БОЛОВСРОЛ, СОЁЛ, ШИНЖЛЭХ УХААН, СПОРТЫН ЯАМ

ШИНЖЛЭХ УХААН ТЕХНОЛОГИЙН САН

ШИНЖЛЭХ УХААНЫ АКАДЕМИ

ГАЗАРЗҮЙ ГЕОЭКОЛОГИЙН ХҮРЭЭЛЭН

“МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ОРОН ЗАЙ, ЦАГ ХУГАЦААНЫ ЗАГВАРЧЛАЛ”

СЭДЭВТ ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ АЖЛЫН ЭЦСИЙН ТАЙЛАН

(2014-2016 он)

Улаанбаатар хот

2017 он

ШИНЖЛЭХ УХААНЫ АКАДЕМИ

ГАЗАРЗҮЙ ГЕОЭКОЛОГИЙН ХҮРЭЭЛЭН

АБА	Нууцын зэрэглэл “Б”
Улсын бүртгэлийн гэрчилгээний дугаар:	.....
Байгууллагын бүртгэл:	.....
Санхүүжүүлэгч байгууллага:	ШУ-Технологийн сан
Захиалагч байгууллага:	ШУА, Газарзүй Геоэкологийн хүрээлэн
Тайланг өмчлөгч:	Цэвдэг судлалын салбар
Хэрэгжүүлсэн хугацаа:	2014-2016

“МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ОРОН ЗАЙ, ЦАГ ХУГАЦААНЫ ЗАГВАРЧЛАЛ”

СЭДЭВТ ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ АЖЛЫН ТАЙЛАН

(2014-2016 он)

СЭДВИЙН УДИРДАГЧ: Доктор (Ph.D), ЭШАА Я. Жамбалжав

ГҮЙЦЭТГЭГЧИД: А. Дашцэрэн, доктор (Ph.D), ЭША
Я. Гансүх, магистр, ЭШДэд
Х. Тэмүүжин, магистрант, ЭШДадА
Г. Цогт-Эрдэнэ, магистрант, ЭШДадА
Ё. Амарбаясгалан, магистр, ЭШДэд
Ц. Ундрахцэцэг, магистр, ЭШДадА
А. Саруулзаяа, докторант, ЭШДэд
Ш. Нарангэрэл, лаборант

Гүйцэтгэгч байгууллагын хаяг: ШУА-н Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэн, 15170. ЧД 4-р хороо

Сэдэв хэрэгжүүлэгч гэрээний дугаар: № SSA-066/14

Улаанбаатар хот

2017 он

ГАРЧИГ

РЕФЕРАТ 9
ГҮЙЦЭТГЭГЧДИЙН НЭРСИЙН ЖАГСААЛ 11
ОРШИЛ 1
НЭГДҮГЭЭР БҮЛЭГ. ЦЭВДГИЙН ОРОН ЗАЙ, ЦАГ ХУГАЦААНЫ ЗУРАГЛАЛ, КРИОГЕН ҮЗЭГДЛИЙН СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ 2
1.1 ТТОР загварчлалын ерөнхий аргазүй 2
1.2 Агаарын буюу MODIS LST температурын орон зай, цаг хугацааны тархалтын зураглалын аргазүй 6
1.2.1 Температурын мэдээ боловсруулах аргазүй 7
1.2.2 Температурын мэдээг нөхөх 9
1.3 Статистик дүн шинжилгээний аргууд 10
1.3.1 Ногоон ургамлын индексийн зураг (NDVI) боловсруулах болон ургамал бүрхэвчийн температур тооцоолох аргазүй 11
1.3.2 Цасан бүрхэвчийн зураг болон цасан бүрхэвчийн доорх температур тооцоолох аргазүй 12
1.3.3 Дулаан дамжуулалтын коэффициент тооцоолох аргазүй 15
1.4 Цаг хугацааны загварчлалын аргазүй 16
1.5 Криоген үзэгдлийн аргазүй 17
1.5.1 Халианы судалгааны аргазүй 17
1.5.2 Бөөргийн судалгааны аргазүй 17
1.5.3 Термокарстын нууруудын судалгаанд ашигласан аргазүй 18
ХОЁРДУГААР БҮЛЭГ. ЦЭВДГИЙН ОРОНЗАЙН ЗАГВАРЧЛАЛ 21
2.1 Монгол орны цэвдгийн тархалт, онцлог 21
2.2 Цэвдгийн орон зайн зураглалын үр дүн 23
2.2.1 Температурын орон зай, цаг хугацааны бүрэн цуваа 23
2.3 MODIS-ын гадаргын температурын дүн шинжилгээ 32
2.3.1 Ногоон ургамлын индексийн зураг (NDVI) болон ургамал бүрхэвчийн температур 39
2.3.2 Цасан бүрхэвчийн зураг болон цасан бүрхэвчийн доорх температур 40
2.3.3 Дулаан дамжуулалтын коэффициент 42
2.4 Цэвдгийн тархалтын зураг 44
ГУРАВДУГААР БҮЛЭГ. ЦЭВДГИЙН ЦАГ ХУГАЦААНЫ ЗАГВАРЧЛАЛ 47
3.1 Монгол орны зарим станц дээрх агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрийн олон жилийн явц, ирээдүйн хандлага 47
3.2 Цэвдгийн цаг хугацааны загварчлалын тулгамдсан асуудал, онолын үндэс 58
3.3 Монгол орны цэвдгийн тархалт 1970 он 59
3.4 Монгол орны цэвдгийн өнөөгийн тархалт 61
3.5 Монгол орны цэвдгийн тархалтын хэтийн хандлага 62
3.6 Цэвдгийн өөрчлөлтийн нөлөө 65
ДӨРӨВДҮГЭЭР БҮЛЭГ. КРИОГЕН ҮЗЭГДЛҮҮД 66

4.1 Халиа, тошин түүний үүсэл, хөгжил, тархалт 66
4.1. 1 Улаанбаатар хот орчмын халиа 68
4.2 Олон жилийн ба улирлын бөөрөг 70
4.2.1 Бөөргийн судалгааны үр дүн 70
4.3 Термокарстын нуурын судалгаа 73
ДҮГНЭЛТ 77
АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ 79

Зураг 1. ТТОР тооцоолох онолын үндэслэл, ерөнхий загвар 4
Зураг 2. ТТОР загварын ерөнхий схем 5
Зураг 3. Судалгааны аргазүйн ерөнхий схем 6
Зураг 4. Температурын мэдээ нөхөх аргазүй. 9
Зураг 5. Ногоон ургамлын индексийн багц зургийн (SDS) доторх зургуудын тайлбар ... 12
Зураг 6. MODIS хиймэл дагуулын ногоон ургамлын индексийн 12
Зураг 7. Цахилгаан эсэргүүцлийн томографын Веннерийн арга 17
Зураг 8. Сайт 1 – Дархадын хотгор; Сайт 2 – Мөнгөт голын хөндий; Сайт 3 – Чулуут голын хөндий; Сайт 4 – Хонгор өлөн; Сайт 5 – Налайхын хотос; Сайт 6 – Галуут нуурын хөндий; Сайт 7 – Эрдэнэ. 19
Зураг 9. Судалгааны ерөнхий аргазүй. 20
Зураг 10. Дэлхийн бөмбөрцгийн хойд хагасын цэвдгийн тархалтын зураг. 21
Зураг 11. MODIS-ын гадаргын температурын эх мэдээ, боловсруулалтын үр дүн 28
Зураг 12. Монгол орны гадаргын сарын дундаж температур (2010 оны 1-6-р сар). 29
Зураг 13. Монгол орны гадаргын сарын дундаж температур (2010 оны 7-12-р сар). ... 29
Зураг 14. Монгол орны MODIS-ын жилийн дундаж гадаргын температур 32
Зураг 15. MODIS-ын гадаргын температур, станцын агаарын температурын утга (2004-2013) 33
Зураг 16. MODIS-ын гадаргын температур, станцын агаарын температурын гистограмм тархалт (2004-2013) 33
Зураг 17. Монгол орны гадаргын жилийн дундаж температур (2010). 38
Зураг 18. Олон жилийн дундаж ногоон ургамлын нормчлогдсон индексийн зураг. 39
Зураг 19. Дулааны улирлын N факторын зураг. 40
Зураг 20. Цасны нөөц усны зураг. 41
Зураг 21. Хүйтний улирлын N факторын зураг. 42
Зураг 22. Дулаан дамжуулалтын коэффициентуудын харьцааны зураг. 44
Зураг 23. ТТОР температурын давтагдал. 45
Зураг 24. Монгол орны цэвдгийн тархалт 1970 он. 60
Зураг 25. Монгол орны цэвдгийн тархалт 2010 он. 62
Зураг 26. Монгол орны цэвдгийн тархалтын хандлага 2050 болон 2090 он 64
Зураг 27. Дарь-эхийн халианы булгийн эх орчим 68
Зураг 28. Дарь-эхийн халиа орчим, халианд автсан айл. 69
Зураг 29. Арсай-2 бөөрөгт хийсэн геофизикийн зүсэлтийн цахилгаан эсэргүүцлийн утга 166-240824 71
Зураг 30. Чулуутын бөөрөгт хийсэн геофизикийн зүсэлтийн цахилгаан эсэргүүцлийн утга 100- 128811 [Ω·м] 72
Зураг 31. Галуут-2 бөөрөгт хийсэн геофизикийн зүсэлтийн цахилгаан эсэргүүцлийн утга 158-15241 [Ω·м] 72
Зураг 32. Арсайн бөөргийн давхарга зүй, ширхгийн бүтэц, температур, изотопын харьцаа, D утга. 73
Зураг 33. Монгол орны цэвдгийн тархалттай бүсүүд дэх термокарстын нуурудын судалгааны цэгүүд. Нуурын гадаргын усны талбайг 1962-1968 оны Corona хиймэл дагуулын мэдээгээр тодорхойлж, хар өнгөөр үзүүлэв (Saruulzaya et al., 2016). 74

ХҮСНЭГТ

Хүснэгт 1. Чанарын шалгалтын зургийн нарийвчлалыг код болон өнгөөр ялган харуулав. 8
Хүснэгт 2. Цасан бүрхэвчийн тархалтын кодын утга 13
Хүснэгт 3. Цасны нөөц усны зургийн кодын утга.....14
Хүснэгт 4. Цэвдгийн тархалт.....22
Хүснэгт 5. MODIS-ын гадаргын температурын эх мэдээний цаг хугацаа болон оронзай шийд. 34
Хүснэгт 6. MODIS-ын боловсруулалт хийсэн, боловсруулалт хийгээгүй мэдээний статистик үзүүлэлт.....34
Хүснэгт 7. Гадаргын температур болон агаарын температурын статистик үзүүлэлт. 35
Хүснэгт 8. Гадаргын температур болон агаарын температурын зөрүү. 37
Хүснэгт 9. Дулаан дамжуулалтын коэффициентийн харьцаа.....43
Хүснэгт 10. Улиастай станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн. 47
Хүснэгт 11. Дөрвөлжин станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн. 48
Хүснэгт 12. Эрдэнэцагаан станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн. 49
Хүснэгт 13. Сайхан-Овоо станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн. 50
Хүснэгт 14. Галуут станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн. 51
Хүснэгт 15. Баянбулаг станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн. 52
Хүснэгт 16. Алтай станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн. 53
Хүснэгт 17. Зэрэг станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн. 54
Хүснэгт 18. Зуунмод станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн. 55

Хүснэгт 19. Даланзадгад станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн. 56
Хүснэгт 20. Арвайхээр станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн. 57
Хүснэгт 21. Халианы хэмжээ, эзлэхүүний ангилал. 67
Хүснэгт 22. Тэрэлжийн хойд Шилжрээгийн амны халианы судалгааны үр дүн. 68
Хүснэгт 23. Дарь-эхийн халианы хэмжилтийн үр дүн 68
Хүснэгт 24. Дарь-эх овоо халианы хэмжилтийн үр дүн. 69
Хүснэгт 25. Халиа орчмын хөрсний байгалийн чийг. 69
Хүснэгт 26. Үргэлжилсэн болон алаг цоог тархалттай цэвдгийн бүслүүр дэх нуурын өөрчлөлт. 75
Хүснэгт 27. Цэвдгийн үргэлжилсэн тархалттай бүслүүр дэх нуурын өөрчлөлт. 75
Хүснэгт 28. Цэвдгийн алаг цоог тархалттай бүслүүр дэх нуурын өөрчлөлт. 76

ГРАФИК

График 1. Мөнххайрхан сумын MODIS-гадаргын температур, агаарын температурын явц 24
График 2. Мөнххайрхан сумын сарын дундаж гадаргын болон агаарын температурын явц 24
График 3. Улиастай хотын MODIS-гадаргын температур, агаарын температурын явц 24
График 4. Улиастай хотын сарын дундаж гадаргын болон агаарын температурын явц 24
График 5. Мөрөн хотын MODIS-гадаргын температур, агаарын температурын явц 25
График 6. Мөрөн хотын сарын дундаж гадаргын болон агаарын температурын явц .25
График 7. Дадал сумын MODIS-гадаргын температур, агаарын температурын явц ..25
График 8. Дадал сумын сарын дундаж гадаргын болон агаарын температурын явц...25
График 9. Ханбогд сумын MODIS гадаргын температур, агаарын температурын явц 26
График 10. Ханбогд сумын сарын дундаж гадаргын болон агаарын температурын явц 26
График 11. Монгол орны гадаргын температур бүс тус бүрээр. 27
График 12. Баянбулаг сумын хоногийн нэмэх температурын нийлбэр, хоногийн хасах температурын нийлбэр.....30
График 13. Мөнгөнморьт сумын хоногийн нэмэх температурын нийлбэр, хоногийн хасах температурын нийлбэр.....30
График 14. Ренчинлхүмбэ сумын хоногийн нэмэх температурын нийлбэр, хоногийн хасах температурын нийлбэр.....31
График 15. MODIS-ын боловсруулалт хийсэн, боловсруулалт хийгээгүй мэдээний тархалт. 35
График 16. MODIS-ын гадаргын температур (----- хар зураас), цаг уурын станцын агаарын температур (------ улаан тасархай зураас), Цэвдгийн цооногийн газрын

гадаргын температур (------ ногоон зураас) хоорондын хамаарал таарц. А-Баянбулаг, Б-Нөмрөг, В-Цэцэг, Г-Мөнгөнморьт, Д-Ренчинлхүмбэ (2010-2013). 37
График 17. Хэмжсэн ТТОР – Загварчилсан ТТОР 46
График 18. Улиастай станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц. 47
График 19. Дөрвөлжин станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрийн олон жилийн явц. 48
График 20. Эрдэнэцагаан станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц. 49
График 21. Сайхан-Овоо станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц. 50
График 22. Галуут станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц. 51
График 23. Баянбулаг станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц. 52
График 24. Алтай станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц. 53
График 25. Зэрэг станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц. 54
График 26. Зуунмод станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц. 55
График 27. Даланзадгад станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц. 56
График 28. Арвайхээр станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц. 57
График 29. Монгол орны дундаж агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц. 58
График 29. Бөөргүүдийн гүний температурын хандлага. 71

РЕФЕРАТ

“Цэвдгийн орон зай, цаг хугацааны загварчлал” сэдэвт эрдэм шинжилгээний ажлын тайлан. Тус ажил нь нэг боть, гүйцэтгэгчдийн нэрсийн жагсаалт, реферат, оршил, ерөнхий дүгнэлт, 4 бүлэг, 18 дэд бүлэг, 79 хуудас, зураг 32, хүснэгт 28, график 30 зэргээс бүрдэнэ.

