зуны улиралдаа алдаа ихтэй буюу ДА -2.62- -3.4) градус, ДҮА 3.01-4.1 градус, ДКА 3.56-5.12 градус байна (**Хүснэгт 19**).

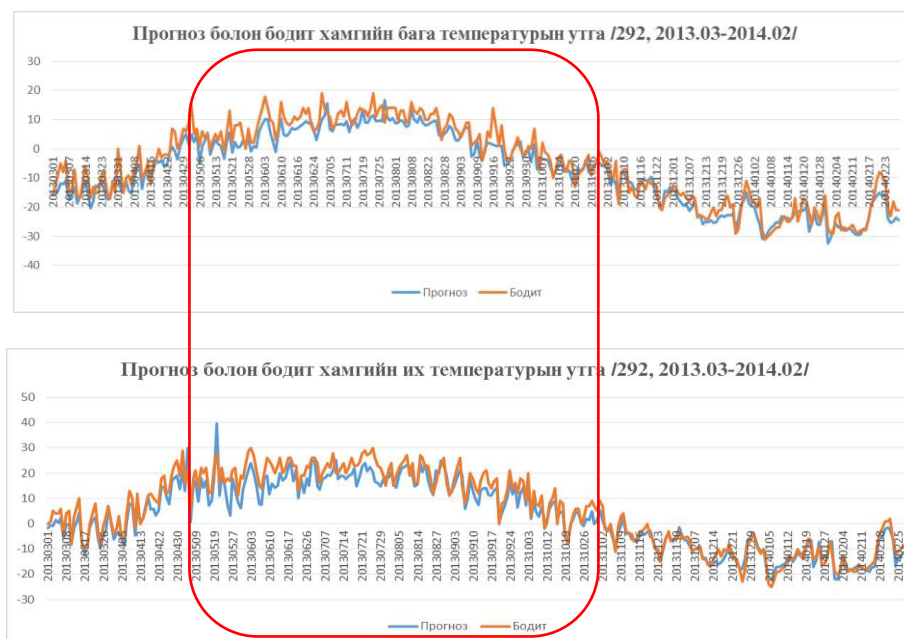
Хүснэгт 19. Хамгийн бага температурын статистик үзүүлэлтүүд.

Хамгийн бага температур	Дундаж алдаа				Дундаж үнэмлэхүй алдаа				Дундаж квадрат алдаа			
	Хавар	Намар	Өвөл	Зун	Хавар	Намар	Өвөл	Зун	Хавар	Намар	Өвөл	Зун
1-р хоног	-3.15	-1.37	-1.83	-3.11	3.55	2.43	2.55	3.59	4.29	3.29	3.19	4.05
2-р хоног	-3.16	-0.98	-2.02	-3.20	3.47	2.36	2.99	3.32	4.29	3.05	3.64	4.06
3-р хоног	-3.27	-0.53	-2.19	-2.75	3.56	2.41	2.77	3.01	4.44	2.96	3.59	3.56
4-р хоног	-3.40	-0.26	-2.32	-2.75	3.90	2.44	3.27	3.07	4.76	2.99	4.15	3.79
5-р хоног	-2.97	-0.12	-2.35	-2.62	4.10	2.45	3.65	3.19	5.12	3.12	4.57	4.54

Хамгийн их температураас хамгийн бага температур нь хавар, зуны улиралдаа ойролцоогоор 1 градусаар алдаа багатай байна. Одоогоор манай шуурхай үйлчилгээнд

ашиглагдаж буй ММ5 загварын температурын үр дүн өвлийн улиралдаа хамгийн их алдаа ихтэй байдаг. Гэтэл ЗГС аргаар тооцоолсон хамгийн их, бага температурын хувьд өвлийн улиралдаа алдаа багатай байна.

3-р цэгийн 1 хоногийн агаарын хамгийн их, бага температурын прогноз болон бодит утгуудын явцыг **Зураг 81**-т үзүүлэв.



Зураг 81. Хамгийн их, бага температурын бодит болон прогноз утга

3-р цэгийн 1 хоногийн хамгийн их, бага температурын прогноз мэдээгээ бодит мэдээтэй харьцуулан хархад ялангуяа хавар, зуны улиралдаа савалгаа ихтэй буюу ойролцоогоор 10 градус хүртэл зөрөөтэй байгаа нь харагдаж байна.

Ингээд бид улирал болон хугацаагаар нь 36179 гридийн цэгийн нийт 1736592 коэффициентоо гаргаж түршилтыг явуулаад орон зайн хувьд тархалтыг сайн дүрсэлсэн байна. Гридийн цэгийн хувьд намар, өвлийн улиралдаа алдаа багатай байгаа ч хавар, зуны улирлуудад алдаа ихтэй байна. Энэ нь предиктантаар ашигласан реанализын мэдээний хэв шинжтэй адилхан байна.

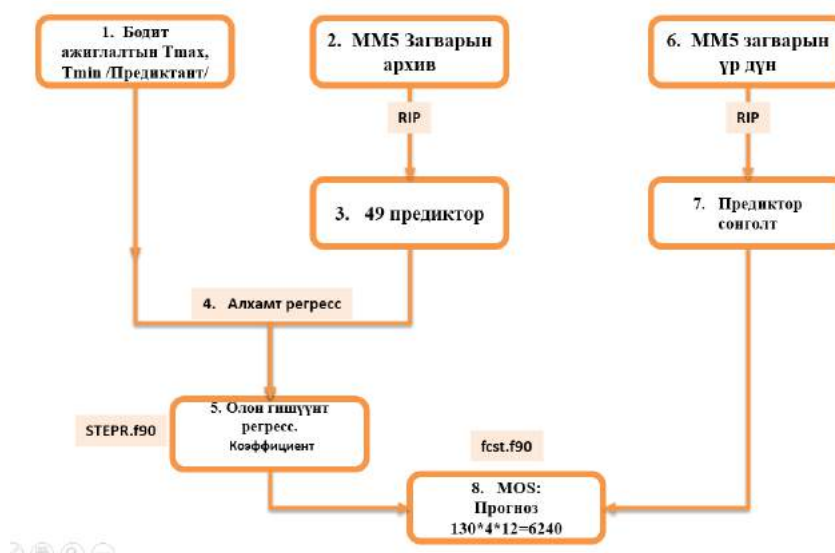
ЗГС аргын үр дүнг одоо манай шуурхай үйлчилгээнд ашиглаж буй хамгийн их, бага температурын арга загваруудтай харьцуулан үзэх хэрэгтэй байна. Гридийн цэгээр хамгийн их, бага температурыг ЗГС арга ашиглан прогнозлох нь анхдагч ажил бөгөөд харьцангуй сайн үр дүн өгч байна.

Агаарын хамгийн их, бага температурыг хот, суурингаар прогнозлох

Агаарын хамгийн их, бага температурын прогнозыг ММ5 загварын үр дүнгээр ЗГС аргыг ашиглан 130 хот суурингаар 144 цаг хүртэлх хугацаагаар гаргахыг зорилоо. Судалгааны ажлын талбарыг 2 дугаар зурагт үзүүлэв.

Хамгийн их, бага температурыг 130 хот хот суурингаар 144 цаг хүртлэх хугацаагаар прогнозлох ажлын потенциал предикторын санг гридын цэгээр прогноз гаргасны адилаар нийт 49 предикторыг сонгов.

Тооцооны алгоритмыг **Зураг 82**-т үзүүлэв.



Зураг 82. Агаарын хамгийн их, бага температурыг 130 хот суурингаар урьдчилан мэдээлэх аргын алгоритм

1-Бодит ажиглалтын хамгийн их, бага температур. 2011 оны 3 сараас 2013 оны 2 сар хүртлэх мэдээг татаж авах.

2-MM5 загвар нь 2012 оны 10 сараас 144 цагаар прогнозлодог болсон учир 2011 оны 3 сараас 2012 оны 10 сар хүртэл 144 цаг болгон нөхөж бодуулан, сургалтын цувааны 2011 оны 3 сараас 2013 оны 2 сар хүртлэх 2 жилийн архив бүрдүүлнэ.

3-MM5 загвар нь маш олон тооны бүтээгдэхүүнүүдтэй үүнээс боломжит 49 предиктороор потенциал предикторын сан бүрдүүлнэ. (RIP-ээр хөрвүүлж авна)

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

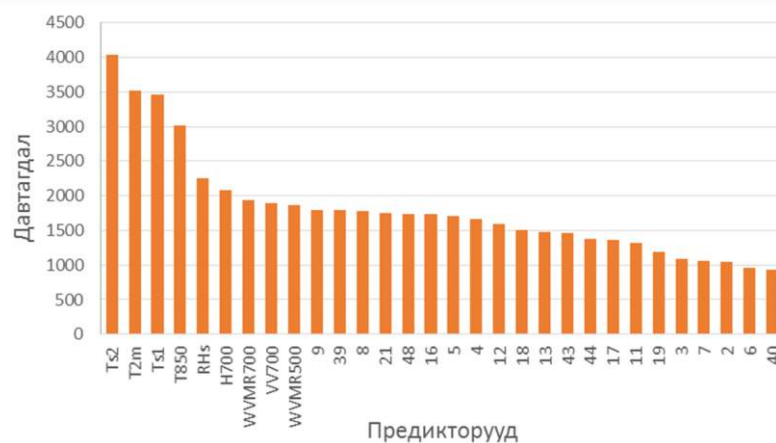
5-Олон гишүүнт регрессээр коэффициентоо босгож авна.

6- Түршилтын цувааны 2013 оны 3 сараас 2014 оны 2 сар хүртлэх 1 жилийн мэдээний архив бүрдүүлнэ.

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

8- Хамгийн их, бага температурын прогнозыг ЗГС арга ашиглан гаргах.

Алхамт регрессийг ашиглан потенциал предикторын сангаас 130 станцаар, хамгийн их, бага температураар, улирлаар, мөн прогноз хугацаа бүрээр нь предикторын сонголтуудыг хийсэн. Сонголтын үр дүнд загварын хөрсний гүний 2 дах түвшний температур, 2м-ийн түвшний температур, загварын хөрсний гүний 1 дэх түвшний температур, 850гПа түвшний температур, газрын гадарга орчмын харьцангуй чийгшил зэрэг үзүүлэлтүүд хамгийн их сонгогдсон буюу мэдээлэл сайтай предиктор болсон байна (Зураг 83).



Зураг 83. Сонгогдсон предикторын давтагдал

Цаг уурын 130 өртөөний хамгийн их, бага температурыг 5 хоногоор урьдчилан тооцоолох туршилтыг явуулав. Сургалтын цуваандаа 2011 оны 3 сараас 2013 оны 3 сар хүртэл 2 жилийн, туршилтын цуваанд 2013 оны 3 сараас 2014 оны 3 сар хүртэл 1 жилийн MM5 загварын үр дүн болон бодит ажиглалтын хамгийн их, бага температурыг авч ашиглав. Сургалтын цуваанаас 130 станцаар, 4 улирлаар, хамгийн их, багаар, 5 хоногоор гэж тооцон нийт 6420 коэффициентийг босгож авсан. Коэффициентийг олон гишүүнд регрессээр тооцоолсон.

Туршилтыг 1 жилийн мэдээн дээр явуулж үр дүнг 130 станцаар гарган статистик үзүүлэлтийг боловсруулалтын үеийн статистик үзүүлэлттэй харьцуулав (Зураг 84).



б)



в)



Зураг 84. Боловсруулалтын болон туршилтийн үеийн ДҮА-ны харьцуулалт а) 130 хот, суурин болон прогнозын бүх хугацаагаар, мөн хамгийн их, бага температууудыг дунджилсан ДҮА, б) агаарын хамгийн бага температууудын 130 хот, суурингийн 1 хоногийн прогнозын дунджилсан ДҮА, в) агаарын хамгийн их температууудын 130 хот, суурингийн 1 хоногийн прогнозын дунджилсан ДҮА

Зураг, хүснэгтээс харахад ДҮА аль ч үе шатандаа 12 сараас бусад сард 3°C-ээс дээш гараагүй, ялангуяа зуны саруудад хамгийн бага байна. Гэхдээ туршилтийн шатны алдаа боловсруулалтынхаас бараг бүх саруудад агаарын хамгийн их температурын хувьд ч, агаарын хамгийн бага температурын хувьд ч их байна. Мөн харьцуулалтын дүнгээс харахад ДҮА агаарын хамгийн их температурын хувьд агаарын хамгийн бага температурынхаас их байна (**Зураг 84, Хүснэгт 20-21**).

Хүснэгт 20. Агаарын хамгийн бага температурын прогнозын боловсруулалтын болон туршилтийн үеийн статистик үзүүлэлтүүд

сар	боловсруулалт			туршилт		
	ДА, °C	ДҮА, °C	ДКА, °C	ДА, °C	ДҮА, °C	ДКА, °C
1	0.06	2.54	3.44	0.26	2.72	3.67
2	0.54	2.68	3.51	0.48	2.81	3.64
3	0.01	2.10	2.72	1.20	2.32	3.00
4	-0.22	1.76	2.27	0.16	2.18	2.83
5	0.02	1.88	2.51	0.65	2.05	2.62
6	-0.26	1.56	2.05	0.50	1.97	2.65
7	0.77	1.76	2.20	0.41	1.67	2.32
8	2.60	1.82	4.20	0.45	1.73	2.40
9	0.28	1.71	2.29	0.23	1.99	2.57
10	-0.23	1.72	2.26	-0.28	2.12	2.71
11	-0.03	2.01	2.61	0.32	2.42	3.21
12	-0.71	2.24	3.02	-0.41	2.88	3.81

Хүснэгт 21. Агаарын хамгийн их температурын прогнозын боловсруулалтын болон туршилтийн үеийн статистик үзүүлэлтүүд

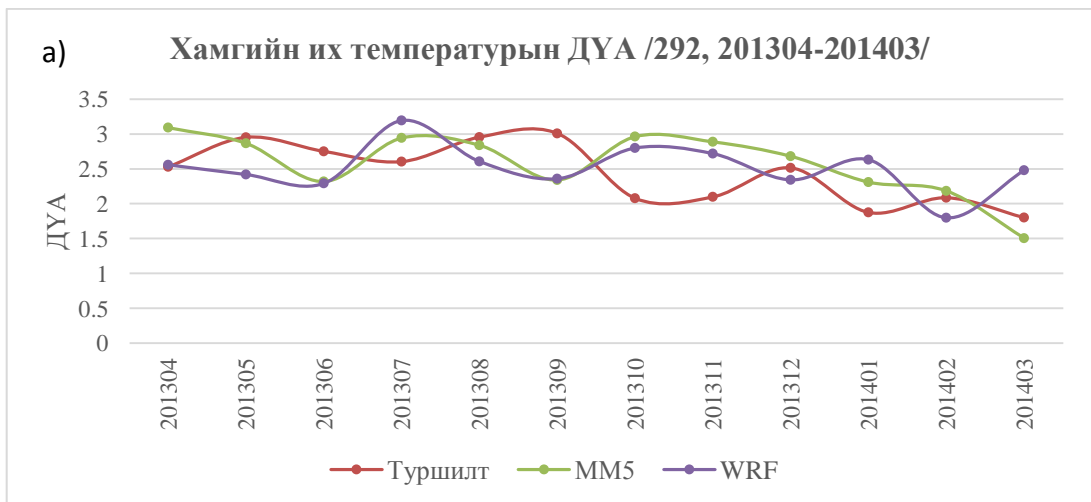
сар	боловсруулалт			туршилт		
	ДА, °С	ДҮА, °С	ДКА, °С	ДА, °С	ДҮА, °С	ДКА, °С
1	-0.55	2.89	3.97	-1.00	2.92	3.90
2	0.41	2.69	3.58	-0.35	3.05	3.97
3	0.03	1.77	2.36	0.29	1.77	2.41
4	-0.52	1.45	1.87	0.38	1.71	2.33
5	0.46	1.74	2.45	0.28	1.73	2.34
6	-0.22	1.69	2.19	-0.24	2.09	2.73
7	0.82	1.62	3.97	0.13	2.03	2.71
8	1.99	1.61	4.69	0.96	2.07	2.75
9	0.55	1.67	2.23	1.33	2.16	2.90
10	-0.18	1.63	2.12	0.37	2.02	2.64
11	-0.07	1.88	2.43	0.60	2.54	3.44
12	-0.58	2.07	2.82	-1.33	3.25	4.25

Хүснэгт 22. Агаарын хамгийн их, бага температурын прогнозын туршилтийн үеийн прогнозын хугацаанаас хамаарсан статистик үзүүлэлтүүд

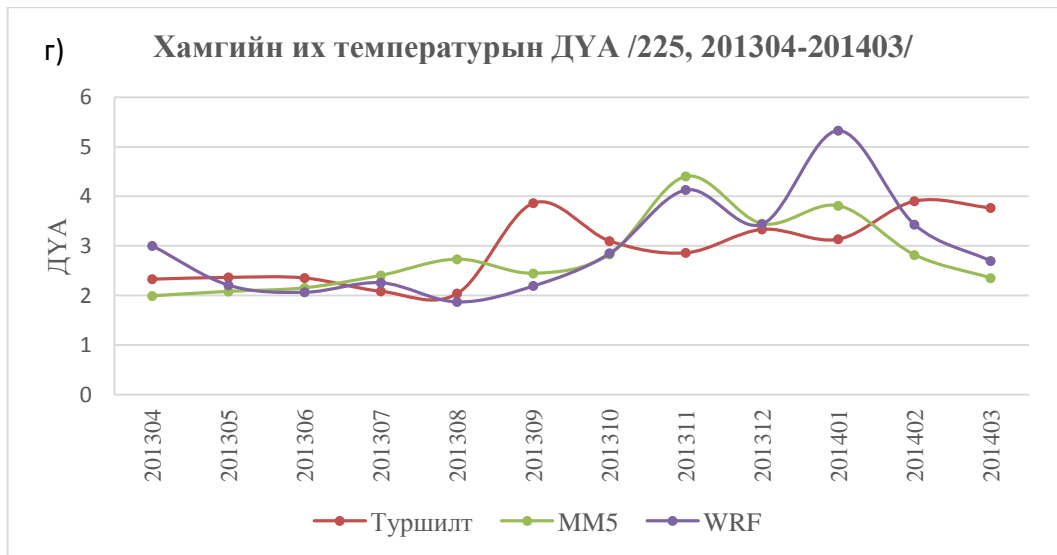
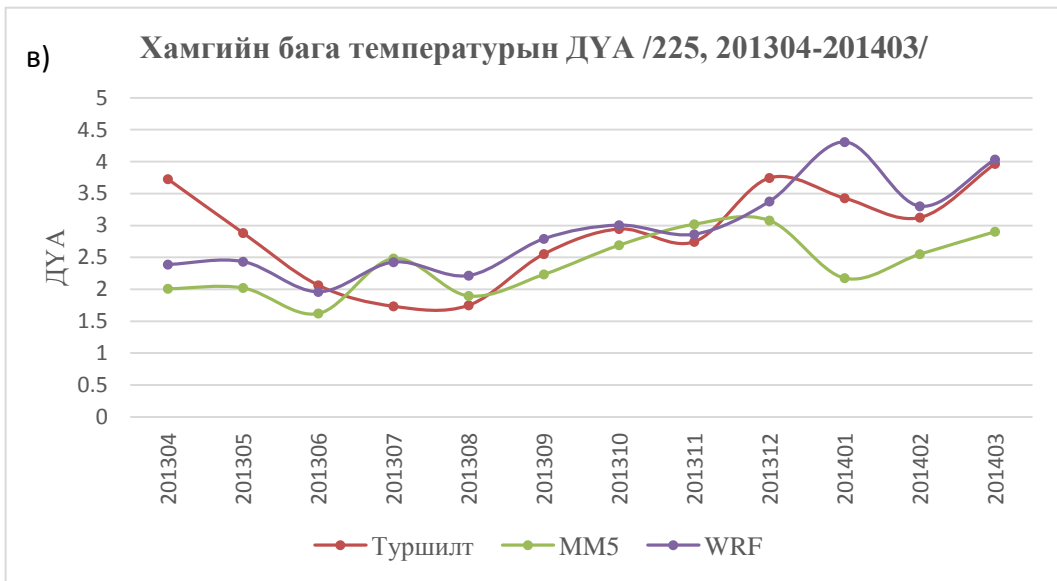
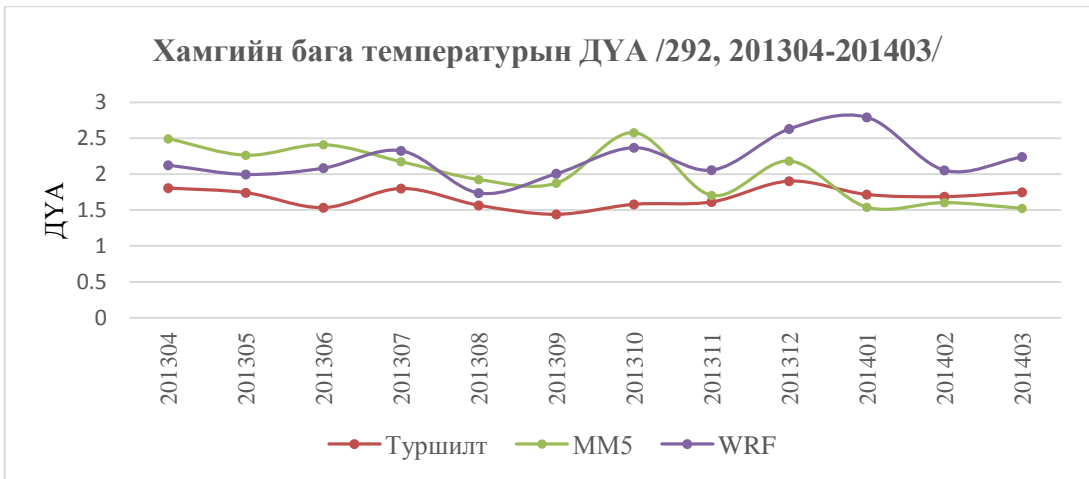
Прогнозын хугацаа	агаарын хамгийн бага температур			агаарын хамгийн их температур		
	ДА, °С	ДҮА, °С	ДКА, °С	ДА, °С	ДҮА, °С	ДКА, °С
1 хоног	0.13	2.00	2.65	0.04	2.00	2.71
2 хоног	0.15	2.11	2.78	0.08	2.13	2.85
3 хоног	0.14	2.21	2.90	0.14	2.29	3.03
4 хоног	0.14	2.39	3.11	0.07	2.58	3.39
5 хоног	0.05	2.62	3.41	0.05	2.84	3.70

Туршилтын хугацаанд ДҮА нь прогнозын хугацаагаар нэмэгдэж байгаа хэдий ч агаарын хамгийн их температурын хувьд ч, агаарын хамгийн бага температурын хувьд ч 3°С-ээс бага байна (**Хүснэгт 22**).

Улаанбаатар (292), Тосонцэнгэл (225) станцуудын статистик үзүүлэлтүүдийг гаргаж бусад загварын үр дүнгүүдтэй харьцуулав (**Зураг 85**).



б)



Зураг 85. Агаарын хамгийн их, бага температурын а), б) Улаанбаатар, в), г)Тосонцэнгэл станц дээрх загваруудын үр дүнгүүдийн харьцуулалт

Зургуудаас харахад Улаанбаатар хотын хувьд агаарын хамгийн бага температур сургалт, туршилтын аль ч үед бусад загваруудаас бага алдаатай байна. Харин хамгийн их температур болон Тосонцэнгэл станцын хувьд бусадтайгаа бараг ижил байна.

Салхины хурд, дундаж их хурдыг прогнолох

III үр дүнд салхины өдөр, шөнийн дундаж их хурдны прогнозыг MM5 загварын үр дүнгээр ЗГС аргыг ашиглан 130 станцаар 144 цаг хүртлэх хугацаагаар тооцоолохыг зорилоо. Судалгааны ажлын талбарыг 2 дугаар зурагт үзүүлэв.

Салхины прогнозын потенциал предикторын санг боломжит нийт 53 предиктороор бүрдүүлэв.

Эхний ээлжинд MM5 загварын 3цаг тутмын прогноз хугацаанаас өдөр, шөнийн хугацааны хэд хэдэн цагийн мэдээг прогнозад ашиглахаар тооцоолов. Энэ сонголтыг хийхдээ салхины хурдны 2001-2011 оны бодит ажиглалтын мэдээг түүвэрлэн, шөнийн хугацааны 23, 02, 05, 08 цагийн дундаж салхины хурдыг шөнийн хамгийн их дундаж хурдтай, өдрийн хугацааны 11, 14, 17, 20 цагийн дундаж салхины хурдыг өдрийн хугацааны хамгийн их дундаж хурдтай тус тус хамаарлыг бодож гаргасан. Хамаарлыг дараах хүснэгтээр харуулав (**Хүснэгт 23**).

Хүснэгт 23. Салхины 3 цаг тутмын дундаж хурд болон хамгийн их дундаж салхины хурд хоорондын хамаарал

Хугацаа (цаг)	Шөнийн хугацаа				Өдрийн хугацаа			
	23	2	5	8	11	14	17	20
Корреляци	0.63	0.65	0.64	0.69	0.54	0.7	0.72	0.54

Хүснэгтээс харвал корреляцийн коэффициент хамгийн өндөр байгаа нь шөнийн хугацаандаа өглөөний 08 цаг 0.69, өдрийн хугацаандаа 17 цаг 0.72 байна. Иймээс шөнийн хугацаанд 08 цагт, өдрийн хугацаанд 17 цагт хамгийн их дундаж хурд ажиглагдах магадлал өндөр гэж үзээд MM5 загвараас 144 хүртэлх хугацааны мэдээнээс дээрх хугацаануудыг сонгов.

Салхины прогнозын хувьд потенциал предикторын санг боломжит нийт 53 предиктороор бүрдүүлсэн **Хүснэгт 24**-т үзүүлэв.

Хүснэгт 24. Салхины прогнозын потенциал предикторын сан

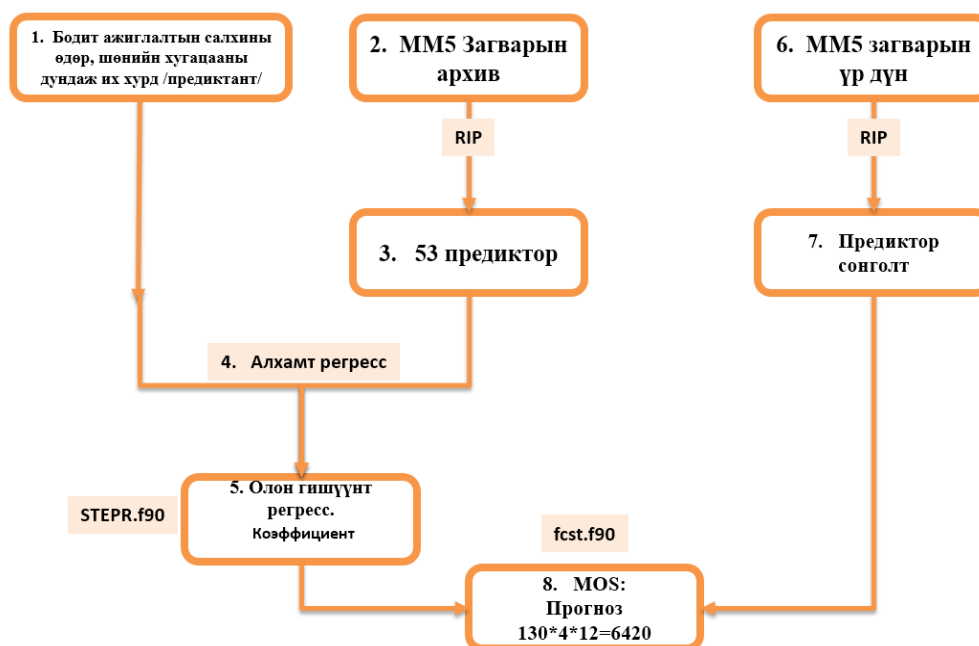
Д(д)	Бүтээгдэхүүний нэр	Үе давхрага	Тэмдэглэгээ
1	Horizontal wind (x-comp)	Surface	uuu
2	Horizontal wind (x-comp)	850гПа	uuu
3	Horizontal wind (x-comp)	700гПа	uuu
4	Horizontal wind (x-comp)	500гПа	uuu
5	Horizontal wind (y-comp)	Surface	vvv
6	Horizontal wind (y-comp)	850гПа	vvv
7	Horizontal wind (y-comp)	700гПа	vvv
8	Horizontal wind (y-comp)	500гПа	vvv
9	wind speed	Surface	wsp
10	wind speed	850гПа	wsp
11	wind speed	700гПа	wsp
12	wind speed	500гПа	wsp

13	Relative humidity	Surface	rhu
14	Relative humidity	850rPa	rhu
15	Relative humidity	700rPa	rhu
16	Relative humidity	500rPa	rhu
17	Temperature (2m)	Surface	tsfc
18	Temperature	850rPa	tmc
19	Temperature	700rPa	tmc
20	Temperature	500rPa	tmc
21	Vertical velocity	Surface	www
22	Vertical velocity	850rPa	www
23	Vertical velocity	700rPa	www
24	Vertical velocity	500rPa	www
25	Explicit precip 3h		rexpsh3
26	Cumulus precip 3h		Rcum3h
27	Snow mixing ratio	Surface	qsn
28	Snow mixing ratio	850rPa	qsn
29	Snow mixing ratio	700rPa	qsn
30	Snow mixing ratio	500rPa	qsn
31	Rain water mixing ratio	Surface	qra
32	Rain water mixing ratio	850rPa	qra
33	Rain water mixing ratio	700rPa	qra
34	Rain water mixing ratio	500rPa	qra
35	Cloud water mixing ratio	Surface	qcw
36	Cloud water mixing ratio	850rPa	qcw
37	Cloud water mixing ratio	700rPa	qcw
38	Cloud water mixing ratio	500rPa	qcw
39	Ground(sea –surface temperature	Surface	tgc
40	Total precip3h		rtot3h
41	PBL height		pblh
42	Water vapor mixing ratio	Surface	qvp
43	Water vapor mixing ratio	850rPa	qvp
44	Water vapor mixing ratio	700rPa	qvp
45	Water vapor mixing ratio	500rPa	qvp
46	10 meter U component	10m	u10
47	10 meter V component	10m	v10
48	Geopotential height above ground	850rPa	ght
49	Geopotential height above ground	700rPa	ght
50	Geopotential height above ground	500rPa	ght
51	Soli temperature	Layer1	Soil1
52	Soli temperature	Layer2	Soil2
53	850rPa-н салхины хурдны 4 хугацааны хамгийн их хурд (өдөр,		

	шөнийн 4 хугацаа)		
--	-------------------	--	--

Нийт 53 предиктороос хамгийн ихдээ 9 предиктор байхаар алхамт регресс ашиглан 130 станцаар, улирал бүрээр, өдөр шөнийн хугацаагаар нь предиктор сонголтоо хийж коэффициентоо босгож авсан.

Салхины өдөр, шөнийн дундаж их хурдны прогнозын 130 станцаар гаргах алгоритмыг дараах зурагт харуулав (Зураг 86).



Зураг 86. Өдөр, шөнийн салхины их хурдыг 130 станцаар урьдчилан мэдээлэх алгоритм

1-Бодит ажиглалтын өдөр, шөнийн хугацааны дундаж их хурд. 2011 оны 3 сараас 2013 оны 2 сар хүртлэх мэдээг татаж авах.

2-ММ5 загвар нь 2012 оны 10 сараас 144 цагаар прогнозлодог болсон учир 2011 оны 3 сараас 2012 оны 10 сар хүртэл 144 цаг болгон нөхөж бодуулан, сургалтын цувааны 2011 оны 3 сараас 2013 оны 2 сар хүртлэх 2 жилийн архив бүрдүүлнэ.

3-ММ5 загвар нь маш олон тооны бүтээгдэхүүнүүдтэй үүнээс боломжит 53 предиктороор потенциал предикторын сан бүрдүүлнэ (RIP-ээр хөрвүүлж авна).

4-Потенциал предикторын сангаас алхамт регрессээр хамгийн ихдээ 9 предиктор байхаар улирал бүрээр, өдөр шөнөөр нь предиктор сонголтыг хийнэ.

5-Олон гишүүнт регрессээр коэффициентоо босгож авна.

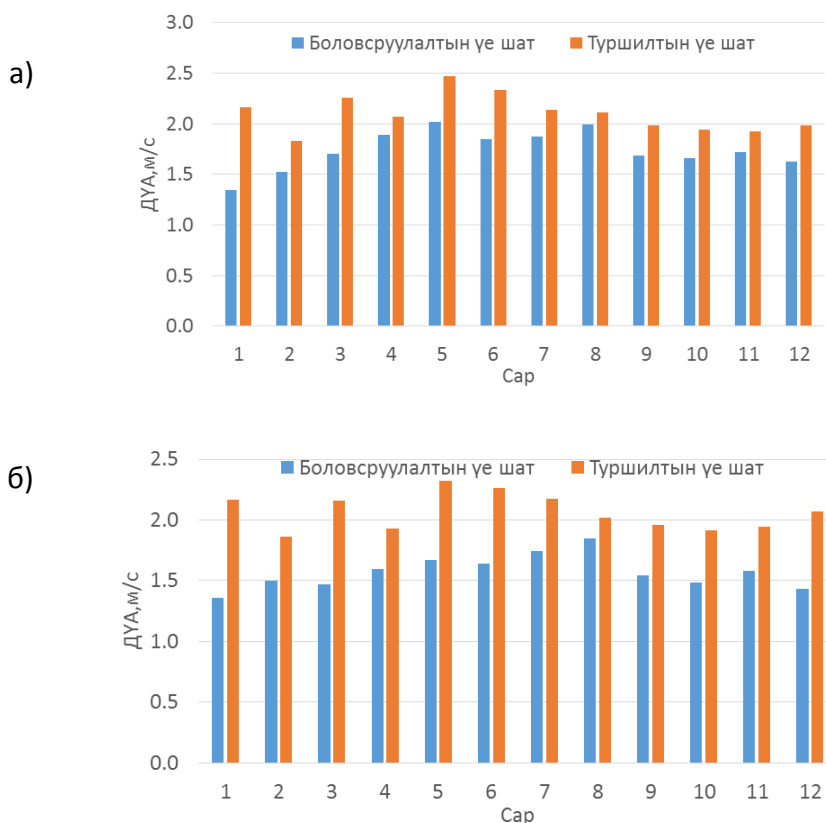
6- Туршилтын цувааны 2013 оны 3 сараас 2014 оны 2 сар хүртлэх 1 жилийн мэдээний архив бүрдүүлнэ.

7-Предикторуудаа улирал бүрээр, өдөр, шөнийн хамгийн их салхи бүрээр RIP-ээр хөрвүүлж авна.

8- Салхины өдөр, шөнийн хугацааны дундаж их хурдны прогнозыг ЗГС арга ашиглан гаргах.

Цаг уурын 130 станцын өдөр, шөнийн дундаж их хурдыг 5 хоногоор урьдчилан тооцоолох туршилтыг явуулав. Сургалтын цуваандаа 2011 оны 3 сараас 2013 оны 3 сар хүртэл 2 жилийн, туршилтын цуваанд 2013 оны 3 сараас 2014 оны 3 сар хүртэл 1 жилийн ММ5 загварын үр дүн болон бодит ажиглалтын өдөр, шөнийн салхины дундаж их хурдыг авч ашиглав. Сургалтын цуваанаас 130 станцаар, 4 улирлаар, өдөр, шөнөөр, 5 хоногоор гэж тооцон нийт 6420 коэффициентийг босгож авсан. Коэффициентийг олон гишүүнд регрессээр тооцоолсон.

Сургалт болон туршилтийн үеийн 130 хот суурингийн, прогнозын 5 хоногийн болон 1 хоногийн статистик үзүүлэлтүүдийн харьцуулалтыг **Зураг 87**-т үзүүлэв. Зургаас харахад ДҮА 1 хоногийн утгаар төдийгүй 5 хоногийн дунджаар 3м/с-ээс бага байна. Мөн туршилтийн шатанд алдаа тодорхой хэмжээгээр нэмэгдэж байгаа ба улирал, сараас хамаарсан тодорхой зүй тогтол байхгүй байна.



Зураг 87. Сургалт болон туршилтийн үеийн 130 хот суурингийн, прогнозын 5 хоногийн а) болон 1 хоногийн б) статистик үзүүлэлтүүдийн харьцуулалтыг

Туршилтыг 1 жилийн мэдээн дээр явуулж үр дүнг 130 станцаар гаргасан бөгөөд төлөөлөл болгон Улаанбаатар (292), Алтай (277) станцуудын статистик үзүүлэлтүүдийг жилээр нь гаргав.

Хүснэгт 25. Өдөр, шөнийн салхины дундаж их хурдны ДА, ДҮА, ДКА. а) 292 б) 277

Сар	Дундаж алдаа		Үнэмлэхүй алдаа		Дундаж квадрат алдаа	
	Сургалт	Туршилт	Сургалт	Туршилт	Сургалт	Туршилт
292 станцын шөнийн хугацаа						
4	0.039	0.274	0.964	0.980	1.248	1.288
5	0.016	-0.155	0.972	1.011	1.277	1.533
6	-0.120	-0.532	0.739	1.401	1.002	2.055

7	0.031	-0.479	0.631	1.680	0.825	1.940
8	0.011	-1.145	0.604	1.467	0.804	1.823
9	0.051	-1.468	0.619	1.624	0.818	2.145
10	0.103	-1.771	0.654	1.876	0.877	2.168
11	-0.139	-0.434	0.844	0.959	1.056	1.232
12	0.010	-0.817	0.646	1.168	0.858	1.448
1	0.072	-0.992	0.643	1.322	0.910	1.696
2	-0.041	-1.021	0.604	1.143	0.785	1.527
3	-0.078	-1.389	0.910	1.533	1.134	1.981
292 станцын өдрийн хугацаа						
4	-0.050	0.438	0.726	1.122	0.929	1.485
5	-0.012	0.294	1.043	1.823	1.433	2.686
6	0.056	-0.235	0.964	1.469	1.210	1.840
7	-0.035	-0.997	0.856	1.858	1.057	2.500
8	0.083	-1.143	0.860	1.393	1.162	1.668
9	-0.125	-1.165	0.692	1.718	1.051	2.677
10	0.052	-1.021	0.714	1.217	0.909	1.496
11	0.039	-0.707	0.748	1.012	0.915	1.285
12	0.006	-0.646	0.678	0.940	0.839	1.243
1	0.129	-0.714	0.665	1.028	0.778	1.333
2	-0.092	-0.891	0.653	1.050	0.852	1.282
3	-0.005	-1.000	0.801	1.110	1.003	1.436

Сар	Дундаж алдаа		Үнэмлэхүй алдаа		Дундаж квадрат алдаа	
	Сургалт	Туршилт	Сургалт	Туршилт	Сургалт	Туршилт
277 станцын шөнийн хугацаа						
4	-0.198	0.926	1.758	2.077	2.166	2.833
5	-0.004	-1.324	1.569	2.818	1.932	3.577
6	0.472	-0.411	1.719	2.477	2.434	3.766
7	-0.256	0.175	1.780	2.504	2.323	3.237
8	0.432	0.837	1.806	2.090	2.397	3.162
9	-0.096	-0.388	1.834	2.349	2.548	3.392
10	-0.046	-0.961	1.873	1.968	2.366	2.711
11	-0.235	0.167	1.686	1.746	2.016	2.141
12	-0.216	-1.109	2.191	1.709	2.770	2.102
1	0.027	-0.835	1.748	1.985	2.128	2.613
2	0.407	-0.363	1.825	1.741	2.227	2.219
3	0.243	-1.010	1.852	1.898	2.413	2.456
277 станцын өдрийн хугацаа						
4	0.033	0.933	1.686	2.147	2.100	2.490
5	0.021	-1.415	1.864	2.697	2.306	3.349
6	-0.004	-0.240	1.944	2.538	2.497	3.364
7	0.176	-0.196	1.707	2.512	2.101	3.060

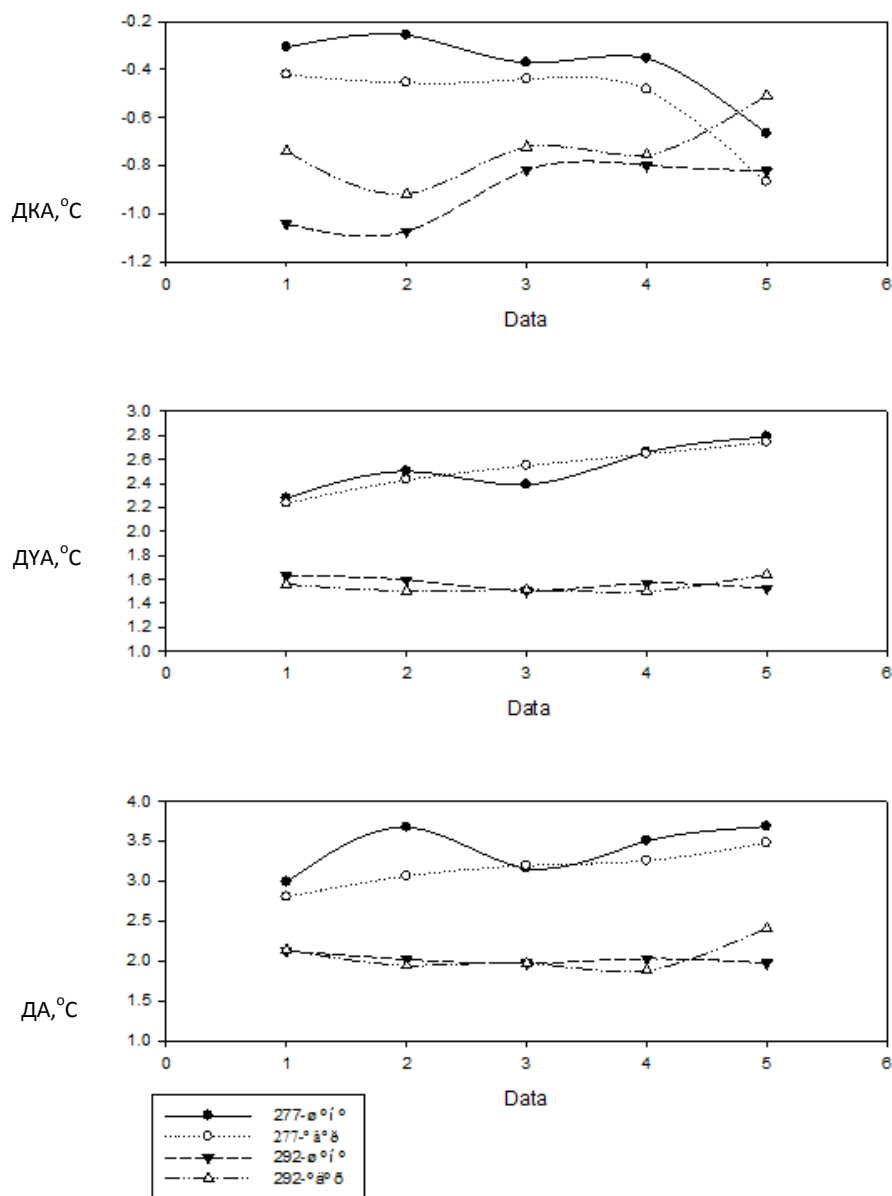
8	0.043	0.759	1.722	1.998	2.114	2.398
9	-0.097	-0.548	1.490	1.982	2.003	2.556
10	0.024	-0.550	1.449	2.091	1.849	2.939
11	0.109	-0.207	2.241	1.600	2.802	2.029
12	0.373	-1.186	1.734	1.831	2.112	2.238
1	-0.275	-1.822	2.033	2.471	2.597	3.040
2	0.219	0.053	1.612	1.709	2.215	2.153
3	0.170	-0.931	1.653	1.814	2.145	2.294

Хүснэгтээс харвал аль ч станцын хувьд туршилтын цуваа нь сургалтын цуваанаасаа алдаа нь ихэссэн байна. ДА-ны хувьд загвар салхины хурдыг прогнолохдоо бодит ажиглалтаасаа бага прогнозлодог байна.

Мэдээ дүгнэх заавар журмаар салхины прогноз болон бодит ажиглалт 2-ын зөрөө нь 3 м/с-ээс бага бол 100%, 4, 5 м/с бол 50%, 6 м/с-ээс их бол 0 гэж дүгнэдэг. Аль ч станцын хувьд бүх сарууддаа үнэмлэхүй алдаа нь 3м(с-ээс бага байна. Энэ нь сайн үзүүлэлт юм. а) 292 станцын хувьд салхины дундаж хурд багатай станц учир ДҮА, ДКА нь 3м(с-ээс бага алдаа харьцангуй бага байгаа бол, б) 277 станцын хувьд салхины хурд их ажиглагддаг станц дээр алдаа их байна. ДКА нь шөнийн хугацаандаа 5-9 саруудад, өдрийн хугацаандаа 5-7 саруудад бусад саруудаас алдаа их 3м/с-аас дээш байгаа нь харагдаж байна.

Цаг уурын 292, 277 индекстэй станцуудын салхины дундаж их хурдны прогнозын ДА, ДҮА, ДКА-г 5 хоногоор нь **Зураг 88**-д үзүүлэв.

Зургаас харвал аль ч хугацаандаа загвар бодит утгаасаа бага утга өгч байгааг ДА-аас нь харж болж байна. ДҮА-г нь авч үзвэл 292 станцын хувьд 1,8-аас бага 5 хоногийн хугацаандаа алдаа нь жигд байгаа бол 277 станцын хувьд 2,8-аас бага, өдөр шөнийн хугацаандаа алдаа нь ойролцоо, харин прогноз хугацаа холдох тусам алдаа нь ихсэж байгаа нь харагдаж байна. Алдаа нь 3-аас бага байгаа нь сайн үзүүлэлт юм. ДКА-г нь авч үзвэл хугацаа холдох тусам алдаа нь ихсэж, 292 станц 2.5-аас доош байгаа бол 277 станцын хувьд 2.5-4м/с-ын хооронд байна.



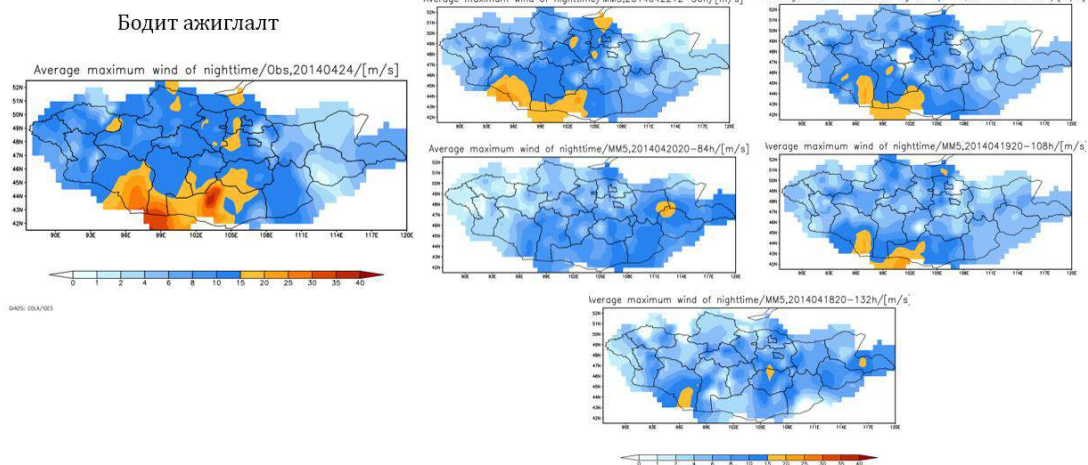
Зураг 88. Салхины өдөр, шөнийн дундаж их хурдны ДА, ДҮА, ДКА-г 5 хоногоор. (292, 277)

Жилийн цувааны туршилтын статистик үзүүлэлт нь боломжийн сайн гарч байна. Гэхдээ онц аюултай хүчтэй салхи ажиглагдсан үед загвар хамгийн их дундаж хурдыг хэрхэн прогнозлож байгааг аюултай үзэгдэл болсон 1 процесс дээр авч үзэв.

2014 оны 4 сарын 22-24-нд ихэнх нутгаар хүчтэй салхи, цасан болон шороон шуурганы АҮ, Алтайн салбар уулсаар хүчтэй салхины ГҮ болсон бөгөөд 23-нд Говь-Алтай Дарви, Баян-Өлгий Өлгий, Говь-Алтай Бугат, Шарга, Бигэр, Ажбогд, Тоорой, Баянхонгор Эхийнголд салхи 20-28 м/с хүртэл ширүүссэн байна. 24-нд Өмнөговь Сайханд салхины хурд 34 м/с хүртэл ширүүссэн. Энэ АҮ, ГҮ-ийг загвар 5 хоногийн өмнөөс хэрхэн тооцоолж байгааг 130 станцын тархалтаар **Зураг 89-т** үзүүлэв.

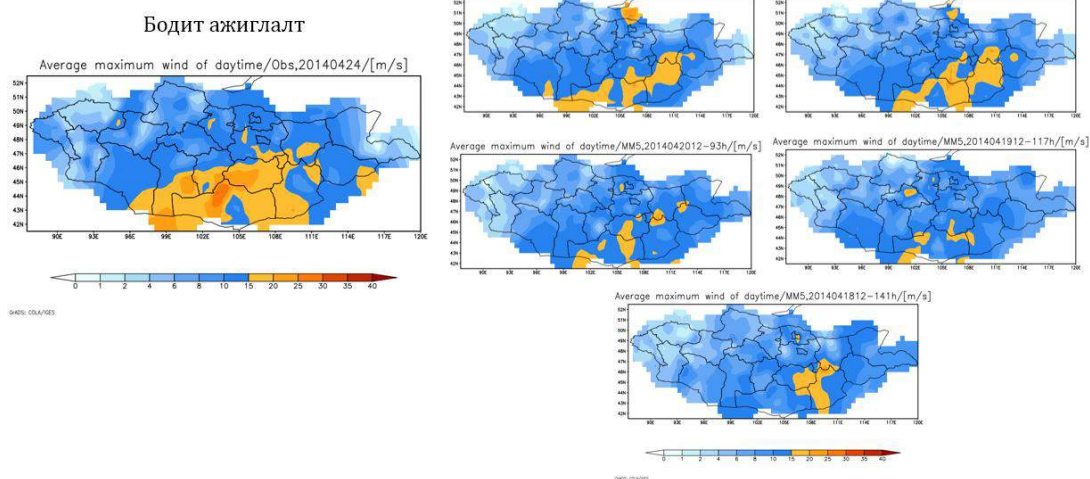
2014 оны 4 сарын 24-ний шөнийн хугацааны дундаж их салхи [м/с]

MM5 загвар



2014 оны 4 сарын 24-ний өдрийн хугацааны дундаж их салхи [м/с]

MM5 загвар



Зураг 89. 2014 оны 4 сарын 24 өдөр шөнийн хугацааны дундаж их хурдыг загвараар 5 хоногийн өмнөөс 130 станцаар прогнозлосон байдал

Хур тунадасыг прогнозлох

Хур тунадас нь цаг уурын тасралттай хэмжигдхүүн хэдий ч цаг агаарын прогнозын судалгааг практикт MOS ашигласан тохиолдол нэлээд элбэг байдаг тул манай нөхцөлд болох энэхүү аргаар судлахыг зорилоо.

Судалгаанд өдөр, шөнийн хугацааны хур тунадасны нийлбэрийг MM5 загварын үр дүнгээр ЗГС аргыг ашиглан 130 станцаар 144 цаг хүртлэх хугацаагаар тооцоолохыг зорилоо. Судалгааны ажлын талбарыг **Зураг 2**-т үзүүлэв.

Эхний ээлжинд MM5 загварын 3 цаг тутмын прогноз хугацааны цаг уурын үзүүлэлтүүдийн аль хугацааных нь өдөр, шөнийн хугацааны хур тунадасны нийлбэртэй хамгийн өндөр хамааралтайг тогтоов. Өөрөөр хэлбэл MM5 загварын үр дүнгийн хэд, хэдэн цагийн мэдээг предиктороор ашиглахаар тооцоолов. Үүний тулд шөнийн хугацааны 23, 02, 05, 08 цагийн 3 цаг тутмын 850гПа-гийн харьцангуй чийшглийн

утгуудыг шөнийн хур тунадасны нийлбэртэй, өдрийн хугацааны 11, 14, 17, 20 цагийн 850гПа -гийн харьцангуй чийшглийн утгуудыг өдрийн хугацааны хур тунадасны нийлбэртэй тус тус хамаарлыг тооцоолж үзэхэд шөнийн хугацааны хур тунадас орой 23цагийн 850гПа-гийн харьцангуй чийшгилтэй, өдрийн хугацааны хур тунадас өдрийн 14 цагийн 850гПа-гийн харьцангуй чийгшилтэй хамгийн өндөр хамааралтай гарсан тул тухайн хугацааны загварын үр дүнгүүдийг предиктороор сонгов.

Хур тунадасны прогнозын потенциал предикторын санг боломжит нийт 68 предиктороор бүрдүүлэв (**Хүснэгт 26**).

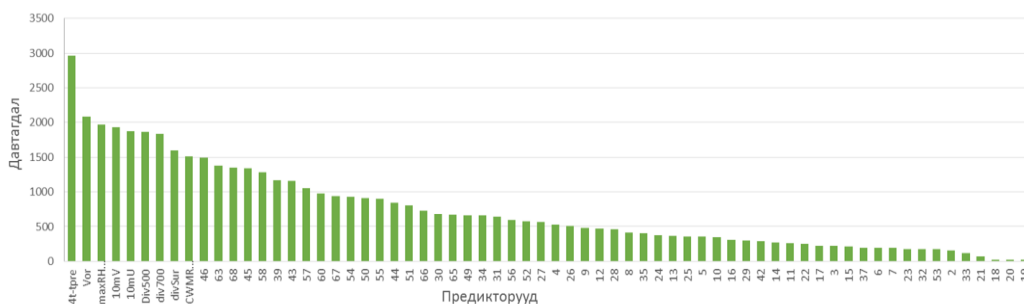
Хүснэгт 26. Хур тунадасны потенциал предикторын сан

Д(д)	Бүтээгдэхүүний нэр	Үе давхрага	Тэмдэглэгээ
1	Horizontal wind (x-comp)	Surface	uuu
2	Horizontal wind (x-comp)	850гПа	uuu
3	Horizontal wind (x-comp)	700гПа	uuu
4	Horizontal wind (x-comp)	500гПа	uuu
5	Horizontal wind (y-comp)	Surface	vvv
6	Horizontal wind (y-comp)	850гПа	vvv
7	Horizontal wind (y-comp)	700гПа	vvv
8	Horizontal wind (y-comp)	500гПа	vvv
9	wind speed	Surface	wsp
10	wind speed	850гПа	wsp
11	wind speed	700гПа	wsp
12	wind speed	500гПа	wsp
13	Relative humidity	Surface	rhu
14	Relative humidity	850гПа	rhu
15	Relative humidity	700гПа	rhu
16	Relative humidity	500гПа	rhu
17	Temperature (2m)	Surface	tsfc
18	Temperature	850гПа	tmc
19	Temperature	700гПа	tmc
20	Temperature	500гПа	tmc
21	Vertical velocity	Surface	www
22	Vertical velocity	850гПа	www
23	Vertical velocity	700гПа	www
24	Vertical velocity	500гПа	www
25	Explicit precip 3h		rexpsh3
26	Cumulus precip 3h		Rcum3h
27	Snow mixing ratio	Surface	qsn
28	Snow mixing ratio	850гПа	qsn
29	Snow mixing ratio	700гПа	qsn
30	Snow mixing ratio	500гПа	qsn
31	Rain water mixing ratio	Surface	qra

32	Rain water mixing ratio	850rПа	qra
33	Rain water mixing ratio	700rПа	qra
34	Rain water mixing ratio	500rПа	qra
35	Cloud water mixing ratio	Surface	qcw
36	Cloud water mixing ratio	850rПа	qcw
37	Cloud water mixing ratio	700rПа	qcw
38	Cloud water mixing ratio	500rПа	qcw
39	Ground(sea –surface temperature	Surface	tgc
40	Total precip3h		rtot3h
41	PBL height		pblh
42	Water vapor mixing ratio	Surface	qvp
43	Water vapor mixing ratio	850rПа	qvp
44	Water vapor mixing ratio	700rПа	qvp
45	Water vapor mixing ratio	500rПа	qvp
46	10 meter U component	10m	u10
47	10 meter V component	10m	v10
48	Geopotential height above ground	1000rПа	ght
49	Geopotential height above ground	850rПа	ght
50	Geopotential height above ground	700rПа	ght
51	Geopotential height above ground	500rПа	ght
52	Soli temperature	Layer1	Soil1
53	Soli temperature	Layer2	Soil2
54	Dew point temperature	Surface	tdp
55	Dew point temperature	850rПа	tdp
56	Dew point temperature	700rПа	tdp
57	Dew point temperature	500rПа	tdp
58	Divergence	Surface	div
59	Divergence	850rПа	div
60	Divergence	700rПа	div
61	Divergence	500rПа	div
62	Precipitable water, mm.		pcpw
63	Relative vorticity		vor
64	Potential temperature, K	Surface	the
65	Potential temperature, K	850rПа	the
66	Potential temperature, K	700rПа	the
67	Potential temperature, K	500rПа	the
68	850rПа-ийн харьцангуй чийгийн 4 хугацааны хамгийн их утгыг түүх	850rПа	

Дээрх потенциал предикторуудаас алхамт регрессийн арга ашиглан 130 хот, суурин бүрээр, улирал бүрээр, прогнозын хугацаа бүрээр хамгийн мэдээлэл сайтай предикторын сонголтыг хийсэн. Сонгогдсон предикторын давтагдлын дүнгээс харахад

хуйлрал, тухайн хугацааны хамгийн их харьцангуй чийгшил, 10м-ийн түвшний салхины хурдны байгуулагчууд 500, 700гПа түвшний дивергенци зэрэг параметрууд хамгийн мэдээлэл сайтай предикторууд болох нь харагдаж байна (**Зураг 90**).



Зураг 90. Предикторын давтагдал

Туршилтийг хоёр хувилбараар хийсэн. Эхний хувилбар нь ММ5 динамик загварын хур тунадасны бүтээгдхүүнийг предиктороор заавал сонгох, хоёрдугаар хувилбар нь сонгохгүй байж болох гэсэн нөхцөлтэй. Хувилбар тус бүр дээр станц бүрээр, улирал бүрээр, прогнозын хугацаа бүрээр, өдөр, шөнийн хур тунадас бүрээр олон гишүүнт регрессийн тэгшитгэл босгож, туршилтийн хугацаанд туршсан.

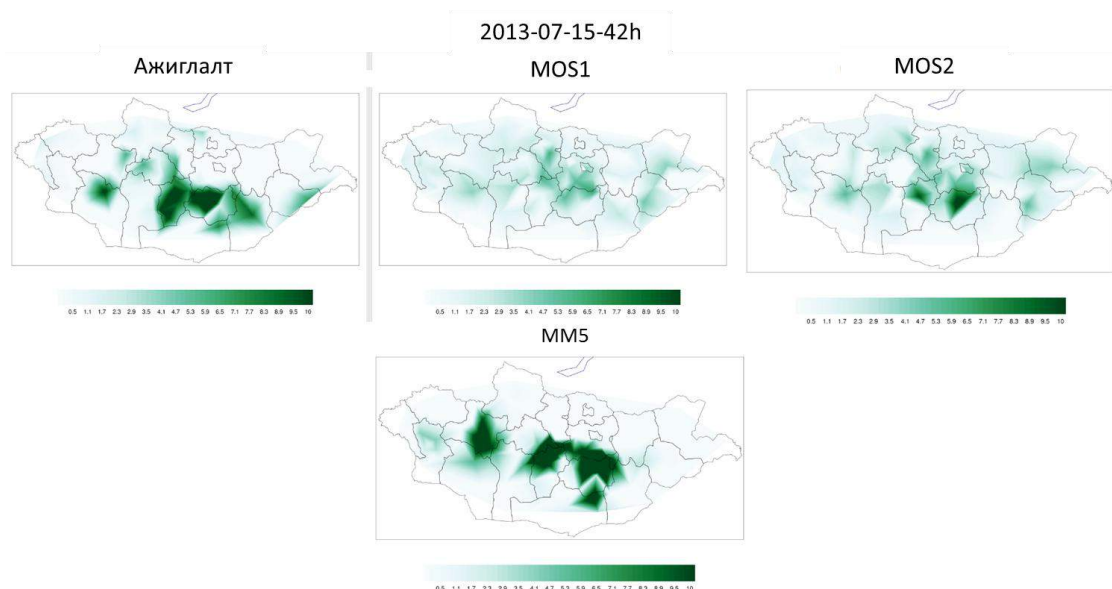
Туршилтийн үр дүнгийн статистикуудийг **Хүснэгт 27**-д үзүүлэв. Статистик үзүүлэлтүүдийг гаргахын өмнө хур тунадасаа хэмжээгээр нь дулааны улирал, сэрүүний улиралд ангилсан болно. 12-р хүснэгтийн эхний багананд сэрүүний улирлынхийг, хамгийн сүүлийн багананд дулааны улирлын анилалыг үзүүлэв. Хүснэгтээс харахад боловсруулалт, туршилтийн шатны статистик үзүүлэлтүүд бараг хоорондоо ялгаагүй, 1 – р хувилбарын хувьд туршилийн шатанд зөв прогнозын хувь 0,1-ээр нэмэгдсэн боловч хуурамч түгшүүр 0.2-оор нэмэгдсэн байна. Хур тунадасны ангилалын хувьд хэмжээ нэмэгдэхэд зөв прогнозын хувь нэмэгдэж хуурамч түгшүүр багасаж байгаа ч, оньч буурч байгаа нь сайгүй үзүүлэлт юм. 2-р хувилбар буюу загварын хур тунадасны бүтээгдхүүнийг предиктороор заавал сонгосон үед дунд зэргийн хэмжээтэй борооны хувьд статистик үзүүлэлтүүд 1-р хувилбараас бага зэрэг сайжирч байна.

Эдгээр ерөнхий статистик үзүүлэлтээс гадна хур тунадасны тархалт, хэмжээг аргаар хэрхэн тооцож буйг тухайн тохиолдолд буюу 2013 оны 7-р сарын 15-ны 2 хоногийн хур тунадасны прогноз дээр шалгаж үзэв (**Зураг 91**).

Хүснэгт 27. Хур тунадасны прогнозын статистикууд

	Боловсруулалт				Туршилт				
	PC	FAR	POD	TS	PC	FAR	POD	TS	
хувилбар 1									
0.0-0.2	0.59	0.93	0.36	0.06	0.60	0.95	0.34	0.05	0.0-0.3
0.2-4.0	0.77	0.83	0.57	0.15	0.76	0.85	0.55	0.13	0.3-5.0
4<	0.98	0.80	0.09	0.07	0.98	0.84	0.07	0.05	5<
хувилбар 2									
0.0-0.2	0.59	0.93	0.37	0.06	0.59	0.95	0.34	0.05	0.0-0.3
0.2-4.0	0.78	0.81	0.58	0.17	0.77	0.84	0.57	0.14	0.3-5.0
4<	0.98	0.74	0.10	0.08	0.98	0.80	0.08	0.06	5<

Тайлбар: PC-percent of correct forecast буюу зөв прогнозын хувь, FAR-false alarm rate буюу хуурамч түгшүүр, POD-probability of detection буюу онч, TS-threat score



Зураг 91. 2013 оны 07 сарын 17-ны өдрийн хугацааны хур тунадасыг MOS аргын 1,2-р хувилбар болон MM5 загвараар тооцоолсон байдал

Зургаас харахад MOS-ийн 1-р хувилбар хур тунадасны хэмжээг маш багаар тооцоолж, тархалтыг мөн сайн илэрхийлээгүй байна. MOS-ийн 2-р хувилбар хур тунадасны хэмжээг арай нэмэгдүүлсэн хэдий ч бодит ажиглалтаас нэлээд бага хэвээр байна. Энэ хоёр хувилбартай харьцуулахад MM5 загварын шууд үр дүн илүү хэмжээний хувьд ч тархалтын хувьд ч ажиглалттай ойролцоо байна. Энэ нь MOS аргууд хур тунадасны прогнозыг сайжруулж чадахгүй байна.

Дүгнэлт

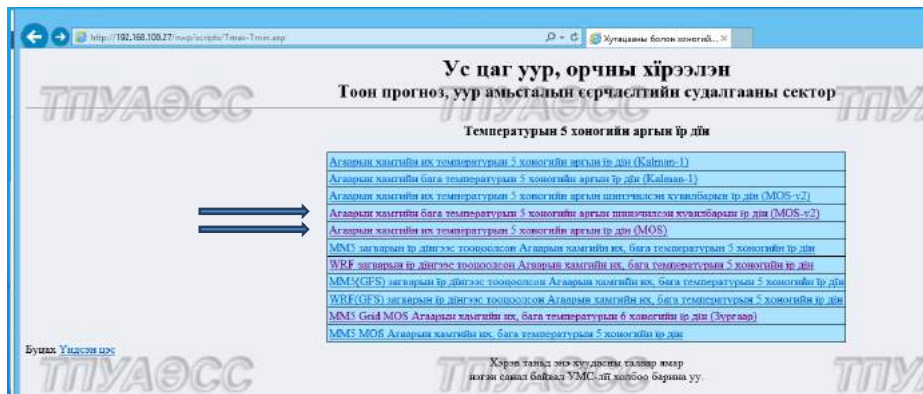
Судалгааны ажлын зорилго нь одоогоор ажиллаж буй бэсрэг маштабын MM5 загварын үр дүнд статистик тайлал хийж агаарын прогнозын гол үзүүлэлт болох агаарын хамгийн их, бага температур, салхины хурд, хур тунадасны прогнозыг 5 хүртэлх хоногоор 9км-ийн гридын цэг болон 130 хот суурингаар гаргах боломжийг судлах явдал байв. Судалгааны ажлын үр дүнд үндэслэн дараах дүгнэлтийг хийж байна. Үүнд:

- Мэдээний олдоц болон судалгааны үр дүнгээс харахад агаарын хамгийн их, бага температурыг гридийн цэгүүдээр болон 130 хот, суурингаар тооцоолж прогнолох боломжтой.
- Гридийн цэгээр гаргасан агаарын хамгийн их, бага температурын 5 хоногийн прогноз орон зайн хувьд нарийвчлал өндөр намар, өвлийн улиралд харьцангуй алдаа багатай байна.
- Мөн энэхүү прогноз мэдээ нь цаашид хэрэглэгчдийн хүссэн цэг дээр тооцоолол хийх системийн суурь болох боломжтой тул цаашлаад цаг агаарын мэдээллийг ТВ-гээр хүргэхэд туслах зурган мэдээллэл болох ач холбогдолтой. Цаашид хавар зуны улирлын системийн алдааг засварлах боломжийг судлах шаардлагатай.
- 130 хот, суурингийн хамгийн их бага, температур, өдөр, шөнийн хугацааны салхины дундаж их хурдны аргуудыг өнөөгийн түвшинд үйлдвэрлэлд ашиглагдаж буй аргуудын 1 хэлбэрээр үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэх хэрэгтэй.
- Харин хур тунадасны MOS арга нь MM5 загварын шууд үр дүнг сайжруулж чадахгүй байгаа тул цаашид сайжруулах, үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэх боломжгүй гэж үзэж байна.

Үйлдвэрлэлийн туршилт

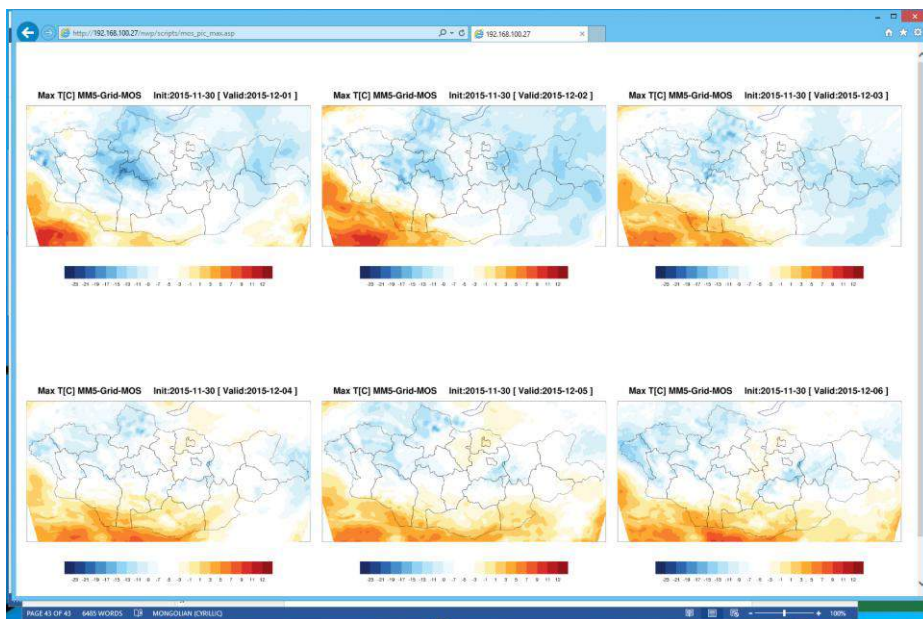
Судалгааны ажлын үр дүнгүүдийг 2015 оны 9 дүгээр сарын 1-нээс үйлдвэрлэлд туршиж эхлэв. **Зураг 92**-т төв орон нутгийн мэдээллийн гол серверт тавигдсан байдалыг үзүүлэв.

Зураг 93-т 2015 оны 11-р сарын 30-ны өдрийн Монгол орныг хамарсан 36179 грид цэг дээрх агаарын хамгийн их, бага температурын 5 хүртэлх хоногийн прогнозын зураглалыг жишээ болгон үзүүлэв. **Зураг 94-95**-д 130 хот, суурингийн агаарын хамгийн их, бага температур, салхины хурдны 5 хүртэлх хоногийн прогнозыг тус тус үзүүлэв.

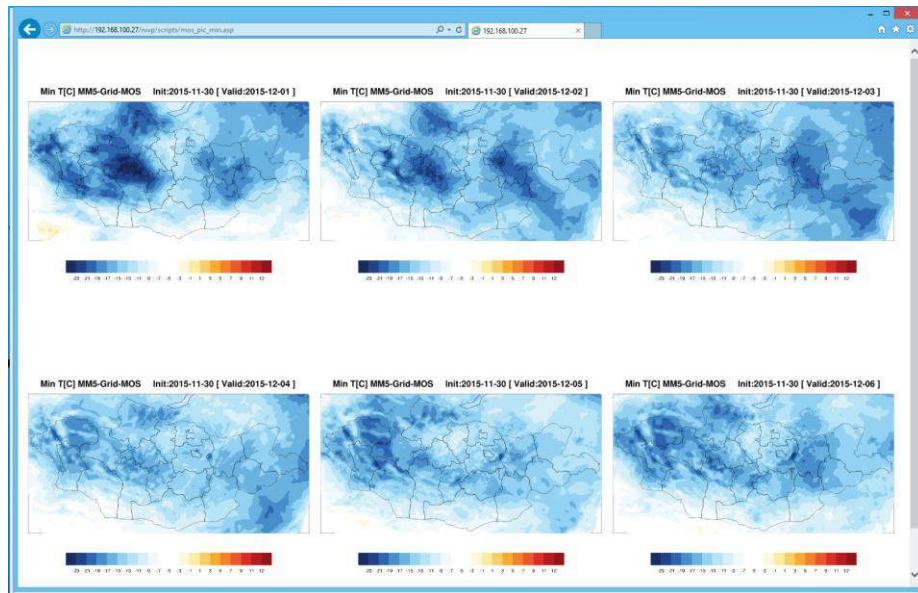


92-р зураг. Дотоодын веб дээр тавигдсан байдал

a)



б)



Зураг 93. Грид цэг дээрх агаарын а) хамгийн их, б) бага температурын 5 хүртэлх хоногийн прогнозын зураглал /2015 оны 11 дүгээр сарын 30-ны 12 цагийн ММ5-ийн үр дүнгээр/

Ус цаг уур, орчны хирээлэн
Урьдчилан мэдээлэх сектор

ММ5 - MOS

Агаарын хамгийн их, бага температурын 5 хоногийн прогнозын үр дүн

Эхсэлийн хугацаа T=2015-12-11

Stnname	Smal	TMin (1)	TMax (1)	TMin (2)	TMax (2)	TMin (3)	TMax (3)	TMin (4)	TMax (4)	TMin (5)	TMax (5)
Сэлгий	214	-15.1	-2.9	-17.5	-2.7	-13.1	-4.2	-11.4	-2	-9.8	-1.2
Ялалт	217	-18.5	-6	-19	-5	-14.3	-1.8	-14.2	-4.2	-12.2	-6.6
Дочинкал	263	-20.8	-10.2	-19.5	-11	-17.1	-8.8	-17.7	-9.4	-17.3	-7.7
Ногооннуур	210	-18.9	-7.8	-19.2	-4.4	-17.3	-4.5	-18	-6.7	-16.1	-7.2
Дэлин	261	-17	-8.1	-17	-3.2	-15.1	-3.2	-12.7	-3.2	-12.6	-1.5
Баяннуур	200	-20.7	-7.4	-21.9	-8.1	-20.5	-7.2	-16.9	-5.8	-16.4	-6.2
Улаангом	212	-13.2	-5.6	-14.2	-6.3	-15	-8.4	-15.2	-10.4	-19.1	-10.3
Баруунтуруун	213	-18.7	-8.4	-19.2	-7.8	-19.5	-10.6	-18.7	-10.3	-16.9	-12
Слаговь	215	-16	-5.6	-19	-9.6	-19.8	-5.6	-13.7	-7.8	-15.2	-6.5
Завхан	216	-14.7	-7.4	-18.1	-7.2	-18.4	-7.9	-18.1	-6.5	-17.1	-8.3
Гэгэ	211	-15.3	-9.5	-19.6	-8.9	-21.1	-11.8	-24.4	-14	-22.8	-14.1
Мэгчин	201	-19.5	-9.9	-19.1	-10.8	-22.4	-11.4	-20.1	-10.5	-19.2	-11.6
Еквэрдингай	191	-14.4	-8.1	-18.5	-8.6	-18.7	-8	-16.1	-8.6	-17.3	-7.6
Ховд	218	-14.1	-2.4	-16.4	-6.2	-17.4	-4.4	-15.8	-3.7	-14.7	-4.5
Зург	264	-12.6	-8.7	-15.2	-9.2	-13.6	-4.6	-15.3	-4.7	-12	-1.8
Мансайрхан	260	-14.4	1	-14.1	1.3	-12	-1	-12.1	1	-8.5	-1.5
Чандмань	269	-12.7	-6.6	-18.6	-8	-15	-5.6	-11.9	-2.7	-9.1	-2.6
Байгаль	265	-18.3	0.2	-14.4	0.6	-15.9	-1.8	-19.2	-1.9	-13.2	-3.7
Мөст	267	-14.4	-4	-12.4	-3	-12.7	-2.7	-13.5	-2	-10.4	-2.8
Машаан	361	-14.9	-4.3	-22.3	-9.2	-18.5	-7.7	-15.2	-3.7	-14.1	-3.3
Дунь-Ус	164	-16.3	-2.7	-15.7	-6.1	-14.3	-2.1	-13.5	-1.7	-12.9	-2.7
Цово	271	-16.5	-5.1	-15.2	-5.2	-15.4	-4.6	-16.8	-4.9	-12.4	-4.8
Улаанстай	272	-20.3	-9.8	-17.5	-6.4	-16.6	-4.8	-16.7	-6	-15	-3.9
Баянзүгэ	221	-21.6	-8.2	-21.4	-8.9	-20.2	-9.6	-16.6	-11.7	-20.4	-11.7
Цэцэн-Уул	224	-28.7	-11.1	-21.6	-8.4	-22.7	-7.8	-19.2	-7.5	-17.5	-6
Тосонцэнгэл	225	-24.7	-14.7	-22.9	-14.5	-23.1	-10.5	-19.2	-11.7	-25.3	-14.6
Дорнодхон	219	-16.7	-6.6	-13	-0.7	-13.1	-0.5	-20.2	-4.9	-18.2	-3.5
Наранг	220	-20.5	-12.9	-19.8	-14.5	-19	-9.4	-19.2	-12.2	-19	-12.7
Отгон	274	-31.5	-16.7	-45.2	-18.2	-28.7	-11.4	-21	-25.3	-20.2	-7.1
Завханмандал	227	-20.4	-2.5	-17.2	-1.9	-14.1	0	-26.3	-4.8	-15	-0.3
Алтай	277	-20.6	-11.3	-18.4	-9.4	-14.5	-3.9	-15.8	-3.3	-12.7	-3.4

Зураг 94. 130 хот, суурингийн агаарын хамгийн их, бага температурын 5 хүртэлх хоногийн прогнозын зураглал /2015 оны 11 дүгээр сарын 30-ны 12 цагийн ММ5-ийн үр дүнгээр/

Ус цаг уур, орчны хірээлэн
Урьдчилан мэдээлэх сектор
ММ5 - MOS
Салхины хамгийн их, бага хурды 5 хоногийн прогнозын үр дүн

Төвлөлийн хугацаа T=2015.12.2

Stname	Simd	Night (1)	Day (1)	Night (2)	Day (2)	Night (3)	Day (3)	TMin (4)	Day (4)	Night (5)	Day (5)
Сэлгий	214	1.9	4.7	1.7	4.6	4.8	4.5	9.3	8.4	5.4	6
Ялалт	217	-0.2	2.2	1	3.4	3.5	3.2	4.9	5.3	2.1	2.9
Дечинкал	263	1.8	1.6	0.6	1.5	1.1	0.4	2.4	2.3	1.7	2.9
Ногооноуур	210	0.3	1.7	0.2	1.7	1.5	1.3	2.8	2.5	1.8	1.2
Дехин	261	-0.3	0.6	1.3	1.5	1.3	1.6	2.2	4.8	3	2.2
Баянгуур	200	-0.2	-0.5	-0.2	-0.3	-0.4	0.5	-0.6	1.3	1.2	0
Улаангом	212	1.5	2	2.1	2.6	1.8	2.1	0.9	1.8	2.8	0.9
Баруунгууруу	213	0.7	0.8	0.9	0.3	0.9	0.8	1.2	0.6	0.4	0.2
Саяановь	215	-0.1	-0.5	0.4	1.3	0.8	2.2	-0.5	3.3	2	1.4
Завхан	216	1.9	3.4	2.4	2.1	2.2	3.1	1	2.2	0.4	2.7
Гэс	211	1.8	2.8	0.8	2.3	1.1	3.1	2.1	2.2	2.2	1.7
Мэгчин	201	1.2	0.5	1.3	2.2	0.8	2.5	1.9	2.2	1.5	2
Бадархалгай	191	1.2	0	0.2	0.5	0.5	0.6	3	0.7	4.1	3.4
Ховд	218	0.7	2.1	0.8	2.4	1.7	2.7	0.5	2.2	2.4	2
Зэргэ	264	1.4	1	2	1.5	2.6	2.4	3.9	0.2	5.3	2.1
Мөнхсайхан	260	1.2	2	2	3.1	2.2	4	6.2	5.7	4.3	3.9
Чандань	269	2.2	2.5	1.4	3.5	3.2	4.4	2.9	6.3	6	3.1
Байгш	265	0.2	0.8	0.6	1	0.7	-0.3	0.9	1.5	1.5	1
Мөст	267	1.5	2	1	1.8	3.7	3.7	4	6	4.2	3.3
Манхал	361	0.7	2.7	1.9	2.1	2.4	3.1	2.4	3.5	2.1	2.8
Дунд-Ус	364	0.9	3.4	1.5	4.2	2.6	3.7	1.7	3.4	3.4	2.3
Цэвэг	271	0	0.1	0.3	0.5	1.1	1.8	-0.1	7.9	0.6	1.6
Улаангай	272	1	1.7	0.6	0.8	1.2	1.1	0.6	1.5	0.8	0.8
Баянхус	221	0.9	0.7	1.3	1.4	1.4	0.7	1.8	1.5	2.1	1.9
Цэвэг-Ууц	224	-0.5	1.1	1	2.7	1.6	2.5	1.1	2.9	4.7	2.1
Тосоннигал	225	1.1	2.7	2.2	1.8	1	1.8	1	2	1.9	0.9
Дөрвөлжин	219	4.8	0.6	5.3	1.9	1.4	2.4	3.4	1.2	0.7	6
Нээрэг	220	1.4	3.3	0.8	0.4	1.7	1.6	1.9	1.7	2.8	1.4
Отгон	274	-0.7	-1.6	0.4	-2.1	-0.6	-0.2	-1	0.6	1.1	0.3
Завханонкал	227	3.4	1.3	3	2.3	1.9	3.1	2.7	3.5	2	3.8
Алгий	277	3.7	5.9	6.8	5.8	7.6	8.4	6.5	9	3.4	7

Зураг 95. 130 хот, суурингийн салхины хурдны 5 хүртэлх хоногийн прогноз /2015 оны 11 дүгээр сарын 30-ны 12 цагийн ММ5-ийн үр дүнгээр/

2.2 Сар, улирлын урьдчилсан мэдээ гаргах шинэ технологи

2.2.1 Статистик буулгалт арга (statistic downscaling)

Орчин үед дэлхийн хэмжээний масштабын агаар мандлын гидродинамик загварын физик параметрчлал, схем, нарийвчлал зэрэг нь улам боловсронгуй болж сайжирч байна. Мөн агаар мандлын хаус шинжийг тооцох үүднээс загварын анхны нөхцлийг хэлбэлзүүлэн өөрөөр хэлбэл түүний тоог олшруулан ажиллуулж ансамбль прогнозын гишүүнийг гаргаж тэдгээрийн дундаж байдлаар үр дүнг тооцоолох нь прогнозын таарцыг тодорхой хэмжээгээр нэмэгдүүлдэг. Түүнээс гадна ийм ансамбль прогнозын үр дүнг хэд хэдэн загваруудаар бодуулж дундажлах нь таарцыг мөн л тодорхой хэмжээгээр сайжруулдаг.

Гэсэн хэдий ч ансамбль загварын бүтээгдэхүүнүүдийг шууд авч ашиглах нь эх газрын эрс тэс, хуурай уур амьсгалтай, дундад өргөрөгт орших манай оронд учир дутагдалтай байна. Аливаа гидродинамик загвар ойролцооллын аргыг өөртөө агуулж байдаг тул прогнозын урьдчилал нь тодорхой алдаатай байдаг. Энэхүү алдааг арилгахын тулд дэлхийн ихэнх улс орнууд MOS (Model output statistics), PPM (Perfect prognosis model) концепцийг ашиглан статистик буулгалтыг хийдэг.

Энэхүү судалгаандаа бид MOS концепцийг хэрэглэн Монгол орны сарын температурын прогнозыг гаргахдаа Ази Номхон Далайн Эдийн Засгийн Корпорацийн (АПЕК цаашид гэх) Уур Амьсгалын Төвийн (APCC Climate Center, APCC) олон загварын ансамбль прогноз сарын температурын прогнозын грид үр дүнг предиктороор, манай орноор жигд тархсан 70 станцын температурыг предиктантаар тус тус ашиглав.

Ашигласан мэдээ

Тус судалгааны ажилд Монгол орны 70 станцын 1983-2005 оны сарын дундаж агаарын температур, NCEP-DOE тоон реанализ мэдээний олон түвшний өргөрөг уртрагийн 2.5x2.5 грид мэдээ ашиглав.

АПЕК нь уур амьсгалын төвүүд, хүрээлэн, их сургуулиудын динамик загваруудын сургалтын мэдээ (hindcast) прогноз өгөгдлүүдийг хүлээн авч эдгээр загваруудаар ансамбль бүтээгдэхүүн гаргадаг болно. Тус төвд 2015 оны байдлаар тус уур амьсгалын төв NCEP, NASA, POAMA, COLA, IRI/IRIF, GLOSEA5, CMCC, IAP, PNU, HMC, MGO, MSC_CanCM3/4, CWB, KMA, JMA, BCC –ын ерөнхий орчил урсгалын загваруудын мэдээнүүдэд боловсруулалт хийж CPM (Coupled Pattern Projection Method), SCM (Simple Composite Method), MRG (Multiple Regression Method), SSE (Synthetic Super Ensemble) гэсэн 4 прогноз бүтээгдэхүүн гаргаж байна.

Дээр дурьдсан ерөнхий орчил урсгалын загваруудын ихэнх нь www.cis.apcc21.net хуудсанд нээлттэй байдаг бөгөөд тус судалгааны ажилд АПЕК-ын CPM, SCM, MRG, SSE болон дор дурьдсан загваруудын (Хүснэгт 28) үнэлгээг хийж манай орны бүс нутагт хамгийн сайн таарцтай ерөнхий орчил урсгалын загварыг сонгон статистик буулгалтын аргаар сарын дундаж температурын аргыг боловсруулав. Загваруудыг үнэлэхдээ тус тусын загварын гишүүдийг дунджилж хамаарал тооцсон болно.

Хүснэгт 28. АПЕК-ын мэдээллийн санд байгаа загварын үр дүнгүүд

Улс	Байгууллага	Загвар	Ансамблийн тоо	Хугацааны цуваа	Сар
Австрали	Австралийн Цаг уурын алба	POAMA	33	1983-2011	1-11
Канад	Канадын цаг уурын алба	MSC_CanCM3, MSC_CanCM4	10	1982-2010	1-11
Хятад	Бээжингийн уур амьсгалын төв	BCC	8	1983-2008	2-8, 10
Англи	Английн цаг уурын алба	GLOSEA5	9	1996-2009	1, 7-11
Орос	Ус цаг уурын эрдэм шинжилгээний төв	HMC	10	1981-2010	1-12
Орос	Воєковын нэрэмжит геофизикийн хүрээлэн	MGO	6	1982-2002	1-11
Тайван	Тайваны цаг уурын төв	CWB	10	1982-2005	1-11
АНУ	Далай, эх газар, Агаар мандлын төв(COLA)	COLA	10	1982-2002	1-11
АНУ	Олон улсын судалгааны хүрээлэн(IRI)	IRI, IRIF	24	1979-2005	1-11
АНУ	Үндэсний сансрын алба (NASA)	NASA	11	1982-2012	1-4, 6-11
АНУ	Үндэсний урьдчилан мэдээлэх төв(NCEP)	NCEP CFS	20	1983-2008	1-4, 6-11
Итали	Европ газар дундын тэнгисийн уур амьсгалын төв	CMCC	9	1981-2005	5-11
Солонгос	АПЕК уур амьсгалын төв	APCC	5	1984-2011	1-3, 8-11

Арга зүй

Тоон мэдээний боловсруулалтанд CDO, NCL програм хангамжыг ашиглаж загварын дээр дурьдсан загваруудын далайн түвшний даралт, 2 метрийн түвшний агаарын температур, 500 гПа-ын геопотенциал өндөр, 200-гПа өндрийн салхины хэвтээ байгуулагч зэрэг элементүүдийг Ncep-doe -2 тоон анализын мэдээтэй хамаарлыг тооцож Монгол орны нутаг дээр хамгийн өндөр таарцтай загварыг сонгож авсан болно.

Тус судалгааны ажилд олон хувьсагчтай регрессын тэгшитгэлийг босгоход АНУ-ын Колумбын их сургуулийн олон улсын судалгааны хүрээлэнгийн (International Research Institute)-ийн статистик буулгалтын CPT-v15 (Climate Predictability Tool)-ын Каноник корреляцийн анализыг ашиглан монгол орны 70 станцын сарын дундаж температур, загварын үр дүн хооронд регрессийн тэгшигтгэл босгосон болно.

3.1 Каноник корреляцийн анализ (Canonical Correlation Analysis, CCA)

Энэхүү анализид байгалийн ортогональ функц нь зөвхөн предиктор (X) биш мөн придектантын (Y) хувьд ч бодогдоно. Придектант элементүүдийг хамтад нь авч үзэн хамгийн тохиромжтой модь буюу тархалтыг (loading pattern) задлан гаргаж авах нь дан ганц предиктант элемент бүрийг тус тусад нь авч үзэхээс илүү сайн прогноз хийх бололцоог олгоно.

Каноник корреляцийн анализд X ба Y хувьсагчийн хувьд оптималь тооны модь буюу тархалт олдож, тэдгээрийн хувьд жинлэгдсэн комбинаци бүхий онолын байгуулагчууд (principal component) нь өөр хоорондоо хугацаанаас хамаарах бөгөөд үүнийг прогнозын загварт ашигладаг байна. Уг анализад предиктор болон предиктантын орон нь 2 оронгийн хоорондох хамгийн сайн хамаарлын модийг илрүүлнэ. Өөрөөр хэлбэл каноник корреляцийн анализын модь бол X болон Y –ын онолын байгуулагч (principal component) гэсэн модиос бүрдэнэ.

Каноник корреляцийн анализын математик нь X болон Y-ын олон хувьсагчийн регрессийг тооцоолох бөгөөд хэрэв X ба Y матрицыг бичихдээ мөрийн дагуу хугацаа бүрээр (дээрээс доош жагсаах), харин баганын дагуу элементийг (баруунаас зүүн тийш жагсаах) бичиж, Y-ыг шугаман загварыг ашиглан доорх байдлаар тооцоолж болно.

$$y = xA$$

Энд: x -тухайн хугацаан дахь предиктор элементийн мөрийн дагуух вектор, y - мөн хугацааны предиктант элементийн мөрийн дагуух вектор, A - регрессийн жингийн матриц тус тус болно.

Сургалтын хугацааны регрессийн алдааны квадратын нийлбэр дараах байдлаар загварчлагдана.

$$(y - xA)(y - xA)^T$$

Бидний гол зорилго бол аль болох энэхүү алдааг багасгахад оршино. Алдааг багасгахад A гишүүнийг дараах байдлаар тодорхойлогдоно.

$$A = \left[\frac{1}{n} \sum (x^T x) \right]^{-1} \left[\frac{1}{n} \sum (x^T y) \right]$$

Энд: нийлбэр n -ээр хийгдэх бөгөөд сургалтын хугацааных байж түүгээр дундажлагдана. Гэвч хугацааны тохиолдлын тооноос хамаагүй их предиктор элементийн, мөн грид цэгийн тоо байх тул предиктор ковариацийн матриц $X^T X$ олох боломжгүй болдог. Иймд X-ийн хэмжээсийг онолын байгуулагчийн анализ буюу байгалийн ортогональ функцээр (PCA or EOF) багасгадаг.

Каноник корреляцийн анализд байгалийн ортогональ функцийн хугацааны явцыг ашигладаг. Иймд түүний оролт нь X болон Y-ийн эхний хэдэн задаргааны функц буюу модийн хугацааны үнэлгээний (temporal score or amplitude) утга байна. Гэхдээ тэдгээрийн хугацааны үнэлгээний утга стандартчлагдсан байж вариациуд нь нэг нэгжээр илэрхийлэгдэнэ.

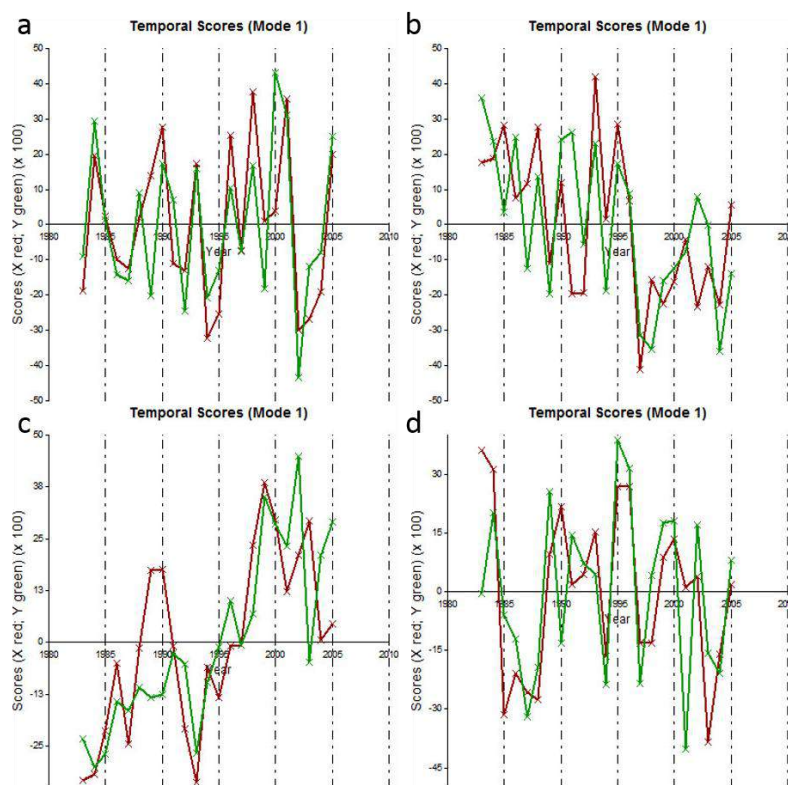
Каноник корреляцийн анализиар X ба Y -ын хугацааны үнэлгээний утга хугацааныхаа хувьд стандартчлагдаж түүний прогноз дараах байдлаар бичигдэнэ.

$$y = xA = x(X^T X)^{-1} X^T Y$$

Манай орон дээрх дундаж хамаарлаас үзэхэд ММЕ-SCM ансамбль бүтээгдэхүүний жилийн дундаж таарц бусад загваруудаас өндөр байгаа тул предиктороор сонгож авсан болно.

Каноник корреляцын анализын үр дүн

ММЕ-SCM болон Монгол орны 70 станцын сарын дундаж агаарын температур хооронд 1983-2005 оны сургалтын цуваагаар каноник корреляцын аргаар регрессийн тэгшитгэл босгов. Уг тэгшитгэлийг босгохдоо байгалийн ортогналь функцын 1-5 хүртэлх хувилбараар Монгол орны бүс нутаг, даралтын үйлчлэлийн төвүүд, өмнөдийн хэлбэлзэл, евроазийн бүс нутаг дээр предикторын грид цэгийг олон хувилбараар өөрчлөн хамгийн өндөр хамаарлыг олж түүгээр регрессийн тэгшитгэл босгов. Жишээ болгож предиктор болон предиктантын хугацааны хамаарлыг **Зураг 96-т** үзүүлэв.



Зураг 96. Предиктор болон предиктантын хугацааны хамаарал a,b,c,d нь харгалзан 1,4,7,11-р сар

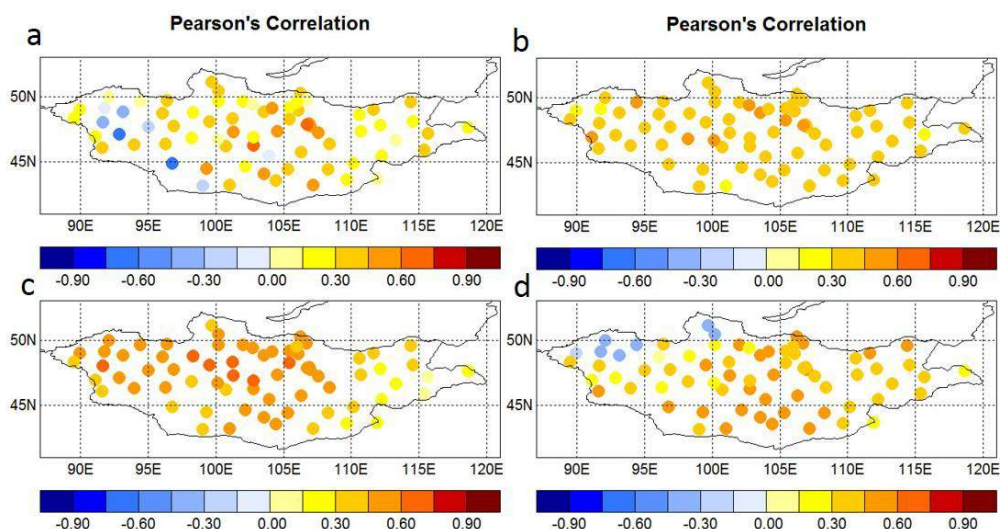
Монгол орны 70 станцын дундаж хамаарлыг **Хүснэгт 31-т** үзүүлэв. ММЕ-SCM ансамбль бүтээгдэхүүн нь сургалтын цуваанд (1983-2005) Монгол орны дулааны улирлын температуртай өндөр хамааралтай байна. Ялангуяа 2 дахь сарын дулааны улиралын прогноз 0.39-0.51 байна. Сонгогдсон предиктор болон монгол орны температурын дундаж хамаарал. Статистик үнэмшил 95%-аас дээш будав.

Хүснэгт 31. Сонгогдсон предиктор болон монгол орны температурын дундаж хамаарал

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1-дэх сар	0.18	0.28	0.38	0.28	0.43	0.41	0.34	0.39	0.41	0.36	0.27	0.11
2-дох сар	0.32	0.33	0.35	0.42	0.39	0.51	0.42	0.41	0.45	0.27	0.16	0.26
3-дах сар	0.27	0.34	0.38	0.44	0.53	0.42	0.38	0.27	0.29	0.21	0.18	0.17

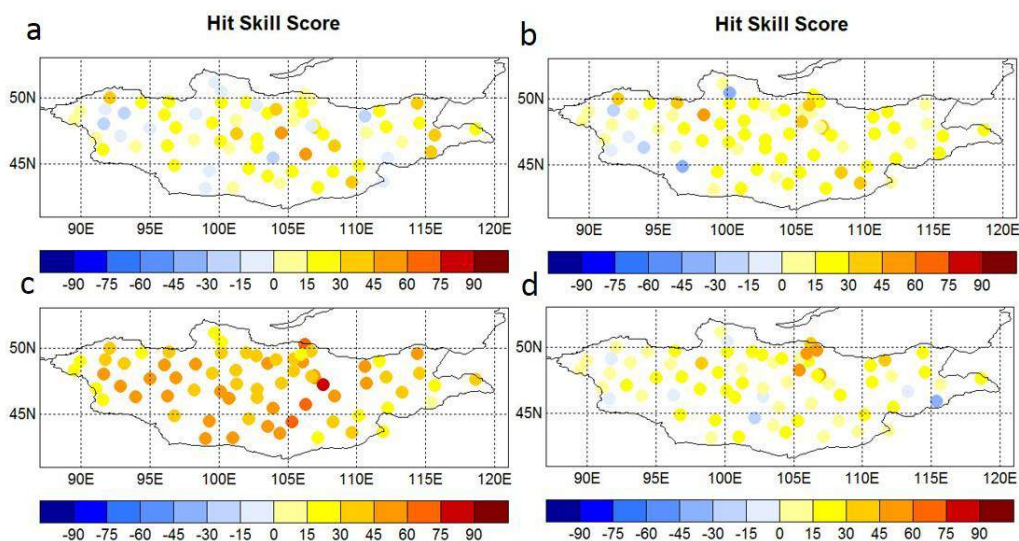
Монгол орны 70 станцын агаарын температур болон сургалтын цуваа хоорондын орон зайн хамаарлыг **Зураг 97-д** үзүүлэв. Зургаас харахад 1-р сарын температурын прогнозад

сонгогдсон предиктор Алтайн өвөр говь болон Их нууруудын хотгороор, 11-р сард сонгогдсон предиктор Дархадын хотгор, Увс нуурын хотгороор хамаарал муутай байна.



Зураг 97. Предиктор болон предиктантайн орон зайн хамаарал а,b,c,d нь харгалзан 1,4,7,11-р сар

Зураг 98-д Монгол орны 70 станцын агаарын температур болон сургалтын цуваа хоорондын прогнозын ончыг үзүүлэв. 7-р сарын температурын прогнозын онч хамгийн сайн 0-90 байгаа бол 1-р сард их нууруудын болон Дархадын хотгор, Алтайн өвөр говиор, 4-р сард Алтайн өвөр говиор онч нь муу байна.



Зураг 98. Предиктор болон предиктантайн онч а,b,c,d нь харгалзан тус тус 1,4,7,11-р сар

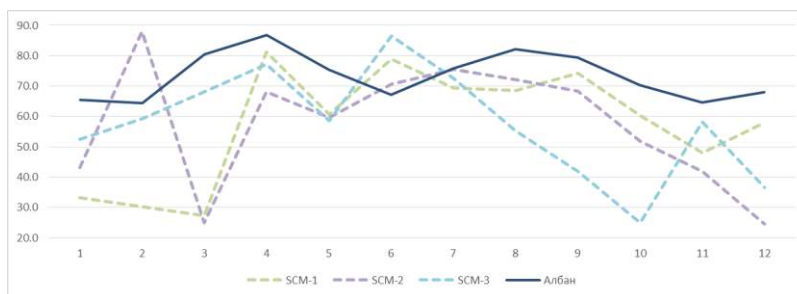
Прогнозын үе шат

MME-SCM ансамбль бүтээгдэхүүн болон Монгол орны 70 станцын агаарын температурын 1983-2005 оны сургалтын цуваанд каноник корреляцын аргаар анализ хийж 2012 оны 5-р сараас 2015 оны 10 сар хүртэлх 3 сарын урьдчилалтай температурын прогнозыг тооцоолж таарцыг дүгнэв (**Хүснэгт 32**).

Сарын дундаж таарцыг албан прогнозын таарцтай харьцуулахад 2-р сарын 2 сарын урьдчилалтай температурын прогнозын(12 сард прогнозолсон 2-р сар) таарц 23.6%-иар, 6-р сард 3,6-19,3%-иар дээгүүр бусад саруудын доогуур байна (**Зураг 99**).

Хүснэгт 32. Урьдчилсан мэдээний таарц

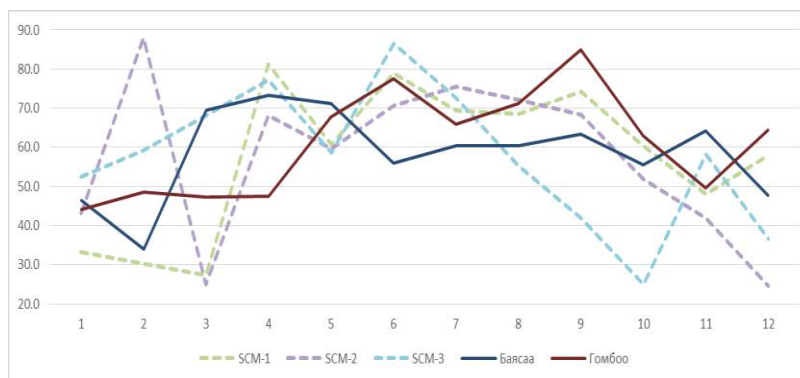
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Албан	65.4	64.4	80.5	86.7	75.4	67.1	75.9	82.2	79.4	70.4	64.6	68.1
ОНУАЗ	41.2	54.1	63.9	66.1	80.3	70.1	64.9	73.9	74.6	70.4	55.8	58.4
Экстемал	66.2	65.8	62.1	74.5	60.0	58.9	67.9	57.4	70.4	44.7	40.9	57.0
Гомбоо	44.0	48.7	47.3	47.6	67.9	77.5	65.8	71.2	84.9	63.0	49.7	64.4
Баясаа	46.5	33.9	69.6	73.3	71.1	56.0	60.4	60.3	63.4	55.6	64.3	47.7
SCM-1	33.2	30.2	27.3	81.3	60.7	78.8	69.5	68.6	74.3	60.3	48.1	58.0
SCM-2	43.1	87.9	25.0	68.1	59.7	70.7	75.5	72.2	68.4	51.8	41.8	24.6
SCM-3	52.4	59.3	68.1	77.3	58.6	86.4	72.6	55.3	41.8	25.0	58.1	36.6



Зураг 99. 1-3 сарын урьдчилалтай прогнозыг албан мэдээний таарцтай харьцуулсан харьцуулалт

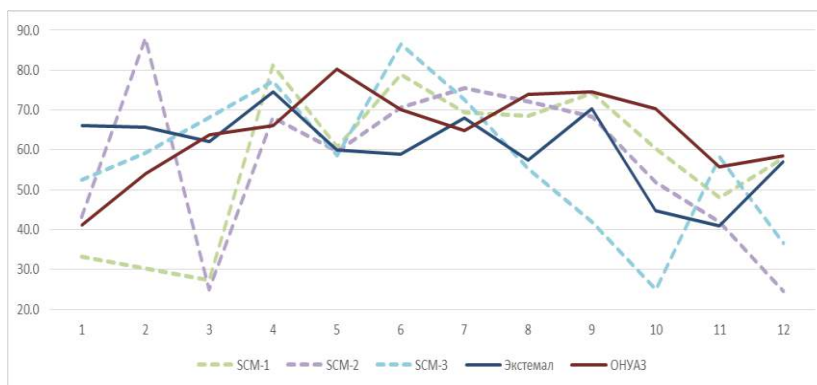
Гомбоо (П.Гомболүүдэв, 2009) болон Баясаа (Г.Баясгалан, 2009) аргын жилийн дундаж температуртай таарцыг харьцуулав.

2-р сарын 2 болон 3 сарын урьдчилалтай прогнозын таарц 10.7-54.0%-иар дээгүүр, 4-р сарын прогноз Гомбоо аргаас 20.6-33.7%-иар дээгүүр, 1 болон 3 сарын урьдчилалтай прогноз Баясаа аргаас 4-8 хувиар дээгүүр таарцтай байна (Зураг 100).



Зураг 100. 5-р зураг 1-3 сарын урьдчилалтай прогнозыг статистик аргуудын таарцтай харьцуулсан харьцуулалт

Орон нутгийн уур амьсгалын загвартай таарцыг харьцуулахад 1 сарын урьдчилалтай прогноз 6, 7-р саруудад 4.6-8.7 %-иар дээгүүр бусад саруудад 0.6-36.6%-иар доогуур таарцтай байна. Экстремал загвартай таарцыг харьцуулахад 1 сарын урьдчилалтай прогноз 3-11 саруудад 0.6-15.6 %-иар дээгүүр, өвлийн улиралд 3-35.6 %-иар доогуур таарцтай байна (Зураг 101).



Зураг 101. 1-3 сарын урьдчилалтай прогнозыг статистик аргуудын таарцтай харьцуулсан харьцуулалт

Дүгнэлт

Ерөнхий орчил урсгалын загварууд болон ансамбль бүтээгдэхүүнүүдийг тоон анализын мэдээтэй таарцыг дүгнэхэд Монгол орны бүс нутагт АПЕК уур амьсгалын төвийн ММЕ-SCM ансамбль бүтээгдэхүүн өндөр хамааралтай байна.

ММЕ-SCM ансамбль бүтээгдэхүүний 1983-2005 оны нөхвөр прогнозыг Монгол орны температуртай каноник корреляцын аргаар регрессийн тэгшитгэл босгоход өндөр хамааралтай байна. Ялангуяа 1 сарын урьдчилалтай 5-р сарын прогноз, 2 сарын урьдчилалтай 6,9-р сарын прогноз, 3 сарын урьдчилалтай 4,5-р сарын прогнозын 0.43-0.53 хооронд байгаа бөгөөд статистик үнэмшил нь 95%-аас дээгүүр байна.

Тус тэгшитгэл дээр үндэслэн 2012 оны 5 сараас 2015 оны 10 сар хүртэлх үл хамаарах мэдээгээр 1-3 сарын урьдчилалтай агаарын температурын урьдчилсан мэдээ гаргаж таарцыг дүгнэхэд албан прогнозын таарцаас 2-р сарын 2 сарын урьдчилалтай температурын прогнозын (12 сард прогнозолсон 2-р сар) таарц 23.6%-иар, 6-р сард 3.6-19,3%-иар дээгүүр бусад саруудын доогуур, Гомбоо болон Баясаа аргын таарцаас 2-р сарын 2 болон 3 сарын урьдчилалтай прогнозын таарц 10.7-54.0%-иар дээгүүр, 4-р сарын прогноз Гомбоо аргаас 20.6-33.7%-иар дээгүүр, 1 болон 3 сарын урьдчилалтай прогноз баясаа аргаас 4-8 хувиар дээгүүр, Орон нутгийн уур амьсгалын загвартай таарцыг харьцуулахад 1 сарын урьдчилалтай прогноз 6, 7-р саруудад 4.6-8.7 %-иар дээгүүр бусад саруудад 0.6-36.6%-иар доогуур таарцтай байна. Экстремал загвартай таарцыг харьцуулахад 1 сарын урьдчилалтай прогноз 3-11 саруудад 0.6-15.6 %-иар дээгүүр, өвлийн улиралд 3-35.6 %-иар доогуур таарцтай байна.

2.2.2 Динамик буулгалтын арга

Монгол орны нийгэм эдийн засгийн голлох салбар болох хөдөө аж ахуй болон мал аж ахуйн салбар нь байгаль, цаг агаараас шууд хамааралтай бөгөөд сар, улирлын цаг агаарыг урьдчилан мэдээлэх нь нийгэм эдийн засагт онцгой чухал үүрэгтэй юм. 1970-аад оны сүүлчээс Монгол орны нутаг дэвсгэрээр сарын цаг агаарын төлөв байдлыг урт хугацаагаар урьдчилан мэдээлэх синоптик аргыг ашиглан төр засаг, ард иргэдэд мэдээлж ирсэн. 1990-д оноос сар, улирлын урьдчилсан мэдээ гаргах статистик аргуудыг боловсруулан үйлдвэрлэлд нэвтрүүлсэн байдаг. Одоогоор цаг уурын албанаас Монгол орны хэмжээгээр дулаан (4-9 сар), хүйтний (10-3 сар) улирал болон сар бүрийн цаг агаарын төлөвийг гаргаж байна. Сүүлийн үед дэлхийн томоохон төвүүд уур амьсгалын бүсийн загварыг ашиглан дэлхийн хэмжээний ансамбль загварын үр дүнг анхны тоон өгөгдлөө болгон авч динамик ба статистик тайлал хийх аргаар сар улирлын цаг агаарын

урьдчилсан мэдээ гаргахад ашиглаж байгаа билээ. Монголын цаг уурын албанд 2004 оноос цаг агаарын тоон загварыг шуурхай ажиллагаанд богино хугацааны цаг агаарыг урьдчилан мэдээлэхэд ашиглаж байгаа бөгөөд энэхүү бүсийн тоон загвар нь цаг уурын анхны тоон өгөгдлөө дэлхийн хэмжээний загварын үр дүнгээс авч ажилладаг. Global Forecasting System (GFS) нь дэлхийн хэмжээний тоон загваруудыг багтаасан 16 хоног хүртэлх урьдчилалтай 20 гишүүнт ансамбалийн үр дүн юм. Энэхүү GFS прогноз мэдээллийг тоон загварт ашиглан сарын урьчилсан төлөвийг 10 хоногоор нарийвчилж гаргах боломжтой.