Нэгдүгээр бүлэгт ерөнхий аргазүйг оруулсан. Бид энэхүү тайланг хийж гүйцэтгэхэд цэвдгийн тархалтын зураглалын TTOP загварыг авч ашигласан бөгөөд энэхүү бүлэгт тус загварчлалын аргазүйг дэлгэрэнгүй оруулж өгсөн. Мөн тайланд орсон криоген үзэгдлүүдийн судалгааны аргазүй багтсан. Зураглал гүйцэтгэхэд MODIS-ын газрын гадаргын температурын мэдээг ашигласан. Уг хиймэл дагуулын мэдээ нь үүл болон хэмжилтийн алдаа зэргээс үүдэн дутуу, зарим газраа цоорхой байдгийг шинэ аргазүй ашиглан нөхсөнийг энэхүү бүлэгт багтаав.

Хоёрдугаар бүлэгт Монгол орны 1:1000 000 масштабтай цэвдгийн орон зайн тархалтыг зураглахад гарсан үр дүнг дурдсан. Үүнд: Газрын гадаргын температурын мэдээг нөхсөн үр дүн, мөн цасан болон ургамал бүрхэвч, дулаан, хүйтний улирлын N фактор гэх мэт зураглалд ашигласан зургуудын үр дүн энэхүү бүлэгт багтана.

Гуравдугаар бүлэгт цэвдгийн өөрчлөлтийг өнгөрсөн, одоо, ирээдүй гэсэн цаг хугацааны гурван бүсээр харуулсан. Ийнхүү харуулахдаа 1970 он, 2010 он, 2050 он, 2090 он гэсэн 40 жилийн давтамжтайгаар сонгон авсан. Ингэснээр монгол орны хэмжээнд цэвдгийн алдрал хэрхэн эрчимжиж байгаа болон нутгийн аль хэсгээр илүү их алдралд орж болзошгүй зэргийг урьдчилан мэдэх боломжтой юм.

Дөрөвдүгээр бүлэгт зарим криоген үзэгдлүүд болох халиа, бөөрөг, термокарстын нууруудын судалгааны үр дүнг оруулсан болно. Сүүлийн жилүүдэд хотын суурьшлын бүс тэлсэнтэй холбоотой зарим айл өрх халиа тошинд өртөж эдийн засгийн хувьд хохирол амсаж байгаа, бөөргийн насыг тодорхойлох судалгааны үр дүн, термокарстын нуурын өөрчлөлт, үр дүнгүүдийн талаар мэдээлэл энэхүү бүлэгт багтана.

Монгол орны хэмжээнд 1:1500000 масштабтай геокриологийн зургийг 1971 онд Орос Монголын хамтарсан эрдэмтэд зохиож, өнөөг хүртэл бид энэхүү зургийг судалгааны гол тулгуур материал болгон хэрэглэсээр ирсэн. Харин бидний зохиосон 1:1000000 масштабтай Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураг нь сүүлийн үеийн судалгаа шинжилгээний материал ашиглан гаргасан болно.

Энэхүү сэдэвт ажлын хүрээнд Японы Хоккайдогийн их сургуульд хоёр залуу доктор Ph.D зэрэг хамгаалж, Монгол Улсын Их Сургуульд гурван залуу магистрын зэрэг хамгаалж, хоёр залуу магистрантаар суралцаж байна. Мөн бидний зохиосон “Монгол орны цэвдгийн тархалтын 1:1000000 масштабтай зураг” бүтээл 2016 оны Шинжлэх ухааны шилдэг бүтээлийн тусгай шагналт байранд шалгарсан. Тус сэдэвт ажлын хэргэжих хугацаанд нийт 29 өгүүлэл гадаад дотоодын сэтгүүлд хэвлүүлж, 14 илтгэлийг гадаад дотоодын хуралд илтгэн танилцуулсан байна. Үүнд:

1. Adiya Saruulzaya, Mamoru Ishikawa, Yamkhin Jambaljav, Thermokarst Lake Changes in the Southern Fringe of Siberian Permafrost Region in Mongolia Using Corona, Landsat,

and ALOS Satellite Imagery from 1962 to 2007, *Advances in Remote Sensing*, 2016, 05, 04, 215, DOI: 10.4236/ars.2016.54018

2. M. Ishikawa, Ya. Jambaljav, 2015. *Formation Chronology of Arsain pingo, Darhad basin, Northern Mongolia*, Journal of Permafrost and Periglacial Processes, Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/ppp.1877
3. G.Davaa, Ya.Jambaljav, 2014, Water resources, glacier and permafrost, MARCC-2014, Mongolia second assessment report on climate change-2014, pages 109-127
4. A.Dashtseren, M.Ishikawa, Y.Iijima, Ya.Jambaljav, 2014, *Temperature Regimes of the Active Layer and Seasonally Frozen Ground under a Forest-Steppe Mosaic, Mongolia*, Journal of Permafrost and Periglacial Processes, Volume 25, Issue 4, Pages 295-306,
5. S.Miyazaki, M.Ishikawa, N.Baatarbileg, S.Damdinsuren, N.Ariuntuya, Ya.Jambaljav, 2014, *Interannual and seasonal variations in energy and carbon exchanges over the larch forests on the permafrost in northeastern Mongolia,* Journal of Polar Science, published online on 3 January 2014.
6. Krumwiede. B, U. Kamp, G.J. Leonard, J.S. Kargel, A. Dashtseren, M. Walther. (2014). Recent glacier changes in the Mongolian Altai Mountains: Case Studies from Munkh Khairkhan and Tavan Bogd. Global Land Ice Measurements from Space. Satellite Multispectral Imaging of Glaciers. Praxis-Springer: 481-508.
7. Я.Жамбалжав, Я.Гансүх, Х.Тэмүүжин, Г.Цогт-Эрдэнэ, Ц.Ундрахцэцэг, А.Саруулзаяа, Ё.Амарбаясгалан, А.Дашцэрэн, Ш.Нарангэрэл, (2016) "*Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураглал*" боловсруулах ажлын тайлан, Улаанбаатар хот, 2016
8. Я.Жамбалжав, Я.Гансүх, Д.Дашжамц, Д.Доржготов, 2016. Монгол орны цэвдгийн өнөөгийн төлөв, түүний өөрчлөлт, "Барилга, байгууламжийн геотехникийн асуудлууд" онол-практикийн Х бага хурлын эмхтгэл, хуудас 122-129, Улаанбаатар хот, 2016 он.
9. Я.Жамбалжав, Г.Цогт-Эрдэнэ, 2016. Хангайн нурууны цэвдгийн тархалтын зүй тогтол, өөрчлөлт, Монгол орны ойн салбарын бодлого, шинжлэх ухаан, технологи" үндэсний хурал, 2016.03.21, Улаанбаатар хот, Монгол Улс
10. А. Дашцэрэн. (2015). Монгол орны ойт-хээр бүс дэх тасалданги цэвдэгтэй газрын ул хөрсний дулааны орны судалгаа. Докторын зэрэг горилсон бүтээл. Дэлхийн хүрээлэн буй орчин судлалын сургууль, Хоккайдо их сургууль. Саппоро хот. Япон улс. (Англи хэл дээр).
11. Ya. Gansukh, Kh. Temuujin. 2014. Temperature changes in the permafrost region based on MODIS data, case area in the Hangai Mountain in Mongolia. Proceedings of the International practical Permafrost conference "Resources and risks in the regions under permafrost", page 85-87, in Novosibirsk, Russia.
12. Я.Гансүх, Я.Жамбалжав 2015. MODIS хиймэл дагуулын гадаргын температурын мэдээг боловсруулах шинэ аргазүй. Хүрэлтогоот-2015 эрдэм шинжилгээний бүтээл, хуудас 29-40, Улаанбаатар
13. Ц. Ундрахцэцэг, А. Дашцэрэн, Я. Жамбалжав, Х. Тэмүүжин. "Цэвдгийн тархалтад нөлөөлөх байгалийн голлох хүчин зүйлс" Хүрэлтогоот-2016, хуудас 188-194, Улаанбаатар.
14. Ё.Амарбаясгалан "Улаанбаатар хот орчмын халиа үүсдэг чийг намгархаг газрыг хамгаалах асуудалд" УБ хот, 2015 он. ШУА-ийн "Эрдэм" сонин, 2015 оны хоёрдугаар сар №01,02 191, 192.
15. Г.Цогт-Эрдэнэ, Я.Жамбалжав, Х.Тэмүүжин (2016) "Тавдугаар цахилгаан станц баригдах төлөвлөлтийн талбайн мөнхцэвдгийн судалгааны үр дүн" Монгол орны газарзүйн асуудлууд 11, 191-196.

ГҮЙЦЭТГЭГЧДИЙН НЭРСИЙН ЖАГСААЛ

- Сэдвийн удирдагч: Я.Жамбалжав доктор (Ph.D), Гидрогеологи, инженер геологич, ШУА-н Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэнгийн цэвдэг судлалын салбарын ЭШАА, 1, 2-р бүлгийг хамтран бичиж, бүх бүлгийг бичихэд ерөнхий зөвлөгөө өгсөн.
- А.Дашцэрэн доктор (Ph.D), Цаг уурч, ШУА-н Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэнгийн цэвдэг судлалын салбарын эрхлэгч, 3-р бүлгийг хамтран бичиж, дүгнэн боловсруулсан.
- Я.Гансүх Газарзүйч, магистр, Цэвдэг судлалын салбарын эрдэм шинжилгээний дэд ажилтан, 1, 2-р бүлгийг хамтран бичиж, дүгнэн боловсруулсан.
- Х.Тэмүүжин Экологич, магистрант, Цэвдэг судлалын салбарын эрдэм шинжилгээний дадлагажигч ажилтан, 3-р бүлгийг хамтран бичиж, дүгнэн боловсруулсан.
- Г.Цогт-Эрдэнэ Газарзүйч, магистрант, Цэвдэг судлалын салбарын эрдэм шинжилгээний дадлагажигч ажилтан, 4-р бүлгийг хамтран бичиж дүгнэн боловсруулсан.
- Ё.Амарбаясгалан Газарзүйч, Ус судлалын магистр, Цэвдэг судлалын салбарын эрдэм шинжилгээний дэд ажилтан, 4-р бүлгийг хамтран бичсэн.
- Ц.Ундрахцэцэг Ус судлалын магистр, Цэвдэг судлалын салбарын эрдэм шинжилгээний дадлагажигч ажилтан, 3-р бүлгийг хамтран бичиж, тайланг нэгтгэж дүгнэн боловсруулсан.
- А.Саруулзаяа Хоккайдогийн их сургуулийн докторант, 4-р бүлгийн термокарстын судалгаа, боловсруулалтад хамтран оролцсон.
- Ш.Нарангэрэл Цэвдэг судлалын салбарын лаборант, хөрсний дээжинд лабораторийн задлан шинжилгээ хийсэн.

ОРШИЛ

Цэвдэг нь нэгдүгээрт температураар, хоёрдугаарт хугацаагаар тус тус илэрхийлэгддэг. Нөгөө талаас цэвдэг нь уур амьсгалын бүтээгдэхүүн бөгөөд түүний өөрчлөлтөд өндөр мэдрэмтгий байдаг. Сүүлийн жилүүдэд уур амьсгалын дулааралтай холбоотойгоор ялангуяа цэвдэгт бүс нутгийн өмнөд захаар цэвдгийн дулаарал, гэсэлт эрчимтэй ажиглагдах болсон тул “Монгол орны цэвдгийн орон зай, цаг хугацааны загварчлал” сэдэвт эрдэм шинжилгээний ажлыг 2014-2016 оны хооронд хийж гүйцэтгэлээ.

Дэлхийн 48 улсын газар нутагт ямар нэгэн хэмжээтэй цэвдэг тархсан байх боловч түүний нийт талбайн 95 орчим хувь нь 5 улсын газар нутагт оногддог. Цэвдгийн тархалтаараа ОХУ, Канад, Хятад, АНУ-ын дараа тавдугаарт Монгол улс ордог (Tingjun Zhang, 2006).

Газарзүйн байршлын хувьд Дорнод Сибирийн цэвдэгт бүс нутгийн өмнөд зах дээр Монгол улс оршдог. Өөрөөр хэлбэл Дорнод Сибирийн цэвдэгт бүс нутгийн өмнөд хил Монгол улсын газар нутгаар дайран өнгөрдөг. Нөгөө талаас Монгол орны цэвдэг нь өндөршил нэмэгдэхэд, өргөргийн дагуу урдаасаа хойшлоход талбай болон зузаан нь нэмэгддэг онцлогтой. Энэхүү цэвдэг нь уулархаг, хуурай гандуу бүс нутгийн цэвдэг бөгөөд тэг хэмд ойрхон хасах температуртай, тасалданги, алаг цоог хэлбэрийн тархалттай болно.

Монгол орны нутаг дэвсгэрийн хэмжээнд нийт 120 гаруй цооногт цэвдгийн мониторинг судалгааг сүүлийн 5-15 жилийн хугацаанд тасралтгүй хийж байна. Эдгээр цооногийн зарим нь 1970-1980 аад оны нэг удаагийн хэмжилттэй цооногуудыг сүүлийн жилүүдэд дахин сэргээж өрөмдөж, хэмжилтийг хийснээр сүүлийн 30-аад жилийн өөрчлөлтийг харуулсан. Монгол орны хойд бүс нутаг болон уул нуруудын өндөрлөг хэсэгт цэвдгийн дулаарал ажиглагдсан бол өмнөд бүс нутгаар дулаараад зогсохгүй гэссэн байна (Жамбалжав, 2013).

1968-1970 оны ЗХУ-БНМАУ-ын хамтарсан геокриологийн экспедицийн судалгааны ажлын үр дүнгээр 1971 онд 1:1500000 масштабтай “Монгол орны геокриологийн зураг” зохиогдсон байдаг бол 1980-1990-ээд оны үед үндэсний эрдэмтэд янз бүрийн масштабтай бүс нутаг, улс орны хэмжээний цэвдгийн тархалтын зураг хийж байсан бол сүүлийн жилүүдэд дахин шинэчлэгдээгүй байсан юм.

1971 оны 1:1500 000 масштабтай геокриологийн зургийг өнөөдрийг хүртэл аливаа эрдэм шинжилгээ, практикийн ажилд ашиглаж ирсэн байдаг. Тэгвэл цэвдэг нь харьцангуй мэдрэмтгий, хувьсамтгай газрын бүрдэл хэсэг болно. Сүүлийн жилүүдэд эрчимтэй явагдаж байгаа уур амьсгалын дулаарал, байгаль орчны ашиглалт зэрэг нь энэхүү мэдрэмтгий цэвдгийг гэсгээгээд зогсохгүй хайлуулж байгаа нь судалгаа шинжилгээний ажлаар тогтоогдсон байдаг. Иймд Монгол орны цэвдгийн орон зай, цаг хугацааны өөрчлөлтийг загварчлан гаргах нь эрдэм шинжилгээ, онол практикийн чухал ач холбогдолтой.

Энэхүү сэдэвт ажлын тайлан нь оршил, 4 бүлэг, 18 дэд бүлэг, ерөнхий дүгнэлт, ашигласан материал гэсэн үндсэн хэсгүүдээс бүрдэнэ.