Энэ судалгааны ажлаар сарын урьдчилсан төлөвийг тоон загвар ашиглан GFS -ийн мэдээгээр 10 хоногоор нарийвчилж, загварын үр дүнг хэрэглэгчид хоногийн хамгийн их, бага температур болон тунадасны хэмжээг зураглал хэлбэрээр өдөр бүрээр гаргах шуурхай ажиллагааны технологийг үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэх зорилго дэвшүүлсэн болно.

Судлагдсан байдал

Монгол орны хэмжээгээр сар, улирлын урьдчилсан төлөвийг прогнолох талаар олон судалгаа хийгдэж байсан. Үүнд:

- Л.Нацагдорж нэгдүгээр сарын агаарын температурын хазайцын бүрэлдэхэд орчил урсгалын индекс, 500 мб гадаргын геопотенциал орон, даралтын үйлчлэлийн төвүүд болон тухайн нутгийн дулааны горим зэргийн хүчин зүйлсийг авч үзэж зэрэгцээ бус хамаарал сайтай предикторын оронгуудыг бүрдүүлж, түүгээрээ шугаман тэгшитгэлийг босгон урьдчилан мэдээлэх арга боловсруулан туршсан байна.
- Л. Нацагдорж хүйтэн болон зуны улирлын саруудын эхний 5 хоног болон өмнөх сартай нь температурыг холбож үзсэн байна. Тэгэхэд тав хоногийн температур нь тухайн сарынхаа дундаж температуртай хүйтэн болон зуны улиралд сайн хамааралтай (0.46-0.78), зэргэлдээ саруудын дундаж температур өөр хоорондоо өвлийн улиралд бусад улирлаас илүү хамааралтай байна гэж үзсэн байдаг.
- Л. Нацагдорж цасан бүрхүүл агаарын температур бүрэлдэхэд хэрхэн нөлөөлдөг талаар судлаж жил бүр цасан бүрхүүл тогтдоггүй орон нутагт тогтох юм уу, жил бүр байнга цасан бүрхүүл тогтдог газар нутагт их цас унаснаас болж сарын дундаж агаарын температур нь цасгүй байх буюу нимгэн цастай байх үеэс 2-4⁰С-аар (заримдаа үүнээс ч хүйтэн) хүйтэрдэг байна гэжээ.
- А. Намхай тогтворгүй процессыг ангилалх талаар ОХУ-ын эрдэмтэн Н.Н.Завалишины дэвшүүлсэн санаанд үндэслэн Монгол орны температур, хур тунадасны хазайцын урьдчилсан мэдээ гаргадаг загварыг бий болгосон. Энэ загварын гол санаа нь цаг агаарын процесст агаар мандлын орчил урсгалын юм уу нарны идэвхжлээр нөхцөлдөн ямар нэг үсрэлт бий болох, уг үсрэлтийг илрүүлэхэд шаардагдах статистик загвар боловсруулахад үндэслэгдсэн байна. Өөрөөр хэлбэл цаг уурын элементийн олон жилийн хандлага өөрчлөгдөх цэгийг олох явдал болно.
- Ч. Ядамсүрэн тэнгэр эрхэсийн хөдөлгөөн ба цаг агаарын хазайцын хоорондох уялдаанд үндэслэн тэнгэр эрхэсийн ирээдүйн байрлалд бүлэг төсөө ашиглан тайлал хийдэг аргыг боловсруулсан билээ. Нар, сарны Дэлхийд үзүүлэх таталт, түлхэлтийн хүчний босоо байгуулагчийн нийлбэрийг тооцоолж предиктор болгон ашигласан байна.
- Б. Жигмэддорж Монгол орны нутгийн температур, хур тунадасны оронг экстермаль дулаан, хэвийн, хүйтэн ба их, хэвийн, бага гэж тус тусад ялгаж

дискриминант анализын аргыг ашиглан сар, улирлын мэдээ урьдчилан мэдээлэх загвар боловсруулан үйлдвэрт нэвтрүүлсэн байна. Энэхүү аргыг боловсруулахдаа урьдчилан мэдээлэгч болон урьдчилан илрүүлэгчийн хооронд зэрэгцээ бус хамаарал хайж олсон байна.

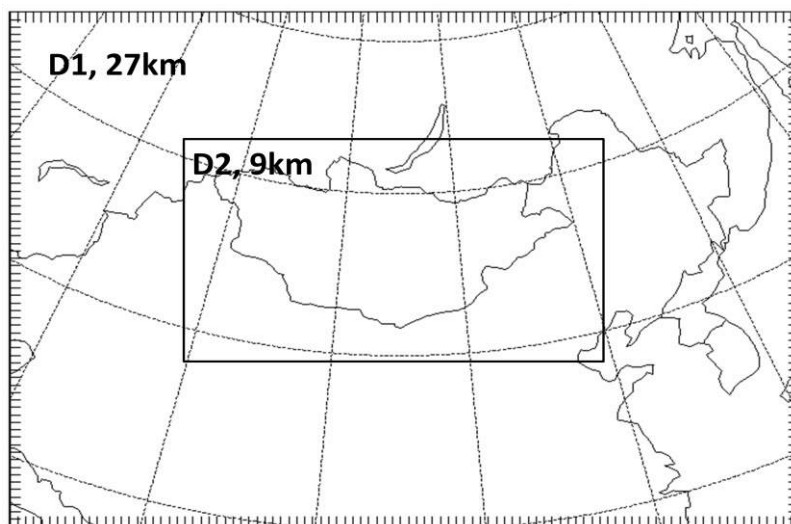
- П. Гомболүүдэв, Г. Баясгалан нар APCC ба TCC-н уур амсгалын төвийн ансамбль загварын бүтээгдэхүүнүүд болон Монгол орны температур, хур тунадасны хазайцын хооронд статистик тайлал хийж сар, улирлын урьдчилсан мэдээ боловсруулах аргыг боловсруулсан байна. APCC төвийн мэдээгээр каноник корреляцын анализийг ашигласан. TCC төвийн грид мэдээг Монголын 70 станц руу хоёр хэмжээст интерполяцыг ашиглан хөрвүүлж, тэр мэдээгээ алхамт регресс рүү оруулж шугаман хамаарал сайтай урьдчилан мэдээлэгчийг сонгон хийсэн байна.
- Дэлхийн томоохон уур амьсгалын бүсийн төвүүд болох Японы Токио, Солонгосын АПЕК, Хятадын Бээжингийн төвүүд нь өөрийн орон болон Азийн прогнозыг гаргаж байна. Жишээ Бээжингийн уур амьсгалын төв нь динамик болон статистик буулгалтыг хоёуланг нь ашиглаж байна. CGCM1.0/BCC загаваар хийсэн динамик буулгалтийг ашиглан OSR (Optimal subset Regression), CCA(canonical correlation analysis), EOF-г ашиглан статистик буулгалтийг хийж байна.
- Одоогоор Монголын цаг уурын албанд бүсийн загвар ашиглан сар улирлын урьдчилсан төлөвийг гаргах ажлыг түршиж байгаа бөгөөд эхний ээлжинд сарын урьдчилсан мэдээг 10 хоногоор нарийвчлах ажлыг энэхүү судалгааны ажлаар хийж гүйцэтгэхээр төлөвлөж байгаа болно.

Арга зүй

Энэ судалгааны ажилд агаар мандлын бэсрэг хэмжээст тоон загварыг Weather Research and Forecasting (WRF), (Skamarock et al., 2005) ашиглав. WRF загвар нь цаг агаарыг урьдчилан мэдээлэх чиглэлээр өргөн ашиглагддаг бөгөөд олон төрлийн физик схемүүдийн сонголттой юм.

Загварын туршилтанд Kain-Frisch кумулюс схем (Kain and Fritsch 1993), WRF single-moment three-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 planetary 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 19 м-ээр сонгож авсан болно. Загварын захын болон анхны өгөгдөлд Global Forecasting System-ийн 3 цагийн зайцтай 0.5°x0.5° хэвтээ нарийвчлалтай урьчилсан мэдээг ашиглаж, WRF загварын бүс нутгийн алхамыг 27 (D1)-ээр (Зураг 102) сонгож, туршилтийг 384 цагийн урьдчилалтай (16 өдөр) өдөр бүр загварыг 12 цагийн эхлэлтэй ажиллуулсан. Загварын урьдчилсан мэдээнээс 10 хоногийн дундаж температур, тунадасны нийлбэрийг сар бүрийн 1, 10, 20 өдөр 0.25°x0.25°APHRODITE-ийн 1978-2007 оны температур, тунадасны нормтой харьцуулан тухайн 10 хоногийн аномалийг гаргаж байгаа болно.



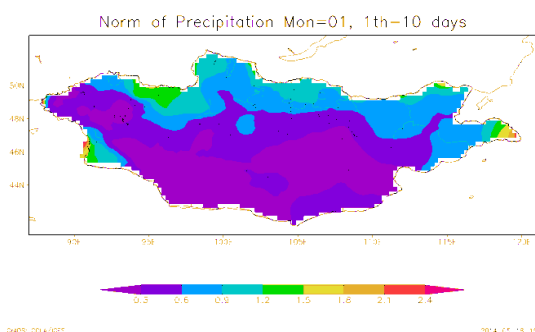
Зураг 102. Тоон загварын бүс нутаг

Үр дүн

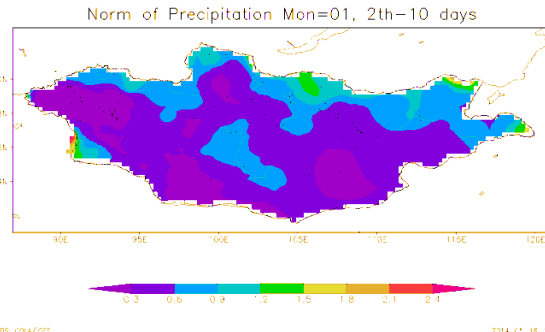
Сарын урьдчилсан мэдээг 10 хоногоор нарийвчлан прогноз гаргах ажлын хүрээнд APHRODITE –ын 0.25°-ын мэдээгээр тунадас, температурын 10 хоногийн олон жилийн дундаж зураглалыг 1978-2007 оноор 30 жилээр гаргасан.

Зураг 103-т 1 дүгээр сарын 1, 2, 3-р 10 хоногийн хур тунадасны нийлвэрийг харуулав. Монгол орны нутаг дэвсгэр дээр өвлийн улиралд тэр тусмаа 1 сард сибирийн их даралтын орны нөлөөнд байдаг учир хүйтэн хур тунадас багатай байдаг. Зургаас харахад 1 сарын 1, 2, 3-р 10 хоногийн тунадасны хэмжээ нь ихэнх нутгаар маш бага 0.5-1мм хэмжээтэй байна. Харин 7 дугаар сар Монгол орны хувьд хур тунадас хамгийн их ордог сар юм. Хур тунадасны тархалтыг авч үзвэл байгалийн бүс бүслүүрээс хамаарч өмнөөс хойш хур тунадасны хэмжээ ихссэн байна. Хэмжээний хувьд говь цөлөрхөг хээрийн бүсэд 0-15мм, талхээрийн бүсэд 15-25мм, ойт хээрийн бүсэд 30-45 мм хур тунадас ордог байна. Олон жилийн 7 сарын нийлбэр тунадасны хэмжээ нь байгалийн бүсээс хамаарч цөлөрхөг хээрийн бүсэд 30мм, тал хээрийн бүсэд 40-70мм, ойт хээрийн бүсэд 80-110мм хур тунадас байдаг байна.

а)

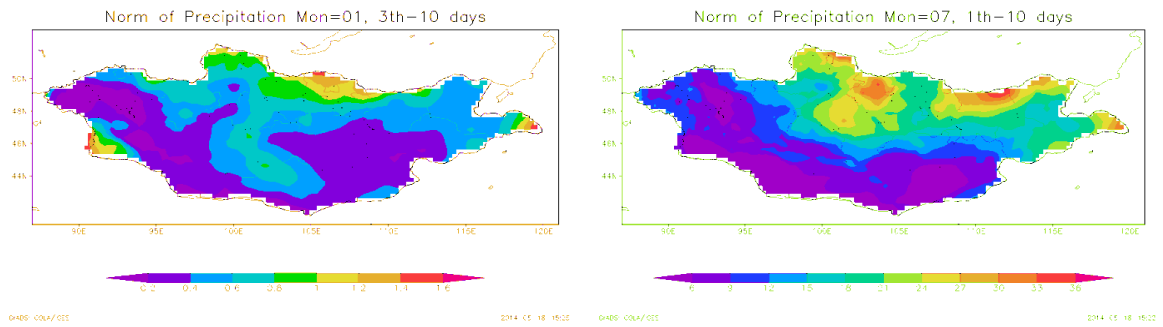


б)



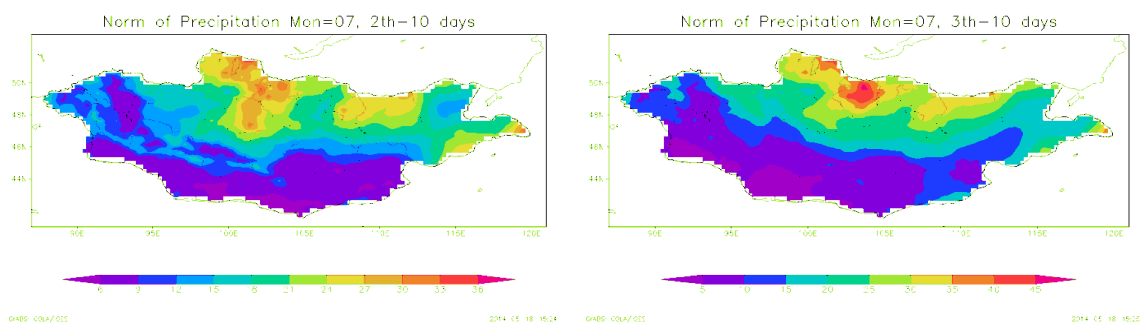
в)

г)



д)

е)

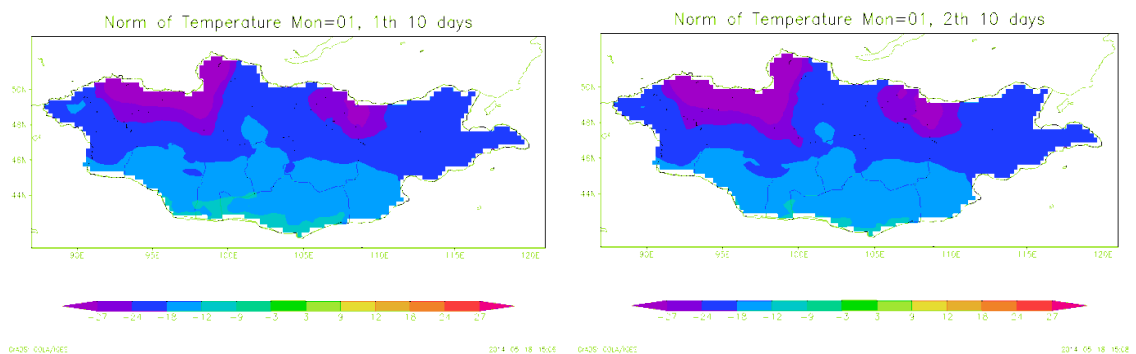


Зураг 103. 1 болон 7 дугаар сарын 1, 2, 3-р 10 хоногийн тунадасны норм /мм/.

Зураг 104-т 1 дүгээр сарын 1, 2, 3-р 10 хоногийн агаарын дундаж температурын нормыг үзүүлэв. Нэгдүгээр сарын 1, 2, 3 –р 10 хоногийн температурын норм ерөнхийдөө адилхан байгаа бөгөөд хэмжээний хувьд өмнө зүгийн нутгаар $-6 \sim -15^{\circ}\text{C}$, зүүн болон төвийн нутгаар $-15 \sim -24^{\circ}\text{C}$, Увс нуур, Дархадын хтгороор $-24 \sim -30^{\circ}\text{C}$ байна. Олон жилийн 7 сарын 1, 2, 3 10 хоногийн агаарын дундаж температур нь бүс нутгаас хамаарч $9-27^{\circ}\text{C}$ байдаг байна. Говь цөлийн бүсээс хойш ойт хээрийн бүс рүү температурын тархалт нь буурдаг.

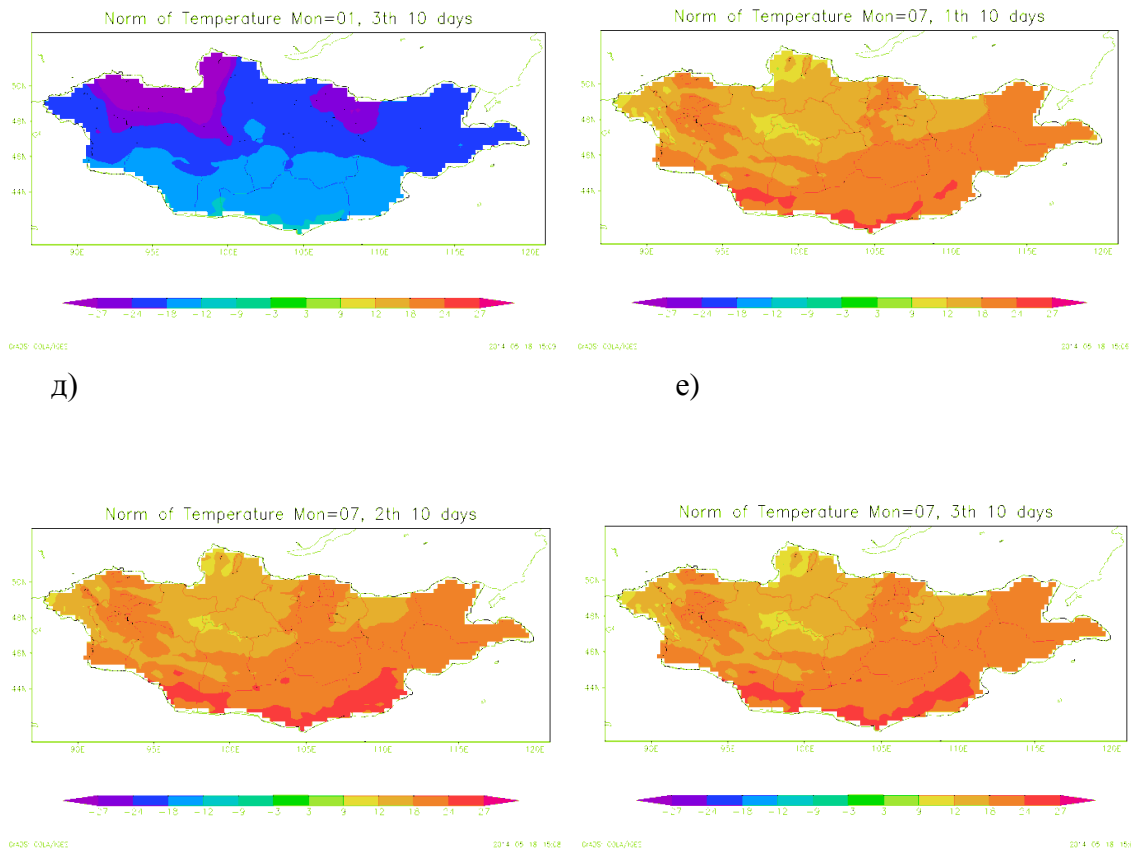
а)

б)



в)

г)



Зураг 104. 1 ба 7 дугаар сарын 1, 2, 3-р 10 хоногийн агаарын дундаж температурын норм

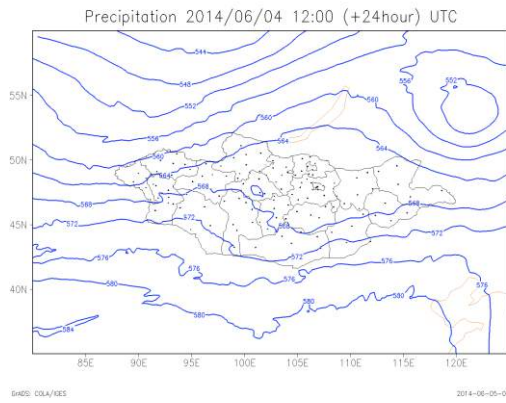
WRF загварыг ажиллуулж 16 хоногийн урьдчилалтай үр дүнг өдөр бүр гаргаж байгаа бөгөөд дараахь элементүүдийг 7 хоногийн төлөв гаргахад зориулж зураг хэлбэрээр гаргадаг болгов.

- 500 гПа түвшний геопотенциаль өндөр (12 цаг)
- Далайн түвшинд шилжүүлсэн даралт (12 цаг)
- Хоногийн хамгийн их температур
- Хоногийн хамгийн бага температур
- Хоногийн хамгийн их салхины хурд
- Хоногийн тунадасны нийлбэр

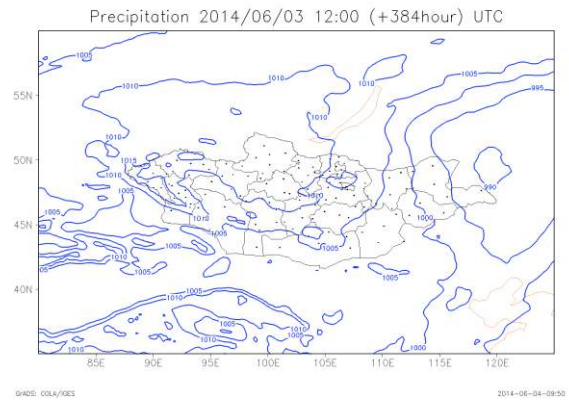
500 гПа түвшний геопотенциаль өндөр, далайн түвшинд шилжүүлсэн даралтыг бодолт явуулсан хугацаанаас /бодолтыг өдөр бүр 12 цагаас явуулж байгаа/ 24 цаг тутамт зураглалыг үүсгэсэн. Хур тунадасыг 24 цагийн нийлбэрээр, хоногийн хамгийн их агаарын температур, салхины хурд, хамгийн бага агаарын температурыг бодолт явуулсан хугацаанаас 24 цагаар тооцож гаргав (Зураг 105).

а)

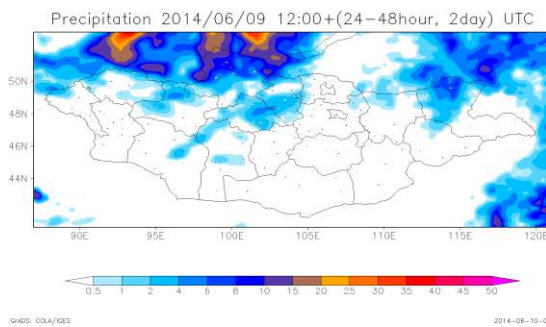
б)



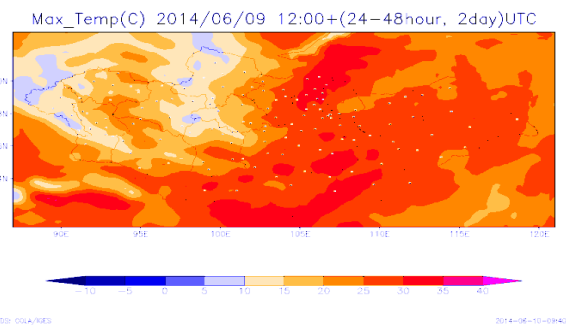
В)



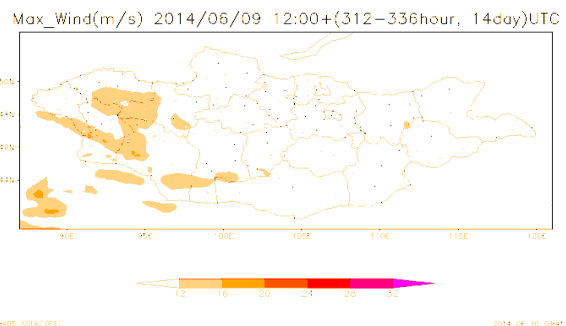
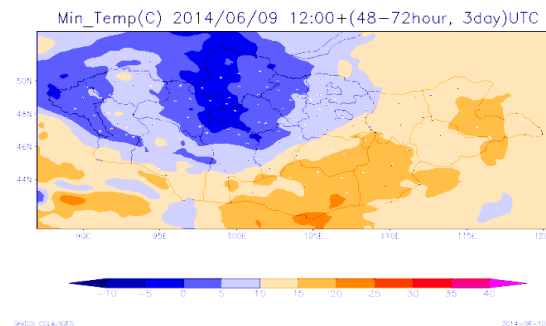
Г)



Д)



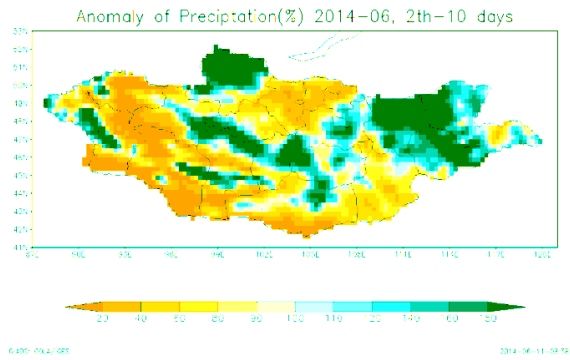
е)



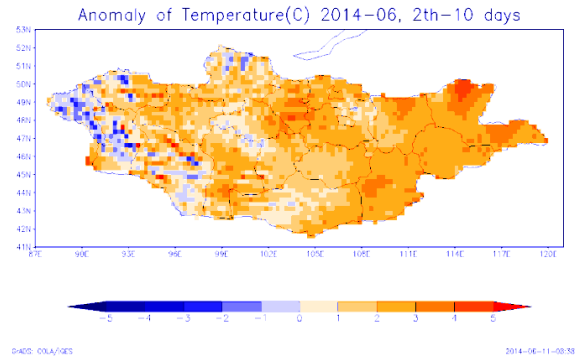
Зураг 105. а) 500 гПа түвшний геопотенциаль өндөр, б) далайн түвштнд шилжүүлсэн даралт, в) хоногийн тунадасны нийлбэр, г) хоногийн хамгийн их температур, д) хоногийн хамгийн бага температур, е) хоногийн хамгийн их салхины хурд температур

Мөн сар бүрийн 1, 11, 21-нд дараагийн 10 хоногийн тунадас температурын прогнозыг олон жилийн нормын зурагтай харьцуулан зураг хэлбэрээр гаргасан. Хур тунадасыг 20-180%-аар тооцсон, 100% бол норм, бага бол нормоос бага, их бол нормоос их тунадастай гэж тооцох юм. Өнгөний хувьд ногоон өнгийг нормоос их буюу чийгтэй, цайвар өнгийг нормын орчим, шар улбар шар өнгө нь нормоос бага хуурай гэж тодорхойлж өгсөн. Температурын хувьд нормоос хазайх хазайлтыг $-5 \sim 5^{\circ}\text{C}$ хооронд авч үзсэн ба өнгөний хувьд хөх өнгөөр нормоос бага, шар улаан өнгөөр нормоос их байхаар тодорхойлсон (**Зураг 106**).

а)



б)



Зураг 106. 2014 оны 6 сарын 2-р 10 хоногийн а) тунадас, б) температурын прогноз

Хүснэгт 33-т WRF загвараар тооцсон 16 хоногийн урьдчилалтай агаарын температур, хур тунадасны ажиглалтын 70 станцын мэдээтэй харьцуулсан дундаж алдаа, абсолют дундаж алдаа, дундаж квадрат алдаа нь урьдчлалын хугацаа ихсэх тутам ихсэж, хамаарлын коэффициент нь буурч байна.

Хүснэгт 33. Түршилтийн үр дүнгийн өдөр бүрийн агаарын температур болон хур тунадасны статистик үзүүлэлт

а) Агаарын температур

Өдөр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Цаг	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336	360	384
Дундаж алдаа	-0.79	-1.53	-1.81	-2.11	-2.12	1.85	1.50	-1.25	1.69	2.10	2.61	3.11	3.42	3.59	3.16	-3.09
Абсолют дундаж алдаа	1.60	2.10	2.31	2.54	2.54	2.48	2.41	2.55	2.99	3.14	3.39	3.70	4.24	4.97	4.98	4.89
Дундаж квадрат алдаа	2.04	2.63	2.83	3.04	3.02	2.99	2.95	3.08	3.64	3.77	4.02	4.38	4.93	5.82	5.74	5.62
Корреляцийн коэффициент	0.84	0.80	0.77	0.74	0.74	0.72	0.69	0.70	0.65	0.66	0.64	0.61	0.63	0.59	0.63	0.60

б) Хур тунадас

Өдөр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Цаг	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336	360	384
Дундаж алдаа	0.18	0.48	0.69	0.68	0.37	-0.01	-0.16	-0.12	-0.15	0.54	0.54	0.60	0.68	0.89	1.03	1.11
Абсолют дундаж алдаа	1.38	1.59	1.83	1.87	1.82	1.78	1.46	1.40	1.00	0.86	0.66	0.71	0.94	1.44	1.59	1.63
Дундаж квадрат алдаа	2.83	3.15	3.68	3.96	4.06	3.80	3.04	3.08	2.25	1.75	1.55	1.69	2.20	2.96	3.05	3.00
Корреляцийн коэффициент	0.60	0.55	0.47	0.35	0.25	0.16	0.16	0.08	0.16	0.17	0.13	0.03	0.12	0.04	0.04	0.02

Дүгнэлт

Цаг агаарыг урьдчилан тооцоолох загварчлалд супер компьютерын технологи ашиглах төслийн нэг даалгавар нь Global Forecast System-ийн үр дүнг динамик буулгалт хийж сарын урьдчилсан мэдээг 10 хоногоор нарийвчлан гаргах нэртэй технологийн ажил юм. Энэхүү ажлын зорилго нь сарын урьдчилсан мэдээг АНУ-ын Байгаль орчны прогнозын үндэсний төвөөс гаргадаг NCEP_GFS олон гишүүнт ансамбелийн үр дүнг ашиглан WRF загвараар нарийвчлан 10 хоногийн цаг агаарын урьдчилсан мэдээ гаргах юм. Одоогоор цаг агаарын 1 сарын прогноз мэдээг статистик аргаар гаргаж байгаа билээ. Сарын мэдээг 10 хоногоор нарийвчлан гаргахдаа тухайн 10 хоногийн тунадас, температурын аномальтай харьцуулан хазайцыг гаргаж байгаа юм. Мөн 15 хоног хүртэл далайн түвшний даралт, 500гПа-ын геопотенциаль өндөр, хур тунадас, өдөр бүрийн агаарын хамгийн их, бага температур, салхины их хурд зэрэг цаг агаарын элементүүдийг гаргадаг болно. Статистик үзүүлэлтийг аваад үзвэл агаарын температурын хувьд урьдчилалын хугацаа ихсэхэд алдаа нэгэн жигд ихсэж байна. Харин хур тунадасны хувьд тодорхой нэгэн жигд алдаа өгөхгүй байна. Энэ нь температурын нь тасралтгүй цаг агаарын элемент, хур тунадас нь тасралттай цаг агаарын элемент учир хур тунадасны хувьд статистик үнэлгээ нь түвэгтэй юм. 10 хоногийн цаг агаарын урьдчилсан мэдээ нь WRF загварын анхны өгөгдлөөс их хамааралтай байгаа. Олон улсын төвүүдийн тоон загварын үр дүн нь сайжирч байгаа бөгөөд цаашид энэхүү үр дүн нь илүү сайжирвал WRF загвараар тооцоолсон үр дүн мэдээж хэрэг сайжирна гэж үзэж байна.

Бүлэг III. Монгол орны уур амьсгалын ирээдүйн өөрчлөлтийн шинэчилсэн үнэлгээ

3.1 Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлтийн ирээдүйн сценари

Орчин үеийн уур амьсгалын өөрчлөлт бол хүн төрөлхтөн малтмал түлш (нүүрс, түлш, хий гэх мэт) өргөн хэрэглэх болсон үеэс эхлэлтэй, ялангуяа дэлхийн II дайны дараах аж үйлдвэрийн эрчимтэй сэргэлт, хөдөө ахуйн үйлдвэрлэлийн хөгжил гэх зэрэг хүний үйл ажиллагаатай холбоотойгоор улам бүр тод илэрч байгаа юм. Түүний нөлөөгөөр агаарт мандалд асар их хэмжээний хүлэмжийн хий ялгарч байгаа бөгөөд жишээлбэл 1750 оны үед CO₂-ийн агууламж 280 ppm байсан бол өнөөдрийн байдлаар 388 ppm болж ойролцоогоор 1.46вт/м² нэмэлт цацрагийн энергийг агаар мандлын цацрагийн баланст бий болгосон байдаг (Climate Change 2007: The Physical Science Basis, IPCC).

Хүлэмжийн хийгээс үүдэлтэй дулааралтын нөлөөлөөр уур амьсгал өөрчлөгдөж дэлхийн агаарын жилийн дундаж температур сүүлийн 100 орчим жилд 0.86⁰C-аар, харин Монгол орны хэмжээгээр сүүлийн 70 орчим жил 2.1⁰C нэмэгдэж дулаарчээ. Энэхүү дулааралт буюу уур амьсгалын өөрчлөлтийн эрчим сүүлийн 20 орчим жилд эрчимжиж биогеофизикийн систем, нийгэм-эдийн засгийн салбаруудад үзүүлж байгаа нөлөө нь дэлхий болон бүс нутгуудад улам бүр нэмэгдэж байна.

Эрдэмтдийн сүүлийн үеийн судалгаагаар манай орны хувьд уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийн сөрөг үр дагавар давамгайлахаар байгаа юм. Учир нь Монгол орны байгалийн орчин, нийгэм, эдийн засаг нь харьцангуйгаар цаг агаар, уур амьсгалаас шууд хамааралтай байдаг. Иймээс манай орны уур амьсгалын ирээдүйн хандлага ямар байхыг шинжлэх ухааны үндэстэй төсөөлөх, тооцоолох нь онцгой чухал ач холбогдолтой.

Иймд бид судалгаандаа Уур амьсгалын өөрчлөлтийн асуудал эрхэлсэн засгийн газрын мэргэжилтэний хорооноос гагасан V илтгэлийн хүлэмжийн хийн шинэ хувилбарт суурилсан дэлхийн хэмжээний уур амьсгалын загваруудын үр дүнг ашиглаж Монгол орны уур амьсгалын ирээдүйн өөрчлөлтийн шинэчилсэн үнэлгээг хийх, мөн бүс нутгийн RegCM4 загварыг ашиглаж дээрх үр дүнг динамик байдлаар буулгалт хийж орон зайн нарийвчлалыг 10-30км болгох гол зорилготой байв.

Дээрх тооцоог 1985-2005 оны суурь уур амьсгалтай харьцуулан 2016-2100 хүртэл хийж үр дүнг гаргаж авсан болно. Энэхүү судалгааны ажилд тооцоолох машины хүчин чадал асар их шаардагдах бөгөөд судалгаатай холбоотой бүх тооцоо, бодолтыг супер компьютер дээр хийж гүйцэтгэв.

Судалгааны ажлын хүрээнд дараахь гол зорилтыг тавьсан болно. Үүнд:

- RCP хүлэмжийн хийн хувилбарт үндэслэгдсэн дэлхийн уур амьсгалын загваруудын үр дүнгээр Монгол орны уур амьсгалын ирээдүйн өөрчлөлтийн тооцоо хийх
- Бүс нутгийн RegCM4 загварыг газар бүрхэвчийн CLM3.5/4.0 загвартай холбох зүгшрүүлэх, оптимизаци хийх зарим тоон туршилтууд
- 1985-2005 оны Монгол орны одоогийн уур амьсгалыг тооцоолох
- Уур амьсгалын өөрчлөлтийн ирээдүйн тооцоог 2016-2100 оны хооронд хүлэмжийн хийн тодорхой хувилбар, дэлхийн уур амьсгалын загварын янз бүрийн захын нөхцлийн хувьд динамик буулгалт хийх

- Уур амьсгалын экстремаль индексн өөрчлөлтийг тооцоолох, зарим шаардлагатай диагностик элементүүдийг тооцоолох (ган зудын индекс, хуурайшлын эрчимшил гэх мэт шаардлагатай үзүүлэлтүүдийг бодох)

Судлагдсан байдал

Анхны далай, агаар мандлыг холбосон уур амьсгалын загвар 1960 онд АНУ-ын далай агаар мандлын үндэсний төвийн харьяа геофизикийн шингэний динамикийн (NOAA, GFDL) лабораторид зохион бүтээгдсэн юм. Түүнээс хойш өндөр хөгжилтэй орнууд өөрийн уур амьсгалын загваруудыг хөгжүүлж одоогоор дэлхийд хүлээн зөвшөөрөгдсөн 10 гаруй орны 40 орчим загвар ажиллаж (<http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/availability.html> сайтан дээр тавигдсан).

Уур амьсгалын загварын хөгжлийн үе шатанд зөвхөн агаар мандал гэсэн уур амьсгалын системийн бүрэлдэхүүнтэй байсан бол өнөө үед агаар мандал, газрын гадарга, далай, аэрозол, нүүрсхүчлийн эргэц, ургамлын динамик, агаар мандлын хими зэргийг тооцож чаддаг дэлхий-системийн загвар болтлоо хөгжсөн байна.

Уур амьсгалын загварын цацрагийн схемд хүлэмжийн хийн агууламжийн өөрчлөлт, ирээдүйн ялгаралтын хувилбарыг тооцооноор дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлтийн ирээдүйн төсөөллийг тооцоолж уур амьсгалын өөрчлөлтийн үнэлгээний 1-5 дугаар илтгэлд үр дүнг нэгтгэжээ (IPCC, WG I, 1990, 1996, 2001, 2007, 2013).

Монгол орны хувьд дээр дурдсан илтгэлийн хүрээнд дэлхийн уур амьсгалын загварын гаралтын үр дүнг ашиглан өөрийн орны ирээдүйн уур амьсгалын нөлөөллийн үнэлгээг хийж ирсэн бөгөөд хамгийн сүүлд 4 дүгээр илтгэлд суурилсан үнэлгээг олон загварын ансамбль байдлаар хийв (MARCC, 2010).

Харин эрдэмтэн Р.Дикинсон (Dickinson, 1989) ба Ф.Жоржи (Giorgi, 1990) нар анх цаг агаарын тоон прогнозын бүс нутгийн загварыг бүс нутгийн уур амьсгалын тооцоонд ашиглах санааг дэвшүүлэн тавьжээ. Уг санааны гол үзэл баримтлал бол ерөнхий орчил урсгалын загварын үр дүнг бүс нутгийн загварын анхны болоод хугацаанаас хамаарсан захын нөхцөл болгон ашиглаж бүсийн уур амьсгалыг нарийвчлан тооцоолон загварчлах явдал юм. Ингэснээр ерөнхий орчил урсгалын загвар агаар мандлын том хэмжээст орчил урсгалыг тооцоолж, харин бүс нутгийн загвар бэсрэг хэмжээст агаар мандлын үзэгдлийг явцыг тооцоолох бололцоотой болов. Үүний дараа бүс нутгийн уур амьсгалын загварыг ашиглан АНУ-ын уур амьсгалыг 60 км-ын нарийвчлалтай тооцоолж, тус улсын төвөгтэй хотгор гүдгэртэй баруун хэсэгт температур, хур тунадасны орон зайн тархалтыг харьцангуй өндөр нарийвчлалтайгаар босгосон байна (Giorgi, 1989). Учир нь дэлхийн хэмжээст загварт (300-500км) хэрчигдэл ихтэй хотгор гүдгэр сайн дүрслэгддэггүй байсан тул бүс нутгийн дээрх нарийвчлалтай үр дүнг гаргаж чаддаггүй байжээ.

Улмаар Ф.Жоржи АНУ-ын уур амьсгалын тооцоог бүс нутгийн загвараар дараалсан 2 жилээр тасралтгүйгээр хийж загварын газар орчмын цаг уурын элементүүдийн харьцуулалтыг ажиглалтын мэдээтэй харьцуулан статистик үнэлгээ өгсөн байна (Giorgi, 1993a). Цаашид дэлхийн өнцөг булан бүрд загварыг уур амьсгалын системүүдийн харилцан үйлчлэлийн судалгаа, уур амьсгалын өөрчлөлтийн судалгаа зэрэгт өргөнөөр ашиглах болов. Иймээс агаар мандал болон газар бүрхэвчийн харилцан үйлчлэлийн механизмыг ойлгох нэг арга бол бүс нутгийн уур амьсгалын динамик загвар юм.

Манай оронд агаар мандлын динамик загварыг Төв Азийн уулархаг бүс нутагт зүгшрүүлэх, тооцоолон бодох машин дээр туршиж шуурхай ажилд нэвтрүүлэх

технологийг бий болгох, хязгаарын үе давхаргын параметрчлал болон захын нөхцөлийг шийдэх, мөн хүчтэй салхи, циклогенезыг судалгаа зэрэгт ашиглаж байв (Батжаргал З, 1978) (Мягмардорж Д, 1986) (Батжаргал З, 1982), (Гомболүүдэв П, 2002), (Gomboluudev P., 2005), (Yong Hee Lee., 2005).

Мөн өөрийн орны өнгөрсөн үеийн уур амьсгалыг харьцангуй сайн тооцоолсон загварын хувьд динамик буулгалт хийж агаар мандлын бэсрэг хэмжээс, голын сав газарт тухайн газар орны өндөршил, газрын бүрхэвчээс хамаарсан харьцангуй өндөр орон зайн нарийвчлалтай уур амьсгалын үнэлгээг хийж эхэлсэн болно (Гомболүүдэв, 2011; Sato et al, 2006).

Арга зүй

Уур амьсгалын хувьсал өөрчлөлтийг физикийн үндсэн хуулиудаар (термодинамик, Ньютоны II хууль гэх мэт) илэрхийлсэн харьцангуй өндөр хүчин чадалтай тооцоолох машин дээр бодогдох дифференциаль тэгшитгэлүүдийн систем бүхий уур амьсгалын загвараар тооцоолдог. Энэхүү систем тэгшитгэлд агаарын хөдөлгөөний тоо хэмжээ (салхины), термодинамик (температурын), тасралтгүй, гидростатикийн тэгшитгэлүүд багтана. Загварын тэгшитгэл нь анхны нөхцөл өгөгдснөөр орон зайн 3 хэмжээст торын зангилааны цэгүүд дээрх агаар мандлын хувьсагчуудаар ойролцоолон бодогдоно. Ихэнхдээ уур амьсгалын загварыг уур амьсгалын системийн динамик судалгаа, сар, улирлын прогноз гаргах, ирээдүйн уур амьсгалын хандлагыг тооцоолоход өргөн ашигладаг. Ялангуяа сүүлийн жилүүдэд агаарын найрлага дахь хүлэмжийн хийнээс үүдэлтэй дэлхийн дулааралтын үнэлгээ тооцоонд их ашиглах болжээ.

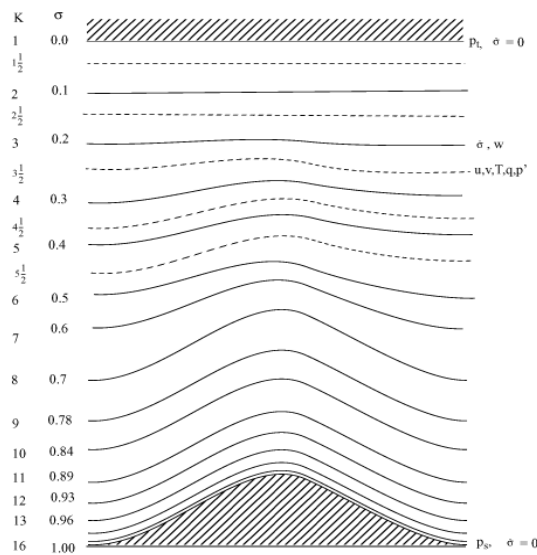
Энэхүү судалгаандаа Монгол орны одоогийн ба ирээдүйн уур амьсгалын тооцоонд бүс нутгийн уур амьсгалын загвар RegCM4 (Regional climate model)-ыг ашигласан бөгөөд энэ нь 3 хэмжээст, гидростатик, агаар мандлын бэсрэг масштабын MM5 (Mesoscale modeling) загварын динамик (Grell, 1994) болон агаар мандал, биосферийн харилцан үйлчлэлийг схем BATS1E-ийг (Dickinson, 1993) холбох байдлаар Итали улсын олон улсын онолын физикийн төвд хөгжүүлсэн загвар юм. Харин хамгийн сүүлийн хувилбар нь газар бүрхэвчийн CLM3.5/4.0 загвар холбох боломтой болсон.

Энэхүү загвар нь босоо чиглэлд агаарын даралтаар доорх байдлаар тодорхойлогдох хэмжээсгүй, нормчилсон σ координатыг ашигладаг.

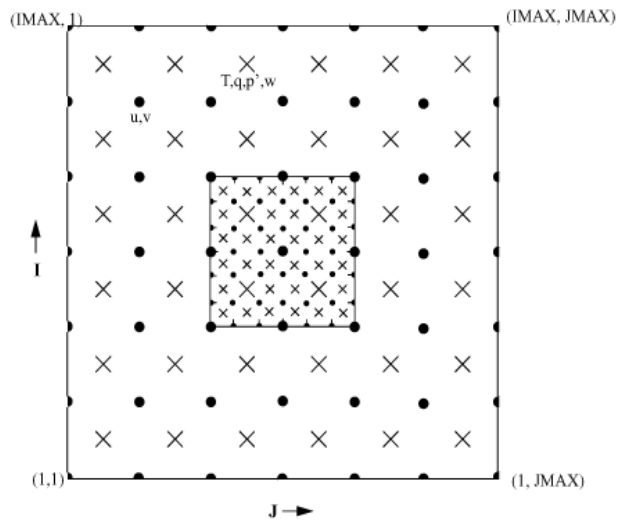
$$\sigma = \frac{P - P_t}{P_s - P_t}$$

Энд: P_s , P_t - харгалзан загварын хамгийн доод болоод дээд түвшний даралтын утга, P_t - г загварт тогтмолоор тодорхойлж өгнө. P - дурын түвшний даралт.

Загвар хэвтээ чиглэлдээ Аракава-Лэмбийн В торын зангилааг (**Зураг 107**) ашиглаж салхины хурдны байгуулагчуудаар (U - өргөрөгийн, V - уртрагийн) агаар мандлын үндсэн скаляр хувьсагчуудыг (Т-температур, q-чийг, р-даралт ба бусад) тодорхойлно (**Зураг 108**). Дурдсан агаар мандлын бүх хувьсагчууд загварын босоо координатын хагас σ гадарга дээр харин босоо хурд бүтэн σ гадарга дээр тус тус тодорхойлогдоно.

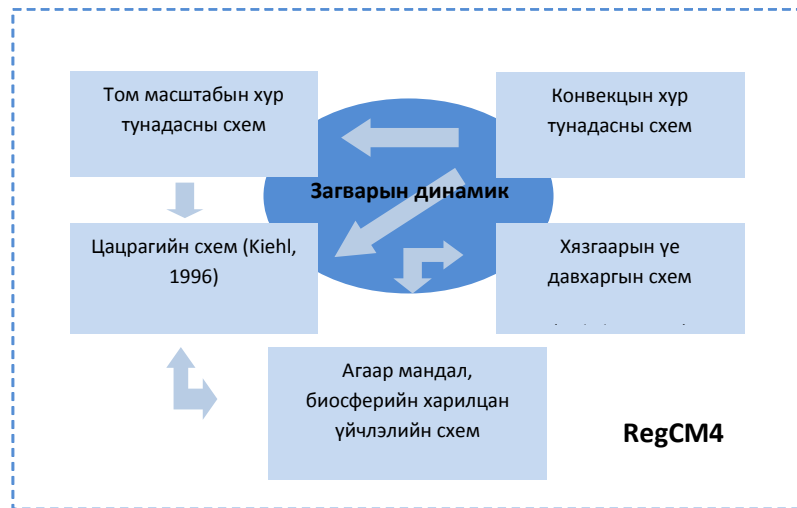


Зураг 107. Загварын босоо бүтцийн схем.



Зураг 108. Торын зангилааны Аракава-Лэмбийн В схем.

Загварын динамик тэгшитгэлийг эрдэмтэн Г.Грелл 1994 онд σ координатын системд агаарын хэвтээ чиглэлийн хөдөлгөөний тоо хэмжээ (салхины прогноз), тасралтгүйн (даралтын гадаргын хандлага), термодинамик (температурын прогноз), гидростатикын тэгшитгэлүүдээс бүрдэх систем тэгшитгэлийг томьёолжээ (Grell, 1994). Харин агаар мандлын загварын физик процессууд цацрагийн, хязгаарын үе давхаргын, хур тунадасны схемээр параметртчлагдахаас гадна газар орчмын физик процесс нь агаар мандал, биосферын харилцан үйлчлэлийн схемээр тус тус илэрхийлдэгдэнэ (Зураг 109).



Зураг 109. Бүс нутгийн уур амьсгалын загварын бүдүүвч

Бүс нутгийн уур амьсгалын загварын систем тэгшитгэлийг анхны болон захын нөхцөл өгөгдсөнөөр Эйлерийн суурь аргад үндэслэн үл хөдлөх торын зангилааны цэгүүдийн хувьд төгсгөлөг ялгаварын аргаар ойролцоолон бодно. Тооцооны хугацааны алхмын хувьд хоёрдугаар эрэмбийн лийпфрөг (leapfrog) схемийг ашигласан болно (Grell, 1994).

Үр дүн

Дэлхийн хэмжээний загварын тооцооны үр дүн

Хүлэмжийн хийн агууламжийн өсөлтөөс үүдэлтэй дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлтийн ирээдүйн төсөөллийн үнэлгээнд түүнийг залуурдаж буй хүчин зүйлс, мөн түүнд уур амьсгалын системийн үзүүлэх хариу үйлдэл онцгой чухал юм.

Уур амьсгалын өөрчлөлтийн асуудал эрхэлсэн засгийн газрын мэргэжилтэний бүлгээс хүлэмжийн хийн агууламжийн төлөөлөх замналуудыг нийгэм, эдийн засгийн хэтийн төлөвөөс (Representative Concentration Pathways, RCP) хамааруулан тодорхойлж 5 дугаар итгэлийн хүрээнд (AR5) гаргасан юм. RCP нь уур амьсгалын загварын анхны нөхцөлд тооцогдсноор ирээдүйн уур амьсгалын өөрчлөлтийн сценарийг тоон байдлаар үнэлж түүнд үндэслэсэн нөлөөлөл, эмзэг байдал, эрсдлийн үнэлгээ хийгдэж дараа нь дасан зохицох арга хэмжээг тодорхойлох ёстой.

Дэлхийн уур амьсгалын загвар ажиллуулдаг 28 төвийн 40 орчим загвар дээр дурдсан хүлэмжийн хийн ялгаралын сценарит үндэслэн түүхийн хугацааны уур амьсгалыг 1860-2005, мөн ирээдүйн уур амьсгалыг 2005-2100 оны үеэр тооцоолсон байна (Taylor, K.E et al, 2012). Ингэхдээ ирээдүйн уур амьсгалыг хүлэмжийн хийн ялгарлын 4 сценариар дэлхийн агаар мандлын цацрагийн баланст 2100 оны түвшинд 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 Вт/м²-аар нэмэгдүүлэх 4 үндсэн хувилбараар тооцоолсон юм (Climate Change 2013: The Physical Science Basis).

Бид дээрх уур амьсгалын дэлхийн хэмжээний загваруудаас Монгол орны өнгөрсөн түүхийн хугацааны 1985-2005 оны суурь уур амьсгалыг хэрхэн босгож байгаагаар нь үнэлгээ өгч олон шалгуурт анализын аргаар эрэмбэлж эхний 10 загварын үр дүнг судалгаандаа ашигласан болно.

Уур амьсгалын өөрчлөлтийн сценарийг хэрэглэх эцсийн хэрэглэгчид (шийдвэр гаргагчид, судлаачид гэх мэт) тэдгээрийн шаардлага, хэрэгцээг харгалзан ойрын ирээдүйн 2016-2035, алсын ирээдүйн 2081-2100 гэсэн 2 үеийг сонгон авч дээр дурдсан

хүлэмжийн хийн замналын хувьд өөрийн орны уур амьсгалын өөрчлөлтийн тооцоог хийв.

Загварын үнэлгээ. Дэлхийн хэмжээний уур амьсгалын 40 загвараас (<http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/availability.html>) Монгол орны 1985-2005 оны өвөл, зуны улирлын уур амьсгалыг хэрхэн тооцоолсон үр дүнг бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулан орон зайн корреляцийн коэффициент, ажиглалттай харьцуулсан нормчилсан стандарт алдаа гэсэн статистик үзүүлэлтээр үнэлэв. Энэхүү үзүүлэлтүүдийг олон шалгуурт анализын аргын шалгуур (Multi criteria analysis, 2009) үзүүлэлт болгон авч тоон утгыг нормчилж 100 онооны систем рүү шилжүүлэн эрэмбэлж эхний 10 загварыг сонгон авав.

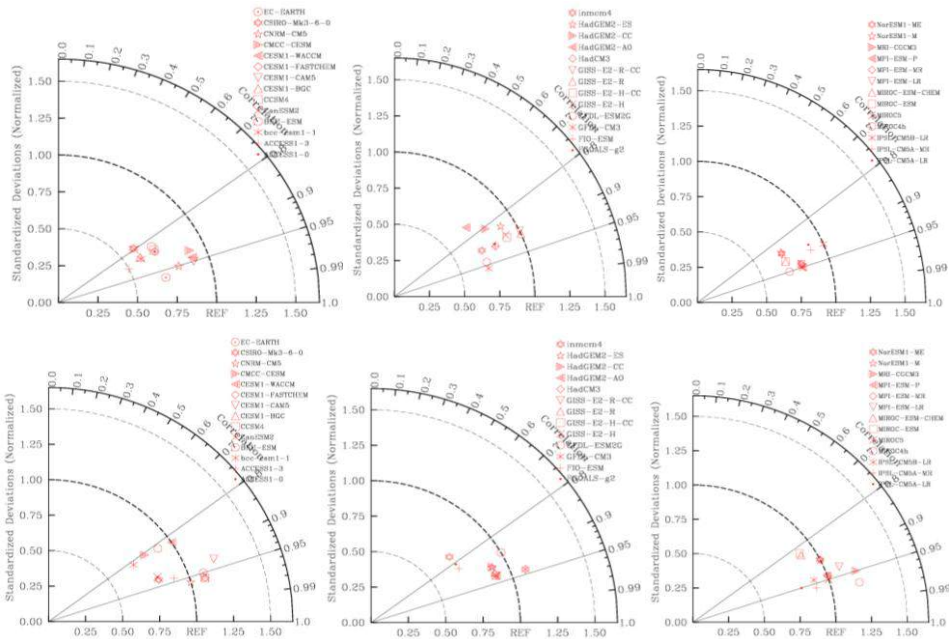
Хүснэгт 34-т сонгогдсон загваруудын товчилсон нэр, харьяалагдах олон улсын төв, статистик үзүүлэлтүүдийг үзүүлэв.

Хүснэгт 34. Дэлхийн хэмжээний уур амьсгалын загвар болон төвийн нэр

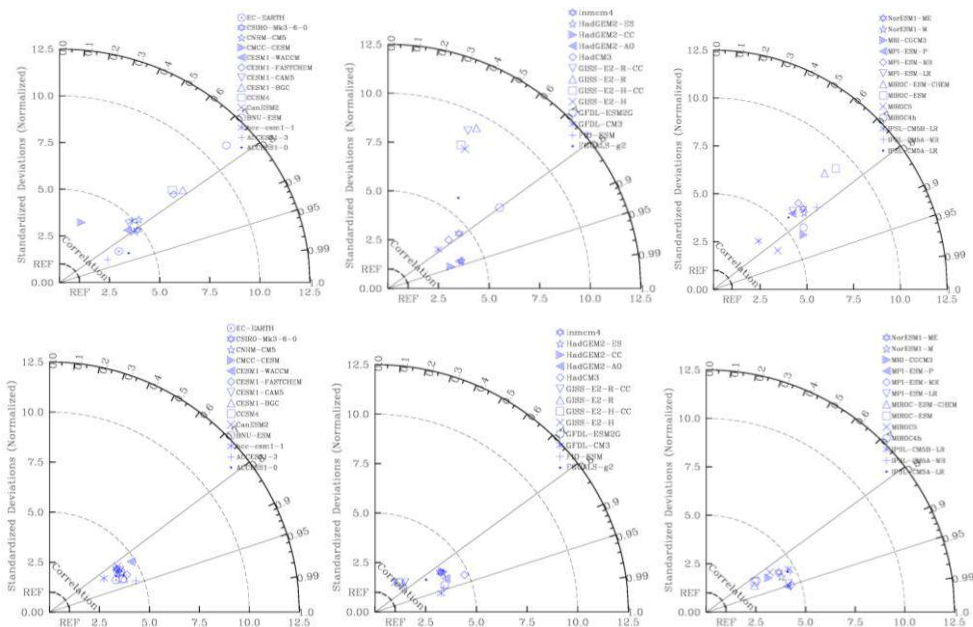
Modeling Center	Model	Institution
CNRM-CERFACS	CNRM-CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques / Centre Europeen de Recherche et Formation Avancees en Calcul Scientifique
EC-EARTH	EC-EARTH	EC-EARTH consortium
MIROC	MIROC5	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
MOHC	HadGEM2-ES	Met Office Hadley Centre (additional HadGEM2-ES realizations contributed by Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)
MPI-M	MPI-ESM-LR MPI-ESM-MR	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)
MRI	MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute
NOAA GFDL	GFDL-CM3 GFDL-ESM2G	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
NSF-DOE-NCAR	CESM1(CAM5)	National Science Foundation, Department of Energy, National Center for Atmospheric Research

Дээрх төвүүдийн загварын үр дүнгийн формат адилгүй, орон зайн нарийвчлал өөр өөр ойролцоогоор 120-300 км учир ижил формат, нарийвчлалтай болгох үүднээс Гауссын T62 буюу ойролцоогоор 200 км (1.8^0) -ын нарийвчлал руу интерполяцийн аргаар шилжүүлж бүх тооцоог хийв.

Зураг 110-111-т сонгосон дэлхийн уур амьсгалын 40 загварын улирлын температур, хур тунадасны ажиглалттай харьцуулсан статистик үзүүлэлтийг Тайлорын диаграмаар үзүүлэв. Эдгээрээс сонгосон 10 загварын өвлийн улирлын температурын орон зайн хамаарал 0.84-0.96, нормчилсон стандарт алдаа 1.9-3.5, хур тунадасных харгалзан 0.71-0.93, 2.2-8.1, зуны улирлын температурын хувьд 0.83-0.96, 0.02-0.2, хур тунадасны хувьд 0.84-0.96, 0.1-0.3 тус тус байж бусдаасаа харьцангуй алдаа багатай байв. Энд нормчилсон алдаа нь ажиглалтын стандарт алдаатай харьцуулсан учир 1.0 (REF) рүү тэмүүлсэн бол алдаа бага байна гэж үзнэ.



Зураг 110. Өвлийн болон зуны улирлын температурыг тооцоолсон загваруудын алдааны үнэлгээ

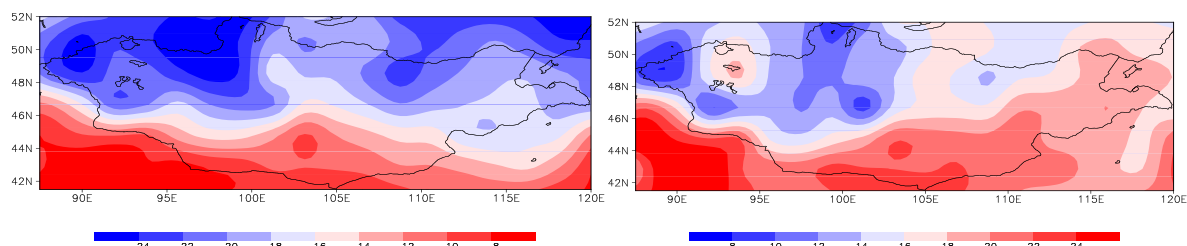


Зураг 111. Өвлийн болон зуны улирлын хур тунадасыг тооцоолсон загваруудын алдааны үнэлгээ

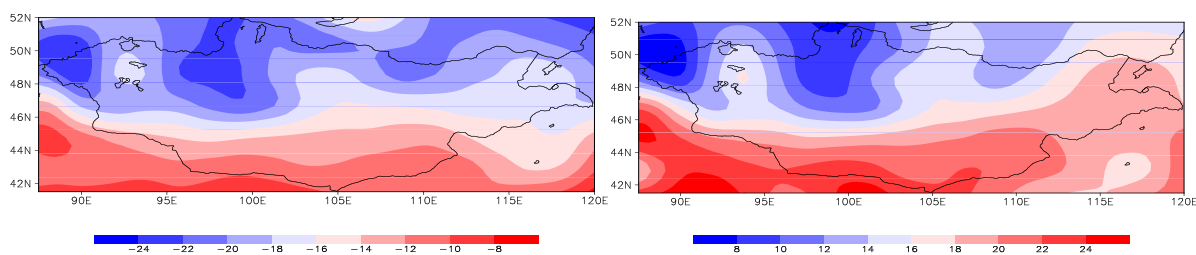
Ерөнхийдөө сонгосон загварууд өвөл, зуны улирлын уур амьсгалыг харьцангуй сайн тооцоолж байгаа нь харагдаж байна. Гэхдээ өвлийн хур тунадасны хувьд орон зайн хамаарал арай доогуур, хур тунадасыг харьцангуй ихэсгэж тооцоолдог болох нь тогтоогдсон юм.

Манай орны 1985-2005 оны уур амьсгалыг харьцангуй сайн тооцоолсон Хэйдлийн төвийн HadGEM2-ES, Макс Планкын хүрээлэнгийн MPI-ESM-MR загварын өвөл, зуны улирлын температур, хур тунадасыг тооцоолсон газарзүйн тархалтыг **Зураг 113-117**-т үзүүлэв.

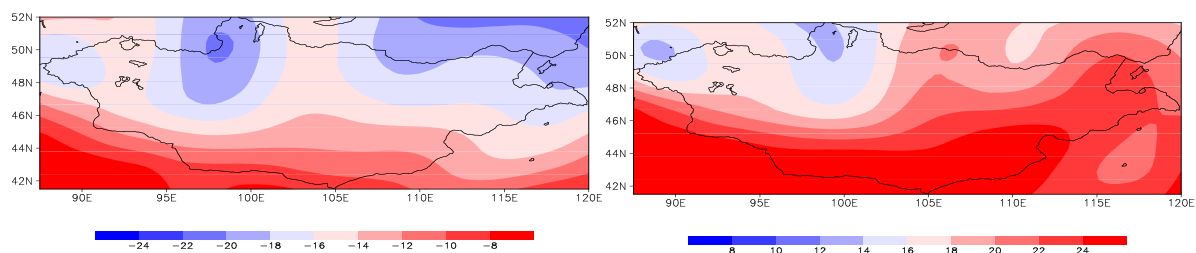
Эцэст нь эдгээр 10 загварын нийлбэрийн дундаж буюу олон загваруудын ансамбль дунджаар Монгол орны уур амьсгалын тооцоог хийж өөрчлөлтийн үнэлгээг суурь 1985-2005 оны үеийн уур амьсгалтай харьцуулж судалгааг хийв.



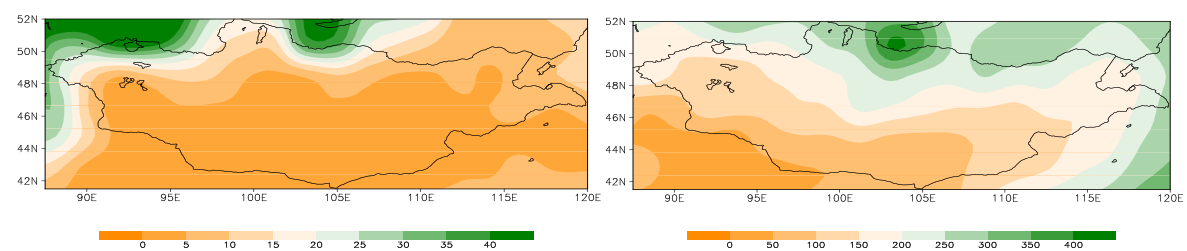
Зураг 112. Ажиглагдсан а) өвлийн болон б) зуны улирлын температурын газарзүйн тархалт, °C



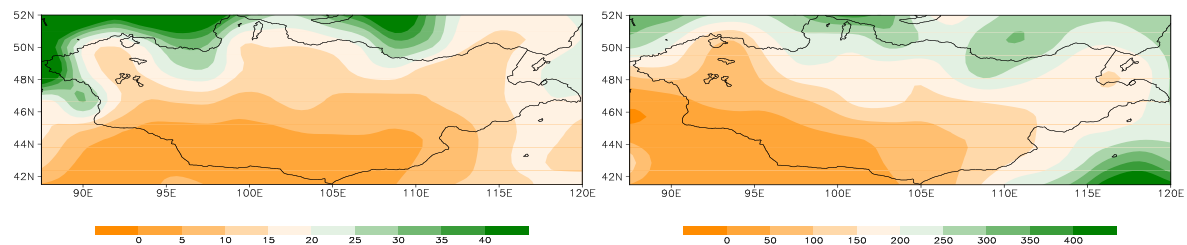
Зураг 113. HadGEM2-ES загвараар тооцоолсон а) өвлийн болон б) зуны улирлын температурын газарзүйн тархалт, °C



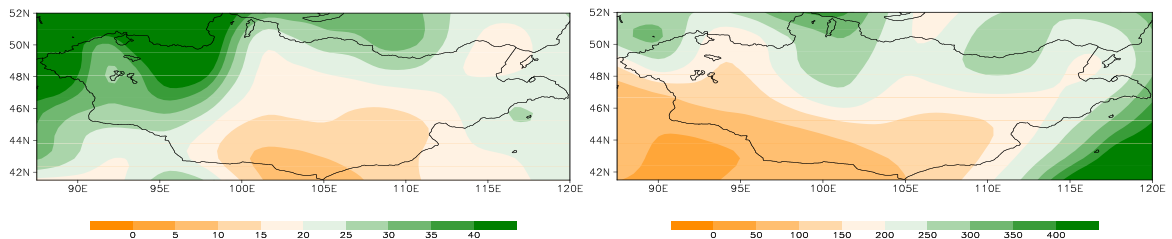
Зураг 114. MPI-ESM-MR загвараар тооцоолсон а) өвлийн болон б) зуны улирлын температурын газарзүйн тархалт, °C



Зураг 115. Ажиглагдсан а) өвлийн болон б) зуны улирлын хур тунадасны газарзүйн тархалт, мм



Зураг 116. HadGEM2-ES загвараар тооцоолсон а) өвлийн болон б) зуны улирлын хур тунадасны газарзүйн тархалт, мм



Зураг 117. MPI-ESM-MR загвараар тооцоолсон а) өвлийн болон б) зуны улирлын хур тунадасны газарзүйн тархалт, мм

Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлт. Хүлэмжийн хийн сценариудаас хамгийн их, дунд, бага ялгаралттай үеийн хувилбарыг сонгож Монгол орны талбайгаар дундажлагдсан жил жилийн өвөл, зуны улирлын температур, хур тунадасны хандлагыг 2100 хүртэл тооцоолов (Зураг 118-119).

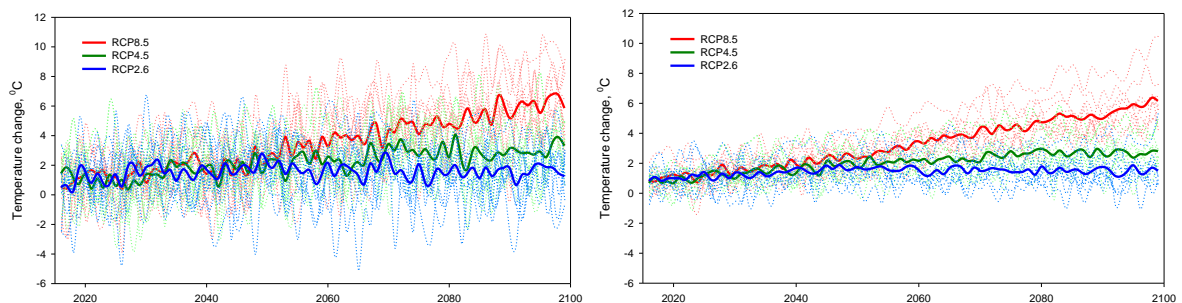
Ерөнхийдөө хүлэмжийн хийн агууламж өөрчлөлтийн эрчимшлээс температурын өөрчлөлт шууд хамаарч байна. Гэхдээ өвлийн температурын хандлагын эрчим ялимгүй их байх бөгөөд жил хоорондын өөрчлөлтийн хэлбэлзэл зуныхыг бодвол арай их байхаар байна (Зураг 118а).

Өөрчлөлтийн тоон үтгын эрчимшил энэ зууны эхний хагаст бүх хүлэмжийн хийн хувилбарт бараг ижил, харин түүнээс хойш хоорондоо эрс ялгаатай үр дүнг өгч байна (Зураг 118б). Жишээ нь энэ зууны эхэн 2016-2032 оны үед хүлэмжийн хийн хувилбар бүрт өвлийн улирлын температур дунджаар 2.3°C -ээр нэмэгдэхээр байхад зууны төгсгөлд 2081-2100 оны үед RCP2.6-ийн хувьд 2.5°C , RCP4.5-ийн хувьд 3.7°C , RCP5.5-ийн хувьд 6.7°C -ээр тус тус нэмэгдэхээр байна (Хүснэгт 35).

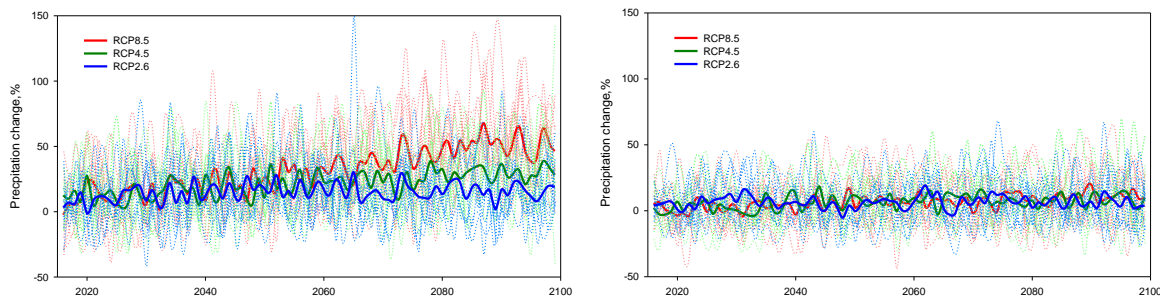
Хур тунадасны хувьд өвлийнх нэмэгдэхээр, харин зуных бараг өөрчлөлтгүй байхаар байна (Зураг 119). Энэ зууны төгсгөлд 2081-2100 оны үед RCP2.6-ийн хувьд 15.5%, RCP4.5-ийн хувьд 28.7%, RCP8.5-ийн хувьд 50.5%-иар тус тус нэмэгдэхээр байна (Хүснэгт 35).

Ер нь уур амьсгалын өөрчлөлтийн хандлага 4 дүгээр илтгэлийн үр дүнтэй төсөөтэй гарсан бөгөөд ялангуяа A1B (MARCC, 2010) хүлэмжийн хийн хувилбар 5 илтгэлийн RCP8.5-ынхтай тун ойролцоо гарлаа.

Бүх улирлын өөрчлөлтийн үр дүнг хүлэмжийн хийн 5 дугаар илтгэлийн 3 хувилбараар Хүснэгт 35-т үзүүлэв.



Зураг 118. а) өвөл б) зуны улирлын температурын өөрчлөлтийн хандлага



Зураг 119. а) өвөл б) зуны улирлын хур тунадасны өөрчлөлтийн хандлага

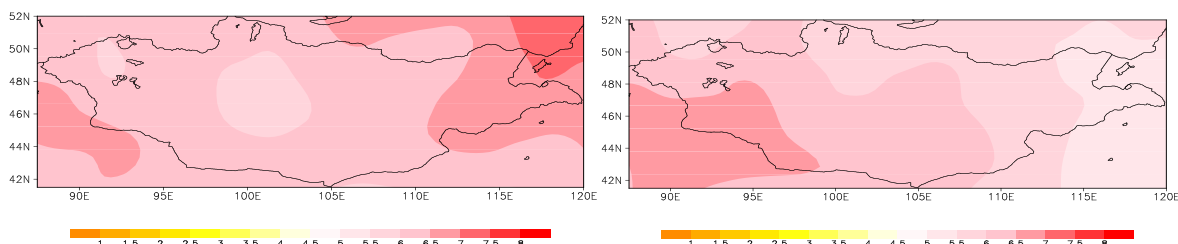
Хүснэгт 35. Янз бүрийн хүлэмжийн хийн хувилбарт харгалзах Монгол орны улирлын уур амьсгалын өөрчлөлт, (Уур амьсгалын 10 загварын дунджаар)

GHG scenarios	Seasons	Near future, 2016-2035		Far future, 2081-2100	
		Temperature, °C	Precipitation, %	Temperature, °C	Precipitation, %
RCP2.6	Winter	2.3	10.1	2.5	15.5
	Spring	2.3	9.2	2.4	11.7
	Summer	2.2	6.2	2.5	5.1
	Fall	2.1	7.6	2.4	7.6
RCP4.5	Winter	2.1	12.3	3.7	28.7
	Spring	2.0	7.8	3.4	17.4
	Summer	2.1	1.1	3.5	7.8
	Fall	2.0	8.1	3.4	11.7
RCP8.5	Winter	2.2	14.0	6.3	50.2
	Spring	2.2	9.8	5.6	28.6
	Summer	2.2	2.4	6.0	8.7
	Fall	2.2	6.4	6.1	24.1

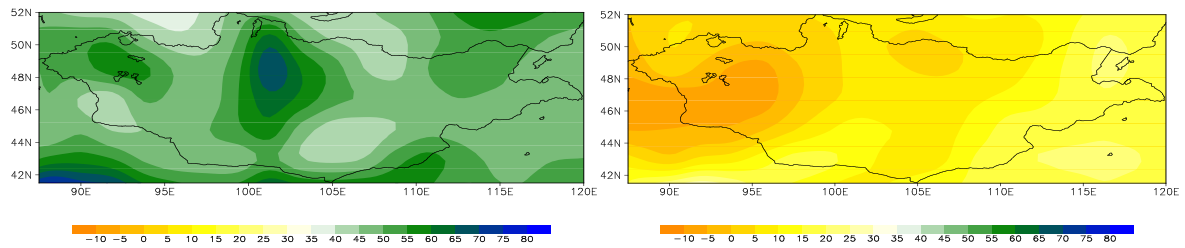
Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлтийн хандлага, төсөөллийн үр дүнг энэ зууны эхэн 2016-2035, төгсгөлд 2081-2100 оны үеэрээр мөн өвөл, зуны улирлын температур, хур тунадасны газарзүйн тархалтаар нь зөвхөн RCP8.5-ын хувьд **Зураг 120-123**-т үзүүлэв (учир нь бусад хүлэмжийн хийн хувьд эрчимшил бага газарзүйн тархал хэвээр хадгалагдаж байв).

Харьцангуй эрчимтэй дулааралт өвлийн улиралд Монгол орны баруун болон зүүн бүс нутагт 5.5-7.5°C (**Зураг 120а**), харин зуны улиралд баруун бүс нутагт (**Зураг 120б**) 5.0-5.5°C байхаар төсөөлөгдөж байна. Өвлийн улирлын хур тунадас төв, баруун, зүүн бүсэд 55-75% (**Зураг 121а**) хүртэл нэмэгдэхээр, харин зуных баруун бүсэд 5-10%-иар буурах бусад бүсэд багахан нэмэгдэхээр байна (**Зураг 121б**).

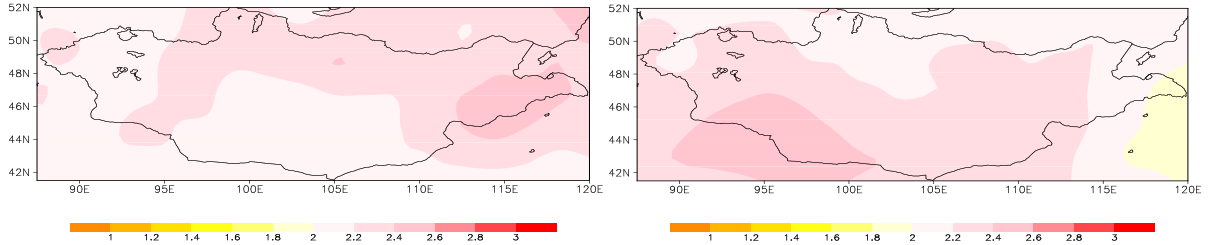
Энэ зууны эхэн 2016-2035 оны үед дэх өөрчлөлтийн газарзүйн тархалтыг **Зураг 122-123**-т үзүүлэв. Ерөнхийдөө газарзүйн тархалт бараг хэвээрээ, эрчимшлийн хувьд харьцангуй бага байна.



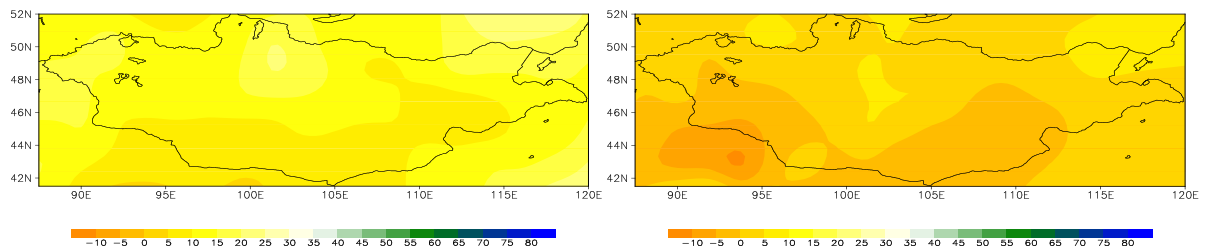
Зураг 120. 2081-2100 үеийн а) өвөл б) зуны улирлын температурын өөрчлөлтийн газарзүйн тархалт, °C



Зураг 121. 2081-2100 үеийн а) өвөл б) зуны улирлын хур тунадасны өөрчлөлтийн газарзүйн тархалт, %



Зураг 122. 2016-2035 үеийн а) өвөл б) зуны улирлын температурын өөрчлөлтийн газарзүйн тархалт, °C



Зураг 123. 2016-2035 үеийн а) өвөл б) зуны улирлын хур тунадасны өөрчлөлтийн газарзүйн тархалт, %

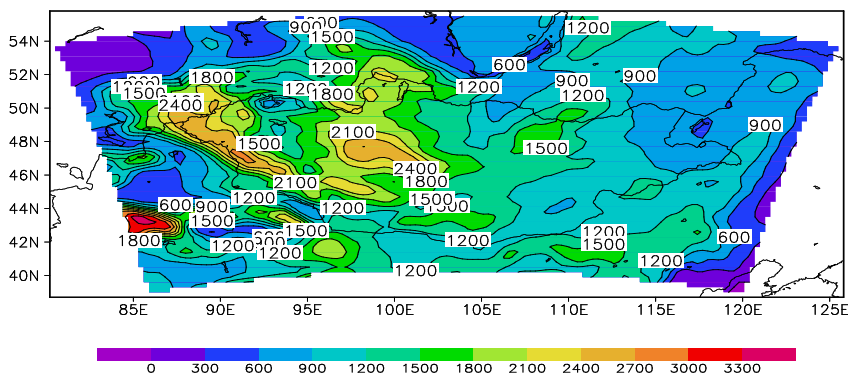
Бүс нутгийн хэмжээний загварын тооцооны үр дүн

Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлтийн ирээдүйн сценарийг дэлхийн хэмжээний загвараар тооцоолоход орон зайн нарийвчлал (100-200км) нь бүс нутаг, голын сав газар зэрэг бага хэмжээст төдийлөн хангалттай биш байдаг. Иймд орон зайн нарийвчлалыг сайжруулах арга бол бүс нутгийн уур амьсгалын загварын оролтод дэлхийн хэмжээний загварын гаралтын үр дүнг анхны болон захын нөхцөл ашиглах явдал юм. Энэхүү арга нь тооцоолох машины хүчин чадлыг асар ихээр шаардахаас гадна хугацаа их ордог юм. Гэхдээ нэгэнт үр дүнг гаргаж авах юм бол тухайн бүс нутаг, газар орны өндөршил, ургамал бүрхэвчийн онцлогийг тусгасан харьцангуй сайн нарийвчлалтай үр дүн болдог. Иймээс уг үр дүнг уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийн үнэлгээнд бүс нутаг, голын сав газарт ашиглах нь илүү тохиромжтой.

Энэхүү судалгаанд бүс нутгийн RegCM4 загварыг динамик буулгалтанд ашигласан бөгөөд өмнөх дэлхийн хэмжээний загваруудын үнэлгээнээс харьцангуй өндөр нарийвчлалтай Монгол орны уур амьсгалын тооцоолсон MPI-ESM-MR загварыг гаралтын үр дүнг бүс нутгийн загварын оролтын анхны болон захын нөхцөлд ашигласан болно.

Тоон туршилтын дизайн. Бүс нутгийн загварын хамрах бүс нутгийг **Зураг 124**-т үзүүлэв. Грид цэгийн хоорондын зайн 30км энэ нь тухайн бүс нутгийн бэсрэг хэмжээсийн процессыг илэрхийлж чадна. Анхны болог захын нөхцлийн мэдээнд олон түвшний салхины байгуулагчүүд, агаарын температур, чийг, даралт буюу геопотенциаль гадаргын өндрүүдийг дээрх дэлхий хэмжээний MPI-ESM-MR загвараас интерполяци хийж тооцоолон авав.

Загварыг бодолтыг 1986-2005, 2016-2035, 2046-2065 болон 2081-2100 гэсэн үеүдээр хүлэмжийн хийн RCP8.5 буюу хамгийн их ялгаралттай байх үеийн байх хувилбараар хийв. Загварт ашиглагдсан физик схемийг **Хүснэгт 36**-т үзүүлэв.



Зураг 124. Бүс нутгийн загварын хамрах бүс нутгийн өндөршил, м

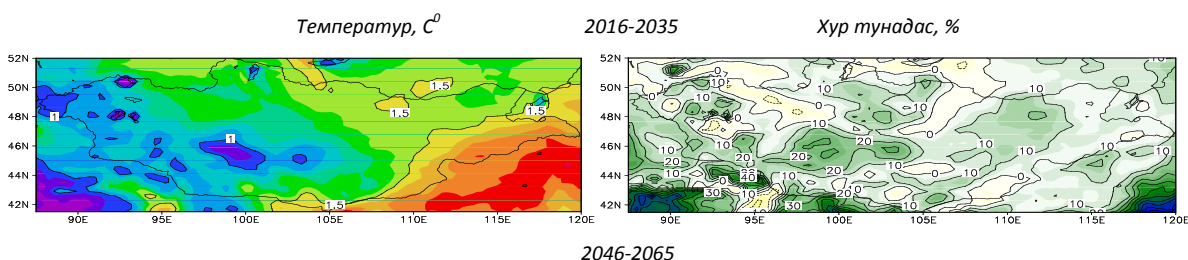
Хүснэгт 36. Тооцоонд ашигласан физик схемүүд

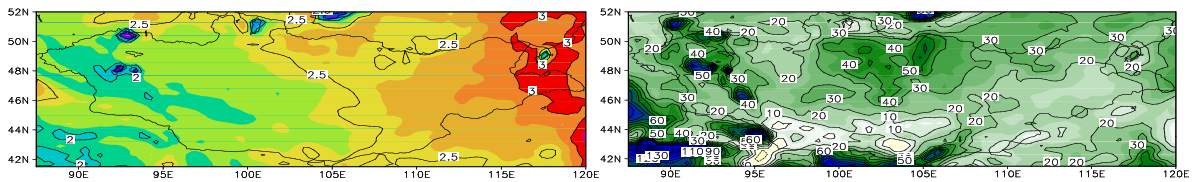
No	Схем	Төрөл
1	Захын нөхцлийн техник	Relaxation, exponential technique
2	Хязгаарын үе давхарга	Holtslag PBL (Holtslag, 1990)
3	Кумулюс үүлний схем	Tiedtke (1996)
4	Чийгийн схем	Explicit moisture (SUBEX; Pal et al 2000)
5	Цацрагийн схем	Radiation scheme CCSM

Тооцооны үр дүн. Монголын газар нутаг бүхэлдээ голлосон өргөрөгийн 41.5-52.0°, уртрагийн 87.5-120° талбайгаар хязгаарлагдсан бүс нутагт анализыг голлон хийв. **Зураг 124-125**-т өвлийн болон зуны улирлын агаарын температур, хур тунадас өөрчлөлтийг 2016-2035, 2046-2065 болон 2081-2100 гэсэн үеүдээр гаргаж газарзүйн тархалтыг үзүүлэв.

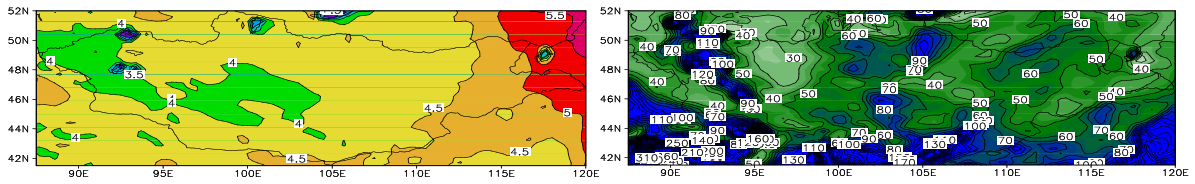
Ерөнхийдөө дэлхийн хэмжээний загвартай харьцуулахад өндөршил, газар бүрхэвчээс хамаарсан харьцангуй орон зайн өндөр нарийвчлалтай мэдээлэлтэй үр дүн гарсан байна.

Өвлийн температур ойрын ирээдүйд 1.0-1.5C°, алсдаа 2.0-3.0C°, бүр холын ирээдүйд 3.5-5.0C° нэмэгдэж дулаарахаар байна. Дулааралтын харьцангуй эрчимтэй бүс нутаг зүүн хэсэгт гарсан байна. Өвлийн хур тунадасны хувьд дээрх үеүдэд харгалзан 20%, 20-50%, 30-100% -оор нэмэгдэх төлөвтэй. Харьцангуй эрчимтэй өсөлт нутгийн төв, баруун, зүүн хэсэгт байхаар төсөөлөгдөж байна.





2081-2100



Хүснэгт 37. Янз бүрийн үеүд дэх а) өвлийн температур, б) хур тунадасны өөрчлөлт

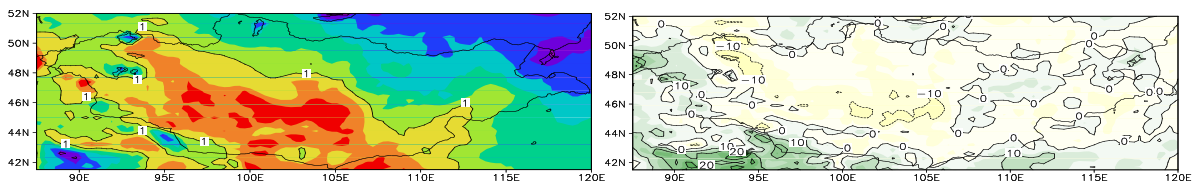
Зуны температур дээрх үеүдэд харгалзан $0.5-1.0C^0$, $2.0-2.5C^0$, $3.0-4.5C^0$ –ээр нэмэгдэх бөгөөд харьцангуй эрчимтэй дулааралт төвийн бүсээр ажиглагдах магадлалтай байна. Хур тунадасны хувьд ихэнх нутгаар 10%-иар буурах төлөвтэй. Харин зүүн өмнөд болон баруун өмнөд хэсгээр бага зэргийн өсөлттэй байна.

Динамик буулгалтын хамгийн давуу тал орон зайн хувьд харьцангуй өндөр нарийвчлалтай үр дүн өгч байгаа явдал юм.

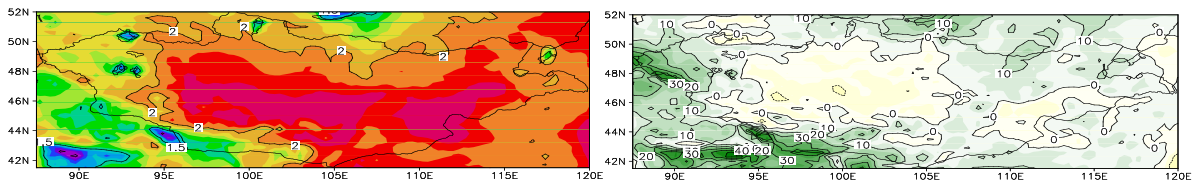
Температур, C^0

2016-2035

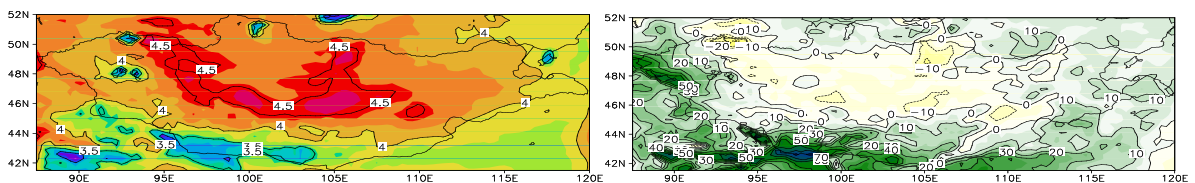
Хур тунадас, %



2046-2065



2081-2100



Зураг 125. Янз бүрийн үеүд дэх а) зуны температур, б) хур тунадасны өөрчлөлт

3.2 Гамшигт үзэгдлийн өөрчлөлтийн ирээдүйн хандлага

Өмнөх бүлэгт уур амьсгалын үндсэн элемент болох агаарын температур, хур тунадасны өөрчлөлтийн ирээдүйн тооцоололын үр дүнг авч үзсэн. Энэ нь ерөнхий чиг хандлагыг өгч байгаа ба аливаа нийгэм эдийн засгийн салбарын уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийн үнэлгээнд гамшигт үзэгдлийн давтагдал, эрч хүч яаж өөрчлөгдөх нь илүү чухал үзүүлэлт болдог.

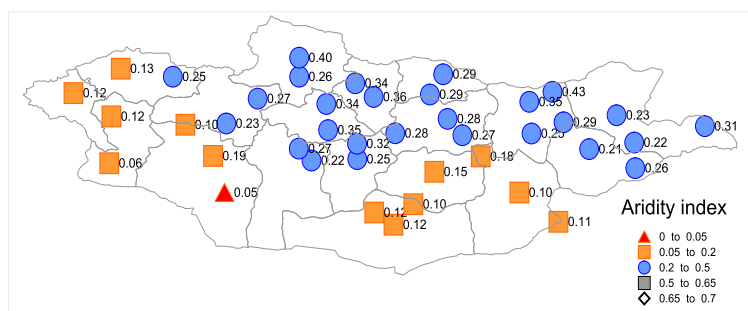
Иймд бид манай оронд тохиолдох уур амьсгалын экстремаль үзэгдэл болох ган, зуд, хуурайшлын индексийг тооцоолж түүний эрч хүч, давтагдал ирээдүйн өөрчлөлтийг авч үзэв.

Дэлхийн хэмжээний загваруудын үнэлгээнээс Германы Макс Планкын Цаг уурын хүрээлэнгийн MPI-ESM-MR GCM загвар харьцангуй манай орны өнгөрсөн үеийн уур амьсгалын тооцоолж байгаа учраас түүний гаралтын мэдээг ашиглан гамшигт үзэгдлийн өөрчлөлтийн ирээдүйн хандлагыг тооцоолов.

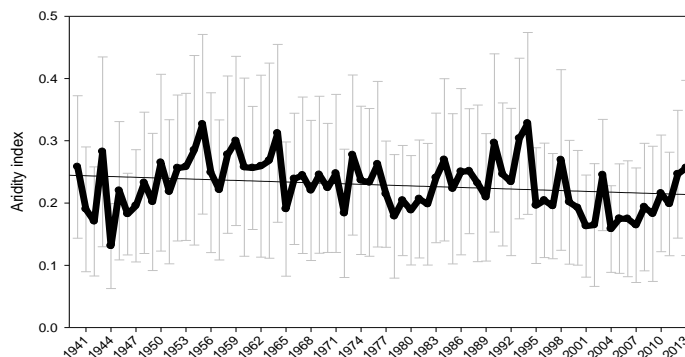
Дээрх индексийг хүлэмжийн хийн хамгийн их ялгаралттай үеийн RCP8.5 сценарийг ашиглаж 1986-2005, 2016-2035, 2081-2100 оны үеүдээр тооцоолж давтагдал, эрч хүчийн өөрчлөлтийг тогтоов.

Хуурайшил. Хуурайшлын индексийг хур тунадас, потенциал ууршилтын харьцаагаар (UNEP, 1992) тооцоолов. Тус индексийг Монгол орны нутгаар жигд тархан байрласан цаг уурын 41 станц тус бодож өнөөгийн өөрчлөлтийг гаргав (**Зураг 126**). Хуурайшлын ангилалын тоон утгаар манай орны бүс нутаг ерөнхийдөө хуурай (0.05-0.20), хуурайвтар (0.20-0.50) бүс нутагт хамрагдаж байна.

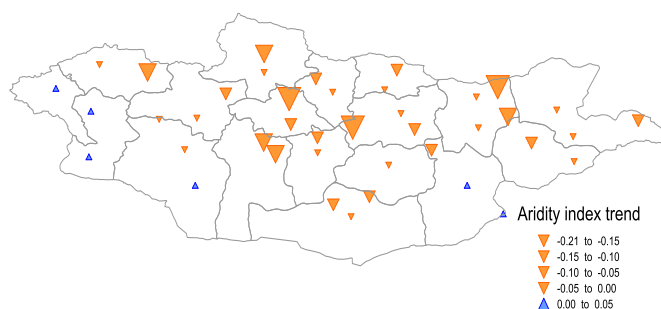
Зураг 126 –т орон зайгаар дундажласан хуурайшлын индекс олон жилийн хандлагыг үзүүлэв. Энд түүний утга буурч байгаа бөгөөд хуурайшил улам бүр эрчимжиж 1940-2013 оны хооронд 0.03 утгаар буурсан байна. Өөрчлөлтийн орон зайн тархалтыг авч үзвэл Монгол орны ихэнх хэсэгт индекс буурч хуурайшил эрчимжиж байгаа ба ялангуяа төвийн бүс, өндөр өргөрөгт байрлах нутгаар илүү их эрчимтэй явагдаж байна. Харин баруун өмнөд болон зүүн өмнөд хэсэгт яльгүй хуурайшил буурсан байна (**Зураг 128**).



Зураг 126. Хуурайшлын индекс олон жилийн дундаж утга, 1940-2013

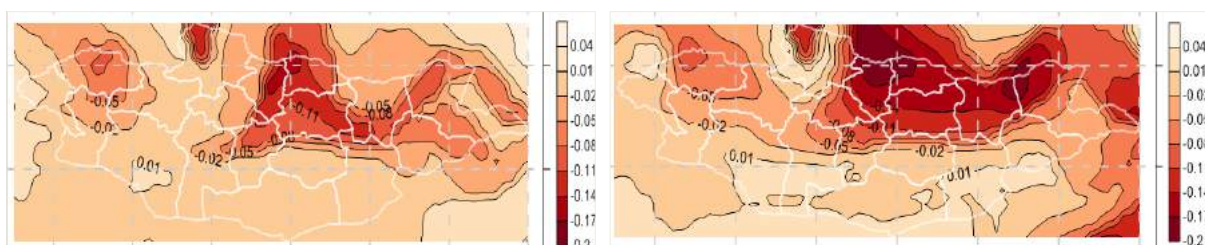


Зураг 127. Хуурайшлын индекс олон жилийн хандлага, 1940-2013



Зураг 128. Хуурайшлын индексийн өөрчлөлт, 1940-2013

Хуурайшлын индексийг дээрх үеүдээр тооцоолж ойрын ирээдүйн (2016-2035) болон холын ирээдүйн (2081-2100) өөрчлөлтийг суурь (1986-2005) оноос хасаж тооцоолов (**Зураг 129**). Хуурайшил манай орны баруун хойд, төв, зүүн хойд хэсэгт ойрын ирээдүйд 0.02-0.2-ээр бууран эрчимжиж, харин холын ирээдүйд тэдгээрийн эзлэх талбай улам бүр ихсэх хандлагатай байна.



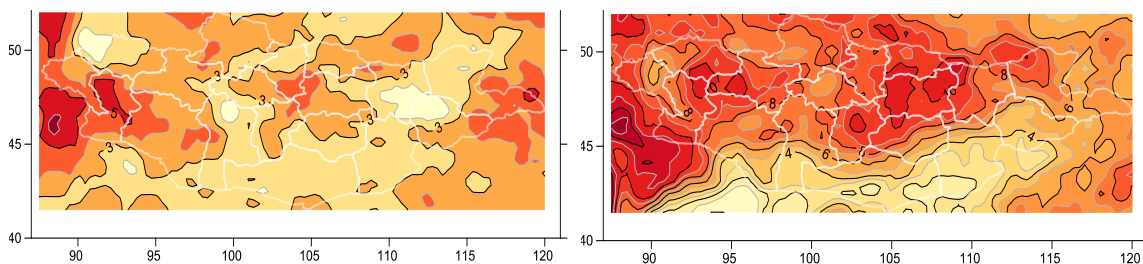
Зураг 129. Хуурайшлын индексийн ирээдүйн өөрчлөлт а) 2016-2035 б) 2081-2100

Ган. Ганг илэрхийлэхийн тулд зуны сарын агаарын температур, хур тунадасны нормчлогдсон утгуудын ялгавар байдлаар сонгож загварын грид цэг бүр дээр тооцоог хийв (Ped, 1971). Энэхүү индексийн физик санаа бол олон жилийн дундаж сарын температураас тухайн сар давж их халах, мөн хур тунадас дунджаасаа бага орох үед гантай байна гэсэн үг юм.

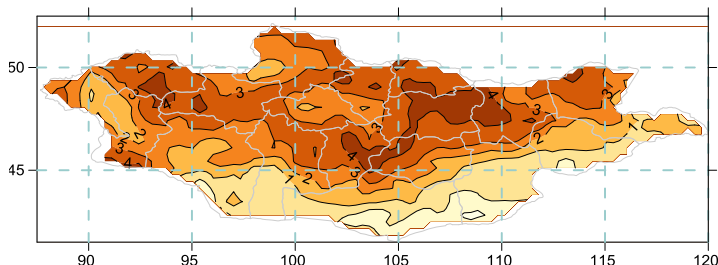
$$\text{Гангийн индекс} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{T - \bar{T}}{\sigma_T} \right) - \sum_{i=1}^n \left(\frac{P - \bar{P}}{\sigma_P} \right)$$

Ган болох босго утгыг өмнө ажиглагдсан түүхийн мэдээнд үндэслэн гангийн индексийн утга 2.0-оос их үед болно гэж үзэв. Ингээд 20 жил дэх гангийн давтагдлыг суурь он, ирээдүйн 2081-2100 оноор тооцоолж давтагдлын зөрүүг олсон болно.

Зураг 130-т өнөөгийн гангийн давтагдал, алс холын ирээдүйн дэх давтагдлын газар зүйн тархалыг үзүүлэв. Гангийн давтагдал өнөө үед 20 жилд дунджаар 2-5 удаа тохиолддог байсан бол энэ зууны сүүлээр өсч 2-10 удаа тохиолдох магадлалтай байна. Тэдгээрийн харьцааг **Зураг 131**-т үзүүлэв. Энэ зууны төгсөлд Монгол оронд 20 жилд тохиолдох давтагдал 2-4 дахин нэмэгдэхээр байна. Харьцангуй хамгийн эрчимтэй давтагдлын өөрчлөлт баруун хойд, төв, зүүн хойд хэсэгт байна.



Зураг 130. Гангийн давтагдал/20жил а)1986-2005 б)2081-2100



Зураг 131. Гангийн давтагдалын өөрчлөлт, 2081-2100

Зуд. Зудын индексг тодорхойлохдоо уур амьсгалын зуны нөхцөл, өвлийн нөхцлийн хам байдлаар дараахь томъёололоор тодорхойлсон (Л.Нацагдорж, 1999). Энэхүү индексн физик санаа бол зуны гантай нөхцөл дээр нэмээд өвлийн температур олон жилийн дундаж сарын температураас тухайн сар давж их хүйтрэх, мөн цас дунджаасаа ахиу орох үед зуд болно гэсэн үг юм.

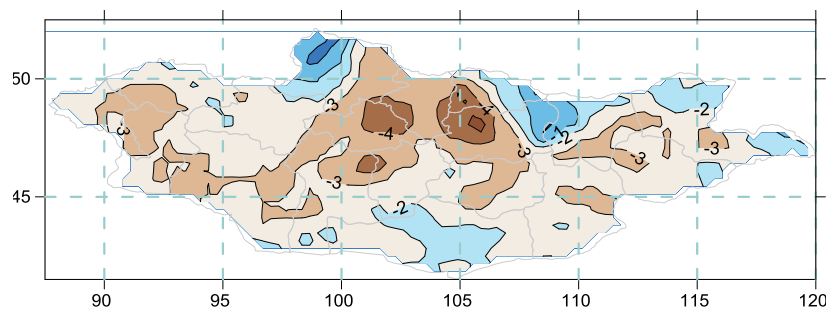
Зудын индекс

$$= \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{T_{\text{зун}} - \overline{T_{\text{зун}}}}{\sigma_T} \right) - \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_{\text{зун}} - \overline{P_{\text{зун}}}}{\sigma_P} \right) \right] - \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{T_{\text{өвөл}} - \overline{T_{\text{өвөл}}}}{\sigma_T} \right) - \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_{\text{өвөл}} - \overline{P_{\text{өвөл}}}}{\sigma_P} \right) \right]$$

Зудын индексн босго утгыг зудтай жилийн индексн олон жилийн дундаж утга болох -2.0 гэж авав. Зудын давтагдлын өөрчлөлтийг гангийн индекснхтай адил тооцоолж үр дүнг энэ зууны сүүлийн үеийн байдлаар **Зураг 132**-т үзүүлэв.

Өвлийн нөхцөл цаг агаар, уур амьсгалын нөхцөл температурын хувьд зөөлөрч дулаарахын зэрэгцээ, хур тунадас, цасны хувьд ихсэж байгаа учраас хоорондоор балансланд өнөөгийн өвлийн нөхцлийн индекс хэвээр хадгалагдана. Харин зун гангийн нөхцөл байдал улам эрчимжих тул зудын индекс гангаас илүү хүчтэй хамаарч 20 жилдээ одоогийнхоос 2-4 дахин нэмэгдэх төлөвтэй. Ялангуяа манай орны төвийн бүс нутгаар давтагдлын өөрчлөлт илүү эрчимтэй байна.

Гэхдээ зудын хувьд бид зөвхөн агаар мандлын буюу цаг уур, уур амьсгалын хүчин зүйл талаас нь авч үзсэн гэдгийг онцлон хэлье.



Зураг 132. Зудын давтагдал Frequency change of winter harsh condition in 2081-2100 respect to reference period 1986-2005

Дүгнэлт

- Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлтийн төсөөллийн тооцоог манай орны өнгөрсөн үеийн 1985-2005 оны уур амьсгалыг харьцангуй алдаа багатай тооцоолсон дэлхийн хэмжээний 10 загварын өөрөөр хэлбэл олон загварын ансамбль үр дүнгээр хүлэмжийн хийн 3 хувилбараар үнэлгээ хийсэн явдал бол загвар болон хүлэмжийн хийн ялгаралтай холбоотой тодорхойгүй байдлыг ямар нэг хэмжээгээр багасгасан гэж үзэж байна. Иймд энэхүү хийгдсэн үнэлгээний ажлын үр дүнгийн алдаа багасаж, тодорхой итгэл үнэмшил дээшилсэн.
- Манай орны ирээдүйн уур амьсгалын өөрчлөлтийн ерөнхий хандлага 4 дүгээр илтгэлийн үр дүнтэй тун төсөөтэй гарсан бөгөөд температурын хувьд бүх улиралдаа тогтвортой нэмэгдэх, харин хур тунадасны хувьд өвлийнх харьцангуй их хувиар нэмэгдэх, зуных бараг өөрчлөлтгүйгээр тогтвортой байх төсөөлөл гарсан.
- Энэхүү өөрчлөлтийн харьцангуй эрчимтэй утга температурын хувьд өвлийн улиралд баруун болон зүүн, зуны улиралд баруун бүсэд байхаар байна. Харин хур тунадасны хувьд өвлийн эрчимтэй өсөлт төв, баруун, зүүн бүсэд байж, зуны бууралт баруун бүсэд ажиглагдахаар төсөөлөгдөж байна.
- Цаашид манай орны уур амьсгалыг харьцангуй бага алдаатай тооцоолдог Хэйдлийн төвийн HadGEM2-ES, Макс Планкын хүрээлэнгийн MPI-ESM-MR загваруудын үр дүнгээр анхны болоод захын нөхцлөө хийсэн бүс нутгийн уур амьсгалын загварыг ажиллуулж динамик буулгалт хийж орон зайн нарийвчлалыг 10-20 км болгох шаардлага урган гарч байна.
- Динамик буулгалт хийсэн үр дүнгээр цаг агаар, уур амьсгалын экстремаль үзэгдлийн давтагдал, эрчмийн өөрчлөлтийн хандлагыг тооцоолох нь зүйтэй.
- Мөн газар ашиглалт, газрын бүрхэвчийн өөрчлөлтийг ирээдүйн уур амьсгалын төсөөлөлд тооцох Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлтийн үнэлгээг улам бүр нарийвчлах болно.

Хэвлэн нийтлүүлсэн бүтээл

П.Гомболүүдэв, Г.Сарантуяа. Говийн бүсийн уур амьсгалын өөрчлөлт, экстремаль нөхцөл. Бүс нутгийн уур амьсгалын өөрчлөлт ба цөлжилт, Улаанбаатар 2014

P.Gomboluudev, Robert C. Balling Randall S. Cerveny Rob Allan Gilbert P. Compo et al. The Tosontengel Mongolia World Record Sea Level Pressure Extreme: Spatial Analysis of Elevation Bias in Adjustment-to-Sea-Level-Pressures. International Journal of Climatology, 2014. Volume 37, Issue 15.

П.Гомболүүдэв. Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлтийн ирээдүйн төсөөлөл,
хандалга. MARCC-2014. БОНХАЖЯ, 2015

Бүлэг IV. Агаарын бохирдлыг урьдчилан мэдээлэх технологи

4.1 Агаарын бохирдлын эх үүсвэрийн ялгаралтын тооцоо

Хүний үйл ажиллагааны улмаас хий болон эгэл хэсгүүд агаарт ялгарч түүний агууламж ихэссэнээс ургамал амьтан, хүний амьдралын хэв маяг, экосистем, бусад зүйлд шүүд болон шүүд бус үзүүлж буй нөлөөллөөр агаарын бохирдол тодорхойлогдоно (Jacobson, 2002). Агаарын бохирдол нь хүний эрүүл мэнд (амьсгалын замын өвчин, хавдар, харшил), экосистемд (ургамлын ургац, биологийн төрөл зүйл цөөрөх гэх мэт), бүс нутгийн уур амьсгалд нөлөө үзүүлэх гол хүчин зүйл болдог.

Бохирдлын эх үүсвэрээс агаарт хаягдаж байгаа бохирдуулагч бодисын хэмжээг тэр болгон хэмжих, нийлбэр байдлаар тодорхойлох боломжгүй тул бохирдуулагч бодисын хаягдлын инвенторийг хийж зарцуулалтын үндсэн хаягдлын хэмжээ буюу ялгаралтыг тооцоолон гаргадаг юм.

Энэхүү судалгаагаар бид бохирдлын эх үүсвэрийн хамгийн сүүлийн үеийн тоон мэдээ, баримт дээр үндэслэн томоохон хотуудын ялгаралтын тооцоог хийхийг зорьсон юм. Учир нь ялгаралтын тоон мэдээ нь агаарын бохирдлын загварын оролтын хамгийн гол үзүүлэлт болдог.

Судлагдсан байдал

Олон улсын практикт хаягдлын инвентори хийх ажлыг 1970 аад оноос санаачилж эхэлсэн бөгөөд 1980 аад оноос үндсэн бохирдуулагч болох азотын ислүүд NO_x, CO, NMVOCs, SO₂, NH₃- ыг тооцоолох оролдлого хийж байжээ. 1990 ээд оноос хүнд металлууд, POPs (диоксин мэт хортой бодисуудын нийтлэг нэр) 2000 оноос хойш нарийн ширхэгт тоос тоосонцор буюу PM_{2.5}, PM₁₀, TSP зэргийг нэмэлт байдлаар тооцоолох болсон.

Харин 2010 оноос хойш инвенторийн үр дүнг хүчиллэг тунадас үүсгэх, гадаргын усанд агуулагдах шимт бодисын агууламжинд өөрчлөлт оруулах, газар орчмын озоны агууламж өөрчлөгдөхөд нөлөөлөх чиглэл рүү чиглүүлж 4 гол бохирдуулагч болох NO_x, VOC, SO₂, NH₃ хийнүүдэд гол анхаарал хандуулж байна.

Олон улсын практикт өөрийн орны нөхцөлд түршиж гаргаж авсан хаягдлын факторыг ашиглан эх үүсвэрийн хаягдлын тооцоо хийхээс гадна ижил төстэй эх үүсвэрүүд дээр ашиглаж байгаа хаягдлын факторуудыг олон улсын аргачлал ашиглан тооцоолох явдал түгээмэл байдаг. Хаягдлын инвентори судалгаагаар АНУ, европын холбоо тэргүүлж байна. Хятад улсын хувьд инвентори судалгаа дээрх улсуудтай харьцуулахад сулавтар байгаа боловч органик дэгдэмхий нэгдлүүд (VOC) болон газар орчмын судалгаанд ихээхэн анхаарал хандуулж байна. Хятадад ихэнх судалгаа дээрээс доош нь зарчмаар буюу статистик мэдээллийн үр дүнд үндэслэж байсан бол одоо ерөнхийдөө доороосоо дээшээ зарчимд тулгуурлан хотын хэмжээнд менежмент хийхэд үр дүнг ашиглах чиглэл рүүгээ явж байна. (Zheng et al., 2009a, b; Li et al., 2011).