НЭГДҮГЭЭР БҮЛЭГ. ЦЭВДГИЙН ОРОН ЗАЙ, ЦАГ ХУГАЦААНЫ ЗУРАГЛАЛ, КРИОГЕН ҮЗЭГДЛИЙН СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ

1.1 TTOP загварчлалын ерөнхий аргазүй

Сүүлийн жилүүдэд дэлхийн улс орнуудын хэмжээнд цэвдгийн тархалтын зураглалд, ялангуяа уулархаг бүс нутагт загварчлалын аргыг өргөн хэрэглэж байна. Уулсын бүс нутагт тархсан цэвдгийн зураглалд олон шалгуурт аргазүйг (multi criteria approach) хэрэглэдэг. Энд ажиглалт-туршилтын загварчлалын аргазүй (empirical statistical modelling), физик загварчлалын аргазүй (physical modelling, process based model) гэж хоёр ангилж авч үзэж болно. Цэвдэг нь нэг талаас дулааны үзэгдэл бөгөөд газрын гадарга орчмын цацраг-дулааны баланс ба идэвхтэй давхаргад явагдах дулааны эргэлтээр илэрхийлэгдэнэ. Нөгөө талаас, ялангуяа уулархаг бүс нутагт бичил-уур амьсгалын нөхцөл маш богино зайд хувьсаж өөрчлөгддөг онцлогтой тул тофо уур амьсгалын хүчин зүйлээр тодорхойлогдоно.

Ажиглалт-туршилтын загварчлал гэж тофо уур амьсгалын хүчин зүйлс болох өндөршил, зүг зовхис, налуу, агаарын болон гадаргын температур, нарны цацраг, газрын гадаргын бүрхэвч, хөрс чулуулгийн онцлог, хөрсний чийгшил зэргээс хамаарсан цэвдгийн тархалтыг харуулахыг хэлнэ. Тэгвэл физик загварчлал буюу физик процесс дээр тулгуурласан загварчлал нь агаар мандал ба цэвдэг хоёрын хооронд явагдах энергийн баланс дээр илүү төвлөрсөн байдаг.

Цэвдгийн зураглалын гол ухагдахуун нь дараах үндэслэл дээр тулгуурладаг. Үүнд:

$$T_{TOP} = \frac{n_A \dfrac{1}{\dfrac{\lambda_T}{\lambda_F}} TDD_A + n_F \, FDD_A}{P}, \qquad (1)$$

$$t_\xi(TTOP) \leq 0; \text{ цэвдэгтэй}$$

$$t_\xi(TTOP) \geq 0; \text{ цэвдэггүй}$$

$$t_\xi(TTOP) - \text{Цэвдгийн дээд хил дээрх жилийн дундаж температур,}$$

Цэвдэггүй тохиолдолд энэ температур нь улирлын хөлдөлтийн доод хилийн жилийн дундаж температур болно.

Цэвдгийн дээд хил дээрх жилийн дундаж температурыг (t_ξ) нөгөө талаас идэвхтэй давхаргын доод хилийн жилийн дундаж температур ч гэж хэлж болно. Цэвдгийн дээд хил нь гадаргаас тодорхой хэмжээний гүнд оршдог тул түүний дээрх температурыг гадаргаас зураглахад, ялангуяа уулархаг бүс нутагт нэлээд бэрхшээлтэй юм.

Бид энэхүү зураглалд сүүлийн жилүүдэд өргөн хэрэглэж байгаа физик загварчлалын аргын нэг болох TTOP (temperature on top of permafrost) аргыг хэрэглэсэн.

Агаар мандал ба улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн давхаргад явагдах энергийн эргэлт дээр суурилсан энэхүү цэвдгийн орон зайн тархалтын загварчлалын TTOP аргазүйг 1990-ээд

оны сүүл үеэс хэрэглэж эхэлсэн байдаг (*Westermann et al., 2015, Smith & Riseborough, 1996, Romanovsky & Osterkamp, 1995*). Энэхүү аргазүй нь нэлээд хэдэн хялбарчлал хийж загварчлалын энгийн тэгшитгэл гаргаж авсан. Энэ арга нь дэлхийн цэвдэгт бүс нутгийн нэлээд хэдэн газарт шалгагдсан байдаг.

TTOP загварчлалын үндсэн тэгшитгэл:

$$T_{TOP} = \frac{n_T\, TDD_A + n_F \frac{\lambda_T}{\lambda_F} FDD_A}{P}, \qquad T_{TOP} \leq 0 \qquad (2)$$

$$T_{TOP} = \frac{n_A \frac{1}{\frac{\lambda_T}{\lambda_F}} TDD_A + n_F\, FDD_A}{P}, \qquad T_{TOP} > 0 \qquad (3)$$

Үүнд:

$T_{TOP} -$ Цэвдгийн дээд хил дээрх жилийн дундаж температур, цэвдэггүй бүс нутагт улирлын хөлдөлтийн доод хилийн температур

$n_T -$ дулааны улирлын N фактор

$n_F -$ хүйтний улирлын N фактор

$TDD_A -$ агаарын хоногийн дундаж нэмэх температурын нийлбэр, ° C

$FDD_A -$ агаарын хоногийн дундаж хасах температурын нийлбэр, ° C

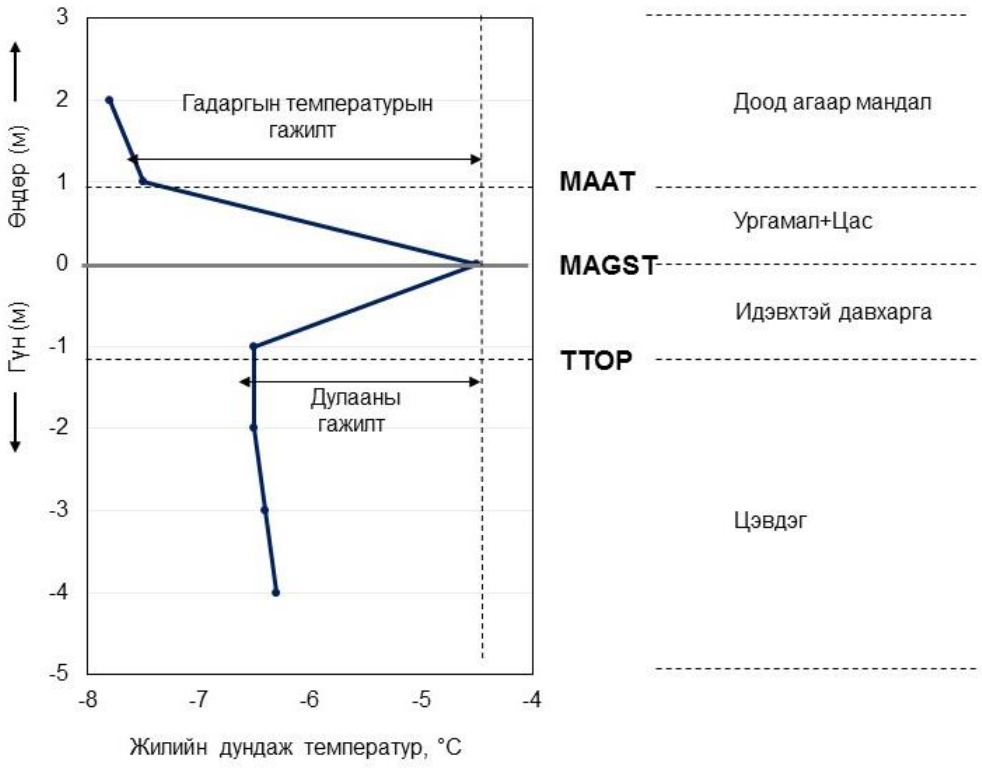
$\lambda_T -$ гэсгэлэн хөрсний дулаан дамжуулалтын коэффициент, $Wm^{-1}K^{-1}$

$\lambda_F -$ хөлдүү хөрсний дулаан дамжуулалтын коэффициент, $Wm^{-1}K^{-1}$

$P -$ температур хэлбэлзлийн нэг үеийн хугацаа, хоног

TTOP загварт хэд хэдэн хялбарчлал хийдэг. Үүнд хөрсний дулаан дамжуулалтын коэффициент өвөл, зуны улиралд тогтмол, хөрсний чийгийн шилжих хөдөлгөөн, чийгэнд зарцуулах дулааныг тооцоогүй зэрэг дутагдалтай талтай ч гэсэн TTOP загвар нь энгийн тэгшитгэлээр илэрхийлэгдсэн байдаг бөгөөд агаар мандал ба чулуун мандал хоёрын хооронд явагдах дулаан урсгалыг загварчилж байгаагаараа давуу талтай.

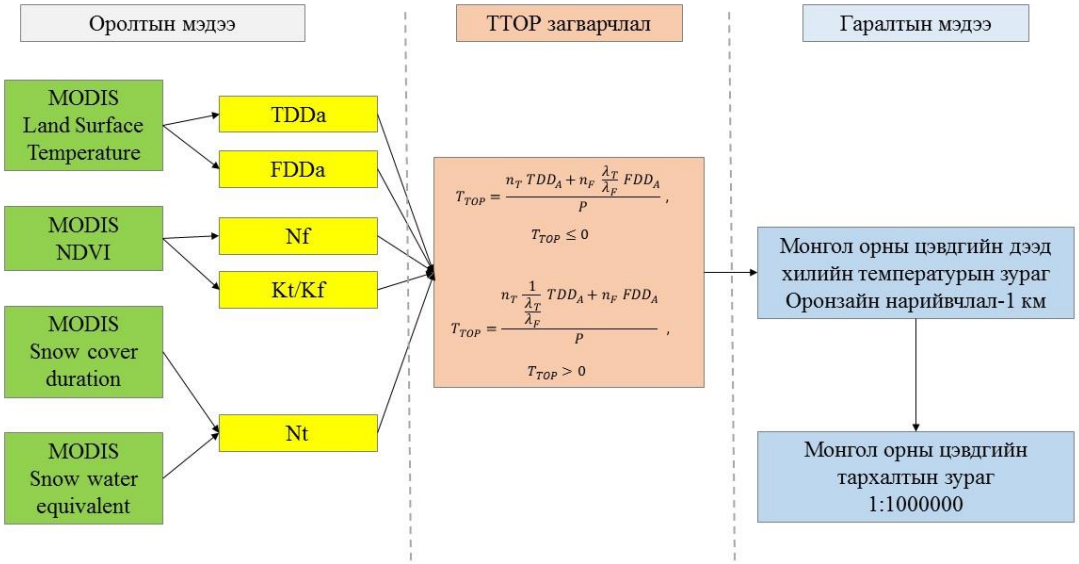
Ер нь TTOP загварчлал нь үе шаттайгаар цэвдгийн дээд хилийн жилийн дундаж температурыг тооцоолдог. **Нэгдүгээрт** бид агаарын буюу ургамал ба цасан бүрхүүлийн дээрх температурын орон зайн тархалтыг гаргана. **Хоёрдугаарт** ургамал болон цасан бүрхүүлийн доод хилийн температурыг зураглах. **Гуравдугаарт** цэвдгийн дээд хилийн температур буюу TTOP температурыг зураглах.



Зураг 1. TTOP тооцоолох онолын үндэслэл, ерөнхий загвар

Цасан болон ургамал бүрхэвчийн дээрх жилийн дундаж температур (агаарын жилийн дундаж температур, MAAT) нь тэдгээрийн доорх жилийн дундаж температур (газрын гадаргын жилийн дундаж температур, MAGST)-аас хүйтэн байдаг. Мөн цэвдгийн дээд хилийн жилийн дундаж температур (TTOP-MAGT) нь гадаргын жилийн дундаж температураас хүйтэн байдаг (Зураг 1). Агаарын жилийн дундаж температур ба газрын гадаргын жилийн дундаж температурын хоорондын зөрөөг **гадаргын температурын гажилт** (surface offset) гэнэ. Харин газрын гадаргын жилийн дундаж температур ба цэвдгийн дээд хилийн жилийн дундаж температур хоёрын хоорондын зөрүүг **дулааны гажилт** (thermal offset) гэдэг.

Агаарын буюу ургамал ба цасан бүрхүүлийн дээрх температурын орон зайн тархалтыг зураглахад MODIS хиймэл дагуулын гадаргын температурын мэдээг (MODIS LST) ашигласан болно. Харин ургамал болон цасан бүрхүүлийн доод хилийн температур (GST) - ыг зураглахад цас ба ургамлын бүрхэвчийн орон зай, цаг хугацааны зураг шаардлагатай болсон. Ургамал бүрхэвчийн зурагт MODIS хиймэл дагуулын TERRA платформын ногоон ургамлын индексийн зургийг (MOD_NDVI_16days) ашигласан. Харин цасан бүрхэвчийн зурагт MODIS хиймэл дагуулын TERRA платформын цасан бүрхэвчийн зураг ба MODIS/AQUA – ийн AMSR-E сенсорын Колорадо их сургуульд боловсруулсан 25 км – ийн орон зайн нарийвчлалтай ЦАСНЫ НӨӨЦ УС зураг зэргийг ашигласан.



Зураг 2. TTOP загварын ерөнхий схем

Цэвдгийн тархалтыг тогтооход нь нэлээд нарийн төвөгтэй олон хүчин зүйлээс хамаарах бөгөөд, ялангуяа уулархаг бүс нутагт түүний тархалтын зураглалд олон аргазүй ашиглах бөгөөд ашиглах боломжтой аргазүйн нэг бол “TTOP загварчлал” юм.

TTOP загвар нь ашиглахад маш энгийн бөгөөд агаар мандал ба цэвдгийн хооронд явагдах энергийн баланс дээр тулгуурласан агаарын температур, цасан болон ургамал бүрхэвч, идэвхтэй давхаргын дулаан дамжуулах чадвар зэргийг харгалзан үздэгээрээ давуу талтай. Гэвч цасны зузаан нь орон зайн хувьд өөрчлөлт ихтэй, ургамал бүрхэвч нь эх газрын эрс тэс уур амьсгалтай бүс нутагт бас л жилээс жилд өөрчлөлт ихтэй байдаг. Идэвхтэй давхаргын дулаан дамжуулалтын коэффициент нь хурдас чулуулгийн бүтэц, нягт, чийг зэргээс хамаарч өөрчлөгддөг. Иймд эдгээр параметрүүдийг үнэн зөв тодорхойлох нь загварын үр дүнд чухал нөлөөтэй болно. Уулархаг бүс нутагт дээрх параметрүүд нь орон зайн хувьд богино зайд өөрчлөгддөг онцлогтой.