Статистикийн мэдээ ашиглан 2000 оноос хойш нийлбэр байдлаар хаягдлыг тооцоолох ажил Азийн бүсийн хэмжээнд хийгдэж эхэлсэн бөгөөд манай улсын хувьд дизель түлш, бензин шатахуун, нүүрсний шаталтаас агаарт хаягдах бохирдуулагч бодисын хаягдлын инвентори хийх ажлыг Л.Нацагдоржийн удирдлага дор Ус цаг уурын хүрээлэнд эхлүүлсэн байна.

Олон улсын практикт өргөн ашиглагддаг Австралийн хаягдлын инвентор хийх аргачлал /Australain emission inventory manual /-аар дэлхийн агаарын бохирдлын форумын /GAP Forum emission inventory manual /аргачлалыг ашиглан Улаанбаатар хотын гол эх үүсвэрүүдээс хаягдах хаягдлыг тооцоолох ажлыг 2009 оноос эхлэн хийж байна.

Улаанбаатар хотын гэр хорооллыг талбайн эх үүсвэр гэж үзэн гридээр хувааж жилийн нүүрсний зарцуулалтыг олж хаягдлын хэмжээг тооцоолж байв. Улаанбаатар хотын хувьд ЖАЙКА-гийн төслөөр тархалтын загварын оролтын мэдээ болгож хаягдлын тооцоог хийж байна.

Сүүлийн үед Улаанбаатар хотын хяналт шинжилгээний тоо болон хэмжих элементийн тоо нэмэгдсэн нь агаарын чанарын чиглэлийн үнэлгээ, судалгаанд чухал мэдээ мэдээлэл бий болж байна. Тиймээс эдгээр мэдээллийг боловсруулж инвенторийн үр дүнтэй үялдуулах, элемент хоорондын холбоо болон түүнд нөлөөлөх бусад хүчин зүйлүүдийг судлах шаардлагатай байна.

Улаанбаатар хотод автомашины тоо жил ирэх тутам нэмэгдсэж байгаа нь газар орчмын озоны анхдагч хий болох азотын давхар ислийн агууламж эрс нэмэгдэж нийслэл хотын хэмжээнд хаягдаж буй азотын давхар ислийн агууламж нь хот орчим үүсэж буй газар орчмын озоны агууламжтай хэрхэн холбогдож байгаа талаар судалгаа хараахан хийгдээгүй байна.

Арга зүй

Эх үүсвэр бүрээс хаягдаж буй хаягдлыг бүгдийг хэмжих боломжгүй учраас бусад эх үүсвэрүүдээ төлөөлж чадахуйц тодорхой хэдэн эх үүсвэрүүдийг сонгон авч хэмжилт хийж хэмжилтийн үр дүнг дундажилж хаягдлын факторыг гаргаж авдаг. Энгийн загваруудад доод тал нь 2 хувьсагчийг тооцоолдог. Үүнд:

- Үйл ажиллагааны статистик эсвэл дунджилсан хаягдлын фактор
- Хаягдлын удаан хугацааны хэмжилт (Тооцоолоход шаардагдаж байгаа хугацаатай ижил) Жишээлбэл: Хэрэв дизель цахилгаан станцын жилд ялгаруулах хүхэрлэг хийг тооцоолохын тулд жилийн түлшний хэрэглээ болон хаягдлын фактор (1тонн түлш шатаахад ялгарах SO₂ ын хэмжээ) эсвэл цагт ялгарах SO₂ ын хэмжээ (грамм/цаг-аар хэмжигдсэн утга) болон жилд ажиллах цагийн мэдээлэл хэрэгтэй.

Практикт дээрх 2 аргын тооцооны үр дүн ижил байх ёстой. Хаягдлын инвентор хийхийн тулд мэдээллийн сан бүрдүүлэх шаардлагатай бөгөөд уг сан нь эх үүсвэрийн байрлал, хаягдлын холбогдолтой хэмжилтүүд, хаягдлын фактор, багтаамж, бүтээгдэхүүн, үйл ажиллагааны зэрэг, үйл ажиллагаа явуулж буй нөхцөл, хэмжилт тооцооны арга зэргийг оруулж өгнө.

Хаягдлын инвентори голдуу 3 гол эх үүсвэрүүдээр цэгэн, талбай, шугаман үүсвэрүүдээр ангилагддаг. Мөн бүсээр, улсаар, дэд бүсээр ангилж болдог (EMEP2007).

Агаар бохирдуулагч бодисын инвентори нь агаарын чанарын менежментийн чухал алхам юм. Инвенторийн үр дүнг эх үүсвэрүүдийн нөхцөл байдлыг тодорхойлох, хаягдлын олон жилийн өөрчлөлтийг гаргах, үйл ажиллагаа төлөвлөх, тархалтын загвар ажиллуулах зэрэгт маш чухал мэдээлэл болдог.

Агаарт хаягдаж байгаа хэмжихэд хүндрэлтэй хийнүүдийг инвенторийн аргаар дараахь (<http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/>) ерөнхий томъёогоор тооцоолж олно.

$$E = A \times EF \times (1 - ER/100)$$

Энд: E - хаягдлын хэмжээ, A- үйл ажиллагааны зэрэг, EF- хаягдлын фактор, ER-хаягдлыг бууруулах технологийн үр ашиг

Хаягдлын фактор нь агаарт хаягдаж буй бохирдуулагчийн хэмжээг тоон утгаар илэрхийлэхэд чиглэн голдуу жингийн утгаар тодорхойлогддог бөгөөд үйл ажиллагааны онцлогоос хамаарч хүндийн жин, эзэлхүүн, зай цаг хугацааны хэмжигдхүүнүүдийг агуулж болно. Ихэнх тохиолдолд энэ боломжит мэдээний дундаж байдлаар болон олон жилийн мэдээний дунджаар тодорхойлогдоно. Жишээ нь: АНУ-ын Байгаль орчны агентлагаас гаргасан одоо албан ёсны загвараар ашиглаж байгаа MOVES2010b загварт автомашинаас агаарт хаях хаягдлыг тооцоолохдоо дараахь параметруудийг хамруулсан байна.

- Автомашинаас хаях хаягдал = зам* хаягдлын фактор (гүйлт + ууршилт + бензинээр цэнэглэх + хурд өөрчлөгдөх + асаах унтраах + насжилт + өндөршил + цаг агаар)

Үүнээс гадна дугуйны элэгдлийг нэмж тооцоонд оруулсан нь машинаас хаягдаж болох хаягдлын хэмжээг нэлээн дөхүү тооцоолох боломжийг бий болгожээ.

Түүнчлэн газар зүйн онцлог бүс нутагт агаарын бохирдлын өөрчлөлтийг тодорхойлоход чухал ач холбогдолтой юм. Манай орны хувьд хүйтний улиралд галлагааны улмаас агаарт ялгарч буй хүхэрлэг хий, дутуу шатсан эгэл хэсгүүд болон азотын ислийн агууламж эрс нэмэгдэж байна.

Дэлхий нийтийн анхаарлыг татаж байгаа эх үүсвэр бол автомашин бөгөөд замын дагуу хаягдаж буй азотын ислүүд (NOx) урвалд орж ($NO_2 + hv \rightarrow NO + O$, $O_2 + O \rightarrow O_3$) хүний эрүүл мэндэд хүчтэй сөрөг нөлөө үзүүлдэг нь тогтоогдоод байгаа газар орчмын озоныг үүсгэх дээр олон улсын судалгааны чиг хандлага үүнд чиглэж байна. Иймээс Улаанбаатар хотын хэмжээнд автоматаар хэмжилт хийж буй 5 харуулын азотын давхар ислийн агууламжийн мэдээ болон газар орчмын озоны мэдээг боловсруулж эдгээрийн харилцан уялдаа, цаг агаарын нөхцөлөөс хамаарч байгаа эсэхийг судлах шаардлагатай байна.

Арга зүй

Томоохон хотуудын агаар бохирдуулагч эх үүсвэүүдээс хаягдах хаягдлыг засаг захиргааны нэгжийг харгалзан амьдардаг өрхийн тоог гэр болон байшинтайгаар нь ялгаж, халаалтын зүүхнүүдэн тоог түлшний хэрэглээ, галлагааны хугацаатай авч 2013 оны байдлаар сарын алхамтай орон зайн 1 кмийн гридээр авч тооцоолов.

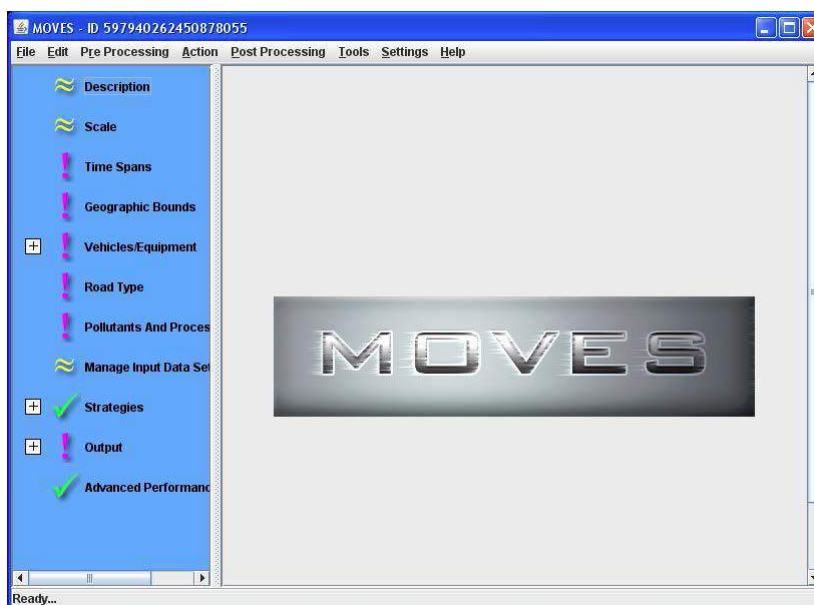
Нийслэлийн замын хөдөлгөөнийг удирдах төвөөс гол замын уулзварууд дээр тавьсан камерт тоологдсон машины тоог 24 цагаар 2011-2014 оноор авч хаягдлыг цаг бүрээр тооцоолов. Тооцоондоо өмнөх төслийн үр дүнд олон улсын аргачлалуудыг харьцуулан сонгож авсан хаягдлын факторуудыг ашиглав. Мөн Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлын жил улирлын хандлагыг гаргахын тулд хамгийн хэмжилт сайтай байсан 2010-2011 оны мэдээг ашиглаж боловсруулалт хийв.

Автозамын дагуу хаягдаж байгаа хаягдлыг тооцоолоход загвар ашиглах үүднээс АНУ ын Байгаль орчны албанаас гаргасан MOVES (Motor vehicle emission simulator) буюу тээврийн хэрэгслээс хаягдах хаягдлыг тооцоолох загварыг ашиглав. Загварын үндсийг авч үзье.

MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator) загвар

MOBILE1 загварыг нь 1970-аад оны сүүлээр АНУ-ын Байгаль орчныг хамгаалах газар /EPA/ хөгжүүлж 2010 онд албан ёсоор хүлээн зөвшөөрөгдсөн байна. Загвар нь тээврийн хэрэгслийн ялгаралтыг /хаягдлыг/ тооцоолох загвар бөгөөд машин, хүнд даацын машин, мотоциклийн хаягдлыг тооцоолдог (**Зураг 133**). MOVES нь хаягдлыг тооцоолохоос гадна олон төрлийн анализ хийх боломжтой, практикт туршигдсан загвар болно.

Жил, сар, өдөр, эх үүсвэрийн төрөл, хамаарах газар нутаг, түлшний төрөл, машины загвар, үйлдвэрлэсэн он, замын төрөл, хаягдлын явц гэх мэт нарийн тооллогын үзүүлэлтүүдийг шаардах ба түүний үндсэн дээр ялгаралтыг тооцоолдог болно. Загварын бохирдуулагч, процессын параметр, эх үүсвэрийн төрлийг жишээ болгон **Хүснэгт 38-40-т** үзүүлэв.



Зураг 133. MOVES загварын хэрэглэгчийн ээс

Хүснэгт 38. D-1 Бохирдуулагчдын нэрс (Retrofit Parameter File Pollutants (cont.))

Бохирдуулагчийн - ID	MOVES загварт тооцож болох бохирдуулагчдын нэрс	Товчилсон нэр
1	Нийлбэр нүүрстүстөрөгч (Total Gaseous Hydrocarbons)	HC
2	Угаарын хий (Carbon Monoxide (CO))	CO
3	Азотын ислүүд (Oxides of Nitrogen)	NOX
5	Метан Methane (CH4)	CH4
6	Азотын исэл Nitrous Oxide (N2O)	N2O
90	Нүүрсхүчлийн хий -Atmospheric CO2	AT CO2
91	Нийт энергийн зарцуулалт-Total Energy Consumption	TotEnergy
92	Бензиний энергийн зарцуулалт Petroleum Energy Consumption	PetEnergy
93	Байгалийн түлшний -Fossil Fuel Energy Consumption	FossilEnergy
98	Нүүрсхүчлийн хийн эквивалент -CO2 Equivalent	CO2EQ
101	Органик нүүрстөрөгч -Primary PM10 -Organic Carbon	PM10OC
	Нүүрстөрөгч -Primary PM10 -Elemental Carbon	PM10EC
105	Хүхэрлэг нэгдлүүд -Primary PM10 -Sulfate Particulate	PM10Sulfate
106	Дугуйн эргэлтээс гарах - Primary PM10 -Brakewear Particulate	PM10Brake
107	Primary PM10 -Tirewear Particulate	PM10Tire
111	Primary PM2.5 -Organic Carbon	PM25OC
112	Primary PM2.5 -Elemental Carbon	PM25EC
115	Primary PM2.5 -Sulfate Particulate	PM25Sulfate
116	Primary PM2.5 -Brakewear Particulate	PM25Brake
117	Primary PM2.5 -Tirewear Particulate	PM25Tire

Хүснэгт 39. Процессийн параметрууд

Процессийн дугаар -ID	Процессийн нэр	Процессийн товчилсон нэр
1	/гүйлтийн үеийн /Running Exhaust	Running
2	асаах үеийн/Start Exhaust /	Start
90	сул зогсолтын/Extended Idle Exhaust /	Extended Idle
9	тооромзлох үеийн /Brakewear /	Brake
10	дугуйны элэгдэл /Tirewear /	Tire

Хүснэгт 40. Оролтонд оруулах эх үүсвэрүүд

Оролтын file –нд оруулж болох эх үүсвэрүүдийн нэр ба хурдны хязгаар			
Эх үүсвэрийн төрөл -ID	Эх үүсвэрийн нэр	Хамгийн бага хурд (mph)	Хамгийн их хурд (mph)
11	Мотоцикл	2.5	73.8
21	Суудлын машин	2.5	73.8
31	Жийп	2.5	73.8
32	Бага оврын ачааны машин	2.5	73.8
41	Дотоодын үйлчилгээний автобус	4.6	72.8
42	Хот хоорондын автобус	15.0	72.8
43	Сургуулийн автобус	15.0	72.8
51	Тусгай үйлчилгээний машинууд	2.2	71.7
52	Дунд даацын ачааны машинууд	4.6	72.8
61	Чиргүүлтэй дунд даацын ачааны машинууд	5.8	71.7
62	Чиргүүлтэй хүнд даацын ачааны машинууд	5.8	71.7

Үр дүн

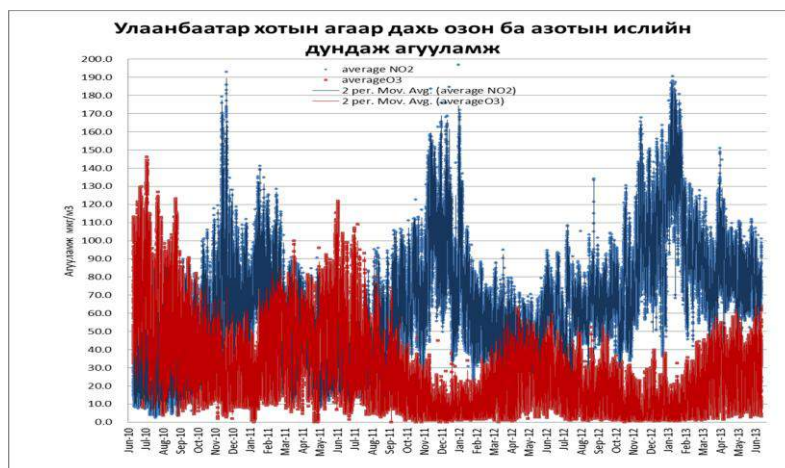
Газар орчмын озон, түүний жил, хоногийн явц, озоны хувирлын зэрэг

Улаанбаатар хотын агаарын чанарын 1, 2, 4, 5, 8 дугаар харуулын (Зургаг 134) азотын ислүүд (NO_x, NO, NO₂ озон)-ийн 15 минутын 2011 оны 7 сараас 2013 оны 7 дугаар сарын мэдээг шалгаж 1 цагийн дундаж руу шилжүүлэн хоног жилийн явцыг гаргав. Ингэхдээ газар орчмын озоны агууламжийн талаар голлон судлав.

Улаанбаатар хотын агаарын чанарын харуулууд нь гэр хорооллын дунд UB04, UB05), үйлдвэрийн районд (UB01,UB07) төв замын дагуу (UB02) болон суурь агууламж хэмжих (UB08) зориулалтаар байгуулагдсан юм.



Зургаг 134. Улаанбаатар хотын агаарын чанарын харуулуудын байрлал

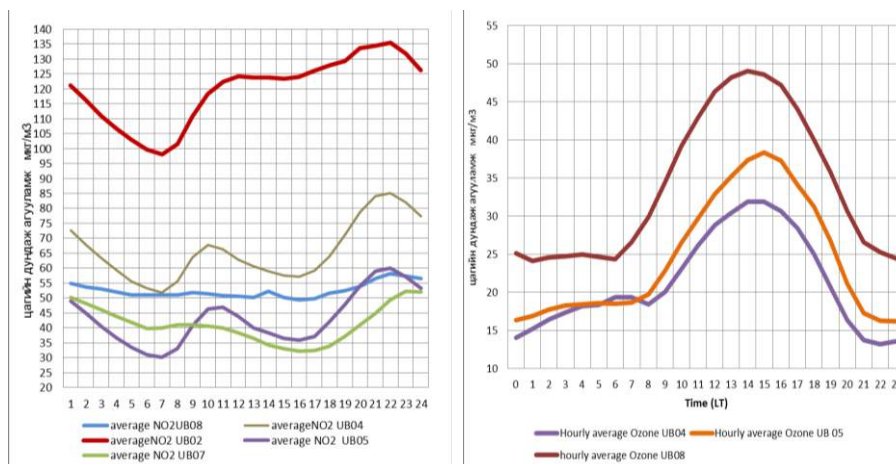


Зураг 135. Улаанбаатар хотын агаар дахь азотын давхар исэл болон озоны агууламж

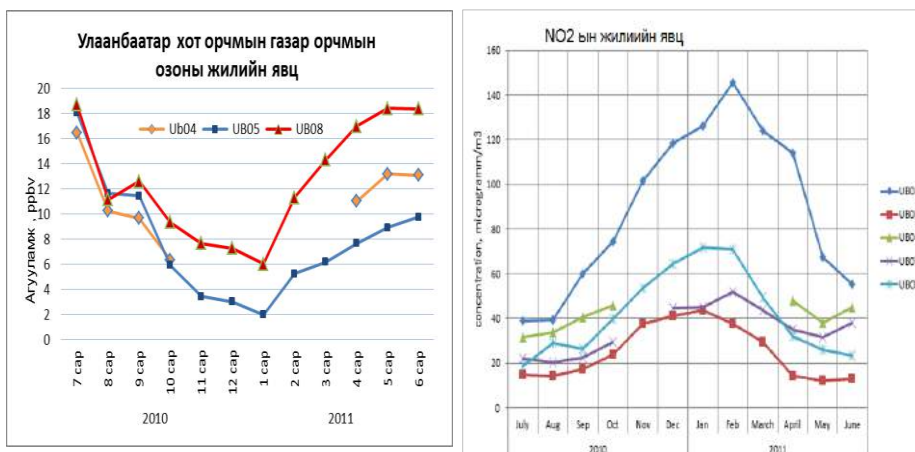
Зураг 135-т бүх харуулууд дээр хэмжсэн озон болон азотын давхар ислийн дундажласан агууламжийн явцыг үзүүлэв. Озоны агууламж сүүлийн 2 жилд хэт бүүрсан байдал эргэлзээ төрүүлсэн учир зөвхөн эхний жилийн мэдээг ашиглан хоног, жилийн явцыг гаргав.

Газар орчмын озон, азотын давхар ислийн дундажласан хоног, жилийн явцыг Зураг 136-137-т үзүүлэв. Тэдгээр нь аар хоорондоо эсрэг явцтай ба түүнийг хоног, жилийн явцасс тодхон харж болно.

Агааар мандал дахь азотын исэл болон озоны хоногийн явцыг улирлаар ялгаж авч үзвэл өвлийн улиралд азотын давхар ислийн агууламж харьцангуй их бөгөөд хоногийн хэлбэлзэл ихтэй харин озоны агууламж зундаа харьцангуй их байна.



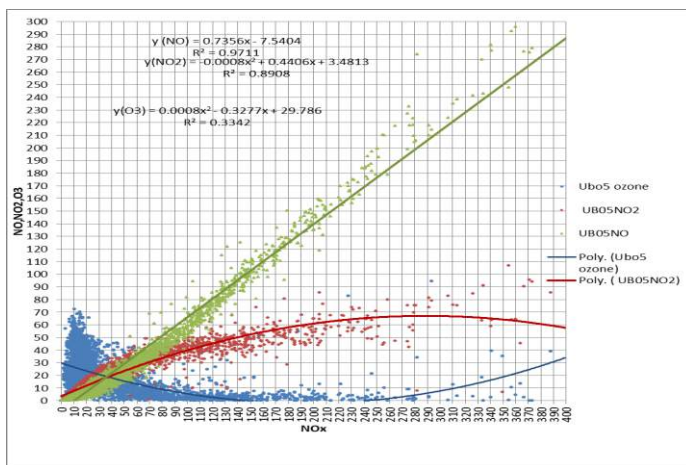
Зураг 136. Азотын давхар исэл (а) болон газар орчмын озоны (в) хоногийн явц



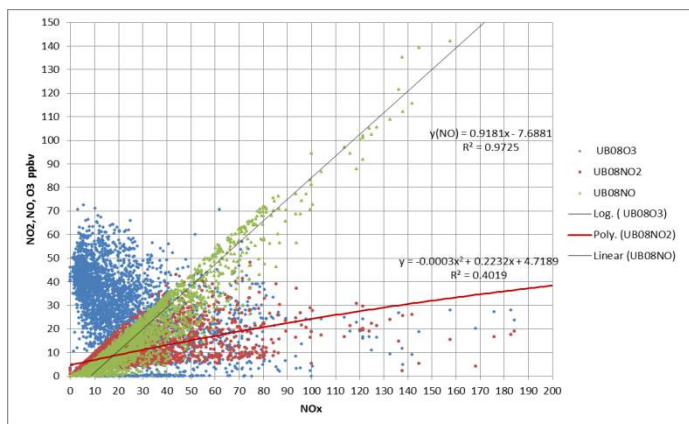
Зураг 137. Улаанбаатар хот орчмын газар орчмын озон, NO2-ийн жилийн явц

Манай орны хувьд азотын ислүүдийн үндсэн эх үүсвэр нь тээврийн хэрэгсэл бөгөөд Баруун 4 замд байрлах агаарын чанарын мэдээгээр дээрх харьцааг тооцоолж үзэхэд 97.5 хувь нь 0.2 оос их буюу 20 хувь нь анхдагч ялгаралт байна гэж үзэв.

Газар орчмын озон, азотын давхар ислийн утга тодорхой утганд хүрээд тогтворждог байна. Энэ огтолцлын утгаас 2 тийш хуваарлах байдлаар озоны хувирлын зэргийг тодорхойлж болох юм (Зураг 138-139). Фотохимийн урвалыг тооцохын тулд дээрх зургуудыг гаргахдаа нар мандахаас шингэх хүртэлх хугацааг сонгож авав.



Зураг 138. Газар орчмын озон ба азотын ислийн хамаарал (Улаанбаатар-5 харуул)



Зураг 139. Газар орчмын озон ба азотын ислийн хамаарал (Улаанбаатар-8 харуул)

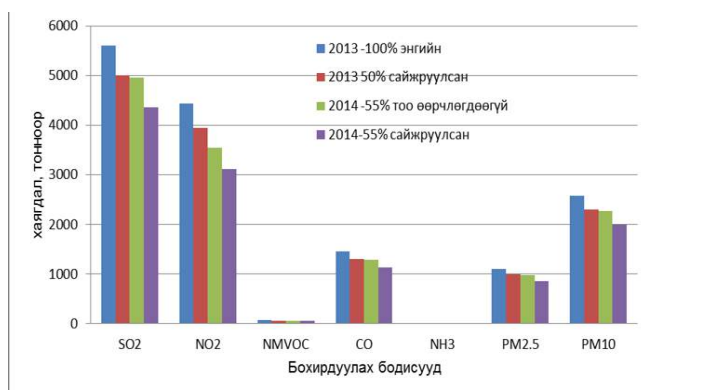
Эх үүсвэрийн ялгаралтыг тооцоолсон дүн

Гэр хорооллын хаягдлыг хороо хороогоор болон 1 км-ийн гридээр тооцоолохдоо Агаарын чанарын мониторингийн албанаас (АЧМА) гаргасан гэрийн болон байшингийн тоог харгалзан тооцоог хийв. Тооцоонд хүхэрлэг хий (SO₂), азотын исэл (NO₂), угаарын хий (CO), аммиак NH₃ болон PM₁₀, PM_{2.5} ыг жилээр болон галлагааны хугацааны саруудаар тооцоолов. Тооцооны жишээг **Хүснэгт 41**-т үзүүлэв.

Хүснэгт 41. Гэр хорооллын хаягдлыг гридээр тооцоолсон дүн

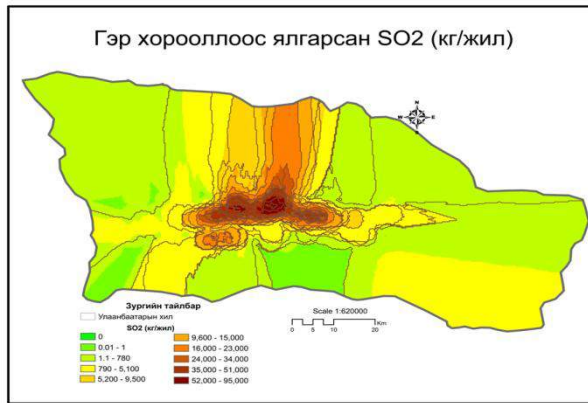
		DOT	Гэр	Байшин	Уурын зүл	SO ₂	NO ₂	NMVOС	CO	NH ₃	PM _{2.5}	PM ₁₀
47.83061	106.5748	20181	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47.83015	106.5903	20182	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47.82967	106.6059	20183	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47.8292	106.6214	20184	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47.82872	106.637	20185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47.82823	106.6525	20186	13	60	0	3028.8	2397.8	40.0685	788.75	0.08834	599.45	1388.2
47.82775	106.668	20187	76	263	0	13915.2	11016.2	184.0865	3623.75	0.40586	2754.05	6377.8
47.82727	106.6836	20188	0	1	0	43.2	34.2	0.5715	11.25	0.00126	8.55	19.8
47.82677	106.6991	20189	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47.82629	106.7146	20190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47.82579	106.7302	20191	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47.82529	106.7457	20192	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47.82479	106.7612	20193	5	54	0	2500.8	1979.8	33.0835	651.25	0.07294	494.95	1146.2
47.82428	106.7768	20194	4	0	0	134.4	106.4	1.778	35	0.00392	26.6	61.6
47.82378	106.7923	20195	1	0	0	33.6	26.6	0.4445	8.75	0.00098	6.65	15.4

Гэр хорооллоос хаягдах хаягдлыг тоон grids-ийн нэгж талбай бүр дээр тоолж гаргасан дүн дээр үндэслэн өдрийн түлшний зарцуулалтаар тооцоолов. Энэ нь бохирдлыг урьдчилан мэдээлэх загварын оролтын мэдээг нарийвчлан оруулах бололцоог бий болгов. Сүүлийн үеийн 2013-2014 оны байдлаар гэр хорооллоос ялгарах хаягдлыг **Зураг 140**-т үзүүлэв.

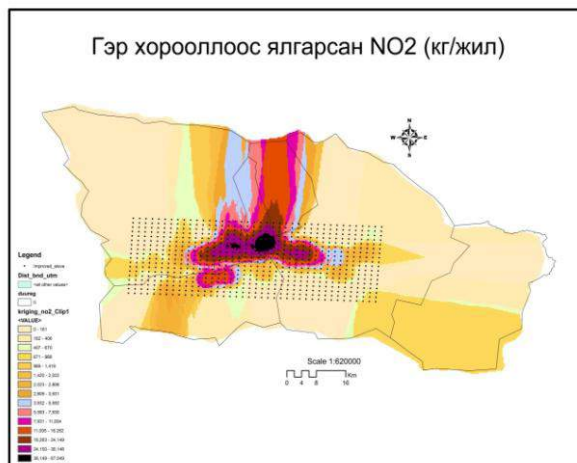


Зураг 140. Улаанбаатар хотын гэр хорооллоос ялгарах хаягдлын хэмжээ, тн

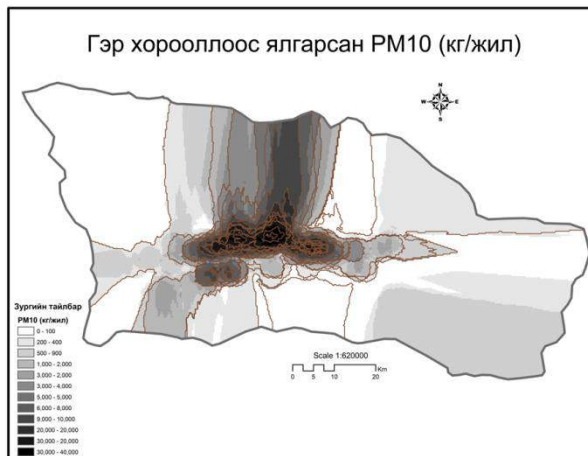
Гэр хорооллын нүүрс түлснээс агаарт хаягдсан хаягдлыг 2014 оны байдлаар гэр хорооллын байрлалыг харгалзсан тооцооны үр дүнг **Зураг 141-143**-т үзүүллээ. Гэр хорооллын байрлал хотыг хүрээлэсэн байдалтай байдаг тул хот бүхэлдээ бохирдлын нөлөөнд байна.



Зураг 141. Улаанбаатар хотод гэр хорооллоос хаягдсан хүхэрлэг хий кг/жилээр (2014)

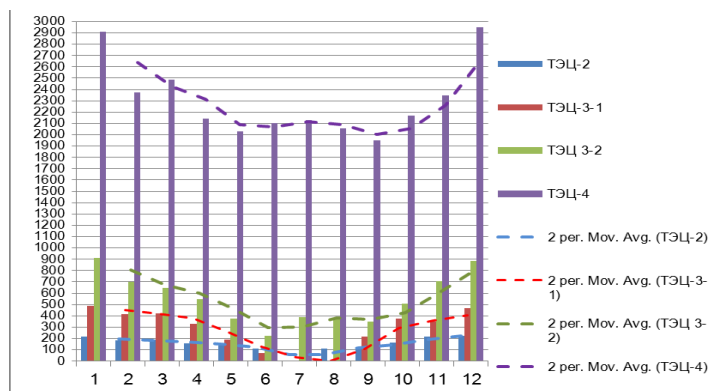


Зураг 142. Улаанбаатар хотод гэр хорооллоос хаягдсан азотын исэл (2014)



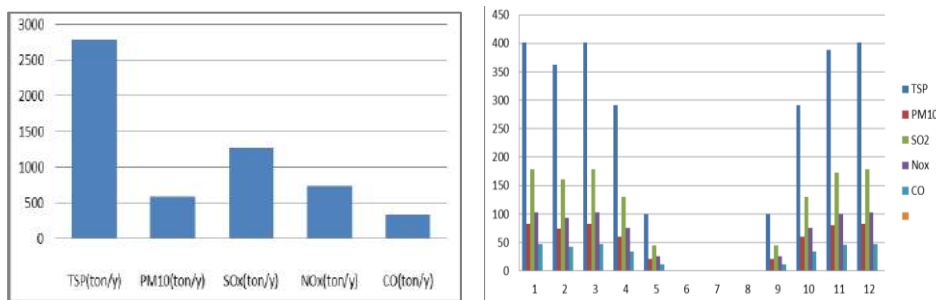
Зураг 143. Улаанбаатар хотод гэр хорооллоос хаягдсан тоосонцор PM10 (2014)

Цахилгаан станцуудын хаягдлыг сарын нүүрсний хэрэглээг ашиглан станц тус бүрд тооцоолов. **Зураг 144**-т хүхэрлэг хийн ялгаралтыг үзүүлэв. 12, 1-р сард цахилгаан станцын нүүрсний хэрэглээ хамгийн өндөр байж хамгийн их хаягдал гаргаж байна.



Зураг 144. Цахилгаан станцуудаас ялгарсан хүхэрлэг хий, тн

Халаалтын нам даралтын зуухаас хаягдах хаягдлын хэмжээг жилд зарцуулах нүүрсний хэмжээ болон халаалтын хугацааг харгалзан жил сараар тооцоолов (Зураг 145).



Зураг 145. Халаалтын нам даралтын зуухаас а)жил болон б)сард ялгарах хаягдал, сараар

Нүүрсний шаталтаас гарсан хаягдлын хэмжээг 2014 оны байдлаар **Хүснэгт 42**-т үзүүлэв.

Улаанбаатар хотын нүүрс түлдэг /гэр хороолол, цахилгаан станцууд, халаалтын зуухнууд / эх үүсвэрүүдээс хаягдаж буй хаягдлын харьцааг авч үзвэл PM10-ын 60%, TSP-ийн 75% гэр хорооллоос, бусад хийн хувьд 80% нь 3 цахилгаан станцаас ялгарч байна. Гэхдээ энэ бол зөвхөн ялгаралтын хэмжээний харьцаа ба хүний амьсгалын түвшний агаарын бохирдлын талаас нам өндрийн эх үүсвэрүүд илүү нөлөөтэй болно.

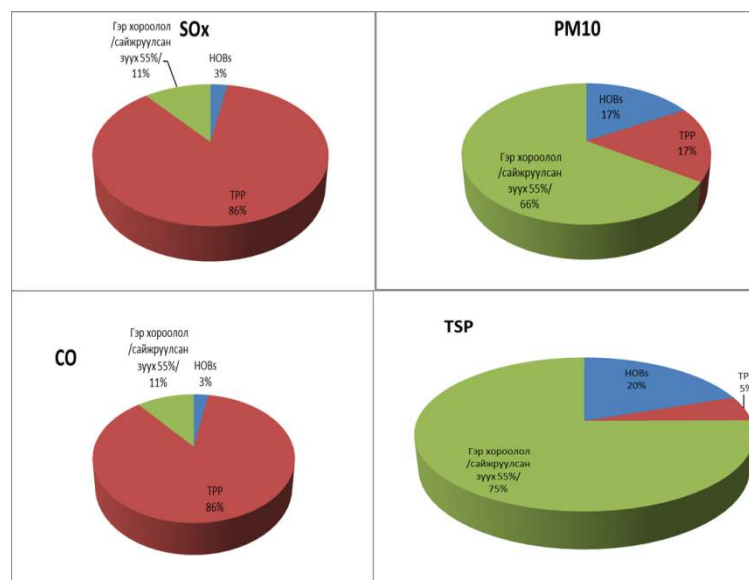
Нүүрс түлдэг эх үүсвэрүүдийн бохирдуулагч бодисын харьцаа болон эх үүсвэрийн агаарт хаягдах хаягдлын харьцааг **Зураг 146-147**-т үзүүлэв.

Хүснэгт 42. 2014 онд нүүрсний шаталтаас гарсан хаягдал

2014 он	TSP(ton/y)	PM10(ton/y)	SOx(ton/y)	NOx(ton/y)	CO(ton/y)
НОВs	2790	589	1272	736	335
ТРР	741	604	39416	31204	10265
сайжруулсанзүүх 50%	10656	2298	5015	3944	1306
Гэр хороолол-энгийн 100%	11929	2573	5613	4444	1462
Бууралт	12%	12%	12%	12%	12%
Нийлбэр 2014	14188	3491	45703	35884	11905



Зураг 146. Нүүрс түлдэг эх үүсвэрүүдээс хаягдаж буй гол бохирдуулах бодисын харьцаа



Зураг 147. Агаарт ялгарсан бохирдуулах бодис хувьд эх үүсвэрүүдийн эзлэх хувь

Улаанбаатар хотын автомашины хаягдал

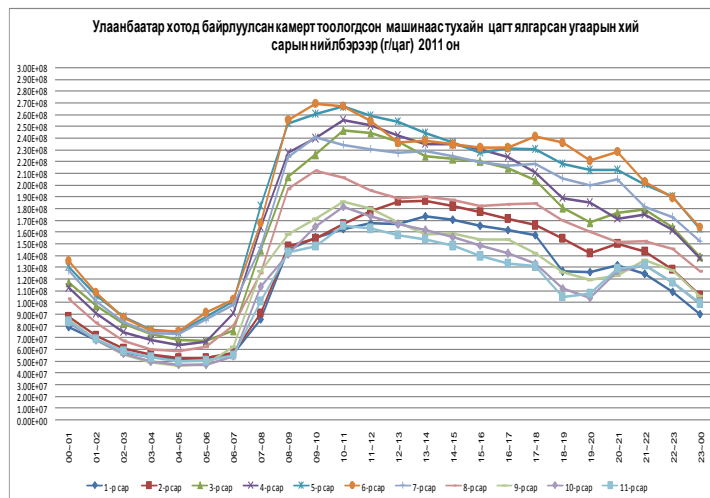
Улаанбаатар хотын автомашины тоо 2008-2014 оны хооронд өмнөхөөсөө 2.8 дахин нэмэгдсэн байна.

Улаанбаатар хотын Замын хөдөлгөөний удирдлагын төвөөс хотын гол замууд дээр байрлуулсан камерийн бичлэгийн 2011 оны мэдээллийг авч ашиглан дээрх үүлзвар нэвтэрч буй машинууд 1 цагт хэдий хэмжээний агаар бохирдуулагч хий болон хатуу хаягдал агаарт хаяж байгааг тооцоолох оролдлого хийлээ (Зураг 148). Эдгээр бичлэгийн мэдээлэл нь нарийвчлал сайтай ашиглах бүрэн боломжтой мэдээлэл байв.



Зураг 148. Автозамын хяналтын камерийн байршил

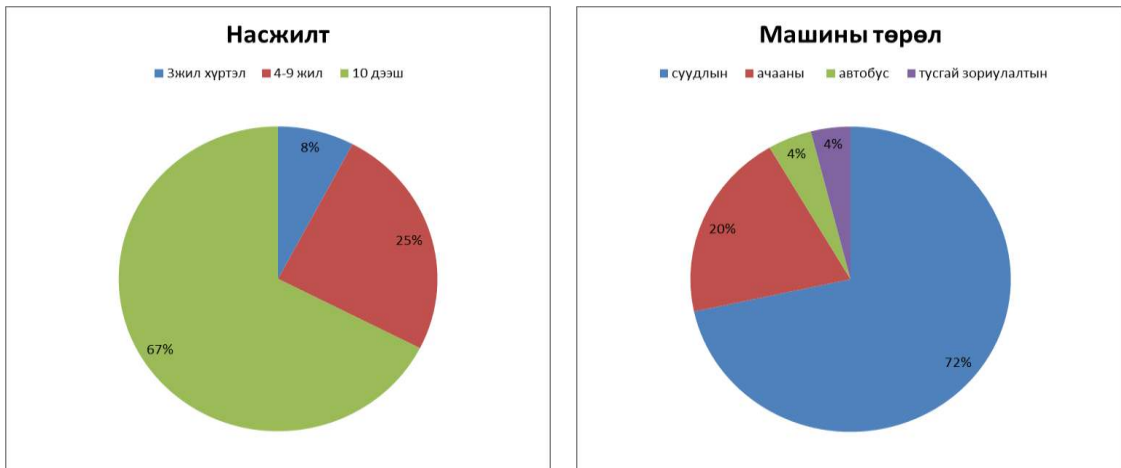
Энэ мэдээллээс уулзвараар өнгөрсөн машины тоо дундаж хурдыг ашиглан цагын уулзвар түс бүр дээр хаягдлыг тооцоолж үзлээ. Энэ тооцоонд гол бохирдуулагч хий болох угаарын хий CO, азотын давхар исэл NO₂, хатуу хаягдал (тортог (PM₁₀, PM_{2.5})) зэргийг олон улсын тооцооны аргачлал ашиглан тооцоолсон бөгөөд ерөнхий хандлагыг харуулж байгаа болно (**Зураг 149**). Зургаас харахад өвлийн улиралд машины тоо цөөрч зуны улиралд ялангуяа 6 сард хамгийн олон машин зорчиж байсан ба хоногийн явцыг авч үзвэл өглөө 3-6 цагийн хооронд ачаалал хамгийн бага байгаа учраас хаягдал хамгийн бага, 8-11 цагийн хооронд оргил ачааллын үе буюу агаарт бохирдуулагч бодис хамгийн их хаягдах магадлалтай байна.



Зураг 149. Бичлэг хийсэн бүх үулзэр дээр тухайн сард цаг бүрт тоологдсон автомашинаас 1 цагт хаягдаж болох угаарын хий

MOVES загварын түршил

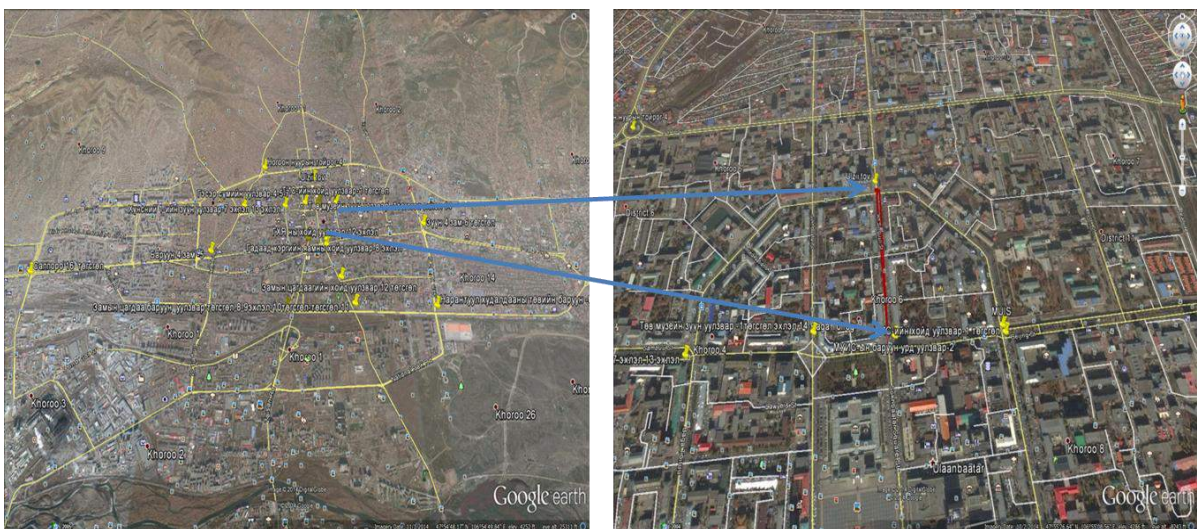
Уг загварыг Улаанбаатар хотын нөхцөлд ашиглах боломжийг 2011, 2013, 2014 оны автозамын камерт тоологдсон машины тоо, улсын статистикийн мэдээг ашиглаж машины уулзвар орчим хаягдлыг тооцоолохоор оролтын мэдээг бэлтгэж оруулж түршив. Жишээ нь: Машины насжилт, төрлийг доорх **Зураг 150**-т үзүүлэв.



Зураг 150. Загварт орсон автомашины насжил, төрөл

МУИС-ийн баруун урд уулзвар-Өлзий төвийн баруун хойд уулзвар,- Өлзий төвийн баруун хойд уулзвар → МУИС-ийн баруун урд уулзвар дээр (Зураг 151) тоологдсон машины хаягдлыг тооцоолсон дүнг Хүснэгт 43-д үзүүлээ.

Дээрх хүснэгтээс үзвэл машины яндангаас хаягдах CO, NO₂, NO, NO_x болон PM₁₀, PM_{2.5}-ийг нийлбэр байдлаар тооцоолохоос гадна тормозлох, дугуйны элэгдэл зэргээс ялгарч буй PM₁₀ болон нийт энергийн зарцуулалтыг тооцоолж болж байна.



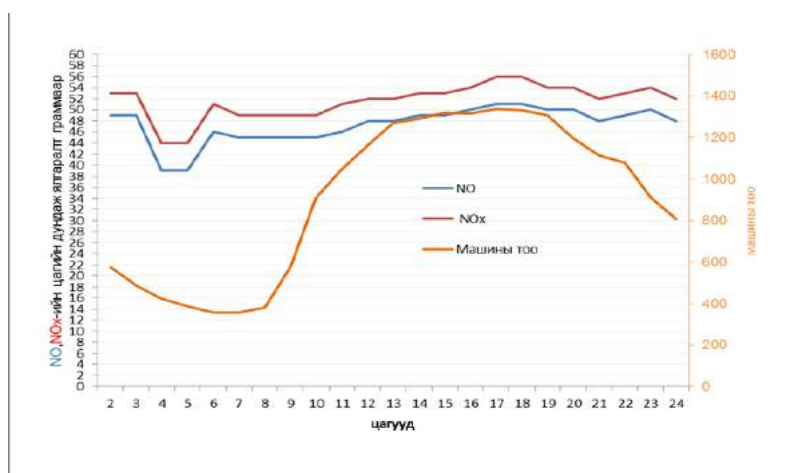
Зураг 151. Тооцоолсон замын байршил

Хүснэгт 43. Загварын тооцоолсон үр дүн

Year	Month	Day	Hour	Source	Fuel	Road	Run	NH ₃	CO	NO ₂	NO	NO _x	Total_PM ₁₀	Total_PM _{2.5}	Brake_PM ₁₀	Brake_PM _{2.5}	ElementC	OrganicC	Sulfate	PTire	PM ₁₀	Brake_PM ₁₀	ElementC	OrganicC	Sulfate	PTire	PM _{2.5}	TotalEnergy
2014	1	monthly average	1	21	1	4	1	0	1034	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34033200
2014	1	monthly average	1	21	2	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	107231
2014	1	monthly average	1	31	2	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	383711
2014	1	monthly average	1	41	2	4	1	0	1	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5611300
2014	1	monthly average	1	42	2	4	1	0	33	8	107	116	6	6	0	6	1	0	0	0	0	6	1	0	0	0	0	1.93E+08
2014	1	monthly average	1	43	2	4	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2394750
2014	1	monthly average	1	51	2	4	1	0	3	0	6	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11751200
2014	1	monthly average	1	62	2	4	1	0	15	3	34	37	2	2	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	66060500

MOVES загвараар камераар тоолсон автомашины тоог харгалзан камертай зам тус бүр дээр азотын ислүүд (NO_x, NO, NO₂), угаарын хий (CO) ба PM₁₀, PM_{2.5} бохирдуулах бодисуудын хаягдлыг цагийн дунджаар тооцоолов. Тооцооноос харахад гол бохидуулах бодис нь угаарын хий болон NO_x байна.

Камераар тоолсон машины тоо болон MOVES загвараар тооцоолсон хаягдлыг харьцуулж үзэхэд ерөнхий хандлагыг гаргаж байна (Зураг 152).



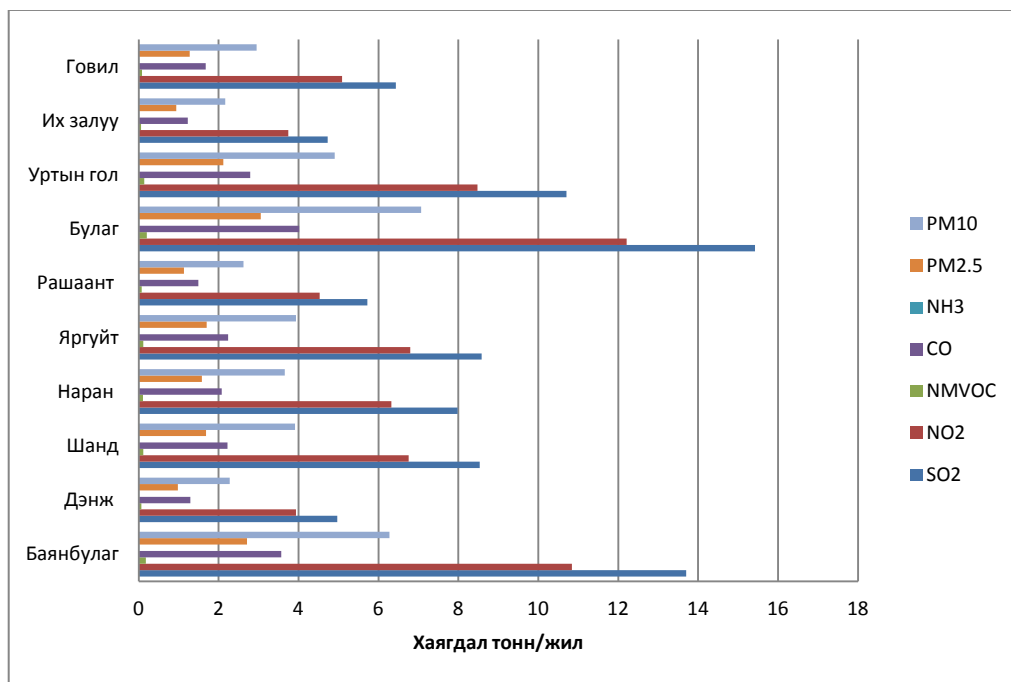
Зураг 152. MOVES загвараар тооцоолсон бохирдуулах бодисын ялгаралтын хоногийн явц ба машины тоо /Баруун 4 замын жишээн дээр/

Эрдэнэт хотын эх үүсвэрийн хаягдлын тооцоо

Эрдэнэт хотын агаар бохирдуулах эх үүсвэрүүдийн хаягдлын тооцоо хийхдээ гол эх үүсвэр болох гэр хороололын хаягдлыг (2013-2014) тооцоолох оролдлого хийв.

Эрдэнэт хотын гэр хорооллын айл өрхийн талаарх мэдээллийг Орхон аймгийн Ус цаг уур орчны шинжилгээний албанаас авч айл тус бүр дээр нүүрсний хэрэглээг харгалзан 7 төрлийн бохирдуулагчийг тооцооллоо. Эрдэнэт хотын оршин суугчид харьцангуй их мод түлдэг байна.

Түүнчлэн гэр хорооллын хаягдлыг баг тус бүрээр айл бүрээр зарцуулсан түлшний зарцуулалтыг харгалзан гаргасан болно (Зураг 153, Хүснэгт 44)



Зураг 153. Эрдэнэт хотын гэр хорооллын нүүрсний шаталтаас хаягдах хаягдал /багаар/

Хүснэгт 44. Эрдэнэт хотын нүүрсний шаталтаас хаягдах хаягдал (багаар)

	Багууд	Өрхийн тоо	нүүрсний зарцуулалт (Тонн)	SO2	NO2	NMVOС	CO	NH3	PM2.5	PM10
1	Баянбулаг	898	1427	13.70	10.85	0.18	3.57	0.00	2.71	6.28
2	Дэнж	1054	517.5	4.97	3.93	0.07	1.29	0.00	0.98	2.28
3	Шанд	648	889	8.53	6.76	0.11	2.22	0.00	1.69	3.91
4	Наран	847	831.8	7.99	6.32	0.11	2.08	0.00	1.58	3.66
5	Яргуйт	904	891	8.58	6.79	0.11	2.24	0.00	1.70	3.93
6	Рашаант	1110	596	5.73	4.53	0.08	1.49	0.00	1.13	2.62
7	Булаг	949	1606.5	15.42	12.21	0.20	4.02	0.00	3.05	7.07
8	Уртын гол	672	1115.1	10.70	8.47	0.14	2.79	0.00	2.12	4.91
9	Их залуу	710	493	4.73	3.75	0.06	1.23	0.00	0.94	2.17
10	Говил	496	670	6.43	5.09	0.09	1.68	0.00	1.27	2.95
	Нийт	8288	9036.90	86.79	68.71	1.15	22.60	0.03	17.18	39.78

Дархан хотын эх үүсвэрийн хаягдлын тооцоо

Дархан хотын агаарт хаягдаж буй гол бохирдуулах бодисыг тооцоолохын тулд Дархан хотын агаар бохирдуулах эх үүсвэрийн 2014 оны мэдээг ашиглав.

Аймгийн хэмжээнд жилд хэрэглэж буй нийт түлшний /нүүрсний/ 90-ээс дээш хувь Шарын голын уурхайн нүүрс /Б-3/ хэрэглэдэг байна.

Хүснэгт 45-д үзүүлсэн мэдэээлийг ашиглаж хаягдлын тооцоог олон улсын аргачлалаар /GAF emission inventory manual 2008/ хийвэл Дархан хотын нүүрс түлдэг эх үүсвэрүүд 460 гаруй мянган тонн нүүрс шатааж 1380 орчим тонн TSP, 290 тонн PM10, 4400 тн SO2, 2500 тонн NO2, 1100 тонн орчим CO ялгаруулж байна.

Хүснэгт 45. Дархан хотын нүүрс түлдэг эх үүсвэрүүдээс ялгарах хаягдал

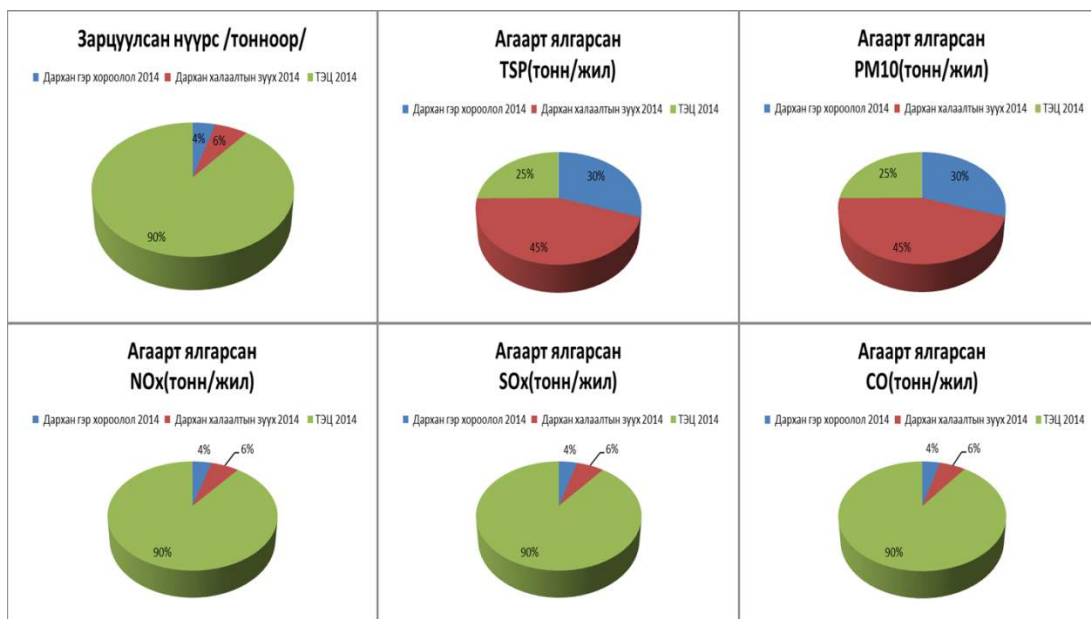
Эх үүсвэрүүд	Зарцуулсан нүүрс /тонноор/	Агаарт ялгарсан TSP(тонн/жил)	Агаарт ялгарсан PM10(тонн/жил)	Агаарт ялгарсан SOx(тонн/жил)	Агаарт ялгарсан NOx(тонн/жил)	Агаарт ялгарсан CO(тонн/жил)	
Дархан гэр хороолол 2013	36500.0	760.7	160.6	346.8	200.8	91.3	
Дархан гэр хороолол 2014	20117.2	419.2	88.5	191.1	110.6	50.3	
Дархан халаалтын зуух 2013	3430.5	71.5	15.1	32.6	18.9	8.6	
Дархан халаалтын зуух 2014	29478.2	614.3	129.7	280.0	162.1	73.7	
ТЭЦ 2013	441902.0	368.4	77.8	4198.1	2430.5	1104.8	
ТЭЦ 2014	415622.0	346.5	73.1	3948.4	2285.9	1039.1	
Н и й т	Н и й т 2013	481832.5	1200.5	253.5	4577.4	2650.1	1204.6
	Н и й т 2014	465217.4	1380.0	291.4	4419.6	2558.7	1163.0
	Өөрчлөлт	-16615.1	179.5	37.9	-157.8	-91.4	-41.5
	Өөрчлөлт хувиар	-3.4	15.0	15.0	-3.4	-3.4	-3.4

Дархан-Уул аймгийн 2014 оны агаарын бохирдлын эх үүсвэрийн тооллогын дүнг 2013 оны дүнтэй харьцуулсан дүнгээр ердийн галлагаатай 10кВт хүртэл хүчин чадалтай айл өрхийн гэрийн ердийн зуухны тоо 2200-аар багассан, гэр хорооллын байшингийн зуухны тоо 1300-аар, нийт гэр хорооллын галлагаатай өрхийн тоо 3500-аар багассан байна. Энэ нь:

- Галлагаатай сууцны байшинтай 60 өрх айл нам даралтын зууханд шилжсэнээр 11-100кВт хүчин чадалтай зуухны тоонд шилжсэн.
- Дархан-Уул аймгийн хувьд гэр хороололд амьдардаг айл өрхөөс өвлийн цагт орон сууцанд түр хугацаагаар шилжин суугч /байр хөлслөх, өрөө хөлслөх/ 500-600 өрх айл байдагтай холбоотойгоор галлагаатай айл өрхийн тоо бүртгэлд ороогүй.

Дархан хотод “Орон сууц, барилгажилтын хөтөлбөр”-өөр баригдсан шинэ орон сууцанд 2013-2014 онд нийт 2000 орчим айл өрх шилжин суурьшсан зэрэг шалтгаантай.

Нүүрс хэрэглэдэг эх үүсвэрүүдийн хаягдлын харьцааг **Зураг 154**-т үзүүлэв. Дархан хотын нүүрсээр галладаг эх үүсвэрүүдийн түлшний 90 хувийг цахилгаан станц зарцуулдаг боловч шүүлтүүрийн АҮК нь 96 хувь учраас агаарт хаяж буй тоос тоосонцрын хаягдлын эзлэх хувийг 25 хувь болтол бууруулж байна.



Зураг 154. Дархан хотын нүүрсээр галладаг эх үүсвэрүүдийн хаягдлын харьцаа

Дүгнэлт

Улаанбаатар хотын гэр хороолол болон халаалтын зуухнуудаас гарч буй хаягдлыг хороогоор, 1 км² нэгж талбайд хамаарч байгаа гэр байшингийн тоогоор тус тусад нь тооцоолж нийлбэр байдлаар, Эрдэнэт, Дархан хотын гэр хорооллын айл бүр ээр TSP, PM10, PM2.5, SOx, NOx, CO, NMVOC, NH₃ элементүүдээр тооцоолсон бөгөөд энэ нь агаарын бохирдлыг бууруулах чиглэлээр авч явуулж буй арга хэмжээг үнэлэх, төлөвлөх, ирээдүйд авч явуулах арга хэмжээний үр дүн харах, микро эдийн засгийн үнэлгээнд чухал ач холбогдолтой юм.

Дээрх тооцооны дүнгээр үзвэл Улаанбаатар хотод нүүрс түлснээс TSP 14000 орчим тонн, PM10 3400 тонн, SO₂ 45700 тонн NOx 35800 тонн, CO 11900 тонн агаарт жилдээ хаяж байна. Үүний TSP 11900 тонн, PM10 2500 тонн, SOx 5600 тонн, NOx 4400 тонн, CO 1400 тонн гэр хорооллоос ялгарч байна. Өөрөөр хэлбэл Улаанбаатар хотын нүүрс түлдэг /гэр хороолол, цахилгаан станцууд, халаалтын зуухнууд / эх үүсвэрүүдээс хаягдаж буй хаягдлын харьцааг авч үзвэл PM10 –ын 60 гаруй хувь, TSP-ийн 75 хувь гэр хорооллоос бусад хийн хувьд 80 гаруй хувь нь 3 цахилгаан станцаас ялгарч байна. Иймээс цаашид түлшний төрөл, хэрэглээг нарийвчлан тооцоолж агаарын бохирдлыг буурсан эсэхийг бодитойгоор үнэлэх шаардлагатай байна.

Гэр хорооллын өрхийн тоо өөрчлөгдөөгүй байхад өрхийн 50 хувьд сайжруулсан зуух тавьснаар гэр хорооллын түлшний шаталттай холбоотой бохирдол 12 хувиар буурах нөхцөл бүрдсэн байна.

2011, 2013 онд автомашиныг камераар тоолсон дүнгээр автомашины хаягдлыг тооцоолсон бөгөөд энэ нь эх үүсвэрүүдийн хаягдлыг тооцоолох, цаашид загварын оролтын мэдээнд ашиглахад маш ач холбогдолтой юм.

Уулзварын камерт тоологдсон автомашины тоог ашиглан гол бохирдуулагч хий болох угаарын хий, азотын давхар исэл, хатуу хаягдал (тортог (PM10, PM2.5))ын автозамын дагуух хаягдал хэрхэн өөрчлөгдөж байгааг тооцоолох бусад загварын оролтын мэдээ болгон ашиглах нь чухал ач холбогдолтой юм. Улаанбаатар хотын гол замууд дээр автомашины түлшний шаталтаас хаягдах гол хаягдлууд нь 6 р сард хамгийн их утгандаа хүрч байсан ба хоногийн явцыг авч үзвэл өглөө 3-6 цагийн хооронд ачаалал хамгийн бага байгаа учраас хаягдал бага, 8-11 цагийн хооронд оргил ачааллын үе буюу агаарт бохирдуулагч бодис хамгийн их хаягдах магадлалтай байна. Үүнийг мониторингийн мэдээтэй харьцуулж бохирдуулагчдын цаг агаарын болон улирлаас хамаарах хамаарал, ялангуяа эх үүсвэрийн гарал үүслийг тайлбарлахад чухал ач холбогдолтой болно.

Улаанбаатар хотын Агаарын чанарын харуулуудын азотын давхар исэл болон газар орчмын озоны агаарын чанарын мэдээг шалган боловсруулж хоног, жил, сарын явц хандлагыг гаргаж үзэхэд азотын давхар исэл өвлийн улиралдаа ихсэж озоны агууламж зуны улиралдаа ихсэж байна.

Улаанбаатар хотын агаар дах азотын давхар ислийн агууламж ихэнх харуул дээр хоногийн дундаж байдлаар агаарын чанарын стандартаасаа их, ялангуяа өвлийн улиралд эрс ихэссэн байна. Баруун 4 зам орчим автомашинаас гаралтай хаягдал хамгийн өндөр байна. Угаарын хий буюу CO ийн агууламж мөн өвлийн улиралд өндөр байна. Азотын давхар ислийн агууламж хамгийн бага утга өглөө 5-6 цагийн үед буюу машины хөдөлгөөн буурсан үед, хамгийн их утга 21-22 цагийн үед ажиглагдаад озоны агууламж хамгийн их утгандаа хүрсэн үед дараагийн бага утга ажиглагдаж байна.

Фотохимийн урвалын коэффициентийг тооцохдоо озоны үүсэх болон задрах процессийг илэрхийлэх $[O_3]=K[NO_2]-J[NO]$ тэгшитгэлийг ашиглан өдөр бүрийн нар мандахаас шингэх хүртэлх хугацааны мэдээг ашиглан тооцоо хийлээ. Энэ коэффициент нь азотын давхар исэл болон озоны тодорхой утгын огтлолцоос эхлэн тогтворжиж байна.

MOVES загвараар оролтын мэдээнд автозамын камерийн мэдээ улсын статистикийн мэдээг ашиглан машины насжилт, төрөл, цаг уурын мэдээг оруулж машины яндангаас хаягдах CO, NO₂, NO, NO_x болон PM10, PM2.5 ийг нийлбэр байдлаар тооцоолохоос гадна тормозлох, дугуйны элэгдэл зэргээс ялгарч буй PM10 болон нийт энергийн зарцуулалтыг тооцоолох боломжтой болов.

Автомашины дугаарын хязгаарлалт нь машины тоо нэмэгдээгүй тохиолдолд агаарын бохирдлыг 20 орчим хувь бууруулах боломжтой байна.

Хэвлэгдсэн бүтээл

Д. Оюунчимэг, Ж. Баярмагнай 2014 Улаанбаатар хотын газар орчмын озон, азотын ислийн агууламж, тэдгээрийн хамаарал, хоног жилийн явц, УЦУОХ ийн бүтээл х187-198, Улаанбаатар

Д.Оюунчимэг, М.Алимаа 2015 Дархан хотын агаарын бохирдол, “Уур амьсгалын өөрчлөлт–хөдөө аж ахуй” сэдэвт эрдэм шинжилгээний хурлын эмхэтгэл

4.2 Томоохон хотуудын агаарын бохирдлын талбайн эх үүсвэрийн геометр хэмжээг хиймэл дагуулын мэдээгээр нарийвчлан тодорхойлох

Аливаа улсын үндэсний ус цаг уур, орчны шинжилгээний албаны хариуцлагатай үүрэг бол агаар, орчны бохирдлыг урьдчилан мэдээлэх, түүнийг олон нийтэд шуурхай хүргэх явдал байдаг. Иймд энэхүү технологийг бий болгох үүднээс цаг агаарын тоон прогнозын өндөр нарийвчлалтай динамик загварыг агаарын бохирдлын дисперсын загвартай холбох, агаарын бохирдлын тархалтыг тооцоолж, түүний агууламжийн тоон утгыг богино хугацаанд прогнолох нь онцгой чухал ач холбогдолтой юм.

Өмнө хийгдсэн судалгааны ажлын хүрээнд агаарын бохирдлын эх үүсвэрүүдийн (цахилгаан станц, гэр хороолол, автомашин зэрэг) ялгаралт (emission), тооллого ямар нэг хэмжээгээр хийгдсэн тул тэдгээрийг нарийвчлах замаар агаарын бохирдлын загварын оролт руу оруулж тархалтыг гаргаж ирэх боломжтой болжээ. Нөгөө талаар загварчлан гаргасан бохирдлын (CO₂, NO₂, SO₂, PM₁₀ гэх мэт) агууламжийн тоон утгыг Улаанбаатар хот болон томоохон хотуудын орчимд байрласан мониторингийн станц, харуулын хэмжилттэй харьцуулж үнэлэх бололцоотой юм.

ЦУОШГ-т агаарын урсгал, хөдөлгөөнийг уул зүй, газар бүрхэвчийн нөхцөл зэрэг орон нутгийн онцлогийг тооцоолсон Cray супер компьютерээр Улаанбаатар хот болон томоохон хотуудын орчимд 1км-ын нарийвчлалтай 72 цаг хүртэл прогнолох технологи нэвтэрч байгаа тул цаг агаар буюу агаар мандлын нөхцөлөөс хамааруулан агаарын бохирдлын тархалт, агууламжийг мөн прогнолох техникийн орчин тодорхой хэмжээгээр бүрдсэн юм.

Иймд дээрх нөхцөл, шаардлагын үүднээс өнөөдрийн буюу өнгөрсөн хугацааны агаарын бохирдлын ажиглалт, мониторингийн хэмжилтийг зөвхөн хийгээд зогсохгүй түүний ирээдүйн хувьсал өөрчлөлт, тоон утгыг прогнолох нь нийгмийн өнөөгийн шаардлагад нийцэж байгаа тул Улаанбаатар хот болон томоохон хотуудын талбайн эх үүсвэр болох гэр хороололын геометр хэмжээг хиймэл дагуулын тоон мэдээг (Google Earth программ хангамж буюу виртуал дэлхийн бөмбөрцөг, газрын зураг, газарзүйн цогц мэдээлэл) ашиглаж газар зүйн мэдээллийн системээр (Geographic information system, ArcGIS программ хангамж) 1км-ын нарийвчлалтай тодорхойлно.

Энэхүү судалгаагаар Улаанбаатар хот болон томоохон хотуудын агаарын бохирдлын эх үүсвэр болох гэр хороололын геометр хэмжээг хиймэл дагуулын тоон мэдээг (Google Earth, DigitalGlobe) ашиглаж газар зүйн мэдээллийн системээр (GIS) нарийвчлан тогтоох зорилго тавьсан болно.

Судлагдсан байдал

Доктор Р.Мижиддорж, доктор П.Гомболүүдэв болон бусад эрдэмтэд 2008 онд Улаанбаатар хот орчмын агаарын бохирдлын орон зайн тархалтыг АНУ-ын Хүрээлэн буй Орчныг Хамгаалах Агентлагийн (Environmental Protection Agency[EPA], USA) боловсруулсан ISC3 (Industrial Source Complex) загварт түлгүүрлан тодорхойлохдоо гэр

хорооллын талбайн эх үүсвэрийг тэгш өнцөгт, талбайн урт, өргөнийн харьцааг 10-аас бага (а-урт, б-өргөн, а:б:а<10) байхаар үүсгэсэн байна.

Доктор П.Гомболүүдэв, Б.Мөнхбат, Г.Батжаргал, М.Батжаргал, Б.Буянтогтох нар 2012 онд агаар мандлын гидростатик биш динамик MM5/WRF загвар болон Дэлхийн Технологийн Хүрээлэнгийн Сигма Судалгааны Корпорацид хөгжүүлсэн агаарын бохирдлын CALPUFF загварт тулгуурлан Улаанбаатар хот орчмын агаарын бохирдлын орон зайн тархалт, агууламжийн 48 цагийн урьдчилалтай прогнозын бодолтыг явуулахдаа гэр хорооллын талбайн эх үүсвэрийг мөн тэгш өнцөгт хэлбэрээр талбайн урт, өргөнийн харьцааг 10-аас бага (а-урт, б-өргөн, а:б:а<10), 1 км-ын нарийвчлалтай үүсгэсэн байна.

Арга зүй

Судалгааны ажилд ашиглагдсан гол арга зүй бол газар зүйн мэдээллийн систем (ГМС) буюу техник, программ хангамжийн тусламжтайгаар газарзүйн өгөгдлийг үр ашигтайгаар цуглуулах, хадгалах, сэргээн засварлах, дүн шинжилгээ хийх зориулалт бүхий оронзайн мэдээллийн цогц систем болон Google Earth буюу виртуал дэлхийн бөмбөрцөг, газрын зураг, газарзүйн цогц тоон мэдээлэл юм.

Газарзүйн мэдээллийн систем (ГМС)

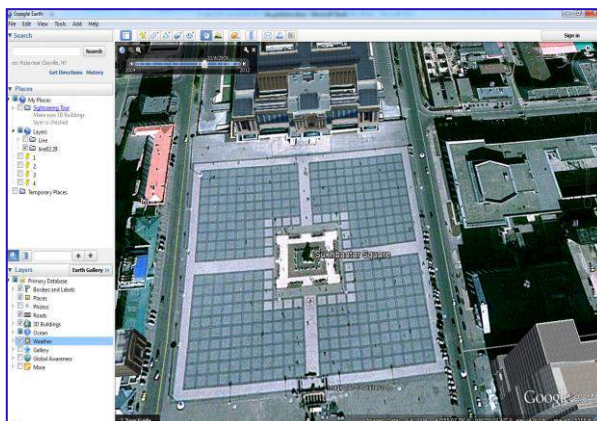
Газарзүйн мэдээллийн систем (Geographic information system) нь компьютерт суурилсан систем бөгөөд байгалийн болон хүний бүтээсэн юмс үзэгдлийг орон зай-цаг хугацааны хэмжигдэхүүнд судлах боломжийг олгодог. Уг систем нь өгөгдлийн оролт, удирдлага зохион байгуулалт болон өгөгдлийн гаралт гэсэн ерөнхий дэс дарааллаас бүрдэнэ (Rolf A.de Vy, 2009). ГМС нь дараахь дэд системийн олонлогоос бүрдэнэ.

- ❖ Өгөгдлийг оруулах дэд систем – Янз бүрийн эх үүсвэрээс орон зайн мэдээг цуглуулах
- ❖ Өгөгдлийг хадгалах болон сэргээх дэд систем – Орон зайн өгөгдөл, мэдээг маш хурднаар хялбархан сэргээж, засварлаж хадгална
- ❖ Өгөгдлийг боловсруулах болон дүн шинжилгээ хийх дэд систем – Өгөгдөлд тулгуурлан зорилтыг биелүүлэх
Жишээ нь: Загварчлах, давхцуулах, нэгтгэх, хэмжих г.м
- ❖ Тайлагнах дэд систем – Өгөгдлийн сан болон үр дүнгээ ерөнхийлөн эсвэл сэдэвчлэн (зураг, график, хүснэгт... г.м) үзүүлэх

Газарзүйн цогц мэдээллийн программ хангамж, Google Earth

Keyhole, Inc компаниас анх 2001 онд EarthViewer нэртэйгээр гаргаж, 2004 онд Google тус программ хангамжийг эзэмших болсоноор 2005 онд Google Earth хэмээх виртуал дэлхийн бөмбөрцөг, газрын зураг, газарзүйн цогц мэдээллийг агуулсан гайхалтай программ хангамж мэндэлсэн. Энэхүү программ хангамж нь Microsoft Windows 2000, XP, Vista, Windows 7, Mac OS X болон Linux үйлдлийн системүүд дээр ажиллах боломжтой тус программ нь дэлхийн бөмбөрцгийг сансарын хиймэл дагуулаас авсан зургуудаас бүрдүүлэн, бодитоор харуулдгаараа онцлог бөгөөд хүссэн улс, хот, аймаг,

сум, өртөө, харуул, байшин барилга, байгууламжийг Google Earth программаар дээрээс нь болон барилга байгууламжуудыг 3D хэмжээсээр харах боломжтой юм (**Зураг 155**).



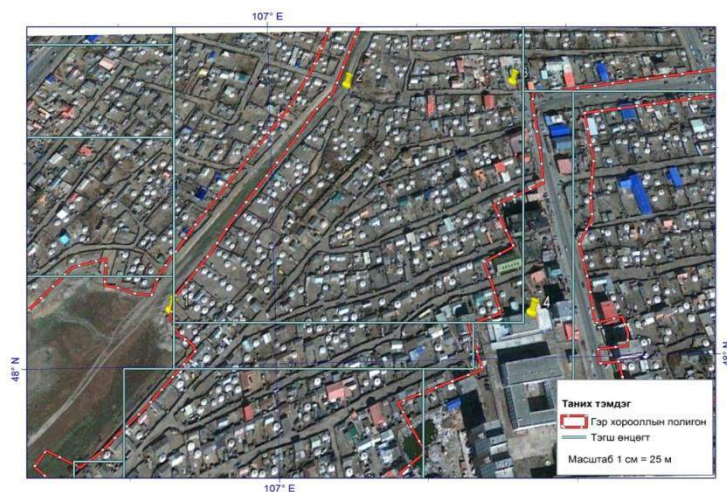
Зураг 155. Хиймэл дагуулын дүрс мэдээлэл

Гэр хороололыг талбайн эх үүсвэрээр ойролцоолох нь

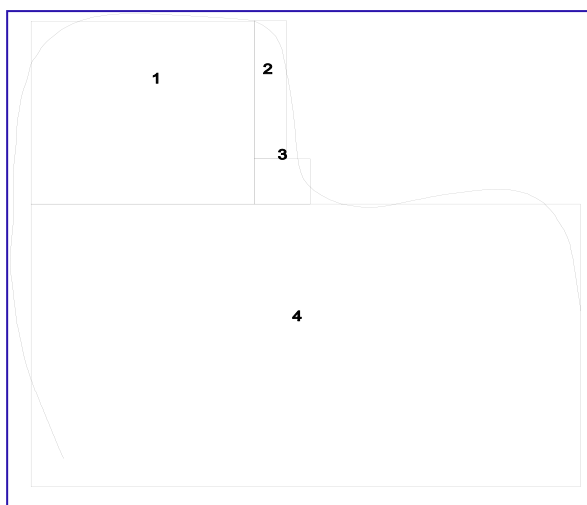
Улаанбаатар хот болон томоохон хотуудын орчимд байрлах бохирдлын эх үүсвэрийг ерөнхийд нь цэгэн (цахилгаан станц, нам даралтын уурын зуух), талбайн (гэр хороолол), шугаман (авто зам, төмөр зам), эзлэхүүний (шороон овоолго, хог хаягдал) гэж ангилдаг (Р.Мижиддорж П.Гомболүүдэв, 2008). Эдгээрээс хүний амьсгалын түвшинд буюу өөрөөр хэлбэл газрын гадарга орчимд хамгийн их бохирдлын нөлөө үзүүлдэг эх үүсвэр бол гэр хороололлоос гарах утаа юм (**Зураг 156**). Иймээс гэр хороололын талбай буюу полигоныг хиймэл дагуулын дүрс мэдээгээр нарийвчлан тодорхойлж, тухайн талбай (полигон) мэдээлэлд ойролцоолол хийж, олон жижиг талбайг тэгш өнцөгт талбайн эх үүсвэрүүдийг **Зураг 157**-т үзүүлсэн байдлаар ГМС-ээр анализ, боловсруулалт хийв. Ойролцоолол хийхдээ аль болох гэр хороололын эзлэх талбайг хадгалах байдлаар хийсэн болно (**Зурагт 158**).



Зураг 156. Хиймэл дагуулын зургаас гаргаж авсан гэр хорооллын полигон мэдээлэл



Зураг 157. Гэр хорооллыг талбайн эх үүсвэрт хуваасан байдал

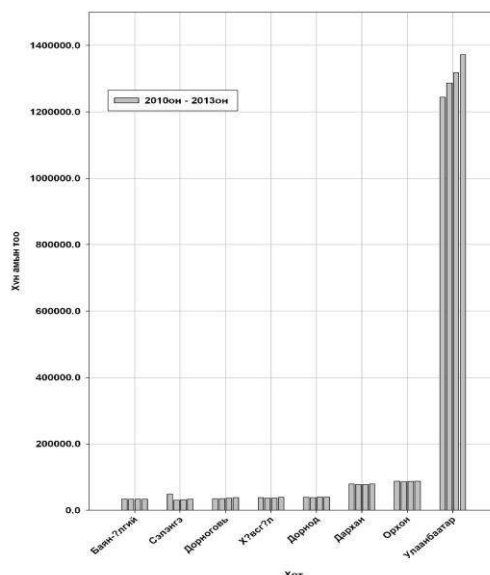


Зураг 158. Гэр хороололыг 4 тэгш өнцөгтөд хувааж, ойролцоолсон байдал

Улаанбаатар хот болон томоохон хотуудын Google Earth программ хангамжийн 2004-2012 оны цогц мэдээлэл буюу хиймэл дагуулын дүрс мэдээг ашиглаж агаарын бохирдлын эх үүсвэрийн талбайг (гэр хороолол) нарийвчлан тодорхойлов.

Үр дүн

Монгол улсын үндэсний статистикийн газрын 2010-2013 оны томоохон хот, аймаг дахь хүн амын тоог харгалзан, томоохон хотуудын агаарын бохирдлын талбайн эх үүсвэрийн геометр хэмжээг хиймэл дагуулын мэдээгээр нарийвчлан тодорхойлсон. Томоохон хот, аймгийн хүн амын тоог сүүлийн 4 жилийн явцыг **Зураг 159**-т харуулав.

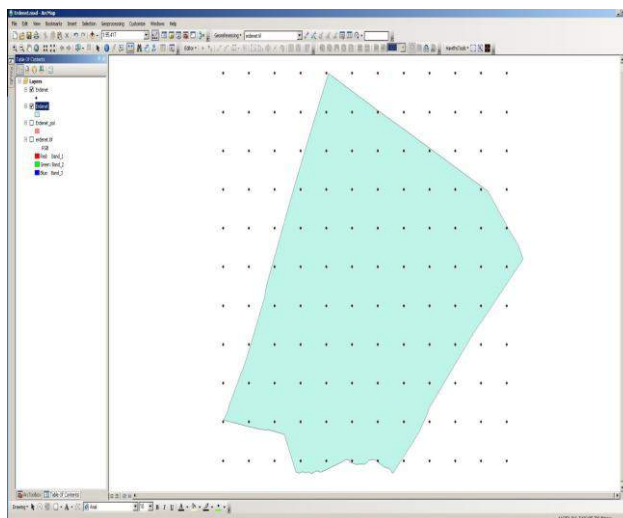


Зураг 159. Зураг 1 2010-2013 оны томоохон хот, аймаг дахь хүн амын тоо. Эх сурвалж: <http://www.nso.mn>

Зураг 5-аас харахад сүүлийн 4 жилд хүн амын тоо хамгийн их өсөлттэй хот Монгол улсын нийслэл, Улаанбаатар хот жилд дунджаар 42500 хүн шилжин, суурьшсан нь харагдаж байна. Харин бусад томоохон хот, аймгийн хүн амын шилжилт хөдөлгөөн харьцангуй хэвийн байна.

Улаанбаатар хот болон томоохон хотуудын агаарын бохирдлын эх үүсвэр болох гэр хороололын полигоныг хиймэл дагуулын дүрс мэдээг маш өндөр нарийвчлалтай үүсгэхдээ тухайн объектыг бүрэн хамрах геометр дүрс дээр орон зайн $0.018^{\circ} \times 0.018^{\circ}$ (~2.0км) гридийн тор үүсгэсэн (**Зураг 160**). Үүнд:

- Улаанбаатар хот $0.018^{\circ} \times 0.018^{\circ}$ (11x19)
- Эрдэнэт хот $0.018^{\circ} \times 0.018^{\circ}$ (11x12)
- Дархан хот $0.018^{\circ} \times 0.018^{\circ}$ (6x6)
- Дорноговь аймаг $0.018^{\circ} \times 0.018^{\circ}$ (40x29)
- Сүхбаатар аймаг $0.018^{\circ} \times 0.018^{\circ}$ (5x5) гэх мэт үүснэ.



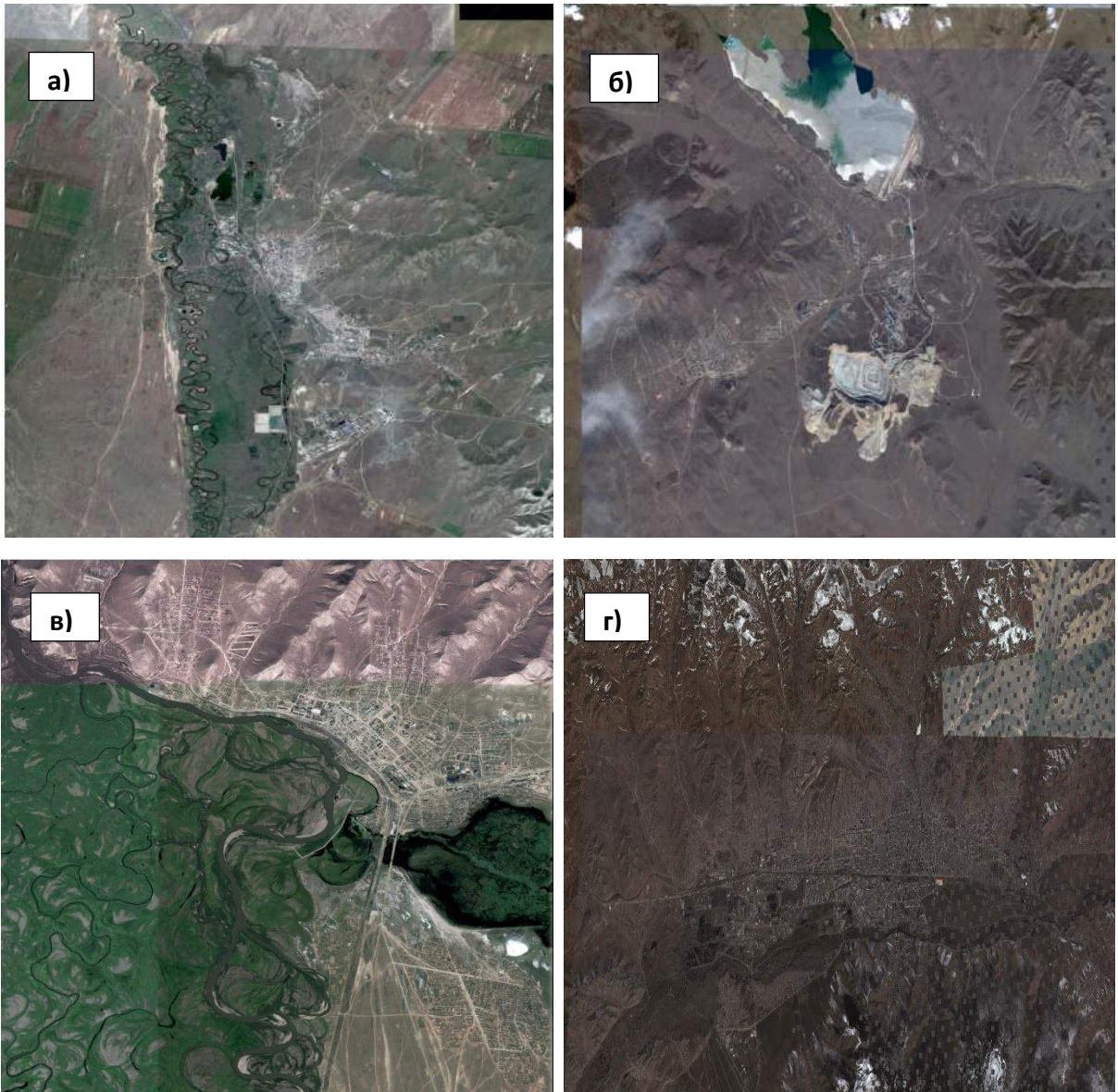
Зураг 160. Орон зайн гридийн тор

Орон зайн $0.018^{\circ} \times 0.018^{\circ}$ (~ 2.0 км) гридийн торын зүүн, баруун, дээд, доод цэгийн геометр дундаж, координатын тодорхойлно. Тодорхойлсон цэгүүдийн координатыг ашиглан тусгалын өөр өөр нарийвчлалтай Landsat, Spot, Quick bird хиймэл дагуулын зураг, тоон мэдээллүүдийг газарзүйн мэдээллийн систем (Geographic information system)-ээр байр зүйн холболт хийж, Улаанбаатар хот болон томоохон хотуудын агаарын бохирдлын эх үүсвэр болох гэр хороололын хиймэл дагуулын дүрс мэдээг маш өндөр нарийвчлалтай үүсгэсэн (**Зураг 161, Хүснэгт 46**).

Хүснэгт 46. Дүрс мэдээний орон зайн ялгаралт

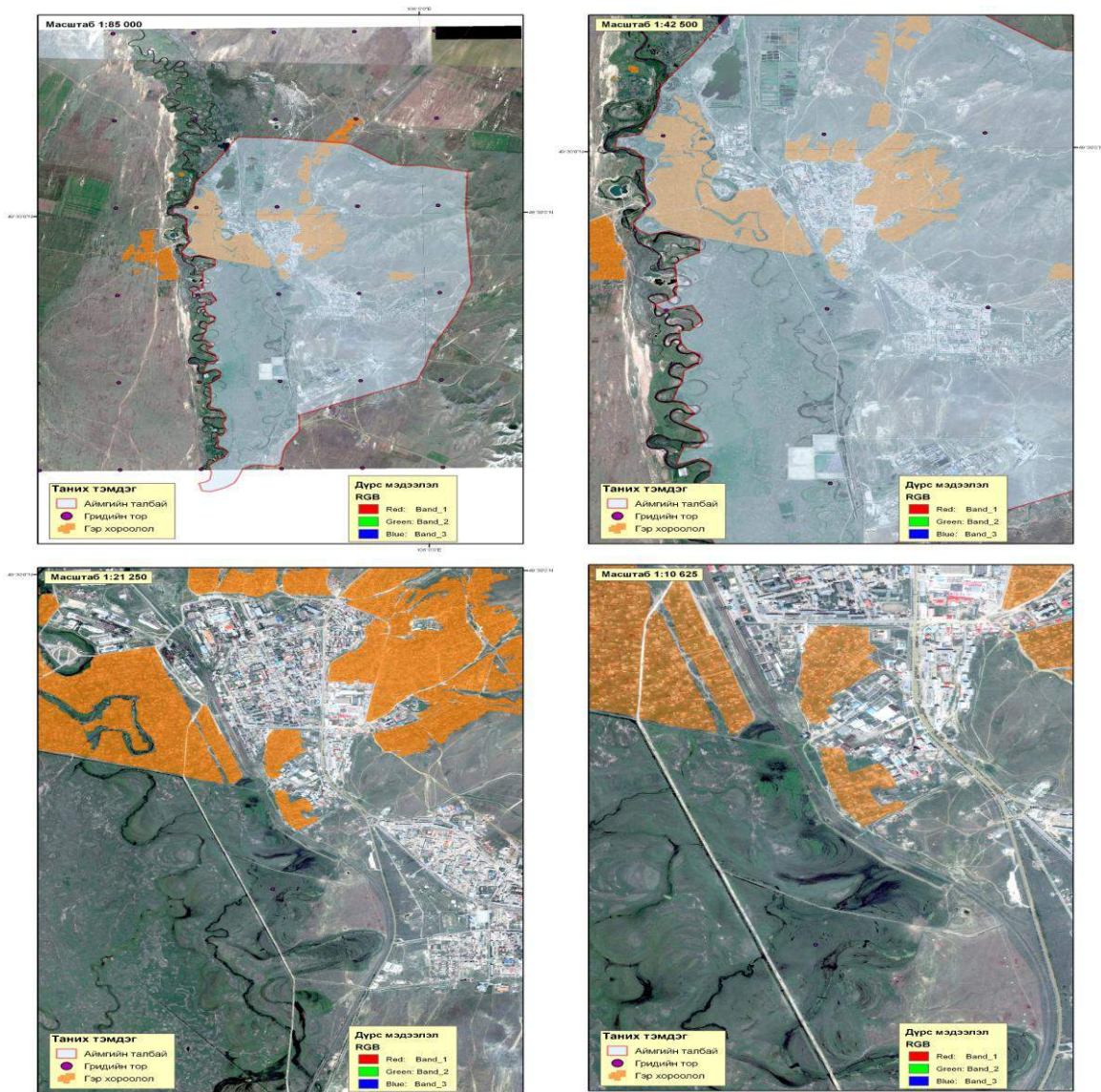
Хотын нэр	Хамрах талбай(m^2)	Дүрс мэдээний тоо	Ялгарал(м)
Улаанбаатар	$720 \cdot 10^6$	13600	$\sim 230 \times 230$
Дархан	$144 \cdot 10^6$	8160	$\sim 133 \times 133$
Эрдэнэт	$440 \cdot 10^6$	11160	$\sim 200 \times 200$
Сүхбаатар	$64 \cdot 10^6$	1722	$\sim 193 \times 193$

Хүснэгтээс харахад томоохон хотуудын агаарын бохирдлын эх үүсвэр болох гэр хороололын хиймэл дагуулын дүрс мэдээний хамрах талбайн хэмжээ хамгийн их нь Эрдэнэт болон Улаанбаатар хот $440 \cdot 10^6 - 720 \cdot 10^6 m^2$, орон зайн ялгарал ~ 200 м –ээс ~ 230 м үүссэн. Сэлэнгэ аймагийн төв хамрах талбайн хувьд харьцангуй бага $64 \cdot 10^6 m^2$, орон зайн ялгарал $\sim 193 \times 193$ м, харин орон зайн ялгарал хамгийн сайн нь Дархан хот $\sim 133 \times 133$ м байлаа.



Зураг 161. Дүрс мэдээ. Тайлбар: а) Дархан хот б) Эрдэнэт хот в) Сэлэнгэ аймаг г) Улаанбаатар хот

Орон зайн ялгарал сайн дүрс мэдээг газар зүй болон орон зайн боловсруулалт хийж Улаанбаатар хот болон томоохон хотуудын талбайн эх үүсвэр болох гэр хорооллын геометр хэмжээг газарзүйн мэдээллийн систем (Geographic information system) -ийн зураг зүйн объект болох цэг (point), шугаман (line), талбай (polygon) хэлбэрээр орон зайн нарийвчлал сайн мэдээллийн сан үүсгэсэн. Жишээ нь Дархан хотын гэр хорооллын геометр хэмжээг 1:85000, 1:42500, 1:21250, 1:10625 гэх мэт масштабаар харуулав (Зураг 162).



Зураг 162. Дархан хотын гэр хорооллын геометр хэмжээ

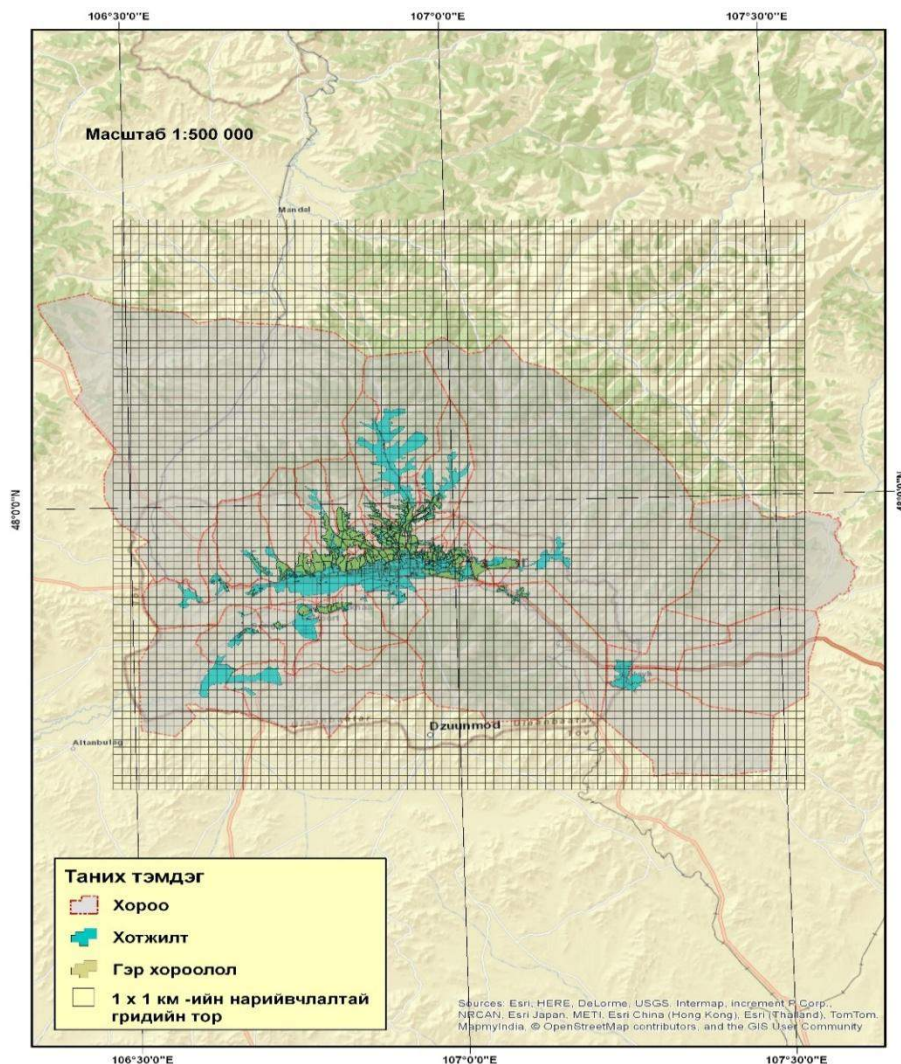
Зургаас харахад хиймэл дагуулын дүрс мэдээ маш өндөр нарийвчлалтай, мөн гэр хорооллын геометр хэмжээний ялгарал маш тод илэрч байгаа нь харагдаж байна. Хиймэл дагуулын дүрс мэдээ маш өндөр нарийвчлалтай тооцсон гэр хорооллын геометр хэмжээн(полигон) хамрах талбайг **Хүснэгт 10**-т харуулав.

Хүснэгт 47. Гэр хорооллын геометр хэмжээ (полигон)

Хотын нэр	Гэр хорооллын геометр хэмжээн(полигон) (м ²)
Улаанбаатар	87.7*10 ⁶
Дархан	8.4*10 ⁶
Эрдэнэт	18.3*10 ⁶
Сүхбаатар	1.0*10 ⁶

Хүснэгтээс харахад гэр хорооллын геометр хэмжээн(полигон) хамгийн их нь Монголын нийслэл Улаанбаатар хот 87.7*10⁶ м² талбайг хамарч байна.

Улаанбаатар хот болон томоохон хотуудын агаарын бохирдлын эх үүсвэр болох гэр хорооллын полигон мэдээллийг ашиглан гэр хорооллын геометр мэдээлэл шугаман болон цэгэн гридийн торыг орон зайн хувьд ≈ 1 км байхаар тооцож, тухайн 1x1 км –ийн гридийн торын атрибут мэдээллийн сан үүсгэсэн (Зураг 163). Атрибут мэдээллийн сангийн үр дүнг Хүснэгт 48-т үзүүлээ.



Зураг 163. Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлын эх үүсвэр болох гэр хорооллын полигон мэдээлэл, 1x1 км –ийн нарийвчлалтай гридийн тор

Хүснэгт 48. Атрибут мэдээллийн сан

Агуулга/Дугаар	Багана (Column)	Мөр (Row)	Бага уртраг, м (MinX)	Бага өргөрөг, м (MinY)	Их уртраг, м (MaxX)	Их өргөрөг, м (MaxY)	Төв уртраг, м (Center X)	Төв өргөрөг, м (CenterY)	Өндөр, м (Z_SRTM)	Хараг Далт, ° (Aspect)	Налуу, ° (Slope)
1	0	0	610000	5280000	611000	5281000	610500	5280500	1298	301	90
2	0	1	610000	5281000	611000	5282000	610500	5281500	1314	233	90
3	0	2	610000	5282000	611000	5283000	610500	5282500	1338	238	90
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

6399	79	43	689000	5323000	690000	5324000	689500	5323500	1823	243	90
------	----	----	--------	---------	--------	---------	--------	---------	------	-----	----

Дүгнэлт

Сүүлийн 4 жилд (2010-2013) хүн амын тоо хамгийн их өсөлттэй хот Монгол улсын нийслэл, Улаанбаатар хот жилд дунджаар 42500 хүн шилжин, суурьшсан нь харагдаж байна. Харин бусад томоохон хот, аймгийн хүн амын шилжилт хөдөлгөөн харьцангуй хэвийн байна.

Томоохон хотуудын агаарын бохирдлын эх үүсвэр болох гэр хорооллын хиймэл дагуулын дүрс мэдээний хамрах талбайн хэмжээ хамгийн их нь Эрдэнэт болон Улаанбаатар хот $440 \cdot 10^6 - 720 \cdot 10^6 \text{ м}^2$, орон зайн ялгарал $\sim 200 \text{ м}$ –ээс $\sim 230 \text{ м}$ үүссэн. Сэлэнгэ аймгийн төв хамрах талбайн хувьд харьцангуй бага $64 \cdot 10^6 \text{ м}^2$, орон зайн ялгарал $\sim 193 \times 193 \text{ м}$, харин орон зайн ялгарал хамгийн сайн нь Дархан хот $\sim 133 \times 133 \text{ м}$ байлаа.

Хиймэл дагуулын дүрс мэдээ маш өндөр нарийвчлалтай, мөн гэр хорооллын геометр хэмжээний ялгарал маш тод илэрч байгаа нь харагдаж байна. Гэр хорооллын геометр хэмжээн(полигон) хамгийн их нь Монголын нийслэл Улаанбаатар хот $87.7 \cdot 10^6 \text{ м}^2$ талбайг хамарч байна.

Улаанбаатар хот болон томоохон хотуудын агаарын бохирдлын эх үүсвэр болох гэр хорооллын полигон мэдээллийг ашиглан гэр хорооллын геометр мэдээлэл шугаман болон цэгэн гридийн торыг орон зайн хувьд $\approx 1 \text{ км}$ байхаар тооцож, тухайн $1 \times 1 \text{ км}$ –ийн гридийн торын атрибут мэдээллийн сан үүсгэсэн.

Энэхүү өндөр нарийвчлалтай мэдээллийн санг цаашид сэдэвчилсэн судалгаанд ашиглахад боломжтой.

4.3 WRF-Chem загвараар агаарын бохирдлын прогноз гаргах технологи

Хүн ам төвлөрсөн томоохон хотын хувьд орчны бохирдол, ялангуяа агаарын бохирдол сүүлийн жилүүдэд нэн чухал сэдэв болж байна. Улаанбаатар хотын иргэд хотын агаарын бохирдол зөвшөөрөгдөх хэмжээтэй харьцуулахад ямар түвшинд байгаа, ойр болон дунд хугацааны агаарын бохирдлын урьдчилан мэдээ зайлшгүй шаардлагатай байгаа бөгөөд цаашид түүнийг хэрхэн бууруулах арга хэмжээг боловсруулах асуудал нь нийгэм, эрдэм шинжилгээний байгууллага, эрүүл мэнд, боловсролын байгууллага гэх мэт маш олон салбарт энэ сэдвийн талаар судалгаа шинжилгээний ажил, сургалт явуулах нь нэн чухал асуудал болоод байна. Улаанбаатар хот орчмын агаарт агуулагдах бохирдуулагч бодис, тоосонцрын бохирдлын агууламж манай улсын агаарын чанарын стандарт хэмжээнээс олон дахин их болсон бөгөөд дэлхийн бусад нийслэл хотоос хамгийн их бохирдолтой 10 хотын тоонд багтаж байна [НАЧА тайлан].

Улаанбаатар хот орчмын агаарын бохирдлын чиглэлээр ерөнхий судалгаанууд байдаг боловч орон зай болон цаг хугацааны өндөр нарийвчлалтай агаар мандал болон химийн процессыг хам тооцсон тоон загвар ашиглаж шинжлэх ухааны үндэслэлтэй дүгнэлт хийсэн судалгаа хомс байна. Иймд Улаанбаатар хот орчмын агаарын бохирдлыг орон зай болон цаг хугацааны өндөр нарийвчлалтайгаар загварчилж газарзүйн байршил, хүний үйл ажиллагаа, цаг агаарын хүчин зүйлүүдийн нөлөөллийг шинжлэх ухааны үндэслэлтэйгээр тайлбарлах шаардлагатай байна.

Түүнчлэн, судлаачдад агаарын бохирдлын талаар мэдлэг олгох, судалгааны ажлын үр дүн бидний ажил амьдралд хэрхэн холбогдож байгаа, цаашид агаарын бохирдлыг бууруулах тал дээр бодлого боловсруулах улмаар агаарын бохирдлыг урьдчилан мэдээлэх нь нийгмийн шаардлага болж байна.

Улаанбаатар хот орчимд байрлах бохирдлын эх үүсвэрүүдийн ихээхэн хэсэг болох гэр, хороолол (гэр, байшин), нам даралтын зуухны ялгарлын тооцоог хийж бичил, бэсрэг хэмжээст цаг агаарын нөхцлөөс хамааруулан WRF-chem загвараар Улаанбаатар хот орчимд 1км-ийн нарийвчлалтайгаар агаарын бохирдлыг загварчлах технологийг боловсруулав. Бохирдуулагч бодис (CO, SO₂, NO₂, PM₁₀)-уудын ялгаралт болон үнэлгээг гэр хороолол буюу гэр байшин, бага оврын уурын зуухны ялгарлын мэдээнд тулгуурлан тус тус хийв.

Энэхүү судалгааны ажилд Улаанбаатар хот орчимд байрлах агаарын бохирдлыг үүсгэж байгаа эх үүсвэрүүд (гэр хороолол, бага оврын уурын зуух)-ээс ялгарч буй нүүрстөрөгчийн дутуу исэл CO, хүхрийн давхар исэл SO₂, том ширхэгт тоосонцор PM₁₀-ын цаг тутмын ялгарлыг 1x1км-ийн нарийвчлалтай грид цэгүүдэд тооцоолж агаарын бохирдлын WRF-chem (Weather Research Forecast Chemistry) загварт оруулан загварчилсан үр дүнд анализ хийж бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулан үнэлгээ өгөхийг зорив. Загварын захын нөхцөлийг NCEP(National Center for Environmental Prediction) реанализ болон GFS (Global Forecast System)-ийн 36 цагийн урьдчилалтай прогноз мэдээг ашиглан Улаанбаатар хот орчмын агаарын бохирдлын анализ болон прогнозыг тооцоолон эх үүсвэрээс ялгаран тархаж буй бохирдуулагч бодис орон нутгийн онцлогоос хамаарсан бичил цаг агаарын нөлөөгөөр хэрхэн тархаж буйг загвараар тооцоолж, үнэлгээ өгөх нь энэ судалгааны ажлын зорилго юм.

Энэхүү судалгааны ажлыг дараах дарааллаар багцлан хийхээр зорив. Үүнд:

- Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлын хэмжээ түүний динамик, агаар мандлын өгөгдлүүдтэй хэрхэн хамаарч байгааг судлах
- Агаар бохирдуулагч эх үүсвэрүүд, бохирдлын хувь хэмжээг тогтоох
- Улаанбаатар хот орчмын гэр хороолол, бага оврын уурын зуухнаас ялгарах бохирдлыг загварчлах
- Загварын үр дүнд анализ хийж агаарын бохирдолд газарзүйн байршил, цаг агаарын хүчин зүйлийн нөлөөг тогтоох зэрэг болно.

Арга зүй

Эх үүсвэрийн ялгаралт

Улаанбаатар хот орчимд байрлаж буй гэр болон байшин бүрийн газарзүйн байршил болон зуухны төрөл (сайжруулсан болон уламжлалт зуух), 150 орчим бага оврын уурын зуухны ялгарлын мэдээг загварт бэлдэж оруулахын тулд загварын хэвтээ чиглэл дэх 1км-ийн нарийвчлалтай гридэд (торонд) багтах эх үүсвэрийн төрөл болон тоог тогтоон сар улиралын цаг агаарын нөхцөл болон нийслэлчүүдийн амьдралын хэв маягаас хамаарсан нүүрс болон шатхуун зарцуулалтаас хамаарсан ялгарлын мэдээг бэлтгэв.

Зуухны төрлөөс хамаарсан бохирдуулагч бодис бүрийн ялгарлын коэффициентийг Японы Олон Улсын Хамтын Ажиллагааны байгууллага (ЖАЙКА)-ын хэрэгжүүлж буй Монгол улс Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлын хяналтын чадавхыг бэхжүүлэх төслийн хүрээнд тооцоолсон утгыг ашигласан.

$$\text{Coal * Emission Factor} = \text{Emission} \quad (1)$$

Энд, Coal – нэг цагт зарцуулах нүүрсний хэмжээ, Emission Factor – тухайн эх үүсвэрийн төрөл болон бохирдуулагч хий болон аэрозолоос хамаарсан ялгарлын коэффициент, $Emission_{(нэг гэр)}$ – нэг цагт нэг гэр болон байшингаас ялгарах ялгарал болно.

Зуухны төрлөөс хамаарсан нэг гэр болон байшингаас ялгарах ялгарлыг тухайн гридэд багтсан гэр байшингийн тоогоор үржүүлж грид тус бүрээс ялгарах ялгарлыг (2) дугаар томъёогоор тооцоолов.

$$Emission_1 \text{ km}^2 \text{ area} = Emission \text{ (нэг гэр)} * \text{Тоо(гэр, байшин)} \quad (2)$$

Энд, $Emission_1 \text{ km}^2 \text{ area}$ – 1km^2 талбайгаас ялгарах ялгарал, $Emission_{(нэг гэр)}$ – нэг гэр эсвэл байшингаас ялгарах ялгарал, Тоо (гэр, байшин) – нэг гридэд багтах гэр байшингийн тоо.

Цахилгаан станц, бага оврын уурын зуух, автомашинаас ялгарах ялгарлыг мөн дээрх аргачлалаар 1 гридэд багтсан хэсгээр 24 цаг тутамд тооцоолон гаргана. Тухайлбал 1km^2 талбайд багтах замын урт, автомашины нягтрал зэргээс хамаарсан бохирдуулагч бодис бүрийн ялгарлын утга гарна.

Тооцоолсон бохирдуулагч бодис бүрийн ялгарлын тоон өгөгдлийг агаар мандал болон химийн хосолсон WRF-Chem загварын формат руу хөрвүүлж бэлтгэв.

Ус цаг уурын албанд ашиглагдаж байгаа өндөр хүчин чадалтай суперкомпьютерт бохирдлын загварыг 256 процессор ашиглан 2015 оны 1, 2 дугаар сарын өдөр бүрийг 1 цагийн алхамтайгаар ажиллуулж үр дүнг зураг болон цэгэн байдлаар гарган түүнд анализ хийв.

WRF-Chem

WRF тоон загвар бол судалгаа шинжилгээ ба шуурхай үйлчилгээнд ашиглахад нэн тохиромжтой, хэрэглээний хүрээ өргөн, богино хугацаанд шинэчлэл хийгдэж байдаг нийтийн хөгжүүлэлттэй загвар юм. WRF-ийн хөгжүүлэлт нь дараагийн үеийн дунд масштабын прогнозын загвар ба өгөгдлийн харьцуулалтын системийн хөгжил, цаг уурын дунд масштабын уур амьсгал, түүний талаарх ойлголт шуурхай ажиллагаа, судалгаа шинжилгээний ажлыг хурдасгах зорилгоор олон байгууллагуудын хичээл зүтгэлээр явагддаг юм. WRF-ийн ололтууд нь Агаар мандлын судалгааны үндэсний төвүүдийн (NCAR) дунд болон бичил масштабын 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 олон их сургуулиудын эрдэмтдийн оролцоотойгоор явагддаг.

WRF-Chem загварыг хими-цаг агаарын прогноз, агаарын бохирдлыг бууруулах төлөвлөгөөний үнэлгээ, бүтээн байгуулалтын төлөвлөлт, хиймэл дагуулын ассимиляц зэрэгт ашиглаж болох ба цаг уурын салбарт дараах судалгаа шинжилгээний ажилд ашиглах боломжтой. Үүнд:

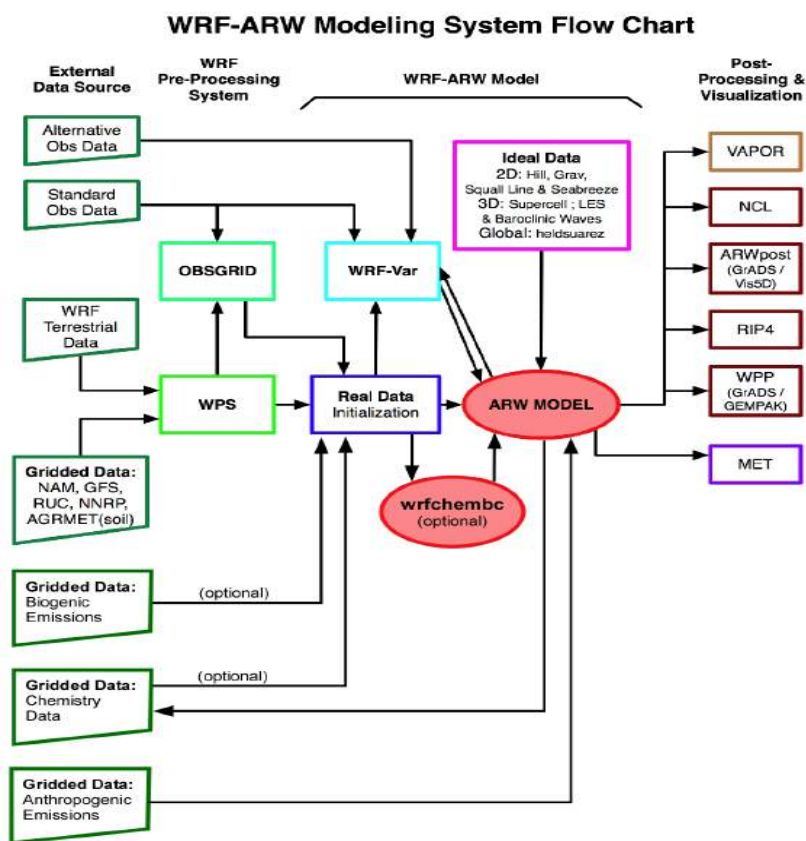
- Бүсийн болон орон нутгийн цаг агаарын тооцоо болон урьдчилсан мэдээ гаргах
- Цаг агаарын урьдчилсан мэдээ болон тархалтын загварын хосолсон тооцоо, бүрэлдэхүүн хэсгийн шилжилтийн тооцоог хийх

- Цаг агаар, агаарын бохирдлын загварын физик болон химийн харилцан үйлчлэлээр озон, бохирдуулагч хий, жижиг болон том ширхэглэгт тоосонцор (PM2.5 PM10)-ийн урьдчилсан мэдээ гаргах
- Агаар мандалд агуулагдах жижиг хэсэг дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлтөд нөлөөлөх процессын судалгааг хийх гэсэн судалгаа шинжилгээний ажлыг хийх боломжтой юм.

ARW-ийн динамик бодолт нь даралтын интеграл, гидростатик бус Эйлерын томъёо ашиглана. Тэгшитгэл нь хувьсах хэмжигдэхүүнүүдийн шинж чанар өөрчлөгдөхөд тухайн төлөв байдал хадгалагдана гэсэн Ооуата (1990)-ийн философийг мөрдөж байна.

Тэгшитгэл нь газар нутгийн үрсгалын босоо координатаар томъёолдог (Laprise, 1992). Энэ бүлэгт бид босоо координат ба Cartesian-ийн огторгуйн тэгшитгэлийн тухайн өөрчлөлтийн талаар тодруулах ба бид агаар мандал дахь чийгийн үзүүлэлтүүдийг оруулах, дэлхийн проекцын төрлүүдийг нэмэлтээр агуулсан байдаг талаар тодруулах болно.

Загварын системийн ажиллагаа, үндсэн хэсгүүдийг **Зураг 164**-т үзүүлэв.



Зураг 164 WRF-Chem загварын схем

Агаарын чанарын тооцоо болон прогноз гарах нь тухайн газар нутгийн байршил, цаг агаарын хүчин зүйл (салхины хурд, чиглэл, турбулент хөдөлгөөн, цацраг, үүлшил болон хур тунадас) болон химийн процесс (тархалт болон шилжилт)-оос хамаардаг. Бодит агаар мандалд физик болон химийн процесс хослон явагддаг учир агаар мандал байгалийн болон хүний үйл ажиллагаанаас үүссэн химийн бодис болон хийнүүд эргэх холбоогоор буцаад цаг агаарт нөлөөлдөг.

Загварын агаар мандлын үндсэн тэгшитгэлийг Бүлэг I авч үзсэн ба химий схемийг товчоор авч үзье.

Бодит агаар мандалд физик болон химийн процесс хослон явагддаг учир агаар мандал дахь химийн бодис болон хийнүүд цаг агаарт нөлөөлдөг. Жишээлбэл: цацрагийн баланс, үүл болон тоосонцорын харилцан үйлчлэлд нөлөөлдөг байна.

WRF-Chem загвар нь дараах химийн схемүүдтэй. Үүнд:

- Dry deposition (хуурай унал)
- Biogenic emission (ургамлын ялгарал-органик ялгарал)
- Chemical mechanism (химийн механизм)
- Photolysis scheme (фотолиз урвалын схем)
- Aerosol scheme (аэрозолын схем)

Эдгээр химийн схемүүд нь байгаль дээрх хий болон дээрх эх үүсвэрүүдээс ялгарч байгаа бохирдуулагч бодисуудын агаар амьдрах хугацаа, агаар мандал дахь химийн урвал, тэдгээрийн шилжилт, хий болон аэрозолын газрын гадаргад унах унал зэргийг тооцоолдог [Georg Grell 2005].

Үр дүн

Цаг уурын үзүүлэлт ба агаарын бохирдлын хамаарал

Агаарын чанар нь агаарын бохирдлын эх үүсвэрүүдийн байршил, тэдгээрийн хүчин чадал, технологи, хаягдлын найрлага, газарзүйн болон цаг агаарын нөхцөлөөс хамаарах ба Улаанбаатар хотод хүн амын төвлөрөл, үйлдвэржилт, агаарын бохирдлын эх үүсвэрийн нягтралтай холбоотойгоор дүүрэг, хороо, хэсгүүдэд агаарын бохирдол харилцан адилгүй тархалттай байдаг.

Эх үүсвэрүүдээс ялгарч байгаа бохирдуулагч бодисын хэмжээ эх үүсвэрүүдийн тоо хэмжээ, нягтралаас хамаарахаас гадна газарзүйн байршил, цаг агаарын хүчин зүйлээс маш их хамааралтай байдаг.

Хүснэгт 49-т МҮОНРТ-ын орчимд байрладаг харуулын 2015 оны 01-ээс 02 дугаар сарын хоногийн дундаж бодит ажиглалтын мэдээгээр бохирдуулагч бодис болон цаг агаарын элементүүдийн хамаарлыг гаргав.

Хүснэгт 49. Корреляцийн коэффициент

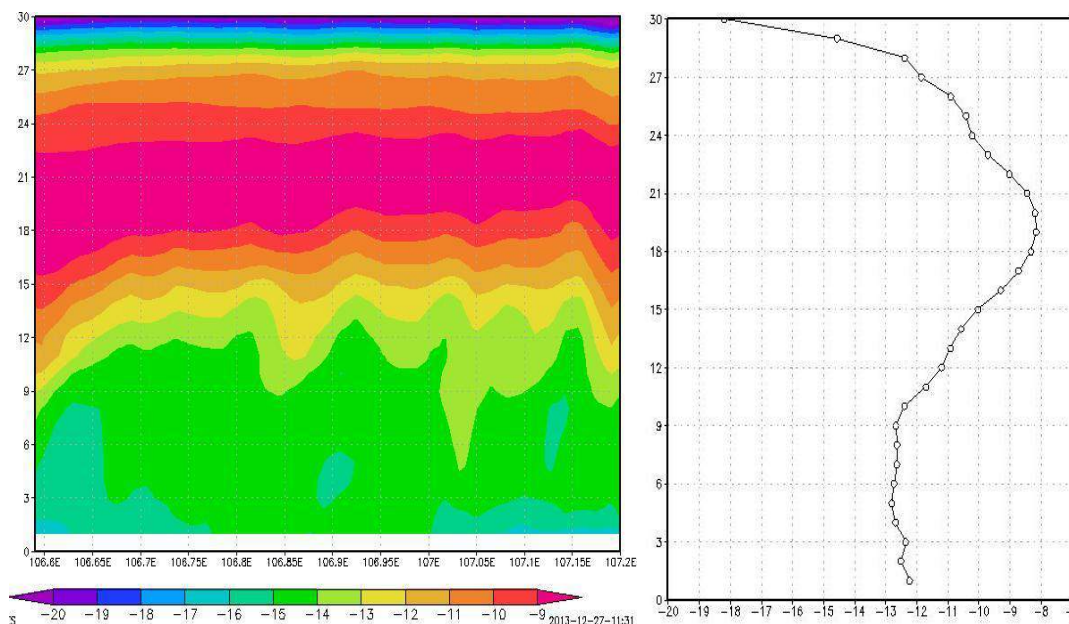
	NO	NO2	NOx	CO	SO2	PM-10	PM-2.5	PM-1
Салхины хурд	-0.74	-0.58	-0.76	-0.70	-0.71	-0.65	-0.65	-0.64
Салхины чиглэл	-0.58	-0.49	-0.60	-0.57	-0.54	-0.53	-0.57	-0.57
Агаарын температур	-0.11	-0.24	-0.14	-0.16	-0.20	-0.36	-0.33	-0.33
Хурьцангуй чийг	-0.16	-0.25	-0.19	-0.13	-0.38	-0.30	-0.15	-0.12
Агаарын даралт	0.08	0.11	0.09	0.11	0.13	0.28	0.23	0.23

Хамаарлаас харахад салхины хурд болон чиглэл бохирдуулагч бодисуудын агууламжтай 0.49-0.76 үрвүү хамааралтай байна. Иймд агаар мандал болон бохирдлын загварт агаар мандлын үр дүн хэдий сайн байна бохирдлын үр дүн төдий хэмжээгээр сайн байх нь тодорхой харагдана.

Эх үүсвэрээс ялгарч буй бохирдол агаар мандалд үүссэн инверсийн улмаас босоо түвшинд тархаж чадахгүй хэвтээ чиглэлд холилдон тархдаг. Холилдолтын давхарга

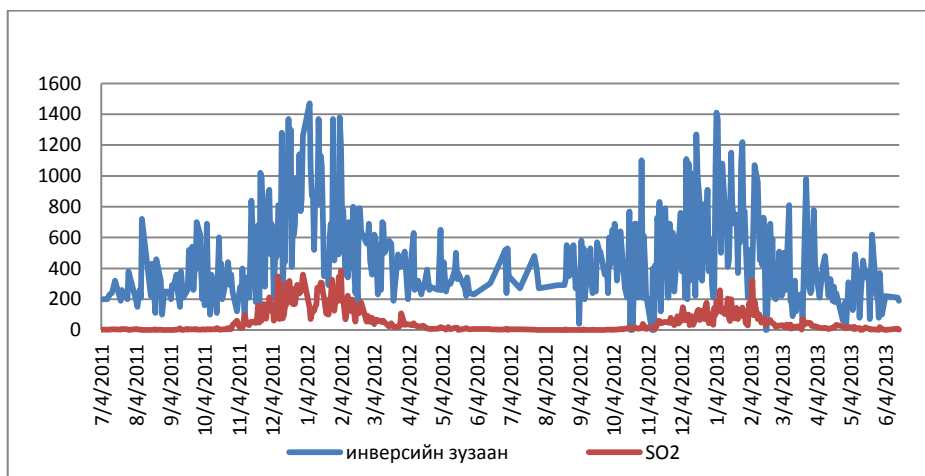
(mixing layer) болон инверсийн доод хил бага зэрэг багасахад газар орчимд бохирдлын хуримтлал үүсч бохирдлын хэмжээ ихэснэ. Харин инверсийн доод хил болон холигдолтын давхаргын зузаан ихсэхэд бохирдуулагч бодис босоо түвшинд тархаж газар орчимд бохирдуулагч бодисын хэмжээ багасна (C.Donald Ahrens 2000).

Зураг 165-аас харахад агаарын бохирдлын нэг томоохон хүчин зүйл болох инверсийг WRF-Chem загвар тодорхой хэмжээгээр тооцож байна. Энэ тохиолдол Улаанбаатар хот орчимд агаарын бохирдол харьцангуй их байсан ба загвараар тооцоолсон инверсийн доод хил загварын 9 дүгээр түвшин буюу газрын гадаргаас дээш 80 м-т байрласан байна.



Зураг 165. WRF-Chem загварын 2013 оны 12 дугаар сарын 29-ний 20 цагийн бодолтын агаарын температурын босоо зүсэлт

Зураг 166-т Улаанбаатар станцын радиозондын мэдээгээр тооцоолсон инверсийн зузаан болон 100 айл харуулын орчим дэх SO₂-ийн харьцуулалтыг үзүүлэв. Улаанбаатар станцын 2011 оны 7 дугаар сараас 2013 оны 7 дугаар сарын зондын мэдээнээс инверстэй өдрүүдийн инверсийн зузааныг УБ5 харуулын SO₂-ийн мэдээтэй харьцаанаас харахад шууд хамааралтай нь харагдаж байна.



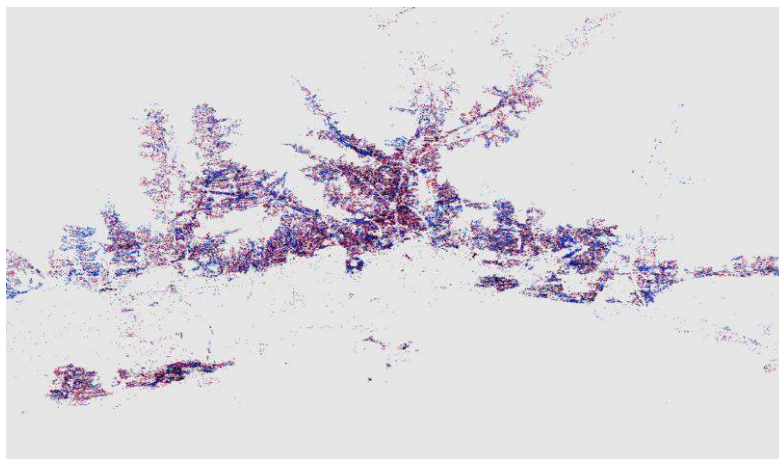
Зураг 166. Инверсийн зузаан болон SO₂-ийн агууламж /2011-2013/

Эх үүсвэрийн тооцоо

Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлыг бууруулах ажлын хүрээнд Улаанбаатар хот орчимд байрлаж буй гэр болон байшингийн газарзүйн байршил болон зуухны мэдээллийг холбогдох хүмүүсээс цуглуулж цэгэн эх үүсвэр болгон загварт тооцов.

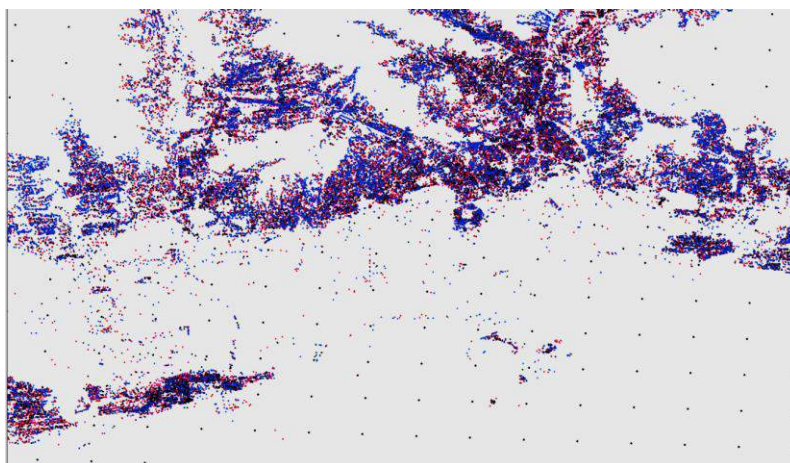
Эдгээр эх үүсвэрүүдээс ялгарах ялгарлыг тооцоолж загварт оруулахын тулд загварын 1км-ийн нарийвчлалтай гридэд хэдэн сайжруулсан болон уламжлалт зуух багтаж байгааг тооцоолох шаардлагатай. Иймд сайжруулсан болон уламжлалт зуухны байршлын мэдээ болон загварын 3 дугаар бүс нутгийн 1км-ийн нарийвчлалтай грид цэгийг GIS мэдээллийн системд оруулж өгсөн.

Зураг 167-т сайжруулсан зуух (гэр, байшин) болон уламжлалт зуух (гэр, байшин)-ны байршлыг үзүүлэв. Улаан өнгөөр гэрийн сайжруулсан зуух, ягаан өнгөөр сайжруулсан байшингийн зуух, цэнхэр өнгөөр уламжлалт гэрийн зуух, тод ягаан өнгөөр уламжлалт байшингийн зуухыг төлөөлөн GIS мэдээллийн системээр үзүүлэв. Эндээс харахад зуухны төрөл байршил, тэдгээрийн нягтралын мэдээлэл гарч ирж байгаа нь гэр хорооллын эх үүсвэрүүдийн маш сайн мэдээлэл болж өгөв.



Зураг 167. GIS системд оруулсан зуухны мэдээлэл

Зураг 168-т мэдээлэл дээр нэмээд загварын 1км-ийн нарийвчлалтай гридийг оруулж өгөв. Эндээс бид 1км² талбайн бүрд хэдэн гэр болон байшин байгааг зуухны төрөл бүрээр гарган авах боломжтой болсон.

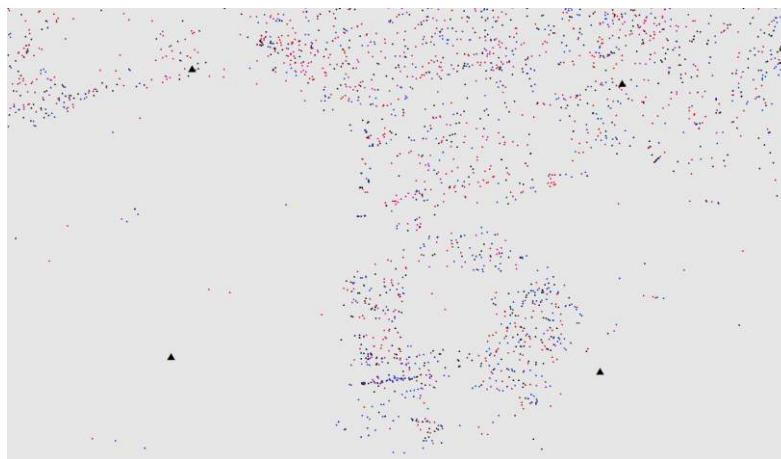


Зураг 168. Загварын грид болон зуухны байршил

Зураг 169-т Гандан орчмын гурвалжин хараар тэмдэглэсэн 1км^2 талбайд багтаж буй зуухны байршлыг үзүүлэв. Зурагт цэнхэр дугуйгаар тэмдэглэсэн хэсэг нь Гандангын гэр хорооллын хэсэг, улаан дугуй нь гэр хороололгүй хэсгийг тэмдэглэв.

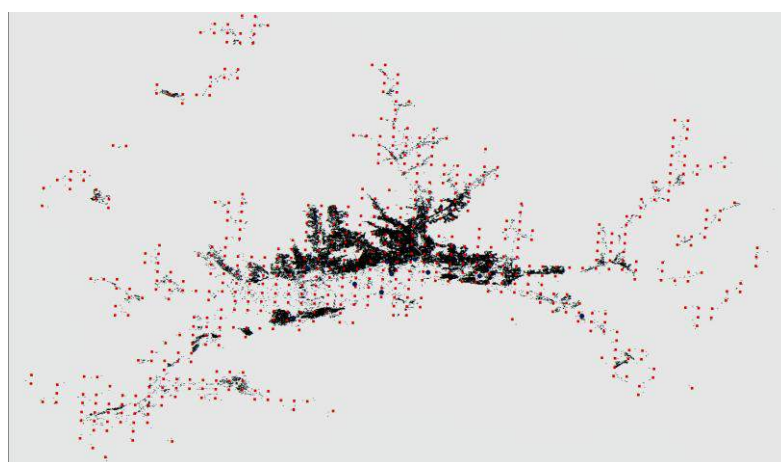
WRF-Chem загвар грид цэг бүрд тооцоолол хийдэг учир цэгэн эх үүсвэрийн ялгарлын мэдээг оруулж өгөхөд загварын нэг гридэд багтаж буй эх үүсвэр тус бүрээс ялгарах ялгарлыг тооцоолж түүний нийлбэрийг гридийн голын цэгт зоож өгдөг. Иймд загварт нэг гридэд эх үүсвэртэй болон үүсвэргүй талбайн хэмжээнээс үл хамааран тухайн гридэд багтаж буй эх үүсвэрийн төрөл, тоо хэмжээнээс хамаарсан бохирдуулагч бодис ялгарна гэж үзэв.

Иймд тооцох машины боломжоос хамааран гридийн нарийвчлалыг сайжруулж өгвөл илүү бодит байдалруу дөхсөн ялгарлын мэдээ гарч ирнэ. Одоогийн тооцоолох машины хүчин чадлаас хамааран 1км-ийн нарийвчлалтай бодож байгаа нь тодорхой хэмжээний алдаа гарахаар байна.



Зураг 169. Нэг гридэд багтаж буй гэр байшин

Загварын $1\text{км} \times 1\text{км}$ -ийн нарийвчлалтай 42839 гридээс Улаанбаатар хот орчмын 611 гридэд их бага хэмжээгээр гэр байшин тоологдсон байна (**Зураг 170**).



Зураг 170. Гэр байшин тоологдсон грид

Эдгээр 611 грид тус бүрд багтсан сайжруулсан болон уламжлалт зуухны тооноос хамааран цаг тус бүрийн ялгарлыг тооцоолох шаардлагатай. Үүний тулд (1), (2) дугаар томъёог ашиглав. Нэг гэрээс ялгарах бохирдуулагч бодисуудын ялгарлын хэмжээг зуухны төрлөөс хамаарсан ялгарлын коэффициент (**Хүснэгт 50**) болон цагт зарцуулсан

нүүрсний хэмжээгээр (1) дүгээр томъёогоор тооцоолсон. Хүснэгтэд үзүүлсэн зуухны төрлөөс хамаарсан бохирдуулагч бодис бүрийн ялгарлын коэффициентийг ашиглав.

Хүснэгт 50. Ялгарлын коэффициент (JICA-ийн хэрэгжүүлж буй төсөл)

Ялгарлын коэффициент	PM10	CO	SO2	NOx
Улажлалт зуух (Гэр)	2.87	65.53	4.26	0.91
Улажлалт зуух (Байшин)	6.35	60.37	6.06	0.61
Сайжруулсан зуух	0.80	21.29	3.71	0.93

$$\text{Coal}_{(\text{нэг цагт})} * \text{Emission Factor} = \text{Emission}_{(\text{нэг гэр})} \quad (1)$$

Coal_(нэг цагт) – Нэг цагт зарцуулах нүүрсний хэмжээ

Emission Factor – ялгарлын коэффициент

Emission_(нэг гэр) – Нэг гэр болон байшингаас ялгарах ялгарал

Зуухны төрлөөс хамаарсан нэг гэр болон байшингаас ялгарах ялгарлыг тухайн гридэд багтсан гэр байшингийн тоогоор үржүүлж 611 грид тус бүрээс ялгарах ялгарлыг (2) дугаар томъёогоор тооцоолов.

$$\text{Emission}_{1 \text{ km}^2 \text{ area}} = \text{Emission}_{(\text{нэг гэр})} * \text{Тоо}_{(\text{гэр, байшин})} \quad (2)$$

Emission_{1 km² area} – 1км талбайгаас ялгарах ялгарал

Emission_(нэг гэр) – Нэг гэр болон байшингаас ялгарах ялгарал

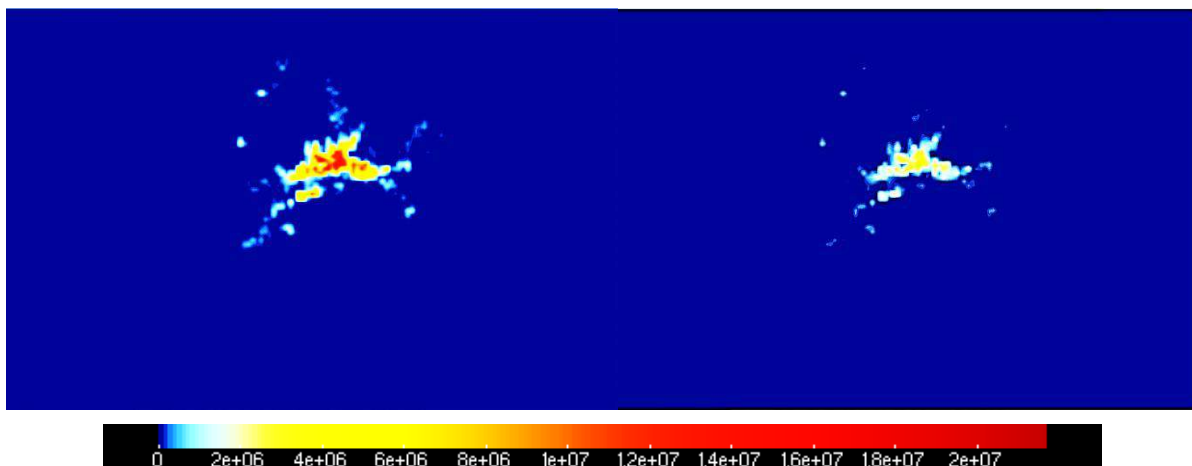
Тоо_(гэр, байшин) – Нэг гридэд багтах гэр байшингийн тоо

Томъёонд орж буй гишүүдээс зөвхөн 1 цагт зарцуулах нүүрсний хэмжээ болон түүний хоногийн явц агаарын температураас хамааран өөрчлөгдөхөөр динамик байдлыг хангахаао загварт оруулсан болно.

Агаарын бохирдлын загварыг ажиллуулах болон түүнийг урьдчилан мэдээлэхэд хамгийн тодорхойгүй асуудал нь маргааш бодит амьдрал дээр айл өрх тус бүр хэдэн цагаас хэдий хэмжээний нүүрс зарцуулсан эсэхийг бүрэн тооцож чадахгүйд байгаа юм. Гэвч бид энэ асуудлыг өнгөрсөн хугацааны бодит ажиглалт болон загварыг олон тооны туршилт явуулж түүний үр дүнд анализ хийж нүүрсний хэмжээг ойролцоогоор гаргаж ирсэн.

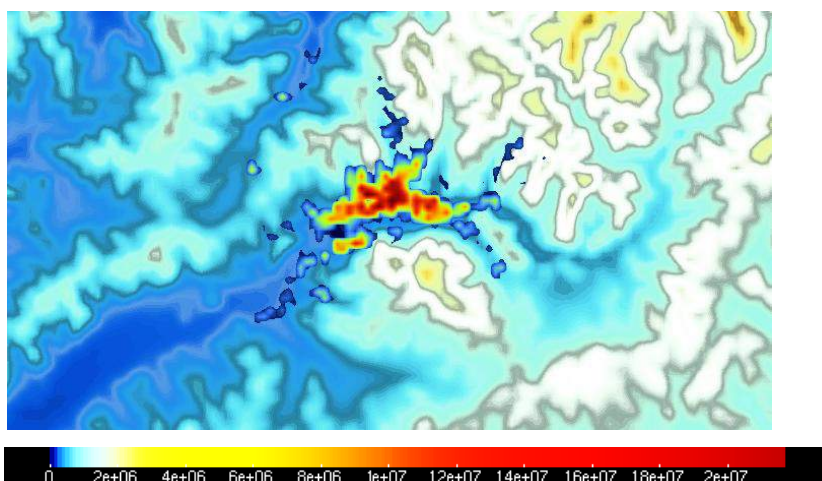
Мөн загварт бүх айл нэгэн адил хугацаанд адил хэмжээний нүүрс түлж байгаагаар оруулж өгч байгаа учир алдаа болох нөхцөл болж байна. Алдаа гарах өөр нэг хүчин зүйл нь загварт гэр хороолол болон бага оврын уурын зуухнаас ялгарах ялгарлыг оруулж өгч байгаа учир бусад эх үүсвэр (автомашин, бохирдуулагч бодис ялгаруулж буй бусад үйл ажиллагаа)-ийн нөлөөг тооцоолоогүй явдал юм. Иймд бид гэр хороололд аль болох ойрхон агаарын чанарын харуулын мэдээг загварын үр дүнтэй харьцуулж анализ хийв.

Зураг 171-т Улаанбаатар хот орчимд ямарваа нэг гэр болон байшин байрлаж буй 1км квадрат талбайгаас 20 болон 14 цагт ялгарах CO-ийн ялгарлыг харуулав. Оргил галлагааны хугацааны ялгарал харьцангуй галлагаа багатай хугацааны ялгарлаас харьцангуй их байгаа нь харагдаж байна. Хоногийн 24 цаг тус бүрт бохирдуулагч бодис бүрээр ялгарлыг тооцоолсон.



Зураг 171. Нэг км квадрат талбайгаас 20 болон 14 цагт ялгарах CO-ийн хэмжээ /моль/

Гэр хороололд байрлах эх үүсвэрүүдээс ялгарах ялгаралтын тоо хэмээг тооцоолж буй 2 дугаар арга 1 дүгээр аргаасаа илүү нарийвчлал сайтай, сайжруулсан болон уламжлалт зүүхны мэдээллийг оруулж өгсөн учир цаашид бид 2 дугаар аргын дүнг ашиглахаар болов.



Зураг 172. CO-ийн нэг км квадрат талбайгаас 20 цагт ялгарах ялгарал болон уул зүй.

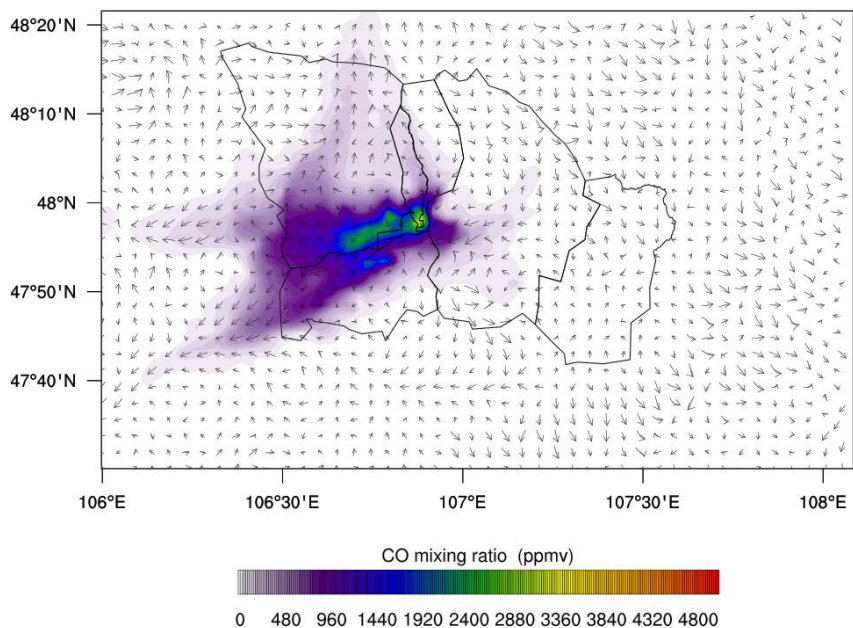
Зураг 172-т Улаанбаатар хот орчмын уул нуруу хонхор хотгорын зурган дээр 20 цагт ялгарах ялгарлыг давхцуулан үзүүлэв. Эндээс харахад нэг км квадрат талбайд багтаж буй гэр байшингийн тооноос хамааран ялгарлын хэд хэдэн голомт байгаа нь харагдаж байна.

Загварын үр дүн, түүний анализ

WRF-chem загварын анхны нөхцөлд 3 цагийн алхамтай GFS дэлхийн хэмжээний загварын прогноз мэдээг ашиглан загварыг 2015 оны 01 дүгээр сарын 01-нээс 02 дугаар сарын 28 хүртэл хоног бүрийн 20 цагийн бодолтуудыг 36 цагийн урьдчилалтайгаар хийж бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулж анализ хийв.

Зураг 173-т WRF-Chem загварын 2015 оны 02 дүгээр сарын 10-ны 20 цагийн бодолтын 12-р хугацаа буюу 11-ний 08 цагийн загварын 2 дугаар түвшин буюу гэр байшингийн зүүхны өндрийн түвшингийн нүүрстөрөгчийн дутуу исэл буюу угаарын хий CO-ийн тархалтыг үзүүлэв. Зургаас харахад эх үүсвэрээс ялгарч буй бохирдуулагч хий салхины зүг хурдны дагуу хонхор хотгороо даган шилжиж байгаа нь харагдаж байна.

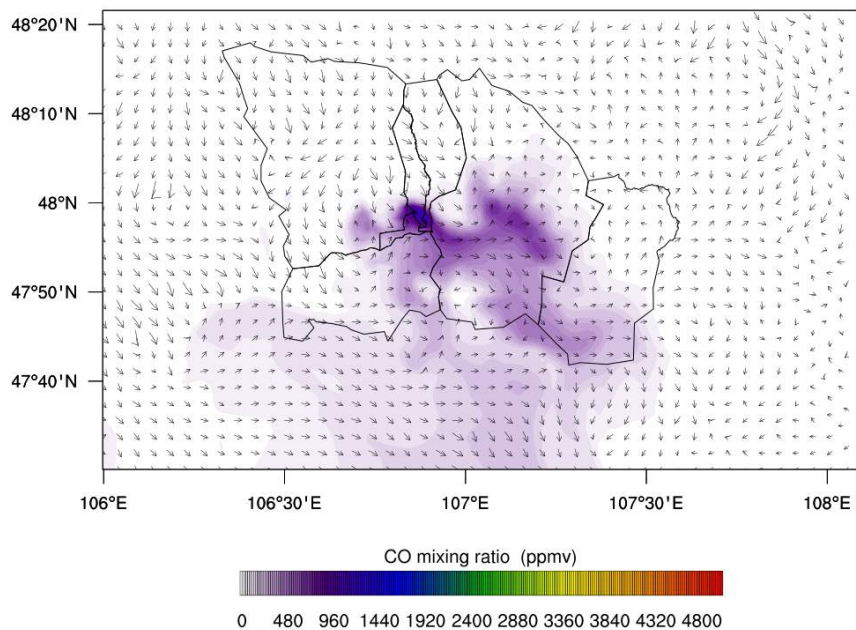
Загварын 2015 оны 02 дүгээр сарын 10-ны 20 бодолтын эхний 8 цаг болон бодит ажиглалтын зонхилох салхины хурд зүүнээс байсан ба хотын зүүн тал (улаан өнгөөр тэмдэглэсэн) харьцангуй бохирдол бага байжээ.



Зураг 173. WRF-Chem загварын 2015 оны 02 дугаар сарын 11-ний 08 цагийн 2 дугаар түвшиний CO-ийн тархалт (ppmv) болон салхины зүг хурд

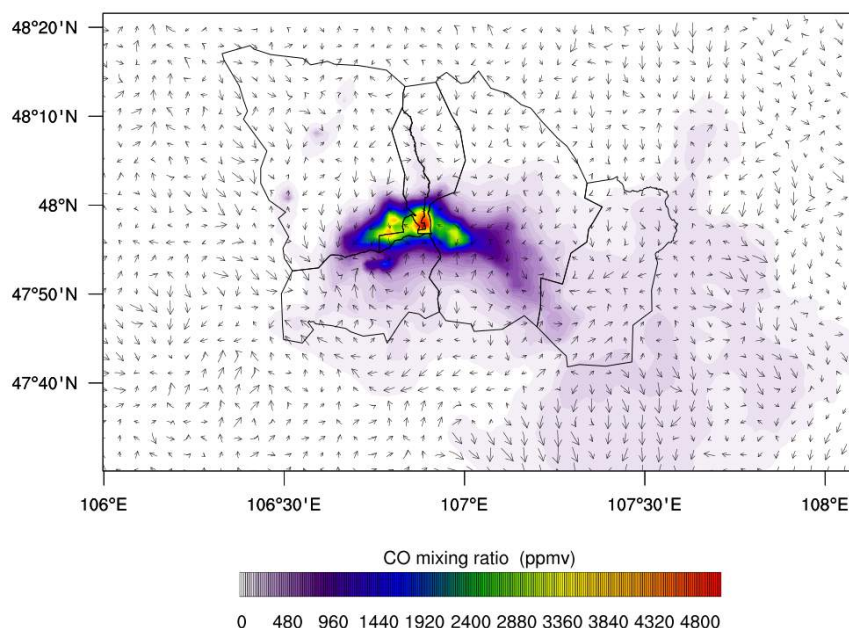
Зураг 174-т WRF-Chem загварын 2015 оны 02 дугаар сарын 10-ны 20 цагийн бодолтын 12-р хугацаа буюу 11-ний 14 цагийн загварын 2 дугаар түвшингийн салхины зүг хурд болон CO-ийн тархалтыг үзүүлэв. Өдрийн 14 цагийн үед эх үүсвэрээс ялгарч байгаа бохирдол хамгийн бага мөн эх үүсвэр байрлаж байгаа хэсгээр салхины хурд харьцангуй их байгаа учир CO-ийн агууламж харьцангуй бага байна.

2015 оны 02 дугаар сарын 11-ний 3 цаг тутмын салхины зүг хурдны бодит ажиглалтын мэдээгээр 08 цагт салхины зүг зүүнээс байсан бол 14 цагт баруун баруун хойноос болж эргэсэн байна.



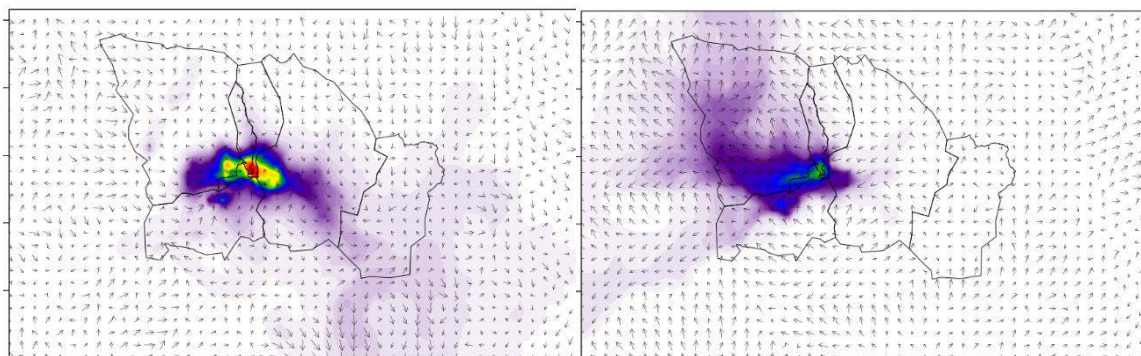
Зураг 174. WRF-Chem загварын 2015 оны 02 дугаар сарын 11-ний 14 цагийн 2 дугаар түвшиний CO-ийн тархалт (ppmv) болон салхины зүг хурд

Зураг 175-т WRF-Chem загварын 2015 оны 02 дугаар сарын 11-ний 20 болон 17-ны 20 цагийн CO-ийн тархалт (ppmv) болон салхины зүг хурдыг үзүүлэв. Бодит ажиглалтын мэдээгээр 02 дугаар сарын 11-ны 20 цагт Улаанбаатар станц орчимд 10м-ийн салхи намуун байсан бол 17-ны 20 цагт салхины хурд 3м/с байсан байна.



Зураг 175. WRF-Chem загварын 2015 оны 02 дугаар сарын 11-ний 20 болон 16-ны 20 цагийн CO-ийн тархалт (ppmv) болон салхины зүг хурд

Зураг 176-т WRF-Chem загварын 2015 оны 02 дугаар сарын 11-ний 20 болон 17-ны 20 цагийн CO-ийн тархалт (ppmv) болон салхины зүг хурдыг үзүүлэв. Бодит ажиглалтын мэдээгээр 02 дугаар сарын 11-ны 20 цагт Улаанбаатар станц орчимд 10м-ийн салхи намуун байсан бол 17-ны 20 цагт салхины хурд 3м/с байсан байна.

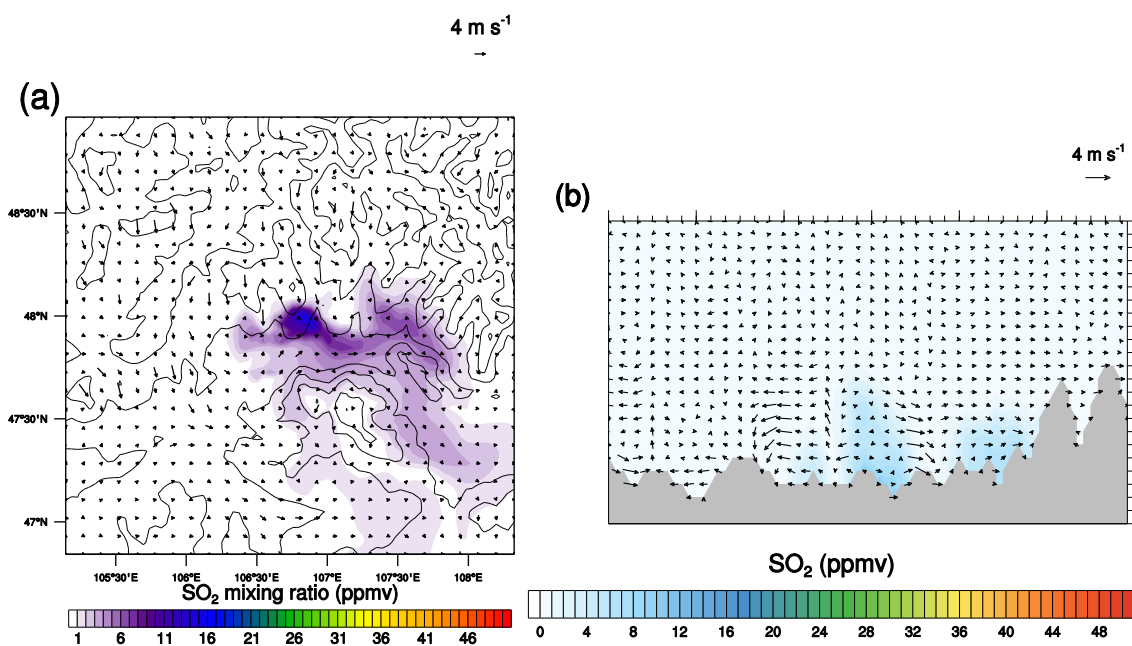


Зураг 176. WRF-Chem загварын 2015 оны 02 дугаар сарын 11-ний 20 болон 16-ны 20 цагийн CO-ийн тархалт (ppmv) болон салхины зүг хурд

Дээрхээс харахад эх үүсвэрээс ялгарч байгаа бохирдлын агууламж, түүний тархалтад цаг агаарын хүчин зүйл тэр дундаа салхины хурд маш их хамааралтай байгаа нь харагдаж байна.

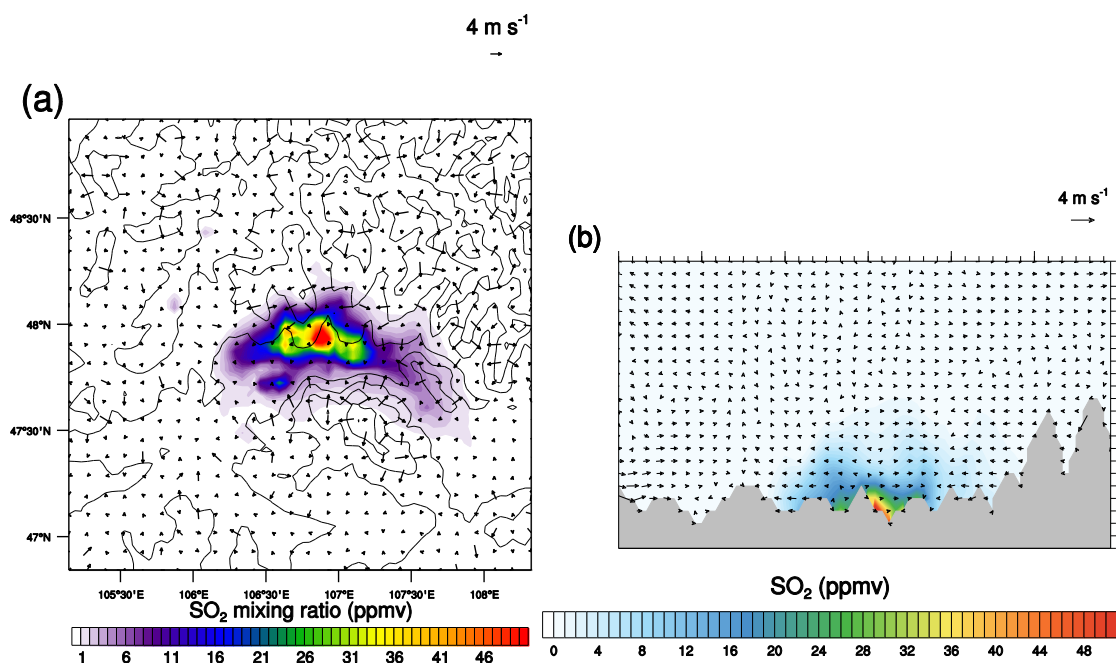
Загварын үр дүн 2015 оны 2-р сарын 11-ний 14 цаг буюу 24 цагийн хамгийн бага ялгаралтай цагт SO₂-ийн хэвтээ (**Зураг 177а**) болон босоо (**Зураг 177б**) чиглэлд хэрхэн тархаж байгааг зургаар үзүүлэв. **Зураг 178а**-д үзүүлсэн шүгмьмн дагуу хөндлөн огтлол хийж SO₂ босоо чиглэлд хэрхэн тархаж байгааг зургаар үзүүлэв. Өдрийн 14 цагт температурын инверс суларч, инверсийн доод хил өргөгдөж, эх үүсвэр байрлаж байгаа

газар орчимд салхины хурд 2-4 м/с буюу харьцангуй их, эх үүсвэрээс ялгарах ялгарал хамгийн бага байгаа учир газар орчимд бохирдуулагч бодисын агууламж бага байна.



Зураг 177. SO₂-ийн 2015 оны 2-р сарын 11-ний 14 цагийн (а) хэвтээ, (b) босоо тархалт (ppmv) ба салхины вектор

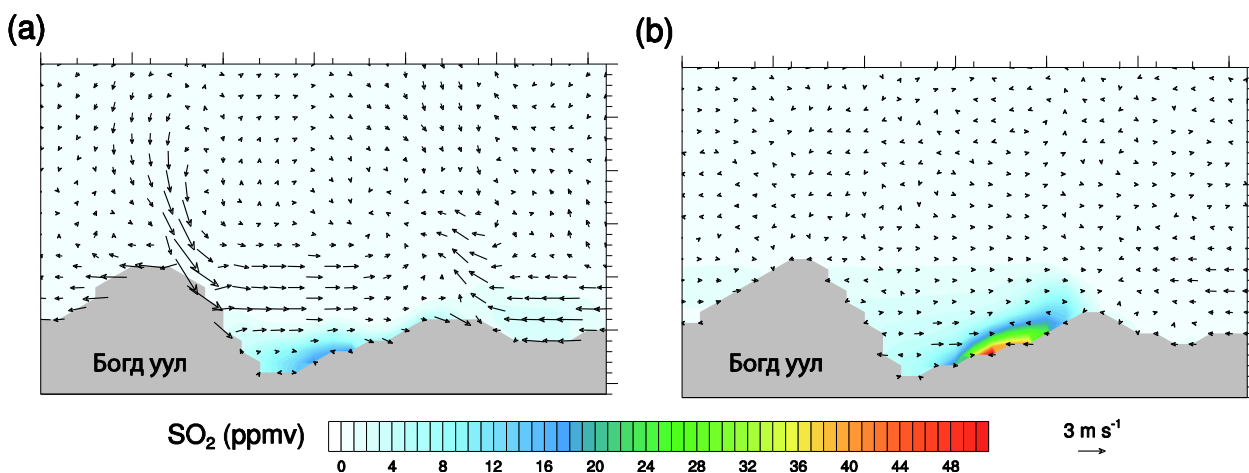
Зураг 178-т загварын үр дүн 2015 оны 2-р сарын 12-ны 01 цаг буюу галлагааны цагт SO₂ хэвтээ болон босоо чиглэлд хэрхэн тархаж байгааг үзүүлэв. Шөнийн 01 цагт инверс зузаарч, газар орчимд эх үүсвэр байрлаж байгаа хэсэгт салхины хурд 0-2 м/с буюу харьцангуй бага, босоо чиглэл дэх тархалт бага байгаа учир газар орчимд бохирдуулагч бодис хуримтлагдаж агууламж их байна.



Зураг 178. SO₂-ийн 2015 оны 2-р сарын 12-ны 01 цагийн (а) хэвтээ, (b) босоо тархалт (ppmv) ба салхины вектор

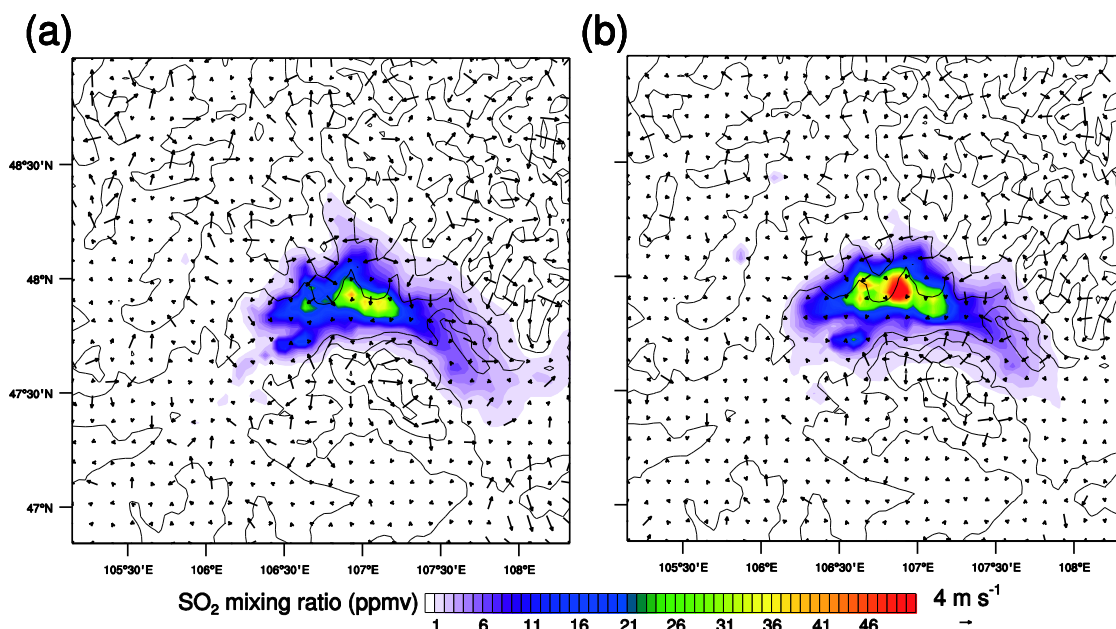
Зураг 179а,б-д загварын үр дүн болон бодит ажиглалтын мэдээгээр газар орчимд SO₂-ийн агууламж харьцангуй их (а) бага (б) үеийн SO₂-ийн босоо чиглэл дэх тархалтыг салхины векторын хамт харьцуулан үзүүлэв. SO₂-ийн агууламж харьцангуй их, бага байсан үеийн загварын оролтонд орж байгаа агууламжийн хэмжээ ижил хэмжээтэйгээр

оруулж өгсөн нь агаарын бохирдолд цаг агаарын хүчин зүйл их байгааг илтгэнэ. Зургаас харахад 2015 оны 2-р сарын 05-ны 01 цагт эх үүсвэр байрлаж байгаа газар орчим болон Богд уул талаасаа харьцангуй салхины хурд ихтэй байгаа учир бохирдол салхиар зөөгдөж тухайн газар SO₂-ийн агууламжийг бүүрүүлсэн байна. Харин 2015 оны 2-р сарын 12-ны 01 цагт салхины хурд харьцангуй бага байсан учир эх үүсвэрээс ялгарч байгаа бохирдол шилжихгүй хуримтлагдаж байгаа учир SO₂-ийн агууламж өндөр байна.



Зураг 179. SO₂-ийн 2015 оны 2-р сарын (a) 05, (b) 12-ны 01 цагийн босоо тархалт (ppmv) ба салхины вектор.

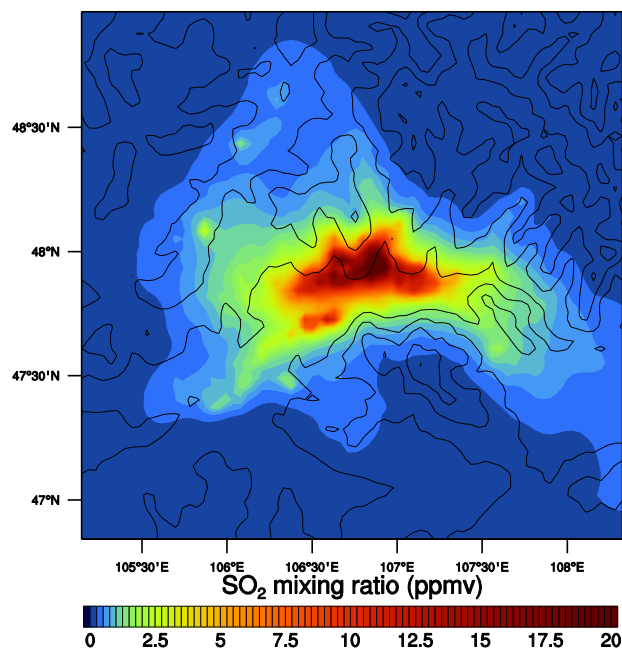
Зураг 180а,б-д үзүүлсэн хугацааны загварын SO₂-ийн агууламж харьцангуй их (a) бага (b) байсан үеийн SO₂-ийн хэвтээ чиглэл дэх тархалтыг харьцуулан үзүүлэв. Хэвтээ чиглэл дэх тархалтаас харахад бохирдол бага байсан хугацаанд эх үүсвэр байрлаж байгаа хэсэгт салхины хурд харьцангуй их, бохирдуулагч бодис илүү талбайд тархсан байгаа учир SO₂-ийн агууламж бага байна.



Зураг 180. SO₂-ийн 2015 оны 2-р сарын (a) 05, (b) 12-ны 01 цагийн хэвтээ тархалт (ppmv) ба салхины вектор.

Зураг 181-т WRF-Chem загварын 2015 оны 2-р сарын өдөр бүрийн бодолтын загварын 1-р түвшин буюу гэр, байшингийн зуухны өндрийн түвшний SO₂-ийн дундаж тархалтыг үзүүлэв. Эх үүсвэр байрлаж байгаа газраас холдох тусам бохирдуулагч бодисын агууламж багасч байгаа хэдий ч салхины зонхилох чиглэл дагуу болон хонхор газар буюу уулсын хөндий рүү 30-40 км-т тархаж байгаа нь харагдаж байна.

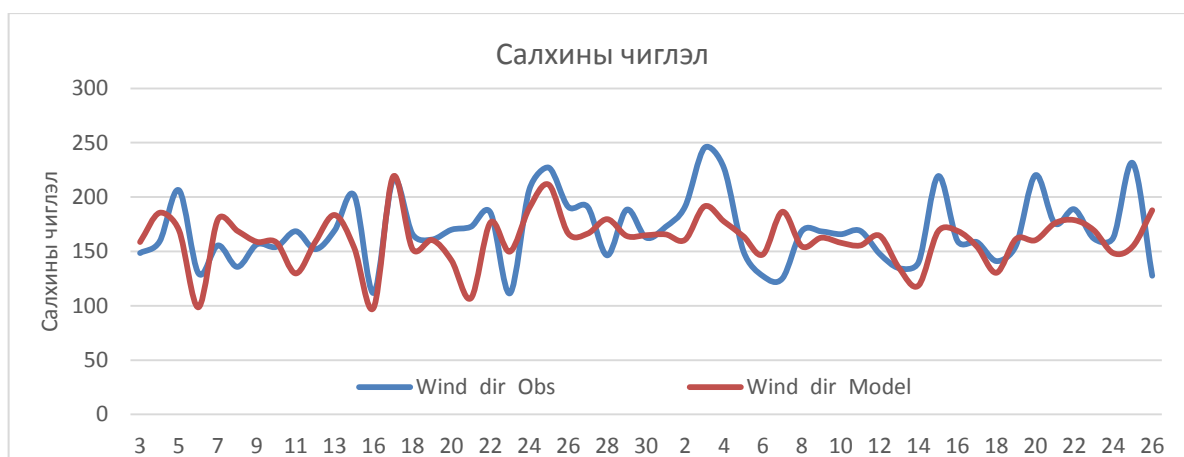
Бохирдуулагч эх үүсвэр буюу гэр байшингийн нягтрал ихтэй хэсэг буюу МҮОНРТ-ээс, Баянбүрдийн тойргоос хойших гэр хороолол хүртлэх газарт SO₂-ийн агууламж хамгийн өндөр байгаа нь загварын үр дүнгээс харагдаж байна.



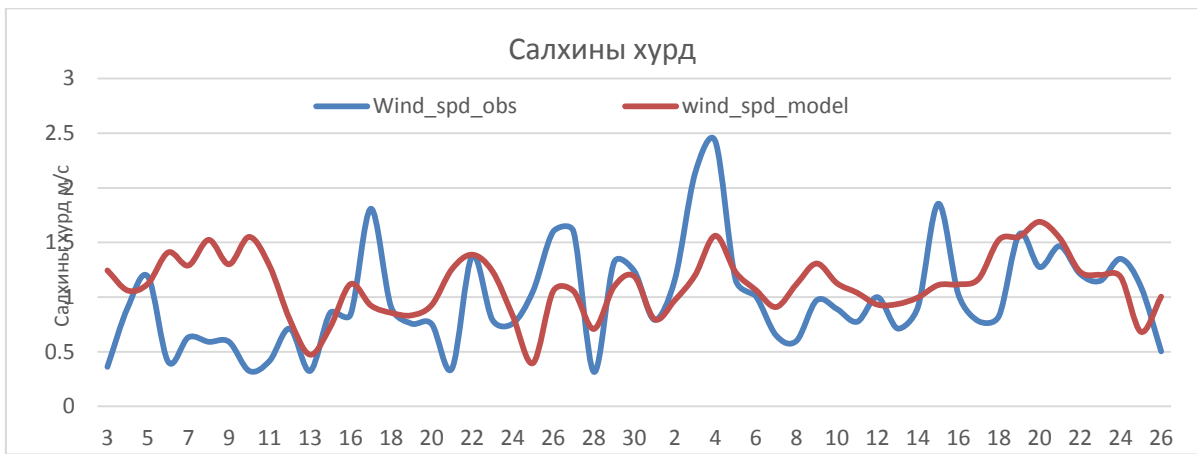
Зураг 181. Загварын 1-р түвшний SO₂-ийн 2015 оны 2-р сарын дундаж тархалт (ppmv)

Загварын үр дүнг бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулсан дүн

Эх үүсвэрээс ялгарч байгаа бохирдуулагч бодисын тархалтанд салхины чиглэл хурд ихээхэн хамааралтай учир загварын салхины чиглэл хурд, температурыг МҮОНРТ-ийн орчим байрлах харуулын бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулан үзэв. **Зураг 182-183**-т 2015 оны 01-02 дугаар сарын МҮОНРТ харуулын бодит ажиглалт болон загварын хоногийн дундаж салхины зүг хурдны харьцуулалтыг үзүүлэв.

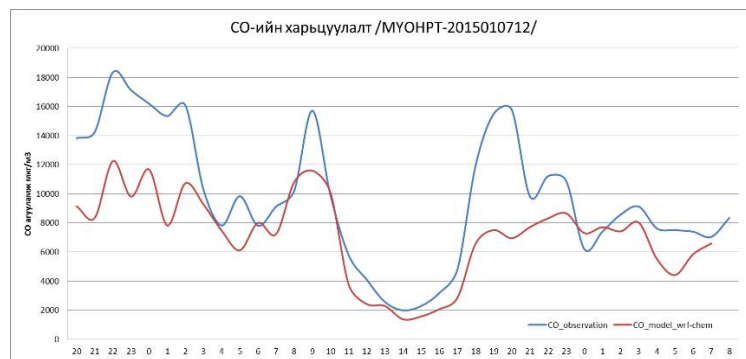


Зураг 182. 2015 оны 01-02 дугаар сарын МҮОНРТ харуулын бодит ажиглалт болон загварын хоногийн дундаж салхины зүгийн харьцуулалт



Зураг 183. 2015 оны 01-02 дугаар сарын МҮОНРТ харуулын бодит ажиглалт болон загварын хоногийн дундаж агаарын температурын харьцуулалт

Зураг 184-т загварын 2015 оны 01 дүгээр сарын 07-ний 20 цагаас 36 цагийн CO-ийн прогнозын гаралтын үр дүнг МҮОНРТ-ийн харуулын бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулсан дүнг үзүүлэв. Харьцуулалтаас харахад загварын үр дүн бодолтын эхний хугацаан бодит ажиглалтын мэдээнээс харьцангуй бага байна нь загвар нь бодолтын эхний хугацаанд бохирдуулагч бодис ялгарч эхэлнэ гэж тооцоолдог учир бодолтын эхийн хугацаанд бохирдуулагч бодисын агууламж бага байна.



Зураг 184. МҮОНРТ-ийн орчимд CO-ийн бодит ажиглалт болон загварын гаралтын харьцуулалт

Зураг 185-т SO2 хийн загварын гаралтын үр дүнг МҮОНРТ-ийн харуулын бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулсан дүнг үзүүлэв. Харьцуулалтаас харахад CO болон SO2-ийн прогноз харьцангуй сайн байна.



Зураг 185. МҮОНРТ-ийн орчимд SO2 хийн бодит ажиглалт болон загварын гаралтын харьцуулалт

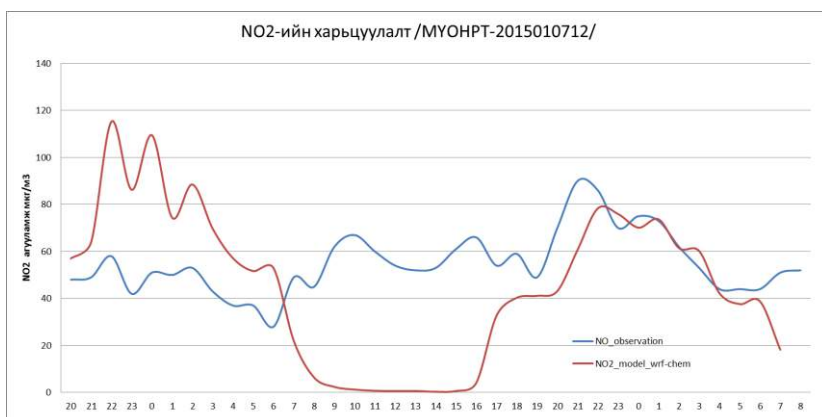
Зураг 185-д NO2-ийн загварын үр дүнг МҮОНРТ-ийн харуулын бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулсан дүнг үзүүлэв. NO2-ийн хувьд загварын үр дүн маш муу гарч

байгаа. WRF-chem загвар өдрийн хугацаанд NO₂-ийг багасгаж байгаа. Энэ нь бодолт хийсэн бүх хугацаанд ажиглагдсан. Энэ нь NO₂-ийн өөрийн шинж чанар болон эх үүсвэрийн төрөлтэй холбоотой гэж таамаглаж байна. Цаашид үүнийг сайн судлан үзэх шаардлагатай байна.

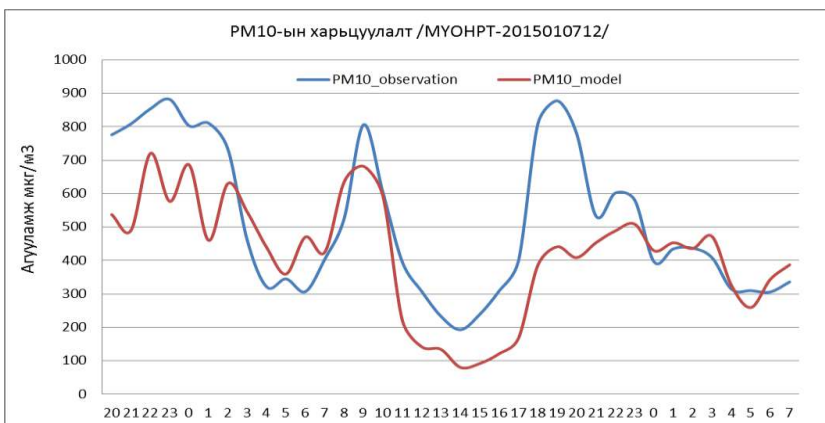
Зураг 186-т PM₁₀-ийн загварын үр дүнг МҮОНРТ-ийн харуулын бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулсан дүнг үзүүлэв.

Загварын үр дүн болон бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулсан дүнгээс харахад бохирдуулагч хийн загварын үр дүн бодолтын эхний хугацаанд бодит ажиглалтын мэдээнээс харьцангуй бага байна. Энэ нь дээр дурдсан загварын бодолтын эхний хугацаанд бохирдуулагч бодис ялгарч эхэлнэ гэж тооцоолдог учир бодолтын эхийн хугацаанд бохирдуулагч бодисын агууламж бага байна. Гэвч бодит байдалд агаар мандалд бохирдуулагч бодис хуримтлал үүссэн байдаг. Иймд загварын бодолтын хугацааг бохирдол хамгийн бага байдаг буюу үдээс хойш 14 цагт эхлүүлэх болон бодолтын эхний хугацааны мэдээг тооцохгүй байх гэсэн аргыг цаашид ашиглана.

Зураг 187-т загварын 2015 оны 01 дүгээр сарын 07-ний 20 цагаас 36 цагийн прогнозын гаралтын үр дүнг Толгойт харуулын бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулсан дүнг үзүүлэв. Зургаас харахад загварын үр дүн болон бодит ажиглалтын явц сайн байгаа ч загварын үр дүн бодит ажиглалтаас харьцангуй бага байна.



Зураг 186. SO₂-ийн бодит ажиглалт болон загварын үр дүн



Зураг 187. PM₁₀-ийн бодит ажиглалт болон загварын үр дүн

Загварын үр дүн болон бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулсан дүнгээс харахад бохирдуулагч хийн загварын үр дүн бодолтын эхний хугацаанд бодит ажиглалтын мэдээнээс харьцангуй бага байна. Энэ нь дээр дурдсан загварын бодолтын эхний

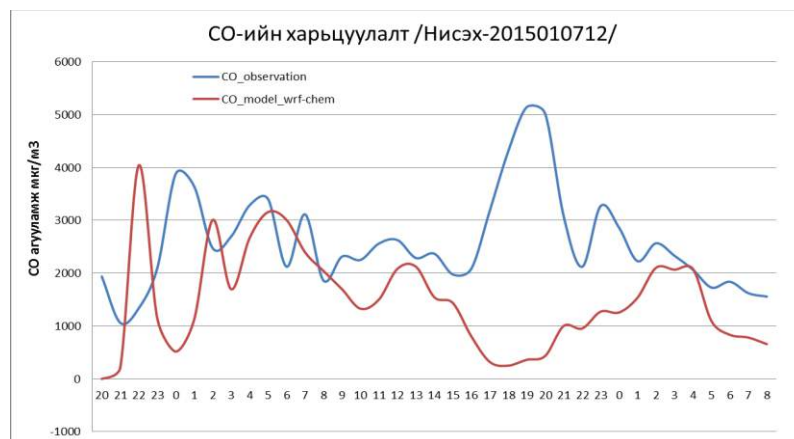
хугацаанд бохирдуулагч бодис ялгарч эхэлнэ гэж тооцоолдог учир бодолтын эхийн хугацаанд бохирдуулагч бодисын агууламж бага байна. Гэвч бодит байдалд агаар мандалд бохирдуулагч бодис хуримтлал үүссэн байдаг. Иймд загварын бодолтын хугацааг бохирдол хамгийн бага байдаг буюу үдээс хойш 14 цагт эхлүүлэх болон бодолтын эхний хугацааны мэдээг тооцохгүй байх гэсэн аргыг цаашид ашиглана.

Зураг 188-д загварын 2015 оны 01 дүгээр сарын 07-ний 20 цагаас 36 цагийн прогнозын гаралтын үр дүнг Толгойт харуулын бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулсан дүнг үзүүлэв. Зургаас харахад загварын үр дүн болон бодит ажиглалтын явц сайн байгаа ч загварын үр дүн бодит ажиглалтаас харьцангуй бага байна.



Зураг 188. Толгойт орчимд SO2 хийн бодит ажиглалт болон загварын гаралтын харьцуулалт

Зураг 189-д загварын 2015 оны 01 дүгээр сарын 07-ний 20 цагаас 36 цагийн прогнозын гаралтын үр дүнг Нисэх харуулын бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулсан дүнг үзүүлэв.



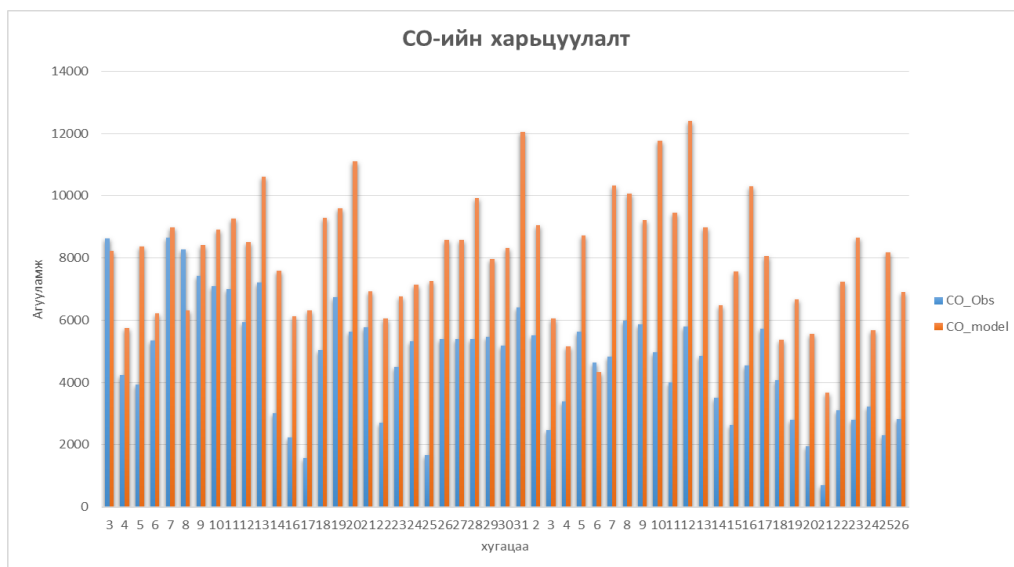
Зураг 189. Нисэх орчимд SO2 хийн бодит ажиглалт болон загварын гаралтын харьцуулалт

Загварын форматд тохируулсан хоногийн 24 цаг тутамд эх үүсвэрүүдээс ялгарах бохирдуулагч бодисуудын ялгарал бодолт явуулсан 2 сарын турш өөрчлөгдөөгүй буюу 24 цаг тутамд зарцуулж буй нүүрсний хэмжээ өөрчлөгдөөгүй. Гэвч амьдрал дээр айл бүр харилцан адилгүй хугацаанд харилцан адилгүй кг нүүрс түлж байгаа.

Зарим тохиолдолд 36 цагийн прогнозын явц бодит ажиглалтын мэдээний явцаас урагш хойш 1, 2 цагаар зөрж байгаа учир бодит ажиглалт болон загварын дүнг хоногийн дунджаар харьцуулав.

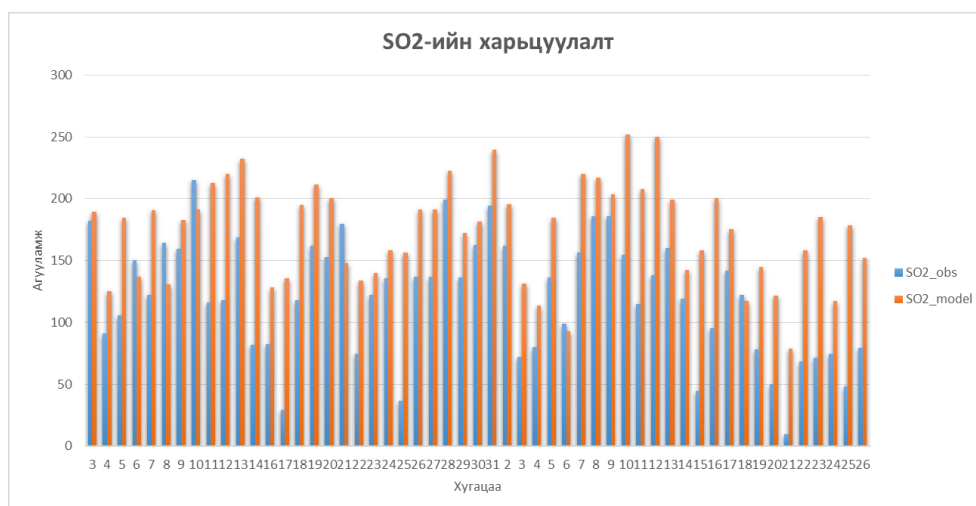
Зураг 190-д 2015 оны 01-02 дугаар сарын МҮОНРТ харуулын бодит ажиглалт болон загварын хоногийн дундаж CO-ийн агууламжийг үзүүлэв. Зургаас харахад загварын CO-

ийн агууламж бодит ажиглалтаас өндөр байгаа ажиглалтын агууламж ихсэж буурч байгааг дагаж байгаа нь харагдаж байна. Бодолт явуулсан 1 болон 2 дугаар сарын хоног бүрийн загварын дундаж CO-ийн агууламж болон бодит ажиглалтын хоногийн дунджийн хамаарал 0.52 байв. Улаанбаатар хот орчимд маргааш хэдэн айл хэдэн цагт хэдэн кг нүүрс зарцуулах вэ гэдэг хүндрэлтэй ч цаашид улирлаас хамаарсан нүүрсний зарцуулалтын судалгааг нарийвчлан хийх шаардлагатай байна.



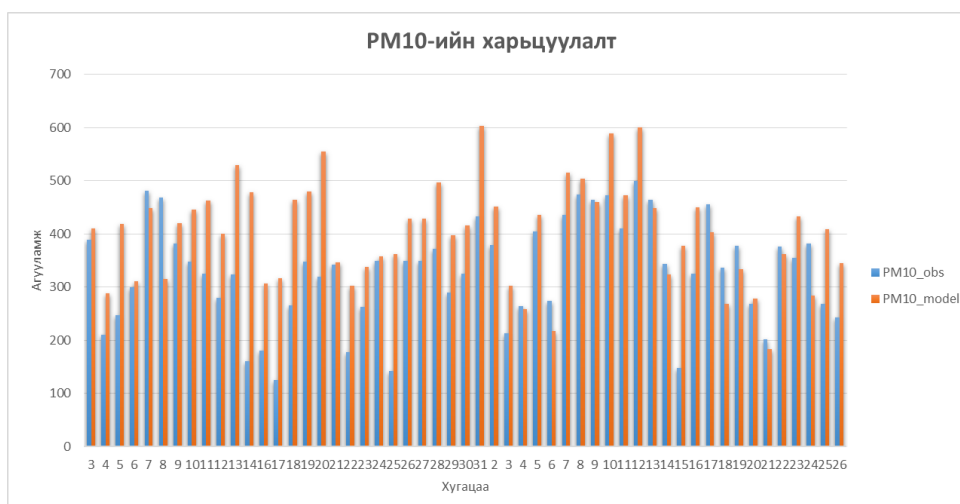
Зураг 190. 2015 оны 01-02 дугаар сарын МҮОНРТ харуулын бодит ажиглалт болон загварын хоногийн дундаж CO-ийн агууламж

Зураг 191-т 2015 оны 01-02 дугаар сарын МҮОНРТ харуулын бодит ажиглалт болон загварын хоногийн дундаж SO₂-ийн агууламжийг үзүүлэв. SO₂-ийн хувьд мөн адил загварын үр дүн бодит ажиглалтаас харьцангуй их байна.



Зураг 191. 2015 оны 01-02 дугаар сарын МҮОНРТ харуулын бодит ажиглалт болон загварын хоногийн дундаж SO₂-ийн агууламж

Зураг 192-д 2015 оны 01-02 дугаар сарын МҮОНРТ харуулын бодит ажиглалт болон загварын хоногийн дундаж PM₁₀-ийн агууламжийг үзүүлэв.



Зураг 192. 2015 оны 01-02 дугаар сарын МҮОНРТ харуулын бодит ажиглалт болон загварын хоногийн дундаж PM10-ийн агууламж

Хүснэгт 51-т бодолт явуулсан 2015 оны 1 болон 2 дугаар сарын хоног бүрийн загварын хоногийн дундаж агууламж болон бодит ажиглалтын хоногийн дунджийн хамааралыг үзүүлэв. Хэдийгээр загварын үр дүн бодит ажиглалтаас харьцангуй их байгаа ч тэдгээрийг хоорондын хамаарал 0.5-0.8 байгаа учир цаашид 24 цаг тутамын нүүрсний зарцуулалт болон түүний динамикийг сайжруулсанаар загварын үр дүнг сайжруулах боломжтой байгаа нь харагдаж байна.

Хүснэгт 51. Корреляцийн коэффициент

	CO_ажиглалт	SO2_ажиглалт	PM10_ажиглалт
CO_загвар	0.52	-	-
SO2_загвар	-	0.58	-
PM10_загвар	-	-	0.53

Дүгнэлт

Энэхүү судалгааны ажилд Улаанбаатар хот орчимд байрлах агаарын бохирдлыг үүсгэж байгаа эх үүсвэрүүд (гэр хороолол, бага оврын уурын зүүх)-ээс ялгарч буй нүүрстөрөгчийн дутуу исэл CO, хүхрийн давхар исэл SO2, том ширхэгт тоосонцор PM10-ын цаг тутмын ялгарлыг 1x1км-ийн нарийвчлалтай грид цэгүүдэд тооцоолж агаарын бохирдлын WRF-chem (Weather Research Forecast Chemistry) загварт оруулан загварчилсан үр дүнд анализ хийж бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулан үнэлгээ өгөв.

Загварын захын нөхцөлийг GFS (Global Forecast System)-ийн 36 цагийн урьдчилалтай прогноз мэдээг ашиглан Улаанбаатар хот орчмын агаарын бохирдлын анализ болон прогнозыг тооцоолон эх үүсвэрээс ялгаран тархаж буй бохирдуулагч бодис цаг агаар, орон нутгийн онцлогоос хамааран тархаж буйг загвараар тооцоолж, үнэлгээ өгөв.

Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлыг бууруулах ажлын хүрээнд хот орчимд байрлаж буй гэр болон байшин бүрийн газарзүйн байршил болон зүүхны мэдээллийг холбогдох хүмүүсээс цуглуулж цэгэн эх үүсвэр болгон загварт тооцсон нь эх үүсвэрийн өндөр нарийвчлалтай сайн мэдээлэл болов.

Загварын форматд тохируулсан хоногийн 24 цаг тутамд эх үүсвэрүүдээс ялгарах бохирдуулагч бодисуудын ялгарал бодолт явуулсан 2 сарын турш өөрчлөгдөөгүй буюу 24 цаг тутамд зарцуулж буй нүүрсний хэмжээ өөрчлөгдөөгүй. Гэвч амьдрал дээр айл бүр харилцан адилгүй хугацаанд харилцан адилгүй кг нүүрс түлж байгаа.

Зарим тохиолдолд 36 цагийн прогнозын явц бодит ажиглалтын мэдээний явцаас урагш хойш 1, 2 цагаар зөрөх буюу галлагааны хугацаа харилцан адилгүй байсан учир бодит ажиглалт болон загварын дүнг хоногийн дунджаар харьцуулав.

Загварын дундаж тархалтын дүнгээс харахад эх үүсвэр байрлаж байгаа газраас холдох тусам бохирдуулагч бодисын агууламж багасч, салхины зонхилох чиглэл дагуу болон хонхор газар луу 30-40 км-т тархаж байна. Бохирдуулагч эх үүсвэр буюу гэр байшингийн нягтрал ихтэй хэсэг буюу МҮОНРТ-ээс, Баянбүрдийн тойргоос хойших гэр хороолол хүртэлх газарт SO₂-ийн агууламж хамгийн өндөр байна.

Хоногийн дундаж загварын үр дүн болон бодит ажиглалтаас харьцангуй их байгаа ч тэдгээрийн хоорондын хамаарал 0.5-0.8 байгаа учир цаашид 24 цаг тутамын нүүрсний зарцуулалт болон түүний динамикийг сайжруулсанаар загварын үр дүнг сайжруулах боломжтой байгаа нь харагдаж байна. Цаашид 24 цагийн нүүрсний зарцуулалтын судалгааг гэр хороололд хийж цаг тутмын ялгарлын явцыг бодит байдалруу илүү дөхүүлэх шаардлагатай байна.

Энэхүү суперкомпьютерын технологид суурилсан агаарын бохирдлын загварын системийг ашиглаж агаарын бохирдлын богино хугацааны 36-48цагийн прогнозыг хийх бололцоо бүрэн харагдаж байна.

Хэвлүүлсэн бүтээл

Б.Буянтогтох, Г.Батжаргал, П.Гомболүүдэв (2015) “Улаанбаатар хот орчмын агаарын бохирдлыг WRF-Chem загвараар тооцоолох боломж” Эрдэм шинжилгээний бага хурал “Уур амьсгалын өөрчлөлт-Хөдөө аж ахуй”

B.Buyantogtokh, G.Batjargal (2015) “Result of WRF-Chem model to forecast air pollutant concentrations over Ulaanbaatar city, Mongolia” International workshop on Outbreaks of Asian Dust and Environment Regime Shift

4.4 Хөрснөөс дэгдэх тоосны дэгдэлт, ялгаралтын тооцоо

Газар тариалан, барилга, үүл уурхайн үйл ажиллагаанаас үүсэх тоос, замын тоос, ашиглагдаагүй газрын /говь цөлийн/ хөрснөөс салхиар дэгдэх тоос нь тоосны дэгдэлтийн гол эх үүсвэрт орно. Жилд 2000 тонн тоос агаарт дэгдэж, түүний 75% нь хуурай газарт, 25% нь далай тэнгист унадаг байна (Shao et al., 2011a). Агаарт хөөрсөн тоос агаар мандлын физик, химийн, дэлхийн биологи, геологийн процесст тодорхой үүрэг гүйцэтгэдэг (Shao et al, 2011a).

Агаарт хөөрсөн 20 микрометрээс бага голчтой тоос (PM₂₀) агаарын урсгалаар алсад зөөгдөн салхин доод талд орших бүс нутагт тоосны унал ажиглагдана (Pye and Tsoar, 1990, Zhang et al., 2007). Арай жижиг ширхэгтэй 10 микрометр түүнээс бага голчтой тоос (PM₁₀) хүний эрүүл мэндэд сөрөг нөлөөтэй (Kassomenos et al., 2012). Иймд нарийн ширхэгт тоос, түүний дэгдэлтийн процесс, ялгарлын зэрэг /emission rates/,

тоосны дэгдэх урсгалыг /dust emission flux/ үнэлэхэд онолын болон хэмжилт, туршилтын аргуудыг хэрэглэж байна. Бодит хэмжилтийн мэдээнд үндэслэн тоосны дэгдэлтийг үнэлэх нь энэ процессийг ойлгох, загварын үр дүнг баталгаажуулахад ач холбогдолтой (Park et al., 2010, 2011). Тоосны ялгарлын зэрэг бол газрын гадаргуугийн тоосны босоо чиглэл дэхь массын урсгал юм. Тоосны ялгарлын зэргийг тодорхойлох нь хоёр талын ач холбогдолтой. Нэгдүгээрт, тоосны дэгдэлт/ялгарал нь эрдэслэг шим тэжээлт тоосны эргэлтийн гол бүрэлдэхүүн хэсэг юм. Тоосны нарийн ширхэгүүд турбулент хөдөлгөөнөөр агаар мандалд хөөрч, салхиар алсад зөөгдөн газрын гадаргуу дээр дахин унана. Энэ процесс эх үүсвэр нутагт нарийн ширхэгт тоосны салхины элэгдлийг буй болгоно. Шим тэжээллэг шороо, органик бодисоор баялаг газар тариалангийн талбай бүхий нутагт хөрсний эгэл хэсгийн алдагдал нь газрын доройтлыг буй болгоно. Эрдэс тоос нь далай тэнгисийн шим тэжээлийн нэгэн тэтгэгч юм. Хоёрдугаарт, салхины элэгдлээр үүсэх тоос нь агаар мандлын аэрозолын гол эх үүсвэрийн нэг юм. Агаар мандлын аэрозол бол уур амьсгал, цаг агаар, агаарын чанарт тодорхой нөлөө үзүүлнэ. Тоосны ялгарлын зэргийг үнэлэн тооцоолохгүйгээр агаар мандал дахь аэрозолын агууламжийг тооцоолох боломжгүй. Энэ эь Тоосны дэгдэлтийн загварт чухал үзүүлэлт юм. Иймээс энэ хоёрыг тодорхойлох нь хөрс хамгаалах, агаар мандлын судалгаанд аль алинд нь ач холбогдолтой (Shao, 2008)

Тоосны дэгдэх урсгал нь олон хүчин зүйлээс хамаарна, тухайлбал, агаар мандлын нөхцөл, хөрсний шинж байдал, газрын гадаргуугийн онцлог гэх мэт. Турбулент хөдөлгөөн, салхины хурд (U), үрэлтийн хурд (u_*) зэрэг нь тодорхой босго утгаас давсан тохиолдолд ($u_* > u_{*t}$ эсвэл $u > u_t$) тоосны дэгдэлтийн орлуулах тооцоонд гол үүрэг гүйцэтгэнэ (Gillette and Passi, 1988, Tegen and Fung, 1994).

Энэ судалгаагаар манай орны говийн нутгийн хөрснөөс салхиар дэгдэх тоосны ялгарлын процессыг судлах зорилгоор Өмнөговийн Номгон, Дорноговийн Эрдэнэ сумдад суурилуулсан тоног төхөөрөмжүүдийн хэмжилтийн мэдээнд үндэслэн тоосны дэгдэх урсгалыг үнэлэх зорилт тавьсан. Үүний тулд Монгол орны говийн нутагт шороон шуурга шуурах үеийн үрэлтийн хурд (u_*), үрэлтийн босго хурд (u_{*t}), салхины босго утга (u_t) зэргийг тооцоолох, тоосны хэвтээ зөөгдөл урсгалыг ($\text{мкг м}^{-1} \text{сек}^{-1}$) тооцоолно.

Судлагдсан байдал

Монгол орны говийн нутагт хаврын улиралд ургамал багатай, хөрс нь бараг нүцгэн, хуурай байдгаас хүчтэй салхи гарахад шороон шуурга босч давтагдал нь жил бүрийн хавар ихэсдэг. Хүчтэй салхи болон түүнтэй холбоотой үүсдэг шороон болон элсэн шуурга нь зөвхөн манай оронд төдийгүй дэлхийн олон оронд тохиолдох бөгөөд иргэдийн амьдрал, нийгэм эдийн засгийн үйл ажиллагаанд сөргөөр нөлөөлнө. Шороон шуурганы нөлөөллийг шууд, шууд бус, удаан хугацааны үйлчлэлтэй гэж авч үзэж болно. Шороон шуурга бол хүний амь насыг эрсдэлд учруулах, хүн амын тав тухыг үлэмж алдагдуулдаг тэр ч байтугай хөдөө аж ахуй, агаарын болон төмөр зам, авто тээврийн хэвийн ажиллагаанд шууд нөлөөлж ихээхэн саад учруулдаг цаг агаарын аюултай үзэгдэл. Шороон шуурга нь хөрсний өнгөн давхаргын үржил шимийг хомсдуулах сөрөг

нөлөөтэй бөгөөд хөрс элэгдэх, элс нүүх, цөлжилт явагдах процесст тодорхой хэмжээгээр удаан хугацааны үйлчлэл үзүүлнэ.

Сүүлийн жилүүдэд судлаачид Монголын говь, хээрийн бүсэд хийсэн хэмжилтийн тоон мэдээгээр тоосны дэгдэлтийг судлаж урьд өмнө энэ бүс нутагт хийгдэж байгаагүй шинэлэг үр дүнгүүд гаргаж хэвлүүлсэн байна (Jugder et al., 2011, 2012, 2014, Игараши нар, 2011, Ишизука нар 2012, Куросаки, Миками, 2004, Парк нар, 2010, 2011, Шинода нар, 2010).

Шинода /2010/ нар Монголын хээрийн бүсэд, тухайлбал, Төв аймгийн Баян-Өнжүүл сумын төв орчимд хийсэн хэмжилтийн мэдээгээр 2008 оны 4 дүгээр сарын 24-ний өдөр ажиглагдсан шороон шуурганы үед хөрсний 30 to 667 μm голчтой эгэл хэсгүүд хөдөлгөөнд орж, газрын гадаргуугаас 1.54 м-ийн өндөрт тоос дэгдээх салхины босго утга 8 м/с, атираашлын үрт 0.0058 м (roughness length), хөрс ихээхэн хуурай, 0-5 см өнгөн хөрсний чийг 0.002 гр/гр байсныг тогтоосон байна.

Жүгдэр, Шинода нар /2011/ 2007 оны 3 дугаар сарын 29-31-нд манай говийн нутаг улмаар зүүн хойд Азийг хамран ажиглагдсан хүчтэй шороон шуургыг судлан алсын барааны харагдацаар PM₁₀ тоосны агууламжийг үнэлэх харилцан уялдаа бүхий регрессийн тэгшитгэлийг гаргасан байна.

Монгол орны говийн бүс нутагт шинээр байгуулагдсан PM₁₀, PM_{2.5} тоосны мониторингийн Даланзадгад, Сайншанд, Дорноговийн Эрдэнэ, Замын-Үүд зэрэг 4 станцын 2009-2010 оны хэмжилтийн тоон мэдээнд дүн шинжилгээ хийж шороон шуурга шуурах үед ямар хэмжээний тоос агаарт дэгдэж, хир зэрэг өндөрт тархаж буйг судалсан байна (Жүгдэр нар, 2011, 2012, 2014). Энэ судалгаагаар говийн нутагт PM₁₀ (PM_{2.5}) тоосны агууламж шороон шуургагүй ердийн үед 41– 61 (20–24) $\mu\text{g m}^{-3}$ байх бөгөөд хавар гурваас тавдугаар сард шороон шуурга шуурах үед их хэмжээний нарийн ширхэгт тоос агаарт дэгдэж PM₁₀, PM_{2.5} тоосны агууламж ердийн үеийнхээс дунджаар нэгээс хэдэн арав дахин ихсэж байгааг тоон үзүүлэлтээр тогтоосон байна (Жүгдэр нар, 2011, 2012, 2014).

Сайншанд, Замын-үүдэд байрлуулсан лидарын мэдээгээр Монголын говийн хөрснөөс салхиар дэгдэх тоосны босоо тархалт шороогоор шуурах үед агаар мандлын босоо хөдөлгөөнөөс хамаарч өөр байгаа төдийгүй зарим үед тропосферийн дундад давхарга, тухайлбал, 5.5 км хүрч, харин дунджаар 2.0-2.2 км байдаг ажээ (Жүгдэр нар, 2012).

Говийн нутаг дахь суурин газруудын агаар дахь нарийн ширхэгт тоосонцорын сарын дундаж утгын харьцаа (PM_{2.5}/PM₁₀) нь өвлийн саруудад /11-2 сард/ ихсэж байгаа нь хүний үйл ажиллагааны нөлөөтэй, өөрөөр хэлбэл нүүрсний шатаалттай холбоотойг дүгнэсэн байна (Жүгдэр нар, 2011, 2014). 2009-2013 оны хэмжилтийн мэдээнд үндэслэн шороон шуургыг үүсгэх салхины хурдны босго утгыг газрын гадаргаас дээш 4 м-ийн өндөрт үнэлэн үзэхэд энэ нь Даланзадгадад 7.2 м/с, Сайншандад 11.1 м/с, Эрдэнэд 6.6 м/с, Замын-үүдэд 6.3 м/с гарсан байна (Жүгдэр нар, 2014).

Парк нар /2011/ Дорноговийн Эрдэнэ сумд байрлуулсан шороон шуурганы станцын 2009-2010 оны мэдээгээр нэг шоо метр агаар дахь тоосны хэмжээ 150 микрограммаас хэтэрсэн тохиолдлуудыг шороон шуурга гэж тооцож үзэхэд энэ станц дээр 2009 онд 68 удаа /11-р сард багаж гэмтэлтэй байсан/, 2010 оны 3-8 дугаар сард 48 шороон шуурга ажиглагдсан байна. 2009 оны 5, 2010 оны мөн 5 дугаар сард PM₁₀ тоосны цагийн дундаж хамгийн их агууламж нэг шоо метр агаарт 4107, 4798 микрограм тус тус хүрсэн байна. Энэ судалгаагаар шороон шуурга шуурах үеийн үрэлтийн хурд, конвекцийн

босоо хурдыг тооцоолон, тоосны агууламжийг үнэлэх регрессийн тэгшитгэлүүдийг сар бүрээр гаргасан байна.

Өмнөговийн Цогт-Овоогийн тоосны мониторингийн мэдээгээр 2012 оны хавар 10-аад удаа шороон шуурга ажиглагдсан, энэ станцын орчны хөрсний бүтэц нь элсэрхэг шаварлаг /sandy loam / ангилалд /USDA-гийнхаар/ багтаж байгаа бөгөөд хөрс нь хайргаар хучигдсан, өнгөн хөрсний чийг нь 0.01 гр/гр, ургамал бүрхэвч нь 5%-аас бага байснаас /Ишизука нар, 2012/ дүгнэхэд энэ орчны хөрс хавартаа маш хуурай, ургамал бүрхэвчгүй бараг нүцгэн гэж үзэж болохоор байна. Шороон шуурга үүсэх салхины хурдны босго утга 3 м-ийн өндөрт 8.8-14.0 м/с гарчээ /Ишизука нар, 2012/.

Куросаки, Миками нар /2004/ зүүн хойд Азийн шороон шуургыг үүсгэх салхины босго утганд цасан бүрхүүл нөлөөлж байгааг 1988-2003 оны мэдээгээр судалсан бөгөөд цасан бүрхүүлийн давтагдал ихсэхэд салхины хурд ихсэж байгааг тодруулсан байна. Цасан бүрхүүл болон тунадасны хэмжээ говь, цөлийн бүс нутагт бага байдаг нь хаврын хөрсний чийгшилд нөлөөлөн хөрс хуурай байх нэг нөхцөл болно. Тухайлбал, 1975-2007 оны 70 станцын мэдээгээр говь, цөлийн бүс нутаг, Их нууруудын хотгорт өвөлдөө /12-2 сард/ дунджаар 1-2 мм цас унадаг, тогтвортой цасан бүрхүүлтэй байх хугацаа жилд 50 өдрөөс цөөн байдаг ажээ /Мөнхбат, 2010/.

Шороон шуурганы үүсэлд газрын гадаргуугийн хуурайшил ихээхэн үүрэгтэй бөгөөд манай орны говь, цөлийн бүс нутагт хөрсний чийгшлийн индекс 0.30-аас бага, Торнвайтийн чийг-үүршлын индекс 20-оос бага (Нацагдорж, Гүнбилэг нар, 2006), хөрсний чийг энэ бүс нутагт олон жилийн дунджаас бага, бараг ургамлын хаталтын цэгт ойролцоо байгааг (Нандинцэцэг, Шинода, 2011) тогтоожээ. Хөрсний чийгийн хаврын хуурайшлын хугацаа дөрөв, тав дугаар сард гарч байгаа нь (Нандинцэцэг, Шинода, 2011) шороон шуурганы давтагдалтай давхцаж байна.

Шороон шуурганы үүсэлд ургамал бүрхэвч нөлөөтэй. М.Баясгалан /2005/ NOAA хиймэл дагуулын 1982-2003 оны мэдээгээр NDVI-ийн утга говийн бүсэд 0.29-өөс бага, цөлийн бүсэд 0.09 байгааг тогтоосон нь энэ бүс нутаг ургамал бүрхэвч багатайг илтгэнэ. Манай орны хээрийн бүс нутгийн бэлчээрийн ургамлын бүтээгдэхүүнт байдалд (NPP) уур амьсгал, талхлагдлын нөлөөг газар орчмын 2005-2007 оны хэмжилт, загвараар тооцоолон судлаж ургамлын газраас дээшхи фотомасс, өндөр нь талхлагдлын нөлөөгөөр буурч байгааг тогтоожээ /Бат-Оюун, 2010/. Загварын үр дүнгээр ургамлын ургалтын үед /4-9 сар/ NPP нь хээрийн бүсэд /Дархан/ 83.2 г C/m^2 , харин говийн бүсэд бага /Мандалговь/ 12.6 г C/m^2 гарсан нь говийн бүс нутагт ургамал багатайг харуулна.

Говь, цөл, хээрийн бүс нутгийн хөрсөн дэхь цацраг идэвхит бодисууд болох ^{90}Sr and ^{137}Cs нь хур тунадастай өндөр хамааралтай, эдгээр элементүүдийн харьцаа $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ /тунадас ахиу унадаг Дорнод Монголын хээрийн бүсэд өндөр гарсан байна /Игараши нар, 2011/. 2000-аад онд шороон шуурганы давтагдал өндөр байх үед Японд хэмжсэн эдгээр элементүүдийн унал, харьцаа ихэссэн нь Азийн шороон шуурганы хил хойшилж буйг харуулна /Игараши нар, 2011/.

Арга зүй ба ашигласан мэдээ

Энэхүү судалгааны ажилд Монголын говийн нутагт орших Өмнөговийн Номгон (42.84N, 105.1E), Дорноговийн Эрдэнэ (44.27N, 111.05E) цаг уурын ажиглалтын харуул, станцын (Зураг 193-194) хашаанд суурилуулсан 20 м өндөр цамхагт байрлуулсан автомат багажуудаар 2009-2014 онд хэмжсэн PM10 тоосны агууламж, салхины зүг

хурд, тунадас, температур, чийг, хөрсний гүний температур, чийгийн өдөр бүрийн цаг тутмын мэдээг ашиглав (**Хүснэгт 52**). Цамхагт байрлуулсан автомат багажуудаар дараах үзүүлэлтүүдийг хэмжинэ.

- 10 минутын дундаж салхины зүг, хурд, хамгийн их хурдыг 2, 4, 8, 10, 20 м түвшинд
- Соник анемометрээр салхины байгуулагчуудыг 8 м түвшинд
- Цаг уурын мэдээ 2, 4, 8, 10, 20 м түвшинд 10 минутын дундажаар
- Хөрсний гүний температур, чийг 5, 20, 50 см гүнд
- Цагийн дундаж тоосны агууламж (PM₁₀)
- Хоногийн тунадас, цасан бүрхүүл

Мөн Terra хиймэл дагуулын 1 км ялгах чадвартай MODIS-ийн мэдээгээр тооцоолсон NDVI, ургамал бүрхэвч, Янатовын ургамал бүрхэвчийн судалгаа (1977)-ны үр дүнг ашиглав.

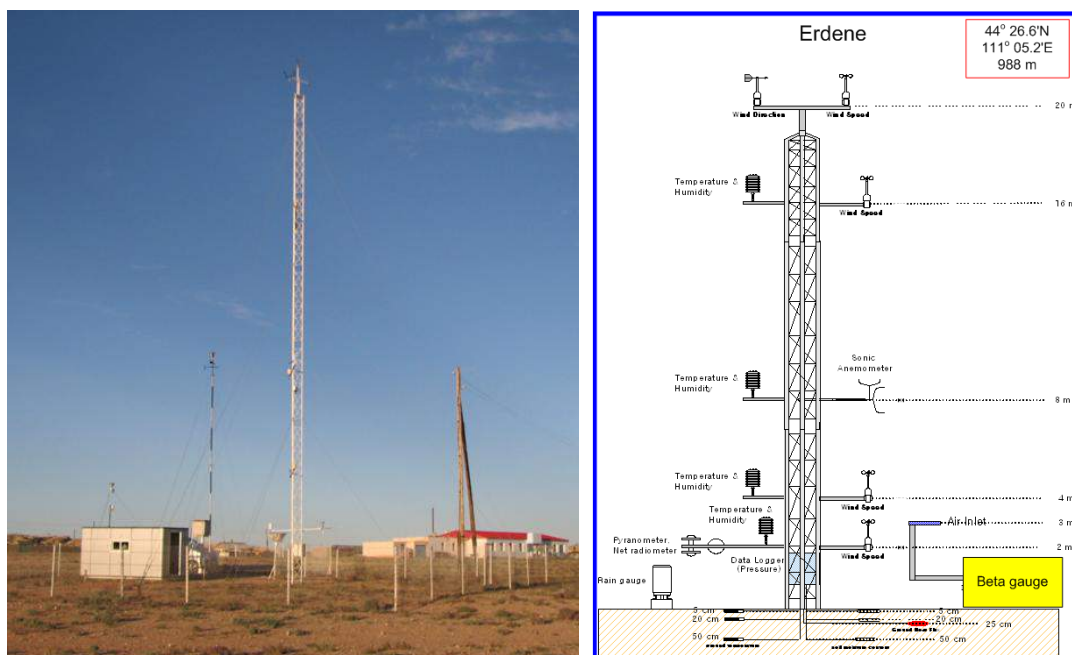
Ашигласан мэдээний хамрах хугацаа нь Эрдэнэ станцын хувьд 2009- 2014, Номгон станцын хувьд 2010- 2014 он болно.

Хүснэгт 52. Номгон, Эрдэнэ станцын хэмжилтийн багаж, түүний мэдээ

Мэдээ	Багажийн загвар, үйлдвэрлэгч	Хэмжилтийн хязгаар	Хэмжилтийн өндөр, гүн
Мэдээ хураагуур	CR3000 (Campbell)		1.5 м
Агаарын температур, чийг	HMP45A or C (Vaisala)	-40 ~ 60°C 0.8 ~ 100%	2 м, 4 м, 8 м, 16 м
Салхины хурд	03101 (Campbell)	0 ~ 60 m s-1	2 м, 4 м, 10 м, 20 м
Салхины зүг	03001 (Campbell)	0 ~ 360 градус	20 м
Хөрсний гүний температур	107 (Campbell)	-35 ~ 50 °C	5, 20, 50 см гүн
Хөрсний чийг	CS615 (Campbell)	0 ~ 1 v/v	5, 20, 50 см гүн
Нарны цацраг	LI200X (Li-Cor)	0 ~3000 W m-2	2 м (up, down)
Цацрагийн баланс	NR-Lite (Kipp&Zonen)	-2000 ~ 2000 W m-2	2 м
Хөрсний дулааны урсгал	HFP01SC (Campbell)	-2000 ~ 2000 W m-2	25 см
Агаарын даралт	PTB101 or PTB110 (Vaisala)	500 ~ 1100 hPa	2 м
Тунадас	TE525mm (Texas Electronics)	0.1 mm ~ inf	Газрын гадарга
Хөрсний гадаргын температур	IRTS (Apogee)	-40 ~ 70 °C	2 м
Турбулент урсгал	CSAT (Campbell)	-30 ~ 30 m s-1	8 м
Тоосны агууламж (PM10)	FH62C14 (Thermo)	0 ~ 5000 µg m-3	3 м



Зураг 193.Тоосны хэмжилтийн станцуудын байршил/



Зураг 194.Дорноговийн Эрдэнэ сумд байрлуулсан тоосны хэмжилтийн станцын зураг, хэмжилтийн багажуудын схем

Судалгаанд мэдээ боловсруулалтын статистик аргууд хэрэглэсэн бөгөөд тоосны дэгдэх урсгалыг дараах аргачилалд тулгуурлан хийв.

Судалгаанд үрэлтийн хурд (u_*) -ыг соник анемометрийн хэмжилтийн мэдээг ашиглан дараах томъёогоор олов:

$$u_* = \sqrt[4]{\overline{u'v'^2} + \overline{u'w'^2}} \quad (1)$$

Энд: u', v', w' - x, y, z тэнхлэгийн дагуух турбулент салхины хурдны байгуулагчууд /8 м түвшинд хэмжсэн/

$\overline{u'w'}$ - u', w' хоорондын ковариаци

$\overline{v'w'}$ - v', w' хоорондын ковариаци

Харин үрэлтийн босго хурд (u_{*t}) –ыг тоосны дэгдэлтийн босоо урсгалын дараах томъёонд үндэслэн тооцоолсон (Gillette and Passi, 1988). Үүнд:

$$F = C u_*^n \left(1 - \frac{u_{*t}}{u_*}\right) \quad u_* \geq u_{*t} \quad (2)$$

энд: F бол тоосны дэгдэлтийн босоо урсгал ($\text{гр см}^{-2} \text{сек}^{-1}$), C бол эмпирик тогтмол, u_* бол үрэлтийн хурд (м сек^{-1}), u_{*t} бол үрэлтийн босго хурд (м сек^{-1}), n бол зэрэг бөгөөд 2.9-өөс 4.4-ийн хооронд хэлбэлзэнэ (Шао, 2008, х.215). Gillette, Passi (1988) нар $n=4$ гэж гаргасан бөгөөд энэ судалгаанд $n=4$ гэж авсан. Тоосны масс агууламжийг (2) тэгшитгэлээр илэрхийлэгдэнэ гэсэн ойролцоолол хийж үрэлтийн босго хурд u_{*t} болон эмпирик тогтмолыг (C) (2) тэгшитгэлээр Номгон, Эрдэнэ станцуудын хэмжилтийн мэдээнд тулгуурлан олно. Энэ тохиолдолд эмпирик тогтмолын (C) агуулга өөр болно.

Тоосны дэгдэлтийн хэвтээ урсгалыг дараах томъёогоор ($\text{гр см}^{-1} \text{сек}^{-1}$) (Kawamura, 1964) олно:

$$G = C \frac{\rho_a}{g} u_*^3 \left(1 + \frac{u_{*t}}{u_*}\right) \left(1 - \frac{u_{*t}^2}{u_*^2}\right) \quad u_* \geq u_{*t} \quad (3)$$

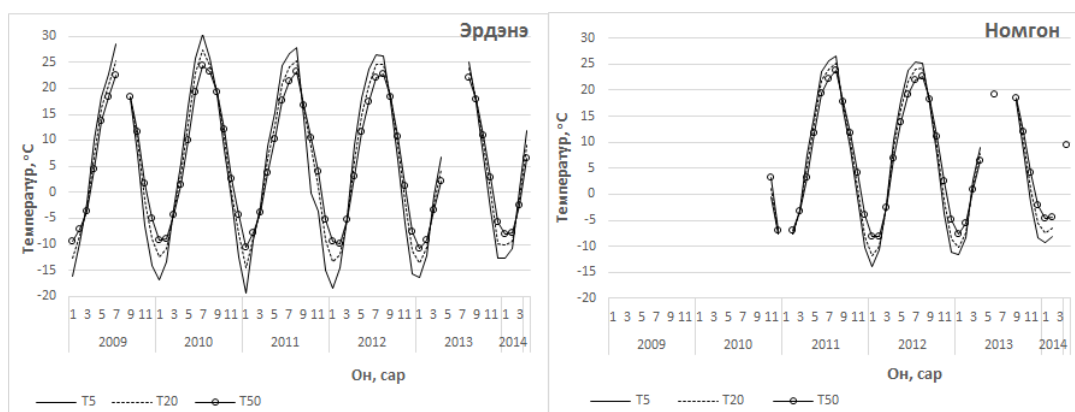
Энд C нь тогтмол бөгөөд ихэвчлэн салхины хонгилын туршилтаар тогтоосон. u_* бол үрэлтийн хурд (м сек^{-1}), u_{*t} нь үрэлтийн босго хурд (м сек^{-1}), ρ_a нь агаарын нягт, g бол татах хүчний хурдатгал.