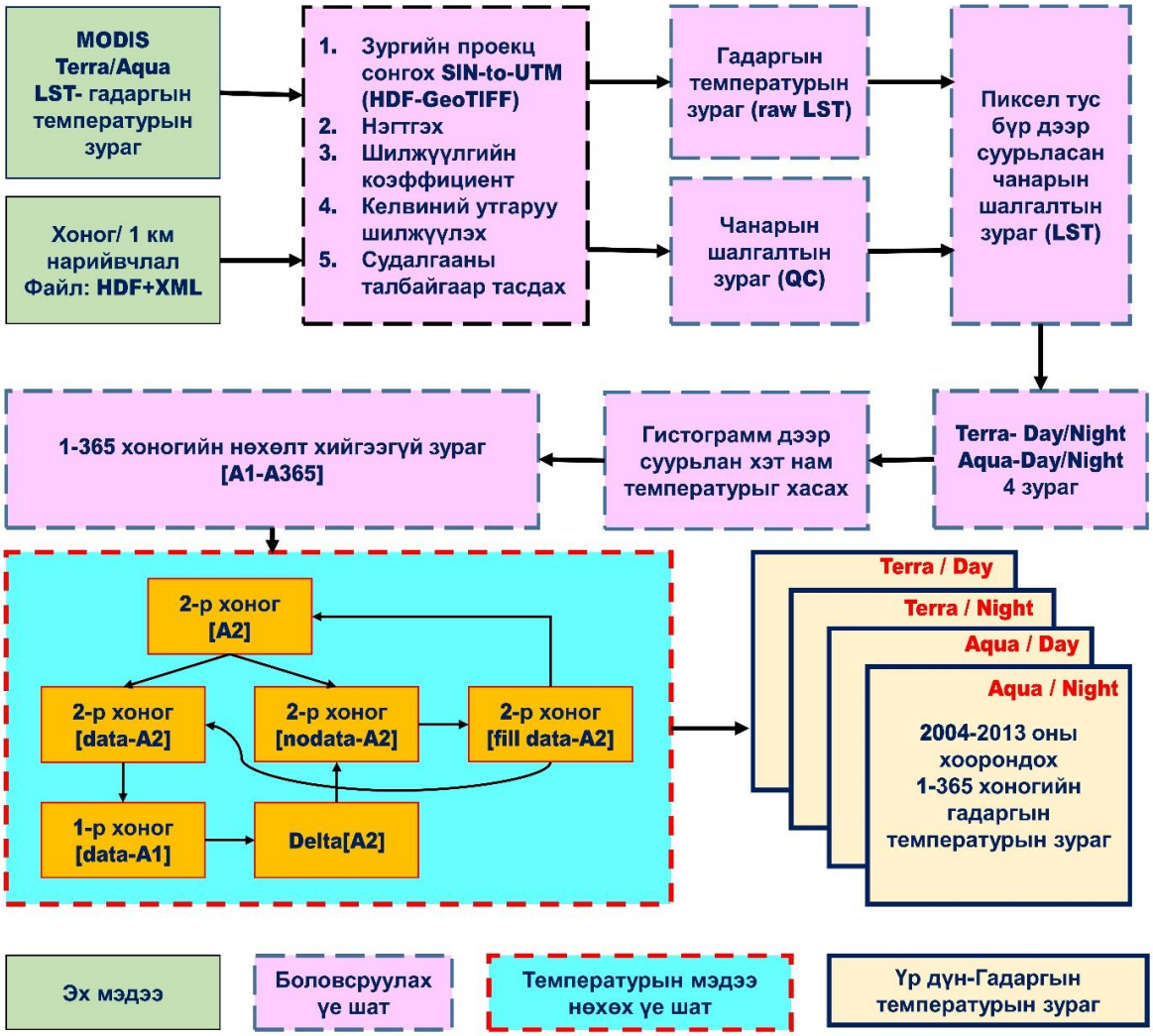
TTOP загвар нь ашиглахад энгийн боловч хэд хэдэн сул талтай. Параметрүүд нь орон зайн төдийгүй цаг хугацааны хувьд хувьсамтгай байдаг. Мөн TTOP загвар нь газрын гүний дулаан урсгалыг тооцдоггүй ба уур амьсгалын тэнцвэрт үед тооцдогоороо дутагдалтай.

1978 оны олон улсын цэвдэг судлалын 3-р их хуралд Канадын эрдэмтэн В.Ж.Люнардиний танилцуулсан N факторын онол ба ЗХУ-ын эрдэмтэн В.А.Кудрявцевын температурын үсрэлт дээр тулгуурлан TTOP загварыг 1996 онд Канадын эрдэмтэн М.В.Смит гарган авсан.

TTOP загвар нь бүс нутгийн зураглалд илүү тохиромжтой бөгөөд Канадын хойд бүс нутагт шалгагдсан байдаг (*Smith & Riseborough, 2002, Riseborough, 2003, Wright et al., 2003*). Харин Оросын хойд, Скандиновын хойг, Ирланд, Гренланд арал, Канадын хойд бүс нутгийг хамарсан TTOP температурын зургийг Норвегийн эрдэмтэн С.Вестерманн 2015 онд гаргасан бөгөөд статистик шалгалтын үзүүлэлт сайтай гарчээ.

1.2 Агаарын буюу MODIS LST температурын орон зай, цаг хугацааны тархалтын зураглалын аргазүй

Гадаргын температурын нэг хоногийн мэдээ нь Terra/Aqua платформын өдөр/шөнийн мэдээ, чанарын үнэлгээний 2 зураг бүхий нийтдээ 56 ш зургаас бүрдэнэ. Монгол орны хэмжээнд 7 ш планшат нь бүрэн хэмжээний MODIS гадаргын температурын зураг болно. Эдгээр нь 2004-2013 оны хооронд нийтдээ 51000 орчим эх мэдээг боловсруулсан байна. Анхан шатны хагас боловсруулалтын ажил буюу координатын системийг хөрвүүлэх, хэмжилтийн радиацийн утгыг температурт хөрвүүлэх, планшат тус бүрийг нэгтгэх зэргийг хийж гүйцэтгэнэ. Дараа нь цоорхой буюу мэдээгүй хэсгийг нөхнө. Ингэснээр орон зай, цаг хугацааны хувьд бүрэн агаарын буюу MODIS LST температурын мэдээ бэлэн болно. Энэхүү аргазүйг доор схем байдлаар үзүүлэв (Зураг 3).



Зураг 3. Судалгааны аргазүйн ерөнхий схем

1.2.1 Температурын мэдээ боловсруулах аргазүй

Зургийн проекц шилжүүлэх- MODIS Reprojection Tool software (MRT V4.0)- программ ашиглан тэгш өнцөгт Sinusoidal проекцтэй, HDF өргөтгөл бүхий эх мэдээг Universal Transverse Mercator тусгагт шилжүүлсэн (UTM Zone 48N, WGS84 ellipsoid). Ингэхдээ шинжлэх ухааны багц мэдээлэл тус бүрийг газарзүйн мэдээллийн үндсэн гаралтын өргөтгөл болох GeoTIFF форматаар үүсгэсэн. MRT программ нь ойр хөршийн, хос шугаман болон куб хувиргалтын аргуудтай бөгөөд эдгээрээс ойр хөршийн аргыг сонгосон нь дараах 2 шалтгаантай. Үүнд:

- Зөвхөн ойр хөршийн арга нь тухайн пикселийн утгыг интерполяц хийх болон шилжүүлэг хийх явцад анхдагч утгаа хадгалан үлддэг байна.
- Хос шугаман болон куб хувиргалтын арга нь хийсвэр үр дүнг харуулах бөгөөд үүлний зах хэсгийн алдааг нэмэгдүүлэх хандлагатай байсан.

Зургуудыг нэгтгэх- ArcGIS программын Mosaic цэсний тусламжтайгаар координатын систем болон байршлын дагуу нэг зургийг нөгөө дээр шууд нэгтгэх юм. Энэ тохиолдолд 7 планшатууд нь нэгэн төрлийн буюу 16_bit_unsigned хэлбэртэй байна. Харин нэгтгэсэн зургийг үүсгэх тохиолдолд дээрх кодыг заавал тааруулж өгөх бөгөөд дараагийн шилжүүлгэнд алдаа гарахгүй нөхцөлийг бүрдүүлнэ.

Arc toolbox-Data management tools-Raster-Raster Dataset-Mosaic and Mosaic to new raster

Кельвины утга руу хөрвүүлэх- Хиймэл дагуулын бүртгэж авсан гадаргын цацаргалтын мэдээг боловсруулан 0-65535 утгаар илэрхийлсэн байх бөгөөд ArcGIS программын растер зургийн тооцоолол цэсийн тусламжтайгаар хиймэл дагуулын эх мэдээг 0.02 коэффициентээр үржүүлж Кельвины утга руу хөрвүүлнэ.

Arc toolbox-Spatial Analyst tools-Map Algebra-Raster Calculator

$$\text{Гадаргын температур (Кельвин)} = \text{Эх мэдээ } (DN = 7500 \div 65535) * 0.02 \quad (4)$$

Гистограмм дээр суурилан артефакт утгуудыг хасах- Хиймэл дагуулын хэмжилтийн явцад үүссэн зургийн алдаа (Сэмжин үүл, муу чанарын пиксел, гажилттай пиксел гэх мэт) болон растер зургийн тооцооллын үед гарсан алдаануудыг (зургийн зах болон голд үүссэн) зургийн гистограмм тархалтад суурилан 1-р болон 3-р зэргийн 4-ны нэгийг тодорхойлж (1st, 3rd quartile) нормал тархалтын дээд, доод хязгаарыг тодорхойлно.

$$1st_{quartile} = L + \frac{\left(\frac{N}{2}*1\right)-F}{f} * c \qquad 3rd_{quartile} = L + \frac{\left(\frac{N}{2}*3\right)-F}{f} * c \quad (5)$$

L-ангиллын доод хязгаар; N-Хэмжилтийн нийт тоо; F- Өмнөх ангиллын хуримтлагдсан давтамж; f- одоогийн ангиллын давтамж; c- ангиллын алхам.

Ингэснээр хязгаараас давсан артефактны утгуудыг хасч нормал тархалт бүхий засварласан зургийг үүсгэнэ. 1-р болон 3-р квартайлаас хамаарсан дээд доод хязгаарыг дараах томьёогоор олно.

$$\text{Доод хил} = 1st_quartile - 1.5 \times (3rd_quartile - 1st_quartile) \quad (6)$$

$$\text{Дээд хил} = 3rd_quartile + 1.5 \times (3rd_quartile - 1st_quartile) \quad (7)$$

Эдгээр үйлдлийг ArcGIS программын дэд программ болох ArcPy дээр Python программчлалын хэл ашиглан гүйцэтгэнэ. Тухайн температурын орон зайн тархалтын зураг нь 1км X 1км пикселээс тогтсон нэгэн төрлийн матриц бөгөөд зургийн бүх пикселийн утгыг текст хэлбэрт хөрвүүлнэ. Текст бүхий тоон матрицаас утгагүй хэсгийг (NA=-9999) хасч үлдсэн утгуудаас 1-р болон 3-р квартайлыг тооцоолно.

Чанарын шалгалт хийх- Гадаргын температурын мэдээг боловсруулахдаа үүлтэй болон алдаатай мэдээ бүхий утгуудыг хассан. Тухайн нэг пиксел дээрх утга агаар мандлын болон гадаргын бүрхэвчийн онцлогоос хамааран алдаатай болдог. Ийм нэг пикселийн утгын алдааг MODIS хиймэл дагуулын бусад мэдээ (Үүл, цас, газрын бүрхэвч гэх мэт) ашиглан засварлах боломжгүй байдаг. Харин MODIS хиймэл дагуулын гадаргын температурын мэдээ боловсруулдаг гадаргын мэдээний шинжлэх ухааны багийнхан (Land Science Team) тухайн пикселийн алдааны нарийвчлалыг тодорхойлж чанарын шалгалтын зураг үүсгэдэг.Чанарын шалгалтын зураг (QC) нь MODIS-ын гадаргын температурын зураг дээрх хэмжилтийн утгын алдааны нарийвчлалын зураг бөгөөд 0-255 хооронд хэлбэлзэх утгатай. Энэхүү утгыг 0 болон 1 гэсэн хоёртын тооллын системд шилжүүлэн тухайн судалгааны зорилгоос хамааран аль боломжит хувилбарын дагуу сонгон авдаг. Гадаргын температурын мэдээ боловсруулахдаа түүхий эх мэдээнээс үүл болон бусад мэдээгүй утгыг хасаж, мөн гадаргын температурын мэдээний алдааны дундаж 2°К-тэй тэнцүү буюу бага утга бүхий мэдээг ашигласан. Өөрөөр хэлбэл чанарын шалгалтын тоон утгын хувьд 0, 1, 5, 17, 21, 64, 65, 69, 81, 85 гэсэн утга бүхий гадаргын температурын мэдээг тооцоондоо авч ашигласан (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Чанарын шалгалтын зургийн нарийвчлалыг код болон өнгөөр ялган харуулав.

Битийн байрлал	7	6	5	4	3	2	1	0	Тайлбар
Утга	128	64	32	16	8	4	2	1	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	Өндөр чанартай, LST дундаж <=1K
1	0	0	0	0	0	0	0	1	Ашиглаж болно (дэлгэрэнгүй тайлбарыг харах)
2	0	0	0	0	0	0	1	0	Ашиглаж болохгүй (үүлтэй хэсэг)
3	0	0	0	0	0	0	1	1	Ашиглаж болохгүй (үүл болон бусад шалтгаан)
5	0	0	0	0	0	1	0	1	Ашиглаж болно (дэлгэрэнгүй тайлбарыг харах)
17	0	0	0	1	0	0	0	1	Ашиглаж болно (цацаргалтын дундаж алдаа<=0.02)
21	0	0	0	1	0	1	0	1	Ашиглаж болно (цацаргалтын дундаж алдаа<=0.02)
64	0	1	0	0	0	0	0	0	Өндөр чанартай, LST дундаж <=2K
65	0	1	0	0	0	0	0	1	Ашиглаж болно (цацаргалтын дундаж алдаа<=0.01, LST дундаж алдаа <=2K)
69	0	1	0	0	0	1	0	1	Ашиглаж болно (цацаргалтын дундаж алдаа<=0.01, LST дундаж алдаа <=2K)

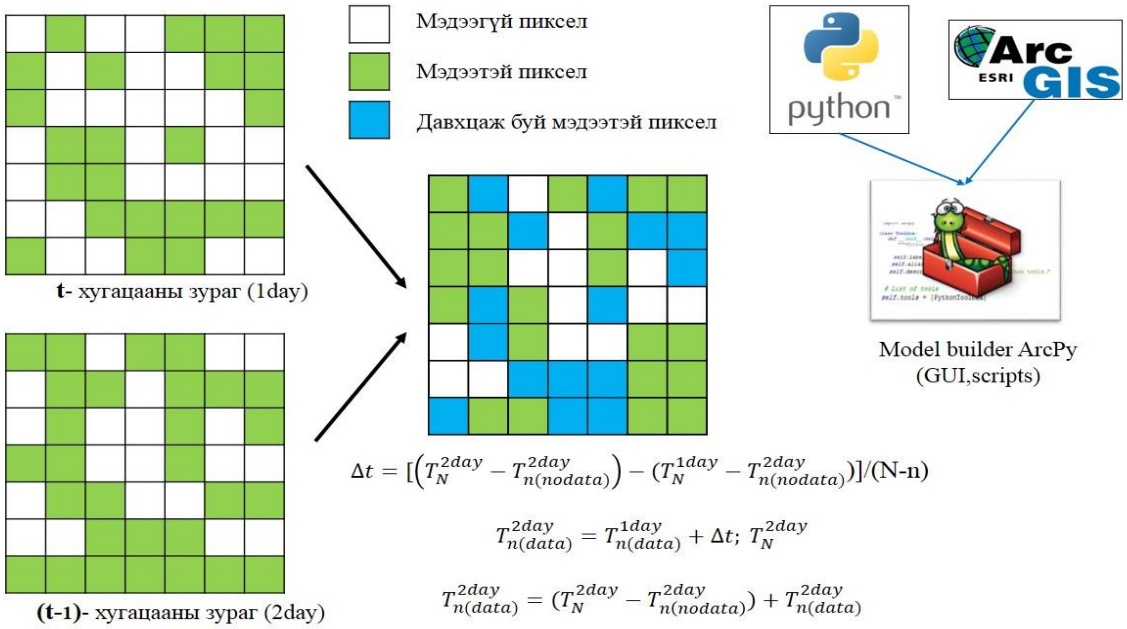
81	0	1	0	1	0	0	0	1	Ашиглаж болно (цацаргалтын дундаж алдаа<=0.02, LST дундаж алдаа <=2K)
85	0	1	0	1	0	1	0	1	Ашиглаж болно (цацаргалтын дундаж алдаа<=0.02, LST дундаж алдаа <=2K)
129	1	0	0	0	0	0	0	1	Ашиглаж болно (цацаргалтын дундаж алдаа<=0.01, LST дундаж алдаа <=3K)
133	1	0	0	0	0	1	0	1	Ашиглаж болно (цацаргалтын дундаж алдаа<=0.01, LST дундаж алдаа <=3K)
145	1	0	0	1	0	0	0	1	Ашиглаж болно (цацаргалтын дундаж алдаа<=0.02, LST дундаж алдаа <=3K)
149	1	0	0	1	0	1	0	1	Ашиглаж болно (цацаргалтын дундаж алдаа<=0.02, LST дундаж алдаа <=3K)

Улаан: энэхүү судалгаанд ашиглаагүй, Шар: энэхүү судалгаанд ашигласан (шалгалт хийж), Ногоон: Өндөр чанарын буюу шууд ашигласан

1.2.2 Температурын мэдээг нөхөх

Судлаачдын гадаргын температурын мэдээг нөхөх янз бүрийн аргазүй нь тухайн судалгааны талбайн газарзүйн байршил, өндөр, зүг зовхис, далайн нөлөө, салхи, хотгор гүдгэрийн онцлогоос хамааран олон гишүүнт регрессийн тэгшитгэл, 3 хэмжээст шугаман интерполяци, Фурьегийн хувиргалт, цаг, хоног, улирал, сарын дундаж, 2 хэмжээст шугаман интерполяци зэрэг аргуудыг хэрэглэсэн байна.

Энэхүү судалгааны талбай нь олон байгалийн бүс, бүслүүр, газарзүйн байршил, өндрийн тархалтын ялгаатай байдал, уур амьсгалын өөр өөр хэв шинжээс шалтгаалан хамаарлын тэгшитгэл, интерполяцийн аргыг хэрэглэх боломжгүй байна. Иймээс цагийн болон хоногийн дундаж утгууд, тэдгээрийн зөрүү дээр үндэслэн температурын утгыг нөхөх аргазүйг сонгосон. Тухайн өдрийн мэдээ байхгүй хэсгийг нөхөхдөө өмнөх болон дараагийн өдрийн мэдээ, тухайн сарын температурын өсөх, буурах температурын



Зураг 4. Температурын мэдээ нөхөх аргазүй.

харьцангуй утга (Δt) дээр суурилан нөхсөн. Ингэхдээ эхний өдрийн мэдээгүй пикселийг дараа юм уу, өмнөх өдрийн мэдээтэй утгыг авч ашиглах бөгөөд тэрхүү пикселээ хоногийн температурын өөрчлөлтийн зөрүүг ашиглан тооцоолно. Аливаа нэг газарт температурын утга байхгүй нөхцөлд хамгийн ойр орших температурын утга бүхий пикселийн хоногийн зөрүүг ашиглан нөхсөн.

1.3 Статистик дүн шинжилгээний аргууд

Статистикийн үзүүлэлт гэдэг нь судлагдаж буй юмс үзэгдлийн шинж чанарын тоон үнэлгээ юм. Статистик үзүүлэлтэд юмс, үзэгдлүүдийн тоо ба чанарын нэгдэл илрэх бөгөөд цар хэмжээ, тэдгээрийн харилцан уялдаа хамаарал, өөрчлөлт болон хөгжлийн зүй тогтлыг тодорхойлно. Статистикийн аргууд нь вариацын цувааны шинжилгээ, корреляци-регрессийн шинжилгээг өргөн ашигладаг.

Дундаж хэмжигдэхүүн- үзэгдэл юмсын судлагдаж буй шинж тэмдгийн нэгдсэн үзүүлэлт бөгөөд үзэгдэл юмсыг бүрдүүлж буй нэгжүүдийг төлөөлж чадахуйц хэмжигдэхүүн юм. Хэрэглэх үндсэн нөхцөл нь дунджийг нь тодорхойлж буй юмс үзэгдэл нь чанарын хувьд нэг төрөл байх явдал юм. Хоёр төрлийн дундаж хэмжигдэхүүн байдаг. Үүнд:

- Зэргийн дундаж (арифметик дундаж, гармоник дундаж, геометр дундаж, куб, квадрат дунджууд гэх мэт)
- Бүтцийн дундаж (Мод--юмс үзэгдлийн нэгжүүдийн шинж тэмдгийн утга холбогдол буюу вариантуудын дотроос хамгийн олон дахин давтагддаг утга, медиан—Эрэмблэгдсэн мэдээлэл буюу шинж тэмдгийн утгуудын төв дунд орших утга)

Хэлбэлзлийн үзүүлэлт- Эх олонлогийн ялгаатай байдлыг хэлбэлзэл гэнэ. Судлагдаж буй хүчин зүйлийн хэлбэлзлийг тодорхойлсноор уг хүчин зүйлийн хөгжил, өөрчлөлттэй холбоотой олон асуудлыг тодруулах боломжтой болдог. Хэлбэлзлийн үзүүлэлтүүдийг абсолют ба харьцангуй гэсэн хоёр бүлэгт хуваах бөгөөд практикт абсолют үзүүлэлтүүд түлхүү ашигладаг.

- Абсолют (цувааны далайц, стандарт хазайлт- дисперсээс квадрат язгуур авсан, дисперс-Эх олонлогийн утгуудын тэдгээрийн дундаж утгаас хазайх хазайлтуудын квадратуудын нийлбэр хувьд тооцогдсон арифметикийн дундаж)
- Харьцангуй (осцилляцын коэффициент, вариацын шугаман коэффициент, вариацын коэффициент)

Хамаарлын тухай ойлголт

Судалгааны үед ямар нэг юмс үзэгдлийн хувьсал өөрчлөлтөд нөлөө үзүүлж байгаа талыг авч үзэж тэдгээрийн уялдааны хүч ямар байгааг тодорхойлно. Хамаарлыг чиглэлээр нь шууд ба урвуу гэж ялгана. Хэрэглэх аргууд:

- Параллелиар зэрэгцүүлэх арга
- Аналитик бүлэглэлийн арга
- Графикийн арга

Корреляцийн шинжилгээ- Хамаарлын хүчийг хэмжихээс гадна тодорхой тэгшитгэлийн хэлбэрээр аналитикаар илэрхийлэх бөгөөд уг аргыг хэрэглэхэд зарим нөхцөлийг бүрэлдүүлэх шаардлагатай.

- Судлагдаж буй үзүүлэлтүүдийг нормаль тархалтын хуулиар тархсан эх нийлбэрээс хийсэн түүвэрлэлтийн адилаар үзэх.
- Ажиглалт бүр нь үл хамаарах байх ёстой.

Хос шинж тэмдэгийн ("X" ба "Y") хосын хамаарлыг янз бүрийн аналитик тэгшитгэлээр илэрхийлдэг. Ийм тэгшитгэлд үр дүнгийн "Y" шинж тэмдгийн утга нь зөвхөн хүчин зүйлийн "X" шинж тэмдгийн өөрчлөлтөөс хамаарах функц болдог. Судалгаанд үл хамаарагдах бусад бүх хүчин зүйлс нь тогтмол, дундаж байдлаар авагдаж, "a" гэсэн параметрээр илэрхийлэгдэнэ. Хүчин зүйлсийн хоорондын хамаарлыг илэрхийлж буй аналитик тэгшитгэлийг регрессийн тэгшитгэл гэж нэрлэдэг.

Корреляцийн коэффициент нь -1, +1 хооронд өөрчлөгдөнө. R>0 бол шууд R<0 бол урвуу хамааралтай байна. R=1 бол функцэн хамааралтай R=0 бол хамааралгүйг харуулна. R нь нэгд ойрхон бол хүчтэй, тэгд ойрхон бол хамаарал сул байна.

1.3.1 Ногоон ургамлын индексийн зураг (NDVI) боловсруулах болон ургамал бүрхэвчийн температур тооцоолох аргазүй

Энэхүү судалгаанд бид Монгол орны хэмжээнд 2004-2013 оны хоорондох 16 хоногийн давтамж бүхий MODIS хиймэл дагуулын TERRA платформын ногоон ургамлын индексийн зургийг (MOD_NDVI_16days) ашигласан.

MODIS хиймэл дагуулын NDVI зургийг үзэгдэх гэрлийн хөх, улаан болон ойрын нил улаан туяаны мужуудын гадаргын ойлтыг харьцуулан гаргаж авдаг. Энэхүү зураг нь 250 м, 500 м, 1000 м, 0.05° градусын орон зайн шийдтэй, 16 хоногийн дундаж болон 1 сарын цаг хугацааны шийдтэй байдаг. Мөн анхан шатны хагас боловсруулалт хийхдээ MODIS хиймэл дагуулын ус, үүл, үүлний сүүдэр, агаарын хүнд аэрозол зэргийг ашиглан 2 чиглэлт гадаргуугийн алгоритм дээр үндэслэдэг.

Монгол орны хэмжээнд хөндлөн 23-26, хэвтээ 03-04 торлолын 7 хэсгийн гадаргын температурын мэдээг Үндэсний Сансар Судлалын Агентлагийн (NASA) дата мэдээллийн төв серверт (*http://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLT*) холбогдож, XML метадата мэдээлэлтэй HDF өргөтгөлтэй мэдээг татсан.

MODIS хиймэл дагуулын Ногоон ургамлын индексийн 16 хоногийн дундаж мэдээ нь Terra платформын Монгол орны хэмжээний болон чанарын үнэлгээний зураг зэрэг 21 ш зургаас бүрдэнэ. Шинжлэх ухааны багц мэдээ нь шилжүүлгийн коэффициент болон чанарын үнэлгээ, эрэмбийн зураг зэргийг агуулсан бөгөөд дараах байдалтай байна.

Science Data Set	Units	Data type	Valid Range	Scale factor
XYZm 16 days NDVI	NDVI	int16	-2000, 10000	0.0001
XYZm 16 days EVI	EVI	int16	-2000, 10000	0.0001
XYZm 16 days VI Quality detailed QA	Bits	uint16	0, 65534	NA
XYZm 16 days red reflectance (Band 1)	Reflectance	int16	0, 10000	0.0001
XYZm 16 days NIR reflectance (Band 2)	Reflectance	int16	0, 10000	0.0001
XYZm 16 days blue reflectance (Band 3)	Reflectance	int16	0, 10000	0.0001
XYZm 16 days MIR reflectance (Band 7)	Reflectance	int16	0, 10000	0.0001
XYZm 16 days view zenith angle	Degree	int16	-9000, 9000	0.01
XYZm 16 days sun zenith angle	Degree	int16	-9000, 9000	0.01
XYZm 16 days relative azimuth angle	Degree	int16	-3600, 3600	0.1
XYZm 16 days composite day of the year	Day of year	int16	1, 366	NA
XYZm 16 days pixel reliability summary QA	Rank	int8	0, 3	NA

Зураг 5. Ногоон ургамлын индексийн багц зургийн (SDS) доторх зургуудын тайлбар

Rank Key	Summary QA	Description
-1	Fill/No Data	Not Processed
0	Good Data	Use with confidence
1	Marginal data	Useful, but look at other QA information
2	Snow/Ice	Target covered with snow/ice
3	Cloudy	Target not visible, covered with cloud

Зураг 6. MODIS хиймэл дагуулын ногоон ургамлын индексийн багц зургийн (SDS) доторх чанарын шалгалтын зургийн үзүүлэлт

Ногоон ургамлын индексийн зурагт дээрх чанарын шалгалтыг хийснээр үнэнд илүү ойр зураг гарах болно (Зураг 18).

Монгол орны хэмжээнд боломжтой 26 цэг дээр MODIS LST болон мониторингийн цооногийн гадаргын температурын мэдээг ашиглан дулааны улирлын N факторыг дараах тэгшитгэлээр тооцоолов.

$$N_t = \frac{TDD_{\text{цооног}}}{TDD_{MODIS\ LST}} \qquad (8)$$

Nt тодорхойлсон цэгүүд дээр харгалзах NDVI - ийн утгыг түүвэрлэж тэдгээрийн хоорондын корреляци хамаарал тооцохоос гадна энгийн нэг гишүүнт шугаман регресс бодуулж, статистик үзүүлэлтүүдийн R статистикаар тооцон гаргасан.

1.3.2 Цасан бүрхэвчийн зураг болон цасан бүрхэвчийн доорх температур тооцоолох аргазүй

MODIS/TERRA хиймэл дагуулын цасан бүрхэвчийн эх мэдээ нь Sinusoidal тусгаг бүхий 500 м орон зайн шийдтэй, 8 өдрөөр дунджилсан HDF өргөтгөлтэй 1200 км х 1200 км талбайг зурагласан байдаг. Энэхүү эх мэдээг Цасны нормчлогдсон индекс (NDSI) болон

бусад шалгуур тестийн дагуу боловсруулдаг бөгөөд 2000 оны 2-р сарын 24-өөс хойш тасралтгүй зураглаж байна.

Монгол орны хэмжээнд h23v03-h2604 хооронд 7 планшатын мэдээг ашигласан бөгөөд эх мэдээний утга нь 0-255 кодлогдсон байдаг. Эдгээр утгаас 200 код нь цасан бүрхэвчийн тархалтыг харуулдаг.

Хүснэгт 2. Цасан бүрхэвчийн тархалтын кодын утга

Цасан бүрхэвчийн тархалтын кодын утга	
Код	Тайлбар
0	Мэдээгүй хэсэг
1	Үр дүнгүй хэсэг
11	Шөнө
25	Цасгүй
37	Нуур
39	Далай
50	Үүл
100	Нуурын мөс
200	Цасан бүрхэвч
254	Хязгаар тодорхойлогч
255	Цоорхой хэсэг

MODIS/AQUA – ийн AMSR-E сенсорын Колорадо их сургуульд боловсруулсан 25 км – ийн орон зайн нарийвчлалтай цасны нөөц усны зурагт хиймэл дагуул дээр суурилсан сенсор нь агаар мандал, цасан бүрхүүл, газрын гадаргаас ялгарч буй богино долгионт цацрагийн температурыг хэмждэг. Цасны талст нь богино долгионт цацрагийг идэвхтэй сарниулагч болдог. Зузаан цас нь богино долгионт цацрагийг ихээр сарниулагч болох бөгөөд хиймэл дагуулын сенсорт бүртгэгдэж буй температур төдий хэмжээгээр бага байна (*Matzler 1987, Foster et al. 1991*). Дээрх үзүүлэлт дээр үндэслэн цасны нөөц усны зураг гаргаж авах алгоритм зохиогдсон байдаг (*Kunzi et al.1982, Chang et al.1982, Hallikainen and Jolma 1986, Goodison et al. 1990, Rott et al.1991*).

Энэхүү загварчлалд нэмэлт өгөгдөл болох

- Ойн бууралтын нөлөө
- Цасны нягт
- Газар, далай, мөсөн гадаргын тархалт
- Боломжит цасны хэмжээ зэргийг тооцоолсон.

Ойн бууралтын нөлөөг тооцоолохдоо MODIS/Terra хиймэл дагуулын газрын бүрхэвчийн мэдээ (MOD12Q1), MODIS ногоон ургамлын хүснэгт, жагсаалт зэргийг ашигласан. Мөн Геосфер-Биосфер хөтөлбөрийн ангиллыг (IGBP) ашиглан 0-100 хувиар илэрхийлсэн.

Дэлхий хойд болон өмнөд хагасын цасны нягтыг Канад болон ОХУ-ын цасны гадаргын хэмжилтийн мэдээнд үндэслэн 6 ангилан авч үзсэн.