Үр дүн

Говийн нутгийн хөрсний чийг, ургамал бүрхэвч, хөрсний бүтэц тоосны дэгдэлтэй үялдах нь

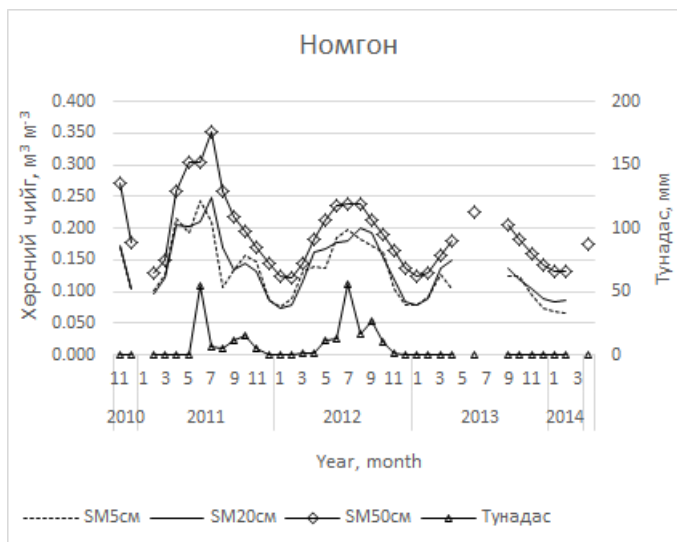
Тоосны дэгдэлтэнд хөрсний чийг, ургамал бүрхэвч, хөрсний ширхэглэг бүтэц ихээхэн нөлөөтэйг судлаачид тогтоосон бөгөөд судалгааны энэ хэсэгт эдгээр үзүүлэлтүүд ямар онцлогтой байгааг тодотгон харуулах зорилт тавьсан. Үүний тулд Өмнөговийн Номгон, Дорноговийн Эрдэнэ дэхь багажийн хэмжилтийн мэдээг боловсруулан хөрсний гүний температур, чийгийн явцыг 2009-2014 оноор гаргаж, 2014 оны хаврын шороон шуурганы үед хөрсний гүний температур, чийгийн онцлог ямар байсныг тодотгон үзүүлэв. Цасан бүрхүүл, хур тунадаснаас хөрсний чийг хамаарах тул энэ хоёр станцын орчинд 2014 оны эхний хагаст орсон хур тунадасыг хөрсний чийгтэй хамт авч үзэв. Ургамал бүрхэвчийн байдлыг 2013-2014 оны сар бүрийн NDVI –аар гаргасан. Энэ хоёр станцын орчноос хөрсний дээж авч Газар зүйн хүрээлэнгийн (хуучин нэрээр) Хөрс судлалын лабораторт шинжлүүлэн хөрсний ширхэглэгийн онцлогийг тодруулан судалгаанд ашиглав.

Номгон, Эрдэнэ хоёр станцын хөрсний температур, чийгийн онцлог. Хөрсний чийг нь хөрсний температураас шууд хамаарах тул эхлээд хөрсний гүний температурын онцлогийг авч үзэв. Номгон, Эрдэнэ хоёр станцын хэмжилтийн мэдээгээр сарын дундаж хөрсний гүний температур, чийгийн явцыг 2009-2014 оноор 5, 20, 50 см гүн тус бүрээр гаргаж **Зураг 195**-т харуулав. Зургаас харахад хөрсний гүний температур тод илэрсэн улирлын явцтай байна. Хөрсний гүний температур гадаргаасаа гүн рүүгээ дулаан улиралд буурч, хүйтэн улиралд өсч байв. Эрдэнэ орчимд 5 см гүний температур -19°C градусаас 30°C , Номгон орчимд -14°C градусаас 27°C градусын хооронд хэлбэлзэж байв. Жилийн амплитуд 2009 оноос 2014 онд буурч байгаа нь 2012-2013, 2013-2014 оны өвөл дулаан байсантай холбоотой.



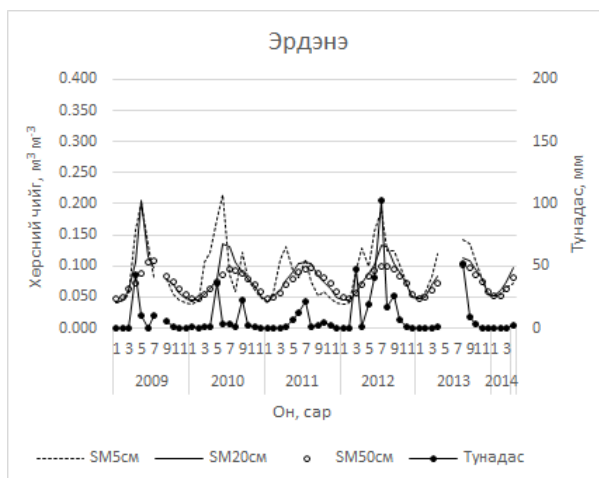
Зураг 195. Эрдэнэ, Номгон станцууд дээрх сарын дундаж хөрсний гүний температурын явц 2009-2014 оноор 5, 20, 50 см гүнд

Номгон станцын хувьд сарын дундаж хөрсний чийг, сарын нийлбэр тунадас (мм)-ыг 2010-2014 оноор авч үзвэл хөрсний чийгийн явцад тод улирлын явц илэрч байгаа бөгөөд их утга нь хавар, зун, бага утга нь өвөл (XII-I сард) ажиглагдаж байна (**Зураг 196**). Номгон орчимд хөрсний чийг нь хөрсний гадаргаас гүн рүүгээ буурч байв. Хөрсний 5 см гүний хөрсний чийг хур тунадаснаас хамаарч өөрчлөгдөж байна. Жишээ нь, 2011 оны 6-р сард 54.6 мм, 2012 оны 7-р сард 55.5 мм тунадас орох үед хөрсний чийг ихэссэн байгааг харж болно. Номгон орчимд 2010-2014 оны сарын дундаж хөрсний чийгийн их утга 5 (20, 50) см гүнд харгалзан 0.243 (0.249, 0.353) $\text{м}^3 \text{м}^{-3}$, бага утга нь харгалзан 0.067 (0.075, 0.121) $\text{м}^3 \text{м}^{-3}$ байв.



Зураг 196. Номгон станц дээрх сарын дундаж хөрсний чийг ($\text{м}^3 \text{м}^{-3}$), сарын нийлбэр тунадас (мм), 2010-2014 он.

Эрдэнэ станцын хувьд сарын дундаж хөрсний чийг, сарын нийлбэр тунадасыг 2009-2014 оноор авч үзэхэд хөрсний чийгийн явцад тод улирлын явц илэрч байгаа, их утга нь хавар, зун, бага утга нь өвөл (XII-II сард) ажиглагдаж байна. Хөрсний 5 ба 20 см гүний чийг нь тунадаснаас их хамаарч байв. Тухайлбал, Эрдэнэ орчимд зарим хавар тунадас ахиу орсон үед 5 ба 20 см гүний хөрсний чийг өссөнийг **Зураг 197**-аас харж болно. 2009 оны 4-р сард 43.2 мм, 2010 оны 5-р сард 35.8 мм, 2012 оны 3-р сард 47.1 мм хур тунадас орсон нь хөрсөнд чийг өгсөн байна. Эрдэнэ орчимд 2009-2014 оны хэмжилтээр хөрсний 5 (20, 50) см гүнд сарын дундаж хөрсний чийгийн их утга харгалзан 0.214 (0.206, 0.108) $\text{м}^3 \text{м}^{-3}$, бага утга нь харгалзан 0.037 (0.040, 0.047) $\text{м}^3 \text{м}^{-3}$ байв.

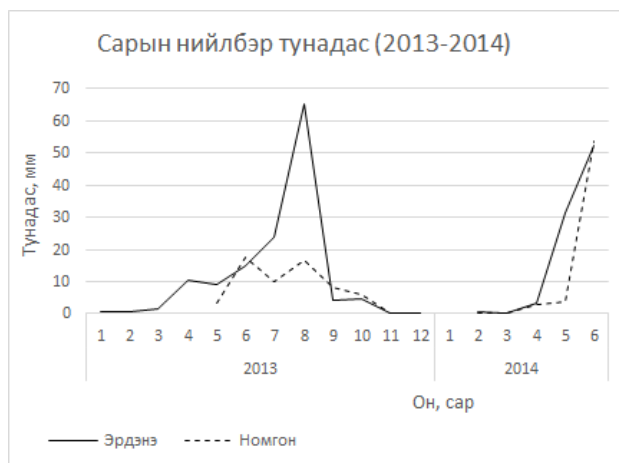


Зураг 197. Эрдэнэ станц дээрх сарын дундаж хөрсний чийг ($\text{м}^3 \text{м}^{-3}$), сарын нийлбэр тунадас (мм), 2009-2014 он.

Номгон, Эрдэнэ хоёр станцын орчны хөрсний чийгийн онцлогийг дүгнэн үзвэл:

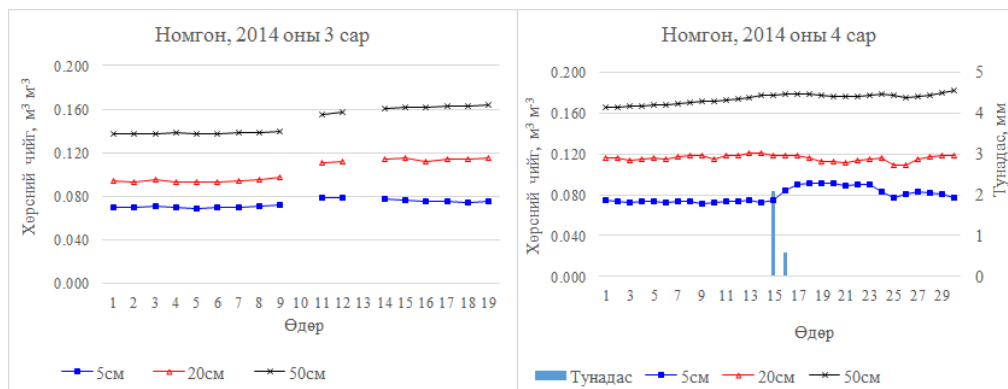
- Хөрсний чийг Номгон орчимд Эрдэнээс ахиу байна.
- 5, 20 см гүний сарын дундаж хөрсний чийг хоорондоо ялгаа багатай байв.
- Хөрсний чийгийн гүний тархалт хоёр станц дээр ялгаатай байв. Ж нь: Номгон орчимд сарын дундаж хөрсний чийг дээрээсээ доошоо өсч байв. Харин Эрдэнэ орчимд сарын дундаж хөрсний чийг дээрээсээ доод гүн рүүгээ буурч байна.
- Өвөл хөрс хөлддөг тул хөрсний чийг хоёр станцын орчинд бүх гүндээ ойролцоо байв (X-II сард).

2014 оны хаврын цасан бүрхүүл, хур тунадас. Номгон, Эрдэнэ хоёр станцын орчинд орсон сарын нийлбэр тунадасыг 2013 он болон 2014 оны 1-6 дугаар саруудаар гаргаж **Зураг 198**-д үзүүлэв. Зургаас харахад Номгоны орчинд 2013 оны 5-11 дүгээр саруудад бага хур тунадас орсон, харин 2014 оны хавар 2 дугаар сард 0.2 мм, 3 дугаар сард тунадас ороогүй, 4 дүгээр сард 2.7 мм тунадас орсон байна. Эрдэнэ станцын орчинд 2014 оны хавар 2 дугаар сард 0.8 мм, 3 дугаар сард 0.3 мм, 4 дүгээр сард 3.3 мм тунадас оржээ. Энэ бүхнээс дүгнэхэд энэ нутгуудад 2014 оны хавар хөрсөнд ахиухан чийг өгөх хэмжээний тунадас ороогүй байна.



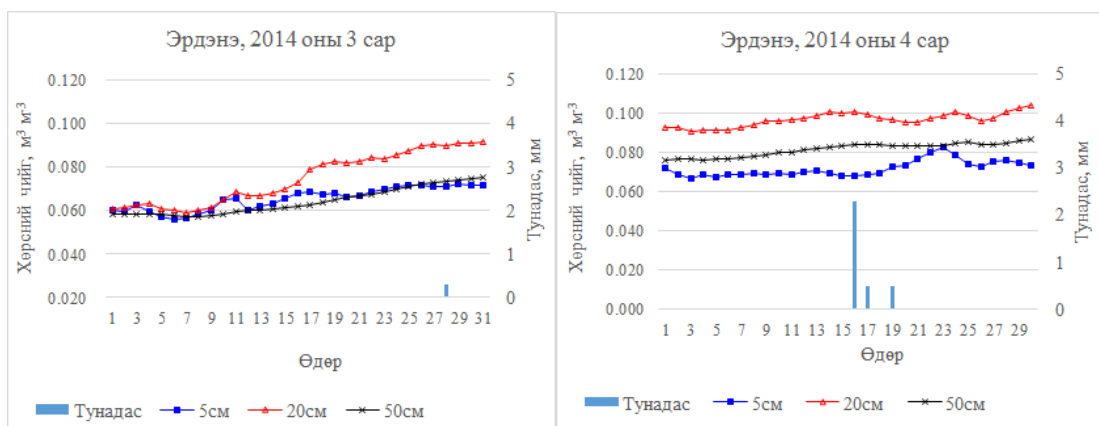
Зураг 198. 2014 оны хаврын хур тунадас

Шороон шуурганы үүсэлд хөрсний чийг нөлөөлөх нь. Номгон орчимд 5 см гүний хоногийн дундаж хөрсний чийг 4 дүгээр сарын 1-15-нд дунджаар $0.073 \text{ м}^3 \text{ м}^{-3}$, 4 дүгээр сарын 15-16-нд 2.7 мм тунадас орсны дараа 17-23-ны өдрүүдэд $0.089 \text{ м}^3 \text{ м}^{-3}$ болж өсөөд, үүнээс хойш хөрс хуурайшиж 4 дүгээр сарын 24-25-ны үед $0.076-0.077 \text{ м}^3 \text{ м}^{-3}$ болж буурсан (**Зураг 199**).



Зураг 199. Номгон станцын 2014 оны 3 ба 4 дүгээр сарын хоногийн дундаж хөрсний чийг

Эрдэнэ орчимд 4 дүгээр сарын эхний хагаст 5 см гүний хоногийн дундаж хөрсний чийг $0.069 \text{ м}^3 \text{ м}^{-3}$ байсан бөгөөд 4 дүгээр сарын 16-19-нд 3.3 мм тунадас орсон. Энэ тунадас орсны дараа 5 см гүний хоногийн дундаж хөрсний чийг $0.072\text{-}0.082 \text{ м}^3 \text{ м}^{-3}$ болж өссөн (Зураг 200).



Зураг 200. Эрдэнэ станцын 2014 оны 3-4 сарын хоногийн дундаж хөрсний чийг

Өмнөговийн Номгон орчимд 5 см гүний хөрсний чийг 2014 оны 3 дугаар сард дунджаар $0.073 \text{ м}^3 \text{ м}^{-3}$, хамгийн бага нь $0.071 \text{ м}^3 \text{ м}^{-3}$, хамгийн их нь $0.076 \text{ м}^3 \text{ м}^{-3}$, 4 дүгээр сард дунджаар $0.079 \text{ м}^3 \text{ м}^{-3}$, хамгийн бага нь $0.069 \text{ м}^3 \text{ м}^{-3}$, хамгийн их нь $0.092 \text{ м}^3 \text{ м}^{-3}$ байв (Хүснэгт 16).

Дорноговийн Эрдэнэ орчимд 5 см гүний хөрсний чийг 2014 оны 3 дугаар сард дунджаар $0.065 \text{ м}^3 \text{ м}^{-3}$, хамгийн бага нь $0.056 \text{ м}^3 \text{ м}^{-3}$, хамгийн их нь $0.073 \text{ м}^3 \text{ м}^{-3}$, 4 дүгээр сард дунджаар $0.072 \text{ м}^3 \text{ м}^{-3}$, хамгийн бага нь $0.066 \text{ м}^3 \text{ м}^{-3}$, хамгийн их нь $0.082 \text{ м}^3 \text{ м}^{-3}$ байв (Хүснэгт 53).

2014 оны 3 ба 4 дүгээр сарын 5 см гүний хөрсний чийг Номгонтой харцуулахад Эрдэнэ орчимд арай бага байгаа нь энд хөрс арай хуурай байсныг харуулна. Энэ нь Эрдэнэ орчимд Номгоноос арай илүү тоос босох онцлог шинж байсныг харуулна.

5 см гүний хөрсний чийг 2014 оны 3 дугаар сарын 16-17-ны шороон шуурганы үед Эрдэнэд 6.8-6.9%, 4 дүгээр сарын 24-ний шороон шуурганы үед Номгон орчимд 7.7 %, Эрдэнэ орчимд 7.4% байв (Хүснэгт 54). Хөрсний чийг Номгон орчимд ахиу гарсан нь газар нутгийн хэвгий налуу, хөрсний хайрга, ургамлын онцлогтой холбоотой байж болох юм.

Хүснэгт 53. Номгон станцын хөрсний 5 см гүний чийг, 2014 оны 3 ба 4 дүгээр сар

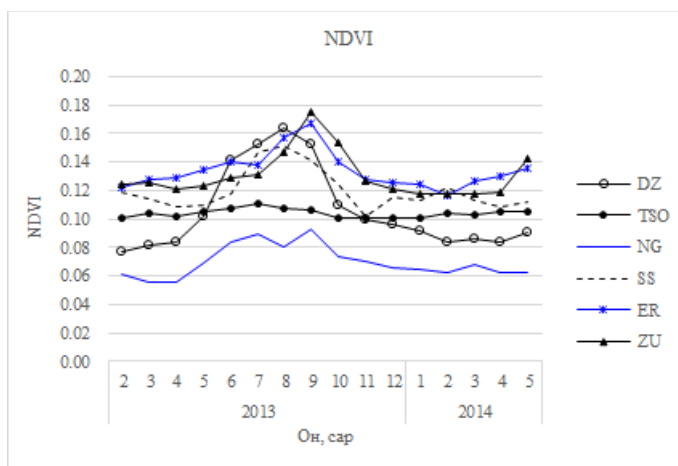
Номгон	Статистик үзүүлэлт	Хөрсний гүн, 5 см, $\text{м}^3 \text{ м}^{-3}$	Шороон шуурганы үеийн хоногийн дундаж хөрсний чийг
2014 оны 3 дугаар сар	Дундаж	0.073	
	Хамгийн бага	0.071	
	Хамгийн их	0.076	
2014 оны 4 дүгээр сар	Дундаж	0.079	4 дүгээр сарын 24-нд $0.077 \text{ м}^3 \text{ м}^{-3}$ буюу 7.7%
	Хамгийн бага	0.069	
	Хамгийн их	0.092	

Хүснэгт 54. Эрдэнэ станцын хөрсний 5 см гүний чийг, 2014 оны 3 ба 4 дүгээр сар

Эрдэнэ	Статистик үзүүлэлт	Хөрсний гүн, 5 см, $\text{м}^3 \text{ м}^{-3}$	Шороон шуурганы үеийн хоногийн дундаж хөрсний чийг
2014 оны 3 дугаар сар	Дундаж	0.065	3 дугаар сарын 16-17-нд $0.068\text{-}0.069 \text{ м}^3 \text{ м}^{-3}$ буюу 6.8-6.9%
	Хамгийн бага	0.056	

	Хамгийн их	0.073	
2014 оны 4 дүгээр сар	Дундаж	0.072	4 дүгээр сарын 24-нд 0.074 м³ м⁻³ буюу 7.4%
	Хамгийн бага	0.066	
	Хамгийн их	0.082	

Ургамал бүрхэвч шороон шуурганы үүсэлд нөлөөлөх нь. NOAA/Terra хиймэл дагуулын 1 км ялгах чадвартай MODIS мэдээг ашиглан тооцоолсон NDVI –ийн утгаар говийн бүс нутагт орших цаг уурын станцуудын орчны ургамал бүрхэвчийг төлөөлүүлэн авч үзэв. **Зураг 201**-т 2013 оны 1 дүгээр сараас 2014 оны 5 дугаар сарын NDVI –ийн утгын харуулав. Зургаас харахад говь, цөлийн нутагт NDVI-ийн утга 2013 оны зун 0.18 –аас бага, 2014 оны хавар 0.13-аас бага байгаа нь ургамал багатайг илтгэнэ. NDVI-ийн утга Эрдэнэ орчимд Номгон орчмоос арай их гарсан. 2014 оны хавар ургамал бүрхэвч бага, NDVI-ийн утга 0.20-оос бага байгаа нь шороон шуурга үүсэх эерэг тохиромжтой нөхцөл байдал болсон байна.



Зураг 201. Ургамал бүрхэвч- NDVI (Тайлбар: DZ–Даланзадгад, TSO–Цогт-Овоо, NG–Номгон, SS–Сайншанд, ER–Дорноговийн Эрдэнэ, ZU–Замын-Үүд)

Хөрсний ширхэглэг бүтэц шороон шуурганы үүсэлд нөлөөлөх нь. 2 станцын хөрсний ширхэглэг бүтэц 0-5 ба 0-10 см гүнд: АНУ-ын Газар тариалангийн албанаас хөрсний ширхэглэг бүтэцийг том ширхэгтэй элс, дунд зэргийн ширхэгтэй элс, нарийн ширхэгтэй элс, тоос, шавар гэж ангилдаг (**Хүснэгт 55**). Энэхүү судалгаанд энэ ангилалыг ашиглав.

Хүснэгт 55. АНУ-ын Газар тариалангийн албанаас гаргасан хөрсний ширхэглэг бүтэцийн ангилал

Ангилал	Диаметр, мм
Том ширхэгтэй элс	2.0-0.5
Дунд зэргийн ширхэгтэй элс	0.5-0.25
Нарийн ширхэгтэй элс	0.25-0.05
Тоос	0.05-0.002
Шавар	<0.002

Өмнөговийн Номгон, Дорноговийн Эрдэнэ станцын орчинд хөрсний дээжийг станц орчинд, станцаас зонхилох салхины зүгт 3 ба 6 км зайд 0-5, 0-10 см гүнд тус тус авч, Газар зүйн хүрээлэнгийн Хөрс судлалын лабораторид 2014 оны 9 дүгээр сард шинжлүүлсэн дүнг энэ судалгаанд ашиглав.

Лабораторийн шинжилгээний дүнгээр хөрсөн дэхь дунд зэргийн хэмжээтэй элс, тоос, шаварлаг хэсэг нь хоёр станцын хувьд адил байсан. Жишээлбэл, хоёр станц орчинд

хөрсний 0-5, 0-10 см гүнд дунд зэргийн хэмжээтэй элсний эзлэх хувь бараг адил 20-21%, тоос, шаварлаг хэсгийн эзлэх хувь ойролцоо, харгалзан 24-25%, 11-12% байв.

Харин хөрсний том ба нарийн ширхэгт хэсгийн эзлэх хэмжээ хоёр станцын орчинд ялгаатай байв. Тухайлбал, хөрсний 0-5, 0-10 см гүнд том ба нарийн ширхэгт хэсгийн эзлэх хэмжээ Номгоны орчинд их 28%, Эрдэнэ орчинд бага 18-19% байв. 0-5, 0-10 см гүний нарийн ширхэгт элсний эзлэх хувь Эрдэнэ орчинд их 25-26%, Номгон орчинд 15-16% байв. Эндээс үзэхэд Эрдэнэ орчны хөрс Номгон орчнохоос арай илүү нарийн ширхэгтэй нь харагдаж байна. Хөрсний бүтэцээрээ Эрдэнэ орчинд Номгоны орчноос илүү тоос босох онцлог нөхцөлтэй байна.

Эрдэнэ станцын орчны хөрсний ширхэглэг бүтэц. Дорноговийн УЦУОША-аас Эрдэнэ станцын орчинд хөрсний том ширхэгт хэсгийн эзлэх хувийг шигшүүрийн аргаар тодорхойлсон дүнг **Зураг 202**-т үзүүлэв. Зургаас харахад хөрсний 0-5 см гүнд том ба дунд ширхэгт элс (2-0.25 мм) 92.7%-ийг эзэлж байгаа бөгөөд 0.5-0.3 мм хэмжээтэй хэсэг зонхилж байна. Эрдэнэ станцын орчинд 0-5 см гүнд хөрсний ширхэглэгийн 82% нь диаметрээрээ 0.5 мм-ээс бага байна.



Зураг 202. Эрдэнэ орчмын хөрсний 0-5 см гүний ширхэглэг бүтэц

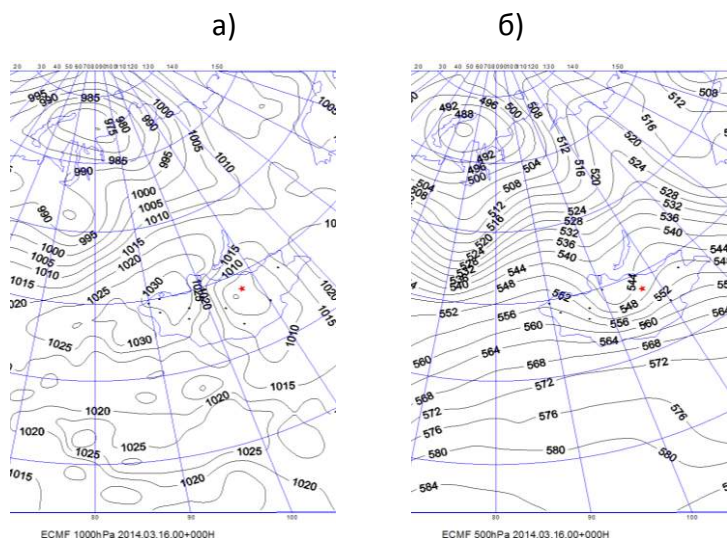
Хөрсний бүтцийг дүгнэвэл АНУ-ын Газар тариалангийн албаны ангилалаар энэ 2 станц орчинд хөрсний ширхэглэг бүтэц нь элсэрхэг шавар (sandy loam) төрөлд хамаарагдаж байна. Эрдэнэ орчимд хөрс илүү нарийн ширхэгтэй байна. Номгон, Эрдэнэ станцын орчны хөрсний бүтцийн 72.0%, 81.5% нь харгалзан дунд зэргийн ба нунтаг элс, тоос, шаварлаг хэсгээс бүрдэж байна (**Хүснэгт 19**).

Хүснэгт 56. Номгон, Эрдэнэ станцын орчны хөрсний бүтэц

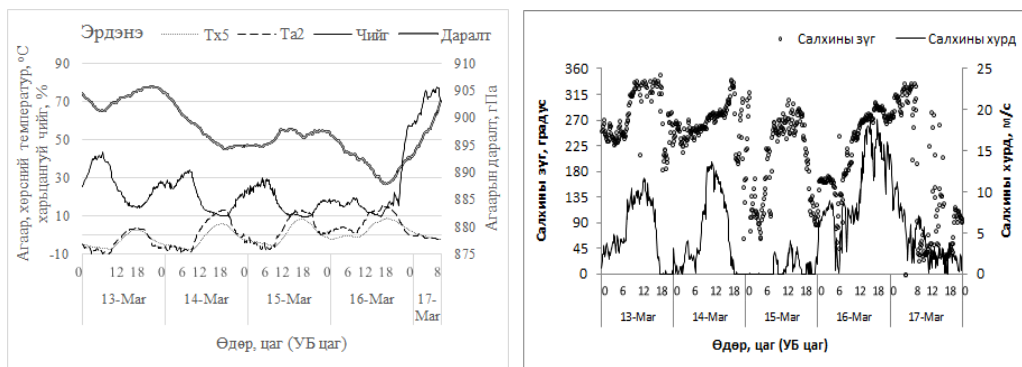
	Том ширхэгт элс (2мм > d > 0.25мм), %	Дунд/нунтаг элс, тоос, шавар, (d ≤ 0.25 мм), %
Номгон	28.0%	72.0 %
Эрдэнэ	18.5%	81.5%

2014 оны хаврын шороон шуурганы үеийн цаг уурын үзүүлэлтүүд, PM_{10} тоосны агууламж. 2014 оны 3 дугаар сарын 16-17-ны өдрүүдэд говь, цөлийн нутаг дээр газар орчимд агаар мандлын циклон, түүний хүйтэн фронт, өндөрт 500 гПа гадарга дээр өндрийн хотос шилжин ирж хүчтэй шороон шуурга ажиглагдсан байна (**Зураг 203**). Энэ үед Номгон станцын цахилгааны хангамж доголдсноос хэмжилт хийгээгүй. Харин энэ шороон шуурганы үед Эрдэнэ станцын түвшний агаарын даралт 887.9 гПа хүрч бууран,

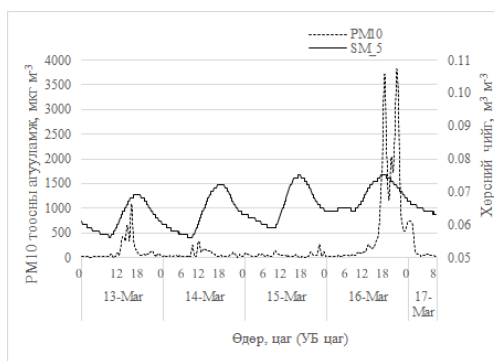
салхины хурд 20-22 м/с хүрч ширүүсэн, агаар маш их хуурайшиж харьцангуй чийг 9.3% болж буурсан, 5 см гүний хөрсний чийг 5.6% байсан нь хөрс хуурай болохыг харуулах (Зураг 204) бөгөөд эдгээр нь шороон шуурга үүсэх агаар мандлын болон газар бүрхэвчийн нөхцөл болсон байна. Энэ үед Эрдэнэ станцын хэмжилтээр агаар дахь PM₁₀ тоосны агууламж 3000-3800 мкг м⁻³ болж өссөн байна (Зураг 205). 2014 оны 3 дугаар сарын 16-17-ны өдрүүдэд ажиглагдсан шороон шуурганы үед агаарт дэгдсэн тоос босоо чиглэлд агаар мандалд 2.0-2.5 км өндөрт тархсан байна (Зураг 206, дугуйлсан хэсгийг харна уу).



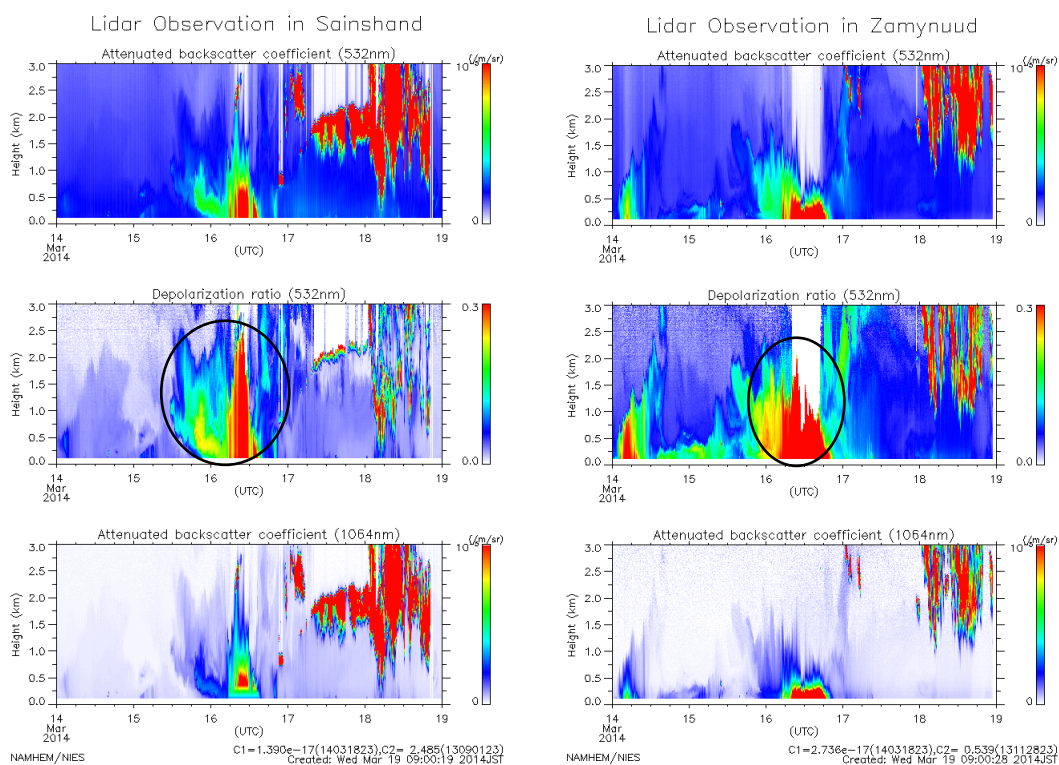
Зураг 203. 2014 оны 3 дугаар сарын 16-ны өдрийн 500Па өндрийн (а) болон газар орчмын (б) цаг агаарын зураг, Европын дунд хугацааны прогнозын төвийн мэдээг УЦУОСМ-д боловсруулав.



Зураг 204. 2014 оны 3 дугаар сарын 16-17-ны өдрүүдэд ажиглагдсан шороон шуурганы үеийн цаг уурын үзүүлэлтүүд, Эрдэнэ станцын мэдээгээр



Зураг 205. 2014 оны 3 дугаар сарын 16-17-ны өдрүүдэд ажиглагдсан шороон шуурганы үеийн PM10 тоосны агууламж, хөрсний чийг, Эрдэнэ станцын мэдээгээр

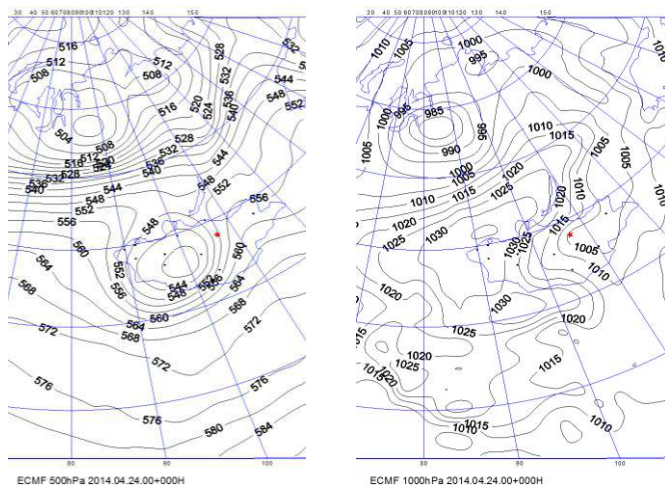


Зураг 206. 2014 оны 3 дугаар сарын 16-17-ны хүчтэй шороон шуурганы үеийн тоосны босоо тархалт, Сайншанд, Замын-Үүдийн лидарын станцын мэдээгээр

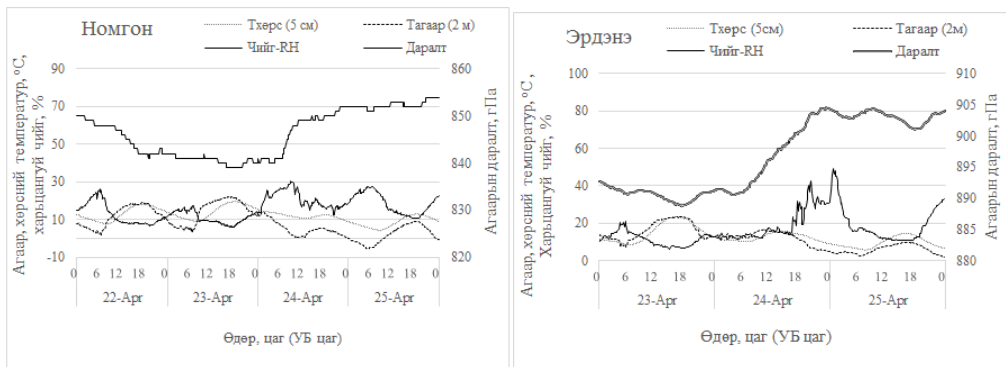
2014 оны 4 дүгээр сарын 24-ний өглөөний 08 цагийн байдлаар цаг агаарын зураг дээр газар орчимд болон 500 гПа гадаргын өндөрт илэрсэн агаар мандлын циклон, түүний хүйтэн фронтын нөлөөгөөр манай орны говь, цөлийн нутагт хүчтэй шороон шуурга ажиглагдсан байна (**Зураг 207**). Энэ шороон шуурганы үед станцын түвшний агаарын даралт Номгонд 839.0 гПа, Эрдэнэд 888.8 гПа хүрч буурсан (**Зураг 208**), салхины хурд 18.1-20.4 м/с хүрч ширүүсэн (**Зураг 209**), агаар маш их хуурайшиж харьцангуй чийг 5.1-6.9% болж буурсан, 5 см гүний хөрсний чийг 6.8-6.9% байсан нь хөрс хуурай болохыг харуулах (**Зураг 210**) бөгөөд эдгээр нь шороон шуурга үүсэх агаар мандлын болон газар бүрхэвчийн нөхцөл болсон байна. Энэ үед Эрдэнэ станцын PM₁₀ тоосны хэмжилтийн багаж ажиллаагүй, харин Номгон станц дээр PM₁₀ тоосны агууламж 3120 мкг м⁻³ болж өссөн байна (**Зураг 211**).

2014 оны 4 дүгээр сарын 24-ний өдөр ажиглагдсан шороон шуурганы үед агаарт дэгдсэн тоос босоо чиглэлд агаар мандалд 3.0 км өндөрт тархсныг Сайншанд, Замын-Үүдийн лидарын хэмжилтээс харж болно (**Зураг 211**, дугуйлсан хэсгийг харна уу).

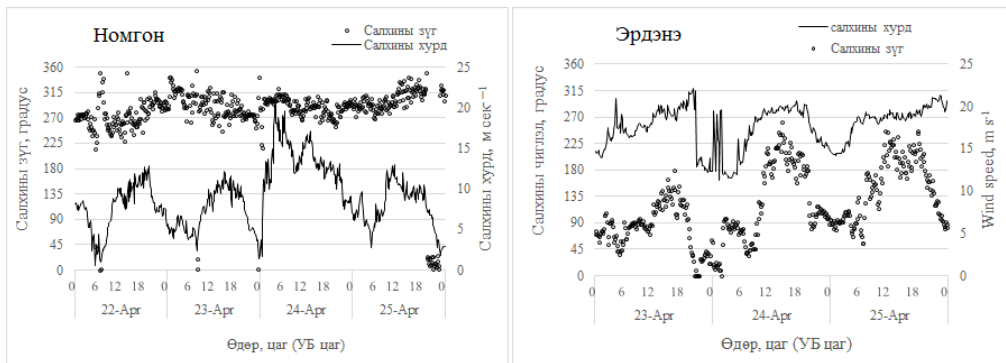
a) b)



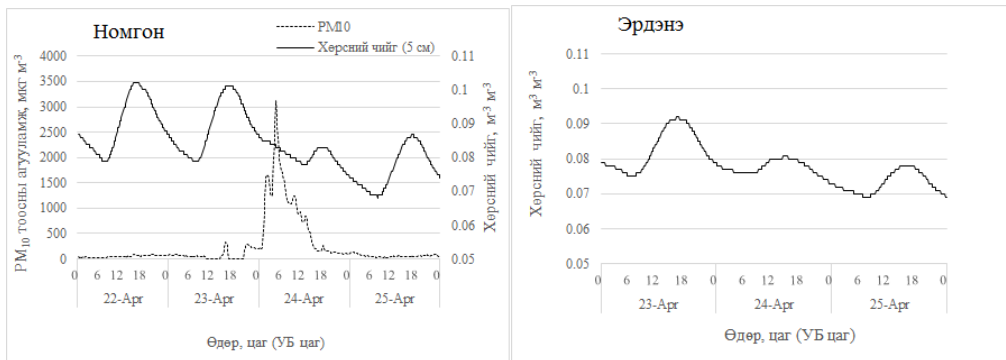
Зураг 207. 2014 оны 3 дугаар сарын 16-ны өдрийн 500гПа өндрийн (а) болон газар орчмын (б) цаг агаарын зураг, Европын дунд хугацааны прогнозын төвийн мэдээг УЦУОСМ-д боловсруулав.



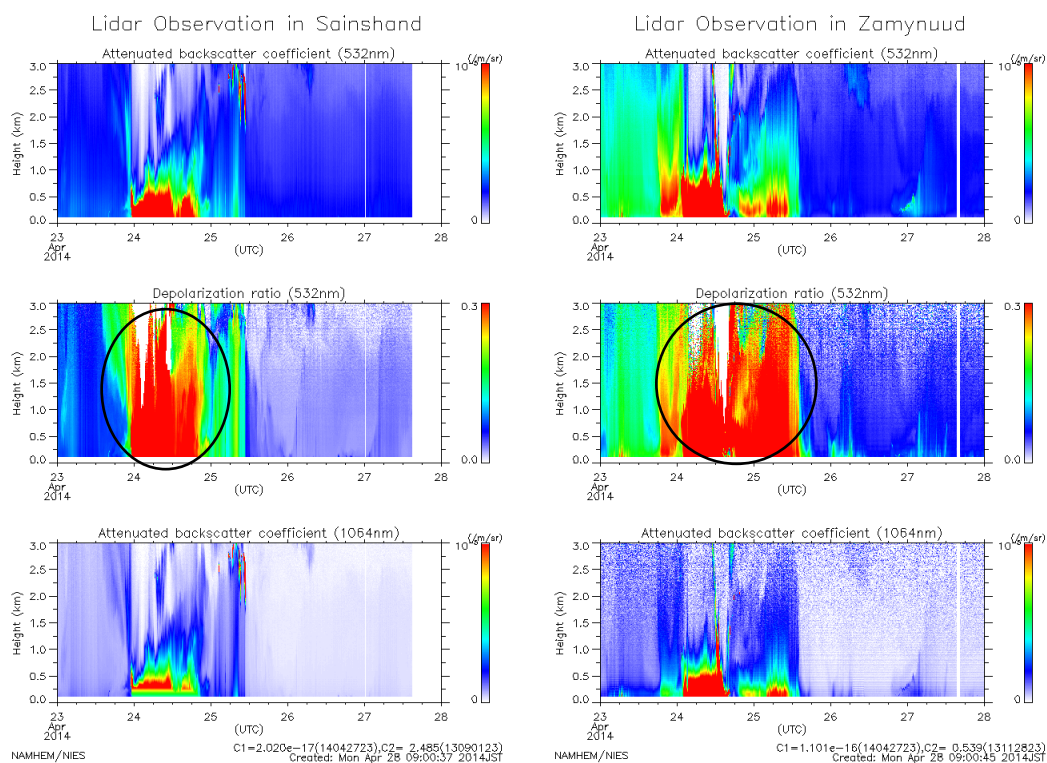
Зураг 208. 2014 оны 4 дүгээр сарын 23-25-ны шороон шуурганы үеийн цаг уурын үзүүлэлтүүд, Номгон, Эрдэнэ станцын мэдээгээр



Зураг 209. 2014 оны 4 дүгээр сарын 23-25-ны шороон шуурганы үеийн салхины зүг, хурд, Номгон, Эрдэнэ станцын мэдээгээр



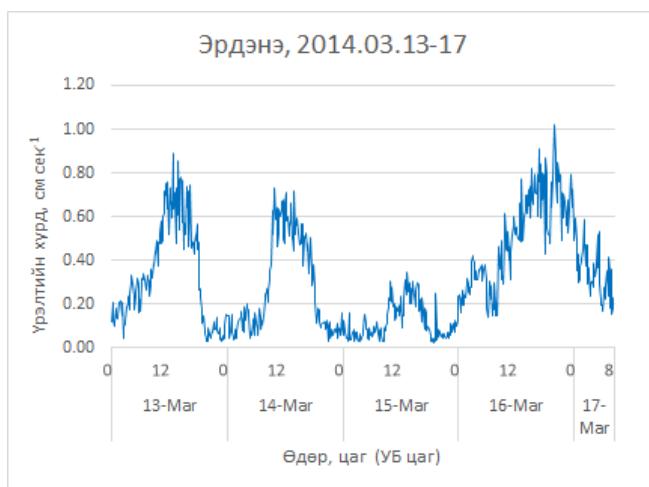
Зураг 210. 2014 оны 4 дүгээр сарын 23-25-ны шороон шуурганы үед ажиглагдсан PM10 тоосны агууламж, хөрсний чийг, Номгон, Эрдэнэ станцын мэдээгээр



Зураг 211. 2014 оны 4 дүгээр сарын 23-25-ны хүчтэй шороон шуурганы үеийн тоосны босоо тархалт, Сайншанд, Замын-Үүдийн лидарын станцын мэдээгээр

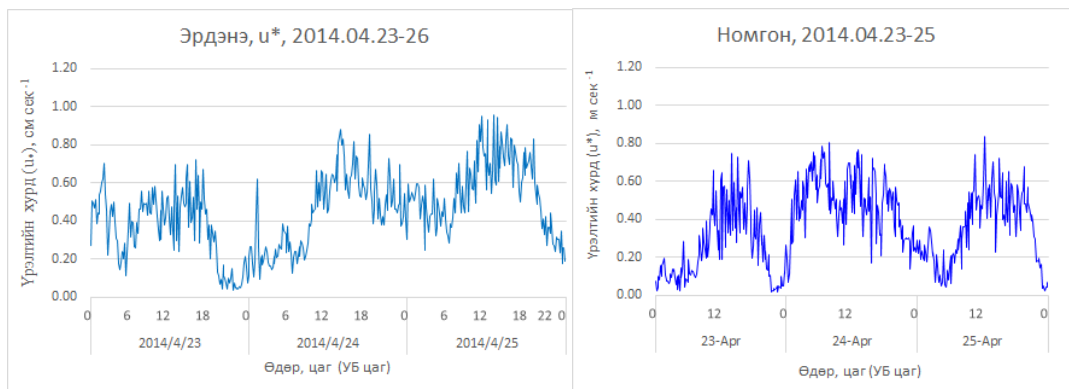
Монгол орны говийн нутгийн хөрснөөс салхиар дэгдэх тоосны ялгарлын тооцоо

Үрэлтийн хурд (u_*). Эрдэнэ станцын хэмжилтийн мэдээгээр салхины үрэлтийн хурд (u_*)-ыг 2014 оны 3 дугаар сарын 13-17 –ны өдрүүдэд (1) томъёогоор тооцоолов (**Зураг 212**). Үрэлтийн хурдны утга (u_*) Эрдэнэ станцын орчинд 3 дугаар сарын 16-ны өдрийн 13:30-аас 23:50 цагт ажиглагдсан шороон шуурганы үед 0.43-1.02 м/с-ийн хооронд хэлбэлзэж байв. 3 дугаар сарын 16-нд Номгоны багаж ажиллаагүй.



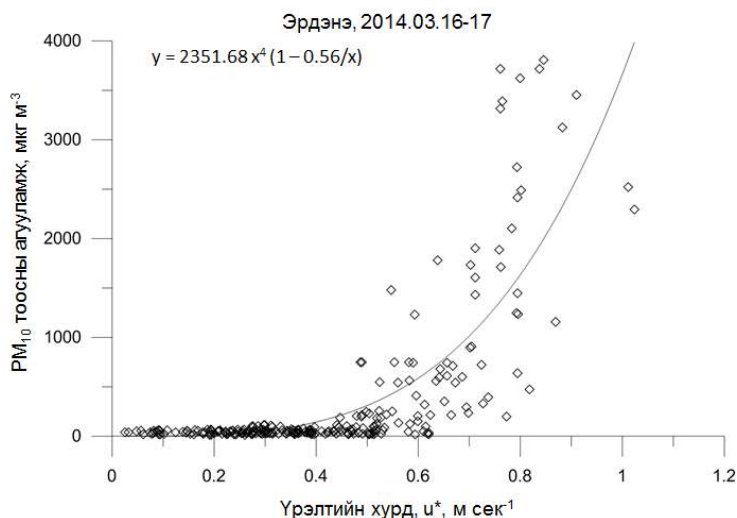
Зураг 212. Эрдэнэ станцын хэмжилтээр 2014.03.16-17-ны шороон шуурганы үед тооцоолсон үрэлтийн хурд

Эрдэнэ, Номгон станцуудын хэмжилтийн мэдээгээр салхины үрэлтийн хурд (u_*)-ыг 2014 оны 4 дүгээр сарын 24–ний өдөр тооцоолов (**Зураг 213**). 2014 оны 4 дүгээр сарын 24–ний шороон шуурганы үед 1:20-20:00 цагт Номгоны орчимд үрэлтийн хурд 0.17–0.80 м/с, мөн өдөр 8:40–17:00 цагт Эрдэнэ орчимд үрэлтийн хурд 0.24–0.72 м/с гарав. Энэ нь Парк нарын (Park et al, 2011) 2011 оны 3 дугаар сарын 16-17-ны шороон шуурганы үед Эрдэнэ станцын хэмжилтээр тооцоолсон үрэлтийн хурдны их утга 1.2 м/с –аас арай бага байв.

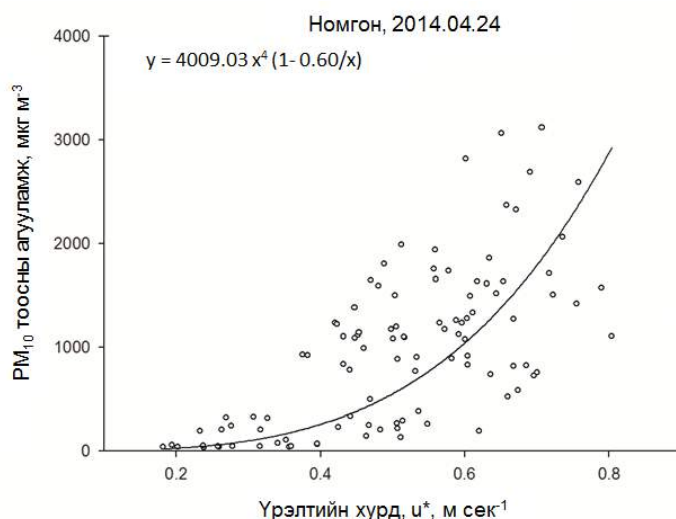


Зураг 213. Эрдэнэ, Номгон станцын хэмжилтээр 2014.04.23-25 ны шороон шуурганы үед тооцоолсон үрэлтийн хурд

Үрэлтийн босго хурд (u_{*t}). PM_{10} тоосны агууламжийн хэмжилтийг ашиглан үрэлтийн босго хурдыг (u_{*t}) (2) томъёогоор тооцоолон олов. 2014 оны 3 дугаар сарын 16-17 –ны шороон шуурганы үед үрэлтийн босго хурд (u_{*t}) Эрдэнэ станцын орчинд 0.56 м/с (**Зураг 214**)., 2014 оны 4 дүгээр сарын 24–ний өдрийн шороон шуурганы үед Номгон станц орчинд 0.60 м/с гарав (**Зураг 215**).



Зураг 214. Эрдэнэ станцын хэмжилтээр 2014.03.16-17-ны шороон шуурганы үед тооцоолсон үрэлтийн хурд, тоосны агууламжийн хамаарал



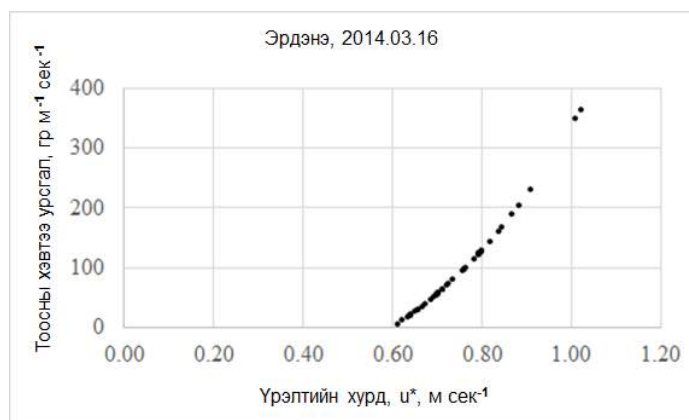
Зураг 215. Номгон станцын хэмжилтээр 2014.04.24-ний шороон шуурганы үед тооцоолсон үрэлтийн хурд, тоосны агууламжийн хамаарал

Атираашлын урт (z_0). Атираашлын урт (z_0) ба салхины зүг, хурдны хамаарлыг 2014 оны 3 дугаар сарын 16-ны шороон шуурганы үед Эрдэнэ станцын хувьд авч үзэв. Эрдэнэ станцын орчинд салхи $250^\circ \sim 300^\circ$ эсвэл $150^\circ \sim 200^\circ$ чиглэлээс салхилж байгаа нь энэ чигт дэвсгэр гадарга харьцангуй жигд, бартаа саадгүй байгааг харуулна. Тооцоогоор дундаж атираашлын урт Эрдэнэд 0.0012 м (12 см) гарч байна.

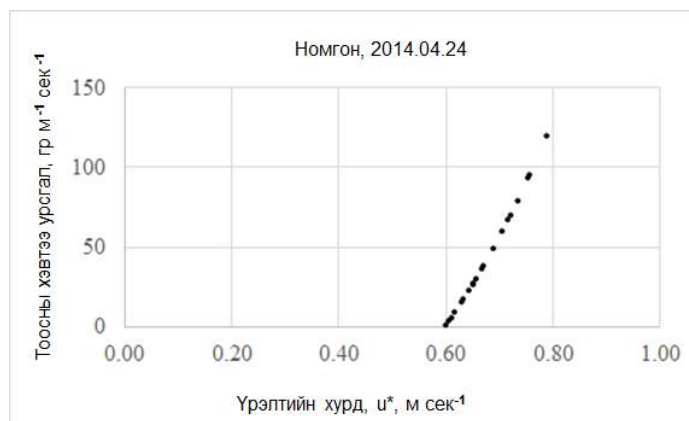
Атираашлын урт (z_0) ба салхины зүг, хурдны хамаарлыг 2014 оны 4 дүгээр сарын 24-ний шороон шуурганы үед Номгон станцын хувьд авч үзвэл салхи $255^\circ \sim 315^\circ$ -аас зонхилон салхилсан нь энэ чигт дэвсгэр гадарга жигд байгааг харуулна. Тооцоогоор дундаж атираашлын урт Номгоны орчинд 0.0011 м (11 см) гарав.

Судлаачид Цогт-Овоод атираашлын урт (z_0)-ыг 0.006 м гэж авсан.

Шороо тоосны хэвтээ чиглэлийн үсрэлттэй хөдөлгөөний урсгал. Шороо тоосны хэвтээ чиглэлийн үсрэлттэй хөдөлгөөний урсгалыг (3) томъёогоор тооцоолон олов. Тооцоогоор тоосны хэвтээ чиглэлийн үсрэлттэй хөдөлгөөний урсгалын их утга 2014 оны 3 дугаар сарын 16-ны шороон шуурганы үед Эрдэнэ орчинд $364 \text{ г м}^{-1} \text{ сек}^{-1}$ (**Зураг 216**), харин 2014 оны 4 дүгээр сарын 24-ний шороон шуурганы үед Номгон станцын хувьд $120 \text{ г м}^{-1} \text{ сек}^{-1}$ гарч байна (**Зураг 217**).



Зураг 216. Эрдэнэ станц дээр 2014.03.16-ний шороон шуурганы үед тооцоолсон тоосны хэвтээ урсгал



Зураг 217. Номгон станц дээр 2014.04.24-ний шороон шуурганы үед тооцоолсон тоосны хэвтээ урсгал

Салхины босго хурд (U_t). Шороон шуурга үүсэх салхины босго хурд (U_t)-ыг Номгон, Эрдэнэ станцын салхины градиентийн хэмжилтийн мэдээгээр тооцоолсон. Шороон шуурга үүсэх салхины босго хурд (U_t) 3 дугаар сарын 16-ны шороон шуурганы үед Эрдэнэ орчинд 10 м өндөрт 12.6 м сек⁻¹, 4 дүгээр сарын 24-ний шороон шуурганы үед Номгон орчинд 10 м өндөрт 13.7 м с⁻¹ гарч байна.

Дүгнэлт

Энэхүү судалгааны ажлаас гарсан гол үр дүнг дурьдвал:

- Хөрсний 5 см гүний хоногийн дундаж чийг 2014 оны 3 дугаар сарын 16-ны шороон шуурганы үед Эрдэнэ станцын орчинд 6.8-6.9%, 2014 оны 4 дүгээр сарын 24-ний шороон шуурганы үед Номгоны орчинд 7.7%, Эрдэнэ станцын орчинд 7.4% байв.
- 2014 оны хавар 3 ба 4 дүгээр сард сарын дундаж NDVI (VC) нь тоосны дэгдэлтийн босго утгаас доогуур, Номгоны орчинд 0.06 (7%), Эрдэнийн орчинд 0.13 (14%) байв.
- Эрдэнэ станцын орчинд 0-5 (5-10) см гүний хөрсний ширхэглэгийн хэмжээний 82.0% (71.9%)-ийг нь 0.3-0.5 мм диаметртэй хэсгүүд эзэлж байна. Энэ нь USDA ангилалаар “дунд зэргийн хэмжээтэй элс” ангилалд орох ба тоос шорооны үсрэлттэй хөдөлгөөн үүсгэгч хэсгүүд юм.
- Хөрсний ширхэглэгийн ангилалын гурвалжингаар (FAO, 2006), энэ 2 станцын орчны хөрсний ширхэглэг нь “элсэрхэг шавар” ангилалд хамаарч байна.
- Бага даралтын орон, агаар мандлын фронттой холбоотойгоор 2014 оны хаврын 2 удаагийн шороон шуурга нь тус тус 13-14 цаг үргэлжилсэн, энэ үед харьцангуй чийг 9-20% болж агаар хуурайшиж, салхины их хурд 18-20 м сек⁻¹ хүрч, PM₁₀ тоосны агууламж 150–3824 мкг м⁻³ хүрсэн.
- Хэмжилт, тооцоогоор үрэлтийн хурд (u_*) 2014.03.16-нд Эрдэнэд 0.40~1.02 м сек⁻¹, 2014.04.24-нд Номгон, Эрдэнэд 0.23~0.80 м сек⁻¹ гарав.
- Шороон шуурганы үед үрэлтийн босго хурд (u_{*t})-ыг 2014.03.16-нд Эрдэнэд 0.56 м сек⁻¹, 2014.04.24-нд Номгонд 0.60 м сек⁻¹ гэж тооцоолон гаргав.
- Шороон шуурганы үед атираашлын урт тооцоогоор Эрдэнэд дунджаар 0.0012 м, Номгонд 0.0011 м гарав.
- Тоос дэгдэх салхины босго хурд 10 м өндөрт 2014.03.16-нд Эрдэнэ орчинд 12.6 м сек⁻¹, 2014.04.24-нд Номгоны орчинд 13.7 м сек⁻¹ гарсан.

- Тооцоогоор шороо, тоосны хэвтээ чиглэлийн үсрэлттэй хөдөлгөөний урсгалын их утга 2014.03.16-нд Эрдэнэ станцын орчинд дээр $364 \text{ гр м}^{-1} \text{ сек}^{-1}$, харин 2014.04.24-нд Номгоны орчинд $120 \text{ гр м}^{-1} \text{ сек}^{-1}$ гарсан.

Хэвлүүлсэн бүтээл

Jugder, D., M. Shinoda, R. Kimura, A. Batbold, D. Amarjargal, **2014**: Relationships between dust concentration, wind speed and visibility with dust events in Mongolia, Journal of The Aeolian Research, 14 (2014) 3-13.

Д.Жүгдэр, М.Нишикава, С.Энхмаа, Д.Батдорж, Н.Гансүх, **2013**, Улаанбаатар хотын агаарын чанарын өнөөгийн төлөв, Ус, цаг уур, орчны хүрээлэнгийн эрдэм шинжилгээний бүтээл, №33, х.175-190, Улаанбаатар.

Амаржаргал Д., **Д.Жүгдэр**, С.Эрдэнсүх, **2015**, Монгол орны говь, хээрийн нутгийн тоосны агууламж (PM10, PM2.5), “ШУА-ийн Мэдээ” сэтгүүл, 2015, 01(213), Улаанбаатар, (хэвлэлтэнд)

Амаржаргал Д., **Д.Жүгдэр**, С.Эрдэнсүх, **2015**, Зүүнхойд Азийн шороон шуурганы тархалт, “ШУА-ийн Мэдээ” сэтгүүл, 2015, 01(213), Улаанбаатар, (хэвлэлтэнд)

Amarjargal D., **D.Jugder**, S.Erdenesukh, **2015**, Transition of windblown dust in Northeast Asian countries, Journal of A.ENERGY, Joint Efforts for Sustainable and Resilient Asia, Vol.5, p.141-143.

Бүлэг V. Уур амьсгалын грид мэдээ, сан

5.1 Динамик болон статистик загвар ашиглан Монгол орны агаарын температур, хур тунадасны тархалтыг тооцоолох нь

Торын зангилааны цэгүүд (грид) дээрхи уур амьсгалын мэдээг орон зайд буулгасныг ‘Уур амьсгалын тодорхой элементийн гадаргуу’ (climate surfaces) гэж нэрлэх ба олон төрлийн шинжлэх ухаанд ашиглах бөгөөд ялангуяа байгаль орчин судлал, хөдөө аж ахуй болон биологийн шинжлэх ухаанд өргөнөөр ашиглах болно (Hijmans et al, 2003), (Jones and Gladkov, 2003), (Parra et al, 2004).

Тодорхой нэг судалгаанд уур амьсгалын элементийн орон зайн нарийвчлал нь мэдээний хэрэглээ, боломжоос хамаарч байдаг. Ихэнх судалгаанд орон зайн маш өндөр нарийвчлал нь $\leq 1\text{km}^2$ (fine, $\leq 1\text{km}^2$) байх мэдээллийг байгаль орчны хувьсал, өөрчлөлтөнд зайлшгүй шаардлагатай. Орон зайн нарийвчлал муу мэдээлэл хэрчигдэл ихтэй хотгор гүдгэр сайн дүрслэгддэггүй, харин орон зайн өндөр нарийвчлалтай мэдээлэл нь хэрчигдэл багатай хотгор гүдгэр, уур амьсгалын градиантыг харьцангуй өндөр нарийвчлалтай тооцдог. Гэхдээ тэрхүү өндөр нарийвчлалтай мэдээ нь хязгаарлагдмал бөгөөд Дэлхийн өндөр хөгжилтэй улс орноос зөвхөн АНУ–д мэдээллийн бааз үүсгэсэн байна (<http://www.daymet.org/>, <http://www.prism.oregonstate.edu/>; (Thornton et al, 1997).

Монгол орны Ус цаг уур, орчны шинжилгээний албаны хэмжээнд цаг уурын ажиглалтын 130 станц, 186 харуул харьцангуй сийрэг байрласан байдаг. Энэхүү нягтшил муутай цаг уурын ажиглалтын сүлжээ нь Монгол орны эх газрын эрс тэс, гандуу хуурай уур амьсгал, мөн агаарын мандлын үзэгдэл болон физик процессыг тооцоолоход хангалттай мэдээллийг төдийлөн өгч чаддаггүй.

Харин дэлхийн хэмжээний масштабтай загварын үр дүнг бүс нутгийн уур амьсгалын загварт анхны болон захын нөхцөл болгон оруулж хэдэн арван километр болгон нарийвчлах боломжтой билээ. Тиймээс бүс нутгийн уур амьсгалын загварыг ашиглан тухайн бүс нутгийн уур амьсгалын судалгааг хийж байна (Imet et al, 2011).

Аливаа загвар нь тодорхой систем алдаатай байдаг ба тэр нь олон хүчин зүйлээс хамаардаг. Жишээлбэл: дэлхийн агаар мандалд явагдаж байгаа физик процесс, агаар мандал болон газрын гадаргуугын харилцан үйлчлэлийг тооцоолохдоо параметрчилал, математикийн ойролцооллын аргуудыг ашиглах зэрэг нь тодорхой алдааг бий болгодог. Тиймээс загварын систем алдааг багасгахдаа шугаман болон шугаман бус аргуудыг ашигласан байна (Wigley et al, 1990), (Wilks, 1995), (Ahn et al, 2002), (Richardson et al, 2003), (Robert et al, 2003).

Энэ судалгааны ажилд Монгол орны агаарын температур, хур тунадасны тархалтыг тооцоолохдоо Ус цаг уур, орчны шинжилгээний албаны хэмжээнд цаг уурын ажиглалтын 315 станц, мөстөлийн 3 станц, харуул болон Дэлхийн хэмжээний өндөр нарийвчлалтай Climate Research Unit (CRU)-ын $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ (~55.6км) грид, Төв Азийн хэмжээний өндөр нарийвчлалтай Asian Precipitation— Highly Resolved Observational Data

Integration Towards the Evaluation of Water Resources (APHRODITE)-ын $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ (~ 27.8 км) гридийн мэдээг (thin plate smoothing splines) аргачлалд тулгуурласан, хамааралгүй хувьсагч өргөрөг, уртраг, өндөрийн тооцон интерполяц хийдэг ANUSPLIN загварын анхны нөхцөл болгон ашиглаж, статистик загварчлалын аргыг ашиглан объектив анализ хийхээс гадна Бүс нутгийн уур амьсгалын динамик загвар WRF, Бүс нутгийн уур амьсгалын загвар RegCM3 -ын үр дүнд дундаж болон тооцоглогдоогүй алдааны засвар хийж, мөн объектив анализ хийхээс гадна Монгол орны уур амьсгалын үндсэн 2 элемент температур, хур тунадасыг 1981-2010 оны хооронд, дундаж орныг орон зайн $0.08^{\circ} \times 0.08^{\circ}$ (~ 9.0 км) өндөр нарийвчлалтай, цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтайгаар цэгэн болон грид хэлбэрээр үүсгэж, газар зүйн мэдээллийн систем (Geographic information system) ArcGIS -ийн орон зайн буулгалтын загвар (Spatial interpolation model) -аар өндөр нарийвчлалтай тархалтыг тооцоолно. Зураг 1-д Ус цаг уур, орчны шинжилгээний албаны цаг уурын ажиглалтын орон зайн байршил, хүснэгт 1-д Ус цаг уур, орчны шинжилгээний албаны цаг уур станц болон мөстлийн станцын өндөр, хоорондын зайн мэдээлэлийг харуулав. Торын зангилааны цэгүүд (грид) дээрхи уур амьсгалын мэдээг орон зайд буулгасныг 'Уур амьсгалын тодорхой элементийн гадаргуу' (climate surfaces) гэж нэрлэх ба олон төрлийн шинжлэх ухаанд ашиглах бөгөөд ялангуяа байгаль орчин судлал, хөдөө аж ахуй болон биологийн шинжлэх ухаанд өргөнөөр ашиглах болно (Hijmans et al, 2003), (Jones and Gladkov, 2003), (Parra et al, 2004).

Тодорхой нэг судалгаанд уур амьсгалын элементийн орон зайн нарийвчлал нь мэдээний хэрэглээ, боломжоос хамаарч байдаг. Ихэнх судалгаанд орон зайн маш өндөр нарийвчлал нь $\leq 1\text{км}^2$ (fine, $\leq 1\text{км}^2$) байх мэдээллийг байгаль орчны хувьсал, өөрчлөлтөнд зайлшгүй шаардлагатай. Орон зайн нарийвчлал муу мэдээлэл хэрчигдэл ихтэй хотгор гүдгэр сайн дүрслэгддэггүй, харин орон зайн өндөр нарийвчлалтай мэдээлэл нь хэрчигдэл багатай хотгор гүдгэр, уур амьсгалын градиантыг харьцангуй өндөр нарийвчлалтай тооцдог. Гэхдээ тэрхүү өндөр нарийвчлалтай мэдээ нь хязгаарлагдмал бөгөөд Дэлхийн өндөр хөгжилтэй улс орноос зөвхөн АНУ-д мэдээллийн бааз үүсгэсэн байна (<http://www.daymet.org/>, <http://www.prism.oregonstate.edu/>; (Thornton et al, 1997).

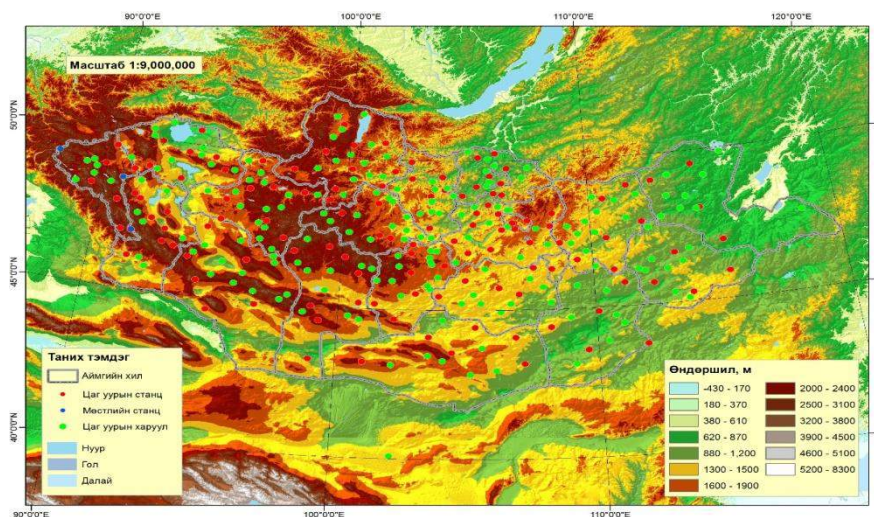
Монгол орны Ус цаг уур, орчны шинжилгээний албаны хэмжээнд цаг уурын ажиглалтын 130 станц, 186 харуул харьцангуй сийрэг байрласан байдаг. Энэхүү нягтшил муутай цаг уурын ажиглалтын сүлжээ нь Монгол орны эх газрын эрс тэс, гандуу хуурай уур амьсгал, мөн агаарын мандлын үзэгдэл болон физик процессыг тооцоолоход хангалттай мэдээллийг төдийлөн өгч чаддаггүй.

Харин дэлхийн хэмжээний масштабтай загварын үр дүнг бүс нутгийн уур амьсгалын загварт анхны болон захын нөхцөл болгон оруулж хэдэн арван километр болгон нарийвчлах боломжтой билээ. Тиймээс бүс нутгийн уур амьсгалын загварыг ашиглан тухайн бүс нутгийн уур амьсгалын судалгааг хийж байна (Imet et al, 2011).

Аливаа загвар нь тодорхой систем алдаатай байдаг ба тэр нь олон хүчин зүйлээс

хамаардаг. Жишээлбэл: дэлхийн агаар мандалд явагдаж байгаа физик процесс, агаар мандал болон газрын гадаргуугын харилцан үйлчлэлийг тооцоолохдоо параметрчилал, математикийн ойролцооллын аргуудыг ашиглах зэрэг нь тодорхой алдааг бий болгодог. Тиймээс загварын систем алдааг багасгахдаа шугаман болон шугаман бус аргуудыг ашигласан байна (Wigley et al, 1990), (Wilks, 1995), (Ahn et al, 2002), (Richardson et al, 2003), (Robert et al, 2003).

Энэ судалгааны ажилд Монгол орны агаарын температур, хур тунадасны тархалтыг тооцоолохдоо Ус цаг уур, орчны шинжилгээний албаны хэмжээнд цаг уурын ажиглалтын 315 станц, мөстөлийн 3 станц, харуул болон Дэлхийн хэмжээний өндөр нарийвчлалтай Climate Research Unit (CRU)-ын $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ ($\sim 55.6\text{км}$) грид, Төв Азийн хэмжээний өндөр нарийвчлалтай Asian Precipitation— Highly Resolved Observational Data Integration Towards the Evaluation of Water Resources (APHRODITE)-ын $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ ($\sim 27.8\text{км}$) гридийн мэдээг (thin plate smoothing splines) аргачлалд тулгуурласан, хамааралгүй хувьсагч өргөрөг, уртраг, өндөрийн тоохон интерполяц хийдэг ANUSPLIN загварын анхны нөхцөл болгон ашиглаж, статистик загварчлалын аргыг ашиглан объектив анализ хийхээс гадна Бүс нутгийн уур амьсгалын динамик загвар WRF, Бүс нутгийн уур амьсгалын загвар RegCM3 -ын үр дүнд дундаж болон тооцоглогдоогүй алдааны засвар хийж, мөн объектив анализ хийхээс гадна Монгол орны уур амьсгалын үндсэн 2 элемент температур, хур тунадасыг 1981-2010 оны хооронд, дундаж орныг орон зайн $0.08^{\circ}\times 0.08^{\circ}$ ($\sim 9.0\text{км}$) өндөр нарийвчлалтай, цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтайгаар цэгэн болон грид хэлбэрээр үүсгэж, газар зүйн мэдээллийн систем (Geographic information system) ArcGIS -ийн орон зайн буулгалтын загвар (Spatial interpolation model) -аар өндөр нарийвчлалтай тархалтыг тооцоолно. **Зураг 218**-д Ус цаг уур, орчны шинжилгээний албаны цаг уурын ажиглалтын орон зайн байршил, **Хүснэгт 57**-д Ус цаг уур, орчны шинжилгээний албаны цаг уур станц болон мөстлийн станцын өндөр, хоорондын зайн мэдээлэлийг харуулав.



Зураг 218. Цаг уур станц, харуул, мөстлийн станцын байршил

Хүснэгт 57. Цаг уур, мөстлийн станцын өндөр, хоорондын зайн мэдээлэл

Цаг уур, мөстлийн станц	Ажиглалтын цэгийн хоорондын зай (км)			С.д.т өндөр (м)		
	Дунд	Их	Бага	Дунд	Их	Бага
Цаг уурын станц	86.7	377.0	7.8	1372.2	2257.8	635.0
Мөстлийн станц	96.2	144.4	42.2	3166.2	3568.8	2858.3

Энэхүү судалгааны ажлын зорилго Монгол орны уур амьсгалын үндсэн 2 элемент агаарын температур, хур тунадасыг 1981-2010 оны хооронд, дундаж орныг орон зайн $0.08^{\circ}\times 0.08^{\circ}$ (~9.0км) өндөр нарийвчлалтай, цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтайгаар цэгэн болон грид хэлбэрээр үүсгэх, Дэлхийн өндөр хөгжилтэй улс орны цаг уур, уур амьсгал, байгаль орчны судалгааны томоохон төвүүдийн дэлхийн хэмжээний өндөр нарийвчлалтай мэдээг Монгол орны хэмжээгээр цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтайгаар аль болох олон жилийн цуваагаар цэгэн болон грид хэлбэрээр мэдээллийн бааз үүсгэхэд оршино.

Судлагдсан байдал

Сүүлийн жилүүдэд уур амьсгалын загварыг ашиглан дэлхийн хуурай газрын талбай (Антарктид багтана) хэмжээнд дундаж орныг орон зайн $0.17^{\circ}\times 0.17^{\circ}$ (~18.5км)-ын өндөр нарийвчлалтай босгосон байна (New et al, 2002). АНУ-ын эрдэмтэн Leemans, Cramer нар 1991 он, харин New болон бусад эрдэмтэд 1999 онуудад дундаж орныг орон зайн $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ (~55.6км)-ын өндөр нарийвчлалтай грид үүсгэсэн байна.

Япон улсын Цукуба хотын Цаг Уурын Судалгааны Хүрээлэнгийн судлаачид Азийн хэмжээнд цаг уурын ажиглалтын хоногийн нийлбэр хур тунадасны мэдээнд тоон прогнозын статистик буулгалт хийж, дундаж орныг орон зайн $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ (~27.8км)-ын өндөр нарийвчлалтай 44 жилийн хоногийн нийлбэр тунадасны грид үүсгэсэн байна (Yatagai et al, 2009).

АНУ-ын Оригоны Их сургууль, 'Бүс нутгийн уур амьсгалын элементийн зураглал зохиох төв' боловсруулсан PRISM (Parameter-Elevation Regressions on Independent Slopes Model) загвараар өөрийн улсын хэмжээнд уур амьсгалын үндсэн 2 элемент температур, хур тунадас болон бусад элементээр дундаж орныг орон зайн $0.04^{\circ}\times 0.04^{\circ}$ (~4.0км) маш өндөр нарийвчлалтай, цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтай, уур амьсгалын олон жилийн дундаж утгаар дундаж орныг орон зайн улам нарийвчлан $0.008^{\circ}\times 0.008^{\circ}$ (~0.8км) маш өндөр нарийвчлалтай тооцсон байна (Daly et al, 2002).

Мөн АНУ-ын 'Калифорны Их Сургууль', Австрали улсын 'University of Queensland' сургуулиудын хамтарсан эрдэмтэд ANUSPLIN загвараар дэлхийн хуурай газраар 1950-2000 оны олон жилийн дундаж утгаар дундаж орныг орон зайн улам нарийвчлан $0.010^{\circ}\times 0.010^{\circ}$ (~1.0км) маш өндөр нарийвчлалтай, цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтай тооцсон байна (Robert J. Hijmans et al, 2005).

Монгол орны хэмжээгээр Бүс нутгийн загвар буюу MM5(Meso Scale Modeling), RegCM3(Regional Climate Modeling), WRF(Weather Research Forecast) загварыг ашиглан

уур амьсгалын элементүүдийг өндөр нарийвчлалтайгаар тооцох олон судалгаа хийгдсэн байна. Үүнд: П. Гомболүүдэв, Л. Нацагдорж нар 2003, 2004, 2006 онуудад газар бүрхэвчийн өөрчлөлт бүс нутгийн уур амьсгалд хэрхэн нөлөөлөхийг судлан, хур ихтэй, хэвийн, хуурай жилийн зуны улирлын уур амьсгалын тооцоог хийж, газар бүрхэвчийн өөрчлөлтийг өнөөгийн цөлөрхөг хээрийн цөл, хээрийг цөлөрхөг хээр хэмээн үзэн температур, хур тунадасны өөрчлөлтийг судалсан байна (Гомболүүдэв П., Нацагдорж Л, 2006).

А. Батболд нар Монгол орны зуны улирлын уур амьсгалд ногоон ургамлын үзүүлэх нөлөөг 2001-2010 он зуны улирлын температур, хур тунадас WRF(Weather Research Forecast) загвараар өндөр нарийвчлалтайгаар тооцож, ажиглалтын үр дүнтэй харьцуулсан (Batbold .A and Ishikawa .M, 2011).

Г. Баясгалан WRF(Weather Research Forecast) бүс нутгийн уур амьсгалын загварын алхамыг 60, 20км-ээр 1981-2010 оны хооронд агаарын температурыг тооцноос гадна загварын үр дүнд статистик аргаар засвар хийн, температурын тархалтыг өндөр нарийвчлалтай тооцсон байна (Баясгалан.Г Ahn., 2012).

Арга зүй

Судалгааны ажилд ашиглагдсан гол арга зүй гридийн мэдээг (thin plate smoothing splines) аргачлалд тулгуурласан, хамааралгүй хувьсагч өргөрөг, уртраг, өндөрийн тооцон интерполяц хийдэг ANUSPLIN статистик загвар, Бүс нутгийн уур амьсгалын динамик загвар WRF, Бүс нутгийн уур амьсгалын загвар RegCM3 -ын үр дүнд дундаж болон тооцоглогдоогүй алдааны засвар хийж, мөн объектив анализ хийхээс гадна Монгол орны уур амьсгалын үндсэн 2 элемент температур, хур тунадасыг 1981-2010 оны хооронд, дундаж орныг орон зайн $0.08^{\circ} \times 0.08^{\circ}$ (~ 9.0 км) өндөр нарийвчлалтай, цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтайгаар цэгэн болон грид хэлбэрээр үүсгэж, газар зүйн мэдээллийн систем (Geographic information system) ArcGIS -ийн орон зайн буулгалтын загвар (Spatial interpolation model) -аар өндөр нарийвчлалтай тархалтыг тооцоолно.

Динамик загвар

Монгол орны сарын дундаж агаарын температурын тархалтыг өндөр нарийвчлалтай тооцоолоход Бүс нутгийн уур амьсгалын загвар, WRF (Weather Research Forecast) –ын захын болон анхны өгөгдөлд NCEP (National Center for Environmental Prediction) FNL (Final analysis) –ийн 6 цагийн зайцтай, $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ буюу $\sim 111.2 \times 111.2$ км –ын хэвтээ нарийвчлалтай анализ мэдээг ашиглаж, тоон туршилтыг 2007 оны 1 дүгээр сарын 1 –ээс 2010 оны 12 дугаар сарын 31 –ний хооронд сарын давтамжтайгаар (spin-up period нь 3 өдөр) дээр дурьдсан жилүүдэд цаг тутмаар бодуулсан. Тоон туршилтын хэвтээ нарийвчлалыг 27 км, 9 км-ийн 2 үндсэн хамрах бүс нутгаар тооцоолж, динамик буулгалт, тайлалын үр дүнд статистик засвар, дундаж болон тооцоглогдоогүй алдааны засвар хийж, мөн объектив анализ хийнэ. болно. WRF загварын системийн үзүүлэлтүүдийг **Хүснэгт 58**-т үзүүлэв.

Хүснэгт 58. Хүснэгт 59 Бүс нутгийн уур амьсгалын загвар, WRF загварын системийн үзүүлэлтүүд

Динамик	ARW (Advanced Research WRF)	
Хэвтээ координат	Arakawa C grids	
Хэвтээ ялгах чадвар	Domain 1	27 × 27 km
	Domain 2	9 × 9 km
Босоо координат	Mass-based following eta	
Босоо ялгах чадвар	Domain 1 & 2	28 levels (top pressure-50hPa)
Физик схем	Microphysics scheme	WSM 6-class
	Cumulus parameterization	(Kain and Fritsch, 1993)
	Planetary Boundary Layer scheme	YSU, (Hong and Pan, 1996)
	Land surface model	Noah land surface model(LSM), (Chen and Dudhia, 2001)
	Shortwave radiation scheme	Simple Cloud Interactive Radiation scheme (Dudhia, 1989)
	Long wave radiation scheme	Rapid Radiative Transfer Model Longwave Radiation scheme (Mlawer et al., 1997)

Статистик засвар

Олон жилийн сар бүрийн температурын систем алдаа буюу дундаж утгын алдаа, тухайн жилийн сар бүрийн санамсаргүй алдаа буюу дунджаас хазайх хазайлтын алдаа тус бүрт өөр өөр аргыг хэрэглэв. Үүнд:

Дундаж утгын алдааны засвар

$$\begin{aligned} \bar{A}_d &= \bar{A}_o - \bar{A}_m \\ \bar{A}_{m1} &= \bar{A}_o = \bar{A}_m + \bar{A}_d \\ \bar{A}_{m2} &= \bar{A}_m - (a_m - a_o) \end{aligned} \quad \bar{A}_m = (1-W) \times \frac{(\bar{A}_{m1} + \bar{A}_{m2})}{2} + \bar{A}_{m2} \times W \quad (1)$$

$$W = e^{(-1) \times \frac{(h-h_{min})^2}{4\sigma_h}} \quad (2)$$

Энд: \bar{A}_o нь далайн түвшинээс дээших өндөр, W нь жингийн функц, \bar{A}_m нь загварын утга, \bar{A}_d нь ажиглалтын утга, \bar{A}_m нь загвар болон ажиглалтын утгын зөрөө, a_o нь ажиглалтын утгын орон зайн дундаж, a_m нь загварын утгын орон зайн дундаж.

Санамсаргүй алдааны засвар

Энэ нь нэг төрлийн ANN (Artificial Neural Network) аргуудын нэг бөгөөд шугаман бус арга юм. Гаралтын мэдээ нь дурын жин (arbitrary weight) рүү оролтын мэдээг оруулж, түүнээс Кохонинийн сургалтын зарчимаар (Kohonen's learning rule) буюу хоорондын төстэй жинг Евклидын зайг (Euclidian distance) ашиглан олдог. Оролтын мэдээтэй хамгийн төстэй жинг ялагч эс (winner neuron) гэдэг. Ялагч эсийг олсноор сургалтын хурд буюу learning rate-г ашиглан анхны утгаас давталтайгаар үнэн утга буюу бодит хазайц руу ойртуулдаг. Сургалтын хурдыг практикаар тодорхойлдог. Сургалтын хурд 0-оос 1-ийн хооронд байх ба бага байх тусмаа бодит утга руу аажимаар дөхдөг, харин их бол бодит утга руу хурдан хүрдэг бөгөөд энэ нарийвчлал муутай байдаг.

Газарзүйн мэдээллийн систем (ArcGIS, ГМС)

Газарзүйн мэдээллийн систем (Geographic information system) нь компьютерт суурилсан систем бөгөөд байгалийн болон хүний бүтээсэн юмс үзэгдлийг орон зай-цаг хугацааны хэмжигдэхүүнд судлах боломжийг олгодог. Уг систем нь өгөгдлийн оролт, удирдлага

зохион байгуулалт болон өгөгдлийн гаралт гэсэн ерөнхий дэс дарааллаас бүрдэнэ (Jones and Gladkov, 2003). ГМС нь дараахь дэд системийн олонлогоос бүрдэнэ. Үүнд:

- ❖ Өгөгдлийг оруулах дэд систем – Янз бүрийн эх үүсвэрээс орон зайн мэдээг цуглуулах
- ❖ Өгөгдлийг хадгалах болон сэргээх дэд систем – Орон зайн өгөгдөл, мэдээг маш хурднаар хялбархан сэргээж, засварлаж хадгална
- ❖ Өгөгдлийг боловсруулах болон дүн шинжилгээ хийх дэд систем – Өгөгдөлд тулгуурлан зорилтыг биелүүлэх
Жишээ нь: Загварчлах, давхцуулах, нэгтгэх, хэмжих г.м
- ❖ Тайлагнах дэд систем – Өгөгдлийн сан болон үр дүнгээ ерөнхийлөн эсвэл сэдэвчлэн (зураг, график, хүснэгт... г.м) үзүүлэх

Газрын гадарга орчмын температурын инверсийг тооцох нь

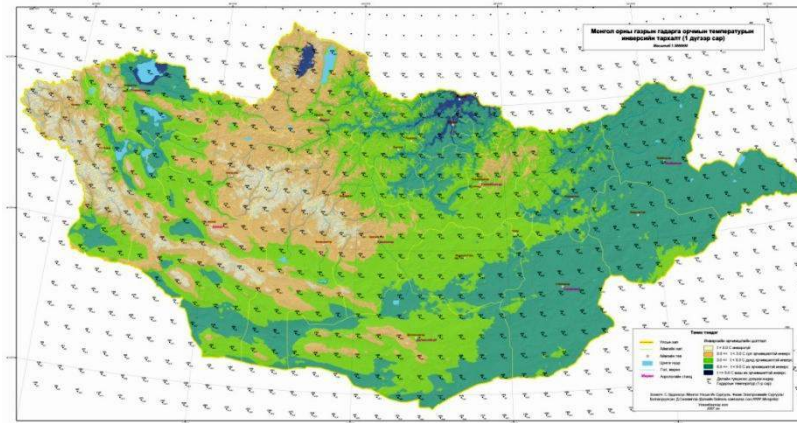
Температурын инверс үүслийн хувьд олон төрөлтэй боловч газрын гадарга орчмын инверс ихэвчлэн дэвсгэр гадаргын цацрагийн хөрөлтөөр үүсдэг. Ийм учраас газрын гадаргын цацруулалт харьцангуй их байх жилийн хүйтний улиралд ба хоногийн шөнийн хугацаанд давтагдал нь их байдгийг тогтоосон байна [2].

Газрын гадарга орчмын инверс агаарын уруудах хөдөлгөөнөөр (суултын инверс гэж нэрлэгдэх) их даралтын төвд үүсэх учир синоптикийн үндсэн объектийг дагаж хөдөлгөөнтэй байдлаар ажиглагдана. Гэвч үүнд мөн дэвсгэр гадаргын цацруулалт температурын инверсийн эрчимшил, зузаанд нөлөө үзүүлдэг [21].

Агаар мандлын орчил урсгалын нөлөөнөөс хамаарсан газрын гадарга орчмын энэ инверс жилийн тодорхой явц илрэхгүй. Харин эсрэг циклоны шилжилтийн замнал дагуу үүсч ажиглагддаг.

Манай оронд ажиглагддаг газрын гадарга орчмын температурын инверс температурын янз бүрийн утганд үүсдэг байна. Энэ нь юуны өмнө тухайн станц далайн түвшнээс хэр зэрэг өндөрт оршиж байгаагаас хамаардаг (Эрдэнэсүх .С, 2007).

С. Эрдэнэсүх 2007 онд Газар зүйн ухааны докторын зэрэг горилсон нэгэн сэдэвт судалгааны ажлаар газарзүйн мэдээллийн системд ихээхэн хэрэглэгдэж байгаа гадаргын радарын тоон өгөгдөл DEM (digital elevation model), бүсийн уур амьсгалын загварын тооцооны үр дүнд гарган авсан газрын гадаргын температурын мэдээг ашиглан газрын гадарга орчмын температурын инверсийн I сарын газарзүйн тархалтыг гаргалаа (**Зураг 219**). Дээрхи температурын мэдээг өргөрөг, уртрагийн дагуу 0.70-ийн алхамтайгаар авч, авсан цэгүүдийн харгалзах далайн түвшнээс дээших өндрийг (DEM-ийн өгөгдөл) тодорхойлоод, улмаар цэг хоорондын температурын өөрчлөлт (инверсийн эрчимшил)-ийг гаргалаа (Эрдэнэсүх .С, 2007).



Зураг 219 Монгол орны газрын гадарга орчмын температурын инверсийн тархалт (1 дүгээр сар)

Ашигласан мэдээ

Судалгаанд Ус цаг уур, орчны шинжилгээний албаны хэмжээнд цаг уурын ажиглалтын 315 станц, харуул болон Дэлхийн хэмжээний өндөр нарийвчлалтай Climate Research Unit (CRU)-ын $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ ($\sim 55.6\text{км}$) грид, Төв Азийн хэмжээний өндөр нарийвчлалтай Asian Precipitation— Highly Resolved Observational Data Integration Towards the Evaluation of Water Resources (APHRODITE)-ын $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ ($\sim 27.8\text{км}$) болон дэлхийн хэмжээний мэдээ мэдээллийн боловсруулж ашиглана. Үүнд:

A. PRISM (Parameter-Elevation Regressions on Independent Slopes Model)

АНУ-ын Оригоны Их сургууль, 'Бүс нутгийн уур амьсгалын элементийн зураглал зохиох төв' боловсруулсан PRISM (Parameter-Elevation Regressions on Independent Slopes Model) загвараар өөрийн улсын хэмжээнд уур амьсгалын үндсэн 2 элемент температур, хур тунадас болон бусад элементээр дундаж орныг орон зайн $0.04^{\circ}\times 0.04^{\circ}$ ($\sim 4.0\text{км}$) маш өндөр нарийвчлалтай, цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтай, уур амьсгалын олон жилийн дундаж утгаар дундаж орныг орон зайн улам нарийвчлан $0.008^{\circ}\times 0.008^{\circ}$ ($\sim 0.8\text{км}$) маш өндөр нарийвчлалтай тооцсон байна (Daly et al, 2002).

B. WorldClim

АНУ-ын 'Калифорны Их Сургууль', Австрали улсын 'University of Queensland' сургуулиудын хамтарсан эрдэмтэд ANUSPLIN загвараар дэлхийн хуурай газраар 1950-2000 оны олон жилийн дундаж утгаар дундаж орныг орон зайн улам нарийвчлан $0.010^{\circ}\times 0.010^{\circ}$ ($\sim 1.0\text{км}$) маш өндөр нарийвчлалтай, цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтай тооцсон байна (Robert J. Hijmans et al, 2005).

B. Climate Research Unit (CRU)

Зүүн Английн (East Anglia) их сургуулийн уур амьсгалын судалгааны хэсгийн (Climate Research Unit, CRU) бэлтгэсэн орон зайн $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ ($\sim 55.6\text{км}$) өндөр нарийвчлалтай, цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтай мэдээллийг уур амьсгалын 6 элементээр (агаарын дундаж, их, бага температур, хур тунадас гэх мэт) үүсгэсэн.

Г. Asian Precipitation— Highly Resolved Observational Data Integration Towards the Evaluation of Water Resources (APHRODITE)

Япон улсын Цукуба хотын Цаг Уурын Судалгааны Хүрээлэнгийн судлаачид Азийн хэмжээнд цаг уурын ажиглалтын хоногийн нийлбэр хур тунадасны мэдээнд тоон прогнозын статистик буулгалт хийж, дундаж орныг орон зайн $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (~27.8км)-ын өндөр нарийвчлалтай 57 жилийн хоногийн нийлбэр тунадасны грид, мөн дундаж орныг орон зайн $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (~27.8км)-ын өндөр нарийвчлалтай 47 жилийн хоногийн дундаж температурын грид үүсгэсэн байна (Yatagai et al, 2009).

Үр дүн

Богино цуваатай цаг уурын ажиглалтын мэдээг уртасгах

Судалгааны арга нь цувааны математик статистик, уур амьсгалын ялгавар, харьцуулах аргууд болно. Мөн судалгааны үндсэн арга зүй нь хэрэглээний уур амьсгалын тухайн зорилтыг шийдвэрлэхэд сонгомол ба тооцооны статистик магадлалын аргуудыг өргөн ашигласан. Энэ ажлын хүрээнд дараахи ажлуудыг хийж гүйцэтгэсэн болно. Үүнд:

1. Эдгээр станцуудын аналог станцуудыг сонгох, корреляцийн хамаарлыг тодорхойлж, тооцоолох
2. Цаг уурын станц хоорондын орон зайн дундаж матриц зохиох (**Хүснэгт 4**)
Цаг уурын станц хоорондын орон зайн дундажийг дараахи томъёогоор тодорхойлов(3).

$$\text{Distance} = A \cos(\cos(\text{Radians}(90 - \text{Latitude}_1)) * \cos(\text{Radian}(90 - \text{Latitude}_2)) + \sin(\text{Radians}(90 - \text{Latitude}_1)) * \sin(\text{Radians}(90 - \text{Latitude}_2))) * \cos(\text{Radians}(\text{Longitude}_1 - \text{Longitude}_2))) * R_{\text{earth}} \quad (3)$$

Distance – цэгүүдийн орон зайн дундаж зай

Radians – радиан

Latitude₁ – эхний цэгийн уртраг

Latitude₂ – сүүлчийн цэгийн уртраг

Longitude₁ – эхний цэгийн өргөрөг

Longitude₂ – сүүлчийн цэгийн өргөрөг

R_{earth} – дэлхийн радиус

3. 1981 оноос хойш байгуулагдсан станцуудын богино цуваатай мэдээг урт цуваанд харьцуулалтын арга ашиглан 1981 он хүртэл уртасгах
Харьцуулалтын аргаар шугаман регрессийн тэгшитгэлийг сонгож, богино цуваатай станцын мэдээг уртасгасан(4).

$$Y_m = a_0 + a_1 * X_o \quad (4)$$

X_o – урт цуваатай станцын параметр

Y_m – тооцоолж буй богино цуваатай станцын параметр

Хүснэгт 60-аас харахад цаг уурын 130 өртөө орон зайн дундаж орон $\sim 0.78^\circ$ буюу ~ 87 км, хамгийн бага $\sim 0.07^\circ$ буюу ~ 8 км, харин хамгийн их нь $\sim 3.39^\circ$ буюу ~ 377 км байна. Эндээс үзэхэд Монгол орны Ус цаг уур, орчны шинжилгээний албаны хэмжээнд цаг уурын ажиглалтын 130 станц харьцангуй сийрэг байрласан байна.

1981 оноос хойш байгуулагдсан цаг уурын 49 станц, мөстлийн 3 автомат станцын мэдээний 5-аас дээш жилийн богино цувааг урт цуваанд шилжүүлэх харьцуулалтын аргаар 1981 он хүртэл урагш нь уртасгасан. Иймээс нийт 121 цаг уурын станцын цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтай, 1981-2010 оны агаарын дундаж температурын ажиглалтын мэдээллийн бааз үүссэн. Энэ нь дэлхийн хэмжээний өндөр нарийвчлалтай грид тоон мэдээллийн Монгол орны хэмжээнд боловсруулж, дүн шинжилгээ үнэлгээ өгөхөд маш чухал бодит ажиглалтын мэдээлэл болно.

Хүснэгт 60. Цаг уурын станцын орон зайн дундаж матриц

Нэр	Индекс	432010	432072	432990	436044	436096	437119	441036	441068	444053	444088	445993	446041	447022	449101	449955	449968	
		Дугаар	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Гурвантэс	432010	0		6.2	2.0	3.4	8.6	10.9	2.6	5.9	4.4	7.3	2.2	4.5	1.8	9.2	6.3	4.6
Ханбогд	432072	1	6.2		8.2	2.8	2.5	4.7	3.8	0.9	2.2	1.6	8.0	4.5	5.2	3.4	12.4	10.6
Эхийнгол	432990	2	2.0	8.2		5.4	10.6	12.9	4.6	7.9	6.4	9.3	1.3	6.1	3.5	11.2	4.3	2.8
Даланзадгад	436044	3	3.4	2.8	5.4		5.2	7.5	1.0	2.5	1.2	3.9	5.2	2.9	2.5	5.8	9.6	7.8
Хөвсгөл	436096	4	8.6	2.5	10.6	5.2		2.3	6.1	2.8	4.4	1.6	10.4	6.2	7.5	1.4	14.7	12.9
Замын-Үүд	437119	5	10.9	4.7	12.9	7.5	2.3		8.4	5.1	6.6	3.7	12.7	8.3	9.8	2.1	17.0	15.2
Сайхан	441036	6	2.6	3.8	4.6	1.0	6.1	8.4		3.3	1.8	4.7	4.3	2.5	1.5	6.6	8.6	6.8
Манлай	441068	7	5.9	0.9	7.9	2.5	2.8	5.1	3.3		1.6	1.4	7.6	3.7	4.7	3.3	12.0	10.1
Цогт-Овоо	444053	8	4.4	2.2	6.4	1.2	4.4	6.6	1.8	1.6		2.9	6.0	2.4	3.2	4.8	10.4	8.6
Мандах	444088	9	7.3	1.6	9.3	3.9	1.6	3.7	4.7	1.4	2.9		9.0	4.6	6.1	1.9	13.3	11.5
Жинст	445993	10	2.2	8.0	1.3	5.2	10.4	12.7	4.3	7.6	6.0	9.0		5.2	2.9	10.9	4.3	2.5
Баян-Өндөр	446041	11	4.5	4.5	6.1	2.9	6.2	8.3	2.5	3.7	2.4	4.6	5.2		2.7	6.2	9.4	7.5
Богд	447022	12	1.8	5.2	3.5	2.5	7.5	9.8	1.5	4.7	3.2	6.1	2.9	2.7		7.9	7.3	5.4
Сайншанд	449101	13	9.2	3.4	11.2	5.8	1.4	2.1	6.6	3.3	4.8	1.9	10.9	6.2	7.9		15.2	13.4
Ажбогд	449955	14	6.3	12.4	4.3	9.6	14.7	17.0	8.6	12.0	10.4	13.3	4.3	9.4	7.3	15.2		1.9
Тоорой	449968	15	4.6	10.6	2.8	7.8	12.9	15.2	6.8	10.1	8.6	11.5	2.5	7.5	5.4	13.4	1.9	

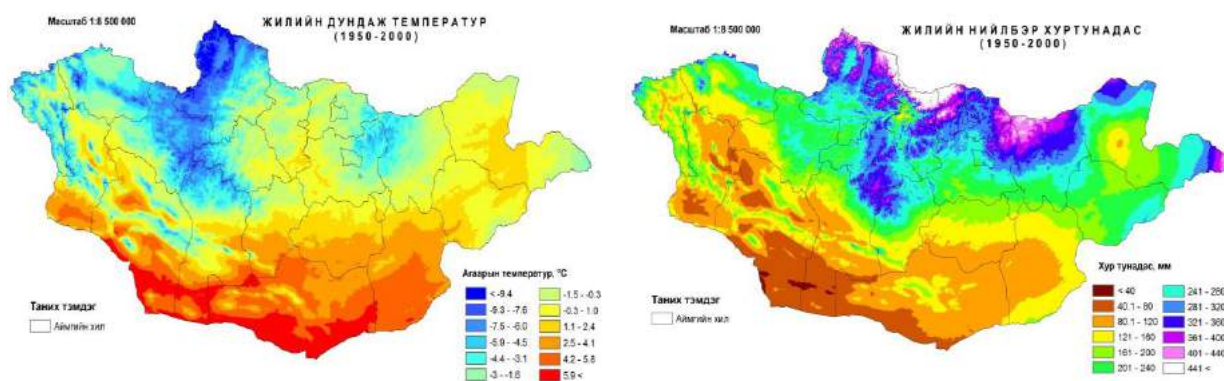
Дэлхийн хэмжээний өндөр нарийвчлалтай грид мэдээг Монгол орноор боловсруулсан үнэлгээ

Тодорхой нэг судалгаанд уур амьсгалын элементийн орон зайн нарийвчлал нь мэдээний хэрэглээ, боломжоос хамаарч байдаг. Ихэнх судалгаанд орон зайн маш өндөр нарийвчлал нь $\leq 1\text{км}^2$ (fine, $\leq 1\text{км}^2$) байх мэдээллийг байгаль орчны хувьсал, өөрчлөлтөнд зайлшгүй шаардлагатай. Орон зайн нарийвчлал муу мэдээлэл хэрчигдэл ихтэй хотгор гүдгэр сайн дүрслэгддэггүй, харин орон зайн өндөр нарийвчлалтай мэдээлэл нь хэрчигдэл багатай хотгор гүдгэр, уур амьсгалын параметрийн градиентыг харьцангуй өндөр нарийвчлалтай тооцдог.

Гэхдээ тэрхүү өндөр нарийвчлалтай мэдээ нь хязгаарлагдмал бөгөөд Дэлхийн өндөр хөгжилтэй улс орнуудаас АНУ, Авсрали, Япон улсад дэлхийн болон төв азийг хэмжээний грид мэдээлэл байдаг. Иймээс тухайн мэдээллийг Монгол орны нутаг дэвсгэрээр боловсруулж, харьцуулалт, үнэлгээ өгөх нь маш чухал юм.

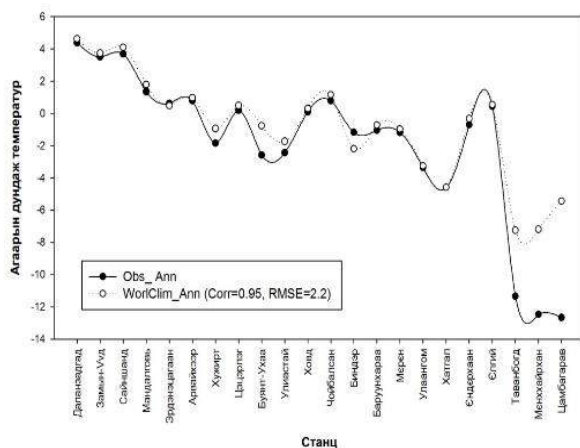
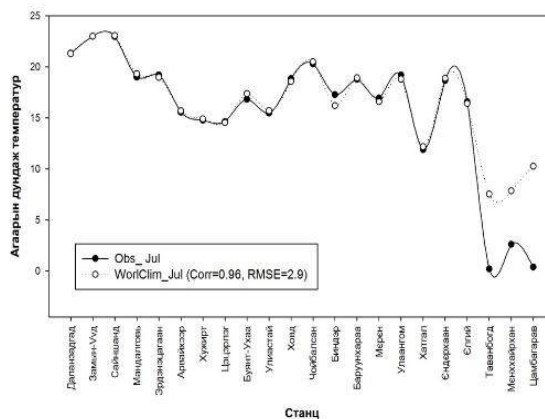
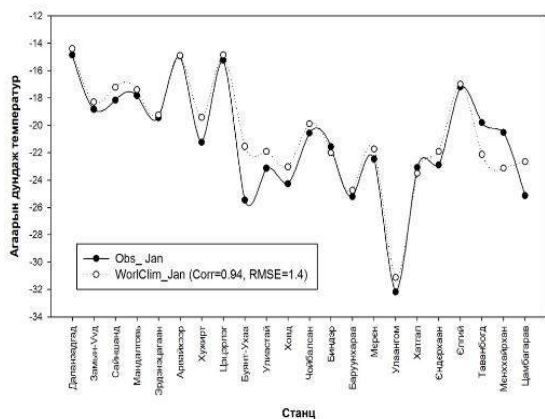
WorldClim. АНУ-ын 'Калифорны Их Сургууль', Австрали улсын 'University of Queensland' сургуулиудын хамтарсан эрдэмтэд ANUSPLIN загвараар дэлхийн хуурай газраар 1950-2000 оны олон жилийн дундаж утгаар дундаж орныг орон зайн улам нарийвчлан $0.010^\circ \times 0.010^\circ$ ($\sim 1.0\text{км}$) маш өндөр нарийвчлалтай, цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтай тооцсон байна (Robert J. Hijmans et al, 2005).

Зураг 220-т 1950-2000 оны олон жилийн дундаж аномаль утга жилийн дундаж агаарын температур, жилийн нийлбэр хур тунадасыг харуулав.



Зураг 220. Агаар дундаж температур, нийлбэр хур тунадасны тархалт(1950-2000)

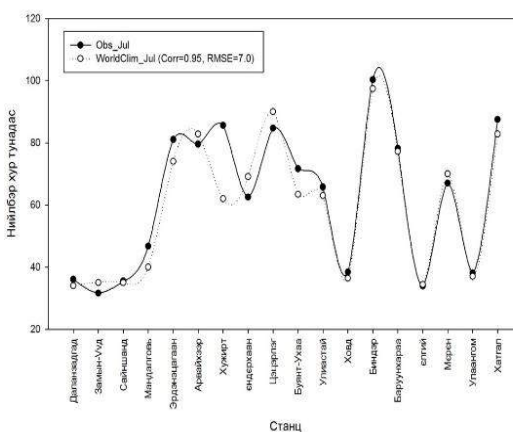
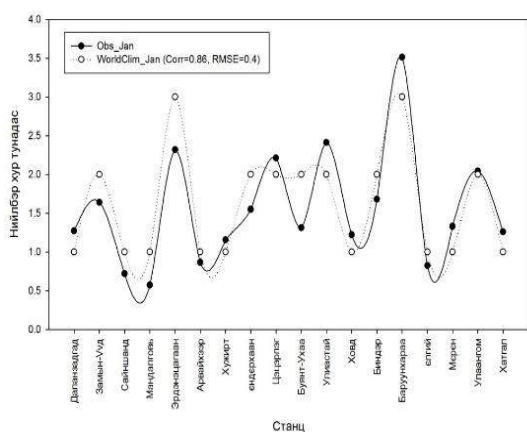
Цаг уурын 19 станцын 51 жилийн тасралтгүй цуваатай, мөстлийн автомат 3 станцын агаарын дундаж температур, нийлбэр хур тунадасны орон зайн корреляцын илтгэлцүүр болон дундаж квадрат алдааг тооцов (**Зураг 221-222**).

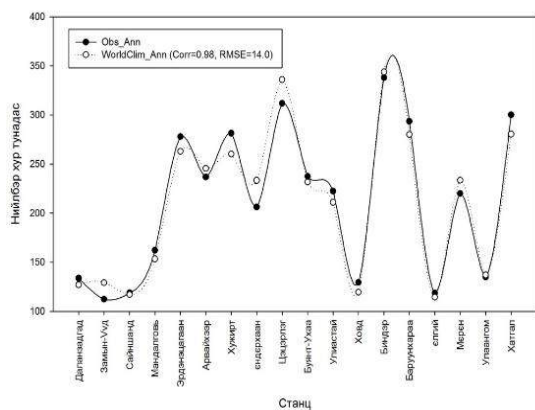


Тайлбар: **Obs** – Ажиглалтын мэдээ, **WorldClim** – Маш өндөр нарийвчлалтай 1, 7-р сар болон жилийн дундаж агаарын

Зураг 221. 51-н жилийн дундаж ажиглалт болон WorldClim-ын агаарын дундаж температур

Зураг 5-аас харахад 1, 7-р сар болон жилийн дундаж агаарын температурын орон зайн корреляцын итгэлцүүр 0.94-0.96, харин дундаж квадрат алдаа 1.4-2.9°C байна. Гэхдээ далайн түвшинээс 2500м-ээс дээш байрлалтай өндөр уулын станцын ажиглалтын мэдээнээс харьцангуй их дулаан тооцоолсон харагдаж байна.





Тайлбар: **Obs** – Ажиглалтын мэдээ,
WorldClim – Маш өндөр нарийвчлал буюу 1, 7-р сар болон жилийн нийлбэр хур тунадас, мм

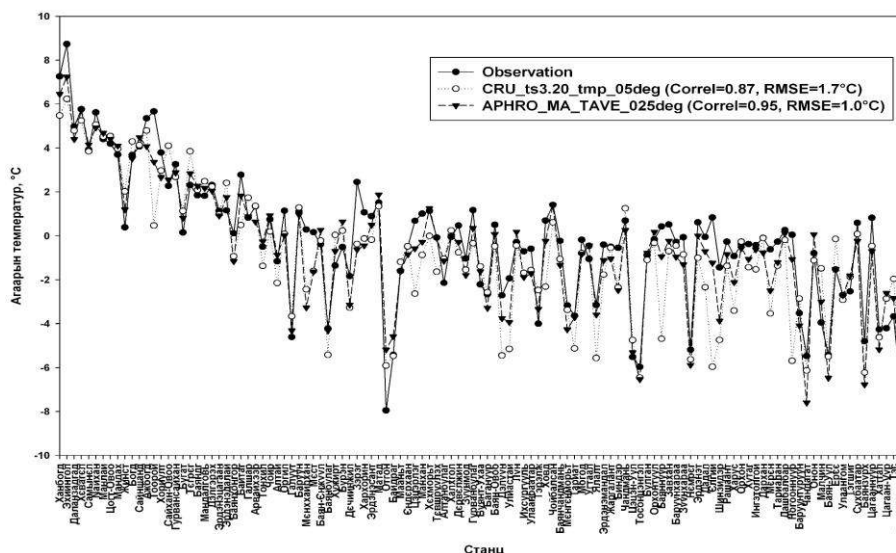
Зураг 222. 51-н жилийн дундаж ажиглалт болон WorldClim-ын нийлбэр хур тунадас

Зураг 222-оос харахад 1, 7-р сар болон жилийн нийлбэр хур тунадасны орон зайн корреляцийн итгэлцүүр 0.86-0.98, харин дундаж квадрат алдаа 0.4-14.0мм байна.

Climate Research Unit (CRU) болон Asian Precipitation (APHRODITE). Зүүн Английн Их сургуулийн уур амьсгалын судалгааны хэсгийн (Climate Research Unit, CRU) бэлтгэсэн дэлхийн хэмжээний орон зайн $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ (~55.6км) өндөр нарийвчлалтай, цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтай мэдээллийг уур амьсгалын 6 элементээр (агаарын дундаж, их, бага температур, хур тунадас гэх мэт) үүсгэсэн.