Цасан бүрхэвчийн зузааныг тооцоолохдоо газрын бүрхэвчийн ангилал дээр тулгуурласан цасны нимгэнээс зузаан руу шаталсан байдлаар ойтой болон ойгүй талбай дээр тодорхойлсон.

$SD = (ff * (SD_f)) + ((1 - ff) * (SD_o))$ (9)

SD_f - Ойтой газрын цасны зузаан

SD_o - Ойгүй газрын цасны зузаан

ff - Ойн нөлөө (1.0 = 100% , 0.0 = 0%)

Эдгээр тооцооллын үндсэн дээр цасны нөөц усны зургийг дэлхийн хэмжээнд боловсруулан гарган авсан.

$SWE = SD\ (cm) * density\ (g\ cm^{-3}) * 10.0\ (mm)$ (10)

2004 оны 10-р сарын 1-өөс 2011 оны 5-р сарын 1-ны өдрийн хоорондох 25 км орон зайн нарийвчлал бүхий 5 өдрийн дундаж цасны нөөц усны мэдээг энэхүү судалгаанд ашигласан.

Монгол орны хэмжээнд h23v03-h2604 хооронд 7 планшатын мэдээг ашигласан бөгөөд эх мэдээний утга нь 0-255 кодлогдсон байдаг. Эдгээр утгаас цасан бүрхэвч нь 0-200 код нь цасны нөөц усны утгыг илтгэх бөгөөд 2-т хуваан мм-р илэрхийлснээр тооцооны утгыг гарган авна.

Хүснэгт 3. Цасны нөөц усны зургийн кодын утга

Утга	Тайлбар
0-240	Цасны нөөц ус divided by 2 (mm)
247	Сансрын хөлгийн байрлалын алдаа
248	Дэлхийн гадарга биш
252	Газар болон цасыг тодорхойлох боломжгүй
253	Мөсөн гадарга
254	Ус
255	Мэдээгүй хэсэг

Харин чанарын шалгалтын (QC) мэдээ нь тухайн зургийн алдааны нарийвчлал, ашиглах боломжийг илтгэх бөгөөд цасны нөөц усны хувьд 241-тэй тэнцүү болон түүнээс дээш утгатай мэдээг ашиглах шаардлагагүй байдаг.

Дээр үзүүлснээр энд цасан бүрхэвчийн тархалтын 500 м – ийн орон зайн нарийвчлалтай, цасны нөөц усны 25 км – ийн орон зайн нарийвчлалтай зургуудтай байна.

Бидний сонгосон цэвдгийн орон зайн тархалтын загварчлалд цасан бүрхэвчийн зузааны орон зайн тархалт хэрэгтэй. Бид энд цасан бүрхэвчийн зузааны оронд цасны нөөц усны утгыг ашигласан. Өөрөөр хэлбэл SWE=snow thickness*density of snow байдаг тул цасны хэмжээ зузаан байх тусам цасны нөөц ус их байна. Гэвч энэхүү 25 км – ийн орон зайн нарийвчлал бүхий цасны нөөц усны зураг нь манай зураглалын ажлын орон зайн

нарийвчлалын шаардлага хангахгүй тул бид энд нарийвчлал сайжруулах аргыг (downscaling method) ашигласан.

Нарийвчлал сайжруулах арга (downscaling method) нь орон зайн ба цаг хугацааны нарийвчлал сайжруулах арга гэж 2 ангилна. Мөн динамик ба статистик нарийвчлал сайжруулах арга гэж 2 ангилна. Энд бид статистик нарийвчлал сайжруулах аргын нэг болох олон гишүүнт шугаман регрессийн арга ашигласан.

Нарийвчлал сайжруулах аргаар гарган авсан зургийг хүйтний улирлын Nf фактор болгон хувиргахдаа Люнардины N-факторыг (*Lunardini, 1978*) ашигласан.

$$N_f = \frac{FDD_{\text{borehole}}}{FDD_{MODIS\ LST}} \qquad (11)$$

$$N = \frac{\int_0^{\tau_s}(T_f - T_s)dt}{\int_0^{\tau_a}(T_f - T_a)dt}; \qquad (12)$$

$\tau_s;\ \tau_a$ − дулаан, хүйтний улирлын үргэлжлэх хугацаа, хоног

T_s, T_a − гадарга, агаарын температурын хоногийн дундаж, °C

T_f − хөлдөх температур, °C

Дулааны болон хүйтний улиралд хугацаагаар интеграл авсны дараа дээрх тэгшитгэл дараах хэлбэртэй болно.

$N_f = \frac{FDD_s}{FDD_a}$, хүйтний улиралд (13)

$N_t = \frac{TDD_s}{TDD_a}$, дулааны улиралд (14)

Монгол орны хэмжээнд боломжтой 37 цэг дээр MODIS LST болон мониторингийн цооногийн гадаргын температурын мэдээг ашиглан хүйтний улирлын N факторыг дараах тэгшитгэлээр тооцоолов.

$$N_f = \frac{FDD_{\text{borehole}}}{FDD_{MODIS\ LST}} \qquad (15)$$

Nf тодорхойлсон цэгүүд дээр харгалзах цасны нөөц усны утгыг түүвэрлэж тэдгээрийн хоорондын корреляц хамаарал тооцохоос гадна энгийн нэг гишүүнт шугаман регресс бодуулж, статистик үзүүлэлтүүдийн R статистик дээр тооцон гаргасан.

1.3.3 Дулаан дамжуулалтын коэффициент тооцоолох аргазүй

Хөрсний дулаан дамжуулалтын коэффициентыг тодорхойлдог шууд ба шууд бус хэд хэдэн арга байдаг. Лабораторийн болон хээрийн нөхцөлд багажны тусламжтай шууд хэмжиж тодорхойлдог аргыг шууд арга гэх бол хөрсний нягт, эзлэхүүн жин зэргээс хамаарсан эмперик тэгшитгэлийн тусламжтай тооцоолдог аргыг шууд бус арга гэнэ. Бид АНУ-ын “Decagon devices” компанид үйлдвэрлэсэн KD2 Pro (Thermal Properties Analyzer) багажаар тодорхой газруудад дулаан дамжуулалтын коэффициентийг хөлдүү болон гэсгэн төлөвт тодорхойлсон боловч бүх Монгол орны нутаг дэвсгэрийн

хэмжээний үзүүлэлт хараахан гаргаж авч чадаагүй улмаас энэхүү материалыг ашиглаагүй болно. Харин тодорхойлж болох 38 цэг дээр загварын тэгшитгэлээс урвуу бодолт хийж гэсгэн болон хөлдүү төлөвийн дулаан дамжуулалтын коэффициентийн харьцааг гаргаж авсан. Ингэж бодуулсан цэг тус бүрд харгалзах NDVI –ийн утгыг тодорхойлсон. Гэвч гэсгэн болон хөлдүү төлөвийн дулаан дамжуулалтын коэффициентийн харьцаа ба NDVI –ийн хооронд сул корреляци хамааралтай байв (R=-0.34). Иймд бид Монгол орны гэсгэн болон хөлдүү төлөвийн дулаан дамжуулалтын коэффициентын харьцаагаар нь 3 хуваасан.

1.4 Цаг хугацааны загварчлалын аргазүй

Цэвдгийн цаг хугацааны өөрчлөлтийг гаргахдаа Монгол орны нутагт тархан байрласан цаг уурын 80 орчим станцын агаарын хоногийн дундаж температурын 1937 оноос 2013 он хүртэлх мэдээг ашигласан.

Дээрх мэдээнээс агаарын температурын FDD (хоногийн дундаж хасах температуртай өдрийн нийлбэр), TDD (хоногийн дундаж нэмэх температуртай өдрийн нийлбэр)-ыг жил тус бүрээр тооцоолж гаргасан. Дараа нь Монгол орныг төлөөлж чадахуйц температурын нэг хандлагыг гаргаж авсан. Тренд анализыг ашиглаж өнгөрсөн болон ирээдүйн температурын өөрчлөлтийн ерөнхий чиг хандлагыг тооцоолсон.

TTOP загварчлал (Зураг 2) ашиглаж 1970, 2010, 2050, 2090 оны цэвдгийн тархалтын зургийг зурагласан. Гэхдээ энд ургамал болон цасан бүрхэвч, хөрсний дулаан дамжуулалтыг тогтмол гэж авч үзсэн ба 2016 оны цэвдгийн шинэ зураг зохиохдоо ашигласан мэдээллийг ашиглав.

1.5 Криоген үзэгдлийн аргазүй

Энэхүү сэдэвт ажлын хүрээнд халиа, бөөрөг, термокарстын нуурыг голчлон судалсан ба судалгааны арга зүйг доор дурдав.

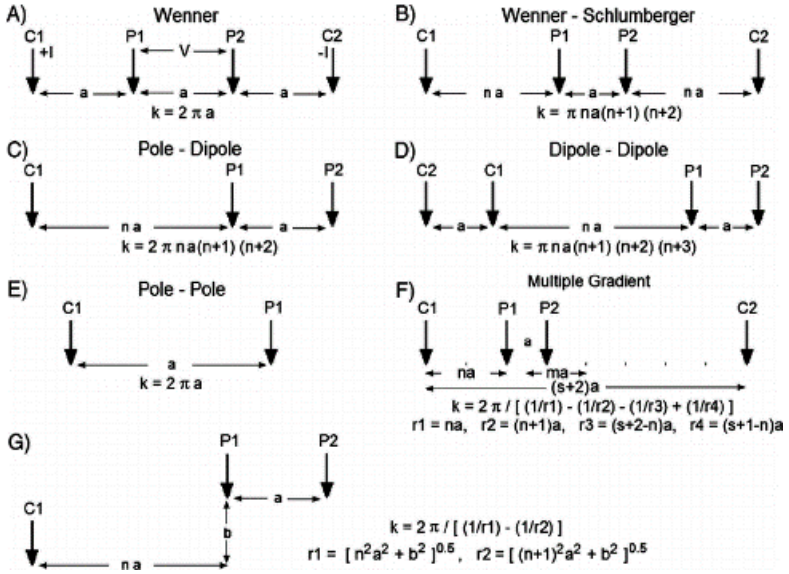
1.5.1 Халианы судалгааны аргазүй

Хээрийн хэмжилт судалгаагаар халианы тархалтын талбай, гүн зэргийг тодорхой цаг хугацааны давтамжтай хэмжилт хийж, хөрсний дээж авсан. Хөрсний дээжийг лабораторийн шинжилгээний аргаар тодорхойлно. Хээрийн хэмжилт судалгаа, лабораторийн шинжилгээний үр дүнд статистик тооцооны аргуудыг ашиглан тооцоолол дүн шинжилгээ хийсэн. 2012-2016 оны агаарын температур болон хур тунадасны жилийн дундаж мэдээ /УБ цаг уурын станц/ ашигласан. Мөн зайнаас тандан судлалын арга зүй ашиглан LANDSAT хиймэл дагуулын TM L1T, ET L1-ийн Зураг, ASTER GDEM-ийн өндрийн зургууд, EARTH ENGINE–н тооцоолол зэргийг ашиглан анализ дүгнэлт хийсэн.

1.5.2 Бөөргийн судалгааны аргазүй

Геофизикийн аргазүй:

Геофизикийн хайгуулын “цахилгаан эсэргүүцлийн болон албадмал туйлшрал”-ын аргууд нь 2 болон 3 хэмжээст зүсэлтийг талбайн болон цооногийн хэмжилтээр байгуулах орчин үеийн аргачлал юм. Нэг хэмжилтээр 2 хэмжээст хэмжилтэд хэдэн арван мянга хүртэл, 3 хэмжээстэд – хэдэн зуун мянга хүртэл өгөгдөл цуглуулдаг. Энэхүү их өгөгдлийг тусгай программ хангамжуудын тусламжтайгаар боловсруулж инверсийн зүсэлтийн зураг хэлбэрээр ерөнхий үр дүнг гаргадаг. Цахилгаан томограф гол төлөв 50-



Зураг 7. Цахилгаан эсэргүүцлийн томографын Веннерийн арга

60 метрийн гүний судалгааг гүйцэтгэдэг ч хэмжих бололцоотой доод гүн нь 100м. Бөөргийн судалгаанд Веннерийн аргыг хэрэглэсэн (Зураг 7).

Францын “IRIS INSTRUMENTS” үйлдвэрийн SYSCAL PRO болон SWITCH PRO багажуудыг ашиглаж цахилгаан томографын хэмжилт хийсэн.

Тус багаж нийт 2 суваг, 96 электродтой бөгөөд электрод хоорондын зай 5 м, нэг хэмжилтээр 485 м хүртэлх газрын доорх цахилгаан эсэргүүцлийн мэдээллийг цуглуулах боломжтой юм.

Мөсний агууламж ихтэй хөлдүү материалууд ижил төрлийн гэсгэлэн материалаас илүү өндөр цахилгаан эсэргүүцэлтэй байдаг (*Hauck, Vonder, 2003*). Томографын мэдээ боловсруулах арга нь газрын доорхийг цахилгаан эсэргүүцлээр хоёр хэмжээсээр зураглах боломжтой болсон (*Loke and Baker, 1995*). Өндөр эсэргүүцэлтэй мөс болон эсэргүүцэл багатай материалын хоорондын зөрүүтэй байдлаас цулдам мөсөн цөмийг илрүүлэх боломжтой (*Ishikawa, 2001*). Цахилгаан эсэргүүцлийн томограф нь бөөргийн мөсийг зураглахад хамгийн тохиромжтой геофизикийн арга юм (*Yoshikawa, 2006*).

Изотопын аргазүй:

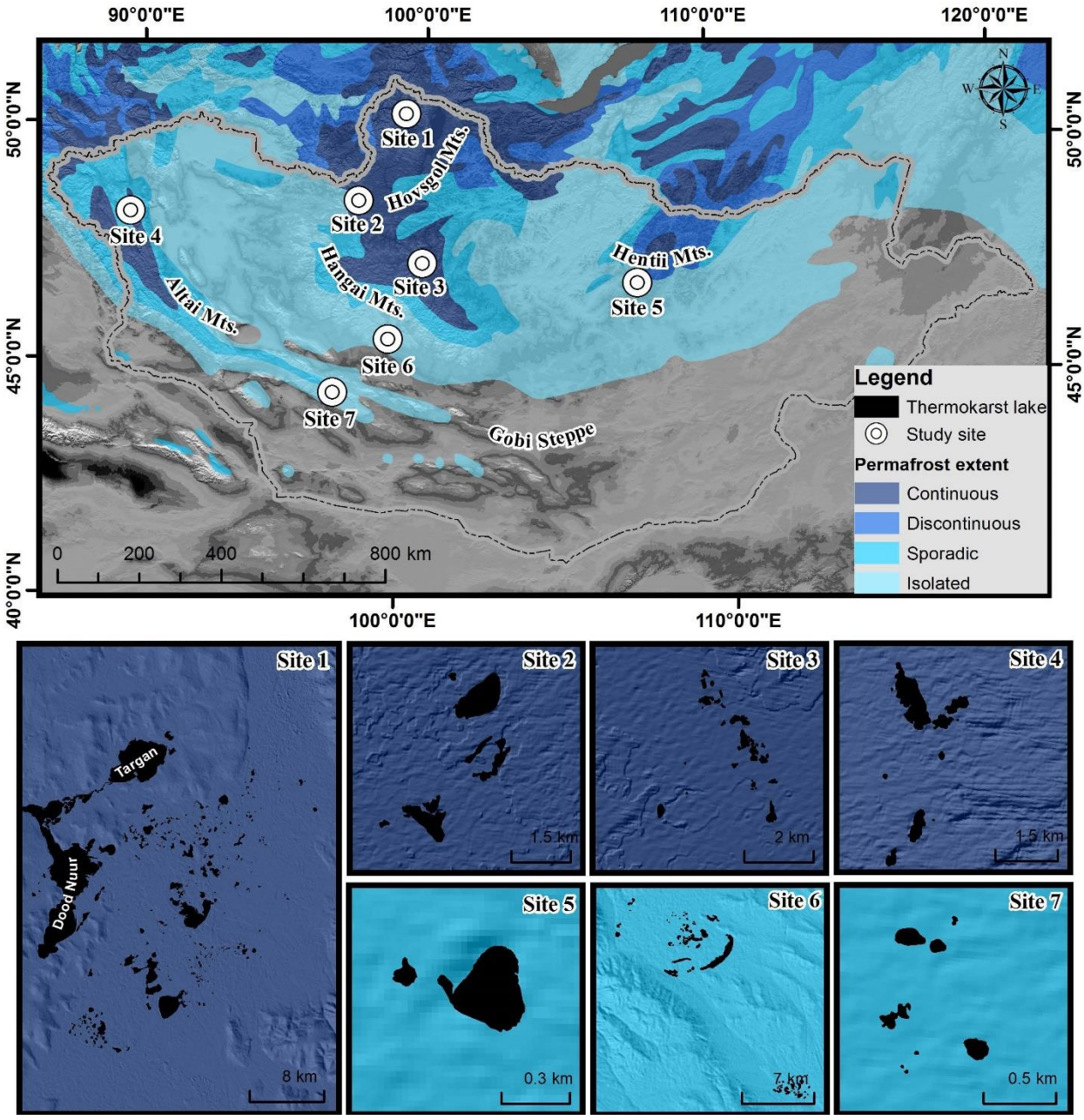
Усан дахь устөрөгч болон хүчилтөрөгчийн изотопын харьцааг АНУ-ын Delta V™ төхөөрөмжөөр тодорхойлдог. Арсайн бөөргийн мөсний изотопын шинжилгээг Хоккайдогийн их сургуулийн лабораторид хийсэн. Тогтвортой изотопын D ба ^{18}O –ын “δ” утгыг доорх томьёогоор тооцолдог(Clark and Fritz, 1997) R- усны изотопын харьцаа.

$$\delta_{sample} = \left(\frac{R_{sample}}{R_{standard}} - 1\right) * 1000 \qquad (16)$$

Бөөргийн өрөмдлөгийн дээжээс гарсан ялзмаг болон модноос дээж авч, IntCal04 ба Marine04 - аар карбоны харьцаагаар нас тодорхойлох изотопийн шинжилгээ хийсэн.

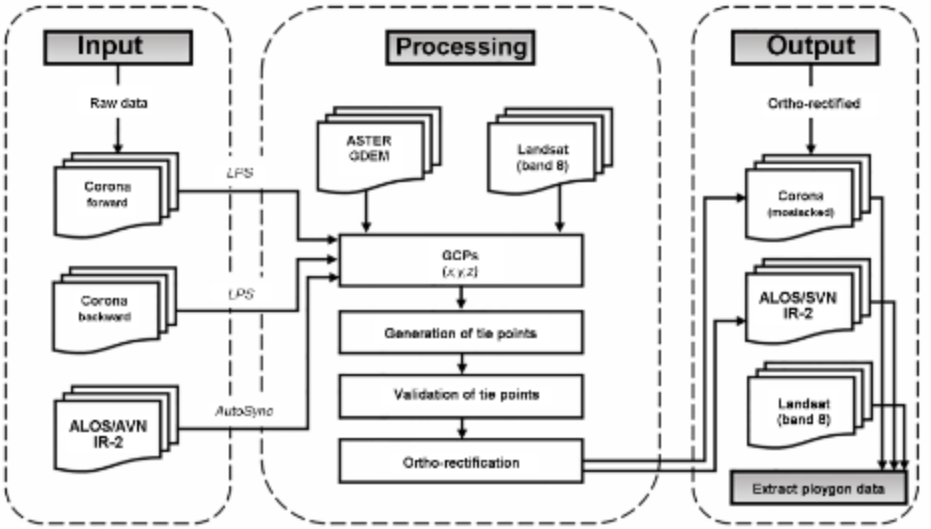
1.5.3 Термокарстын нууруудын судалгаанд ашигласан аргазүй

Термокарстын нуурын судалгаанд Монгол Алтай, Хэнтий, Хангай, Говь-Алтайн нуруу мөн Хөвсгөлийн уулсад судалгааны долоон талбайг сонгон авсан (Зураг 8). Судалгааны талбайн термокарстын нууруудын өөрчлөлтийг тодорхойлохын тулд гурван өөр цаг хугацааны (1962 – 1968, 1999 – 2001 ба 2006 – 2007 он) Корона – 14, Ландсат – 7, АЛОС/АВНИР-2 хиймэл дагуулын зуны улирлын зураг ашигласан. Манайх шиг хөгжиж буй оронд 1960 оноос өмнөх нийт нутгийг хамарсан агаарын зураглал байдаггүй ч үүнийг 1962 – 1968 оны Корона хиймэл дагуулын зургийг ашиглаж өөрчлөлтийн судалгааг хийх бололцоотой. Корона хиймэл дагуулын ангилаагүй зургийг АНУ-ын USGS EROS-ын мэдээллийн төвийн зургийг ашиглан сайжруулсан (http://earthexplorer.usgs.gov/).



Зураг 8. Сайт 1 – Дархадын хотгор; Сайт 2 – Мөнгөт голын хөндий; Сайт 3 – Чулуут голын хөндий; Сайт 4 – Хонгор өлөн; Сайт 5 – Налайхын хотос; Сайт 6 – Галуут нуурын хөндий; Сайт 7 – Эрдэнэ.

Энэхүү судалгаанд 0.1 га (1000м^2)-аас дээш талбайтай нуурыг зурагласан. GPS-ээр тодорхойлсон нуурын эргийн шугамыг ARCGIS 9.1 программ хангамжийг ашиглан дүрсэлсэн. Мөн нуурын талбайг дөрөв ангилсан (0.1-1, 1-10, 10-100, 100-1000 га) бөгөөд талбайг тооцсон аргазүйг доор үзүүлэв (Зураг 9). Хэт том талбайтай нуурууд (Доод цагаан 4810 га, Тарган 1962 га) болон дулааны хөндийлжийн гаралтай нуураас бусад нуурыг хасаж тооцсон.



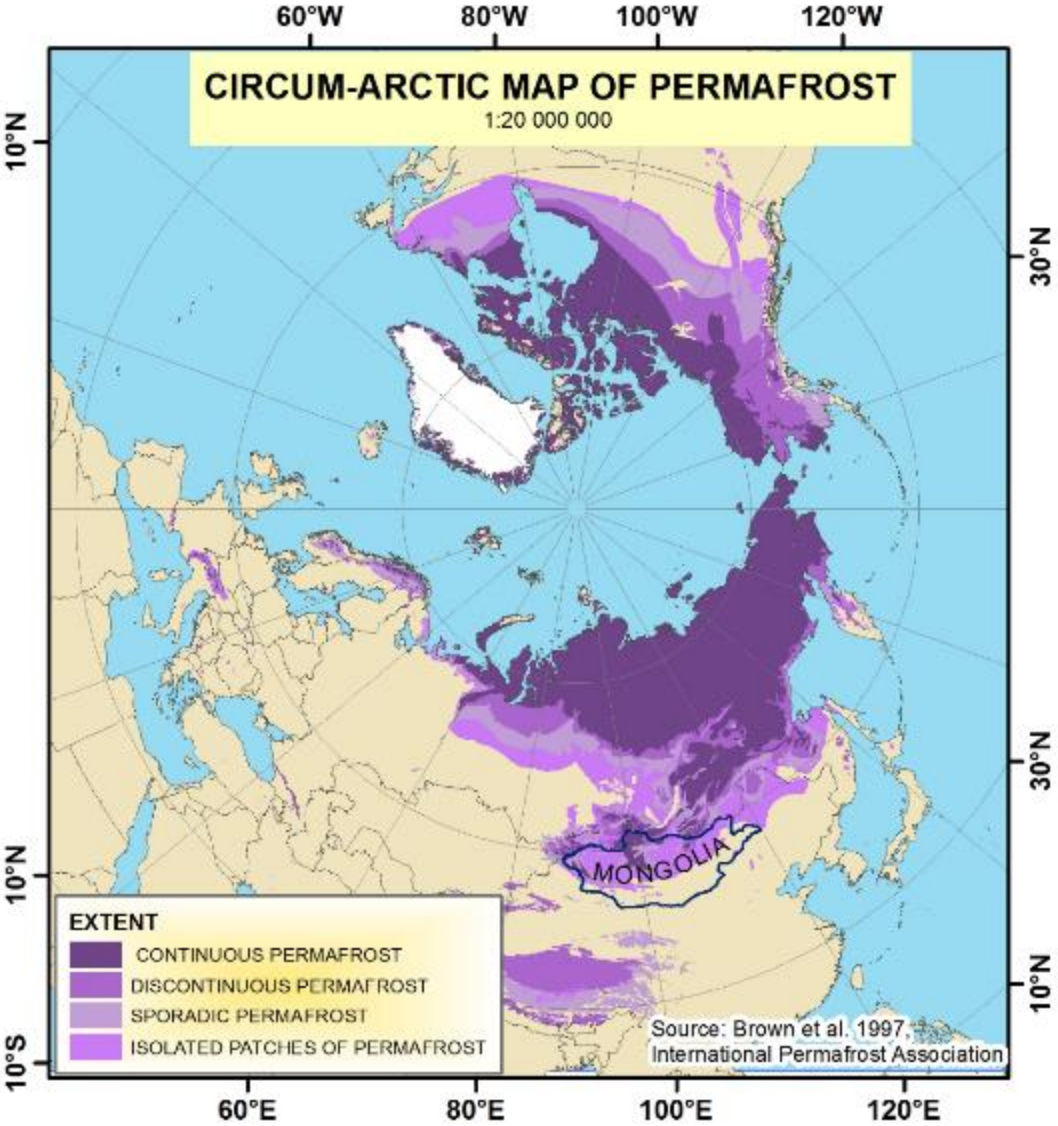
Зураг 9. Судалгааны ерөнхий аргазүй.

ХОЁРДУГААР БҮЛЭГ. ЦЭВДГИЙН ОРОНЗАЙН ЗАГВАРЧЛАЛ

2.1 Монгол орны цэвдгийн тархалт, онцлог

Цэвдэг нь өндөр өргөргийн бүс нутаг болох туйлын болон өндөр уулсын бүс нутагт тус тус тархсан байдаг. Иймд цэвдгийг тархалтаар нь өргөргийн зүй тогтолтой (Арктикийн бүс нутгийн цэвдэг) уулын цэвдэг гэж ангилахаас гадна тэгш өндөрлөгийн цэвдэг (Төвдийн тэгш өндөрлөг), тэнгис, далайн шельф орчмын цэвдэг, реликт цэвдэг гэж ангилсан байдаг (*Hugh M. French, 2007*).

Дэлхийн бөмбөрцгийн хуурай газрын 25 хүртлэх хувьд (*В.А.Кудряцев, 1978; Hugh M. French, 2007*) хойд хагасын хуурай газрын 22.79*10^6 км^2 буюу 23.9 хувьд (*Brown J., 1997; Tingjun Zhang, 2008*) тус тус цэвдэг тархсан байна. Цэвдэг нь хойд өргөрөгийн N26°-аас (Гималайн нуруу) N84° (Гренландын арал) хооронд тархах бөгөөд үүний 70% орчим нь N45° ба N67° хооронд тохиолдоно (Зураг 10).



Зураг 10. Дэлхийн бөмбөрцгийн хойд хагасын цэвдгийн тархалтын зураг.

Манай дэлхийн 48 улс орны газар нутагт ямар нэгэн хэмжээгээр цэвдэг тархсан бөгөөд нийт цэвдэгт бүс нутгийн 95 орчим хувь нь 5 улсын газар нутагт ноогддог (*Tingjun Zhang, 2006*ERROR! REFERENCE SOURCE NOT FOUND.). ОХУ, Канад, АНУ, ятад зэрэг улсуудын дараа Монгол орон цэвдгийн тархалтаараа тавдугаарт ордог (Хүснэгт 4).

Хүснэгт 4. Цэвдгийн тархалт

Дэлхийн бөмбөрцгийн хойд хагас	Талбай, (сая км^2)	Дэлхийн бөмбөрцгийн урд хагас	Талбай, (сая км^2)
ОХУ (хуучин ЗХУ)	11.0	Антарктид тив	13.5
Канад улс	5.7		
Хятад улс	2.1		
Аляск муж (АНУ)	1.5		
Монгол улс	0.8		
Гренландын арал	1.6		
Нийт	22.7		13.5
Дэлхийн бөмбөрцгийн хэмжээний нийт цэвдэгтэй талбай			36.2
Дэлхийн бөмбөрцгийн хуурай газрын талбай			149.0
Дэлхийн бөмбөрцгийн хуурай газарт цэвдгийн эзлэх хувь			24%
Эх сурвалж: *Hugh M.French, 2007, The Periglacial Environment, Third edition*			

Монгол орон нь эх газрын эрс тэс уур амьсгалтай, гадаргын хувьд далайн төвшнөөс дунджаар 1580 м өргөгдсөн, харилцан адилгүй өргөгдсөн (560 м – 4374 м дтд), Сибирийн хөвч тайгаас өмнөд монголын говь хүртэлх эрс тэс ялгаатай байгалийн бүс бүслүүртэй зэрэг нь тус орны газар нутагт тархсан цэвдгийг тасалданги, алаг цоог хэлбэрийн тархалттай болгожээ. Монгол орны цэвдгийн тархалтын зургаас харахад цэвдэг нь Алтай, Хангай, Хэнтэй, Хөвсгөлийн уулсад төвлөрсөн байхаас гадна Монгол орны хойд хэсэгт илүү тархалттай. Өөрөөр хэлбэл Монгол орны газар нутагт тархсан цэвдэг нь өндрийн болон өргөрөгийн зүй тогтолтойгоос гадна тасалданги, алаг цоог тархалттай байдаг нь бичил топо уур амьсгалын онцлогтой холбоотойгоор өөрчлөгддөг ууархаг хуурай гандуу бүс нутгийн цэвдэг болно. Нөгөө талаас Монгол орны цэвдэг нь Дорнод Сибирийн цэвдэгт бүс нутгийн өмнөд захад оршдог бөгөөд тэг хэмд ойрхон хасах температуртай. Уур амьсгалын дулаарал, байгаль орчны өөрчлөлтөд өндөр мэдрэмтгий “тэг” хэмд ойрхон хасах температуртай ууархаг хуурай гандуу бүс нутгийн цэвдэг нь дулаарахаас гадна гэсэж үгүй болдог онцлогтой (*Я.Жамбалжав, 2013*). Монгол орны хойд бүс нутаг ба уулсын өндөрлөг хэсэгт үргэлжилсэн ба тасалданги тархалттай цэвдэгтэй бол Алтай, Хангай, Хөвсгөл, Хэнтэйн уулсын бэл хормой, хөндий, хотост алаг цоог, тохиолдлын тархалттай (*Я.Жамбалжав, 2016*).

1970-аад оноос өмнө Монгол орны газар нутагт тархсан цэвдгийн өмнөд хил янз бүрээр зурагдаж байсан ба судалгаа шинжилгээний мэдээ материал нэмэгдэхийн хэрээр нарийн тодорхой болж ирсэн байдаг.