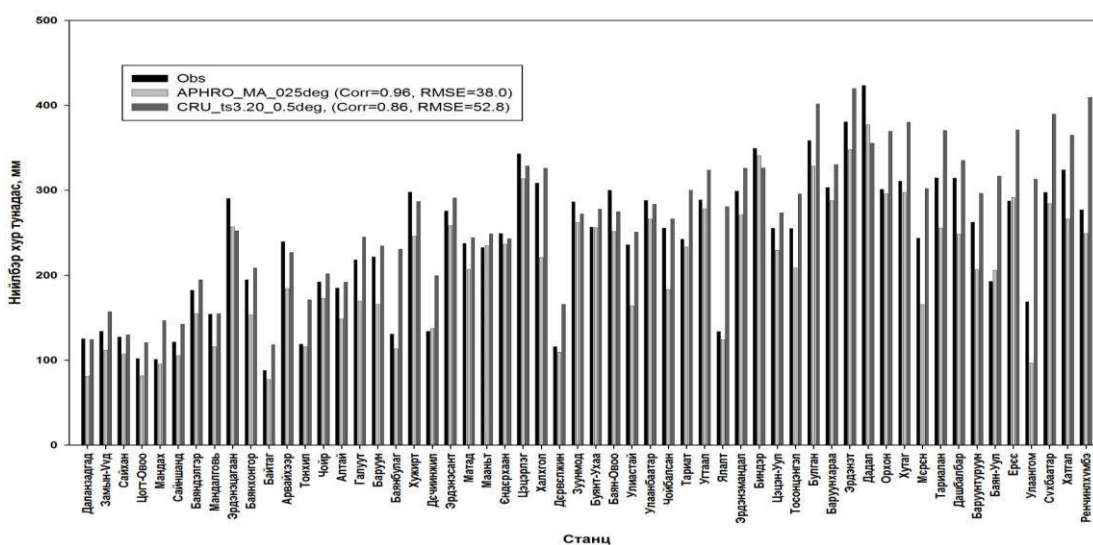
Япон улсын Цукуба хотын Цаг Уурын Судалгааны Хүрээлэнгийн судлаачид Азийн хэмжээнд цаг уурын ажиглалтын хоногийн нийлбэр хур тунадасны мэдээнд тоон прогнозын статистик буулгалт хийж, дундаж орныг орон зайн $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ (~27.8км)-ын өндөр нарийвчлалтай 57 жилийн хоногийн нийлбэр тунадасны грид (APHRODITE), мөн дундаж орныг орон зайн $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ (~27.8км)-ын өндөр нарийвчлалтай 47 жилийн хоногийн дундаж температурын грид үүсгэсэн байна (Yatagai et al, 2009).

Өндөр нарийвчлалтай Climate Research Unit (CRU)-ын $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ (~55.6км), Asian Precipitation— Highly Resolved Observational Data Integration Towards the Evaluation of Water Resources (APHRODITE)-ын $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ (~27.8км) жилийн нийлбэр хур тунадас, агаарын температур 1981-2000 оны хооронд, монгол орны бүс нутгийн төлөөлсөн, олон жилийн цуваатай цаг уурын 57 станцын жилийн нийлбэр хур тунадас, жилийн дундаж агаарын температурыг 1981-2000 оноор авч CRU, APHRODITE-ын ойролцоо грид утгуудтай харьцуулсан болно (**Зураг 223-224**).



Зураг 223. Жилийн дундаж агаарын температур (1981-2000)

Тайлбар: **Observation** – Ажиглалтын мэдээ, **APHRO_MA_TAVE_025deg** - Asian Precipitation Highly Resolved Observational Data Integration Towards the Evaluation of Water Resources (APHRODITE)-ын $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ (~27.8км) мэдээ, **CRU_ts3.20_0.5deg** - Climate Research Unit (CRU)-ын $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ (~55.6км) мэдээ, градус



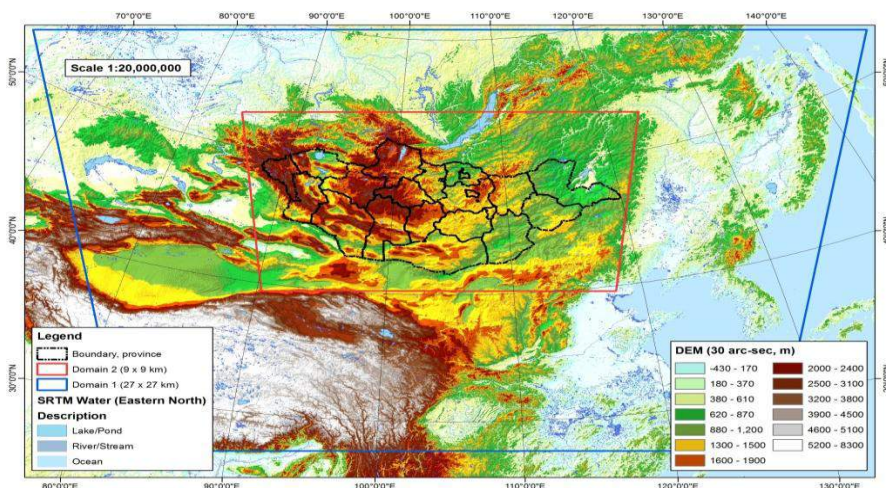
Зураг 224. Жилийн нийлбэр хур тунадас (1981-2000)

Тайлбар: **Obs** –Ажиглалтын мэдээ, **APHRO_MA_025deg** - Asian Precipitation Highly Resolved Observational Data Integration Towards the Evaluation of Water Resources (APHRODITE)-ын $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ (~27.8км) мэдээ, **CRU_ts3.20_0.5deg** - Climate Research Unit (CRU)-ын $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ (~55.6км) мэдээ, мм

Зураг 224-өөс харахад жилийн нийлбэр хур тунадасны орон зайн корреляцын итгэлцүүр 0.86-0.96, харин дундаж квадрат алдаа 38.0-52.8мм байна. APHRODITE-ын $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ (~27.8км) нарийвчлалтай мэдээ нь Climate Research Unit (CRU)-ын $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ (~55.6км) мэдээнээс харьцангуй өндөр нарийвчлалтай, алдаа багатай тооцоолсон байна.

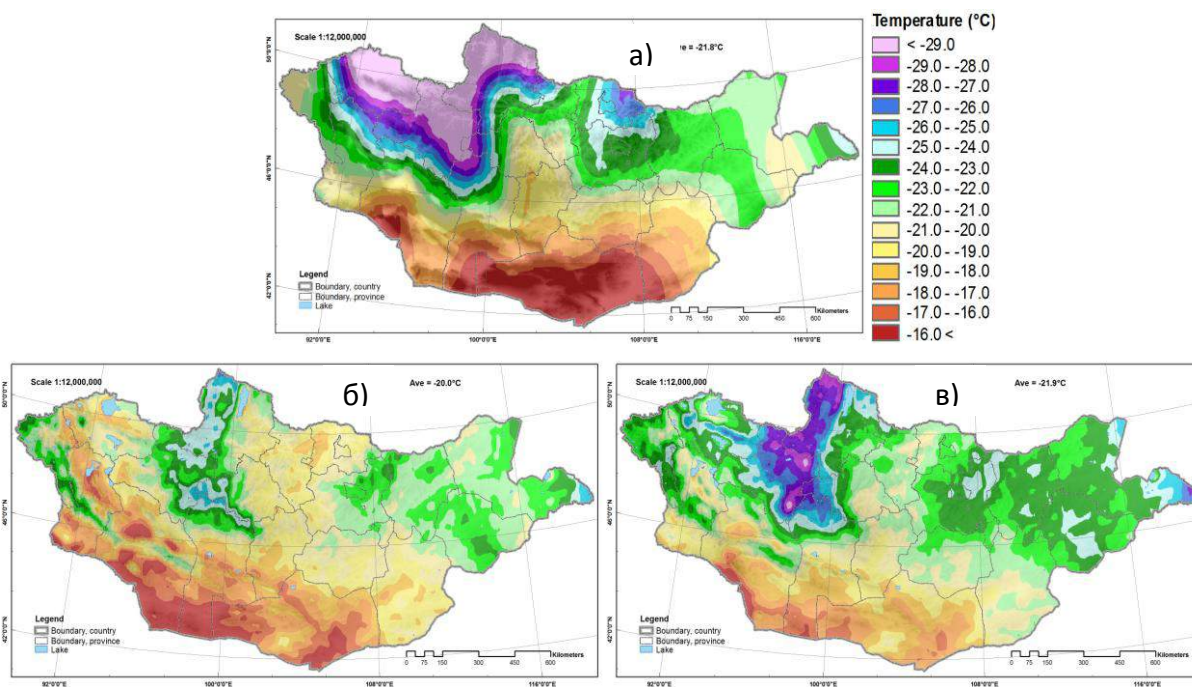
Динамик буулгалт

Бүс нутгийн уур амьсгалын загвар буюу WRF(Weather Research Forecast)-ийн оролтонд NCEP/NCAR, FNL (Final)-ийн 2007 оны 1-р саны 1-нээс 2011 оны 12-р сарын 31-ний хоорондох 6 цаг тутмын мэдээг анхны нөхцөл болон захын нөцлийн утгаар сонгон, сарын давтамжтайгаар(spin-up period нь 3 өдөр) дээр дурьдсан жилүүдэд цаг тутмаар бодуулсан. WRF-ыг бодуулахдаа 2 үндсэн домэйнээр бодуулсан ба **Зураг 225-т** харуулав.



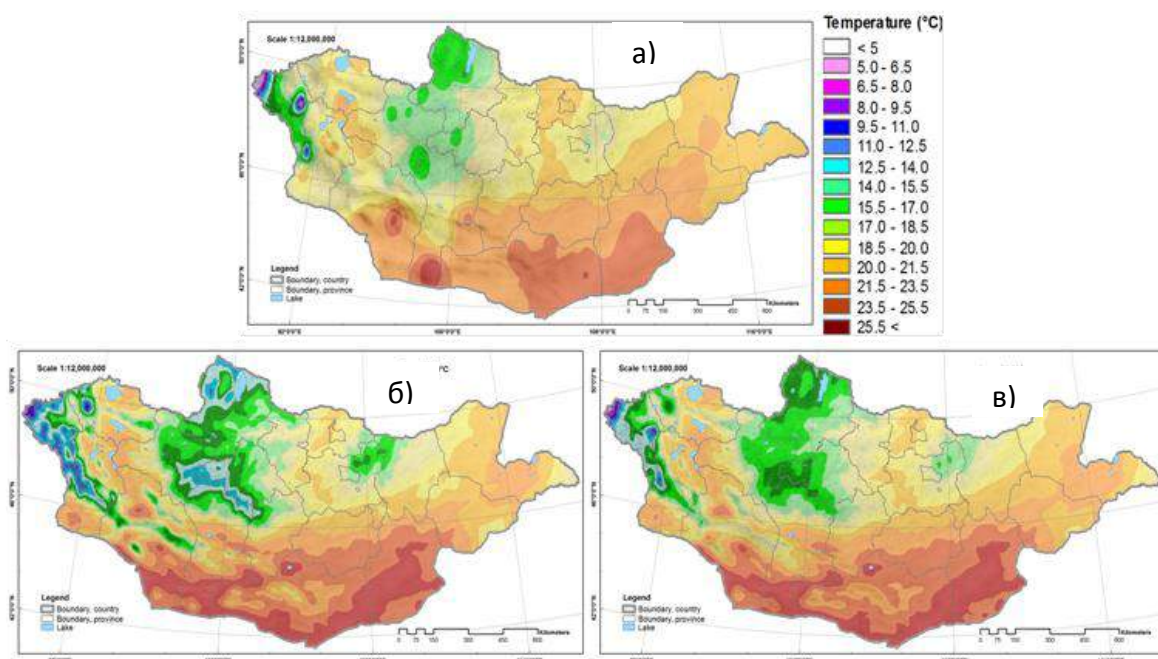
Зураг 225. Сонгосон домэйн, цэнхэр шугам 1-р домэйн, улаан шугам 2-р домэйн

WRF 9x9 км нарийвчлалтай динамик буулгалт, тайлалын үр дүнд статистик засвар, дундаж болон тооцоглогдоогүй алдааны засвар хийж, мөн обьектив анализ хийсэн. 2007-2011 оны 5 жилийн дундаж 1 ба 7-р сарын агаарын температурын динамик буулгалт, статистик засвар хийсэн үр дүнг **Зураг 226-227-д** харуулав.



Зураг 226. Нэгдүгээр сарын дундаж температурын тархалт (2007-2011)

Тайлбар: **а)** – ажиглалт (G_Obs), Ave=-21.8°C **б)** – засвар хийгээгүй WRF (U_WRF), Ave=-20.0°C, **в)** – засвар хийсэн WRF (C_WRF), Ave=-21.9°C



Зураг 227. Долдугаар сарын дундаж температурын тархалт (2007-2011)

Тайлбар: **а)** – ажиглалт (G_Obs), Ave=20.2°C, **б)** – засвар хийгээгүй WRF (U_WRF), Ave=19.8°C, **в)** – засвар хийсэн WRF (C_WRF), Ave=20.3°C

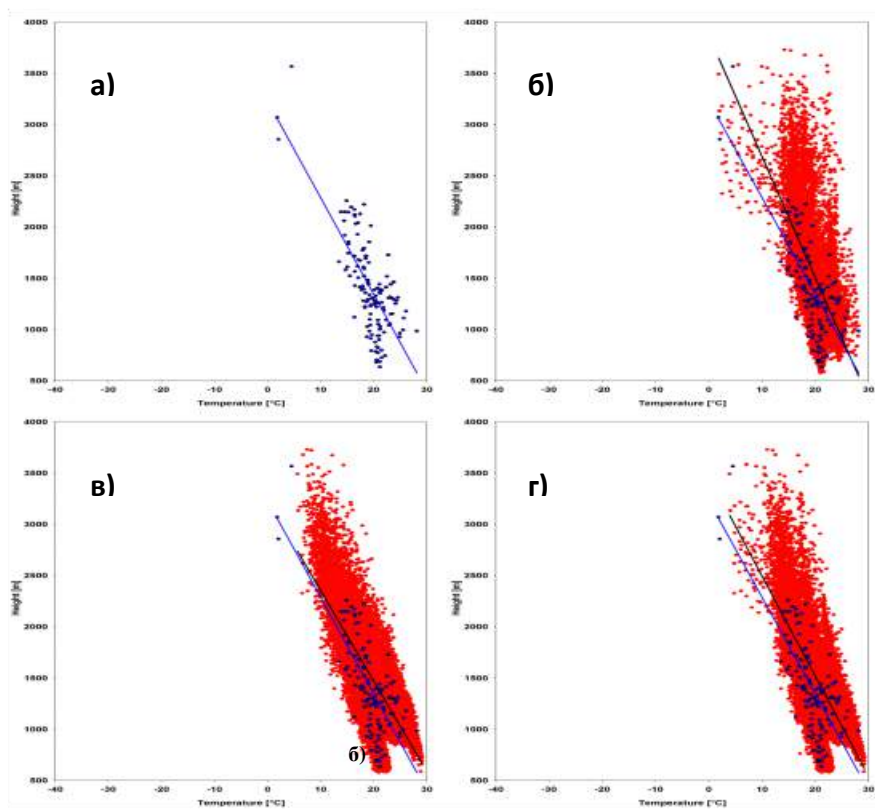
Статистик засварын үр дүн (Зураг 228в, 229в)-аас харахад сарын дундаж агаарын температурыг харьцангуй сайн тооцоолсноос гадна засварлаагүй WRF загварын үр дүнг бодит ажиглалтын мэдээ рүү ойртуулж, тооцсон байна (тодорхойлолт; ажиглалтын агаарын температурын мэдээгээр засварласан харьцуулалт байх болно). Өөрөөр хэлбэл, динамик бүүлгалтын давуу тал нь нарийн төвөгтэй рельефийг тооцоолж, сарын дундаж агаарын температурыг нарийвчилдаг.

Түүнээс гадна ажиглалт болон грид (G_Obs), засварлаагүй (U_WRF), засварласан (C_WRF) –ын сарын дундаж агаарын температурын өндрийн хамаарлын тархалтын графیکیг Зураг 230-т үзүүлэв. Зураг 230б –ээс харахад ажиглалтын мэдээгээр тооцоолсон грид (G_Obs) сарын дундаж агаарын температур өндрөөс хамаарсан тархалт тодорхой харагдаж байгаа ч босоо чиглэлийн утга ихээх хамаарч газрын гадаргын байдлын нөлөөлөл тооцогдохгүй байна.

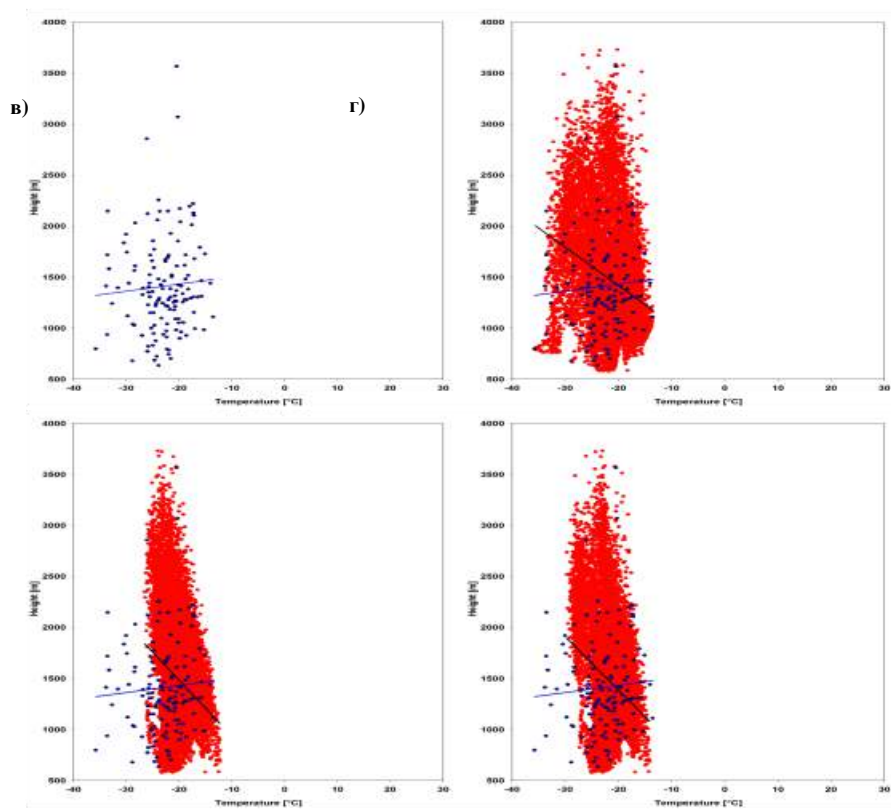
Зураг 231в –д үзүүлсэн тооцоолсон агаарын температур өндөр ихсэхэд буурч байгаа нь ажиглалтын (Зураг 231а) мэдээтэй адил байгаа хэдий ч ажиглалт болон загварын үр дүнгийн аль алинд нь регрессийн шугамын хоорондын зай багассан байна.

Ерөнхийдөө температурын босоо шатлуур өндрөөшөө эерэг буюу $\gamma > 0$ байдаг, гэвч зураг 13а –д сарын дундаж агаарын температурын босоо шатлуур сөрөг буюу $\gamma < 0$ байна. Ер нь зураг 13а –аас бусад бүх зурагт температурын босоо шатлуур эерэг байна.

Энэхүү сарын дундаж агаарын температурын ер бусын тархалтанд температурын инверс нөлөөлсөн байж болно.



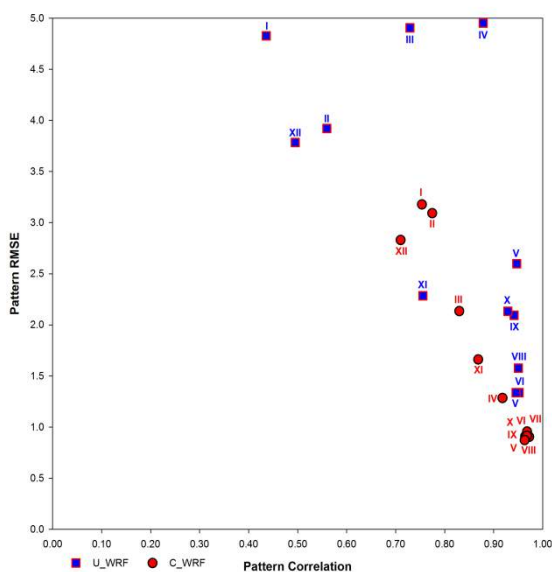
Зураг 228. 7 дугаар сарын дундаж агаарын температурын өндрийн хамаарлын тархалт а) ажиглалт, б) грид, в) засварлаагүй U_WRF, г) засварласан C_WRF



Зураг 229. 1 дүгээр сарын дундаж агаарын температурын өндрийн хамаарлын тархалт а) ажиглалт, б) грид, в) засварлаагүй U_WRF, г) засварласан C_WRF

Энэ хэсэгт үр дүнг ажиглалтын мэдээгээр үнэлэхдээ WRF загвар (U_WRF) болон засварласан C_WRF –ын үр дүнг хоёр хэмжээст интерполяцын аргаар ажиглалт цэг (цаг уурын станц) рүү хөрвүүлж, статистик дүн шинжилгээ хийх аргыг ашиглан аномаль корреляцийн итгэлцүүр (ACC), орон зайн корреляцийн итгэлцүүр (PCC), дундаж квадрат алдаа (RMSE) зэрэг статистик үзүүлэлтүүдийг тооцоолов.

Дундаж квадрат алдаа (RMSE) болон орон зайн корреляцийн итгэлцүүр (PCC) хоорондын тархалтын графикийг зураг 14 –д харуулсан ба улаан хүрээтэй, цэнхэр өнгийн тэгш өнцөгт нь загвар U_WRF –ын үр дүн, харин цэнхэр хүрээтэй улаан өнгийн тойрог нь засварласан C_WRF –ын үр дүн тус тус илэрхийлнэ. **Зураг 230** –д харуулсан цаг уур болон мөстлийн судалгааны 133 ажиглалтын мэдээгээр гарсан үр дүнг үнэлсэн.



Зураг 230. Орон зайн корреляцийн итгэлцүүр ба дундаж квадрат алдааны хоорондох тархалтын график, улаан хүрээтэй-цэнхэр өнгийн тэгш өнцөгт нь загвар U_WRF, харин цэнхэр хүрээтэй улаан өнгийн тойрог нь засварласан C_WRF

Хүснэгт 61. Жилийн агаарын температурын статистик үзүүлэлт

Статистик үзүүлэлт	Загвар U_WRF	Засварласан C_WRF
Орон зайн корреляцийн итгэлцүүр (ACC)	0.79	0.89
Дундаж квадрат алдаа (RMSE), °C	3.0	1.6

Хүснэгт 61- аас харахад засварлаагүй U_WRF –ын үр дүнг ажиглалтын мэдээгээр засварласан C_WRF –ын үр дүн орон зайн корреляцийн итгэлцүүр (ACC) 0.79 –аас 0.89 болж нэмэгдэж, харин дундаж квадрат алдаа (RMSE) 3.0°C -аас 1.6°C хүртэл багассан байна. Тиймээс энэ судалгаанд ашигласан статистик засварын арга нь динамик загварын аномаль агаарын температурын өөрчлөлтийн хэмжээг сайжруулж, ажиглалтын мэдээтэй төстэй өөрчлөлтийг илэрхийлэх нь ач холбогдолтой байна.

Загвар WRF –ын дундаж квадрат алдаа 1 дүгээр сараас 12 дугаар сард 3.0-4.8°C байсан ч засварласны дараа 1.6-2.4°C болж дундаж квадрат алдаа 1.4-2.4°C -аар багассан.

Ажиглалтын мэдээ, WRF загвар, засварласан үр дүнг орон зайд дундажлан сар бүрээр **Хүснэгт 62-т** харууллаа.

WRF загварын үр дүнгээс харахад 2 дугаар сараас 11 дүгээр сар хүртэлх нормыг ажиглалтын мэдээнээс харьцангуй хүйтэн босгож байсан бол харин жилийн үлдсэн 1 ба 12 дугаар сард харьцангуй дулаан босгосон байна. Ялангуяа 3 ба 4 дүгээр сарыг нэлээд

буюу 3°C –аар хүйтрүүлсэн байна. Ер нь динамик загвар WRF Монгол орны агаарын температурыг хүйтэн талдаа босгож байна.

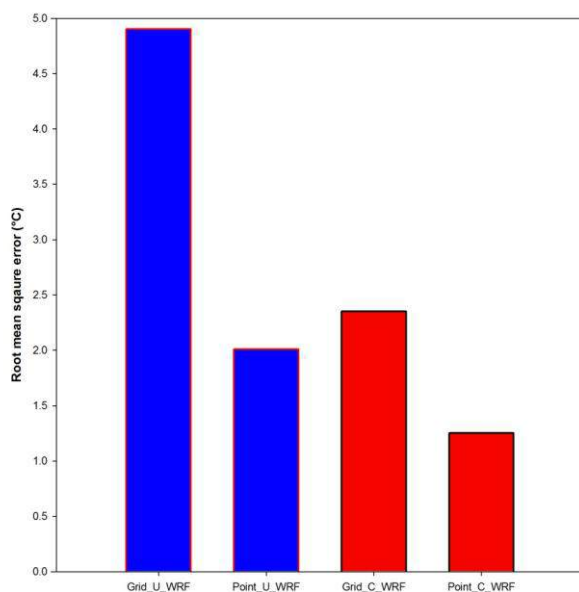
Гэсэн хэдий ч, засварлаагүй U_WRF –ын жилийн дундаж агаарын температурын орон зайн дундаж -0.9°C байсан. Харин засварласан C_WRF –ын жилийн дундаж агаарын температурын орон зайн дундаж 0.4°C нь ажиглалтаас 0.2°C –ын зөрөөтэй болгож сайжруулсан байна.

Хүснэгт 62. 133 станцаар дунджилсан сарын дундаж агаарын температур, °C

Мэдээ/сар	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Жил
Ажиглалт	-22.9	-16.8	-7.9	3.5	10.5	17.0	19.2	16.7	10.2	1.6	-9.4	-18.9	0.2
U_WRF	-20.3	-17.4	-12.0	-1.2	8.2	16.4	18.8	15.7	8.5	-0.2	-10.1	-17.7	-0.9
C_WRF	-22.2	-16.3	-7.6	3.5	10.6	16.9	19.1	16.7	10.2	1.6	-9.1	-18.3	0.4

Хүснэгт 62-гаас харахад WRF динамик загварын үр дүнд статистик засвар, дундаж болон тооцоглогдоогүй алдааны засвар хийснээр ажиглалт утга руу дөхсөн байна.

Загварын үр дүнд засвар хийгээгүй болон засвар хийсний дараа цаг уурын ажиглалтын болон мөстлийн судалгааны 133 станцын мэдээгээр харьцуулсан үр дүнг **Зураг 231-т** харуулав.



Зураг 231. Загварын үр дүнд засварлаагүй болон засварласан мэдээг ажиглалтын мэдээтэй харьцуулсан үр дүнд

Орон зайн корреляцын итгэлцүүр анх 0.79 байсан бол статистик засвар хийсний дараа 0.89 болж нэмэгдсэн, харин дундаж квадрат алдаа 3.0°C-аас 1.6°C болж буурсан.

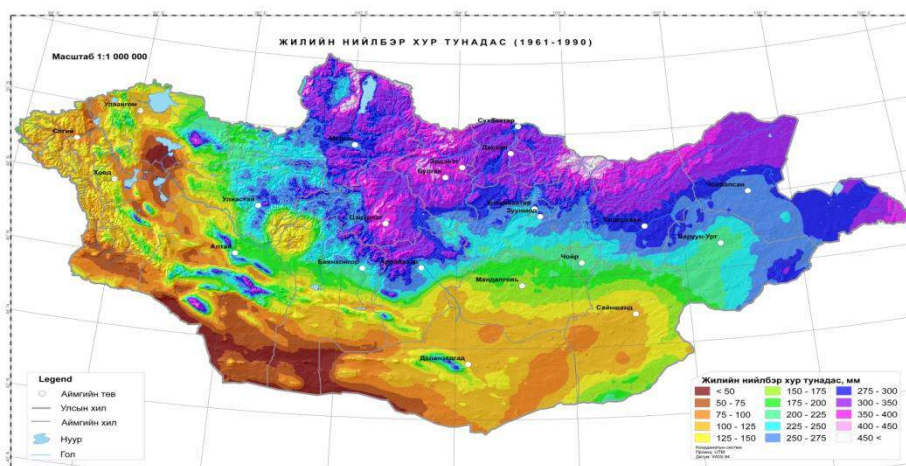
Статистик бүүлгалт

АНУ-ын Оригоны Их сургууль, “Бүс нутгийн уур амьсгалын элементийн зураглал зохиох төв” боловсруулсан PRISM (Parameter-Elevation Regressions on Independent Slopes Model) статистик загвараар өөрийн улсын хэмжээнд уур амьсгалын үндсэн 2 элемент температур, хур тунадас болон бусад элементээр дундаж орныг орон зайн 0.04°X0.04° (~4.0км) маш өндөр нарийвчлалтай, цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтай, уур

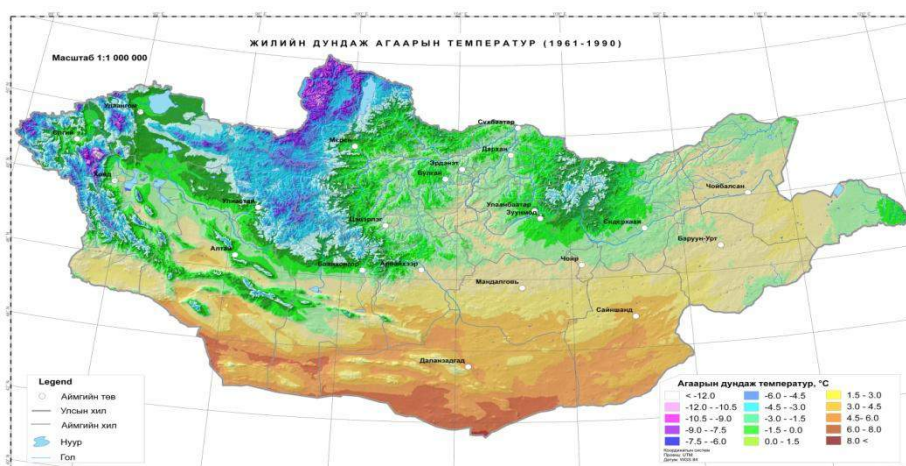
амьсгалын олон жилийн дундаж утгаар дундаж орныг орон зайн улам нарийвчлан $0.008^{\circ} \times 0.008^{\circ}$ ($\sim 0.8\text{км}$) маш өндөр нарийвчлалтай тооцсон байна (Daly et al, 2002).

Мөн АНУ-ын “Калифорны Их Сургууль”, Австрали улсын “University of Queensland” сургуулиудын хамтарсан эрдэмтэд ANUSPLIN статистик загвараар дэлхийн хуурай газраар 1950-2000 оны олон жилийн дундаж утгаар дундаж орныг орон зайн улам нарийвчлан $0.010^{\circ} \times 0.010^{\circ}$ ($\sim 1.0\text{км}$) маш өндөр нарийвчлалтай, цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтай тооцсон (Robert J. Hijmans et al, 2005).

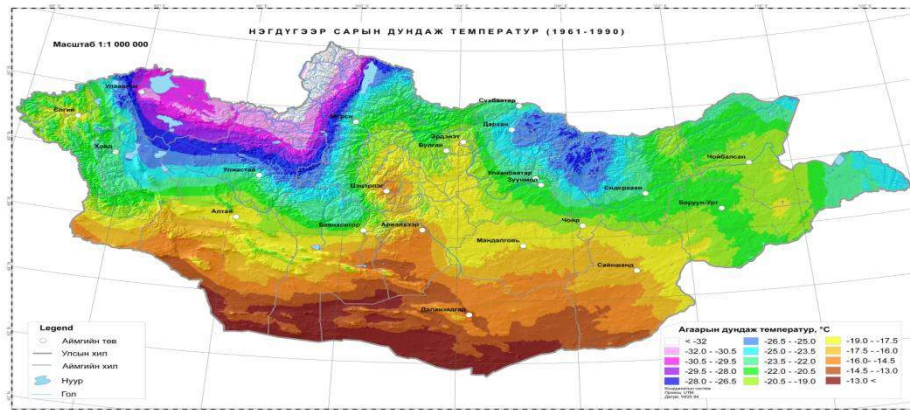
Эдгээр маш өндөр нарийвчлалтай тооцсон агаарын дундаж температур, нийлбэр хур тунадасны мэдээнд статистик засвар, дундаж болон тооцоглогдоогүй алдааны засвар, цувааны математик статистик, уур амьсгалын ялгавар, харьцуулах арга, мөн сонгомол ба тооцооны статистик магадлалын аргуудыг ашиглан Монгол орны агаарын дундаж температур (цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтай), нийлбэр хур тунадасыг дундаж орныг орон зайн $0.04^{\circ} \times 0.04^{\circ}$ ($\sim 4.0\text{км}$), маш өндөр нарийвчлалтай тархалтыг тооцоолж, уур амьсгалын нормын (1961-1990) зураг 1: 1000 000 масштабээр анхлан зохиосон (Зураг 232-245).



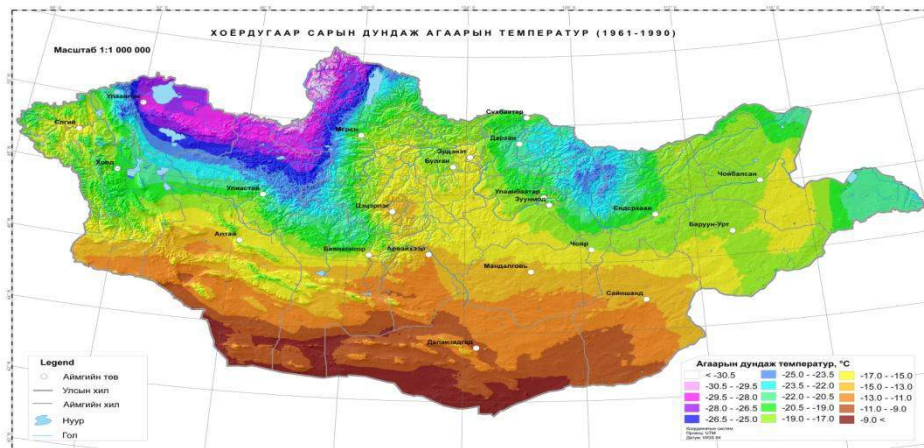
Зураг 232. Жилийн нийлбэр хур тунадасны орон зайн тархалт (1961-1990)



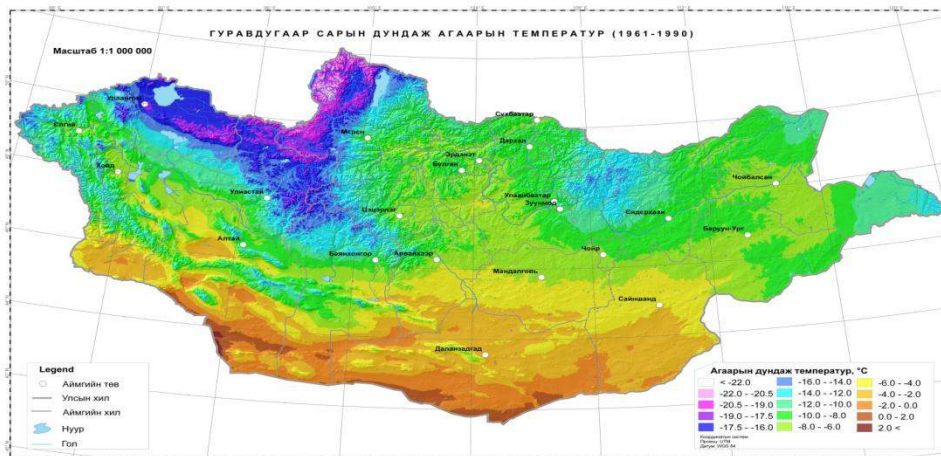
Зураг 233. Жилийн дундаж агаарын температурын орон зайн тархалт (1961-1990)



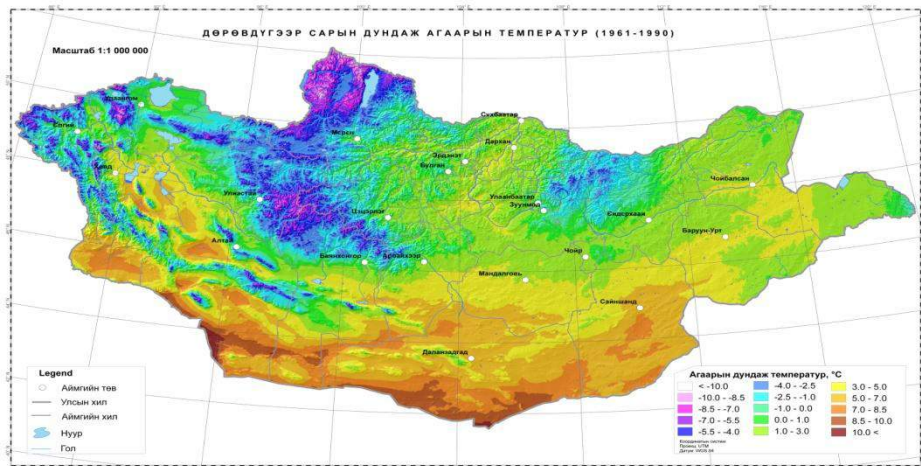
Зураг 234. Нэгдүгээр сарын дундаж агаарын температурын орон зайн тархалт (1961-1990)



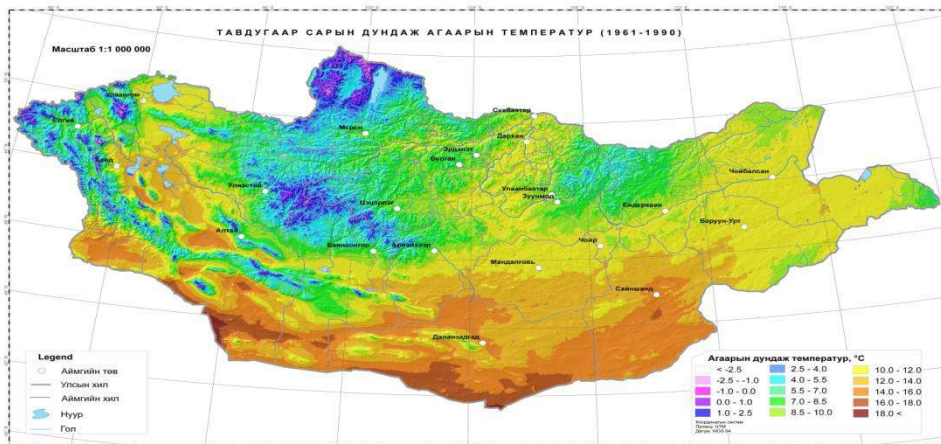
Зураг 235. Хоёрдугаар сарын дундаж агаарын температурын орон зайн тархалт (1961-1990)



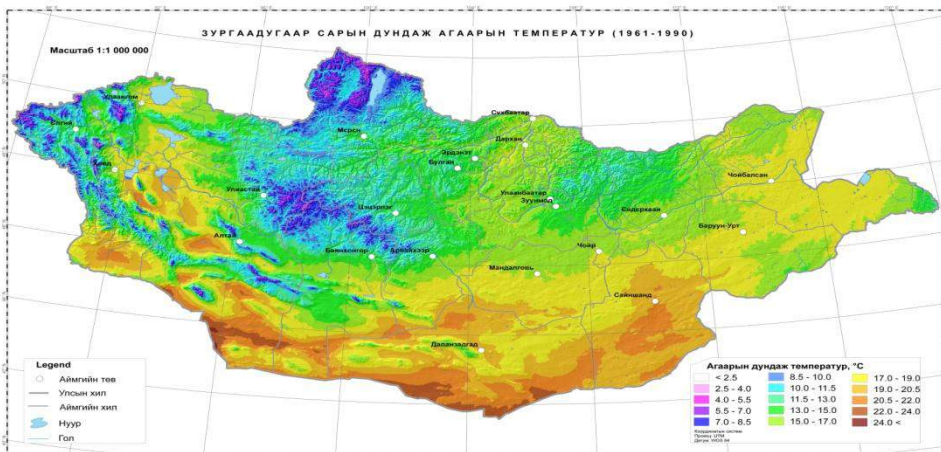
Зураг 236. Гуравдугаар сарын дундаж агаарын температурын орон зайн тархалт (1961-1990)



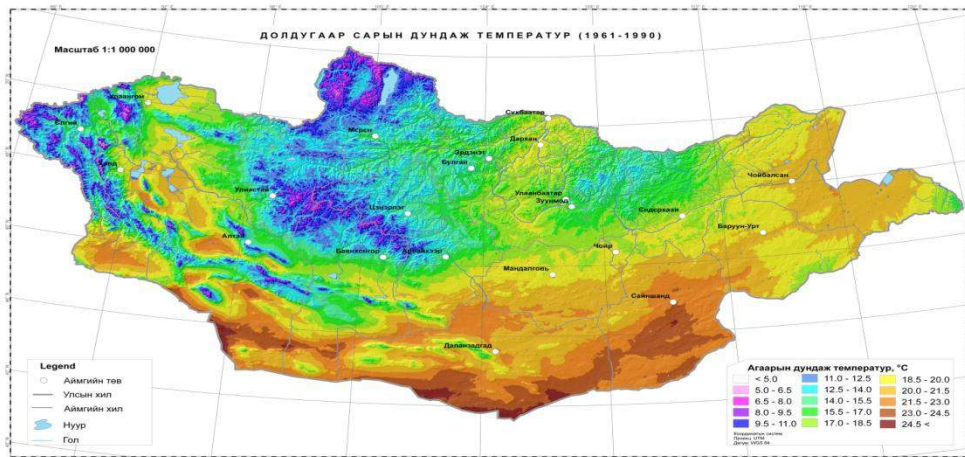
Зураг 237. Дөрөвдүгээр сарын дундаж агаарын температурын орон зайн тархалт (1961-1990)



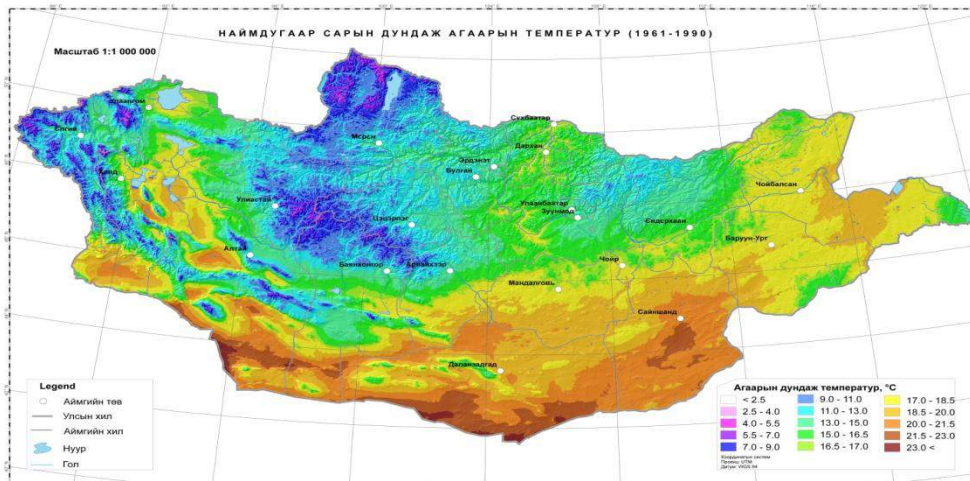
Зураг 238.Тавдугаар сарын дундаж агаарын температурын орон зайн тархалт (1961-1990)



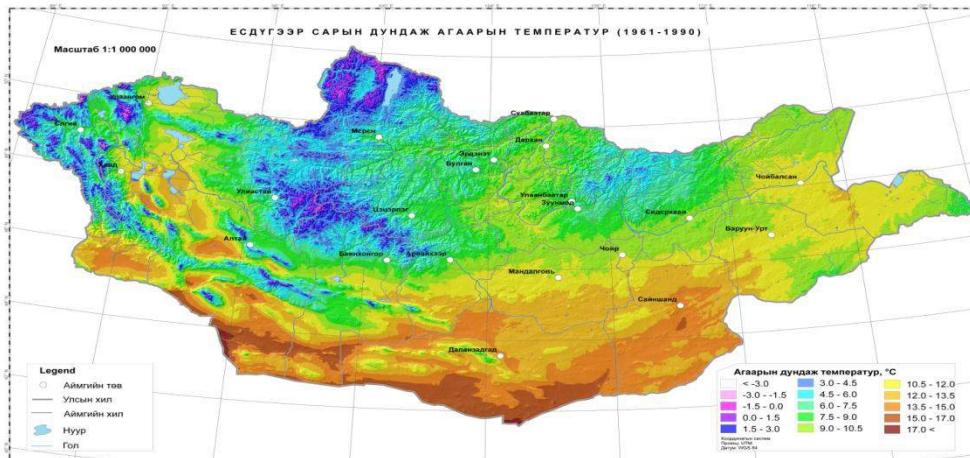
Зураг 239. Зургаадугаар сарын дундаж агаарын температурын орон зайн тархалт (1961-1990)



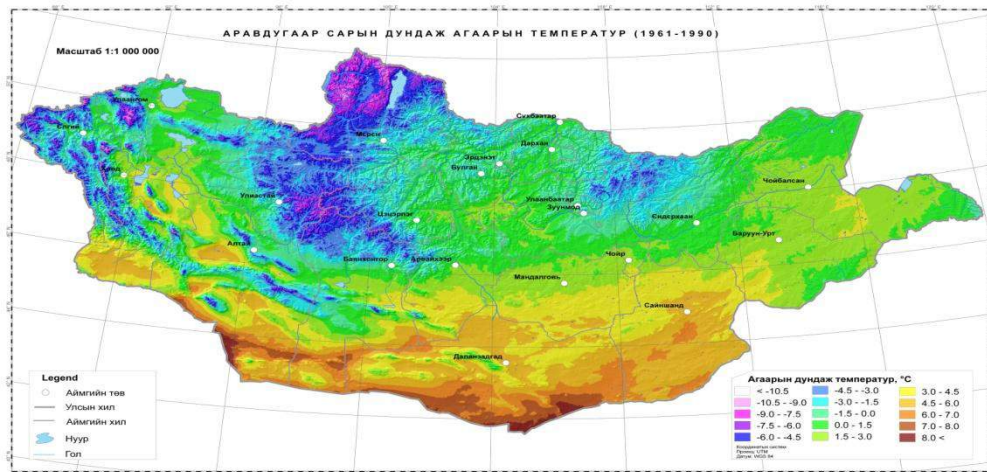
Зураг 240. Долдугаар сарын дундаж агаарын температурын орон зайн тархалт (1961-1990)



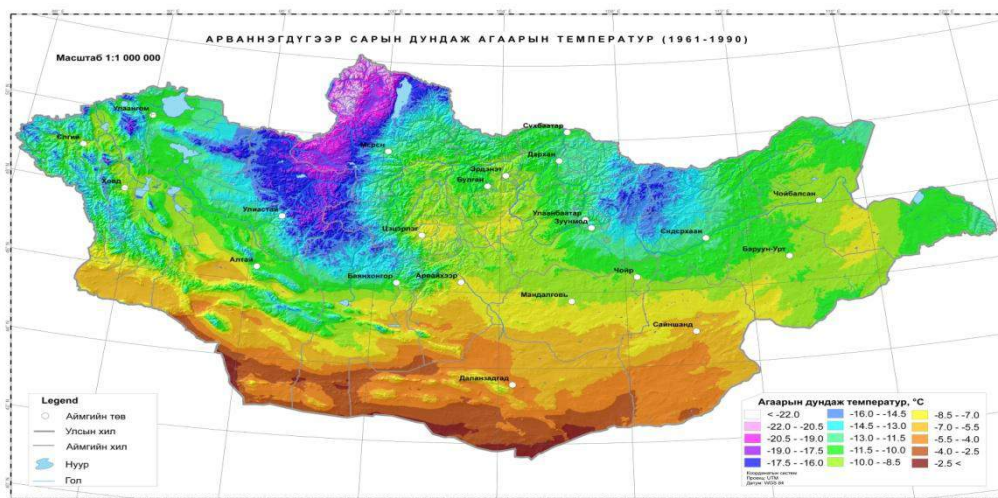
Зураг 241. Наймдугаар сарын дундаж агаарын температурын орон зайн тархалт (1961-1990)



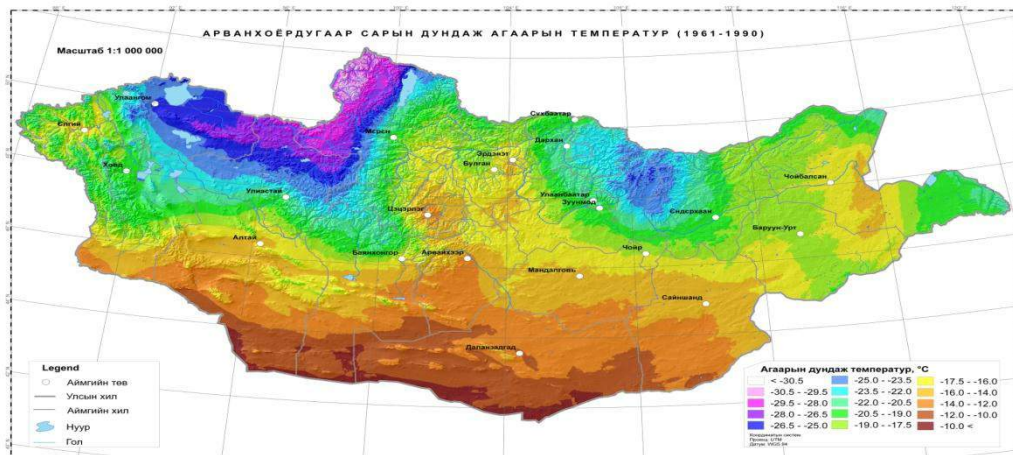
Зураг 242. Есдүгээр сарын дундаж агаарын температурын орон зайн тархалт (1961-1990)



Зураг 243. Аравдугаар сарын дундаж агаарын температурын орон зайн тархалт (1961-1990)



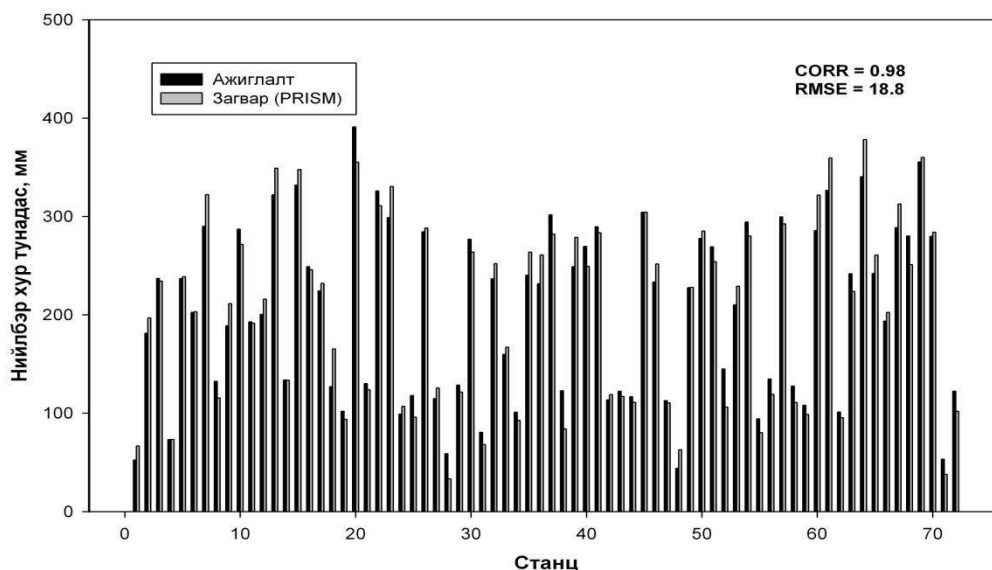
Зураг 244. Арваннэгдүгээр сарын дундаж агаарын температурын орон зайн тархалт (1961-1990)



Зураг 245. Арванхоёрдугаар сарын дундаж агаарын температурын орон зайн тархалт (1961-1990)

1961-1990 оны жилийн дундаж агаарын температур, нэгдүгээр сараас арванхоёрдугаар сарын дундаж агаарын температур, жилийн нийлбэр хур тунадасны орон зайн $0.04 \times 0.04^\circ$ (~4.0км), маш өндөр нарийвчлалтай мэдээллийг цаг уур ажиглалтын тулгуур 72 станц, мөстлийн 3 автомат станцын бодит мэдээгээр математик, статистик гол

үзүүлэлт орон зайн корреляцын итгэлцүүр болон дундаж квадрат алдааг тооцов (Зураг 246-247, Хүснэгт 63-64).

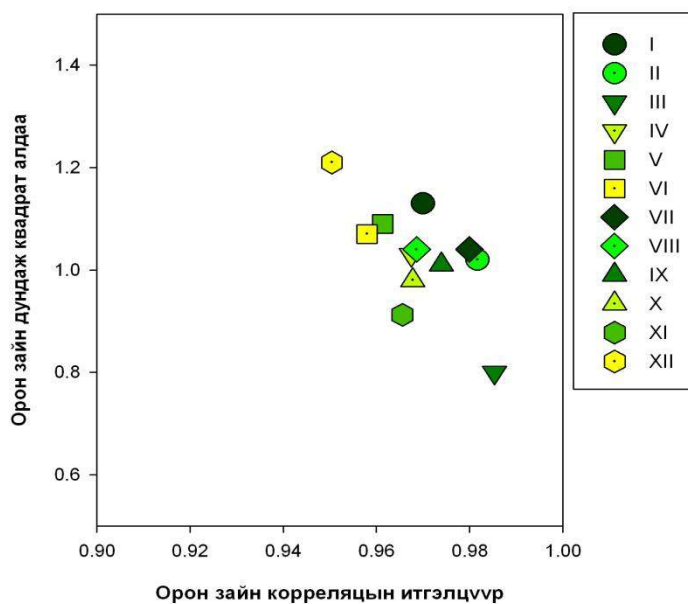


Зураг 246. Жилийн нийлбэр хур тунадасны бодит ба тооцоолсон утга

Тайлбар: **Ажиглалт** – бодит утга, мм, **Загвар (PRISM)** – тооцоолсон утга, мм

Хүснэгт 63. Орон зайн корреляцын итгэлцүүр, дундаж квадрат алдаа (хур тунадас)

Орон зайн корреляцын итгэлцүүр (ACC), Орон зайн дундаж квадрат алдаа (RMSE)	Жилийн нийлбэр хур тунадас
ACC	0.98
RMSE (мм)	18.8



Зураг 247. Агаарын дундаж температурын орон зайн корреляцын итгэлцүүр ба дундаж квадрат алдааны хоорондох тархалтын график

Хүснэгт 64. Орон зайн корреляцын итгэлцүүр, дундаж квадрат алдаа (агаарын температур)

Орон зайн корреляцын итгэлцүүр (ACC), Орон зайн дундаж квадрат алдаа (RMSE)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ж.дунд. агаарын температур
ACC	0.97	0.98	0.99	0.97	0.96	0.96	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.95	0.97
RMSE (°C)	1.1	1.0	0.8	1.0	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	1.2	1.0

Зураг 246, Хүснэгт 63-аас харахад жилийн нийлбэр хур тунадасны орон зайн корреляцын итгэлцүүр 0.98 буюу маш сайн хамааралтай, мөн орон зайн дундаж квадрат алдаа бага 18.8мм байна.

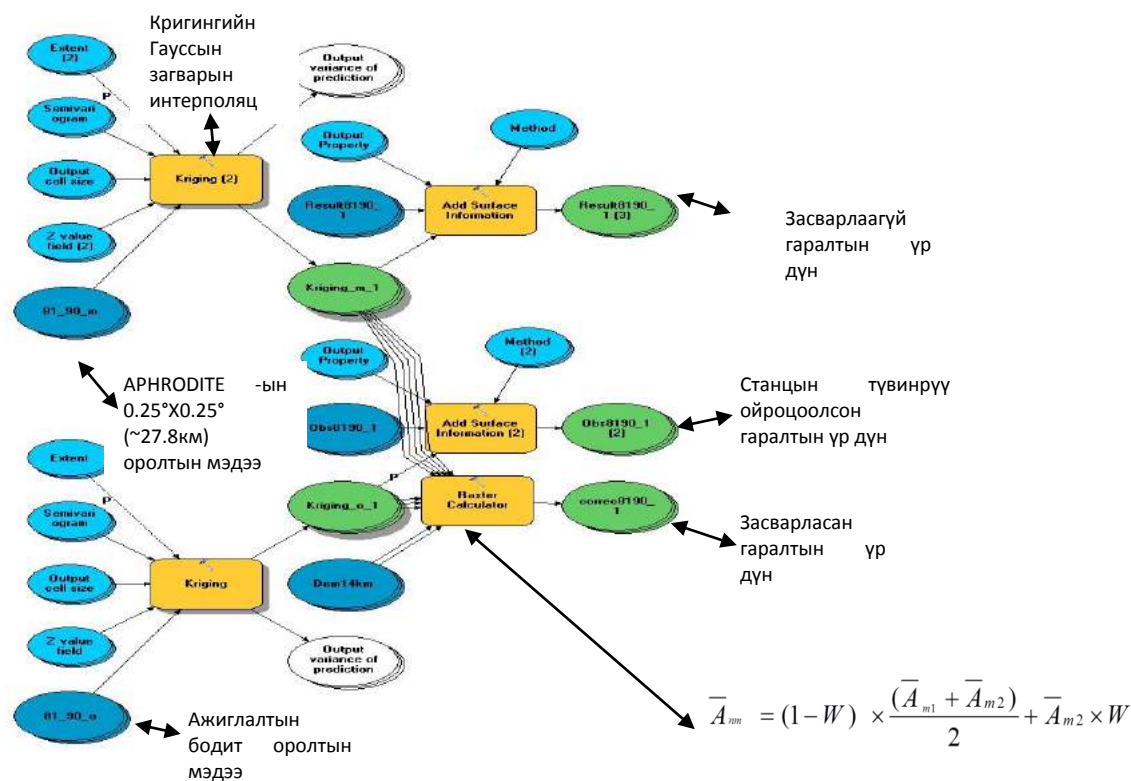
Зураг 247, Хүснэгт 64-өөс харахад жилийн дундаж болон нэгдүгээр сараас арванхоёрдугаар сарын агаарын дундаж температурын орон зайн корреляцын итгэлцүүр 0.95-0.99 буюу маш сайн хамааралтай, орон зайн дундаж квадрат алдаа харьцангуй бага 0.9-1.2°C байна.

Тиймээс энэ судалгаанд ашигласан статистик загвар, буулгалтын арга нь аномаль агаарын дундаж температур, нийлбэр хур тунадасыг орон зайн тархалтын уул зүй, газрын гадаргын байдал, орчил урсгал хамаарлыг маш сайн илэрхийлэх нь ач холбогдолтой байна.

APHRODITE-ын 0.25°X0.25° (~27.8км), цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтай сарын дундаж агаарын температурын мэдээнд бодит ажиглалтын мэдээг ашиглан дундаж утгын алдааны засвар хийх загварчлалыг газар зүйн мэдээллийн системийн программ хангамж Arc_Gis 10.1 хувилбар дээр зохиосон (**Зураг 248**). 1981-1990 оны 10 жилийн дундаж, цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтай агаарын дундаж температурыг засварлаагүй болон засварласан мэдээний орон зайн корреляцын итгэлцүүр, дундаж квадрат алдааг тооцсон (**Хүснэгт 65**).

Хүснэгт 65. APHRDITE-ын 0.25°X0.25° (~27.8км) орон зайн корреляцын итгэлцүүр, дундаж квадрат алдаа

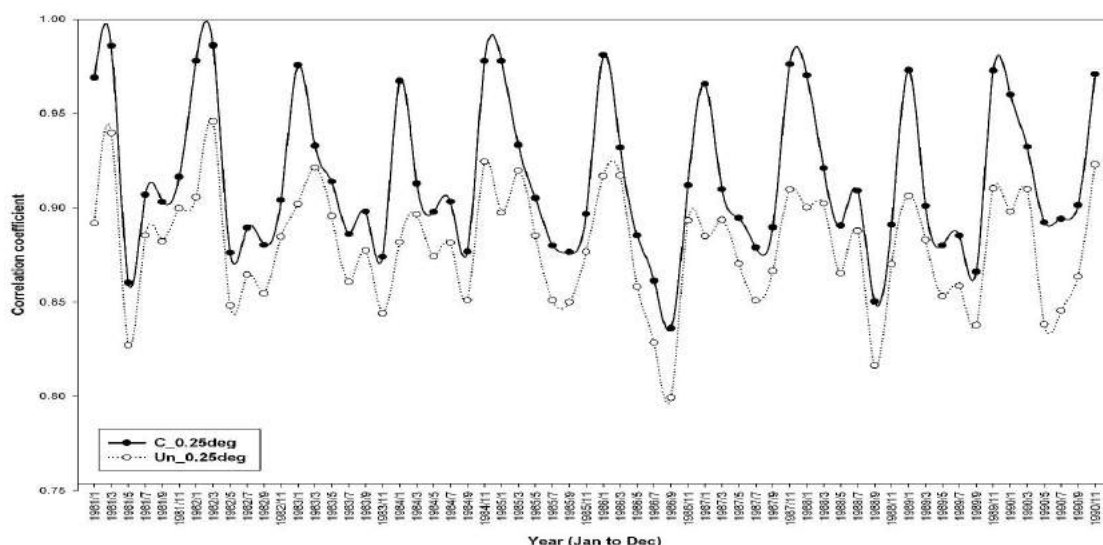
Орон зайн корреляцын итгэлцүүр, дундаж квадрат алдаа		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Жил
Орон зайн корреляцын итгэлцүүр (ACC)	Un_0.25°	0.89	0.92	0.92	0.87	0.88	0.88	0.88	0.87	0.86	0.88	0.90	0.89	0.91
	C_0.25°	0.91	0.93	0.93	0.90	0.86	0.87	0.86	0.89	0.88	0.89	0.92	0.91	0.92
Орон зайн дундаж квадрат алдаа, °C (RMSE)	Un_0.25°	2.1	1.9	1.7	1.7	1.7	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.6	1.9	1.4
	C_0.25°	2.0	2.3	2.0	1.8	2.0	2.2	2.3	2.1	1.9	1.8	1.9	2.1	1.7



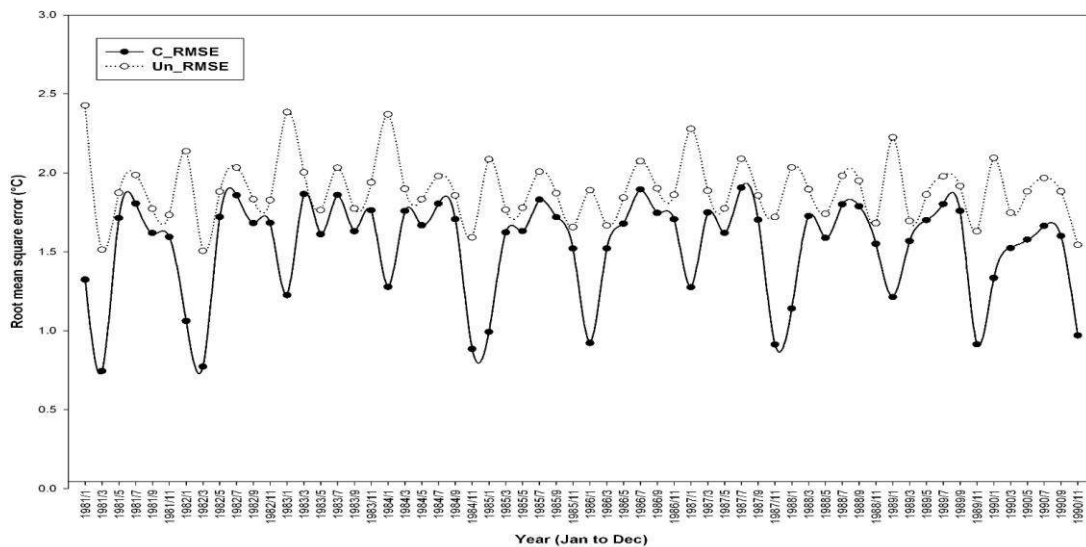
Зураг 248. Дундаж утгын алдааны засварын загварчлал

Хүснэгт 65-аас харахад дундаж утгын алдааны засвар хийсэн агаарын дундаж температур 1-4-р сар, 8-12-р сард орон зайн корреляцын итгэлцүүр ихэсч, дундаж квадрат алдаа буурсан, харин 5-7-р сарын орон зайн корреляцын итгэлцүүр буурч, дундаж квадрат алдаа ихэссэн үр дүн өгсөн.

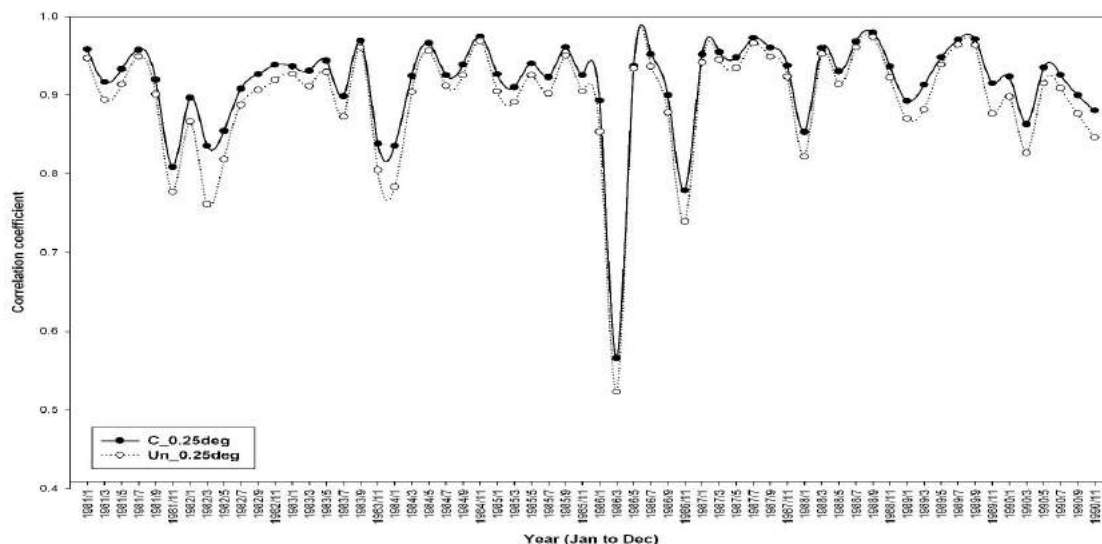
Харин тухайн жилийн сар бүрийн санамсаргүй алдаа буюу дунджаас хазайх хазайлтын алдааг Кригингийн Гауссын загварын интерполяцийн аргаар засварласан. Уг арга нь шугаман регрессийн нэг хувилбар юм.1981-1990 оны цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтай сарын дундаж агаарын температур, нийлбэр хур тунадасыг засварлаагүй болон засварласан мэдээний орон зайн корреляцын итгэлцүүр, дундаж квадрат алдааг тооцсон (Зураг 249-252).



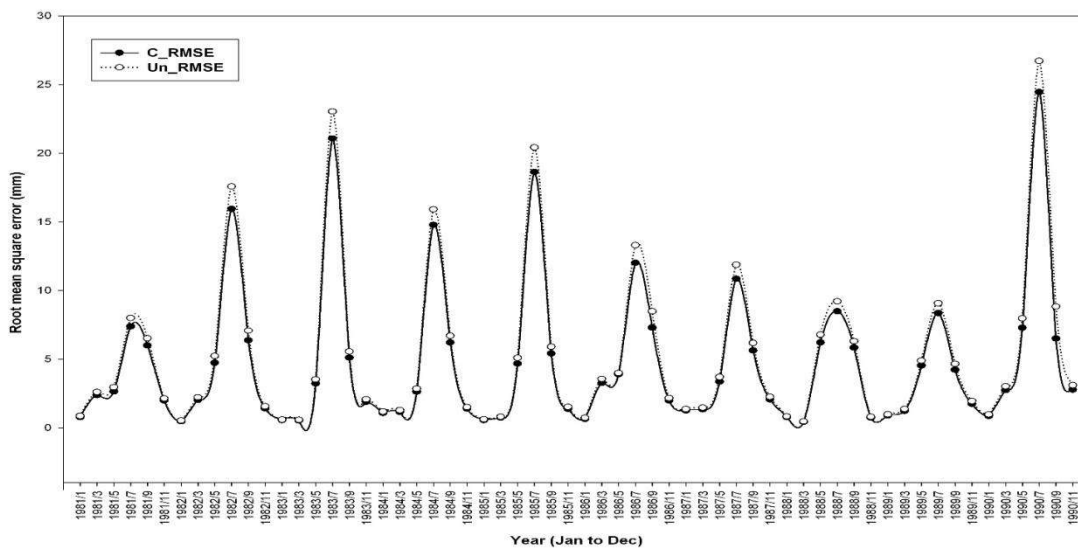
Зураг 249. Агаарын дундаж температурын орон зайн корреляцын итгэлцүүр (1981.01-1990.12сар)



Зураг 250. Агаарын дундаж температурын орон зайн дундаж квадрат алдаа (1981.01-1990.12сар)



Зураг 251. Нийлбэр хур тунадасны орон зайн корреляцын итгэлцүүр (1981.01-1990.12сар)



Зургаас харахад сарын дундаж агаарын температурын орон зайн корреляцын итгэлцүүр анх 0.80-0.95 байсан бол статистик засвар хийсний дараа 0.84-0.99 болж ихэссэн, харин дундаж квадрат алдаа 1.5-2.4°C-аас 0.7-2.2°C болж буурсан байна.

Сарын нийлбэр хур тунадасны орон зайн корреляцын итгэлцүүр анх 0.74-0.97 байсан бол статистик засвар хийсний дараа 0.78-0.98 болж ихэссэн, харин дундаж квадрат алдаа 0.4-26.7 мм-ээс 0.3-22.4 мм болж буурсан.

Дүгнэлт

Энэхүү судалгааны ажлаар Монгол орны агаарын температур, хур тунадас орон зайн тархалтыг тооцоолохын тулд Дэлхийн уур амьсгалын загварын үр дүнг бүс нутгийн уур амьсгалын загварыг ашиглан динамик буулгалт (WRF), мөн ажиглалтын эх мэдээнд статистик буулгалт (ANUSPLIN) хийхээс гадна бүс нутгийн загварын үр дүнг статистик аргаар засвар хийж, туршсан нь уур амьсгалын судалгаанд шинэлэг, үр өгөөжтэй, бүс нутгийн хувьд анхдагч болов.

Хэдийгээр өвлийн саруудын температурын инверсийн нөлөөллийг авч үзэж чадаагүй ч, динамик загвараар тооцоолсон сарын дундаж агаарын температурын систем болон санамсаргүй алдааг, өөрөөр хэлбэл дундаж утга болон дунджаас хазайх хазайлтын алдааг хоёр өөр аргаар багасгаж бодит ажиглалтын мэдээ рүү ойртуулав.

Статистик засварын арга нь динамик загварын агаарын температурын үр дүнг орон зайн хувьд харьцангуй сайжруулсан үр дүнг өгч байна.

Мөн (thin plate smoothing splines) аргачлалд тулгуурласан, хамааралгүй хувьсагч өргөрөг, уртраг, өндөрийн тоохон интерполяц хийдэг ANUSPLIN статистик загвар бодит ажиглалтын агаарын температур, хур тунадасыг маш сайн тооцоолов.

Цаашид Бүс нутгийн уур амьсгалын динамик загвар (WRF) болон статистик загвар (ANUSPLIN) ашиглан Монгол орны агаарын температур, хур тунадасны орон зайн тархалтыг тооцоолоход ашиглах бүрэн боломжтой болов.

Дараахь тодорхой үр дүнд хүрэв. Үүнд:

- Монгол орны цаг уурын ажиглалтын сүлжээ харьцангуй сийрэг, хол зайтай ба орон зайн дундаж зай нь ~86.7 км болно.
- Цаг уурын 130 өртөө орон зайн дундаж орон ~0.78° буюу ~87 км, хамгийн бага ~0.07° буюу ~8 км, харин хамгийн их нь ~3.39° буюу ~377 км байна. Эндээс үзэхэд Монгол орны Ус цаг уур, орчны шинжилгээний албаны хэмжээнд цаг уурын ажиглалтын 130 өртөө харьцангуй сийрэг байрлалтай нь харагдаж байна.
- Өндөр нарийвчлалтай динамик, статистик загварчлалын тоон мэдээнд дундаж болон тооцоглогдоогүй алдааны засвар хийхийн тулд 1981 оноос хойш байгуулагдсан цаг уурын ажиглалт цэг (50 станц), мөстлөгийн цаг уурын автомат станцын (3 станц) бодит цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтай агаарын дундаж температурын мэдээг математик статистикийн харьцуулалт, ялгаврын арга ашиглан уртасгасан болно. Нийт 121 цаг уурын ажиглалтын цэг дээр цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтай, 1981-2010 оны хооронд 30 жилийн бодит мэдээллийн сан үүссэн.

- Дэлхий болон бүс нутгийн хэмжээний өндөр нарийвчлалтай уур амьсгалын грид мэдээ, мэдээллийг монгол орны нутаг дэсгэрээр боловсруулж, харьцуулалт, үнэлгээ өгөхөд WorldClim –ын маш өндөр нарийвчлалтай, цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтай агаарын температур, хур тунадас мэдээлэл нь маш сайн хамааралтай, харьцангуй бага алдаатай байсан. Мөн Climate Research Unit өндөр нарийвчлалтай, цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтай мэдээллийг уур амьсгалын 6 элемент (агаарын дундаж, их, бага температур, хур тунадас гэх мэт) болон APHRODITE(57 жилийн хоногийн нийлбэр тунадас), APHROMATAVE(47 жилийн хоногийн дундаж температур) өндөр нарийвчлалтай мэдээ нь CRU –ын мэдээнээс харьцангуй өндөр нарийвчлалтай, орон зайн корреляцын итгэлцүүр маш сайн , орон зайн дундаж квадрат алдаа бага тооцоолсон.
- Статистик засвар сарын дунадж агаарын температурыг харьцангуй сайн тооцоолсноос гадна засварлаагүй WRF загварын үр дүнг бодит ажиглалтын үндсэн мэдээрүү сайн ойртуулж, тооцсон. Засварлаагүй U_WRF –ын үр дүнг ажиглалтын мэдээгээр засварласан C_WRF –ын үр дүн орон зайн корреляцын итгэлцүүр 0.79 –аас 0.89 болж нэмэгдэж, харин дундаж квадрат алдаа 3.0°C -аас 1.6°C хүртэл багассан. Динамик загвар WRF –ын дундаж квадрат алдаа 1 дүгээр сараас 12 дугаар сард 3.0-4.8°C байсан ч засварласны дараа 1.6-2.4°C болж дундаж квадрат алдаа 1.4-2.4°C –аар багассан. WRF загварын үр дүн 2 дугаар сараас 11 дүгээр сар хүртэлх нормыг ажиглалтын мэдээнээс харьцангуй хүйтэн босгож байсан бол харин жилийн үлдсэн 1 ба 12 дугаар сарыг харьцангуй дулаан босгож байсан. Ялангуяа 3 ба 4 дүгээр сарыг нэлээд буюу 3°C –аар хүйтрүүлсэн. Ер нь WRF загвар Монгол орны агаарын температурыг хүйтэн талдаа босгосон. Динамик загвар WRF –ын жилийн дундаж агаарын температурын орон зайн дундаж -0.9°C, харин засвар хийсний дараа жилийн дундаж агаарын температурын орон зайн дундаж 0.4°C нь ажиглалтаас 0.2°C –ын зөрөөтэй болгож сайжруулсан.
- Маш өндөр нарийвчлалтай тооцсон агаарын дундаж температур, нийлбэр хур тунадасны мэдээнд статистик засвар, дундаж болон тооцоглогдоогүй алдааны засвар, цувааны математик статистик, уур амьсгалын ялгавар, харьцуулах арга, мөн сонгомол ба тооцооны статистик магадлалын аргуудыг ашиглан Монгол орны агаарын дундаж температур (цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтай), нийлбэр хур тунадасыг дундаж орныг орон зайн 0.04°X0.04° (~4.0км), маш өндөр нарийвчлалтай тархалтыг тооцоолж, уур амьсгалын нормын (1961-1990) зураг 1: 1000 000 масштабээр анхлан зохиосон.
- Жилийн нийлбэр хур тунадасны орон зайн корреляцын итгэлцүүр 0.98 буюу маш сайн хамааралтай, мөн орон зайн дундаж квадрат алдаа бага 18.8мм ба жилийн дундаж болон нэгдүгээр сараас арванхоёрдугаар сарын агаарын дундаж температурын орон зайн корреляцын итгэлцүүр 0.95-0.99 буюу маш сайн хамааралтай, орон зайн дундаж квадрат алдаа харьцангуй бага 0.9-1.2°C байна.
- Тиймээс энэ судалгаанд ашигласан статистик загвар, буулгалтын арга нь аномаль агаарын дундаж температур, нийлбэр хур тунадасыг орон зайн тархалтын уул зүй, газрын гадаргын байдал, орчил урсгал хамаарлыг маш сайн илэрхийлсэн нь Уур амьсгалын грид мэдээлэлд үнэнхүү ач холбогдолтой байна.

5.2 Уур амьсгалын элементийн дундаж орны грид мэдээ

Агаарын температур болон хур тунадасны хэмжээний орон зайн хувиарлалт, нарийвчлал нь газар зүйн байршил, салхины зонхилох чиглэл зэргээс ихээхэн хамаардаг бөгөөд тэдгээрийг шалган баталгаажуулахад нь маш түвэгтэй байдаг.

Энэхүү судалгаа нь агаарын температур, хур тунадасны хэмжээний үзүүлэлтүүдийн орон тархалтын зураглалыг дурын грид цэгээр “thin plate smoothing” интерполяцын арга дээр үндэслэгдсэн ANUSPLIN статистик загварыг ашиглан гаргаж, түүнд статистик шинжилгээ хийж байгаа явдал юм.

Ашиглагдаж буй “thin plate smoothing” интерполяцын арга нь гадаад хүчин зүйлээс их хамааралтай, алдаа ихтэй, жигд бус тархалттай мэдээг олон хүчин зүйлт регрессийн тэгшитгэлийг ашиглан нэгэн жигд болгодог.

1980 онд Вакха, Ведделбергер нар анх цаг уурын мэдээн дээр thin plate smoothing аргыг хэрэглэсэн бөгөөд 1983 онд Хитчинсон ба бусад нар улам нарийвчилж статистик алдаануунуудыг тооцон, орон зайн хувиарлалтыг гаргахад тохируулан өөрчлөлж боловсруулсан. Энэ нь бусад интерполяцийн аргуудыг бодвол маш энгийн математик статистик техникүүдийг ашиглаж элемент тус бүрээр биш бүх хамааралтай ба хамааргүй хувьсагчуудын хамаарлыг тооцож нэгтгэн, эдгээрийн алдаануудыг хамгийн бага түвшинд байлгах нэгэн цогц статистик үнэлгээг хийдгээрээ давуу талтай юм.

Судалгааны ажлын зорилго ANUSPLIN багц статистик программ хангамжийг зүгшрүүлэн Монгол орны хэмжээгээр дурын орон зайн нарийвчлалтайгаар (хэмжээ) цэгэн болон грид хэлбэрээр, сар жилийн нарийвчлалтайгаар, хамгийн бага статистик алдаатайгаар агаарын температур, хур тунадасны орон зайн тархалтын зураглал үүсгэхэд оршив.

Арга зүй

ANUSPLIN статистик загвар нь алдаа ихтэй, хэлбэлзэл ихтэй мэдээг нэгэн жигд болгож интерполяц хийн, иж бүрэн статистик анализийг хийн орон зайн нарийвчлалтай тархалтын мэдээг цэгэн болон грид хэлбэрээр гаргах зориулалттай.

ANUSPLIN статистик цогц программ хангамжийн гол зорилго нь бүрэн статистик анализийг хийх бөгөөд “thin plate smoothing” аргыг ашиглан нь гадаад хүчин зүйлээс их хамааралтай, алдаа ихтэй, жигд бус тархалттай мэдээнд олон хүчин зүйлт регрессийн тэгшитгэлийг ашиглан интерполяц хийж нэгэн жигд болгож орон зайн тархалт хийх боломжийг олгодог.

Аливаа загвар нь тодорхой систем алдаатай байдаг ба тэр нь олон хүчин зүйлээс хамаардаг. Жишээлбэл: дэлхийн агаар мандалд явагдаж байгаа физик процесс, агаар мандал болон газрын гадаргуугын харилцан үйлчлэлийг тооцоолохдоо параметрчилал, математикийн ойролцооллын аргуудыг ашиглах зэрэг нь тодорхой алдааг бий болгодог. Тиймээс загварын систем алдааг багасгахдаа шугаман болон шугаман бус аргуудыг ашигласан байна (Wigley et al, 1990), (Wilks, 1995), (Ahn et al, 2002), (Richardson et al, 2003), (Robert et al, 2003).

Энэхүү программ хангамж нь зөрөө ихтэй мэдээг жигдрүүлэх замаар тохируулсан өөрчилсөн функц нь generalized cross validation (GCV)- ны утгыг гаргаж тооцоолсон утгын алдааг хамгийн бага хэмжээнд хүргэн тооцох замаар автоматаар тодорхойлогддог. Энэ нь уур амьсгалын мэдээг боловсруулахад нэн тохиромжтой бөгөөд ялангуяа хэд хэдэн уур амьсгалын гадаргуун дээр нэгэн зэрэг тооцоолоход

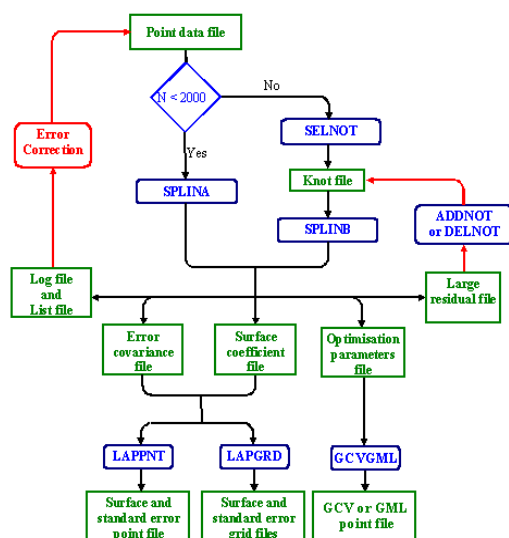
зориулагдсан. ANUSPLIN программ хангамжинд “гадаргуугын хамааралгүй хувьсагч” гэсэн ойлголт орж ирдэг бөгөөд энэ нь уур амьсгалын нэг гадаргуугаас нөгөө гадаргууд өөрчлөгддөн орж ирдэг. Энд хамгийн багадаа хоёр хамааралгүй хувьсагч Эуртраг ба өргөрөг0 байх бөгөөд гуравдагч хамаарадгүй хувьсагчаар далайн түвшинээс дээшхи өндөр ордог. Гуравдагч хувьсагч нь температур болон тундасыг орон зайн хувьд хувиарлаахад ашиглагддаг.

ANUSPLIN программ хангамжийн үндсэн програмууд нь Fortran хэл, харин холболтын програмууд нь Си хэл дээр бичигдсэн. Үндсэн зургаан дэд програмаас бүтсэн бөгөөд тус тусын үүргэтэй. Хүснэгт 1- д зургаан дэд програмын үндсэн үүргүүдийг тайлбарлав.

Хүснэгт 66. ANUSPLIN программ хангамжийн дэд программүүдийн үүрэг

Хүснэгт	Тайлбар
SPLINE	Нэг болон хэд хэдэн бие даасан хувьсагчтай дурын тоо хэмжээтэй мэдээлэлийг thin plate smoothing spline функцыг ашиглан статистик адлааг хамгийн бага хэмжээнд хүргэх программ хангамж. Хэдийгээр олон тооны цэгэн мэдээлэлийг боловсруулах боловч 10 000 цэгээс хэтрүүлүүхгүй байвал тохиромжтой. Тохируулсан гадаргууд өгөгдсөн мэдээнээс хамгийн тохиромжтой нот цэгүүдийг сонгодог бөгөөд нот цэг нь 2000-3000 хэтрэхгүй байна. Мэдээг жигдрүүлэх зэрэг (коэффициент) нь generalised cross validation (GCV) буюу алдааг хамгийн бага хэмжээнд хүртэл багасгах замаар тодорхойлогддог. SPLINE програмын гаралтын лог буюу мэдээлэлийн (log) файл дээр уур амьсгалын гадаргуу бүр дээрх ковариаци (VAR), дундаж квадрат алдааны коэффициентууд (MSE), стандарт хазайлт зэрэг статистик үзүүлэлтүүд нь автоматаар бодогдоно.
SELNOT	Анхны нот цэгүүдийг сонгох программ. Энэ нь маш их мэдээлэлд тулгуурлан цорын ганц нот цэгийг тодорхойлох программ. Мөн орон зайн хувьд зөрөө багатай дэд мэдээлэлийн үүсгэхэд ашиглагддаг.
ADDNOT	SPLINE дэд программаас гарч буй хамгийн их зөрүүтэй мэдээнд дахин нот цэг сонгох программ
GCVGML	Гадаргуу тус бүр дээр GCV эсвэл GML ийг тооцоолож дундаж утгыг гаргах программ. Гарсан утгууд файлд бичигдэх юмуу зурагдана
LAPPNT	Тухайн цэг дээрх утгыг тооцоолон түүний Bayesian стандарт алдааг үнэлэх программ
LAPGRD	Хавтгай хэлбэрээр торын зангилаа тус бүр дээрх утгыг тооцоолон түүний Bayesian стандарт алдааг үнэлэх
DELNOT	Гаргасан тоон мэдээллийн файлаас цэгүүд хасагдахад файлын жагсаалтанд байгаа мэдээлэлийг тохируулдаг

ANUSPLIN багц программ хангамжийн ерөнхий өгөгдлийн схем болон программын хураангуйг **Зураг 253-т** үзүүлэв.



Зураг 253. Загварын ерөнхий схем

ANUSPLIN багц программ хангамжаас гарсан цэгэн болон грид мэдээг газарзүйн мэдээллийн систем болон бусад орон зайн зураглалын программ ашиглан буулгаж бусад судалгаа шинжилгээний ажилд ашиглах өргөн боломжтой боллоо.

ANUSPLIN багц программ хангамж нь Австралийн үндэсний их сургуульд зохиогдсон ба энэ нь “thin plate smoothing spline” интерполяцын арга дээр үндэслэгдэн мэдээний хамгийн зохистой муруйг олж интерполяц хийх арга юм. Энэхүү программ хангамж нь хэмжилтийн тоо (станц) хэмжээ хязгааргүй байдгаараа давуу талтай бөгөөд үүнийг Австрали, Шинэ Зеланд, АНУ, Хятад, Европ, зүүн Азийн орнууд өргөн ашиглаж байна.

Thin plate smoothing spline функцын ерөнхий тэгшитгэл нь Хитчинсон (1995) тодорхойлосоноор дараах байдлаар өгөгдсөн гэж үзвэл;

$$z_i = f(x_i) + \varepsilon_i \quad (i = 1, \dots, n)$$

Үүнд: N - ажиглалтийн тоо хэмжээ

X_i - d хэмжээст хамааралгүй хувьсагч (уртраг өргөрөг, өндөр)

F - Мэдэгдэхгүй байгаа оновчлон жигдрүүлэх функц

ε_i Нарийвчлалыг илэрхийлэх санамсаргүй алдаа, (ажиглалтын болон загвараас хамаарсан алдаа)

ε_i нь $V\sigma^2$ коварианс матрицын хувьд авч үзсэн бөгөөд V нь n x n хэмжээст матрицын тодохойлолт ба нь үл мэдэгдэх σ^2 жигдрүүлэх юм.

Интерполяц хийхдээ жигдрүүлэх функцын алдааг багасгах замаар үнэлнэ.

$$z = (z_1 \dots, z_n)^T, f = (f_1, \dots, f_n)^T$$

$$(z - f)^T V^{-1} (z - f) + \rho J_m(f)$$

Энд:

T - матрицын урвуу зэрэг юм.

$J_m(f)$ - үл мэдэгдэх жигдрүүлэх функцын зөрөөг хэмжинэ.

ρ - жигдрүүлэх параметр,

Жигдрүүлэх параметрийг Generalized Cross Validation (GCV) статистик үзүүлэлтийг багасгах замаар тодорхойлогддог. Өөрөөр хэлбэл тооцоолсон утгын алдааг хэмжинэ. (GCV) нь шууд бусаар цэг бүрийг хасах ба тохируулсан гаргасан гадаргуу дээрх хасагдсан цэг болон үлдсэн цэгүүдийн утгуудын зөрүүний квадратууын нийлбэрүтга юм. Энэ процесс нь ийг үнэлэхэд хэрэглэгддэг. Кагван болон Вакка нар 1979 он, Вакка 1990 онд (GCV) ийг дараах байдлаар тодорхойлсон.

$$GCV = MSE + \sigma^2$$

GCV, дундаж квадрат зөрөө (MSR), вариацийн алдаа (VAR) нь програмын гаралтын лог буюу мэдээллийн (log) файл дээр бодогдож гарна. Энгийнээр тайлбарлавал GCV -ийг ашиглан дундаж квадрат алдааг багасгах замаар хамгийн тохиромжит сигма-г тооцоолох явдал юм.

Мөн оролтын өгөгдлийг дурын формат болон гадаргуу мэдэхийг хүсэж буй үйл явц нь үндсэн суурийг хангаж өгдөг.

Ашигласан мэдээ

Энэ судалгааны ажилд Монгол орны агаарын температур, хур тунадасны тархалтыг тооцоолохдоо Ус цаг уур, орчны шинжилгээний албаны хэмжээнд цаг уурын ажиглалтын 1971-2000 оны 109 станцуудын станцын мэдээг ашиглав.

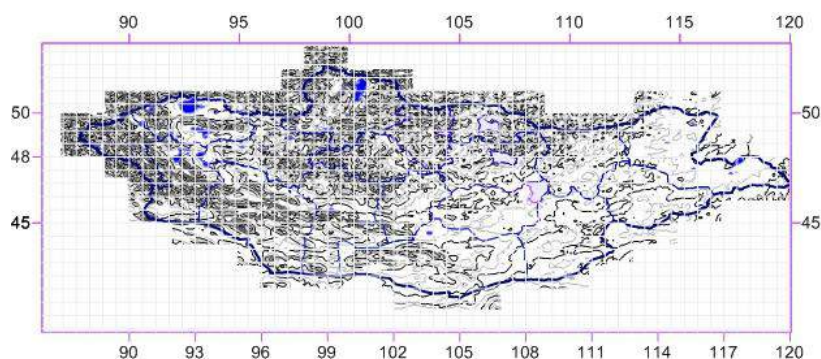
Мэдээллийг бэлтгэхдээ аналог станцыг тодорхойлох, харьцуулан дүгнэлт өгөх, тасарсан зарим тохиолдолд орлуулан нөхөх засварын утгыг гарган авч нарийвчилсан анализ хийсэн. Мөн богино цуваатай 59 станцын мэдээг харуул байсан үеийн мэдээтэй холбохын тулд ажиглалтын 8 хугацаанд өөрийнх нь мэдээгээр засвар гарган шилжүүлсэн. 1971-2000 оны агаарын дундаж температурын оролтын мэдээг цаг уурын урт цуваатай 53 станц, харуул байж байгаад сүүлд станц болсон 37 станц, 1971 оноос хойш байгуулагдсан богино цуваатай нийт 19 станцын мэдээг боловсруулж нийт 109 цэгийн мэдээг үүсгэв.

Энэ ажлын хүрээнд оролтын мэдээ бэлтгэхэд дараахи ажлуудыг хийж гүйцэтгэсэн болно. Үүнд:

- Станцуудын аналог станцуудыг сонгох, корреляцийн хамаарлыг тодорхойлж тооцоолох
- Станц болсон үеийн 8 хугацаа ба 3 хугацааны дундаж температурын зөрөөг гарган өмнөх харуул байсан үеийн 3 хугацааны температурт хийх засварын утгыг тооцоолох.
- Харуул байсан үеийн 3 хугацааны дундажийг 8-д шилжүүлэн станц болсон үеийн цуваатай нэгтгэх
- Аналог станцын мэдээг ашиглан харуул байсан үеийн мэдээний цоорхойг цувааны анализын ялгаврын аргаар нөхөх
- 1971 оноос хойш байгуулагдсан станцуудын мэдээг богино цувааг урт цуваанд шилжүүлэх ялгаврын аргаар 1971 он хүртэл урагш нь уртасгав.

Мэдээ боловсруулах үндсэн арга зүй нь хэрэглээний уур амьсгалын тухайн зорилтыг шийдвэрлэхэд хэрэглэдэг сонгомол ба тооцооны статистик магадлалын аргуудыг өргөн ашиглав.

ANUSPLIN программ хангамжийн анхны нөхцөл болгож Монгол орны хэмжээгээр $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ (~27.8км), $0.08^{\circ} \times 0.08^{\circ}$ (~8.96км) нарийвчлалтай мэдээг ASCII форматаар тус тус бэлтгэн X ба Y координатын цэгүүдийн утга, түүнд харгалзах өндөршлийн мэдээг 30 DEM нарийлалтайгаар бэлтгэн ашиглав (**Зураг 254**).



Зураг 254. ANUSPLIN загварт оруулсан Монгол орны grids хэмжээ

Хүснэгт 67. Gridын орон зайн нарийчлалын мэдээлэл

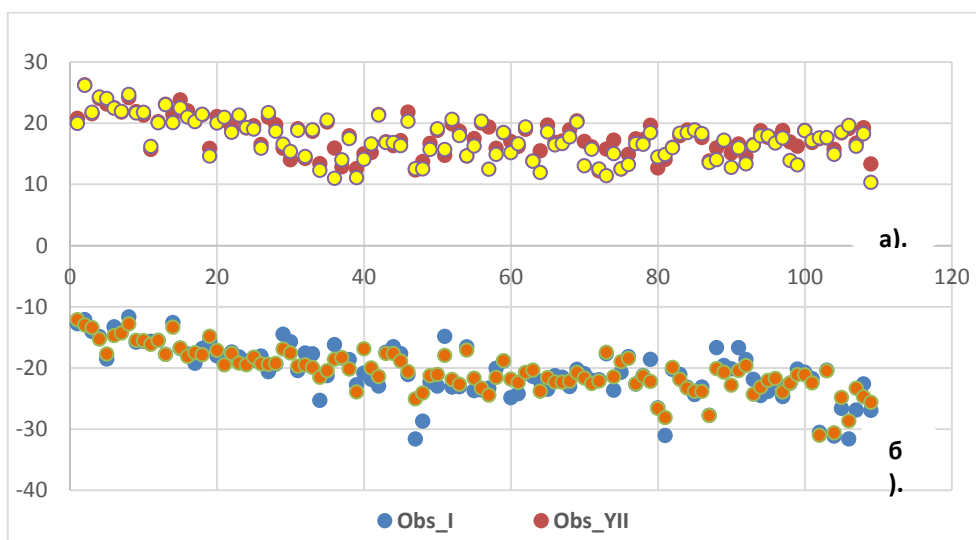
Res	Grid size	Total Nodes	Filled Nodes	Blanked Nodes	X min	X max	Y min	Ymax
0.25 (27.6)	49 x 136	6664	4740	1924	87.00	120.75	41.000	53.000

0.08 (8.96)	165 x 426	70290	38056	32234	86.04	120.04	40.045	53.165
0.04 (4.48)	851 x 329	279979	152075	127904	87.005	120.125	49.965	52.965

Үр дүн

Агаарын температур /1971-2000/-ын грид мэдээ

Энэхүү ажлын хүрээнд Монгол орны хэмжээгээр $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ (~27.8км), $0.08^{\circ} \times 0.08^{\circ}$ (~8.96км), $0.04^{\circ} \times 0.04^{\circ}$ (~4.48км) гэсэн 3 орон зайн нарийвчлалтай агаарын температурын сар жилийн орон зайн тархалтын зураглалуудыг ANUSPLIN загвараар боловсруулан гаргаж түүний стаистик үзүүлэлтүүдийг тооцон бодит ажиглалтын мэдээтэй харьцуулан үзүүлэв. **Зураг 255**-т загвар болон бодит ажиглалтын мэдээний жилийн хамгийн хүйтэн нэг сар ба хамгийн дулаан долдугаар сарын агаарын температурын утгуудыг харьцуулан харуулав.

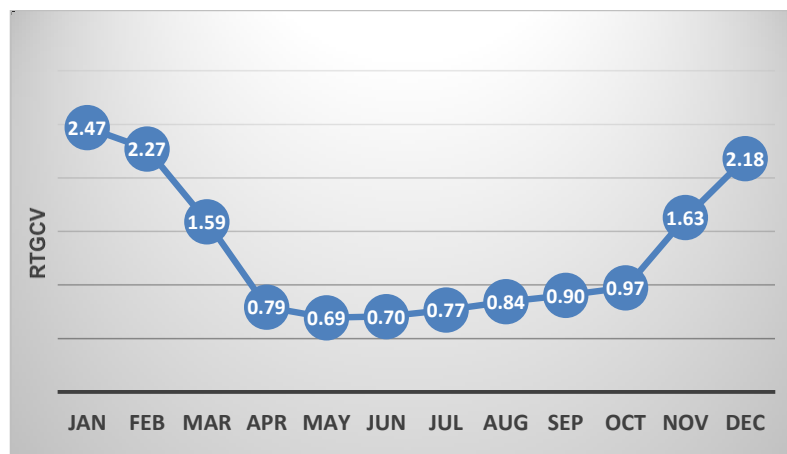


Зураг 255. ANUSPLIN загвар болон бодит ажиглалтын агаарын температурын харьцаа а). долдугаар сар б). Нэгдүгээр сар

Дээрхи зургаас харахад жилийн хамгийн дулаан сар болох долдугаар сард загвар болон бодит ажиглалтын утгууд хамгийн хүйтэн нэг дүгээр сартай харьцуулахад илүү сайн таарч байна. Өөрөөр хэлбэл долдугаар сарын температурын зөрөө $-1,0^{\circ}\text{C} - 1,5^{\circ}\text{C}$, нэгдүгээр сарын температурын зөрөө $-4^{\circ}\text{C} - 3^{\circ}\text{C}$ -хооронд тус тус хэлбэлзэж байна.

Зураг 256-260-д 1971-2000 оны олон жилийн дундаж агаарын температурын орон зайн тархалтын зураглалыг 1, 4, 7, 10-р сараар үзүүлэв. GCV буюу түүний квадрат нь загвараас гарсан үр дүнгийн алдааг илэрхийлдэг буюу өөрөөр хэлбэл хэр зэрэг орон зайн хувьд интерполяц хийсэнийг харуулах үзүүлэлт юм. **Зураг 39**-т агаарын температурын сар тус бүрээр тооцсон RTGCV ийг үзүүлэв.

Зураг 256-аас харахад ANUSPLIN загвар нь дулааны саруудад маш сайн 0.79-0.97 байна. Харин өвлийн саруудад 1.59-2.48 байна. **Хүснэгт 68**-т 1971-2000 оны 30 жилийн 109 станцын агаарын дундаж температурын орон зайн корреляцын илтгэлцүүр болон дундаж квадрат алдааг үзүүлэв.

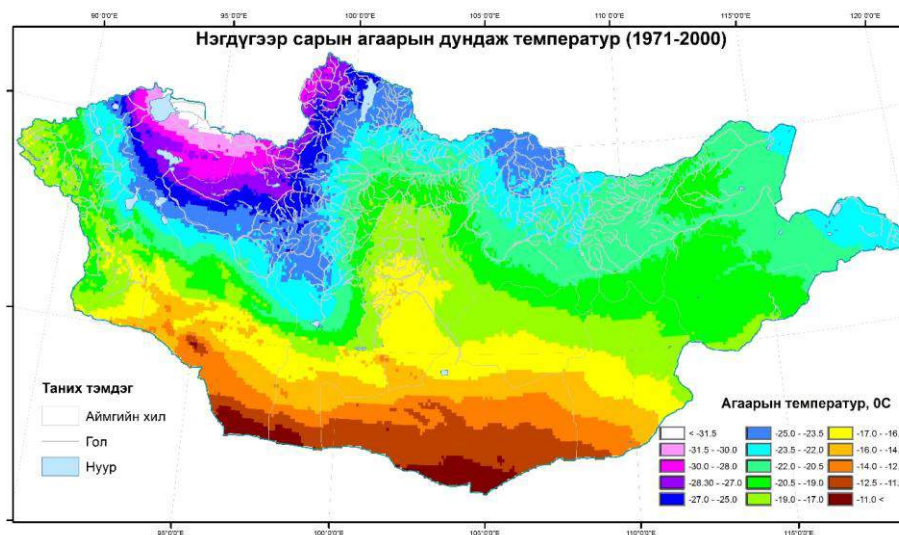


Зураг 256. ANUSPLIN загварын гаралтын үр дүнгийн RTGCV-ийн утга

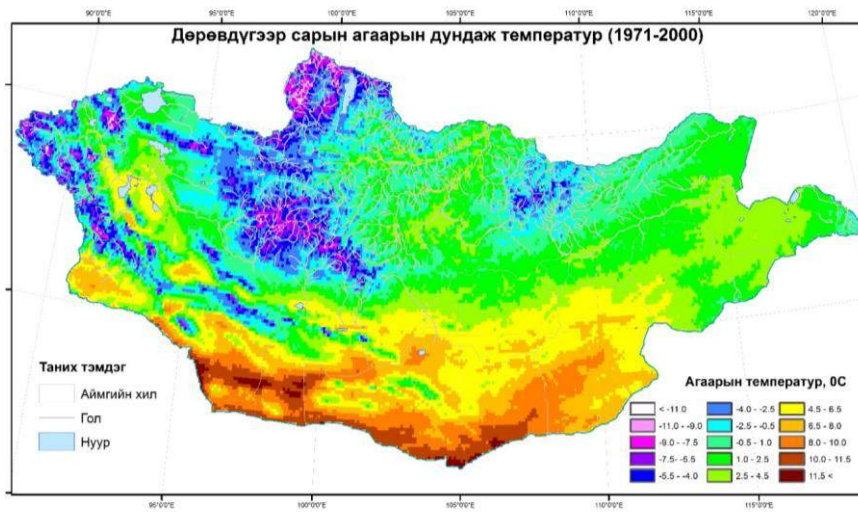
Хүснэгт 68. Агаарын температурын орон зайн корреляцын итгэлцүүр, дундаж квадрат алдаа

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
CORREL	0.92	0.93	0.94	0.93	0.91	0.92	0.92	0.91	0.91	0.91	0.90	0.92
RMSE	1.68	1.53	1.28	1.18	1.30	1.35	1.42	1.41	1.33	1.17	1.31	1.46

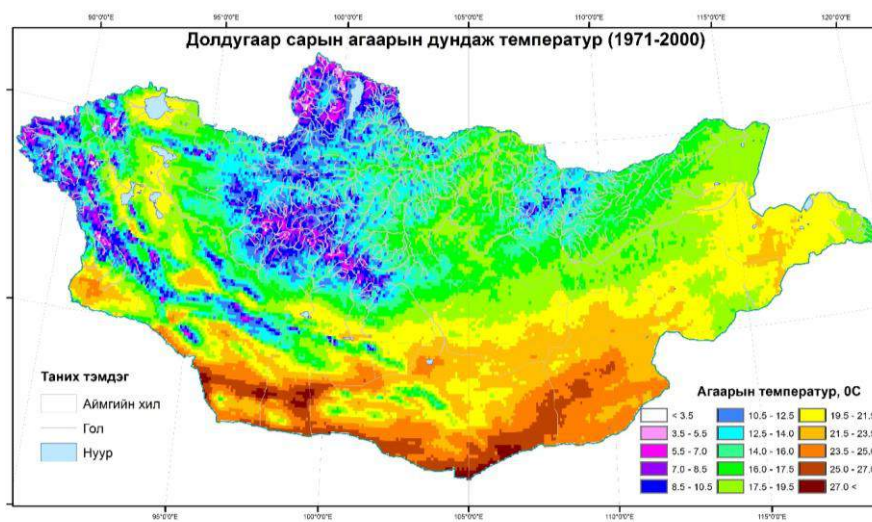
Хүснэгт 68-аас харахад загвар болон бодит ажиглалтын мэдээний орон зайн хамаарал нь 0.91-0.94 байгаа нь харьцангуй сайн бөгөөд түүний дундаж квадрат алдаа нь 1.18-1.68 буюу өвлийн саруудад харьцангуй их байна.



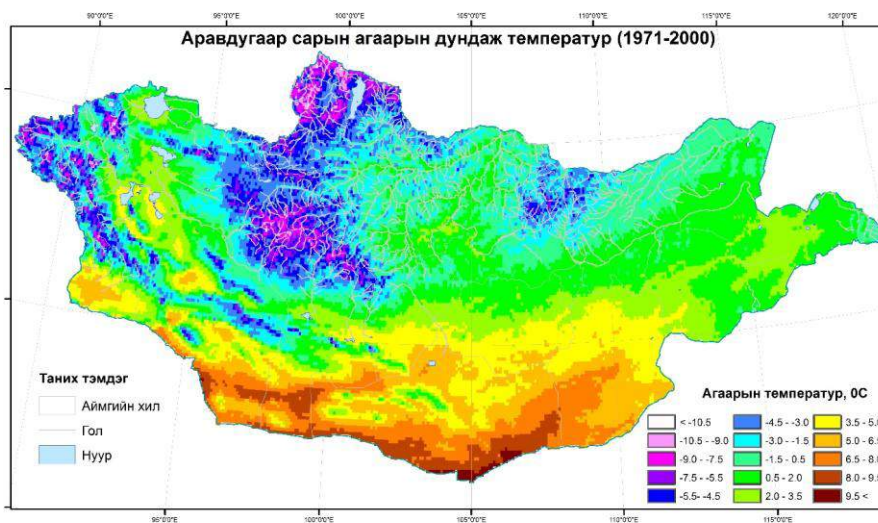
Зураг 257. Нэгдүгээр сарын дундаж температурын тархалт (1971-2000)



Зураг 258. Дөрөвдүгээр сарын дундаж температурын тархалт (1971-2000)



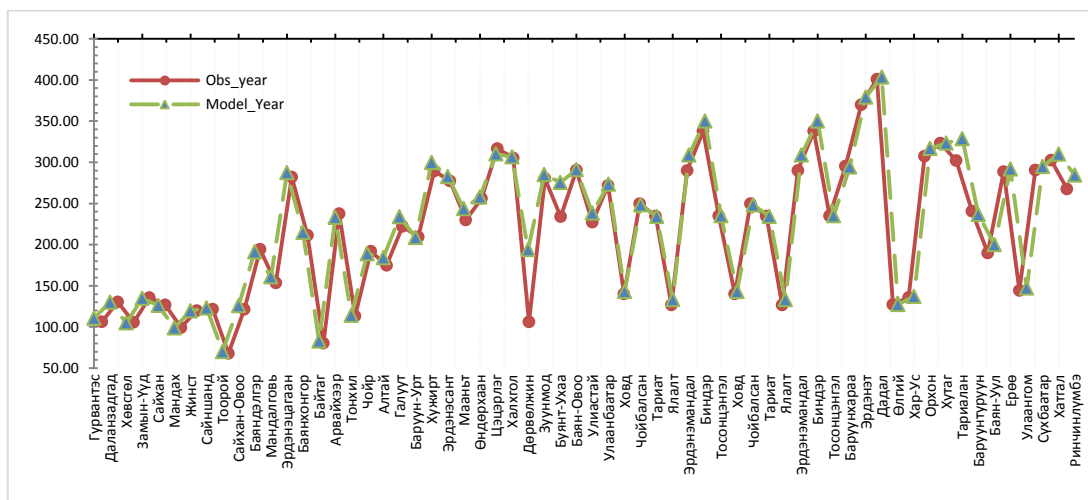
Зураг 259. Долоодугаар сарын дундаж температурын тархалт (1971-2000)



Зураг 260. Аравдугаар сарын дундаж температурын тархалт (1971-2000)

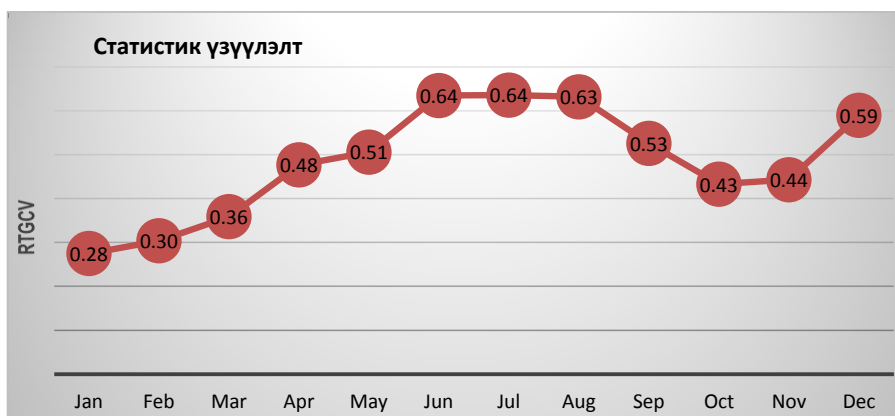
Хур тунадасны /1971-2000/-ын грид мэдээ

ANUSPLIN загвараас гарсан хур тунадас болон бодит ажиглалтын 1971-2000 оны жилийн нийлбэр хур тунадасны мэдээг харцуулан **Зураг 261**-т үзүүлэв. Эндээс харахад загварын гаралтын үр дүн нь бодит ажиглалтын үр дүнтэй маш сан таарч байна



Зураг 261. ANUSPLIN загвар болон бодит ажиглалтын жилийн нийлбэр хур

Дээр дурьдчилан GCV нь хэр зэрэг орон зайн хувьд интерполяцлагдсаныг харуулах үзүүлэлт бөгөөд **Зураг 262**-т 1971-2000 оны олон жилийн дундаж сарын нийлбэр хур тунадасны RTGCV-ийг тооцон үзүүлэв.



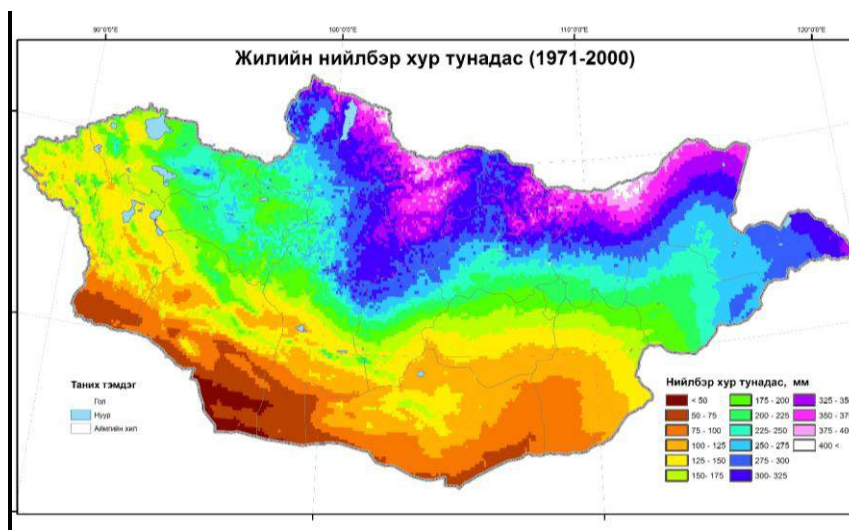
Зураг 262. ANUSPLIN загварын хур тунадасны гаралтын үр дүнгийн RTGCV-ийн утга

Зураг 262-оос харахад ANUSPLIN загвар нь жилийн бүх саруудад саруудад маш сайн 0.28-0.64 байна. **Хүснэгт 69**-т 1971-2000 оны 30 жилийн 109 станцын агаарын дундаж температурын орон зайн корреляцын илтгэлцүүр болон дундаж квадрат алдааг үзүүлэв.

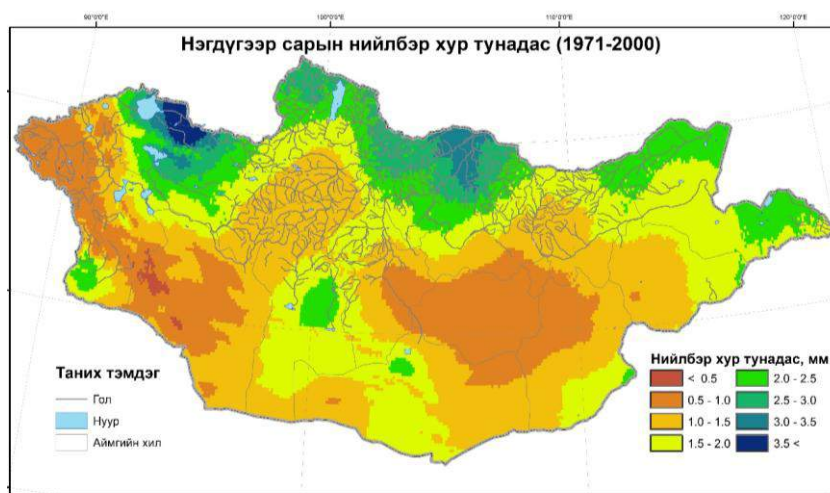
Хүснэгт 69. Хур тунадасны орон зайн корреляцын итгэлцүүр, дундаж квадрат алдаа

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	year
CORREL	0.99	0.99	0.97	0.98	0.97	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.96	0.99
RMSE	0.13	0.18	0.33	0.65	1.34	2.59	4.57	2.56	1.62	0.57	0.40	0.60	14.41

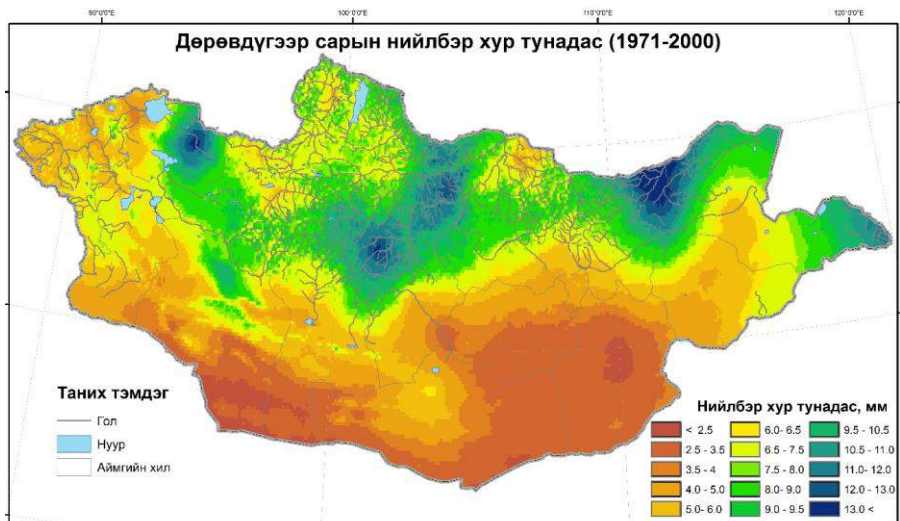
Хүснэгт 69-өөс харахад хур тунадасны загвар болон бодит ажиглалтын мэдээний орон зайн хамаарал нь 0.96-0.99 байгаа нь харьцангуй сайн бөгөөд түүний дундаж квадрат алдаа нь 0.18-4.57 буюу зуны саруудад саруудад харьцангуй их байна. Харин жилийн нийлбэр хур тунадасны хувьд 14.41 байна. **Зураг 263-267** загвараар гаргасан нийлбэр хур тунадасны орон зайн тархалтын зураглалыг үзүүлэв.



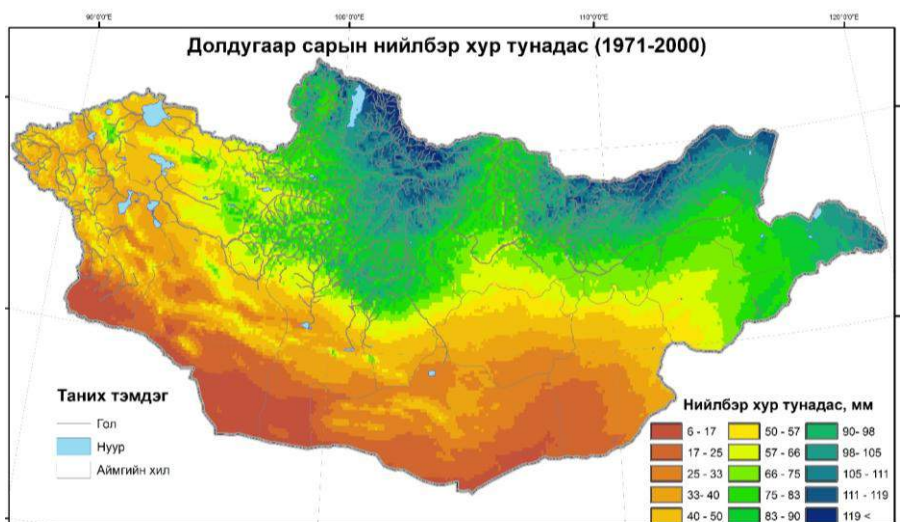
Зураг 263. Жилийн нийлбэр хур тунадасны тархалт (1971-2000)



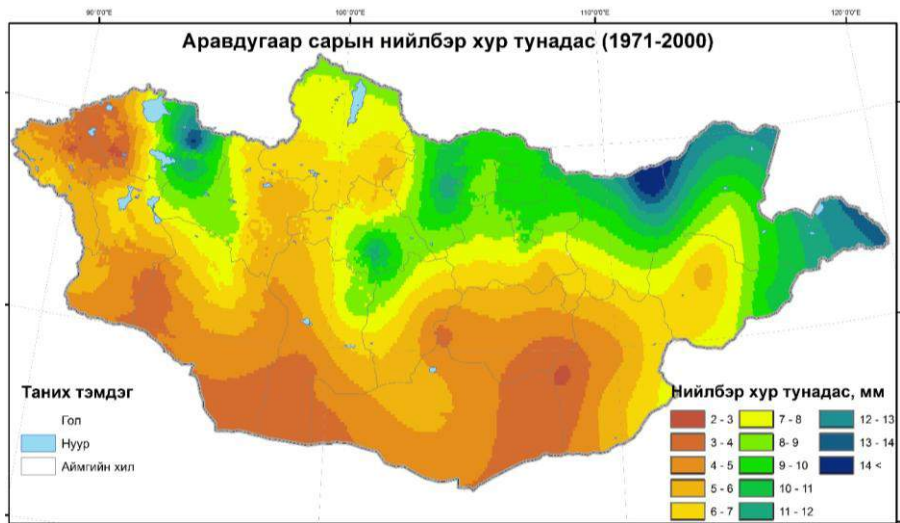
Зураг 264. Нэгдүгээр сарын нийлбэр хур тунадасны тархалт (1971-2000)



Зураг 265. Дөрөвдүгээр сарын нийлбэр хур тунадасны тархалт (1971-2000)



Зураг 266. Долдугаар сарын нийлбэр хур тунадасны тархалт (1971-2000)



Зураг 267. Аравдугаар сарын нийлбэр хур тунадасны тархалт (1971-2000)

Дүгнэлт

ANUSPLIN загвар нь дулаан улирлын саруудын агаарын температурыудыг өвлийн саруудтай харьцуулахад харьцангуй сайн тооцоолон гаргаж байна. Өөрөөр хэлбэл долдугаар сарын бодит ба загвараар тооцоолон гаргасан агаарын дундаж температурын зөрөө -1.0°C – 1.5°C , нэгдүгээр сарын температурын зөрөө -4°C - 3°C - хооронд тус тус хэлбэлзэж байна.

Загвараас тооцоолон гаргасан статистик үзүүлэлт GCV –ийн тга жилийн бүх саруудад 0.79-2.48 ийн хооронд хэлбэлзэж байна. Энэ нь ANUSPLIN загвар нь агаарын температурын орон зайн хувиарлалтыг хангалттай сайн хийж байна.

Загвар болон бодит ажиглалтын агаарын дундаж температурын мэдээний орон зайн хамаарал нь 0.91-0.94 байгаа нь харьцангуй сайн бөгөөд түүний дундаж квадрат алдаа нь 1.18-1.68 буюу өвлийн саруудад харьцангуй их байна.

ANUSPLIN загвараас гарсан хур тунадас болон бодит ажиглалтын 1971-2000 оны жилийн нийлбэр хур тунадасны мэдээг харцуулан үзэхэд загварын гаралтын үр дүн нь бодит ажиглалтын үр дүнтэй маш сан таарч байна.

Хур тунадасны GCV –ийн утга жилийн бүх саруудад саруудад маш сайн 0.28-0.64 байна. Хур тунадасны загвар болон бодит ажиглалтын мэдээний орон зайн хамаарал нь 0.96-0.99 байгаа нь харьцангуй сайн бөгөөд түүний дундаж квадрат алдаа нь 0.18-4.57 буюу зуны саруудад саруудад харьцангуй их байна. Харин жилийн нийлбэр хур тунадасны хувьд 14.41 байна.

Бүлэг VI. Уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийн үнэлгээ

6.1 Газар тариалангийн нөлөөллийн үнэлгээ

Монгол орон нь газар зүйн байршил, эмзэг экосистем, байгаль цаг агаараас хараат эдийн засгийн тогтолцоо зэргээсээ шалтгаалан уур амьсгалын өөрчлөлтөд нэн өртөмтгий. Сүүлийн дөчөөд жилийн дотор дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлт болон хүний үйл ажиллагааны улмаас монгол орны экосистемд мэдэгдэхүйц өөрчлөлт орж, энэ нь цөлжилт, ган, зудын давтагдал ихсэх, усны нөөц, биологийн олон янз байдал хомсдох зэргээр илэрч, улмаар улс орны эдийн засаг, ард түмний амьдралын түвшинд таагүй нөлөө үзүүлэх хэмжээнд нэгэнт хүрээд байна.

Монгол орны агаарын жилийн дундаж температур 1940 оноос 2008 оны хооронд 2.14°C -ээр дулаарсан нь дэлхийн агаарын дундаж температур 1906 оноос 2005 онд 0.74°C -аар нэмэгдсэн үзүүлэлттэй харьцуулахад манай оронд дулааралт илүү эрчимтэйгээр явагдаж байгааг харуулж байна (Уур амьсгалын өөрчлөлтийн үндэсний хөтөлбөр, 2009). Үүнээс гадна 1975-2007 оны халуун өдрийн тоо 8-13 өдрөөр олширч, үргэлжлэх хугацаа уртасч, хүйтэн өдрийн тоо 7-11 өдрөөр буурч, агаарын температурын өөр өөр улирлуудын сарын дундаж нь тус орны зүүн болон их нууруудын хотгор орчимд $5-8^{\circ}\text{C}$ –аар нэмэгджээ. Мөн сэрүүний улирлын хур тунадас бага зэрэг нэмэгдсэн боловч, дулааны улиралд орох хур тунадас бага зэрэг буурсан нь тус орны төвийн хэсэгт тохиолдож байгаа бол Монгол Алтай нуруу орчмоор эсрэгээрээ бага зэрэг нэмэгдсэн байна. Зарим нутгаар богино хугацааны хүчтэй аадар бороо орох тохиолдол нэмэгдсэн ба мөн үер, мөндөр орох тохиолдол ч сүүлийн 20 жилд эрс нэмэгджээ (Dagvadorj et al., 2009).

Хавар цас ханзрах хугацаа бараг нэг сараар урагшилж, хөрс цасан бүрхүүлгүй болон ургамал бүрхэвчгүй байх хугацаа уртассан нь салхинд газрын хөрс элэгдэх боломжийг нэмэгдүүлж, 1960-аад оноос хойш шороон шуургатай өдрийн тоо нийт нутгийн хэмжээнд 3-4 дахин ихэссэн байна.

Уур амьсгалын дулаарах үед зарим нутагт дулаан бүсийн ургамал тарих, газар тариаланд өмнө нь ашиглах боломжгүй байсан хүйтэн уур амьсгалтай зарим нутгийг эзэмших, гол мөрөн, нуурын мөсөн бүрхүүлтэй байх хугацаа богиносох зэрэг эерэг нөхцөл бүрдэх боловч манай орны хувьд сөрөг үр дагавар нь эрс давамгайлахаар байна.

Уур амьсгалын өөрчлөлт цаашид ч үргэлжлэх, магадгүй сөрөг үр дагавар нь улам бүр нэмэгдэх магадлал өндөр байгааг гадаад, дотоодын шинжлэх ухааны сүүлийн үеийн судалгаа харуулж байна. Газар тариалангийн төв бүсэд улаан буудайн ургац 2011-2030 онуудад дунджаар 15 хувиар буурч болзошгүй байна.

Улс орны тогтвортой хөгжлийг хангахын тулд уур амьсгалын өөрчлөлтийг сааруулах, нэгэнт биднээс бараг үл хамааран явагдах энэхүү өөрчлөлтөд дасан зохицох бодлого, арга хэмжээг цаг алдалгүй авч явуулах шаардлагатай болж байна.

Гамшигийн тухай хуулинд Эмзэг байдал гэдэг нь гамшигийн болзошгүй аюулд хүн ам, мал амьтан, эд хөрөнгө, хүрээлэн орчин өртөх магадлалыг хэлнэ. Тэгвэл гамшиг гэдэг нь аюулт үзэгдэл эмзэг байдал хоёрын нэгдэл гэж үздэг байна. Гамшгаас эрсдэл үүснэ. Эрсдэл гэдэг нь тодорхой цаг хугацаанд тодорхой газар нутагт учрах хохирлыг хэлнэ гэжээ

Иймд уур амьсгалын өөрчлөлтийн үүсч болзошгүй эрсдлийн үнэлгээний аргазүй дэлхий дахины хэмжээнд одоогоор бүрэн боловсорч хараахан чадаагүй байна. Гэхдээ эрсдлийн үнэлгээг эмпирик, эвристик /экспертийн аргаар/, эсвэл магадлал хэлбэрээр /математик загварчлал, байесийн арга гэх зэрэг/ хийж болно ([Л.Энхтайван болон бусад судлаач, 2012](#)).

Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлт, түүний газар тариаланд үзүүлэх нөлөөллийн үнэлгээг хийж, өмнө хийгдсэн судалгааны боломжтой зарим үр дүнг ашиглан уур амьсгалын өөрчлөлт газар тариаланд үзүүлэх эмзэг байдал, эрсдлийн үнэлгээ хийх шаардлага тулгараад байна.

Энэхүү ажлын хүрээнд Монгол орны тариалан бүхий бүс нутгийн уур амьсгалын өөрчлөлт болон цаашдын хандлага, буудайн болон төмсний ургацад ургацад үзүүлэх цаг агаарын нөлөөллийг үнэлэн тогтоох, дасан зохицохуйн зарим хувилбарыг тодорхойлох ингэснээр цаашдын газар тариалангийн үйлдвэрлэлд авч үзэх боломжийг судлах зорилгыг дэвшүүллээ. Үүнд:

- Буудай болон төмсний ургац бүрдэхэд цаг агаарын нөлөөллийг үнэлэх
- Таримал ургамлын ургалт, ургацыг тооцоолдог DSSAT динамик загварыг бодит мэдээнд зүгшрүүлэх, түрших
- Ирээдүйн уур амьсгалын өөрчлөлт болон CO₂-ийн ихэсэлт Монгол орны голчлон тариалж буй улаанбуудай, төмсөнд хэрхэн нөлөө үзүүлэхийг загвараар үнэлэх
- Загвартаа дасан зохицохуйн янз бүрийн хувилбар – тариалах хугацаа, усалгаа, бордооны янз бүрийн оролтуудыг өгч явуулан буудай болон төмсний ургацад нөлөөлөх байдлыг үнэлэн зохистой хувилбар гаргах

Судлагдсан байдал

Монгол улсад уур амьсгалын өөрчлөлтийн орчин үеийн судалгааны ажил 1994 онд АНУ-ын Байгаль орчны агентлагийн шугамаар тэр үеийн хөгжиж байгаа 30 гаруй орнуудад хэрэгжүүлсэн “Улс орнуудын судалгаа” хэмээх төслөөс эхлэлтэй бөгөөд чухам энэ төслөөр уур амьсгалын ирээдүйн өөрчлөлтийг ерөнхий орчил урсгалын загвараар үнэлж, “бэлчээр - мал”, газар тариалан, ойн нөөц, гадаргын ус, мөнх цэвдэгт уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөлөх байдлыг математик загвар ашиглан үнэлэх болсон юм ([Mongolia's Country Studies Report on Climate Change. Vol. 1, 1999](#)).

Төслийн явцад хөдөө аж ахуйн салбарын уур амьсгалын өөрчлөлтөд дасан зохицохуйн арга хэмжээний хувьд таримал ургамлын DSSAT 3.0 загвараар улаан буудайн сорт, тариалалт явуулах хугацаа, азот, фосфорын бордооны норм хэмжээг уур амьсгалын ирээдүйн нөхцөлд хэрхэн өөрчилж болох тооцоог гаргаж ирсэн байна.

2004 онд Английн судлаач Парри болон бусад судлаачидтай хамтран уур амьсгалын өөрчлөлтийн боломжит нөлөөллийг уур амьсгалын) A1FI, A2, B1, B2 гэсэн хүлэмжийн хийн ялгарлын дор дэлхийн уур амьсгалын НАДСМЗ загвараар гаргасан уур амьсгалын өөрчлөлтийг үнэлсэн үр дүнг ашиглан нийгэм эдийн засаг болон уур амьсгалын өөрчлөлтийн төсөөллийг дэлхийн өлсгөлөнгийн эрсдэлд байх хүмүүсийн тоо, үр тарианы үнэ болон таримал ургамлын ургац, бүтээгдэхүүнт чанартай холбон судалж гарч болох үр дагаварт анализ хийжээ. Уг бүтээлд хэрвээ зөвхөн уур амьсгалын өөрчлөлт нөлөөлөхөд бүх ирээдүйн уур амьсгалын төсөөллийн хувьд дэлхийн таримал ургамлын ургац 9-22% ялангуяа A1, A2 төсөөллийн хувьд 16-22% буурах төлөвтэй байна хэмээн дурьджээ ([Parry et al., 2004](#)).

2007 онд Schmidhuber болон Tubiello нар хүнсний аюулгүй байдалд уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийг хүнсний аюулгүй байдал, олдоц, тогтвортой байдал, хэрэглээ болон ашиглах боломж гэсэн 4 гол элементээр үнэлсэн судалгааг хийсэн байна. Судалгааны үр дүн ирээдүйд төсөөлж буй нийгэм эдийн засгийн хөгжлөөс хамааран төсөөлж буй өөрчлөлтийн хэмжээ ихээхэн хамаарахыг дурьдаад 2080 гэхэд өлсгөлөнгийн эрсдэлд орох хүн амын тоо 5 саяас 170 саяар нэмэгдэнэ хэмээжээ. Мөн одоогийн нөлөөллийн судалгааны сул тал болон үр дүнтэй байдлыг хэлэлцэн энэхүү гарч болох үр дүнгүүдэд гарц хайх, бололцоотой нөхцөл байдлыг дэвшүүлэх хэрэгтэй гэжээ ([Schmidhuber and Tubiello, 2007](#)).

2011 онд АНУ-ын судлаач Лобелл 1980-2008 оны уур амьсгалын өөрчлөлт таримал ургамлын ургалтанд хэрхэн нөлөөлж буйг үнэлжээ. Тэрбээр газар дээрх CO₂-ийн ихэсэлтийн таримал ургамлын ургацанд үзүүлж буй шууд нөлөөг үнэлээгүй ч түүний хугацааны түрш дах аажим өсөлтийг авч үзжээ. Хавайн Мауна Лоа-д агаар дахь CO₂ хэмжээ 1980-аас 2008 он гэхэд 339ppm-ээс 386ppm болтол өсчээ. C3 төрлийн ургамалд (улаанбуудай, будаа, шар буурцаг) чөлөөт агаар мандал дахь CO₂-ихэсгэн хийсэн туршилтанд 583 ppm болоход дундаж ургац 14% өсдөг байна. Энэхүү 1980 оноос хойш 47 ppm-ээр өссөн явдал нь ургацыг ойролцоогоор 3% өсгөх түлхэц болжээ. Гэсэн хэдий ч 1980 оноос хойшхи уур амьсгалын өөрчлөлт болон CO₂ –ийн нөлөө будаа болон шар буурцгийн шошид үл ялиг эерэг, харин улаанбуудай эрдэнэшишид сөрөг нөлөө үзүүлсэн байна хэмээжээ ([Lobell et al., 2011](#)),

Монгол орны хэмжээнд газар тариаланд үзүүлэх уур амьсгалын өөрчлөлтийн эмзэг байдал, эрсдлийн үнэлгээг төсөл хөтөлбөрүүдийн хүрээнд хийж байсан бөгөөд гадаад орнуудад уг үнэлгээг нөхөрлөл, фермийн түвшинд үнэлж гаргасан жишээнүүд байдаг.

[Баясгалан Ш. нар, 1995](#) таримал ургамлын ургацын уур амьсгалын өөрчлөлтөөс хамаарсан үнэлгээг 90-ээд оны сүүлчээр хүлэмжийн хийн IS92a сценараар уур амьсгалын GFDL, CSIRO, CCCM, HADCM2, ECHAM4 загваруудын үр дүнг ашиглан таримал ургамлын ургалтын DSSAT3.0 загвараар анх хийсэн байдаг. Энэ судалгаагаар улаанбуудайн ургац газар тариалангийн төв бүсийн ихэнх хэсэгт 19-67 хувиар буурах, бусад нутгуудаар нилээд өсөх үр дүн гарсан байдаг. Харин төмсний ургацын хувьд онцын бууралт гарахгүй төлөвтэй гэжээ.

([Оюун, 2001](#)) Монгол орны хураан авах ургацын хэмжээ шинэ зууны дунд үе гэхэд одоогийн байгаа хэмжээнээс наад зах нь улаан буудайн хувьд 11-22%-иар буурах бөгөөд ургацын энэ бууралтын хэмжээ XXI зууны эхний 25 жилийг бодвол дараагийн 25 жилд илүү буурах төлөвтэй гэжээ.

1989 онд С.Сангидансранжав, Ш.Баясгалан, Д.Эрдэнэцэцэг “Цаг агаар-Ургац” динамик загвараар ургац бүрэлдэх явцыг цаг агаар, уур амьсгал, орчны нөхцөлөөр нь тооцоолоход буудайн ургацын таарц Орхон-Сэлэнгэ, Булган-Хөвсгөлийн бүс нутагт өндөр 91.7-90.0 хувь, бусад бүсүүдэд чанар муутай эх мэдээ мөн түүнчлэн мэдээлэл зарим талаараа хомс байдагтай холбогдон 82.1-84.3, төмсний ургацын таарц нийт бүсүүдэд 92.3 байна. Манай орны ойт хээрийн бүсэд улаан буудайг тариалахад хамгийн тохиромжтой байдаг ба хэрэв усалгаа, бордоог жигд сайн хэрэглэж чадвал Орхон-Сэлэнгийн савд одоогийнхоос 3-4 дахин илүү ургац авах боломж байгааг харуулж байна гэжээ.

Арга зүй

Таримал ургамал (зусах улаанбуудай, төмс)-ын ургалт, ургацанд уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийн үнэлгээг хийхдээ DSSAT (v4.02) загварыг ашиглана.

DSSAT (v4.02) загвар нь MS Windows –үндэслэгдсэн таримал ургамлын менежемент хийх сонголтуудад зориулсан олон талын шийдвэрийг дэмжих систем юм. (Tsuji et al., 1998; Gijssman et al., 2002; Hoogenboom et al., 2003)

“DSSAT 4.0 загвар нь таримал ургамлын ургалт болон бүтээгдэхүүнийг тооцоолдог динамик загвар юм. Энэхүү програм хангамж нь дотроо олон дэд загваруудаас бүрдэх ба үүнд төрөл бүрийн таримал ургамлын дэд загварууд, хөрсний ус чийгийн баланс, хөрсний органик бодис- азот, нүүрстөрөгчийн эргэлтийн дэд загваруудыг агуулдаг.

Уг загвар нь 18 төрлийн таримал ургамлыг (эрдэнэ шиш (maize), улаанбуудай (wheat), Цагаан будаа (rice), арвай (barley), Сорго (sorghum), шар будаа (millet), шар буурцгийн шош (soybean), газрын самар (peanut), хуурай шош (dry bean), (chickpea), (cowpea), (faba bean), (velvet bean), төмс (potato), улаан лооль(tomato), (bell) чинжүү (pepper), бйацаа (cabbage), (bahia and brachiaria and bare fallow) багтаасан бөгөөд ургамал бүр дэх хөрсний чийг, азот, нүүрстөрөгчийн балансыг тооцоолохдоо цаг агаар, хөрс, хөрс-ургамал-агаар мандлын гэсэн модулийг хэрэглэдэг. (Hoogenboom et al., 2003; Jones et al., 2003).

Үр тарианы ургамлын ургалтыг тооцоолохдоо Ritchie болон Otter нарын боловсруулсан CERES-Wheat хэрэглэдэг. Хөрсний нүүрстөрөгч болон азотын тооцоолох балансыг 2 сонголтоор тооцоолдог.

Годмин болон Жонес (Godmin and Jones)аргад үндэслэсэн

CENTURE загвараас Партоны (Parton et al., 1988) аргачлалыг оруулсан

Хөрс –ургамал-агаар мандал дэд системд хоногийн бодит ууршилтыг (ET) Ричи (Ritchie, 1972)-ийн боловсруулсан аргаар тооцдог. Харин боломжит ууршилтыг Priestley and Taylor (1972), Penman-FAO 24 (Doorenbos and Pruitt, 1977) or Penman-Monteith (Monteith, 1986) гэсэн 3 сонголтоор тооцоолдог.

Улаанбуудайн ургалтыг тооцоолох дэд системд Ritchie болон Otter (1985) боловсруулсан (CERES-wheat model) загварыг бага зэрэг сайжруулан өөрчлөлт (Hoogenboom et al., 2003) хийсэн хувилбарыг ашигласан. Уг загвар нь улаанбуудайн амьдралын циклийг генетикийн болон орчны хүчин зүйлээр тодорхойлогдох үе шат бүрийн үргэлжлэх хугацаагаар хуваан авч үздэг. Загвар (CERES-wheat model) нь 3 чухал хүчин зүйлд анхаарлаа голлон төвлөрүүлсэн байдаг: ургалтын хурд, ургалтын хугацаа, эдгээр 2 хүчин зүйлд нөлөөлөх орчны стрессийг үнэлэх юм.

Хоногийн ургамлын ургалтыг тооцоолох гол зарчим нь фото идэвхт цацрагийг ургамлын хуурай бодист хөрвүүлэн тооцоолоход оршдог. Хоногийн боломжит ургалт нь ургамалтыг хязгаарлагч хүчин зүйл болох ус, азот, агаарын температураар өөрчлөгддөг, хоногийн бодит ургалт нь хөгжлийн үе шатууд дах янз бүрийн ургамлын эрхтнүүдэд хуваагддаг.

Таримал ургамлын ургалт нь фотосинтез болон ургамлын амьсгалын процессийн ялгавраар тодорхойлогддог.

$$dW/dt = E (Pg - RmW) \quad (1)$$

dW/dt -ургамлын хуурай жингийн өсөлтийн хэмжээ, гр м-2 цаг-1

W = ургамлын нийт хуурай жин, гр м-2,

R_m = амьсгалын хурд хэмжээ, гр [CH₂O] гр-1 [эс] цаг-1,

E = CH₂O-ийн ургамлын эсэд хөрвүүлэх ашигт үйлийн коэффициент, гр [эс] гр-1 [CH₂]),

P_g = ургамал бүрхэвчийн нийт фотосинтезийн хурд, гр [CH₂O] м-2 [ground] цаг-1.

Ургамал бүрхэвчийн нийт фотосинтезийн хэмжээ, хурдыг дараах томъёогоор тооцоолдог.

P_g бол ургамлын хэмжээ, нүүрсхүчлийн хий (CO₂) температур, гэрлийн функц

$$P_g = D \frac{\tau C p(T)}{K} \ln \left[\frac{\alpha K I_0 + (1-m)\tau C}{\alpha K I_0 \exp(-KL) + (1-m)\tau C} \right] \quad (2)$$

D = $\mu\text{mol [CO}_2\text{] m}^{-2}\text{s}^{-1}$ –аас $[\text{CH}_2\text{O}] \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$ грамм руу хөрвүүлэх фотосинтезийн коэффициент

τ = навчны дамжуулалт, $\mu\text{mol [CO}_2\text{] m}^{-2}[\text{leaf}] \text{ s}^{-1}$

C = Агаар дахь CO₂ агууламж, $\mu\text{mol [CO}_2\text{] mol}^{-1} [\text{air}]$,

$p(T)$ = Температурын хэмжээсгүй функц

α = навчны гэрэл ашиглалтын ашигт үйлийн коэффициент, $\mu\text{mol [CO}_2\text{] } \mu\text{mol}^{-1} [\text{photon}]$,

K = ургамал бүрхэвчийн гэрлийн мөхлийн коэффициент

I_0 = ургамал бүрхэвчийн дээд хил дээрх гэрлийн урсгалын нягт, $\mu\text{mol [photon] m}^{-2} [\text{ground}] \text{ сек}^{-1}$,

m = навчны гэрэл дажуулалтын коэффициент

L = ургамал бүрхэвчийн навчны талбайн индекс, $\text{m}^2 [\text{leaf}] \text{ m}^{-2} [\text{ground}]$.

Харин ургамлын амьсгалыг доорх томъёогоор тооцоолдог.

$$R_m = k_m \exp(0.0693[T-25]) \quad (3)$$

R_m = амьсгалын хурд, гр [CH₂O] г-1 [эс] цаг-1,

T = температур

k_m = 250C –т амьсгалын хурд, гр [CH₂O] гр-1 [эс] цаг-1

DSSAT 4.02 загварын **(Зураг 268)** доорх гол бүрэлдэхүүн хэсгүүдээс бүрдэнэ. Үүнд:

Таримал ургамлын загварууд

CROPGRO загвар (шар буурцгийн шош (soybean), газрын самар (peanut), буурцаг, янз бүрийн шош, улаан лооль, бэлчээр)

CERES –эрдэнэ шиш (maize), улаанбуудай, цагаан будаа, сорго (sorghum), шар будаа(millet), арвай (barley)

SUBSTOR –төмс

Бусад – наранцэцэг (sunflower), сахар гаргаж авдаг ургамал(Sugarcane)

Хөрс

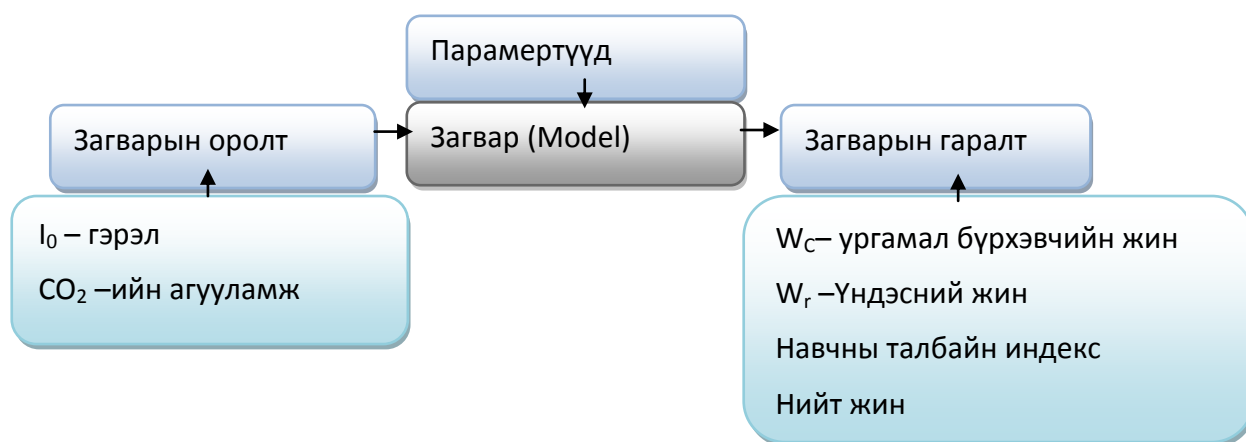
Ус

Температур

Нүүрстөрөгч ба азот

Орчны хүчин зүйл (цаг агаар, түүний өөрчлөлтүүд)

- Хөрс – ургамал- агаар мандал
- Менежмент
- Хортон шавьж/ өвчин



Зураг 268. Энгийн таримал ургамлын ургалтын загвар

Загвар (CERES-wheat model)-т өдрийн боломжит биомассын бүтээгдэхүүнийг доорх томъёогоор тооцоолдог.

$$PCARB = 7.5 * IPAR^{**}0.6 \quad (4)$$

PCARB – боломжит биомассын бүтээгдэхүүн гр/м²

IPAR –хэрэглэгдэж буй фото идэвхт цацраг

Ургамал бүрхэвчид хэрэглэгдэж буй цацрагийн хувь хэмжээг навчны талбайн индексийн функцийг шугаман бус тэгшитгэлээр тооцоолдог.

$$IPAR/PAR = 1 - EXP(-0.85 * LAI) \quad (5)$$

LAI – нэг ургамлын ногоон навчны талбайг тухайн ургамлын эзэмшлийн талбайн хэмжээнд хуваасан хэмжээ, соёололтын үед LAI-ынанхны утга 0.4см².

Одоогийн байдлаар уг загварт өвчин, хог ургамал, мөндөр зэргийн нөлөөллийг загварт тусгаж оруулаагүй байгаа юм.

Төмсний ургалтыг тооцоолох дэд загвар нь (SUBSTORE) боломжит фотосинтезийн нүүрстөрөгчийн хуримтлалыг доорх томъёогоор тооцоолдог.

$$PCARB = 3.5 * \frac{PAR}{PLANTS} * (1.0 * Exp(-0.55 * LAI)) \quad (6)$$

PAR- фото идэвхт цацраг (MJ м⁻²)

LAI – навчны талбайн индекс (м²м⁻²)

Загварт цацрагийн хэрэглээний ашиглалтын коэффициентийг (RUE-radiation use efficiency) - 3.5 гр MJ⁻¹ гэж судачдын тооцоолсноор авсан байдаг (Sale, 1973; Allen болон Scott, 1980; Jeffries MacKerron, 1989; Manrique et al,1991)

Цаг агаарын хоногийн мэдээ нь бодит болон хэмжсэн болон загвараар тооцоолон гаргасан мэдээ байж болдог. Ritchie (1998)-ийг тодорхойлсон хөрсний усны баланс модуль нь CERES-Wheat (Ritchie and Otter, 1985) зориулан хийсэнтэй адил юм.

Загварт хөрсний нүүрстөрөгчазотын балансын хэсэг (модул)(soil carbon and nitrogen) нь 2 сонголттой. Нэг дэх сонголт нь Godwin болон Jones (1991) нарын боловсруулсан модуль, нөгөө нь CENTURY (Parton et al., 1988) загварын нүүрстөрөгчазотын балансын модуль юм.

Хөрс-ургамал-агаар мандлын модуль нь хоногийн бодит ууршицийг (evapotranspiration (ET))Ritchie (1972) –ийг боловсруулсан аргаар тооцоолдог. Харин боломжит ууршицийг Priestley and Taylor (1972), Penman-FAO 24 (Doorenbos and Pruitt, 1977) or Penman-Monteith (Monteith, 1986) аргаар тооцоолдог.

DSSAT 4.02 загварын таримал ургамлын CERES –Wheat дэд загвар нь генетик болон орчны хүчин зүйлсээр тодорхойлогддог үе шатны үргэлжлэх хугацаа болон үе шатны хоорондох улаанбуудайн амьдралын циклийг тооцоолоход хуваагддаг. Уг загвар нь 3 гол зүйлд анхаарлаа хандуулсан.Үүнд: ургалтын үнэлгээ, ургалтын үргэлжлэх хугацаа болон энэ 2 процессэд орчны дарамтын нөлөөллийн үнэлгээ(Ritchie and Otter, 1985; Ritchie et al., 1998). Загвар нь ганцхан улаанбуудайны хоногт үүсэх үрийн тоо, түрүү болон навчны тоо, түүний гарч ирэх үеийг тодорхойлон өсөлт хөгжилтийг үнэлэн тооцоолдог.

Ургамлын хоногийн ургалтыг үр ашгийн параметрыг ашиглан фото идэвхит цацрагийн хэсгийг ургамлын хуурай бодист (DM) хөрвүүлэн тооцоолдог.Гэрлийн энэ хэсэг (Light interception) бол ургамлын нийт навчны талбайгаас тооцоологддог навчны талбайн индекс (LAI)-ийн функц юм.CERES-wheat дэд загвар нь өвчин, хортон, хогийн ургамал, азотоос бусад шим тэжээлийн бодис, мөндөр, налалтыг зэргийн нөлөөллийг загварчлан тооцоолоогүй байна.

DSSAT 4.0 загварыг АНУ-ын Флоридагийн Их сургууль, Жеоржийн их сургууль, Галфын их сургууль, Хавайн их сургууль, Хөрсний үржил шим ба Хөдөө аж ахуйн хөгжлийн Олон улсын төв, Айовагийн Их сургууль, Хөдөө аж ахуйн системийн хэрэглээний Олон улсын Консорциумын эрдэмтэд бүтээжээ.

Ашигласан мэдээ

Бид Монгол оронд голлон тариалдаг таримал ургамал болох улаанбуудай, төмсний ургалт, ургацад уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийн үнэлгээг хийхээр газар тариалангийн гол бүс нутагт байрлалтай 16 -17 станцыг сонгосон (**Хүснэгт 70**).

Хүснэгт 70. Судалгаанд хамрагдсан өртөөний байршил, мэдээлэл

№	станцын нэр	Уртраг	Өргөрөг	Далайн түвшнээс дээшхи өндөр, m	Хөрсний төрөл, механик бүрэлдэхүүн	Цувааны урт
1	Дархан	105.98	49.47	706	Хар хүрэн, хөнгөн шавранцар	1984-2009
2	Ерөө	49.75	106.67	676	Хар хүрэн, хөнгөн шавранцар	1964-2009
3	Тариалан	49.6	102.00	1236	Хар хүрэн, дунд шавранцар	1969-2009
4	Угтаал	48.27	105.42	1160	Хар хүрэн, хөнгөн шавранцар	1980-2009
5	Халхгол	47.62	118.52	688	Хүрэн, дунд шавранцар	1980-2009
6	Баруунхараа	48.92	106.07	811	Хар хүрэн, хөнгөн шавранцар	1961-2009
7	Баруунтуруун	49.40	94.60	1232	Хүрэн, элсэнцэр	1969-2009
8	Эрдэнэсант	47.20	104.25	1356	хүрэн, хөнгөн шавранцар	1975-2009
9	Орхон (Сэлэнгэ)	49.15	105.4	748	Хар хүрэн, хөнгөн шавранцар	1979-2009
10	Хутаг	49.37	102.7	933	Хар хүрэн, дунд шавранцар	1979-2006
11	Жаргалант	48.52	105.9	1200	Хар хүрэн, хөнгөн шавранцар	1992-2009
12	Ингэттолгой	49.45	103.95	800	Хар хүрэн, дунд шавранцар	1992-2009
13	Цагааннуур	50.1	105.43	800	Хар хүрэн, хөнгөн шавранцар	1992-2009
14	Хархорин	47.2	102.77	1430	Хар хүрэн, хөнгөн шавранцар	1993-2009
15	Орхонтуул	48.835	104.806	800	Хар хүрэн, хөнгөн шавранцар	1993-2009
16	Өндөрхаан	47.320	110.670	1033	Хүрэн, элсэнцэр	1964-1995

DSSAT 4.0 загварт тодорхойлсон оролтын мэдээ

Дээрх сонгосон станцын DSSAT 4.0 загварт зайлшгүй шаардагдах оролтын мэдээг тодорхойлж өгсөн. Үүнд:

Цаг агаарын мэдээ: 1961-2009 оны тухайн цаг агаарын өртөөдийн хоног тутмын мэдээ болох хоногийн нийлбэр нарны цацрагийн хэмжээ ($\text{мЖ}/\text{м}^2$ өдөр), максимум температур ($^{\circ}\text{C}$), минимум температур ($^{\circ}\text{C}$), хур тунадас (мм)

Нарны нийлбэр цацрагийн хэмжээг нарны гийгүүллийн үргэлжлэх хугацаанаас дараахь томъёогоор (Richard G.A and others, 1998) тооцоолсон.

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a$$

Үүнд:

R_s - нарны цацраг ($\text{мЖ}/\text{м}^2$ өдөр)

a_s - 0.25; b_s - 0.50 гэж тогтмолоор авсан.

n - бодит нарны гийгүүллийн үргэлжлэх хугацаа (цаг)

N - максимум нарны гийгүүллийн үргэлжлэх хугацаа (цаг)

R_a - агаар мандлын дээд хил дээрх нарны цацраг ($\text{мЖ}/\text{м}^2$ өдөр)

Дээрх сонгосон станцуудын станц болсон оноос хойш 2009 он хүртэл хоногийн дээрх цаг уурын мэдээллийн санг үүсгэн, судалгаандаа ашигласан. Суурь уур амьсгалын жилийг **1980-1999** оны дунджаар 20 жилийн суурь болгон авч үзнэ.

Тухайн станцын олон жилийн уур амьсгалын мэдээг оруулахад тухайн загварын Цаг агаарын мэдээний дэд програм нь уур амьсгалын дундаж зэрэг үзүүлэлтүүдийг тооцон түүнээс хоногийн мэдээг үүсгэх боломжтой. Зарим дутуу ажиглалтын мэдээг үүнээс нөхөн орлуулсан

Сортын мэдээ: Таримлын Тухайн сортыг тодорхойлогч параметруудийг заана (**Хүснэгт 72**). Загварт хэд хэдэн төрлийн сортыг заасан байдаг тул тухайн сортуудаас сонгох боломжтой. Эдгээр сортуудаас зусах буудайн болон төмсний сортуудыг сонгон ажиллуулж ургац, ургалтын хугацааны хувьд манайд тариалдаг сортуудтай хамгийн төстэй сортыг сонгосон (**Хүснэгт 73-75**).

Хүснэгт 71. Загварын оролтын сортын параметрууд

Коэффициент /coeff/	Тодорхойлолт /definition
VAR#	Тухайн сортын дугаар, тодорхойлогч коод Identification code or number for the specific cultivar
VAR-NAME	Name of cultivar. (сортын нэр)
ECO#	Үр ургахад тохиромжтой температуртай өдрүүд Days at optimum vernalizing temperature required to complete vernalization.
P1V	Days at optimum vernalizing temperature required to complete vernalization.
P1D	Percentage reduction in development rate in a photoperiod 10 hour shorter than the threshold relative to that at the threshold
P5	Үр цутгалт хүртэлх үе шатын үргэлжлэх хугацаа Grain filling (excluding lag) phase duration (oC.d)
G1	Цэцэглэлтийн үе шатан дахь нэгж ургамал дахь үрийн тоо Kernel number per unit canopy weight at anthesis (#/g)
G2	Оптimum нөхцөл дэх стандарт үрийн хэмжээ Standard kernel size under optimum conditions (mg)
G3	Бүрэн боловсруулалтын үе шатан дахь ганц түрүүний хуурай жин Standard, non-stressed dry weight (total, including grain) of a single tiller at maturity (g)
PHINT	Interval between successive leaf tip appearances (oC.d)

Сорт сорилтын туршилтан дээр суурилан дээрх коэффициентуудыг тодорхойлж чадвал бид тухайн сортыг яг нарийвчлан тодорхойлох боломжтой.

Хүснэгт 72. Загварын оролтын улаанбуудайн сортын параметруудийн үзүүлэлтүүд

@VAR#	VAR-NAME	ECO#	P1V	P1D	P5	G1	G2	G3	PHINT
990099	SPRING-MONG	DSWH04	5	55	500	30	45	1.5	60

Хүснэгт 73. Загварын оролтын төмсний сортын параметруудийн үзүүлэлтүүд

@VAR#	VAR-NAME	ECO#	G2	G3	G4	PD	P2	TC
IB0004	POT_MONG	IB0001	2000	25	0.2	0.7	0.6	19

Хөрсний мэдээ: Дархан, Хархорин, Баруунтуруун, Жаргалант, Хутаг, Өндөрхаан станцын хөрсний давхарга бүрээр механик бүтэц, хөрсний органик нүүрстөрөгч, азотын хэмжээ (%), pH, эзэлхүүн жин (г/см³)-г шинээр тодорхойлж оруулж өгсөн.

Хүснэгт 74. Тариалан станцын хөрсний мэдээ

*MNTA020001 Agrowater SIL 100 Clay, Tarialan																	
@SITE COUNTRY LAT LONG SCS FAMILY																	
Tarialan Mongolia 49.612 101.990 Chernozem																	
@SLB	SLMH	SLLL	SDUL	SSAT	SRGF	SSKS	SBDM	SLOC	SLCL	SLSI	SLCF	SLNI	SLHW	SLHB	SCEC	SADC	
5	A	0.1	0.272	0.506	1	0.68	1.23	-99	15.2	55.7	-99	-99	8.3	-99	-99	-99	
10	A	0.1	0.265	0.514	1	0.68	1.21	-99	8.2	59	-99	-99	8.3	-99	-99	-99	
20	A	0.1	0.262	0.506	1	0.68	1.23	-99	14.3	51.6	-99	-99	8.4	-99	-99	-99	
30	B	0.1	0.256	0.524	0.607	0.68	1.18	-99	13.2	50	-99	-99	8.5	-99	-99	-99	
40	B	0.1	0.226	0.503	0.497	2.59	1.24	-99	13	35	-99	-99	8.6	-99	-99	-99	
50	B	0.1	0.264	0.528	0.407	0.68	1.17	-99	14.7	51.8	-99	-99	8.6	-99	-99	-99	
60	B	0.1	0.295	0.521	0.333	0.68	1.19	-99	19.3	61.7	-99	-99	8.7	-99	-99	-99	
70	B	0.1	0.275	0.517	0.273	0.68	1.2	-99	12.8	61	-99	-99	8.7	-99	-99	-99	
80	B2	0.1	0.23	0.456	0.223	1.32	1.37	-99	9.6	42.2	-99	-99	8.7	-99	-99	-99	

90	B2	0.1	0.208	0.351	0.183	2.59	1.66	-99	8.2	34.1	-99	-99	8.8	-99	-99	-99
100	B2	0.1	0.213	0.286	0.15	2.59	1.84	-99	8.4	36.3	-99	-99	8.8	-99	-99	-99

Агротехникийн ажлууд: Тариалсан хугацаа, тариалалтын норм, хураах хугацаа зэрэг мэдээллийг дээрх 17 станцаар бэлтгэж тодорхойлж өгсөн.

Тарих нормыг зөв тогтоох явдал буудай ургуулах ажлын хамгийн гол үндсэн асуудлын нэг байдаг. Тарих нормоос ургацын хэмжээ хамаараад зогсохгүй, товарын буудайн чанарын гол үзүүлэлт болох уураг, цавуулаг ихээр өөрчлөгдөнө (Н.Бямбажав, С.Ганбаатар, 2000).

Үр тарианы ургамлын үрийн чанар, хээрийн цухуйц, биологийн тэсвэр, ургамлын амьдралт зэргийг тооцоолж, хөрсний чийг, хог ургамлын тархалтын байдалтай уялдуулан тооцоот ургац бүрдүүлэхэд шаардлагатай тооны ургамлыг нэгж талбайд байлгах зорилгоор үрийн нормыг тооцдог (С.Ганбаатар,1999). Зусах буудайг 2-5 сая ширхэг соёололт бүхий үр 1 га-д орохоор тариалахыг зөвлөдөг. Буудайн ургамлын дундаж бүтээгдэхүүнт бутлалтын 1.1, амьдралтыг 90 %, хээрийн цухуйцыг 60%-д, 1000 үрийн массыг 30 г, нэг түрүүний үрийн тоог 20 гэж тооцоход 1 м² –д **300 ширхэг** соёололт бүхий үрээр тарьж 10.8 ц/га ургац бүрдүүлэх үндсэн дээр тариалах үрийн нормыг 1.0 – 4.0 сая/га орчмоор тогтоодог (С.Ганбаатар,1999) боловч дээрх үзүүлэлтүүдийн тоо, хэмжээ нь тариалангийн соёлжилт, тарих үрийн чанар, сортын онцлог, цаг уурын нөхцлөөс хамаарч өөрчлөгдөж байх учиртай.

Орхон Сэлэнгийн сав нутагт 2.5-аас 4.5 сая хүртлэх нормын хооронд ургацын ялгаа бага (Л.Товуу, 1986) байдаг ажээ.

Уур амьсгалын төсөөллийн эх үүсвэр

Уур амьсгалын ирээдүйн өөрчлөлтийг Hadley (Hadley Centre Model) загвараар А1В, А2, В1 гэсэн ялгаралтын 3 хувилбараар тооцон гаргасан суурь болгон авсан жилийн дундаж сарын утгаас 2020 (2011-2030), 2050(2046-2065), 2080(2080-2099) оны түвшинд хорин жилийн дундаж хур тунадас, температурын өөрчлөлтийн үр дүнг судалгаандаа ашигласан.

Хур тунадасны өөрчлөлтийн хэмжээг 1981-1999 суурь оны дунджаас өөрчлөгдөх хувийг, тухайн сард хэдэн мм-ээр өөрчлөгдөх хэмжээг олж тэр утгаа өртөө бүрийн суурь оны дундаж дээр нэмж ирээдүйд байх хур тунадасны хэмжээг гаргаж загварт оруулсан.

СО₂-ын агууламж ихэсэхэд ургамлын навчны сүвний дамжуулалт, транспираци багасч навчны температур өсч фотосинтези нэмэгдэнэ.Нөгөө талаас СО₂-ын агууламж ихэсэхэд үндэсний өсөлтөнд нөлөөтэйг эрдэмтэд тогтоожээ .

Мөн агаар мандлын СО₂ хэмжээг дээрх онуудад (2020 онд 440ррм, 2050 онд 520ррм) тооцоолон гаргасан үр дүнг авч ашиглана.Суурь жилийнхээ СО₂ хэмжээ дундажыг 350 ррм гэж үзэн үнэлгээг хийсэн. Учир нь 1981-1999 оны дундажаар хэмээн тооцоолон дээрх утгаар СО₂ хэмжээг тооцон авсан.

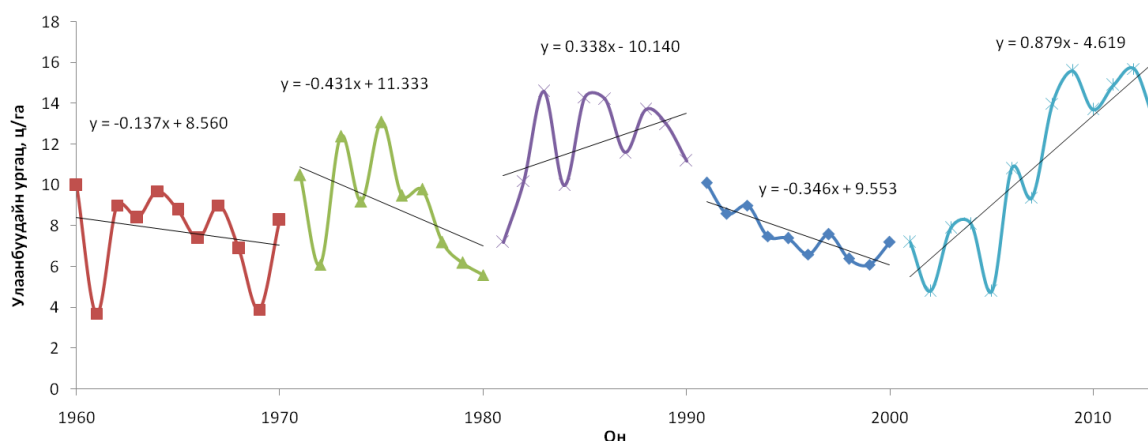
Үр дүн

Монгол орны газар тариалангийн одоогийн байдал

Монгол улсын эдийн засгийн нэг гол үндэс хөдөө аж ахуйн салбарт газар тариалан чухал байр суурь эзэлж байна.

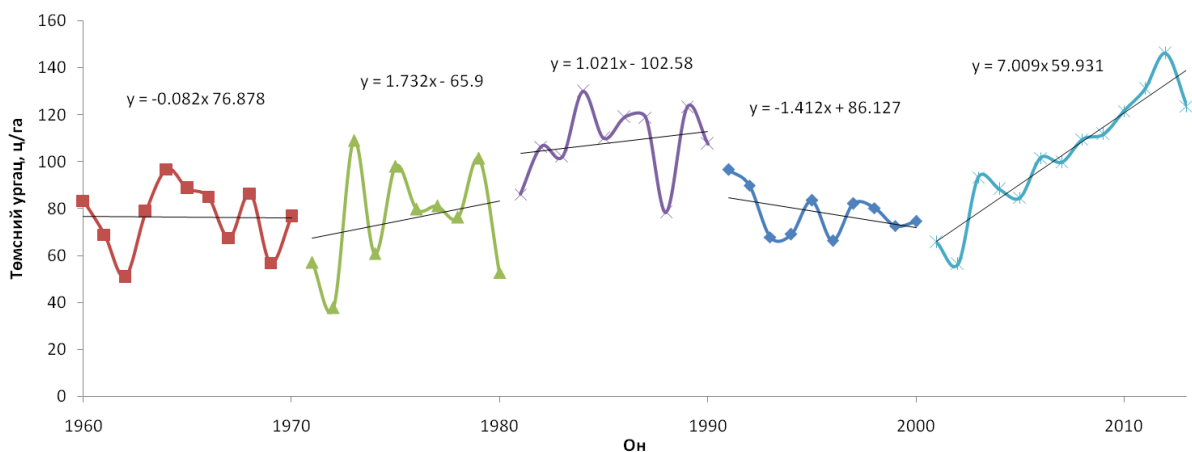
Газар тариалангийн үйлдвэрлэл нь өнгөрсөн зууны түрш Монгол орны эдийн засагт бага боловч чухал үүрэг гүйцэтгэсээр иржээ. Тухайлбал, 1961–2005 оны хооронд газар тариалан хөдөө ахуйн нийт бүтээгдэхүүнд зөвхөн 12 хүртэлх хувийг эзэлж байсан бол үлдсэн 88%-ийг мал аж ахуй эзэлдэг байсан байна (FAO, 2008). Монголд бүх газар нутгийнхаа 1%-иас илүүгүй талбайд үр тариа тариалсан байхад хөрш Хятад улсад бүх газар нутгийнх нь 9%-ийг эзэлдэг байна (1961–2005 оны дундаж), (FAO, 2008). Дөнгөж өнгөрсөн зууны тавиад оны сүүлчээр Монголд газар тариалангийн салбарын эх үүсвэр тавигдсан боловч төр засгаас жараад оны эхээр авч хэрэгжүүлсэн атар эзэмших хөдөлгөөн, далаад оны дундуур хэрэгжүүлсэн атрын 2 дугаар аян, 2008-2010 оны хэрэгжүүлсэн атрын 3 дугаар аяны үр дүнд Монгол улс үр тариа, төмс, хүнсний ногооныхоо дийлэнх хувийг дотооддоо үйлдвэрлэж чаддаг болсон нь манай хөдөө аж ахуйн хөгжлийн нэг том бахархал юм.

Монгол улс социалист нийгмийн харилцааны төгсгөл 1989 он гэхэд буудай 8239,1 мян. т. төмс 155,6 мян т. хүнсний ногоо 59,5 мян т. тэжээлийн ургамал 551,0 мян т. тус тус хураан авч байжээ. Улс орон зах зээлийн харилцаанд шилжиж төрийн өмчийн том аж ахуйн нэгжүүд /Сангийн аж ахуй/ хувьчлагдаж, төрөөс энэ салбарт үзүүлэх дэмжлэг суларснаас газар тариалангийн салбар нэг хэсэг уналтад орж 2007 он гэхэд дөнгөж 109 мянган тонн буудай, 114 мян. тонн төмс, 76.4 мян тонн хүнсний ногоо, 14 мянган тонн тэжээл хурааж улаан буудайн гурилын 27,5%, төмсний 88,7%, хүнсний ногооны 48,8%, жимс, жимсгэний 1%-ийг хувийг хангадаг болсон байв (**Зураг 269**).



Зураг 269. Улаанбуудайн га-гийн ургацын олон жилийн явц /УСГ-ын мэдээгээр/

Манайд үр тариаг бараг 100% усалгаагүй тариалж байгаа учраас жил жилийн ургац нь тухайн жилийн цаг агаарын нөхцлөөр тодорхойлогдоно (**Зураг 270**). Гадаад орны түршлагаас харахад газар тариалангийн соёлжилт дээшлэхийн хэрээр нэгж талбайн ургац ерөнхийдөө нэмэгдэж байх хандлагатай бөгөөд тухайн жилийн хур тунадасдулааны харьцаанаас болоод жилээс жилд бага зэрэг хэлбэлзэж байдаг

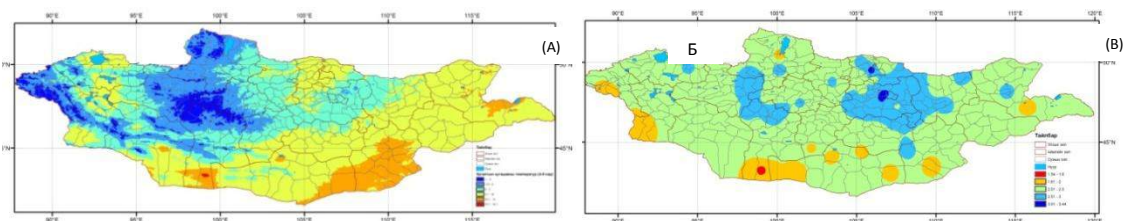


Зураг 270. Төмсний га-гийн ургацын олон жилийн явц (улсын хэмжээнд)

Өнгөрсөн зууны жараад оноос хойш улаан буудайн га-гийн ургац ерөнхийдөө нэмэгдэх хандлагатай явж ирсэн боловч 1960-1990 оны хооронд 0,053 ц/га-гийн хурдтай нэмэгдэж байснаа 1991-2005 оны хооронд 0,151 ц/га-ийн хурдтай буурралт болсон нь энэ үед газар тариалангийн салбарт төрөөс үзүүлдэг дэмжлэг бараг байхгүй болсон, нөгөө талаар 1999- 2002 оны хооронд хэд хэдэн жил үргэлжилсэн ган болсонтой холбоотой. Харин 2008 оноос хойш ургамал ургалтын хугацааны цаг агаар ерөнхийдөө тохиромжтой, төр засгаас газар тариалангийн шинэчлэлд онцгой анхаарал тавих болсонтой холбоотой юм.

Агро уур амьсгалын өөрчлөлт, түүний улаанбуудай болон төмсний ургалт, ургацанд үзүүлэх нөлөөллийг үнэлэх

Ургамлын ургалтын хугацааны агаарын дундаж температурын олон жилийн тархалт түүний өөрчлөлтийг **Зураг 271**-т үзүүлэв.

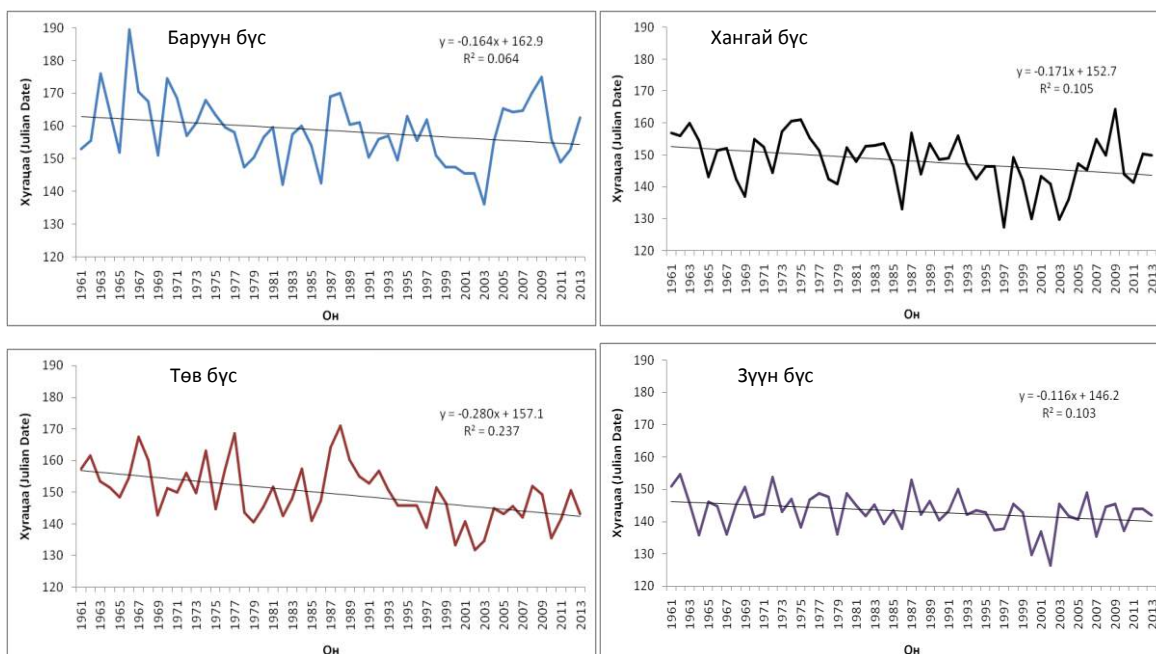


Зураг 271. (А) Ургалтын хугацааны (4-9 сар) олон жилийн (1982-2012) дундаж агаарын температурын орон зайн тархалт, (Б) Ургалтын хугацааны (4-9 сар) олон жилийн (1982-2012) дундаж агаарын температурын өөрчлөлт, %

Дээрх зургаас харахад манай орны ургалтын хугацааны температур 1.5-3.4 °C-аар сүүлийн 31 жилийн туршид өссөн байна.

Хаврын сүүлийн, намрын эхний цочир хүйтрэлт ажиглагдсан хугацаа, хүйтрэлгүй хугацааны олон жилийн явц, өөрчлөлтийг 4 бүсээр гаргав (**Зураг 272-273**).

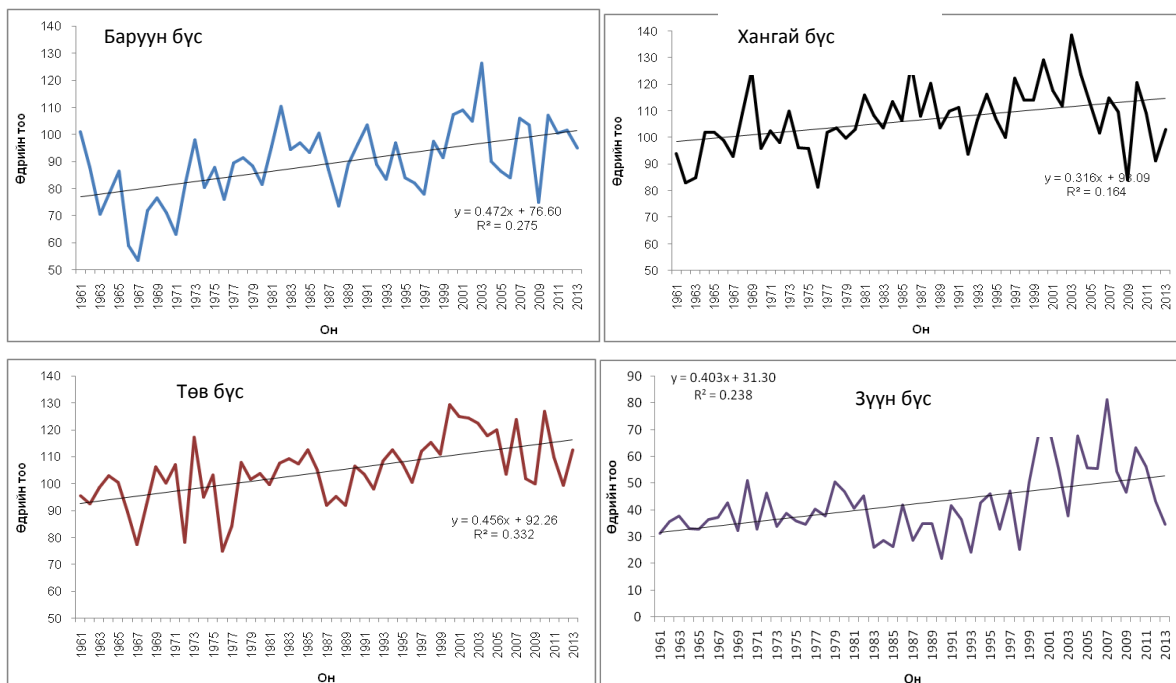
Зураг 6-аас харахад баруун болон төв бүсэд 14-15 хоногоор эртэссэн, харин хангайн болон зүүн бүсэд 6-9 хоногоор судалгааны жилүүдэд эртэссэн байна.



Зураг 272. Хаврын сүүлийн цочир хүйтрэх хугацааны олон жилийн явц

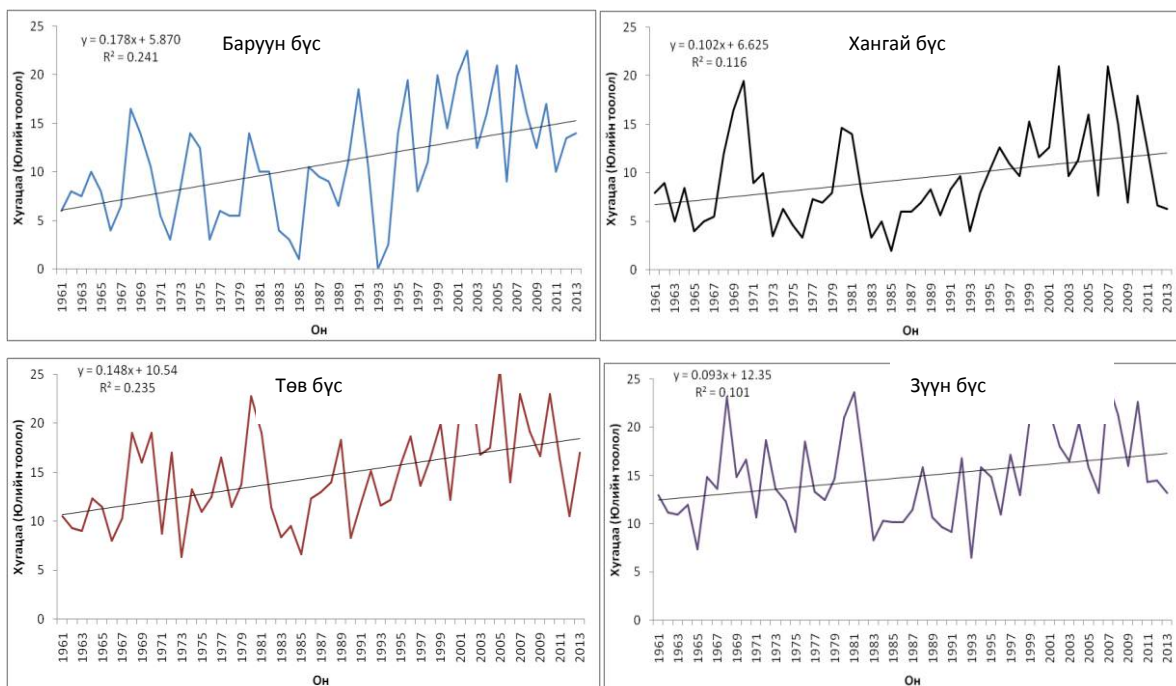
Харин намрын эхний цочир хүйтрэлтийн хугацаа судалгааны бүсүүдэд 4-11 хоногоор хойшилсон байна.

Цочир хүйтрэлгүй хугацааны үргэлжлэх хугацаа авч үзвэл баруун болон төвийн бүсэд 24-25 хоног буюу бараг сар орчим харин зүүн болон хангайн бүсэд 10-17 хоногоор үртэсэн байна (Зураг 273).



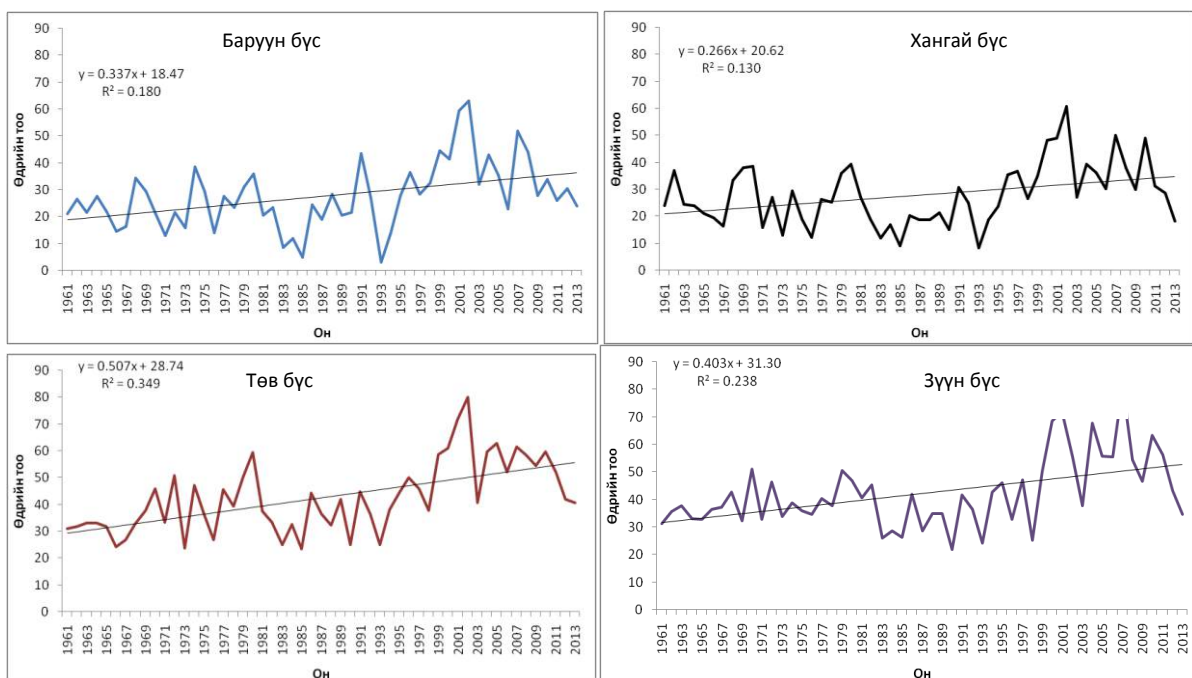
Зураг 273. Хүйтрэлгүй хугацааны олон жилийн явц

Мөн улаанбуудайн үргэлтэнд хамгийн их нөлөөлдөг 7 дугаар сарын болон үргэлтын хугацааны (5 дугаар сараас 9 дүгээр сар хүртэл) агаарын хамгийн их температур 26°C-аас дулаан байсан өдрийн тооны олон жилийн явц, өөрчлөлтийг тооцоолон гаргав (Зураг 274-275).



Зураг 274. 7 дугаар сарын +26°C–аас дээш халуун өдрийн олон жилийн явц

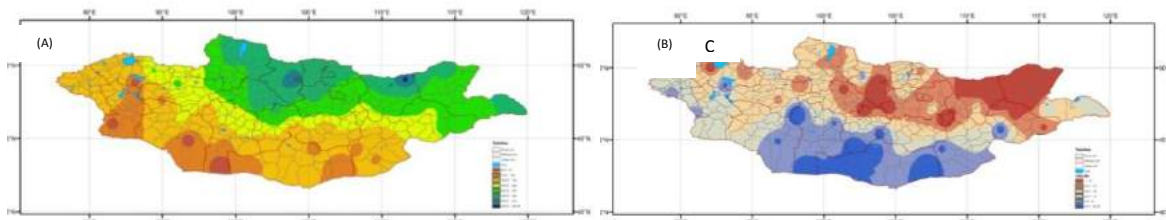
Зураг 275-гаас харахад баруун болон төвийн бүсэд 7 дугаар сарын +26°C–аас дээш халуун өдрийн тоо 8-9 хоногоор, хангай болон зүүн бүсэд 5 хоногоор сүүлийн 53 жилд нэмэгдсэн байна.



Зураг 275. Ургалтын хугацааны (5-9 сарын) +26°C–аас дээш халуун өдрийн олон жилийн явц

Харин ургалтын хугацаан дахь +26°C–аас дээш халуун өдрийн тоо төв болон зүүн бүсэд 21-27 хоногоор, баруун болон хангайн бүсэд 14-18 хоногоор сүүлийн 53 жилд нэмэгдсэн байна (Зураг 275). Зураг 276-д үзүүлсэн ургалтын хугацааны хур тунадасны

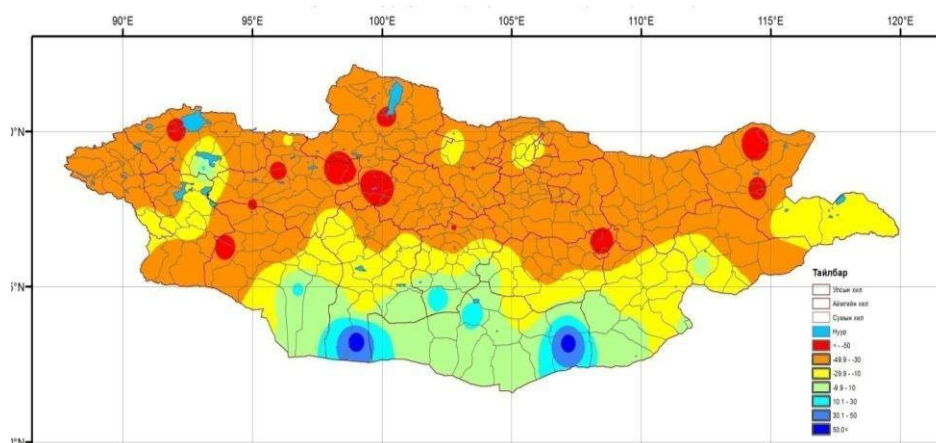
сүүлийн 31 жилийн өөрчлөлтөөс харахад газар тариалангийн төв бүсийн ихэнх (Булган, Төв, Говьсүмбэр аймаг) болон зүүн бүсийн (Хэнтий, Дорнод аймаг) ихэнх хэсгээр хур тунадасны хэмжээ дундажаар бараг 50%-иар буурсан байхад говийн бүс нутгаар бага зэргийн өсөлт ажиглагдсан байна.



Зураг 276. (А) Ургалтын хугацааны (4-9 сар) олон жилийн хур тунадасны орон зайн тархалт, (Б) ургалтын хугацааны (4-9 сар) олон жилийн дундаж хур тунадасны өөрчлөлт, %

Таримал ургамлын ургалтанд агаарын температур, хур тунадас дан дангаараа нөлөөлөхгүй, чийг, температурын тодорхой хослол байдлаар нөлөөлнө. Үүнийг нь чийг-дулаан янз бүрийн үзүүлэлэлт /итгэлцүүр, индекс гэх мэт нэрлэдэг/ хэлбэрээр илэрхийлнэ. Эдгээрээс манайд хамгийн өргөн хэрэглэгддэг нь Селяниновийн ус-дулааны итгэлцүүр, Будыкогийн цацрагийн хуурайшлын индекс зэрэг болно. Эдгээр нь тухайн газрын биочадавхитай, өөрөөр хэлбэл хөрсний үржил шим, ургамалын жилийн бүтээмж, ерөнхий утгаараа бол экосистемийн анхдагч бүтээгдэхүүнт чанартай сайн уялдаатай байдаг. Монгол орны газар тариалангийн бүс нутгийн буудайн ургац ба чийг-дулааны үзүүлэлтүүдийн хоорондох уялдаа холбоог Д. Дагвадорж [1988], Ж. Оюун [2000] нар нэлээд дэлгэрэнгүй судалсан байдаг. Судалгаанаас Селяниновийн V ба VI сарын чийг-дулааны итгэлцүүр ба буудайн ургацын хооронд статистик үнэмшилтэй уялдаа илэрсэн байна.

Гэтэл уур амьсгалын өөрчлөлтийн улмаас чийг дулааны үзүүлэлтүүдийн утга өөрчлөгдөж хуурайших байдал Монгол орны ихэнх нутгаар ажиглагдаж байна. Энэхүү өөрчлөлтийг гаргахын тулд уур амьсгалын чийглэг/хуурай байдлын үзүүлэлтүүдийн Селяниновийн ус-дулааны итгэлцүүрийг 1979-2012 оны цаг уурын 70 станцын мэдээг ашиглан тооцоолж шугаман регрессийн тэгшитгэлийн “а” (налуугийн) коэффициентийг тооцон сүүлийн 31 жилийн өөрчлөлтийн газарзүйн тархацыг үзүүлэв.

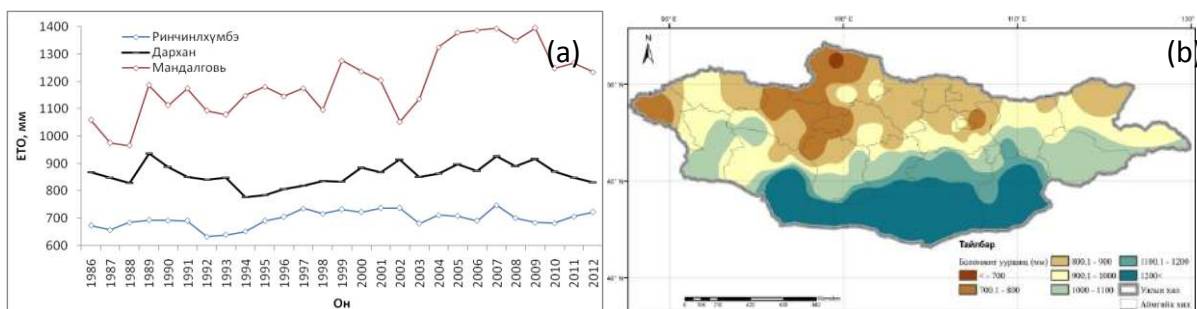


Зураг 277. Чийг дулааны үзүүлэлтийн (Селяниновийн чийг-дулааны итгэлцүүр) сүүлийн 31 жилийн өөрчлөлт

Дээрх **Зураг 277**-оос харахад судалгааны сүүлийн 31 жилд хуурайшил (шугаман регрессийн тэгшитгэлийн “а” коэффициентийн утга) судалгааны бүсүүдэд нэмэгдсэн байх юм. Ялангуяа хангай болон зүүн бүсийн хойд хэсгээр хуурайшил эрчимтэй

явагдсан байна. Цаашид агаарын температур 2-4°C-аар нэмэгдэж хур тунадасны хэмжээний бага зэргийн нэмэгдэх, буурах өөрчлөгдөлт болохоор хуурайшил улам идэвхжих нь тодорхой юм. Энэ нь усалгаагүй тариалалттай улаанбуудайн үргалтад нөлөөлөх тодорхой юм.

Боломжит ууршилтын зураглалыг (Монгол орны хэмжээнд) хийж зураглал хийж, станц бүрээр сар жилийн өөрчлөлт, стандарт стандарт хазайлт, вариацийн коэффициентийг тооцоолон үнэлсэн (Зураг 278).



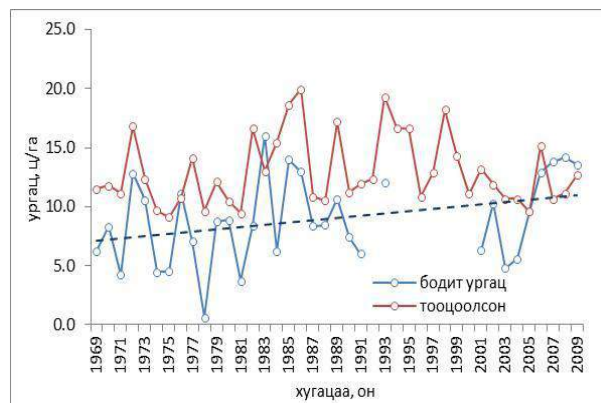
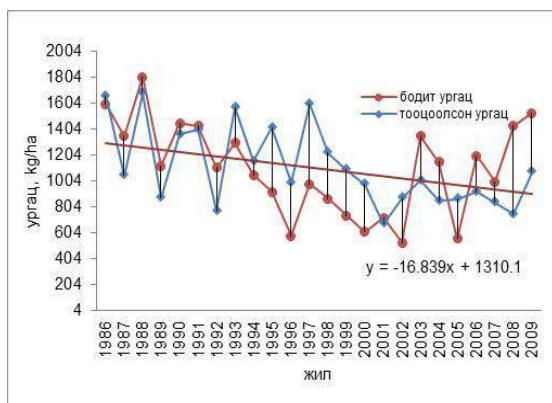
Зураг 278. (а) Боломжит ууршицын олон жилийн явц болон (б) газарзүйн тархалт (Пенман-Монтейсын тэгшитгэлээр тооцоолсон)

Боломжит ууршицын хэмжээ сүүлийн 27 жилийн дундажаар ойт хээрийн бүсэд 860мм, хээрийн бүсэд 909 мм байдаг бөгөөд энэхүү хэмжээ нь сүүлийн 27 жилд өссөн байна (Зураг 10).

Зусах улаан буудай, төмсний ургацын ирээдүйн хандлагыг тоон загвараар үнэлсэн нь

Таримал ургамлын ургацыг математик загвараар үнэлэхийн тулд загварт шаардагдах оролтын параметруудийг манай орны нөхцөлд тохируулан өгөх шаардлагатай. Уур амьсгалын өгөгдлүүдийг тариалан эрхэлдэг бүс нутгийн ойролцоо орших цаг уурын 17 өртөөний 1961-2009 оны өгөгдлөөр өгөв. Гэхдээ уур амьсгалын өөрчлөлтийн үнэлгээг хийхийн тулд уур амьсгалын ирээдүйн төсөөлөл гаргахад суурь үе болгон ашигласан 1980-1999 оны мэдээгээр тооцоог хийв. Агро техникийн үзүүлэлт болох тариалах, хураах хугацаа, үрийн норм зэргийг тариалан эрхэлж байгаа практикаас тогтсон байдлаар нь оруулав. Хөрсний мэдээг тухайн төрлийн хөрсний үзүүлэлтээр, Дархан, Хархорин, Баруунтуруун, Жаргалант, Хутаг, Өндөрхаанд хөрсний давхарга бүрээр механик бүтэц, хөрсний органик нүүрстөрөгч, азотын хэмжээ (%), рН, эзэлхүүн жин (г/см³)-г сүүлийн үед шинээр тодорхойлсон байдлаар оруулж өгсөн. Сортын өгөгдлийг DSSAT 4.0 загварт өгөгдсөн үзүүлэлтээс манайд аль ойрыг нь сонгож оруулсан болно.Гэвч сортын болон хөрсний шинж чанарын өгөгдөл нэлээд алдаатай байхыг үгүйсгэхгүй.

Ийнхүү загварыг ажиллуулж зүгшрүүлэлт хийхэд DSSAT 4.0 нь тарималын ургацын жил жилийн ерөнхий хандлагыг нэлээд ойролцоо тооцоолж чадаж байв. Зураг 279-т загваар тооцоолсон болон бодит ургацын мэдээг зарим өртөөн дээр харьцуулан үзүүлэв.



а/

б/

Зураг 279.Загвараар тооцоолсон болон бодит буудайн ургац, ц/га-аар, а/- Дархан, б/- Баруун туруун

Уур амьсгалын өөрчлөлтийн ирээдүйн шинэ төлөв байдал таримлын ургацад хэрхэн нөлөөлөхийг эхний ээлжинд зохиомол нөхцөл өгч загвараар тооцоолох нь хамгийн үр дүнтэй арга байдаг. Учир нь бидний ашиглаж байгаа уур амьсгалын загварууд ирээдүйн уур амьсгалын төлөв байдлыг тодорхой алдаатай босгохын дээр ургамлын фотосинтезийн процесст нөлөөлөх агаар дахь нүүрсхүчлийн хийн агууламж Киотогийн протокол болоод түүний дараа гарч ирэх олон улсын шинэ гэрээг хэрхэн хэрэгжүүлснээс хамаарч өргөн хүрээнд хэлбэлзэнэ. Иймээс бид тариамал ургамлын DSSAT 4.0 загвараар газар тариалангийн бүсүүдийг төлөөлүүлсэн цаг уурын 16 өртөөн дээр агаарын сарын дундаж температурыг 1, 2, 3, 4, 5 градусуар нэмэгдэх, ургамал ургалтын хугацааны хур тунадас -30, -20, -10%-иар буурах буюу, 10, 20, 30 хувиар өсөхөд таримал ургалтын процесс болон ургац, хэрхэн өөрчлөгдөхийг үнэлэв (Хүснэгт 75).

Хүснэгт 75. Агаарын температур, хур тунадасны өөрчлөлт буудайн ургацад нөлөөлөх байдлыг загвараар тооцоолсон дүн, %

Агаар дахь CO2 агууламж /350ppm/				Ирээдүйд Агаар дахь CO2 агууламж CO2, 2020 /440 ppm/				Ирээдүйд Агаар дахь CO2 агууламж CO2, 2050 /520ppm/			
Тунадасны өөрчлөлт, %	Температурын өөрчлөлт, 0C			Тунадасны өөрчлөлт, %	Температурын өөрчлөлт, 0C			Тунадасны өөрчлөлт, %	Температурын өөрчлөлт, 0C		
	t+0	t+2	t+3		t+0	t+2	t+3		t+0	t+2	t+3
Газар тариалангийн төв бүс											
0	0	-4	-2	0	4.0	-1.6	-2.2	0	5.3	0.3	-0.6
+10	1.8	-1.5	-1.2	+10	1.6	-1.1	-0.5	+10	2.2	0.4	1.4
+20	6.5	1.2	1.4	+20	4.9	1.5	1.9	+20	5.1	4.0	3.9
-10	-3	-4.8	-3.4	-10	3.0	-4.7	-3.2	-10	2.5	-2.7	-1.5
-20	-6.7	-8.5	-7.6	-20	-6.9	-8.5	-7.4	-20	-6.3	-7.3	-5.6
Агаар дахь CO2 агууламж /350ppm/				Ирээдүйд Агаар дахь CO2 агууламж CO2, 2020 /440 ppm/				Ирээдүйд Агаар дахь CO2 агууламж CO2, 2050 /520ppm/			
Тунадасны өөрчлөлт, %	Температурын өөрчлөлт, 0C			Тунадасны өөрчлөлт, %	Температурын өөрчлөлт, 0C			Тунадасны өөрчлөлт, %	Температурын өөрчлөлт, 0C		
	t+0	t+1	t+3		t+0	t+1	t+3		t+0	t+1	t+3
Газар тариалангийн ЗҮҮН бүс											
0		-5	-14	0		1	-9	0		7	-1
+10	9	2	-9	+10	15	6	-6	+10	21	13	2
+20	15	7	-6	+20	22	11	-1	+20	28	17	4
-10	-5	-13	-19	-10	3	-5	-12	-10	9	1	-6
-20	-11	-17	-20	-20	-2	-9	-15	-20	3	-4	-9

Газар тариалангийн БАРУУН бүс											
P=0%		-2	-1	P=0%		0	1	P=0%		2	2
P+10%	2	-1	0	P+10%	4	2	2	P+10%	6	2	3
P+20%	3	1	3	P+20%	5	2	3	P+20%	8	3	5
P-10%	0	-3	-2	P-10%	2	-2	-1	P-10%	5	-1	1
P-20%	-1	-5	-3	P-20%	1	-3	0	P-20%	3	-2	0

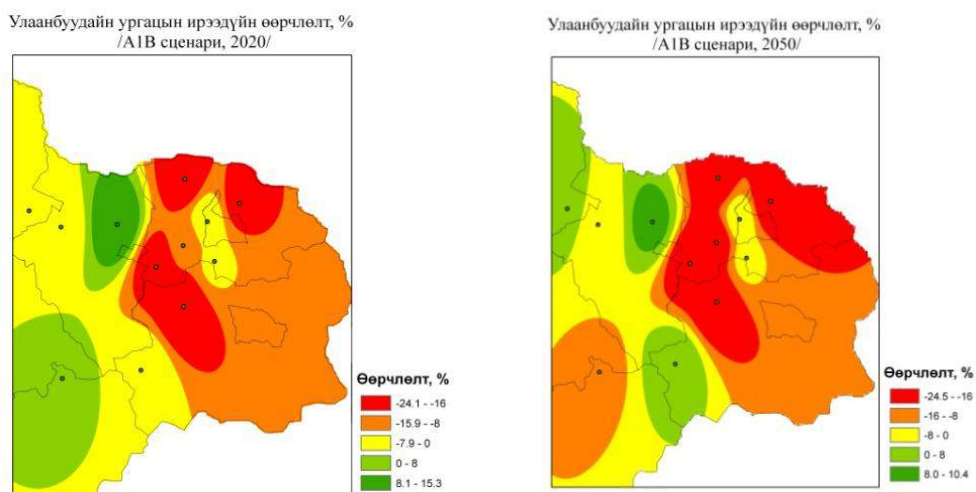
Хүснэгтээс агаарын температурын өсөлтөнд таримал ургамлын ургац буурах хандлагатай байна. Энэ нь ууршцын өсөлтөөс хамаарч ургамлын ургалтанд шаардагдах усны хэрэгцээ өсч байгаатай холбоотой. Гэхдээ энэ бүүралт Төв ба Баруун бүст ялимгүй эргэлзээтэй гарчээ. Энэ бол загварын зүгшрүүлэлт бүрэн бусыг харуулж байна.

Бүүдайн ургацын ирээдүйн өөрчлөлтийг харахад агаарын температур 3 0C-ээр өсөхөд түүний ургацанд үзүүлэх сөрөг нөлөөг хур тунадасны 20 хувийн өсөлт зүүн, төвийн бүс нутагт дарж чадахгүй байна. Харин баруун бүсэд хур тунадас 20 хувиар ихсэхэд ургацанд ялимгүй таатай нөлөө үзүүлэх төлөвтэй. Улаан бүүдайн ургацын ирээдүйн өөрчлөлтийг хүлэмжийн хийн ялгаралтын янз бүрийн хувилбар ашиглан Английн уур амьсгалын судалгааны Хэдли-ийн төвийн уур амьсгалын загвараар тооцоолсон агаарын температур, хур тунадасны өөрчлөлтийн өгөгдлийг ашиглан газар тариалангийн янз бүрийн бүст орших цөөн хэдэн өртөөн дээр тооцоолов (Хүснэгт 76).

Хүснэгт 76. Бүүдайн ургацын одоогийн байгаагаас өөрчлөгдөх өөрчлөлт, %

Өртөөний нэр	Олон жилийн дундаж бодит ургац, ц/га	Одоогийн түвшинд DSSAT загвараар тооцоолсон дундаж ургац,ц/га	бүүдайн ургацын өөрчлөлт, %		
			2011-2030 он	2046-2065 он	2080-2099 он
Ялгаралтын А1В хувилбар					
Дархан	11.0	11.3	-2.8	-4.2	-6.9
Халхгол	7.5	10.4	-7.4	-8.6	-11.2
Баруунтуруун	8.9	13.2	-1.6	-2.1	-2.8
Ерөө	12.1	10.4	-18.1	-24.5	-23.8
Тариалан	12.9	15.2	-0.4	4.1	2.2
Угтаал	9.9	12.8	-24.1	-23.4	-24.1
Баруунхараа	10.2	12.2	-6.9	-6.6	-4.0
Эрдэнэсант	11.8	14.6	-1.2	4.7	3.4
Орхон (Сэлэнгэ)	10.2	9.2	-15.0	-22.6	-27.1
Хутаг	11.1	11.6	-4.3	-6.0	-18.4
Ингэттолгой	9.6	15.6	15.3	10.4	5.5
Цагааннуур	11.2	11.2	-21.0	-22.0	-26.8
Хархорин	10.8	11.1	1.9	-9.3	0.0
Орхонтуул	9.1	9.2	-20.5	-23.2	-25.8

Тооцооноос харвал хүлэмжийн хийн дунд зэргийн ялгаралттай хувилбар болох А1В-ийн хувьд арай илүү үнэмшилтэй гарсан бөгөөд алдаа ихтэй Ингэт толгой, Баруун түрүүн өртөөний дүнг хасаад бүүдайн ургац манай газар тариалангийн төв ба зүүн бүсээр 2011-2030 оны хооронд 11 орчим хувиар, энэ зууны дунд үе буюу 2046-2065 оны хооронд 13 орчим хувиар тус тус одоогийн буюу 1980-1999 он түвшнээс буурах төлөвтэй байх юм. Газар тариалангийн Төв бүсийн ургацын хандлагыг энэ зууны эхэн ба дунд үеэр Зураг 280-т дүрслэв.



Зураг 280. Улаан буудайн ургацын ирээдүйн хандлага

Энэ нь Уур амьсгалын өөрчлөлтийн Засгийн газар хоорондын ажлын хэсгийн 2001 оны IV илтгэлд ашигласан загварын үр дүнг ашигласан тооцоотой ойролцоо байгаа юм.

Уур амьсгалын өөрчлөлтийн улмаас үр тарианы га-ын ургац дээр дурдсанаар 2011-2030 оны түвшинд одоогийнхоосоо 10 орчим хувиар, энэ зууны дунд үе гэхэд 13 хувь бүүрлаа гэхэд 2020 онд 40 орчим, харин 2030 – 2040 онд жилд доод тал нь 70 гаруй тэрбум төгрөгийн бүтээгдэхүүн багаар авахаар байна. Гэхдээ энд хэт халалтын болон цаг агаарын аюултай үзэгдлийн нөлөөллийг тооцоогүй болно.

Таримал ургамлын ургалтын үйл явцын DSSAT 4.0 загварыг Монгол орны газар тариалангийн бүс нутгуудад зүгшрүүлэн хэрэглэхэд таримлын сортын үзүүлэлтүүд, хөрсний агрофизик, агрохимийн үзүүлэлтүүд зэргийг тохируулан өгөхөд хүндрэлтэйн дээр манайд хэрэглэж байгаа агротехник, таримлын ургалтын үе шатыг тодорхойлох, таримлын бүтээгдэхүүнт чанарын үзүүлэлтүүдийн зохих өгөгдлүүд хангалтгүй байгаа юм. Энэ нь загварын үр дүнд муугаар нөлөөлж байгаа юм. Цаашид бид газар тариалангийн шинжлэх ухааны үндэслэлийг дээшлүүлэхийн тулд агро экосистемийн загварчлалын аргуудыг бодит туршилттай хамсруулан хэрэглэж өөрчлөгдөн хувьсаж байгаа уур амьсгалын нөхцөлд хүн амын хүнсний хангамжийн асуудлыг зохистой шийдэж чадна.

Дүгнэлт

Монгол улсын эдийн засгийн нэг гол үндэс хөдөө аж ахуйн салбарт газар тариалан чухал байр суурь эзэлж байна. Улам бүр өсөн нэмэгдэж байгаа хүн амын эрэлт хэрэгцээг баталгааттай, хүрэлцээтэй хүнсээр, уур амьсгалын өөрчлөлтийн улмаас эрсдэл нь улам бүр нэмэгдээд байгаа мал аж ахуйг тэжээлээр хангахын тулд газар тариалангийн үйлдвэрлэлийг цаг агаарын хараат байдлаас аль болох ангижруулж үйлдвэрлэлийг нь тогтворжуулах шаардлага нэн тэргүүнд тавигдаж байна. Монгол улсын газар тариалан эрхлэхэд тохиромжтой газар нутаг хязгаарлагдмал, тариалангийн хөрсний үржил шим улам доройтож байгаа, уур амьсгалын өөрчлөлт улам бүр эрчимжиж байгаа ийм нөхцөлд дасан зохицох бодлогын хувилбаруудаа шинжлэх ухааны үндэстэй зөв гаргаж ирэх хэрэгтэй байгаа юм. Уур амьсгалын өөрчлөлтийн улмаас газар тариалангийн салбарт үзүүлэх нөлөөллийн үр дагаварын эрсдлийн үнэлгээнээс дараах дүгнэлт хийж болохоор байна. Үүнд:

Монгол улсын нийгэм-эдийн засгийн хөгжлийн ирээдүйн хандлагаас хөдөө аж ахуйн салбарын ДНБ-д эзлэх хувийн жин цаашид ихээхэн буурах боловч газар тариалангийн салбарын үүрэг, хөдөө аж ахуйн нийт бүтээгдэхүүнд жин улам нэмэгдэнэ,

Уур амьсгалын өөрчлөлтийн манай газар тариалангийн салбарт үзүүлж болох эерэг, сөрөг нөлөөллүүдийг жигнээд үзэхэд сөрөг нөлөөлөл нь илт давамгайлахаар байна,

Улаан буудайн ургацанд хэт халалтын нөлөө мэдэгдэм болж байна. Энэ нь ялангуяа улаан буудайн ургалтын эмзэг үе шатанд тохиолдох нь элбэгшиж байна,

Монгол нутагт хуурайшил эрчимжиж байгаа нь тарималын ургалтанд сөргөөр нөлөөлөх болзошгүй юм.

Улаан буудайн ургацанд агаар дахь хүүрсхүчлийн хийн агууламжийн цаашдын өсөлт ихээхэн нөлөөл үзүүлэх төлөвтэй. Агаар дахь CO₂-ийн агууламжийг одоогийн түвшнээс 90, 170 ppm-ээр өсгөж үзэхэд буудайн ургац 2.3-10.7% өсөхөөр төлөвтэй байна.

Ирэдүйд агаарын температур огцом нэмэгдэх нь хур тунадасны хэмжээний бага зэрэг өсөлт болсон ч улаан буудайн ургацанд сөргөөр нөлөө үзүүлэх төлөвтэй байна. Хүлэмжийн хийн дунд зэргийн ялгаралттай (A1B) хувилбар ашиглан хийсэн уур амьсгалын өөрчлөлтийн ирээдүйн төлөв байдлын хувьд DSSAT 4.0 загвараар тооцоогоор зусах улаан буудайн га-гийн дундаж ургац 2011-2030 оны түвшинд олон жилийн дунджаасаа 10 орчим хувиар, 2046-2065 оны түвшинд 13%-иар тус тус буурах төлөвтэй. Харин халууны дарамтын нөлөөг тооцсон статистик үнэлгээгээр уур амьсгалын өөрчлөлт хамгийн эрчимтэй, хамгийн сул байх хувилбаруудад буудайн ургац улсын дундажаар 35-62,5%-иар буурах магадлалтай. Ерөнхийдөө зууны дунд үед улаан буудайн ургац 10-15%-иар одоогийнхоосоо буурах магадлал өндөр байна.

Улаанбуудайн тариалах хугацаа оновчлох үүднээс 16 өртөөний цаг уур, агротехникийн ажлын мэдээлэл болон хөрсний мэдээг ашиглан тариалалтын хугацааг 6 ялгаатай хугацаагаар өгч явуулахад газар тариалангийн төв бүсэд 5 дугаар сарын эхний 5 хоногт тариалсан нь олон жилийн дундажаар хамгийн тохиромжтой өндөр ургац авах магадлалтай бөгөөд энэ хугацаанаас хойшилж тариалахад авах боломжтой ургацын 6.5-18.6% алдах талтай байна. Харин баруун бүсийг төлөөлүүлэн сонгож авсан Баруунтуруун өртөөний хувьд тариалалтыг 5 дугаар сарын 20-ноос хойш тариалах нь илүү тохиромжтой өндөр ургац авах магадлалтай байна.

Нэгэнт манай газар тариалангийн хөрс ихээхэн ядуурсан учир бордоо хэрэглэх, ялангуяа буурцагт ургамлыг сэлгээнд ашиглах явдал нэн чухал байгаа юм.

Усалгааг 6 дугаар сарын хорьдоос 7 дугаар сарын эхэн хүртэл хийх нь нэн тохиромжтой

6.2 Бэлчээр, хөрсний нөлөөллийн үнэлгээ

Монгол орон Сибирийн чийглэг тайгаас Төв Азийн хуурай цөлөрхөг бүсэд шилжих бүс нутагт оршихын зэрэгцээ гадаад далайгаас ихээхэн алсгагдаж эргэн тойрон өндөр уулсаар хүрээлэгдсэн зэргээс шалтгаалан эх газрын эрс тэс, гандуу хуурай уур амьсгалтай бөгөөд энэ нь экосистемийг уур амьсгалын өөрчлөлтөд эмзэг байх нөхцөлийг бүрдүүлдэг.

Монгол орны эдийн засаг, нийгэм, амьдралын хэв маяг, соёл, ёс заншил нь бэлчээрийн МАА-н салбартай нягт холбоотой, энэ нь эцэстээ байгалийн бэлчээрийн төлөв байдлаас шууд хамааралтай юм.

Манай орны нутаг дэвсгэрийн 90 орчим хувийг эзэлдэг байгалийн бэлчээр нь ДНБ-ний 14%-ийг мал аж ахуйгаар дамжуулан үйлдвэрлэгч, хүн амын 40 шахам хувийг эзэлдэг хөдөөгийн ард иргэдийн амьжиргааг тэтгэгч, биологийн олон янз байдлын амьдрах орчныг хангагч болсон манай орны экосистемийн хамгийн том бүрдэл юм.

Судлаачид уур амьсгалын өөрчлөлтөнд эмзэг салбарууд болон дасан зохицох арга зам, стратегийг тодорхой аргачлалаар боловсруулан гаргаж УАӨҮХ, УАӨҮИ зэрэг баримт бичигт оруулсан байдаг бөгөөд уур амьсгалын өөрчлөлтөнд хамгийн эмзэг 5 салбарын нэгдүгээрт МАА-н салбар жагсаж, түүний дотор бэлчээр, хөрсний асуудал багтсан байдаг.

Ийнхүү уур амьсгалын өөрчлөлт түүний бэлчээр, хөрсөнд нөлөөлөх асуудал ихээхэн эмзэг байгааг судлан шинжилж төр засгийн бодлого, ард иргэдийн мэдлэг, хэрэглээнд хүргэх шаардлагын үүднээс гарсан “УАӨ-ийн бэлчээр, хөрсөнд үзүүлэх нөлөөллийн үнэлгээ” даалгаварт ажлыг хийж гүйцэтгэж байна.

“УАӨ-ийн бэлчээр, хөрсөнд үзүүлэх нөлөөллийн үнэлгээ” сэдэвт ажлын хүрээнд доорхи зорилтыг дэвшүүлж, судалгааны ажлын аргазүйг боловсруулан батлуулж, ажилласан болно. Үүнд:

- **Монгол орны бэлчээрийн төлөв байдлын өөрчлөлт.** Үүний тулд бэлчээрийн үндэсний мониторингийн 1500 зогсоол цэгийн ургамлын төрөл зүйлийн мэдээн дээр тулгуурлан бэлчээрийн төлөв байдлын өөрчлөлтийг гаргана.
- **УАӨ-ийн бэлчээр/хөрсөнд үзүүлэх ирээдүйн нөлөөллийг үнэлэх (2016-2035, 2046-2065, 2081-2100).** Энд хөрсний органик бодисын явцыг сарын алхамтай тооцоолдог динамик загвар болох Century загварыг ашиглан үнэлгээ хийнэ. Уг загварт уур амьсгалын өөрчлөлтийн ирээдүйн сценари мэдээг (2016-2035, 2046-2065, 2081-2100) оруулж, тооцоо хийнэ.
- **Бэлчээр/хөрсний зарим үзүүлэлтийг богино хугацаанд үнэлэх аргазүйг турших.** Энэ ажлын хүрээнд мөн хөрсний органик бодисын явцыг хоногийн алхамтай тооцоолдог DayCent загварыг судалж, туршина.

Ашигласан мэдээ

Судалгааны ажилд шаардагдах дараах мэдээ мэдээллийг бүрдүүлсэн. Үүнд:

-Уур амьсгалын мэдээ-Цаг уурын 40 станцын агаарын их, бага температурын сарын дундаж, 67 станцын агаарын их, бага температур, хур тунадасны хоногийн мэдээ, сүүлийн 30 жилээр

-Хөрсний мэдээ-Дээрх цаг уурын станц бүхий сумдын хөрсний механик бүрэлдэхүүн, эзлэхүүн жин

-Бэлчээрийн хашаалсан талбайн ургац

-Бэлчээрийн ургамлын мэдээ-Багийн нутгаар сонгож авсан нийт 1500 зогсоол цэгийн ургамлын зүйлийн бүрэлдэхүүн

-Бэлчээрийн даацын мэдээ-Ус цаг уурын албанд 2001 оноос хойш тооцоолж байгаа өвөл-хаврын бэлчээрийн даацын мэдээ

-Бэлчээрийн экологийн чадавхи, лавлагаа төлөв байдлын мэдээ-Нийт бэлчээрийг хөрс, уур амьсгалын онцлогоор нь экологийн чадавхийн 22 бүлэгт хуваасан. Мөн манай оронд хийгдсэн бэлчээрийн ургамлын судалгааг нэгтгэн лавлагаа мэдээллийг бий

болгосон. /Монгол орны бэлчээрийн төлөв байдлын үндэсний тайлан, 2015/.

-Бэлчээрийн сэргэх чадавхийн ангилал-Бэлчээрийг сэргэх чадавхаар нь 5 ангид хаваасан. /Монгол орны бэлчээрийн төлөв байдлын үндэсний тайлан, 2015/.

-УАӨ-ийн ирээдүйн сценари мэдээ, сараар-агаарын их, бага температур, хур тунадасны мэдээг 2016-2035, 2046-2065, 2081-2100 оны түвшинд цаг уурын 40 станцаар

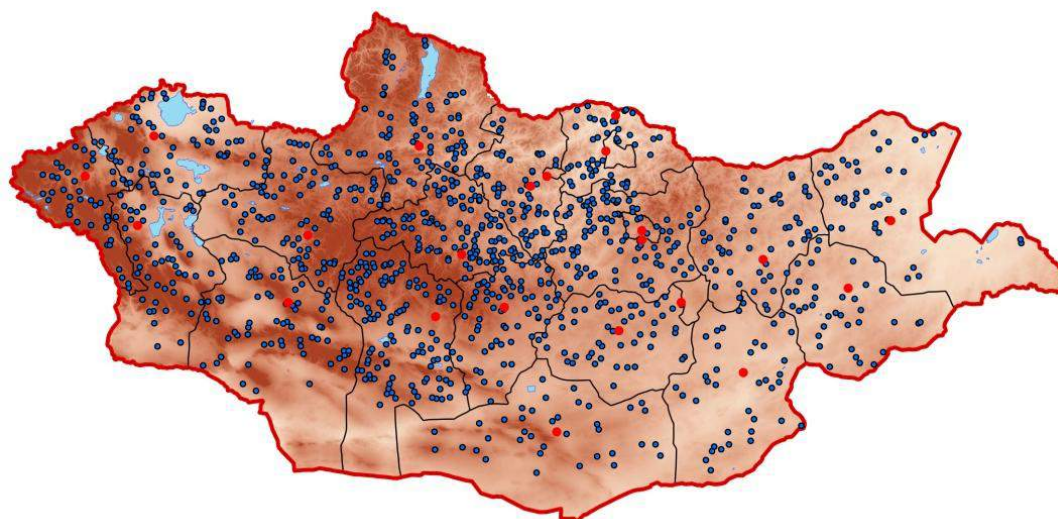
Судалгааны аргазүй

Бэлчээрийн төлөв байдлын (ургамлын бүлгэмдэл) өөрчлөлт. Ус цаг уур, орчны хяналт шинжилгээний улсын сүлжээн дээр нийтдээ 1500 цэгт хийж байгаа бэлчээрийн үндэсний мониторингийн мэдээнд боловсруулалт хийсэн. Энд бэлчээрийн газрын экологийн чадавхи (ecological potential) дээр суурилсан төлөв байдлын шилжилтийн загвар (state transition model)-ийг ашиглан “Бэлчээрийн ургамлын бүлгэмдлийг сэргэх чадвараар нь ангилах зарчим” дээр үндэслэсэн.

Энэхүү шинэ аргазүйг ШХА-ийн Ногоон алт төсөлтэй хамтран ажиллах ажлын хүрээнд төслийн судлаачид болон тэдний зөвлөх АНУ-ын ХААЯ-ны харъяа Бэлчээрийн түршилт, судалгааны төвийн судлаачидтай хамтран боловсруулж, түршсан бөгөөд 10-аад жилийн хамтын ажлын үр дүн болно.

Хамтын судалгааны хүрээнд манай оронд өмнө нь хийгдэж байсан ургамлын судалгааны материалуудыг нэгтгэн Монгол орны бэлчээрийн ургамлын бүлгэмдэл, төрөл зүйлийн харьцангуй соргог байх төлвийн мэдээ буюу лавлагаа /reference/ мэдээллийг боловсруулж гаргаснаар одоогийн төлөв болон түүний өөрчлөлтийг гаргах боломжтой болсон.

Ийнхүү 2015 оны 5 дугаар сард ус цаг уур, орчны хяналт шинжилгээний улсын сүлжээний 1500 цэгт (Зураг 281) хийсэн бэлчээрийн үндэсний мониторингийн 2014 оны мэдээнд тулгуурлан “Монгол орны бэлчээрийн төлөв байдлын үндэсний тайлан”-г анх удаа боловсруулан гаргаж, нийтэд танилцуулсан.



Зураг 281. Бэлчээрийн төлөв байдлын мониторингийн цэгүүдийн байршил

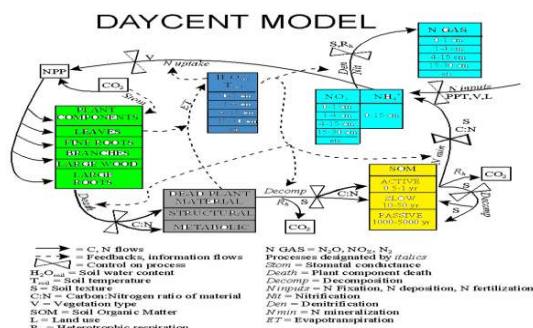
УАӨ-ийн бэлчээр/хөрсөнд үзүүлэх ирээдүйн нөлөөллийг үнэлэх. Уур амьсгалын ирээдүйн өөрчлөлтийн бэлчээр, хөрсөнд нөлөөлөх нөлөөллийн үнэлгээг экосистемийн загварын нэг төрөл болох Century загварыг ашиглан хийж байна. Мөн судалгаанд Century загварын дэд загвар болох DayCent загварыг ажиллуулсан.

Century загвар нь ургамал-хөрсний экосистемийн ерөнхий загвар бөгөөд олон янзын ургамал-хөрс системийн нүүрстөрөгч (C), азот (N), фосфор (P), хүхэр (S)-ийн урт хугацааны явц буюу динамикийг тооцоолно. Загвар нь бэлчээр, таримал, ойн дэд загваруудыг агуулах ба эдгээр нь бүгд хөрсний органик бодисын дэд загварт холбогдоно. Загвар нь сарын алхамтай ажиллах ба загварт сарын агаарын дундаж максимум, минимум температур, хур тунадас, ургамлын химийн үзүүлэлтүүд, хөрсний зарим мэдээг оруулах шаардлагатай. Уг загвараар үүр амьсгалын өөрчлөлтийн бэлчээрт үзүүлэх нөлөөллийн үнэлгээг хийхэд ихээхэн тохиромжтой юм. (Болорцэцэг 1999, Эрдэнэцэцэг 2010).

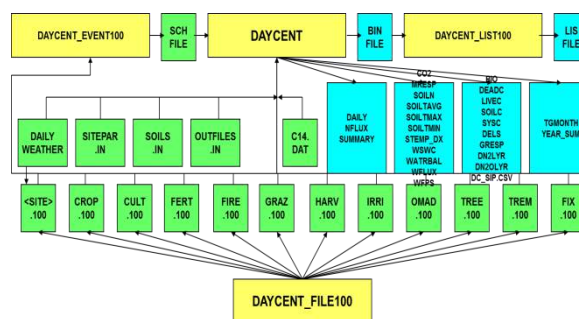
Мөн энэ судалгааны ажлын хүрээнд үүр амьсгалын өөрчлөлтөнд өндөр эрсдэлтэй голуудын сав газар буюу Хархираа-Түргэн, Улз голын сав газрын бэлчээрийн хөрсний органик бодисын одоогийн агууламж, үүр амьсгалын ирээдүйн өөрчлөлтийн нөлөөгөөр хэрхэн өөрчлөгдөхийг дээрх загвараар тооцоолж гаргасан. Энэхүү судалгааны үр дүн дээр тулгуурлан эдгээр голуудын сав газарт экосистемд түшиглэсэн дасан зохицох хувилбаруудыг гаргасан болно.

Бэлчээр/хөрсний зарим үзүүлэлтийг богино хугацаанд үнэлэх аргазүйг турших.

Century загварын сарын алхамтай оролтын мэдээг өдрийн алхамтай болгож, бусад нэмэлт засварыг хийн Daily Century буюу DayCent (Parton et al.1998; Kelley et al. 2000; Del Grosso et al. 2001, Cindy Keough 2010) загвар болгон хөгжүүлсэн. /Зураг 282, 283/. Энэ хувилбарыг ашиглан цаг уурын 67 станц дээр /Зураг 284/ бэлчээрийн газрын дээрх биомассыг загварчлах, улмаар үр дүнг ганг үнэлэхэд ашиглах зэрэг боломжийг түршиж байна.

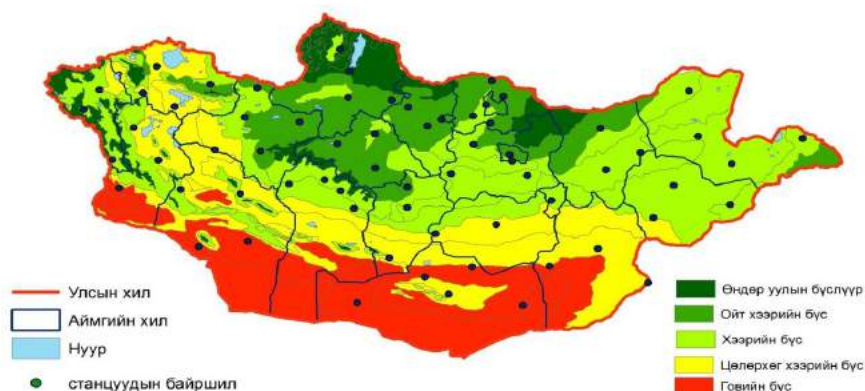


Зураг 282. DayCent загварын ерөнхий схем



Зураг 283. DayCent загварын оролт, гаралтын мэдээ

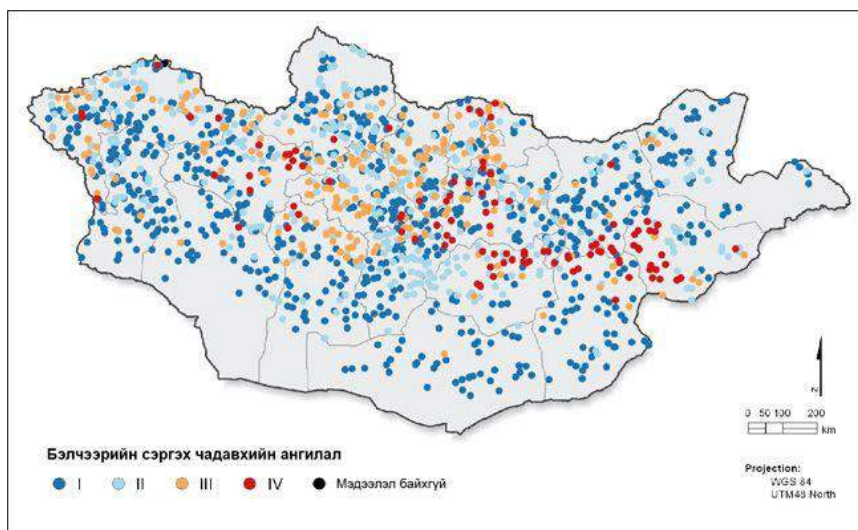
Станцуудын байршил



Зураг 284. Судалгаанд сонгож авсан станцуудын байршил

Судалгааны үр дүн

Бэлчээрийн төлөв байдлын (ургамлын бүлгэмдэл) өөрчлөлт. Ус цаг уур, орчны хяналт шинжилгээний улсын сүлжээн дээр хийж байгаа бэлчээрийн үндэсний мониторингийн мэдээгээр 2014 оны байдлаар сүлжээнд хамрагдах бүх цэгийн 65 хувийг төлөөлөх бэлчээрийн төлөв байдал, чанар нь тухайн орчныхоо хөрс, уур амьсгалын нөхцөл дэх унаган бүлгэмдлийн боломжит чадавхитай харьцуулахад нилээд өөрчлөгдөж доройтсон байна. Үүнээс бэлчээрийн даац, сэргэх чадавхид нь ашиглалтын эрчмийг тохируулах, ашиглалтын одоогийн хэлбэрийг бүрэн өөрчлөх замаар сэргээн сайжруулахад хамгийн багадаа 3-аас доошгүй жил шаардлагатай байгаа бэлчээрийн хэмжээ 40 хувиас давсан дүнтэй гарлаа. /Зураг 285/. /Монгол орны бэлчээрийн төлөв байдлын үндэсний тайлан, 2015/.



Зураг 285. Бэлчээрийн сэргэх чадавхийн ангилал

Харин бэлчээрт ашиглагдах боломжгүй болж доройтсон, байгалийн аясаараа эргэн сэргэх чадваргүй болсон буюу бэлчээрийн чанараа алдсан бэлчэээр 10 хүрэхгүй хувийг эзэлж байна.

Бэлчээрийн төлөв байдал, чадавхийн үнэлгээ, мониторингийн цэгийн төлөөллөөр Монгол орны нийт бэлчээрийн талаас илүү хувь нь үндсэн төлөв байдлаа хараахан бүрэн алдчихаагүй, одоогийн ашиглалтын хэлбэрийг үндсээр нь өөрчилж чадваас 10 хүртэл жилийн дотор сайжрах боломжтой гэсэн дүн гарав.

Монгол орны бэлчээрийн сэргэх чадавхийн ангилалыг дор үзүүлэв.

I. Ургамлын бүлгэмдэл лавлагаа төлөв байдалтай (доройтоогүй) бараг ойролцоо, эсвэл бага зэрэг доройтсон төлөв байдлаас лавлагаа төлөв байдалд шилжихэд ургалтын 1-3 улирал шаардагдах, ашиглалтын эрчим (ачаалал) тэжээлийн нөөц (даац)-тэй үндсэндээ дүйж байгаа, түүнчлэн улирлаар сэлгэж ашиглах шаардлагатай

II. Ургамлын бүлгэмдэл сөрөг тал руу бага зэрэг өөрчлөгдсөн, хур тунадас боломжийн байх, эсвэл ашиглалтын хэлбэр (ачааллыг бууруулах, улирлаар сэлгэх, түр амраах)-ийг зохистой өөрчилж чадсан тохиолдолд богино хугацаа (3-5 жил)-д сэргэх боломжтой. Өөрчлөлт нь урт хугацаанд бэлчээрийн тэжээлийн хангамж, экосистемийн бусад үйлчилгээнд ноцтой нөлөөлөх хэмжээнд хүрээгүй, тийн үнэлэх үндэслэлгүй

III. Ургамлын бүлгэмдэл нэлээд өөрчлөгдсөн, хур тунадас боломжийн байх, эсвэл ашиглалтын арга хэлбэр (ачааллыг бууруулах, улирлаар сэлгэх, түр амраах)-ийг шаардлагатай хэмжээнд өөрчилж чадсан тохиолдолд 5-10 жилд сэргэх боломжтой. Өөрчлөлтийн улмаас экосистемийн зарим чухал үйлчилгээ алдагдсан (хүний үйл зохисгүй ажиллагаанаас үүдэлтэй болох нь тодорхой), гэхдээ цаг хугацааны тодорхой эргэлтэд сэргэх боломж бий.

IV. Зонхилох зүйл ургамал устаж, хортой болон ашиггүй зүйл ургамал хүчтэй түрж түүнчлэн усзүйн горим өөрчлөгдсөний улмаас эргэж нөхөн сэргэнэ гэх найдвар тун бага, харин үр хачирлах, түрэгч ургамлыг устгах, усны горимыг дахин сэргээх замаар хэдэн 10 жил эрчимтэй ажиллагаа явуулбал сэргэж болзошгүй (экологийн чадавхийн босгоос давж доройтсон). Экосистемийн үндсэн үйлчилгээ бүрмөсөн алдагдсан, эргэж сэргээхэд маш их хөрөнгө зардал шаардана.

Анги V. Өнгөн хөрсний алдагдал, эрчимтэй элэгдэл, давсжилтийн улмаас ургамлан бүлгэмдэл хүчтэй өөрчлөгдөж, гол түлхүүр зүйл ургамлууд устаж алдагдсан. Ургамал-хөрсний харилцан хамаарал, үйлчлэл болон хөрсний шинж чанар үлэмж хэмжээгээр доройтож өөрчлөгдсөн нь доройтлын төлөв байдал арилахгүй хадгалагдах гол нөхцөл болж байгаа. Экосистемийн үндсэн үйлчилгээ бүрмөсөн алдагдсан, нөхөн сэргээх боломж үндсээрээ байхгүй (жинхэнэ цөлжилтөд өртсөн гэж үзэх талтай).

Судалгааны ажлын хүрээнд Монгол орны бэлчээрийн ургамлын бүлгэмдэл, төрөл зүйлийн харьцангуй соргог байх төлвийн мэдээ буюу лавлагаа /reference/ мэдээллийг боловсруулж гаргах, бэлчээрийн газрыг экологийн чадавхийн (ecological potential) хувьд 22 бүлэгт хуваах, төлөв байдлын шилжилтийн загварыг (state transition model) туршин тогтоох, бэлчээрийн ургамлын бүлгэмдлийг сэргэх чадвараар нь ангилах зарчмыг шинээр боловсруулсан бөгөөд энэ ажилд манай орны тэргүүлэх зэргийн ургамал, хөрс судлаачид, Ногоон алт төслийн ажилтнууд, АНУ-ын ХААЯ-ны харьяа Бэлчээрийн туршилт судалгааны төвийн судлаачид ороцсон ба тэдний 10-аад жилийн ажлын үр дүн юм.

Судалгааны ажлын үр дүн нь шинэчилсэн аргачлал, заавар, журам, мэдээллийн сан зэргийг тухай бүр нь ус цаг уур, орчны хяналт шинжилгээний улсын сүлжээнд мөрдөх, ажилтнуудыг чадавхижуулах, ажиглалтын багаж төхөөрөмж, ном лавлах, католог, компьютер хэрэгсэлээр хангах зэрэг ажил жил дараалан системтэй хийгдэж

ирсэн нь улсын хэмжээнд анх удаа бэлчээрийн төлөв байдлын тайланг гаргах хүртэл үр дүнд хүрсэн практикийн ач холбогдолтой ажил болсон юм. Ийнхүү “Монгол орны бэлчээрийн төлөв байдлын үндэсний тайлан”-г монгол, англи хэл дээр гаргаж, үр дүнг нийтэд түгээж, танилцуулсаар байна.

УАӨ-ийн бэлчээр/хөрсөнд үзүүлэх ирээдүйн нөлөөллийг үнэлэх. Судалгааны ажлын хүрээнд уур амьсгалын өөрчлөлтөнд өндөр эрсдэлтэй Хархираа-Түргэн, Улз голуудын сав газрын бэлчээрийн хөрсний органик бодисын одоогийн агууламж, уур амьсгалын ирээдүйн өөрчлөлтийн нөлөөгөөр хэрхэн өөрчлөгдөхийг Century загвараар тооцоолж гаргасан.

Эдгээр сав газрууд нь хөрс, ургамлын нөхцөл эрс өөр, уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөнд эмзэг, байрлал нутгийн хувьд ялгаатай өөр өөр экосистемийн орчинд буюу Монгол орны баруун болон зүүн бүс нутагт орших голуудын сав газар болно.

Алтай нурууны салбар уулсаас эх авах Хархираа, Түргэн гол, Дорнод Монголын тал, хээрийн бүс дэх Улз голын сав газар байгалийн бүс, бүслүүр, экосистем, усны нөөц, горимоороо өөр хоорондоо эрс ялгаатай.

Хархираа, Түргэний сав газар нь хуурай-цөл, хуурай-хээрийн бүсэд, Улз голын сав нутаг нь хуурай-хээр, хүйтэн-хуурай хээрийн ангид хамрагдана. Голуудын сав газар нь үүлзүйн хувьд эрс ялгаатай, Улзын савд нам уулс, толгод, тэгш тал зонхилно.

Century загварыг дээрх голуудын сав газар болон түүний орчныг төлөөлөх сумдын уур амьсгал, хөрс, бэлчээр ашиглалтын мэдээн дээр тулгуурлан ажиллуулсан. Бэлчээрийн хөрсний органик нүүрстөрөгч, азот, газрын дээрх биомасс, газрын доорхи биомасс, анхдагч нийт бүтээгдэхүүн (цэвэр бүтээмж), ууршиц, ууршилт, транспирац зэрэг үзүүлэлтийн одоогийн байдал буюу агууламжийг тооцоолохдоо бэлчээр ашиглалтыг загварт сул, дүнд, хүчтэй гэж өөр өөрөөр өгч тооцоо хийсэн.

Хөрсний органик бодисын голлох үзүүлэлтүүдийн одоогийн төлвийг 2 голын сав газраар гаргаж үзэхэд газрын дээрх биомасс Хархираа Түргэний савд 0.4-6.2 г/м² байхад Улз голын савд хамаарах сумдад 5.5-16.5 г/м² байна. Мөн Хархираа Түргэний сав газрын хөрсний органик бодисын агууламж Улзынхаас даруй 2-3 дахин бага байна. (Хүснэгт 77).

Хүснэгт 77. Хөрсний органик бодисын одоогийн агууламж, г/м² / голуудын сав газраар/

Голуудын сав газар	Хөрсний нүүрстөрөгч, г/м ²	Хөрсний азот, г/м ²	Газрын дээрх биомасс, г/м ²	Газрын доорх биомасс, г/м ²	Анхдагч нийт бүтээгдэхүүн, г/м ²
Улз	3729.2	326.5	9.5	353.2	41.7
Хархираа	1992.4	115.9	3.8	201.2	16.0

Бэлчээр ашиглалт их байснаар ургац багасч, хөрсөнд шингэх органик нүүрстөрөгч бүүрнэ. Иймээс талхлагдсан бэлчээрийн хөрс, түүнд агуулагдах нүүрстөрөгчийн хэмжээгээр хэвийн бэлчээрийнхээс ямагт бага байдаг бөгөөд үржил шим багатай, элэгдэл эвдрэлд өртөмтгий байдаг. Хөрсний органик бодис нь хөрсний бүтцийг тогтворжуулж, ургамлын үндэсний хөгжлийг тэтгэж, хэрэгцээт шим тэжээл болон ус барих чадварыг дээшлүүлэн, микро организмын үйл ажиллагааг сайжруулдаг. Органик нүүрстөрөгч нь элэгдэлд хамгийн их өртдөг, хөрсний өнгөн хэсэгт ихээр хуримтлагддаг байна.

Century загварт бэлчээр ашиглалтыг (идэгдэц) бага, дунд, их гэсэн өөр өөр хувилбараар өгсөн тооцооноос үзэхэд хөрсний органик бодисын нөөц, хуримтлал, өөрчлөлтөд бэлчээр ашиглалт ихээхэн нөлөөтэй болох нь тодорхой байна.

Үүнд, Хархираа, Түргэн голын савд хөрсний органик нүүрстөрөгч болон азотын хэмжээ бэлчээр ашиглалт бага байхад харгалзан 1130-1260 г/м², 56-62 г/м² тус тус байх бөгөөд бэлчээр ашиглалт дунд зэрэг гэж тооцоход нүүрстөрөгч 1-3%-иар, азот 0.1-0.3%-иар буурч байна. Харин бэлчээр ашиглалт их байхад эдгээр нь 10-16%, 1-3%-иар тус тус буурч байна. Мөн загварын тооцооны дүнгээс үзэхэд бэлчээр ашиглалт дунд бол газар дээрх биомасс 10-23%, их ашиглалттай бол 50-70%-иар тус тус буурч байна. Харин анхдагч нийт бүтээгдэхүүний хэмжээ 5-15 г/м² байх ба ашиглалт дунд бол 10-20%, их ашиглалттай бол 60-65%-иар буурч байв.

Жишээ болгож Улзын савд хамаарах Дашбалбар, Баян-Уул сумдын тооцооны дүнг харуулав. /Хүснэгт 78/. Тооцооны дүнгээс үзэхэд бэлчээр ашиглалт бага байхад газар дээрх болон доорх биомасс, анхдагч нийт бүтээгдэхүүний хэмжээ 10-16 г/м², 360-470 г/м², 40-80г/м² тус тус байх ба ашиглалт дунд зэрэг байхад газар дээрх биомасс 25-30%, их байхад 50-70%, анхдагч нийт бүтээгдэхүүний хэмжээ харгалзан 10-20%, 60-65% буурч байна. Энэ нь бэлчээрийн ургамлан бүрхэвч болон өнгөн хөрсний төлөв байдал нь хөрсний органик бодисын нөөц, түүний хуримтлал болон алдагдалд шийдвэрлэх нөлөөтэй болохыг харуулж байна.

Эдгээр үзүүлэлтүүдийн бүүралтын эрчим сав газарт хамаарах нийт сумдад их байгаа нь Улзын сав газрын хөрс уур амьсгалын өөрчлөлтөд нилээд эмзэг болохыг илтгэж байна.

Хүснэгт 78. Бэлчээр ашиглалтаас хамаарсан хөрсний органик бодисын өөрчлөлт, 2 сумын жишээн дээр

Сумын нэр	Үзүүлэлтүүд	Бэлчээр ашиглалт ба түүнээс хамаарах өөрчлөлт, %				
		Бага	Дунд	%	Их	%
Дашбалбар	Газар дээрх биомасс	16.02	12.11	-24.40	4.14	-74.15
	Газар доорх биомасс	475.62	421.96	-11.28	273.32	-42.53
	Анхдагч нийт бүтээгдэхүүн/NPP	62.26	52.66	-15.42	21.37	-65.68
Баян-Уул	Газар дээрх биомасс	22.10	16.55	-25.13	5.18	-76.54
	Газар доорх биомасс	627.94	588.01	-6.36	345.51	-44.98
	Анхдагч нийт бүтээгдэхүүн/NPP	82.04	73.53	-10.37	27.12	-66.94

Улз голын сав газрын хөрсний үзүүлэлтийн тооцооноос үзэхэд хөрсний 0-20 см давхаргын органик нүүрстөрөгчийн одоогийн агууламж 3730 г/м², азотынх 326 г/м² (Хүснэгт 1) буюу Хархираа голын сав газрынхаас даруй 3-4 дахин их байна. Энэ нь Улз голын сав газрын хөрсний үржил шим харьцангуй сайн болохыг харуулна. Улз голын сав газрын эхээр уулын хар шороон, дунд ба адгаар хар шороон, хүрэн, цайвар хүрэн хөрс тархсан байдаг. Гэхдээ энэ сав газрын хөрс нь хөнгөн шавранцар, элсний агууламж ихтэй тул салхи, ус, бэлчээр ашиглалтын нөлөөгөөр амархан доройтолд орох онцлогтой юм.

Хархираа, Түргэн болон Улз голуудын сав газрын хөрс, ургамлын бүтээмж ирээдүйн уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөн дор цаашид хэрхэн өөрчлөгдөхийг мөн Century загвараар тооцоолж гаргав. Тооцоог хийхдээ баруун болон зүүн бүс нутагт

малын нягтшил (га-д оногдох малын тоо) хэвийн гэж үзээд бэлчээр ашиглалтыг дунд зэрэг гэж авсан болно.

Хархираа, Түргэн болон Улз голын сав газрын хөрсний органик бодисын агууламжийн ирээдүйн өөрчлөлтийг тодорхойлж Хүснэгт 79-д үзүүлэв.

Хүснэгт 79. Голуудын сав газрын хөрсний органик бодисын ирээдүйн өөрчлөлт, %

Сав газар	Өөрчлөлтийг тооцсон он	Хөрсний нүүрстөрөгч, %	Газар дээрх биомасс, %	Анхдагч нийт бүтээгдэхүүн, %
Улз	2020	-11.6	-29.1	-24.4
	2050	-16.8	-24.6	-21.0
	2080	-21.2	-36.7	-46.5
Хархираа, Түргэн	2020	-4.1	-63.9	-62.9
	2050	-4.5	-51.6	-53.6
	2080	-3.4	-76.5	-73.6

Хархираа, Түргэн голын сав газрын хөрсний одоогийн үржил шим Улз голын сав газрын хөрснийхөөс ядмаг боловч органик нүүрстөрөгчийн ирээдүйн бууралт харьцангуй бага буюу 3-8% байгаа нь уур амьсгалын цаашдын өөрчлөлтөд илүү тогтвортой байх төлөвтэйг илтгэж байна. Улз голын сав газрын хөрсний органик нүүрстөрөгч ирээдүйд өнөөгийнхөөс 10-20% буурах төлөвтэй байна. (Хүснэгт 3).

Ургамлын газар дээрх биомасс, анхдагч нийт бүтээгдэхүүний бууралт Хархираа, Түргэн голын савд илүү эрчимтэй буюу 2020 оны түвшинд өнөөгийнхөөс 63%, 2050 оны үед 52%, 2080 оны орчимд 75% байх төлөвтэй байна. Харин Улз голын савд эдгээр үзүүлэлт Хархираа, Түргэн голынхоос харьцангуй бага бууралттай, 2020, 2050, 2080 оны үед өнөөгийнхөөс харгалзан 27%, 23%, 40%-иар тус тус буурах төлөвтэй байна. (Хүснэгт 3).

Ургамлын газар дээрх биомасс, анхдагч нийт бүтээгдэхүүний бууралтын хэмжээгээр бэлчээрийн ургацын ирээдүйн өөрчлөлтийг үнэлж, бэлчээрийн даацад тохирсон малын тооны ирээдүйн өөрчлөлтийг Хархираа, Түргэн голын сав газарт одоогийн бэлчээрийн даацын дундаж утгуудыг ашиглан ойролцоогоор тогтоож болох юм. Ийнхүү тооцвол Хархираа, Түргэн голын сав газарт нүүдлийн мал аж ахуй эрхлэх нөхцөл ихээхэн хомсдож, усалгаатай тариалангаар малын тэжээлийг үйлдвэрлэх, эрчимжсэн МАА-г хөгжүүлэх, жижиг дунд үйлдвэрлэл хөгжүүлэх чиглэлийг баримтлах нь чухал болохыг харуулж байна.

Улз голын савд одоогоор малын тоо харьцангуй цөөн, бэлчээрийн ачаалал багатай учраас бэлчээрийн даацад тохируулан мал аж ахуйг эрхлэх боломжтой юм. Харин хөрсний органик бодисуудын ирээдүйн бууралт арай эрчимтэй байгаа нь энэ сав газрын хөрс ургамал илүү эмзэг байхыг харуулж байгаа тул одооноос бэлчээр, хөрсийг хамгаалах зөв менежмент хийх хэрэгтэй.

Ийнхүү даян дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлт, түүний нөлөөллийг байгалийн нөөцөд тухайлбал манай орны экосистемийн хамгийн том бүрдэл хэсэг болсон бэлчээр болон бэлчээрийн хөрсөнд хэрхэн яаж нөлөөлөхийг судлан үнэлэх нь онол практикийн чухал ач холбогдолтой сэдэв юм. Ялангуяа хөрсөн дэх органик бодисын агууламж, тэдгээрийн өөрчлөлтийг тооцох нь хөрс, ургамлын төлөв байдал, доройтлыг илэрхийлэх гол үзүүлэлт төдийгүй цаашид уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийн үнэлгээ хийх,

цөлжилт, газрын доройтлыг үнэлэх, бэлчээрийн менежмент хийх, хөрс, ургамалтай холбоотой бодлого боловсруулах зэрэгт чухал шаардлагатай.

УАӨ-ийн шинэ сценарийн мэдээгээр тооцоо хийсэн үр дүн. Ирээдүйн уур амьсгалыг 2016-2100 оны үеэр тооцоолсон дүнг (IPCC, WGI, AR5, 2014, Гомболүүдэв, 2015) ашиглан Century загвараар хөрс, бэлчээрийн зарим үзүүлэлтийн ирээдүйн өөрчлөлтийг тооцоолж гаргав.

Судалгаанд сонгож авсан 40-өөд станцын агаарын хамгийн их, бага температур, хур тунадасны сарын алхамтай гридийн мэдээг загварт тохируулан бэлтгэж (*with өргөтгөлтэй), загварыг 2015, 2016-2035, 2046-2065, 2081-2100 оны түвшин бүрээр ажиллуулж, хөрсний органик нүүрстөрөгч, азот, анхдагч нийт бүтээмж, газрын дээрх болон доорхи биомасс, ууршил, ууршиц, транспирац зэрэг үзүүлэлтийг гаргаж авсан.

Хөрсний зарим органик бодисын одоогийн агууламжийг загвараар тооцоолон байгалийн бүсээр гаргаж, Хүснэгт 4-д үзүүлэв.

Хүснэгт 80. Хөрсний органик бодисын одоогийн агууламж, г/м²

Байгалийн бүс	Одоогийн агууламж, г/м ²			
	Хөрсний органик нүүрстөрөгч	Хөрсний органик азот	Газрын дээрх биомасс	Газрын доорх биомасс
Өндөр уул	2413.3	148.9	18.3	600.9
Ойт хээр	4854.6	421.1	41.6	1550.8
Хээр	2978.6	236.1	41.4	1239.9
Цөлөрхөг хээр/цөл	1425.9	77.8	25.1	455.5

Хүснэгтээс хөрсний өнгөн үеийн /0-20 см/ органик нүүрстөрөгч, азотын агууламж ойт хээрт хамгийн их буюу харгалзан 4850 г/м², 420 г/м² байна. Хөрсний органик нүүрстөрөгч өндөр уулын бүсэд 2500 г/м², хээрт 3000 г/м² байхад цөлөрхөг хээрт хамгийн бага буюу 1425 г/м³ байна. Харин өндөр уулын бүсэд азотын агууламж харьцангуй бага /150 г/м²/ байгаа нь хөрсний онцлог, ургамлын бүрхэц, ургамлын үндэсний тархалтын орон зай, ургамлын усны хэрэглээ, ууршил, хөрсний хээрийн чийг багтаамж зэргээс хамаарсан азотын угаагдлын нөлөө байж болох юм. /Аваадорж, 2014/.

Ургамлын үндэсний тархалт зөвхөн гүндээ төдийгүй мөн хажуу тийшээ нэн их салбарлах нь хөрсний чийг хангалтгүй, түүний төлөөх тэмцэл их зэрэгтэй холбоотой. Ийм учраас ургамлын газрын дээрх биомасс ба үндэсний хоорондын харьцаа маш их (1:49-1:117) байдаг. /Даваажамц, 1972/. Загвар цөл, цөлөрхөг хээрийн бүсэд газрын дээрх биомассын агууламжийг өндөр уулынхтай харьцуулахад арай их хэмжээтэй тооцоолсон нь тэндэхийн ургамлын онцлогтой холбоотой гэж үзэж байна. Өөрөөр хэлбэл говийн зарим ургамлын газар дээрх биомасс их байдаг.

Ойт хээр, хээрийн бүсийн газрын дээрх биомассын хэмжээ ойролцоо буюу 41 г/м² боловч газрын доорхи биомассын хэмжээ ойт хээрт илүү /1550 г/м²/ байгаа нь тэндэхийн хөрсний шимийг давхар харуулж байна.

Уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийг загвараар тооцоолсон дүнг доорхи хүснэгтэнд үзүүлэв.

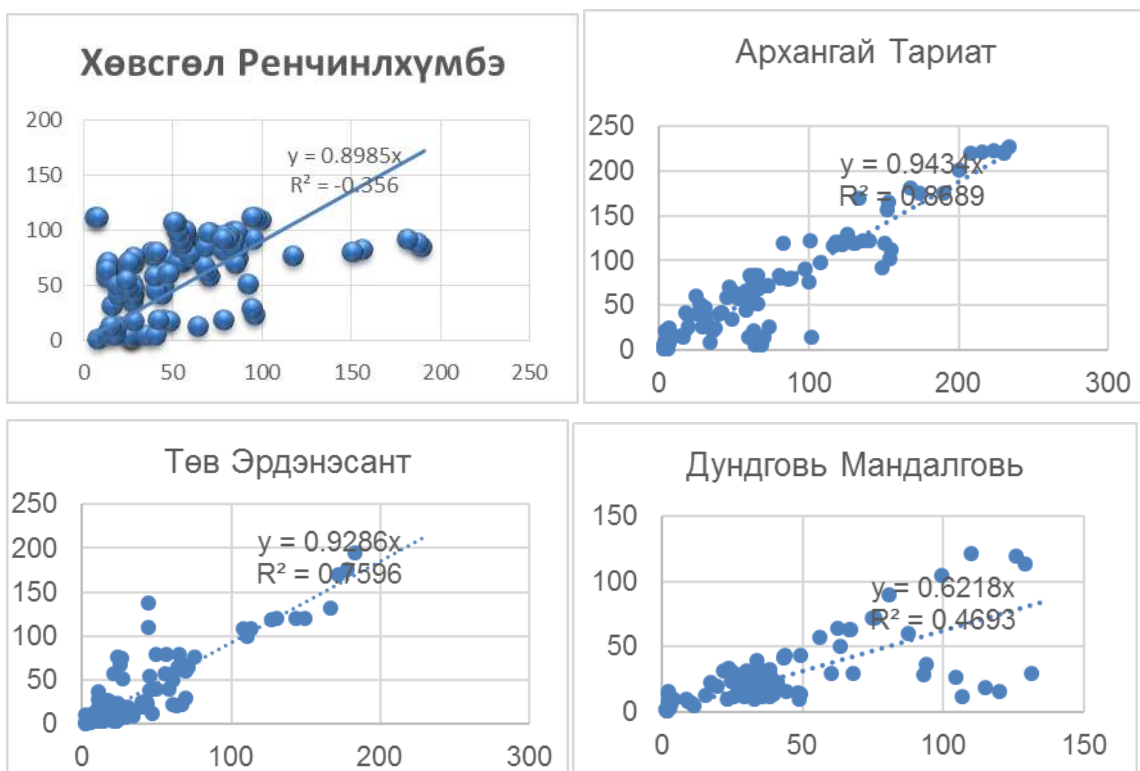
Хүснэгт 81. Хөрсний органик бодисын ирээдүйн өөрчлөлт, г/м²

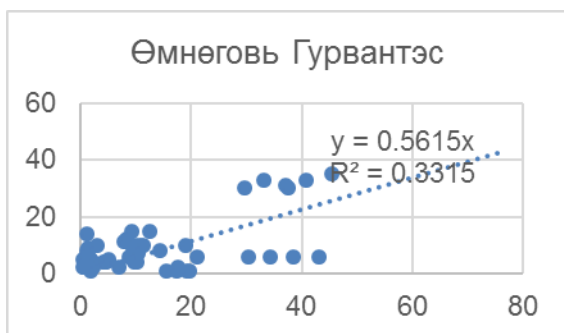
Байгалийн бүс	2035				2065				2100			
	somtc	somte(1)	aglivc	bglivc	somtc	somte(1)	aglivc	bglivc	somtc	somte(1)	aglivc	bglivc
Өндөр уул	2315.7	145.1	23.5	671.2	2302.3	143.9	24.7	696.3	2281.5	142.2	28.7	658.4
Ойт хээр	4856.2	419.8	45.7	1551.4	4824.0	417.5	47.2	1509.3	4751.4	413.8	51.2	1520.1
Хээр	2955.7	234.5	43.7	1194.3	2940.8	233.5	45.6	1146.7	2875.5	231.0	50.9	1156.7
Цөл, цөл/хээр	1410.6	77.0	26.6	451.2	1392.9	76.2	27.9	449.8	1373.1	75.2	30.0	420.2

Бэлчээр/хөрсний зарим үзүүлэлтийг богино хугацаанд үнэлэх аргазүйг турших. Энэ ажлын хүрээнд хоногийн алхамтай DayCent загвараар бэлчээрийн биомассыг прогнолох боломжтой эсэхийг судлах, турших зорилго тавьсан. Мөн ургамлын ууршиц, транспираци зэрэг чухал параметруудийн явцыг гаргаж байх боломжийг давхар эрж хайж байна. Тус загвараар тооцоолсон газрын дээрх биомассыг хашаалсан талбайн ургацын бодит мэдээтэй /1980-2012/ харьцуулахад байгалийн бүх бүс бүслүүрт хамаарал сайтай гарсан. Жишээг доорхи хүснэгт болон зурагт харуулав. /Зураг 286/

Хүснэгт 82. Бодит болон тооцоолсон биомассын хамаарал /байгалийн бүсээр/

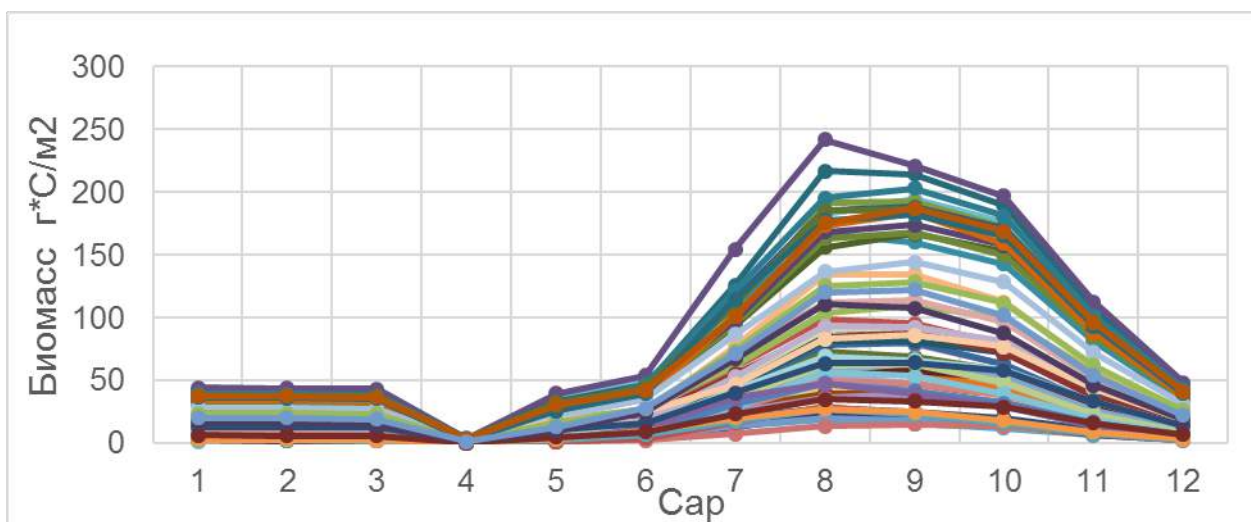
Өндөр уул	Ренчинлхүмбэ	0,89	
Ойт хээр	Тариат	0,94	
Хээр	Эрдэнэсант		0,92
Цөлөрхөг хээр	Мандалговь		0,62
Цөл	Гурвантэс		0,56





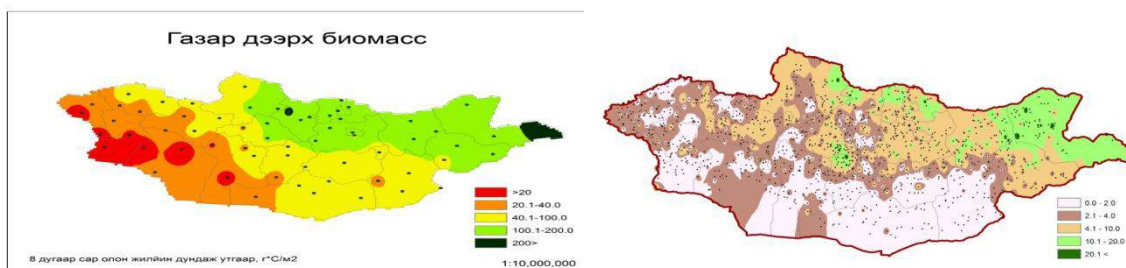
Зураг 286. Бодит болон тооцоолсон биомассын хамаарал

DayCent загвараар тооцоолсон газар дээрх биомассын жилийн явцыг 67 станцаар гаргаж Зураг 287-д харуулав. Газар дээрх биомассын хамгийн их утга 8 сард тооцоологдсон нь манай оронд хамгийн их ургацын бүтээмж 8 дугаар сард бүрэлддэгтэй адил байв. Биомассын хамгийн их утга Халхголд 121 г/м² гэж тооцоолсон байхад хамгийн бага утга нь Алтай станцад 6,7 г/м² гарсан ба эдгээр нь тухайн станцуудын дундаж ургацтай ойролцоо байна.



Зураг 287. Газар дээрх биомассын жилийн явц (67 станцаар)

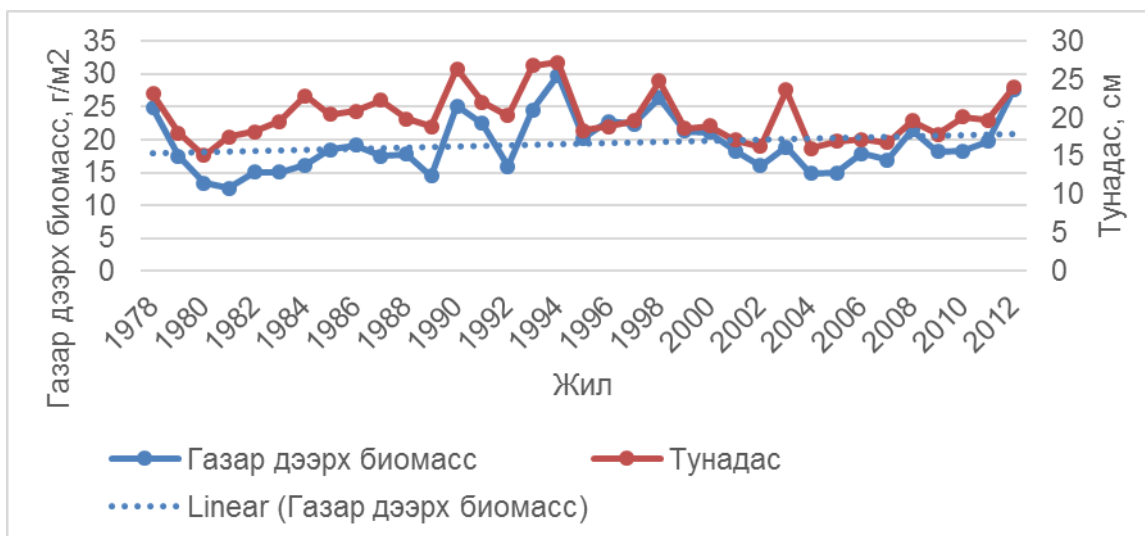
Мөн загвараар тооцоолсон газар дээрх биомассын тархалтыг авч үзвэл манай орны бэлчээрийн ургацын тархалтын шинж төрхийг ерөнхийд нь харуулж байна. (Зураг 288).



Зураг 288. Тооцоолсон биомасс болон бодит ургацын тархалт

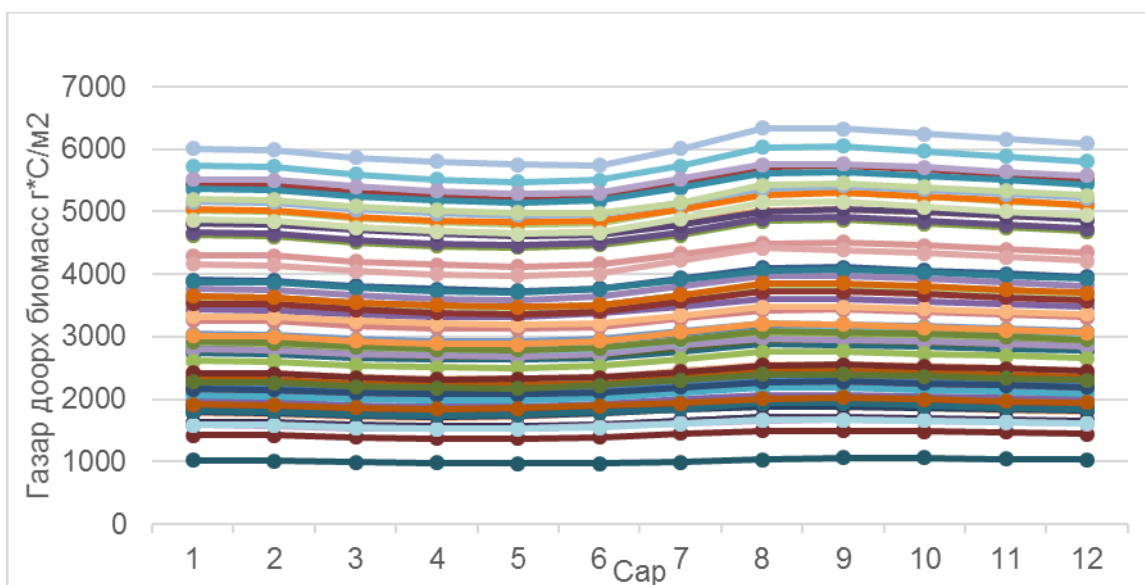
Манай орны бэлчээрийн ургац бүрэлдэхэд хур тунадас шийдвэрлэх үүрэгтэй тул загвараар тооцоолсон газар дээрх биомасс болон хур тунадасны явц, хандлагыг доорхи

зурагт үзүүлэв. (Зураг 289). Зургаас үзэхэд 2000-2002 оны дараалсан гангийн нөхцлийг загвар ямар нэг хэмжээгээр мэдэрч чадсан гэж үзэж болохоор байна.



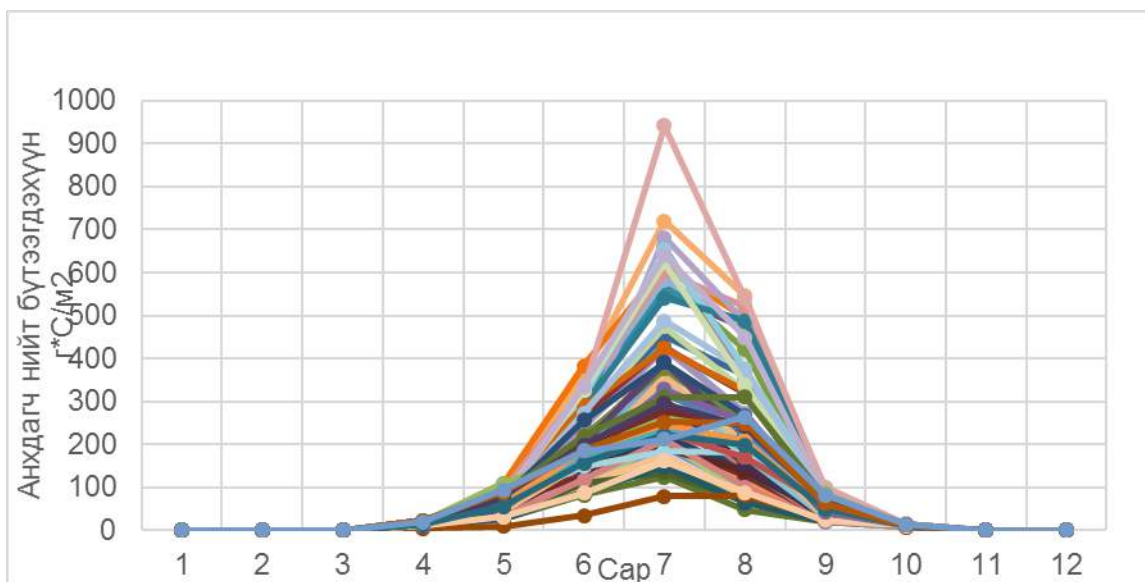
Зураг 289. Тооцоолсон хур тунадас ба газар дээрх биомассын хандлага

Газар доорхи биомасс харьцангуй тогтвортой байх нь мэдээж бөгөөд газрын дээрх хэсгээс хамаарч бага зэрэг хувирч байдаг. Энэ үзүүлэлтийн явцаас харахад мөн 8 дугаар сард хамгийн их өсөлттэй буюу хамгийн их утгандаа хүрч байна. Хамгийн бага утга нь 6 дугаар сард тооцоологдсон байна. /Зураг 289/. Харин газар дээрх биомассыг загвар 4 дүгээр сард хамгийн бага утгатай байснаар тооцоолсон нь (Зураг 290) манай орны ургацын жилийн явцтай таарч байна.



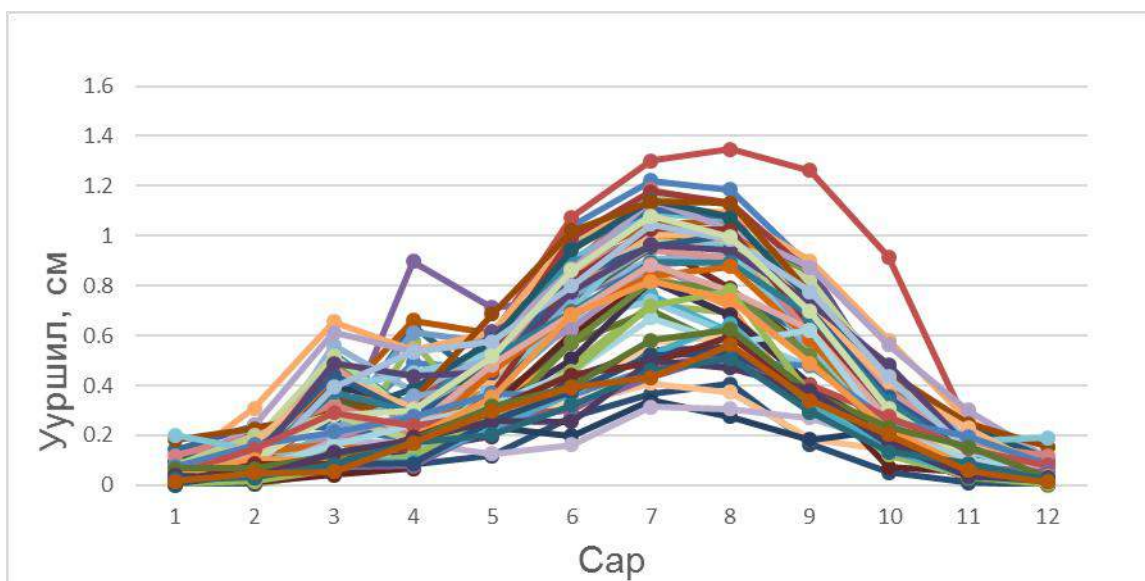
Зураг 2906 Газар доорх биомассын жилийн явц (67 станцаар)

Анхдагч нийт бүтээгдэхүүн /NPP/ нь ихэнх станцад 7 дугаар сард хамгийн их утгандаа хүрч тооцоологдсон байна. /Зураг 291/.



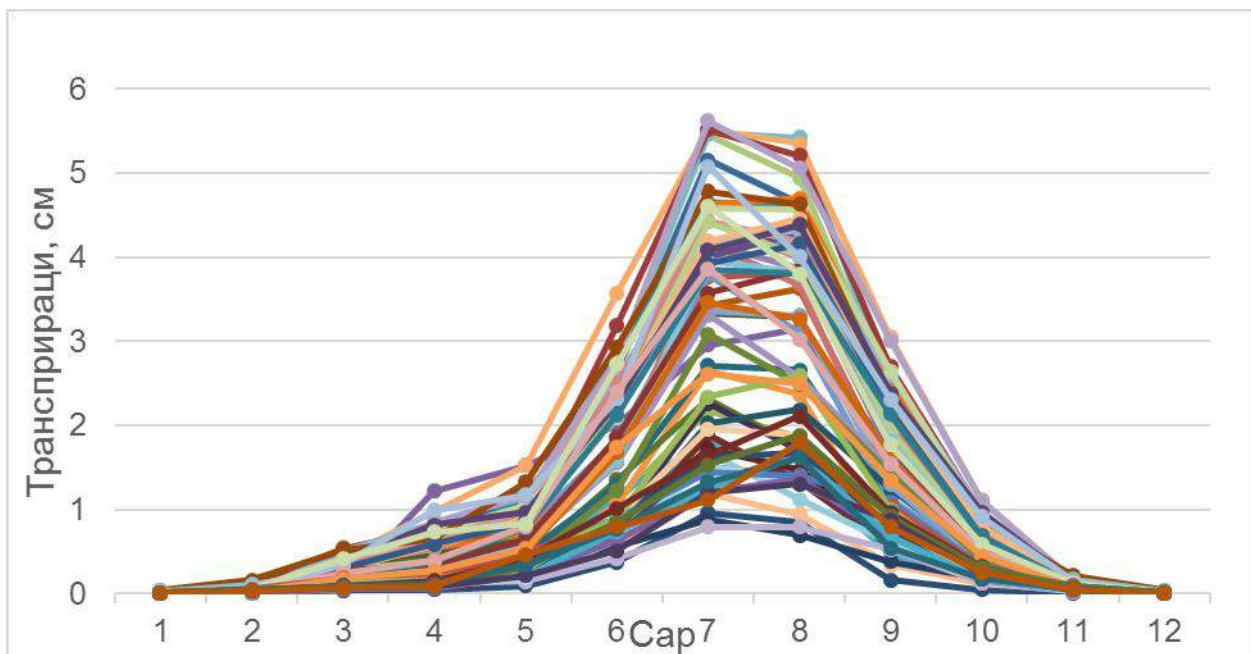
Зураг 291. Анхдагч нийт бүтээгдэхүүний жилийн явц (67 станцаар)

Тус загвар ууршил, транспираци, ууршицыг мөн тооцоолдог бөгөөд ууршилын жилийн явцыг харахад 6-7 дугаар сард хамгийн их ууршиц явагдаж байна. Хамгийн их ууршиц Ажбогд станц буюу Говь-Алтайн Алтай суманд, хамгийн бага нь Архангайн Тариат, Баян-Өлгийн Алтай сум буюу Ялалт станцад гарсан байна. (Зураг 292).



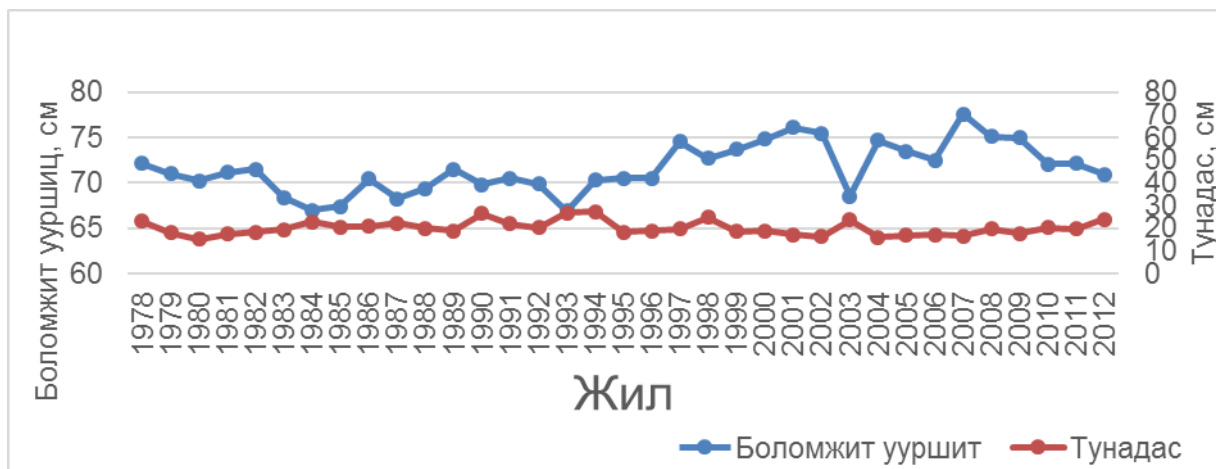
Зураг 292. Ууршилын жилийн явц (67 станцаар)

Транспираци бол ургамал судлалд, ургамлын өсөлт хөгжилтөнд хамгийн чухал параметр боловч хэмжих, жинлэх боломжгүй шахам үзүүлэлт юм. Загвараар тооцоолсон транспирацийн жилийн явцыг харахад 7-8 дугаар сард хамгийн их транспираци явагдаж байгаагаар тооцоолсон нь манай орны бэлчээрийн ургамлын газрын дээрх хэсгийн бүрэлдэх онцлогийг харуулж чадаж байна. Хамгийн их транспираци Эрдэнэт, хамгийн бага нь Алтай станцуудад байгаагаар гарсан. (Зураг 293).



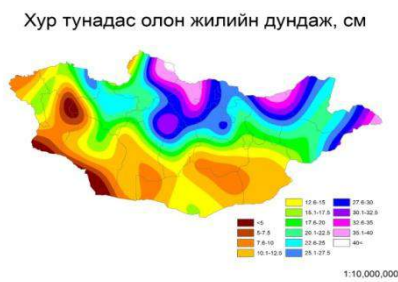
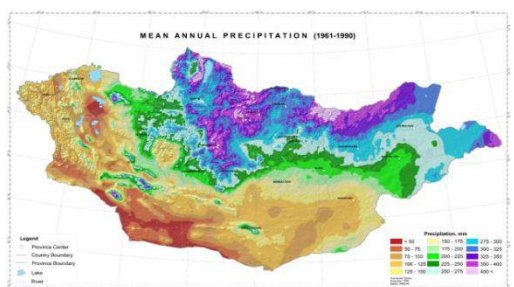
Зураг 293. Транспирацийн жилийн явц (67 станцаар)

DayCent болон Century загвар нь боломжит ууршицыг мөн хоногийн, сарын алхамтай тооцоолж чадах бөгөөд доорхи зурагт тэдгээрийн явцыг хур тунадасны явцтай зэрэгцүүлэн үзүүлэв. /Зураг 294/.



Зураг 294. Тооцоолсон боломжит ууршиц, хур тунадасны хандлага (67 станцын дунджаар)

Доорхи зурагт Монгол орны жилийн нийлбэр хур тунадасны тархалтын зургийг /Д.Мөнхбат нар, 2014/ DayCent загвараар тооцоолж гаргасан хур тунадасны тархалтын зурагтай харьцуулан харуулав. Эдгээр зургаас хур тунадасны тархалт болон хэмжээг загвар сайн гаргаж чадсан байна.



Хавсралтад байгалийн бүс төлөөлсөн станцуудын тооцооны дүнг оруулсан болно.

Дүгнэлт

- Ус цаг уур, орчны хяналт шинжилгээний улсын сүлжээн дээр хийж байгаа бэлчээрийн үндэсний мониторингийн мэдээн дээр тулгуурлан “Монгол орны бэлчээрийн төлөв байдлын тайлан”-г анх удаа гаргасан.
- 2014 оны байдлаар улсын сүлжээнд хамрагдах бүх цэгийн 65 хувийг төлөөлөх бэлчээрийн төлөв байдал, чанар нь тухайн орчныхоо хөрс, уур амьсгалын нөхцөл дэх унаган бүлгэмдлийн боломжит чадавхитай харьцуулахад нилээд өөрчлөгдөж доройтсон байна. Үүнээс бэлчээрийн даац, сэргэх чадавхид нь ашиглалтын эрчмийг тохируулах, ашиглалтын одоогийн хэлбэрийг бүрэн өөрчлөх замаар сэргээн сайжруулахад хамгийн багадаа 3-аас доошгүй жил шаардлагатай байгаа бэлчээрийн хэмжээ 40 хувиас давсан дүнтэй гарлаа.
- Уур амьсгалын өөрчлөлтөнд өндөр эрсдэлтэй Хархираа-Түргэн, Улз голуудын сав газрын бэлчээрийн хөрсний органик бодисын одоогийн агууламжийг Century загвараар тооцоолж үзэхэд Хархираа Түргэний сав газрын хөрсний органик бодисын одоогийн агууламж Улзынхаас даруй 2-3 дахин бага байна.
- Хархираа, Түргэн голын сав газрын хөрсний одоогийн үржил шим Улз голын сав газрын хөрснийхөөс ядмаг боловч уур амьсгалын цаашдын өөрчлөлтөд илүү тогтвортой байх төлөвтэй байна.
- Ургамлын газар дээрх биомасс, анхдагч нийт бүтээгдэхүүний бууралтын хэмжээгээр бэлчээрийн ургацын ирээдүйн өөрчлөлтийг үнэлж, бэлчээрийн даацад тохирсон малын тооны ирээдүйн өөрчлөлтийг Хархираа, Түргэн голын сав газарт одоогийн бэлчээрийн даацын дундаж утгуудыг ашиглан ойролцоогоор тооцвол Хархираа, Түргэн голын сав газарт нүүдлийн мал аж ахуй эрхлэх нөхцөл ихээхэн хомсдох тул усалгаатай тариалангаар малын тэжээлийг үйлдвэрлэх, эрчимжсэн МАА-г хөгжүүлэх, жижиг дунд үйлдвэрлэл хөгжүүлэх зэрэг бусад бизнес бий болгохыг одооноос анхаарах нь чухал болохыг харуулж байна.
- Улз голын савд бэлчээрийн даацад тохируулан мал аж ахуйг эрхлэх боломжтой юм. Гэвч хөрсний органик бодисуудын ирээдүйн бууралт арай эрчимтэй байгаа нь энэ сав газрын хөрс ургамал илүү эмзэг болохыг харуулж байгаа тул одооноос бэлчээр, хөрсийг хамгаалах зөв менежмент хийх хэрэгтэй.
- УАӨ-ийн шинэ сценарийн дүнгээр /Гомболүүдэв, 2015/ тооцоолсон хөрсний өнгөн үеийн /0-20 см/ органик нүүрстөрөгч, азотын агууламж ойт хээрт хамгийн их буюу харгалзан 4850 г/м², 420 г/м² байна. Хөрсний органик нүүрстөрөгч өндөр уулын бүсэд 2500 г/м², хээрт 3000 г/м² байхад цөлөрхөг хээрт хамгийн бага буюу 1425 г/м³ байна.
- DayCent загварыг нийт нутагт жигд тархан байрласан 67 станц дээр туршиж үзсэн. Загвараар тооцоолсон газрын дээрх биомассыг хашаалсан талбайн ургацын бодит мэдээтэй /1980-2012/ харьцуулахад байгалийн бүх бүс бүслүүрт боломжийн хамааралтай /хамаарлын коэф 0,56-0,92/ гарсан.
- Боломжит ууршиц, ууршил, транспираци зэрэг ургамлын физиологт чухал үзүүлэлтүүдийг загвараар тооцоолсон дүнгээс үзэхэд манай орны байгаль, газарзүйн нөхцлийг боломжийн илэрхийлсэн дүн өгсөн нь цаашид улам гүнзгийрүүлэн судлах, харьцуулалт, баталгаажуулалт хийж болохыг харуулж байна.

Хэвлүүлсэн бүтээл

Xiaofeng Chang, Xiaoying Bao, Shiping Wang, Andreas Wilkes, Baasandai Erdenetsetseg, Bathishig Baival, Danzan-Osor Avaadorj, Temuujin Maisaikhan, Bolormaa Damdinsuren. "Simulating effects of grazing on soil organic carbon stocks in Mongolian grasslands". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 212 (2015): 278-284

Tserenpurev Bat-Oyun, Baasandai Erdenetsetseg, Masota Shinoda, Takahiro Ozaki and Yuki Morinaga. "Who is making airag (fermented mare's milk)? A nationwide survey of traditional food in Mongolia" *Nomadic Peoples* 19 № 1 (2015): 7-29.

Bulgamaa Densambuu, Brandon T. Bestelmeyer, Enkh Amgalan Tseelei, Ankhtsetseg Battur, Ulambayar Budbaatar, Erdenetsetseg Baasandai, Khurelshagai Ayurzana, Sumjidmaa Sainnemekh, Altantsetseg Balgan, Patrick L. Shaver, and Justin Van Zee. "Operationalizing resilience in Mongolian rangelands" formatted for *Frontiers in Ecology and Environment*

B.Erdenetsetseg. "Pasture national monitoring by NAMEM". Workshop on the GrassRISK Project 2015. Feb. 03-04, Tsukuba, Japan. Proceedings of Development of resilient agro-pastoral systems against the risks of extreme weather events in arid grasslands in Mongolia Asia, 2015.

B.Erdenetsetseg. "Overview of the 2009-2010 dzud and it's early warning approach in Mongolia" International Symposium on Dzud. Mar 13, 2015. Ulaanbaatar. Proceedings of International Symposium on Dzud, 2015.

Д.Булгамаа, Б.Эрдэнэцэцэг, И.Түвшинтогтох. "Монгол орны бэлчээрийн төлөв байдлын тайлан". "Монгол орны бэлчээрийн төлөв байдлын үнэлгээ" зөвлөгөөн. Төрийн ордон, 2015-5-28. Улаанбаатар.

B.Erdenetsetseg. "Climate change impact assessment on rangeland ecosystem", JCM project Kick-off Meeting, Sep 8, 2015. Ulaanbaatar.

Нэгдсэн дүгнэлт

Төслийн судалгааны ажлуудаар цаг агаарыг урьдчилан тооцоолох суперкомпьютерийн шуурхай ажиллагааны технологийг бий болгож үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэх, дэлхий болон бүс нутгийн агаар мандлын динамик загварын гаралтын үр дүнд статистик тайлал хийх арга боловсруулах, Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлтийн ирээдүйн төсөөлөл, сценарийн шинэчилсэн тооцоог 100 жилээр орон зайн бэсрэг хэмжээсээр хийх, агаарын бохирдлын урьдчилан мэдээлэх технологи боловсруулж турших, уур амьсгалын үндсэн элементийн грид сан үүсгэх, уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийн шинэчилсэн үнэлгээг бэлчээр-хөрс, ой, мал аж ахуй, газар тариалан зэрэг салбараар хийх үндсэн зорилго тавьж ажилласан болно. Үндсэн судалгааны ажлын хүрээнд гарсан үр дүнг нэгтгэн дүгнэвэл:

Цаг агаарыг урьдчилан тооцоолох суперкомпьютерийн технологи

- Цаг агаарыг 1-5 хоногоор урьдчилан тооцоолох суперкомпьютерийн шуурхай ажиллагааны автомат технологийг агаар мандлын гидростатик биш WRF загварыг зүгшрүүлэн Монгол орны хэмжээгээр 9км, Төвийн бүсээр 3км, Улаанбаатар хот орчмоор 1км орон зайн нарийвчлалтайгаар үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэв. Ингэхдээ харьцангуй алдаа багатай физик схем, параметрчлалын сонголтыг хийж, газар бүрхэвч, нуур, хотын загваруудыг холбож урьдчилсан мэдээний алдааг 3-5°C-аар багасгав.
- Тоон прогнозын загварын анхны нөхцлийг (оролтын мэдээ) хиймэл дагуулын радианс мэдээ, радарын мэдээгээр сайжруулав. Үүнд газар бүрхэвчийн ангилал, ногоон ургамлын бүрхэц, гадаргын альбедео, навчны гадаргуугийн индекс зэргийг бодит хугацааны MODIS хиймэл дагуулын мэдээллээр тооцоолж ялангуяа хур тунадасны алдааг бууруулав. Улаанбаатар орчимд радарын мэдээгээр ассимляци хийж ажиглалт болон прогнозын хоорондын хамаарал 0.8 хүргэж сайжруулав.
- Цаг агаар муудах үед бичил хэмжээст процессыг нарийвчлах үүднээс 3км нарийвчлалтай бүс нутагт үүрлэж ажиллах технологийг Монгол орны 7 бүс нутагт нэвтрүүлэв. Олон загварын 11 ансамбль гишүүнтэй системийг бүрдүүлж супер ансамбль дундажлах аргаар агаарын температурын прогноз мэдээг сайжруулж, хур тунадасны магадлалын прогнозын гаргах технологийг боловсруулж туршив.

Агаар мандлын динамик загварын гаралтын үр дүнд суурилсан статистик арга

- Бүс нутгийн MM5 загварын гаралтанд суурилсан 9км-ийн грид цэг болон 130 хот, суурингийн агаарын хамгийн их, бага температур, салхины хурдны прогнозыг 1-5 хоногоор тооцоолох MOS статистик техникт суурилсан загварыг боловсруулав. Уг загвар нь температурыг 5°C-аас, салхины хурдыг 2м/с-ээс бага дундаж квадрат алдаатай урьдчилан мэдээлж байна. Харин хур тунадасны хувьд энэхүү техникыг ашиглах боломжгүй гэсэн дүгнэлтэд хүргэв.
- Дэлхий хэмжээний олон загварын 1-3 сарын прогнозын гаралтанд статистик тайлалыг хийх загварыг каноник хамаарлын аргаар олон гишүүнт регресс үндэслэн 70 цаг уурын өртөөгөөр боловсруулав. Гэвч ажиглалттай харьцуулан таарцыг дүгнэж үзэхэд 3-11-р саруудад улиралд 15% орчим дээгүүр, харин өвлийн улиралд доогуур таарцтай байна.

- Харин энэхүү сэдэвт судалгааны ажлын хүрээнд дэлхийн хэмжээний динамик загварыг бөмбөрцгийн хэмжээгээр Монголд анх удаа ажиллуулан сар, улирлын прогноз гаргахад ашиглах алхамыг хийж өнгөрсөн хугацааны цаг агаар, уур амьсгалын тооцоог хийв.

Монгол орны уур амьсгалын ирээдүйн өөрчлөлтийн шинэчилсэн үнэлгээ

- Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлтийн ирээдүйн тоон үнэлгээг хамгийн сүүлийн 5-р үнэлгээний илтгэлд суурилсан хүлэмжийн хийн их, бага, дунд зэргийн ялгаралттай үеийн сценарын хувьд манай орны өнгөрсөн үеийн уур амьсгалыг харьцангуйгаар хамгийн бага алдаатай тооцоолдог дэлхий хэмжээний 10 загварын дундаж байдлаар тооцоолон хийв. Хамгийн их хүлэмж хийн ялгаралттай үеийн ган, зуд, хуурайшлын давтагдал, эрч хүчний өөрчлөлтийн үнэлэв.
- Дээрх үнэлгээний үр дүнг орон зайн хувьд нарийвчлан бүс нутгийн динамик загварыг 30км-ээр Монголын газар нутаг, зарим голын сав газраар ирээдүйн 100 жилээр явуулж уур амьсгалын үндсэн элементүүдийн үр дүнг гарган авав. Эдгээр уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийн шинэчилсэн үнэлгээнд шууд ашиглагдсан болно.

Агаарын бохирдлыг урьдчилан мэдээлэх технологи

- Агаарын бохирдлын эх үүсвэрийн тооллого, ялгаралтыг 2014 оны мэдээгээр шинэчлэн тооцов. Анх удаа автомашины ялгаралтыг камерын мэдээ, хөдөлгөөний хурд, насжилт тооцож гол замуудаар гаргав.
- Эх үүсвэрийн ялгаралтын 1км нарийвчлалтай грид мэдээ рүү хөрвүүлж агаар мандал-химийн WRF-Chem динамик загварыг өөрийн оронд зүгшрүүлэн агаарын бохирдлын (PM10, SO₂, NO₂,CO) 36 цагийн прогнозыг хийх технологийг боловсруулав. Хоногийн дундаж загварын прогнозолсон агууламж нь бодит ажиглалтаас харьцангуй их байгаа ч тэдгээрийн хоорондын хугацааны хамаарал 0.5-0.8 байна. Энэ нь суперкомпьютерийн технологид суурилсан агаарын бохирдлын системийг эх үүсвэрийн ялгаралтын тооцоог нарийвчилж шуурхай байдлаар 24-36 цагийн прогноз хийх технологийг үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэх боломжтойг харуулав.
- Эрдэнэ, Номгон сумд байрласан шороон шуурганы өртөөний нарийвчилсан ажиглалтын мэдээг ашиглан говь, хээрийн бүсэд тоос дэгдэх салхины босго утгыг 10 м өндөрт харгалзан 12.6 м/с, 13.7 м/с болохыг тогтоов.

Уур амьсгалын элементүүдийн грид мэдээ, сан

- Уур амьсгалын үндсэн элемент болох агаарын температур, хур тунадасны оронг 1971-2000 оны дунджаар динамик болон статистик загвараар тооцоолж үзэхэд түүний сарын дундаж температурын алдаа дулаан улиралд 1.0-1.5°C, хүйтэн улиралд -4...- 3°C тус тус байв. Орон зайн хамаарал 0.91-0.94 байна. Хур тунадасны хувьд дундаж квадрат алдаа 0.18-4.57 мм байж орон зайн хамаарал 0.96-0.99 байв.
- Уур амьсгалын элементийн сарын дундаж орныг агаарын температур, хур тунадасны хувьд орон зайн 5-10км, цаг хугацааны 1 сарын нарийвчлалтайгаар грид хэлбэрээр 1971-2014 оны хооронд үүсгэв.

Уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийн шинэчилсэн үнэлгээ

- Газар тариалан, бэлчээр-хөрст үзүүлэх уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийн үнэлгээг 5-р үнэлгээний илтгэлд суурилсан хүлэмжийн хийн хамгийн их ялгаралттай үеийн, орон зайн хувьд бүс нутгийн уур амьсгалын өөрчлөлтийн загвараар нарийвчилсан үр ашиглан хийв. Энэхүү судалгааны үр дүнгээр газар тариалан өнөөгийн энэ байдлаар цааш явбал хуурайшил эрчимжих, халууны дарамтын нөлөөллөөр буудайн ургац дунджаар 10-15% буурах төлөвтэй байна.
- Ус цаг уур, орчны хяналт шинжилгээний улсын сүлжээн дээр хийж байгаа бэлчээрийн үндэсний мониторингийн мэдээн дээр тулгуурлан “Монгол орны бэлчээрийн төлөв байдлын тайлан”-г анх удаа гаргав. 2014 оны байдлаар бэлчээрийн төлөв байдал, чанар нь тухайн орчныхоо хөрс, уур амьсгалын нөхцөл дэх унаган бүлгэмдлийн боломжит чадавхитай харьцуулахад нилээд өөрчлөгдөж доройтсон байна. Үүнээс бэлчээрийн даац, сэргэх чадавхид нь ашиглалтын эрчмийг тохируулах, ашиглалтын одоогийн хэлбэрийг бүрэн өөрчлөх замаар сэргээн сайжруулахад хамгийн багадаа 3-аас доошгүй жил шаардлагатай байгаа бэлчээрийн хэмжээ 40%-иас давсан дүн гарав.

Төслийн судалгааны ажлаар цаг агаарын мэдээ гаргах суперкомпьютерийн шуурхай ажиллагааны технологийг бий болгож үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэв. Үүнд 5 дэд технологи багтаж байна. Мөн төслийн хугацаанд гадаадад 2 судлаач докторын зэрэг, гадаад, дотоодод нийт 10 магистрийн зэрэг тус тус хамгаалав.

Төслөөр бий болсон технологи, арга, загвар, үр дүнг бүрэн гүйцэт үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэхэд одоогийн ашиглаж байгаа суперкомпьютерийн хүчин чадлыг нэмэгдүүлэх шаардлагатай байна.

Мөн төслийн 3 дахь жилийн санхүүжилт улс орны эдийн засгийн хямралттай холбоотойгоор дутуу хийгдснээс 6-р үр дүнгийн ой болон малын уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийн үнэлгээ гэсэн дэд үр дүн бүрэн гүйцэт хийгдээгүй болно.

Цаашид бэсрэг болон бичил хэмжээст загварчлалын аргаар цаг агаар, уур амьсгалын гамшигт үзэгдлийг урьдчилан мэдээлэх чиглэлээр судалгааны ажлыг өргөтгөн үргэлжлүүлэн хийх саналтай байна.

Ашигласан номзүй

Нийслэлийн статистикийн газар, Улаанбаатар хотын танилцуулга, 2013

Aniello, C., K. Morgan, A. Busbey, and L. Newland, Mapping Micro-Urban Heat Islands Using Landsat TM and a GIS. *Computers and Geosciences*, 1995, 21(8):965-69.

Chen, F., K. Mitchell, J. Schaake, Y. Xue, H. Pan, V. Koren, Y. Duan, M. Ek, and A. Betts, (1996): Modeling of land-surface evaporation by four schemes and comparison with FIFE observations. *J. Geophys. Res.*, 101, 7251-7268.

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. Wea. Rev.*, 129, 569-585.

Chen, F., R. Pielke, Sr., and K. Mitchell, (2001): Development and application of land-surface models for mesoscale atmospheric models: Problems and Promises. *Observation and Modeling of the Land Surface Hydrological Processes.*, V. Lakshmi, J. Alberston, and J. Schaake (Editors), American Geophysical Union, 107-135.

Decharme.B, (2009), A New Land Surface Hydrology within the Noah-WRF Land-Atmosphere Mesoscale Model Applied to Semiarid Environment, *Advances in Meteorology Volume 2009*, Article ID 731874, 13 pages

Fei Chen, H. Kusaka, M. Tewari, J. W. Bao, H. Hirakuchi, Utilizing the coupled WRF/LSM/Urban modeling system with detailed urban classification to simulate the urban heat island phenomena over the greater Houston area, Fifth Conference on Urban Environment, 2004

Mukul Tewari, Fei Chen, and Hiroyuki Kusaka, Shiguang Miao, Coupled WRF/Unified Noah/Urban-Canopy Modeling System, 2007

Nicole Moldersa,b,* , Gerhard Krammb (2010): A case study on wintertime inversions in Interior Alaska with WRF, *Atmospheric Research*

Hiroyuki KUSAKA, Fujio KIMURA, Coupling a Single-Layer Urban Canopy Model with a Simple Atmospheric Model: Impact on Urban Heat Island Simulation for an Idealized Case, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol. 82, No. 1, pp. 67--80, 2004

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

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

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 үрт 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 геэкологийн 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.

Adyasuren, Ts., M. Sugita, M.Erdenetuya, 2005, Assessment of pastureland change using remote sensing data in eastern steppe zone of Mongolia, *Proceeding of the First*

International Symposium on Terrestrial and Climate Change in Mongolia, Admon press, Ulaanbaatar, Mongolia, 125 pp.

Altangerel Batbold and Mamoru Ishikawa. Impact of vegetation coverage on summer climate over Mongolia: 2011, Extended Abstract, Second International Symposium on Mountain and Arid Land Permafrost, pp.2-5, Ulaanbaatar, Mongolia.

Altangerel Batbold, 2012. Extreme weather events in Mongolia: Numerical modeling and sensitivity experiments. Ph.D Thesis, Hokkaido University, Sapporo, Japan.

Aman, A., H.P. Randriamanantena, A. Podaire, and R. Frouin, 1992. Upscale Integration of Normalized Difference Vegetation Index: The Problem of Spatial Heterogeneity. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30:326-338.

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.

B. de Foy, L. T. Molina¹, and M. J. Molina, 2006, Satellite-derived land surface parameters for mesoscale modelling of the Mexico City basin, *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 1315–1330

Fei Chen and co-authors, 2011, The integrated WRF/urban modelling system: development, evaluation, and applications to urban environmental problems, *Int. J. Climatol.* 31, 273–288.

Gutman, G. and A. Ignatov, 1998: Derivation of green vegetation fraction from NOAA/AVHRR for use in numerical weather prediction models. *Int. J. Remote Sensing* 19, 1533-1543.

ISMAIL YUCEL, 2006, Effects of Implementing MODIS Land Cover and Albedo in MM5 at Two Contrasting U.S. Regions, *JOURNAL OF HYDROMETEOROLOGY*, 7, 1043-1060.

Hagemann, S., D. Jacob, E. Roeckner, H. Göttel, P. Lorenz 2008: Improved regional scale processes reflected in projected hydrological changes over large European catchments *Climate Dynamics*. *Climate Dynamics* 32: 767-781, doi:10.1007/s0038200804039.

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.

Jin, Y., C. B. Schaaf, C. E. Woodstock, F. Gao, X. Li, A. H. Strahler, W. Lucht, and S. Liang, 2003. Consistency of MODIS surface bidirectional reflectance distribution function and albedo retrievals: 2. Validation, *J. Geophys. Res.*, 108(D5), 4159, doi:10.1029/2002JD002804.

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.

Liang, S., C. Shuey, A. Russ, H. Fang, M. Chen, C. Walthall, and C. Daughtry, Narrowband to broadband conversions of land surface albedo, II, Validation, *Remote Sens. Environ.*, 84, 25–41, 2002.

Lucht, W., Schaaf, C.B. and Strahler, A.H., 2000. An algorithm for the retrieval of albedo from space using semiempirical BRDF models. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 38:977-998.

Miller, J., M. Barlage, X. Zeng, H. Wei, K. Mitchell, and D. Tarpley (2006), Sensitivity of the NCEP/Noah land surface model to the MODIS green vegetation fraction data set, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L13404, doi:10.1029/2006GL026636.

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.

Pielke Sr., R.A., 2001. Influence of the spatial distribution of vegetation and soils on the prediction of vegetation and soils on the prediction of cumulus convective rainfall. *Reviews of Geophysics* 39: 151–177.

Schaaf, C. B., F. Gao, and A. H. Strahler, 2002. First operational BRDF, albedo nadir reflectance products from MODIS, *Remote Sens. Environ.*, 83, 135-148.

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.

Zeng X., R. E. Dickinson, A. Walker, M. Shaikh, R. S. DeFries, J. Qi., 2000: Derivation and Evaluation of Global 1-km Fractional Vegetation Cover Data for Land Modeling. *J. Appl. Meteor.*, 39, 826-839.

Биологийн төрөл зүйлийн үндэсний тайлан, Нэгдсэн Үндэсний Байгууллага, Улаанбаатар, х.15.

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

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

Нацагдорж Л., Дагвадорж Д, 2010, Уур амьсгалын өөрчлөлтэнд дасан зохицохуй, БОАЖЯ, Улаанбаатар, х26.

Sarantuya.G., Otgonjargal, N., (2009). Ус, цаг уурын аюултай үзэгдэлүүд, тэдгээрийн сөрөг нөлөөллийг бууруулах асуудалд. “Нийслэлийн хөгжил-шинжлэх ухаан технологи” эрдэм шинжилгээний бага хурлын илтгэлүүдийн эмхэтгэл, х.180-185.

Hideshige Iida, Doppler radar for weather observation, 2005

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

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

Yong-Run Guo, (2009), Observation Pre-processor for WRF-Var, NCAR Report, 113 pages

Ronald E. Rinehart, Ph.D, Third Edition, Radar for Meteorologists

Interactive Radar Information System Programmer's Manual, June 2008

Thomas Nehrkorn, James Hegarty, Thomas M.Hamill, Real-data tests of a single-doppler radar assimilation system, Atmospheric and Environmental Research, Inc. 840 Memorial Drive Cambridge, MA 02139, 1994

Ming Xue, Ensemble and Vibrational Radar Data Assimilation for Convective Storm and Hurricane Predictions, 5th WMO Data Assimilation Symposium Melbourne, Australia October 5, 2009

P. P. Alberoni, V. Ducrocq, G. Gregoric, G. Haase, I. Holleman, M. Lindskog, B. Macpherson, M. Nuret, and A. Rossa, Quality and Assimilation of Radar Data for NWP, 2001

ECMWF Newsletter No. 134 – Winter 2012/13

WMO, 2012: Guidelines on ensemble prediction systems and forecasting, WMO-No.1091

2013: Special Issue: Hydrological Ensemble Prediction Systems (HEPS), Hydrological Processes, Vol. 27, issue 1, p.1-4, **1 January 2013**

Жүгдэр,Д., (1999) Монголын нутагт үүсэх салхины хурдыг урьдчилан мэдээлэх гидродинамик статистик загвар.УЦУХ, *Эрдэм шинжилгээний бүтээл*, 20:х.74-89.

Нацагдорж, Л., Галбаяр, Д., (1999).Монголын нутаг дээр хагас хоногт орох хур тунадасыг тав хоног хүртэл өдөр дараалан прогнолох статистик арга.УЦУХ, *Эрдэм шинжилгээний бүтээл*, 20:х.32-51.

Л.Оюунжаргал, Л.Нацагдорж, 2012: Хур тунадасыг урьдчилан тооцоолоход хиймэл нейроны сүлжээний загварыг ашиглах нь, Ус, цаг уурын хүрээлэнгийн эрдэм шинжилгээний бүтээл, №33, х.3-19

Л.Оюунжаргал, М.Цоозол, 2012: Салхины хурдыг урьдчилан тооцоолоход хиймэл нейроны сүлжээний загварыг ашиглах нь, МУИС, Газарзүйн асуудал (Ус, цаг уур, экологийн асуудал), 375(126), х. 22-33

Чулуунбаатар,Б., Нацагдорж, Л., (1999). Хоногийн хамгийн их, бага температурыг тав хоног хүртэл өдөр дараалан прогнолох статистик арга.УЦУХ, *Эрдэм шинжилгээний бүтээл*, 20:х.15-32.

Glahn, H.R., and Lowry, D.A., 1972. The use of Model output statistics (MOS) in objective weather forecasting. *Journal of Applied Meteorology*, 11:1203-1211

Klein,W.H., Lewis, B.M., and Enger,I., 1959. Objective prediction of five-day mean temperature during winter, *J.Meteor.* 16:672-682

Oyunjargal L., 2007. Comparison of forecast approaches. *Papers in Meteorology and Hydrology*, 29(6): 24-28.

Oyunjargal L., Bayasgalan, G., Sasaki,R., 2005. Air maximum temperature guidance, based on Kalman filter.Геологи-газарзүйн салбарын залуу эрдэмтэн, багш судлаачдын эрдэм шинжилгээний бага хурал « Хүрэл тогоот - 2005» (Илтгэлүүдийн эмхтгэл), х. 204.

Б. Жигмиддорж, Цаг агаарын экстремаль нөхцлийг урт хугацаагаар урьдчилан мэдээлэх магадлалт статистик арга. ЭШ-ний сэдэвт ажлын тайлан, 1998

А.Намхай, Синоптико-статистический метод прогноза средней месячной температуры воздуха и месячной суммы осадков на территории МНР в теплом полугодии. Дисс. на соиск. уч. степени канд. г.н., 1984

Ч. Ядамсүрэн, Тэнгэрийн эрхсийн хөдөлгөөнийг тооцон улирлын цаг агаарыг урьдчилан мэдээлэх магадлалт-статистик арга. Физик-математикийн ухааны дэд докторын зэрэг горилсон бүтээл., 1994

Р. Мижиддорж. Ерөнхий орчил урсгал, 1999

Barnet, T.P and R. Preisendorfer, 1987: Origins and levels of monthly and seasonal forecast skill for United States surface air temperature determined by canonical correlation analysis. *Monthly Weather Review*, 115, 1825-1850

D.S. Wilks. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Department of Earth and Atmospheric Sciences Cornell University, 2006

Sun Zhaobo and He Jinhai, 1999: Long Range Forecast. WMO RMTTC Nanjing, Nanjing Institute of Meteorology, China

Yong Run Gou., Sue Chen. Terrain and Land Use for the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Modeling System (MM5): Program TERRAIN. Mesoscale and Microscale Meteorology Division, NCAR, 1994

William H.Press, William T.Vetterling, Saul A.Teukolsky and Brian P.Flannery. 1998: *Numerical Recipes in FORTRAN*. Cambridge University, UK

Climate Predictability Tool. User's Manual. International Research Institute for Climate and Society, The Earth Institute of Columbia University. 2005

Assessment of Climate Forecast Produced by Individual Model and Multi Model Ensemble Methods, APCC Technical Report Vol. 1 No 1 2006

Grid Analysis Display System, Manual, 10 September, 1995

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.

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.

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.

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.

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

Жигмиддорж Б., Цаг агаарын “экстремаль” нөхцлийг урт хугацаагаар урьдчилан мэдээлэх магадлалт-статистик арга. Эрдэм шинжилгээний сэдэвт ажлын тайлан, 1998

Мижиддорж Р, Скаков А.А, Давхраат мандал дахь орчил урсгалын хаврын солигдолт

Намхай А. Г.П.Голубчикова, Давхраат мандлын хуйлрааны төвийн байрлал, шилжилтийн чиглэлтэй Монгол орны сарын дундаж температурын аномали уялдах нь-УЦУШИ-ийн ЭШБ., 1980, №4, х.37-45

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., Сарын дундаж агаарын температурын урьдчилсан мэдээг нарийвчлах боломжийн тухай, УЦУШИ-ийн ЭШБ., 1980, №4, х. 62-69

Нацагдорж Л., Сарын дундаж агаарын температурын орон бүрэлдэхэд цасан бүрхүүл нөлөөлөх тухай-УЦУШИ-ийн ЭШБ., 1980, №5, х.41-50

Ядамсүрэн Ч. Тэнгэрийн эрхсийн хөдөлгөөнийг тооцон улирлын цаг агаарыг урьдчилан мэдээлэх магадлалт-статистик арга. Физик-математикийн ухааны дэд докторын зэрэг горилсон бүтээл., 1994.

Climate Change 2013: The Physical Science Basis, IPCC Working Group I Contribution to AR5, April 2014

Taylor, K.E., R.J. Stouffer, G.A. Meehl: An Overview of CMIP5 and the experiment design.” Bull. Amer. Meteor. Soc., 93, 485-498, doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1, 2012

<http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/availability.html>

TOWARDS NEW SCENARIOS FOR ANALYSIS OF EMISSIONS, CLIMATE CHANGE, IMPACTS, AND RESPONSE STRATEGIES, IPCC EXPERT MEETING REPORT, IPCC EXPERT MEETING REPORT, 19–21 September, 2007, Noordwijkerhout, The Netherlands

Multi-criteria analysis: a manual, 2009: Department for Communities and local government, London

Mongolia: Assessment Report on Climate Change 2009, (MARCC 2009). Ministry of Nature, Environment and Tourism, Mongolia, 2010

UNEP (1992). Atlas of desertification. United Nations Environment Programme and Edward Arnold, Sevenoaks

AIACC (2006). Batima, P., 2006. Climate Change Vulnerability and Adaptation in the Livestock Sector of Mongolia, A final report submitted to Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change, AIACC Project No.AS 06.

L.Natsagdorj (2014). Mongolian Assessment Report on Climate Change, MARCC-2014

Taylor, K. E., Stouffer, R. J., Meehl, G. A., (2012). An Overview of CMIP5 and the experiment design.” Bull. Amer. Meteor. Soc., 93, 485-498, doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1

Multi-criteria analysis (2009): a manual Dodgson, J S, Spackman, M, Pearman, A and Phillips, LD. 2009. Department for Communities and Local Government: London. ISBN 9781409810230

MARCC (2010) Mongolian Assessment Report on Climate Change, MARCC-2010

IPCC (2013). Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P.M., eds., 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 33–115, doi:10.1017/CBO9781107415324.005.

Dickinson R. E., A. Henderson-Sellers, and P. J. Kennedy, *Biosphere-atmosphere transfer scheme (bats) version 1e as coupled to the ncar community climate model* [Book]. - [s.l.] : Tech. rep., National Center for Atmospheric Research, 1993.

Grell G. A., J. Dudhia, and D. R. Stauffer, *Description of the fifth generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5)*, [Book]. - Boulder, Colorado, pp. 121 : Tech. Rep. TN-398+STR, NCAR, 1994

Монгол улсын статистикийн эмхэтгэл 2011-2014, Улаанбаатар

Д.Оюунчимэг.Ж, Баярмагнай 2014 Улаанбаатар хот орчимд хэмжигдсэн газар орчмын озон, азотын ислийн агууламж, тэдгээрийн хамаарал, хоног жилийн явц, УЦУОХ-ийн бүтээл 34, х 187-198

Дэлхийн бохирдлын форумын аргачлал 2008

Дархан-Уул аймгийн УЦУОША-ны тайлан 2014

Oyunchimeg.D, Tsolmon 2011, *Emission inventory of coal fired emission sources in Capital city, Mongolia*, papers in Meteorology and Hydrology 32/8, p-162-169

Module 3. Using MOVES to generate inventories at county scale, EPA 2010-2012

John H. Sheinfeld *Atmospheric chemistry and air pollution* 1986

Nelson L, Seaman and Sara A, Michelson 1998, *Mesoscale Meteorological structure of a high -Ozone episode during the 1995 NARSTO-Northeast Study* , J. Applied meteorology, 39, 384-398

Pochart P, H.Akimoto, Y.Kaijii, V.M.Potemkin and T.V.Khodzher,2003, *Regional background ozone and carbon monoxide variations in remote Siberia/East Asia*, J.Geophys.Res., 7ftS(DI),

Ralf Kurtenbach,Jorg Kleffmann, Anita Niedojadlo and Peter Wieson. 2012, *Primary NO2 emissions and their impact on air quality in traffic environments in Germany*, Environmental sciences Europe, 24:21

Itano.Y, Bandow.H, Takenaka N, Saitoh Y, Asayama A, Fukuyama J. 2007. *Impact of NOx reduction on long-term ozone trends in an urban atmosphere*. Science of the Total Environment 379,46-55.

Sadanaga Y, Shibata S, Hamana M, Takenaka . N, Bandow.H 2008. *Weekday/weekend difference of ozone and its precursors in urban areas of Japan, focusing on nitrogen oxides and hydrocarbons*. Atmospheric environment 42, 4708-4723

Lynette J.Clapp, Micheal E.Jenkin 2001. *Analysis of the relationship between ambient levels of O3, NO2 and NO as a function of NOX in the UK*. Atmospheric environment 35, 6391-6405

Air Quality Analysis of Ulaanbaatar Improving Air Quality to Reduce Health Impacts, WB 2011

Rolf A.de By, O. H. (2009). *The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation*. The Netherlands: Principles of geographic information systems.

Р.Мижиддорж П.Гомболүүдэв, б. б. (2008). *ШУТИС, Экологи-Тогтвортой хөгжлийн төв, БОАЖЯ*. Улаанбаатар: Авто тээврийн хэрэслээс үүдэлтэй Улаанбаатар хотын төвийн агаарын бохирдол, сөрөг нөлөөллийг бууруулах асуудал.

Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлын хяналтын чадавхийг бэхжүүлэх төсөл. (2011)

<http://www.google.com/earth/index.html>

C.Donald Ahrens., 1999. *Meteorology Today*, sixth edition

Grell GA, SE Peckham, R Schmitz, and SA McKeen, G Frost, WC Skamarock, and B Eder. 2005. Fully coupled 'online' chemistry in the WRF model. *Atmos. Environ.*, 39:6957-6976.

УЦУОШГ-ийн агаарын чанарын хэлтэс., 2012, Эх үүсвэрийн тооллого

Steven E. Peckham, Georg A.Grell WRF/Chem version 3.4 User's Guide

Xuexi Tie, Sahsa Madronich., 2008, Characterization of chemical oxidant in Mexico City: A regional chemical dynamical model (WRF-chem) study.

Д.Оюунчимэг (2012). Улаанбаатар хотын агаарын чанар.

П.Гомболүүдэв (2013). “Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлыг урьдчилан мэдээлэх боломж”, *Эрдэм шинжилгээний бүтээл №33*, х.204-219

Serensen, J.H., Edegaard, V., 2007. Integrated systems for forecasting urban meteorology, air pollution and population exposure. *Atmospheric Chemistry and Physics* 7, 855e874.

Perez, P., Palacios, R., Castillo, A., 2004. Carbon monoxide concentration forecasting in Santiago, Chile. *Journal of the Air & Waste Management Association* 54, 908e913.

Perez, P., Reyes, J., 2002. Prediction of maximum of 24-h average of PM10 concentrations 30 h in advance in Santiago, Chile. *Atmospheric Environment* 36, 4555e4561

Chapman EG, WI Gustafson Jr, JC Barnard, SJ Ghan, MS Pekour, and JD Fast. 2009. Coupling aerosol-cloud-radiative processes in the WRF-Chem model: Investigating the radiative impact of large point sources. *Atmos. Chem. Phys.*, 9:945-964.

Grell G., J.D. Fast, W.I. Gustafson, Jr, S.E. Peckham, S.A. McKeen, M. Salzman, and S. Freitas, 2011: Chapter on "On-line Chemistry within WRF: Description and Evaluation of a State-of-the-Art Multiscale Air Quality and Weather Prediction Model" in *Integrated Systems of Meso-Meteorological and Chemical Transport Models*. Springer, A. Baklanov, A. Mahura, and R. Sokhi editors, ISBN: 978-3-642-13979-6, 186 p.

Doherty, R., and Coauthors, 2009: Current and future climate- and air pollution-mediated impacts on human health. *Environmental Health*, **8**

Oshima, N., M. Koike, Y. Zhang, and Y. Kondo, 2009a: Aging of black carbon in outflow from anthropogenic sources using a mixing state resolved model: 2. Aerosol optical properties and cloud condensation nuclei activities. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **114**.

Tie, X., G. Li, Z. Ying, A. Guenther, and S. Madronich, 2006: Biogenic emissions of isoprenoids and NO in China and comparison to anthropogenic emissions. *Science of the Total Environment*, **371**,238-251.

Bat-OyunTs., M. Shinoda, and M.Tsubo, 2010, Estimation of pasture productivity in Mongolian grasslands: field survey and model simulation, *J. Agric. Meteor.* 66(1), 31-39.

- Gillette DA, Passi R. 1988: Modeling dust emission caused by wind erosion. *J Geophys Res* 1988; 93(D11):14, 233–242.
- Igarashi Y., H. Fujiwara, D. Jugder, 2011, Change of the Asian dust source region deduced from the composition of anthropogenic radionuclides in surface soil in Mongolia, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 7069–7080, 2011.
- Ishizuka, M., Mikami, M., Yamada, Y., Kimura, R., Kurosaki, Y., Jugder, D., Gantsetseg, B., Cheng, Y., Shinoda, M., 2012. Does ground surface soil aggregation affect transition of the wind speed threshold for saltation and dust emission? *SOLA* 8, 129–132.
- Jugder, D. and M. Shinoda, 2011, Intensity of a Dust Storm in Mongolia during 29–31 March 2007, *Online Journal of the Science Online Letters on the Atmosphere (SOLA)*, 2011, Vol. 7A, 029–031, ISSN:1349-6476.
- Jugder, D., M. Shinoda, N. Sugimoto, I. Matsui, M. Nishikawa, S.U. Park, Y.S. Chun and M.S. Park, 2011, Spatial and temporal variations of dust concentrations in the Gobi Desert of Mongolia, *The International Journal of Global and Planetary Change*, 78 (2011), pages 14–22. ISSN:0921-8181.
- Jugder, D., N. Sugimoto, M. Shinoda, I. Matsui, M. Nishikawa, 2012: Dust, biomass burning smoke, and anthropogenic aerosol detected by polarization-sensitive Mie lidar measurements in Mongolia, *The International Journal of Atmospheric Environment*, Volume 54, July 2012, pages 231-241. ISSN:1352-2310.
- Jugder, D., M. Shinoda, R. Kimura, A. Batbold, D. Amarjargal, 2014: Relationships between dust concentration, wind speed and visibility with dust events in Mongolia, *Journal of The Aeolian Research*, 14 (2014) 3–13.
- Kassomenos P.A., A. Kelessis, M. Petrakakis, N. Zoumakis, Th. Christidis, A.K., 2012: Paschalidou Air quality assessment in a heavily polluted urban Mediterranean environment through air quality indices, *J. Ecological Indicators*, 18 (2012) 259–268.
- Kawamura R., 1964: Study of sand movement by wind. In: *Hydraulic Eng. Lab. Tech. Rep.*, University of California, Berkeley, CA HEL-2-8, pp. 99–108.
- Kurosaki Y., and M. Mikami, 2004, Effect of snow cover on threshold wind velocity of dust outbreak, *Geophysical Research Letters*, Vol. 31, L03106.
- Munkhbat B., 2010, Snow cover over Mongolia and its changes, Diploma for Master Degree, Department of Meteorology and Hydrology, Faculty of Geography and Geology, National University of Mongolia, pp.53.
- Nandintsetseg B., M. Shinoda, 2011, Seasonal change of soil moisture in Mongolia: its climatology and modeling, *Int. J. Climatol.* 31, 1143-1152 (2011), Published online in Wiley InterScience, (www.interscience.wiley.com).
- Natsagdorj L., and Gunbileg, 2006, Assessment of meteorological factors on soil erosion, *Proceedings of Institute of Geo-ecology*, 2006, No.6, p.226-239.
- Park, S.-U., Park, M.-S., Chun, Y., 2010: Asian dust events observed by a 20-m monitoring tower in Mongolia during 2009. *Atmos. Environ.* 44, 4964-4972.
- Park, S.-U., Park, M.-S., Chun, Y., 2011a. A parameterization of dust concentration (PM10) of dust events observed at Erdene in Mongolia using the monitored tower data. *J. Science of the Total Environment*, 409, 2951-2958.

- Pye K., and Tsoar H., 1990: *Aeolian sand and sand dunes*, Unwin Hyman, London, 1990, pp. 396
- Shao, Y., 2008. *Physics and Modelling of Wind Erosion*. In: *Atmospheric and Oceanographic Sciences Library*, vol. 37. Kluwer Academic Publishing, Dordrecht.
- Shao, Y., et al., 2011a. Dust cycle: an emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Res.* 2, 181-204.
- Shinoda M, Nachinshonhor G.U., Nemoto M. 2010. Impact of drought on vegetation dynamics of the Mongolian steppe: a field experiment. *Journal of Arid Environment* 74: 63–69.
- Tegen, I., Fung, I., 1994. Modeling of mineral dust transport in the atmosphere: sources, transport, and optical thickness. *J. Geophys. Res.* 99, 22897–22914.
- Zhang, H., Zhu, H., Peng, Y., Kang, L., Chen, J., Park, S.-U., 2007. Experiment on dust flux during dust storm periods over sand desert area. *Acta Meteor. Sinica* 22 (2), 239-247.
- Ahn et al. (2002). Reproduction of Regional Scale Surface air Temperature by Estimating Systematic Bias of Mesoscale Numerical Model. *Journal of Korean Meteorological Society*, 38(1), 69-80.
- Batbold .A and Ishikawa .M. (2011). Impact of Vegetation Coverage on Summer Climate Over Mongolia. *Second International Symposium on Mountain and Arid Land Permafrost* (хүүдсд. 2-4). Ulaanbaatar: Mongolian Permafrost Association.
- Gomboluudev P., Kwon Won-Tae, Nguyen and Quang Dang. (2003). The Desertification Study using Regional Climate Modelling (RegCM3). *Scientific papers, Institute of Meteorology and Hydrology*, 25, 200-205.
- Gomboluudev P., L.Natsagdorj,. (2004). The impact of desertification on Mongolian climate and its numerical study using regional climate model (RegCM3). *International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia*, (хүүдсд. 112-113). Tsukuba Ibaraki, Japan.
- Hijmans et al. (2003). A quantitative and constraint-specific method to assess the potential impact of new agricultural technology: the case of frost resistant potato for the Altiplano. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*, 895-911.
- Imet et al. (2011).
- Jones and Gladkov. (2003). *A Computer Tool for Predicting the Distribution of Plants and Other Organisms in the Wild*. Cali, Colombia: FloraMap.
- New et al. (2002).
- Reynolds, R. W. (2002). An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *J. Climate*, 15, 1609-1625.
- Richardson et al. (2003). Using self-organizing maps to identify patterns in satellite imagery. *Progress in Oceanography*, 59, 223-239.
- Robert et al. (2003). Clustering and upscaling of station precipitation records to regional patterns using self-organizing maps(SOMs). *Clim. Res.*, 25, 95-107.
- Robert J. Hijmans et al. (2005). VERY HIGH RESOLUTION INTERPOLATED CLIMATE SURFACES FOR GLOBAL LAND AREAS. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*, 1965-1978.
- Sato et all. (2006). Where does precipitation come from. *J.Geophys.Res.*

Thornton et al. (1997). Generating surfaces of daily meteorology variables over large regions of complex terrain. *Journal of Hydrology*, 214 – 251.

Wilks. (1995). Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. *Academic Press*, 467.

Yatagai et al. (2009). A 44-Year Daily Gridded Precipitation Dataset for Asia Based on a Dense Network of Rain Gauges. *Sola*, 137-140.

Баясгалан.Г Айн. (2012). Динамик болон Статистик загвар ашиглан Монгол орны температурын тархалтыг тооцоолсон нь. *Өндөр Уулын Бүсийн Уур амьсгалын Өөрчлөлт* (хуудсд. 40-45). Ховд: ЭШБХ.

Гомболүүдэв П. (2002). Бэсрэг масштабын MM5 загварын туршсан дүнгээс. *Эрдэм шинжилгээний бүтээл , УЦУХ, 22, 15-27.*

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 ЭШБ /Тусгай дугаар/, 65-74.*

Монгол улс: Уур амьсгалын өөрчлөлтийн үнэлгэний хоёрдугаар илтгэл, 2014 он

Монгол улс: Уур амьсгалын өөрчлөлтийн үнэлгэний хоёрдугаар илтгэл, 2010 он

Алтанцэцэг.Ж ба Намхайжанцан.Г, 2009 “Монгол орны био уур амьсгалын судалгаа”

Mark. N, H.Mike and J.Phil, 1999. “Representing Twentieth-Century Space–Time Climate Variability. Part I: Development of a 1961–90 Mean Monthly Terrestrial Climatology”

Yinsheng. Z, Ohata.T, Daqing Y and Davaa. G, 2004. *Hydrol. Process.* 18, 2991–3005, Bias correction of daily precipitation measurements for Mongolia

Zaria Tatalovich, 2006. Dissertation, “Spatio-Temporal modeling of risk”

Gomboluudev P., Kwon Won-Tae, Nguyen and Quang Dang. (2003). The Desertification Study using Regional Climate Modelling (RegCM3). *Scientific papers, Institute of Meteorology and Hydrology*, 25, 200-205.

Gomboluudev P., L.Natsagdorj,. (2004). The impact of desertification on Mongolian climate and its numerical study using regional climate model (RegCM3). *International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia*, (хуудсд. 112-113). Tsukuba Ibaraki, Japan.

Hijmans et al. (2003). A quantitative and constraint-specific method to assess the potential impact of new agricultural technology: the case of frost resistant potato for the Altiplano. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*, 895-911.

Баруун бүс нутгийн уур амьсгалын нөөц, түүний өөрчлөлт. Эрдэм шинжилгээний бага хурлын эмхтгэл. 2008 он

Сэрүүн бүс нутгийн уур амьсгалын өөрчлөлт:Усны нөөц ба цэвдэг манда. Эрдэм шинжилгээний бага хурлын эмхтгэл. 2011 он

Өндөр уул бүсийн уур амьсгалын өөрчлөлт:Усны нөөц ба цэвдэг манда. Эрдэм шинжилгээний бага хурлын эмхтгэл. 2012 он

Нацагдорж.Л, 2009. “Уур амьсгал судлалын асуудалд”

Нацагдорж.Л, 2009. “Уур амьсгалын өөрчлөлт”

Алтанцэцэг.Ж ба Мөнхжаргал.Э, 2009 “Уур амьсгалын лавлах” Шинжлэх ухаан төслийн тайлан

“Алтайн уулс, их нууруудын хотгорын бүс нутгийн уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөлөл, эмзэг байдал, эрсдлийн үнэлгээ” тайлан

Д.Аззаяа. (1997). Монгол орны газар тариалангийн төв бүсэд ургамал ургах нөхцлийн агро цаг уурын үнэлгээ. Хөдөө аж ахуйн ухааны дэд докторын зэрэг горилох бүтээл. 147 х. Улаанбаатар.

Б.Жамбаажамц. (1989). Монгол орны уур амьсгал. Улаанбаатар.

Б.Жамбаажамц. (1983). Хөдөө аж ахуйн уур амьсгалын нөөц. Улаанбаатар.

Г.Цагааншүхэр. (1986). БНМАУ-ын газар тариалангийн төв бүсийн нөхцөлд зусах буудайн сортуудын ургац бүрэлдэн тогтоход усалгааны горимын норм тарих хугацааны хамаарал. Хөдөө аж ахуйн ухааны дэд докторын зэрэг горилох бүтээл. Улаанбаатар.

Д.Цэрмаа. (2000). Монгол орны тариалангийн төв бүсийн нөхцөлд хөрсний үржил шимийг сайжруулах, зусах буудай бордох шинжлэх ухааны үндэслэл. Шинжлэх ухааны докторын зэрэг горилсон бүтээл. Дархан-Уул аймаг.

З.Батжаргал, Д. Б. (2000). Уур амьсгалын өөрчлөлтийн үндэсний хөтөлбөр. Улаанбаатар.

G. Hoogenboom, J. J. (2003). Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. Volume 1, 2, 3 and 4: Overview. University of Hawaii, Honolulu.

Монгол орны хөрсний чийгийн лавлах. (1987). Улаанбаатар.

С.Ганбаатар. (1991.). БНМАУ-ын тариалангийн төв бүсэд зусах буудайн үрийн аж ахуй эрхлэх агро-экологийн үндэслэл. Хөдөө аж ахуйн ухааны дэд докторын зэрэг горилох бүтээл. Улаанбаатар.

Ш.Энэбиш. (1994). Монгол орны Дорнод талын тариалангийн хөрсний бүтээгдэхүүнт чийгийн нөөц, зусах буудайн ургацыг урьдчилан тооцох боломж. Хөдөө аж ахуйн ухааны дэд докторын зэрэг горилох бүтээл. Чойбалсан-УБ.

Б.Ганцэцэг, Д. (1999). Монгол орны газар тариалангийн төв бүсэд “Цаг агаар-Ургац” загварыг зүгшрүүлсэн үр дүнгээс.

Баясгалан Ш. Болорцэцэг Б.нар. (1995). У. 23-34.

Д.Давгадорж. (1989). Прикладная динамика-статистическая модель формирование урожайности яровой пшеницы и комплексная автоматизированная имитационная система агрометеорологического обеспечения народного хозяйства МНР, дисс., канд. физ-мат наук. Улаанбаатар.

М.Эрдэнэтүяа. (2004). Бэлчээрийн ургамлыг үнэлэх зайнаас тандах арга зүй, технологи” сэдэвт дэд докторын ажил. Улаанбаатар.

Оюун, Ж. (2001). Монгол орны тариалангийн төв бүсийн агро уур амьсгалын өөрчлөлт, тариалангийн үйлдвэрлэлд түүний үзүүлэх нөлөө. Улаанбаатар.

С.Сангидансранжав, Ш. Д. (1989). “Цаг агаар-Ургац” динамик загвараар .

Уур амьсгалын өөрчлөлтийн үндэсний хөтөлбөр,. (2000). Улаанбаатар хот.

Д.Давгадорж. (2011).Агроэкоосистемийн математик загварчлал: онолын үндэслэл ба практик хэрэглээ

Хавсралт