Монгол орны газар нутагт тархсан цэвдгийн тархалтыг 1937 оноос эхлэн ЗХУ-ын эрдэмтэн М.И.Сумгинаас эхлээд үндэсний эрдэмтэн судлаач нар цэвдэг судлалын шинжлэх ухааны тухайн үеийн ололт амжилт дээр тулгуурлан янз бүрийн масштабтай

зургууд зохиож байжээ. 1968-1970 онуудад явуулсан ЗХУ-БНМАУ-ын хамтарсан геокриологийн экспедицийн судалгааны ажлын үр дүнд 1:1500000 масштабтай БНМАУ-ын геокриологийн зураг зохиогдсон. Энэ геокриологийн зурагт үзүүлснээр Монгол орны нийт газар нутгийн 63%-д тасалданги болон алаг цоог хэлбэрийн цэвдэгтэй (*Гравис и др, 1974*). Энэхүү зургаас хойш Монгол орны газар нутгийг бүхэлд нь хамарсан болон хэсэгчилсэн зургууд янз бүрийн масштабтай зохиогдож байсан боловч эдгээр зургууд дээр цэвдгийн тархалт, түүний газарзүйн өмнөд хил харилцан адилгүй зурагдаж байсан нь тухайн үеийн мэдээ материал дутмаг байснаас гадна ер нь цэвдгийн орон зайн тархалтын зүй тогтлыг тогтооход нэлээд нарийн төвөгтэй болохыг харуулна.

2.2 Цэвдгийн орон зайн зураглалын үр дүн

2.2.1 Температурын орон зай, цаг хугацааны бүрэн цуваа

Монгол орны хэмжээнд 2004-2013 оны хоорондох 1 км-н орон зайн нарийвчлал бүхий MODIS-ын гадаргын температурын мэдээг нөхөх аргазүй боловсруулж цаг хугацааны бүрэн цуваг үүсгэсэн. Ингэснээр дурын аль нэг талбайд гадаргын температурын явц, өөрчлөлт, температурын тархалтын зүй тогтол зэрэг цаг уур, уур амьсгалын үзүүлэлт мөн байгалийн газарзүйн судалгааны анхдагч эх материал, загварчлал зураглалын ажлын оролтын өгөгдөл мэдээг үүсгэж байна. Өөрөөр хэлвэл бэлчээр, газар тариалан, хөрс, ус, цэвдэг, уур амьсгалын өөрчлөлт зэрэг судалгааны суурь үзүүлэлт болох гадаргын температурын цаг хугацаа-орон зайн бүрэн цуваг үүсгэсэн шинжлэх ухааны онолын-суурь судалгаа болсон.

MODIS-ын гадаргын температурын эх мэдээг анхан шатны боловсруулалтын ажлыг хийж хагас боловсруулсан мэдээг гарган авсан. MODIS-ын мэдээ нь үүл, зургийн гажилт, сэрэмжлүүлэх утга, муу чанарын нэгж, ойлтын алдаа зэргээс шалтгаалан зарим хэсэг нь цоорхой буюу температурын утга байхгүй байдаг. Энэхүү мэдээ нь пиксел дээрх утгын хувьд <=2°K хүртэлх алдаа бүхий мэдээ юм.

Энэ нь судалгааны ажилд ялангуяа загварын оролтын үед ихээхэн алдаа үүсгэдэг. Үүл болон бусад хүчин зүйлээс шалтгаалсан мэдээний цоорхой буюу утгагүй хэсгийн талбай нь судалгааны нийт 20-30% хүртэл заримдаа 50% нь байхгүй тохиолдол байна. Энэ асуудлыг шийдвэрлэхийн тулд тооцоо эхлэх 2004/01/01- өдрийн зургийг орон зайн тархалтын хувьд бүрэн болгох шаардлагатай бөгөөд 2003 оны 300-366 дахь өдрийн гадаргын температурын мэдээг ашигласан.

Гадаргын хоногийн дундаж температурын утгыг Акуа, Терра хиймэл дагуулын өдрийн болон шөнийн зураг гэсэн 4 цагийн (01:30, 10:30, 13:30, 22:30) арифметик дунджаар тооцоолж бүтэн жилийн туршид 365-366 хоногоор 2004-2013 оны хугацаанд тооцоолсон. Эцсийн үр дүнд орон зайн шийд нь 1 км, цаг хугацааны шийд нь 1 хоног бүхий 3653 ш гадаргын температурын мэдээг боловсруулан гаргасан (Зураг 4).

Монгол орны газарзүйн онцлог, байгалийн ялгаатай төрх байдалд үндэслэн Алтайн уулархаг бүс, Хангайн уулархаг бүс, Хөвсгөлийн уулархаг бүс, Хэнтийн уулархаг бүс, Говийн бүсийг төлөөлүүлэн таван сумын MODIS-ын гадаргын температур, цаг уурын станцын агаарын температурын цаг хугацааны бүрэн цуваг жишээ болгон харуулав. Энд улаан зураасаар (------) MODIS-ын гадаргын температур, хөх зураасаар (--------)

агаарын температурыг тэмдэглэж 2004-2013 хооронд хоногийн дундаж болон сарын дунджаар тус тус харуулав (График 1-10).

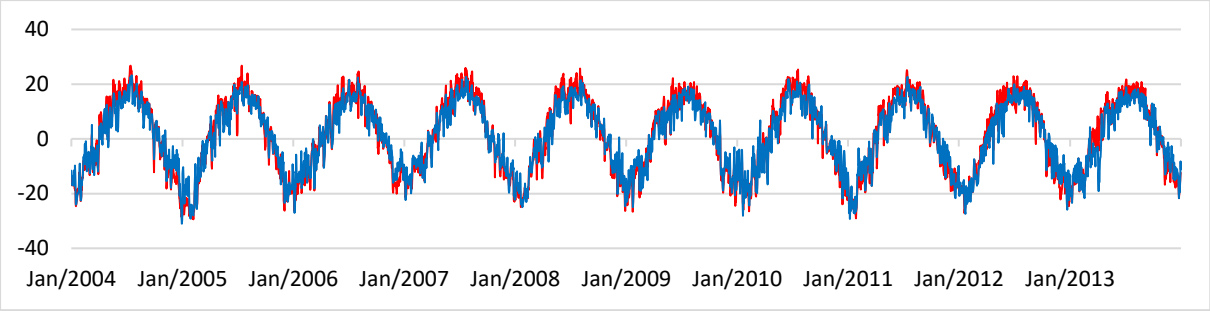


График 1. Мөнххайрхан сумын MODIS-гадаргын температур, агаарын температурын явц

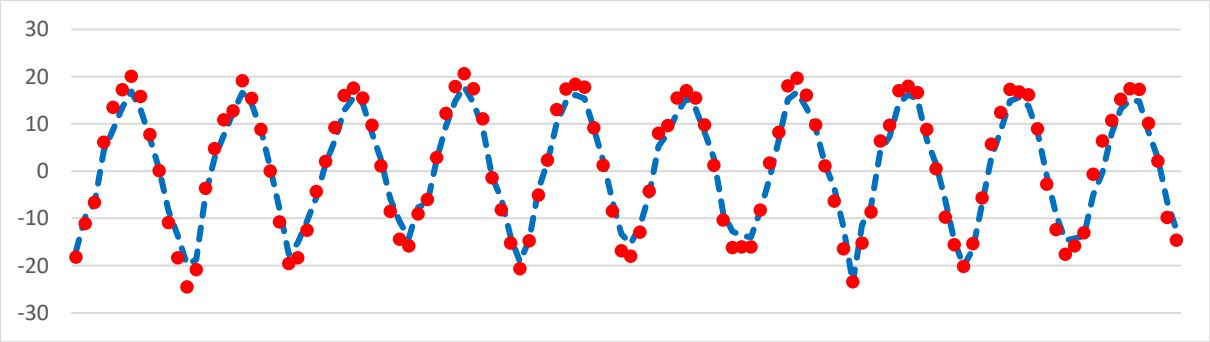


График 2. Мөнххайрхан сумын сарын дундаж гадаргын болон агаарын температурын явц

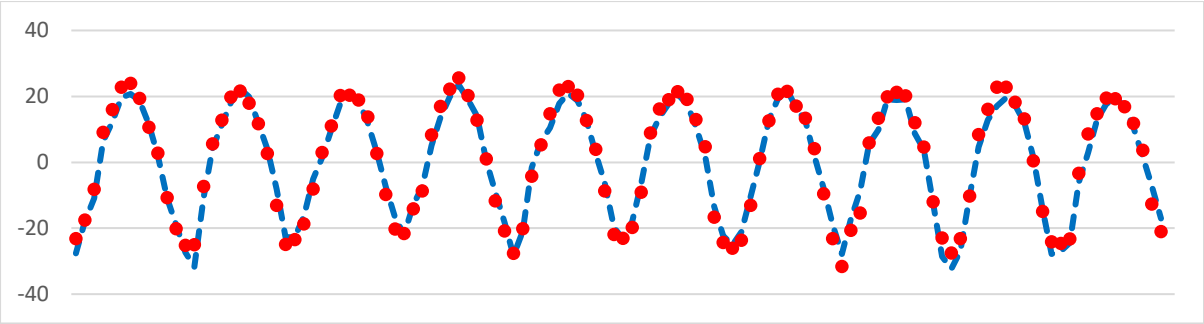


График 3. Улиастай хотын MODIS-гадаргын температур, агаарын температурын явц

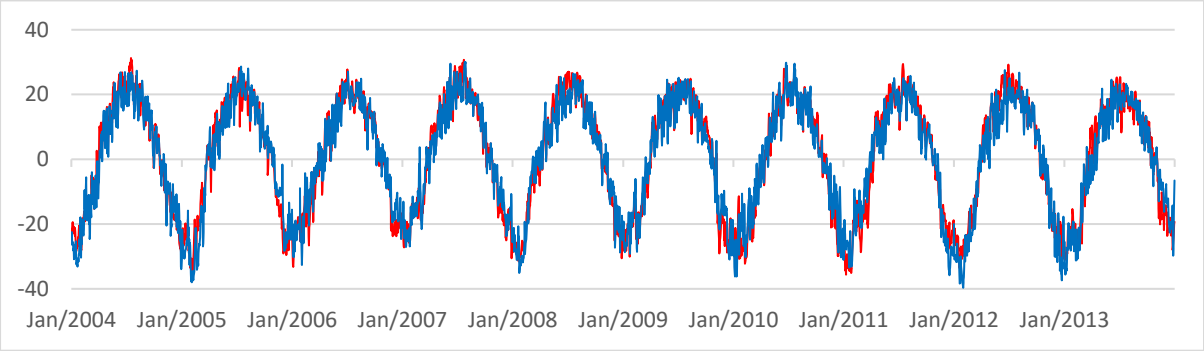


График 4. Улиастай хотын сарын дундаж гадаргын болон агаарын температурын явц

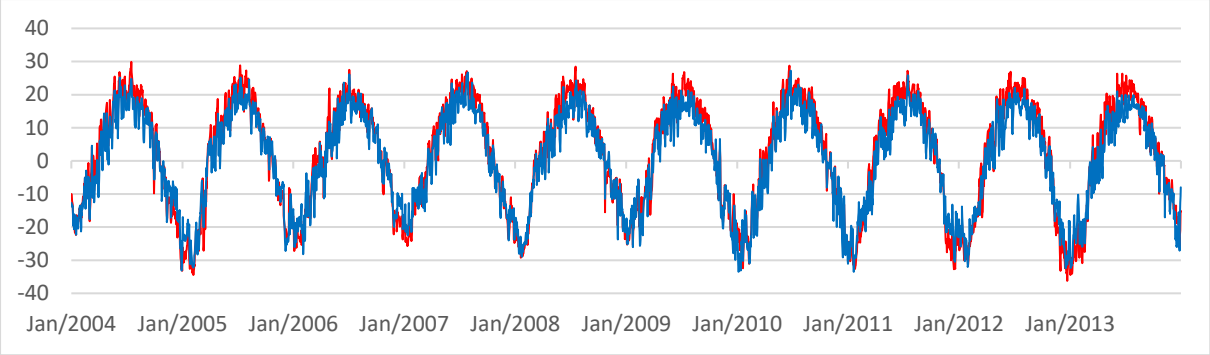


График 5. Мөрөн хотын MODIS-гадаргын температур, агаарын температурын явц

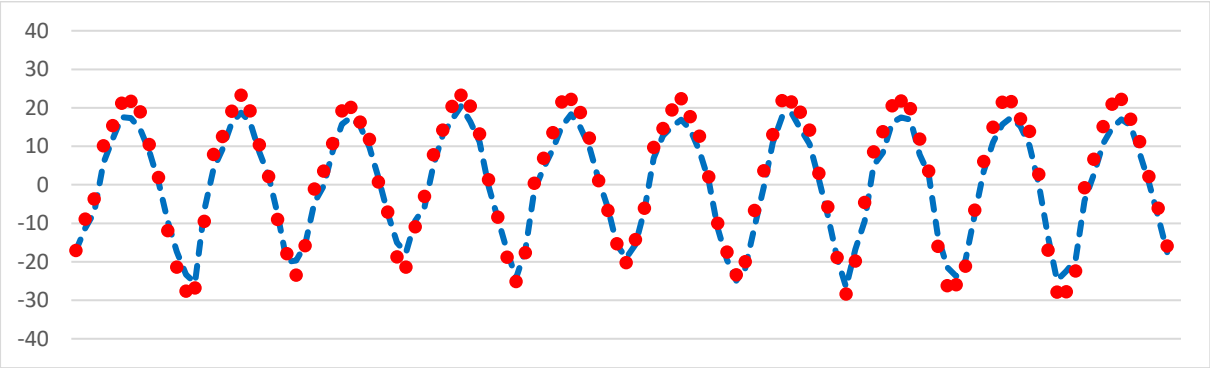


График 6. Мөрөн хотын сарын дундаж гадаргын болон агаарын температурын явц

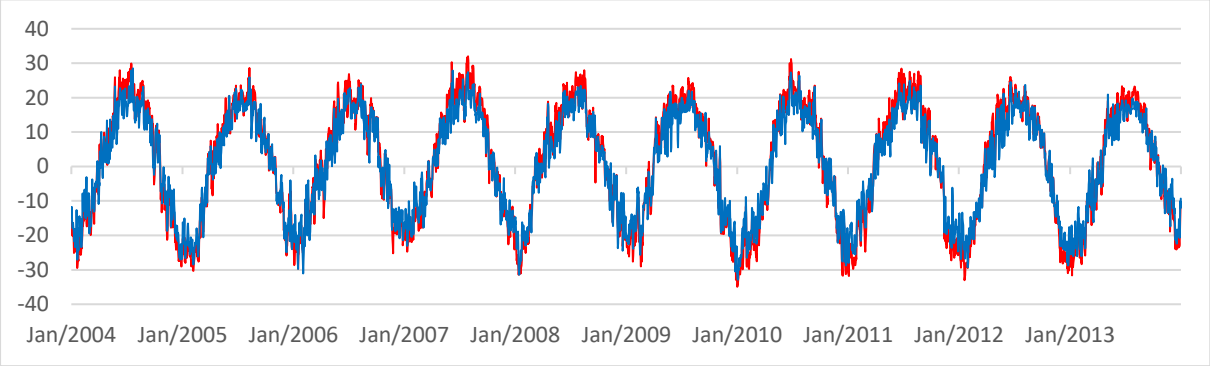


График 7. Дадал сумын MODIS-гадаргын температур, агаарын температурын явц

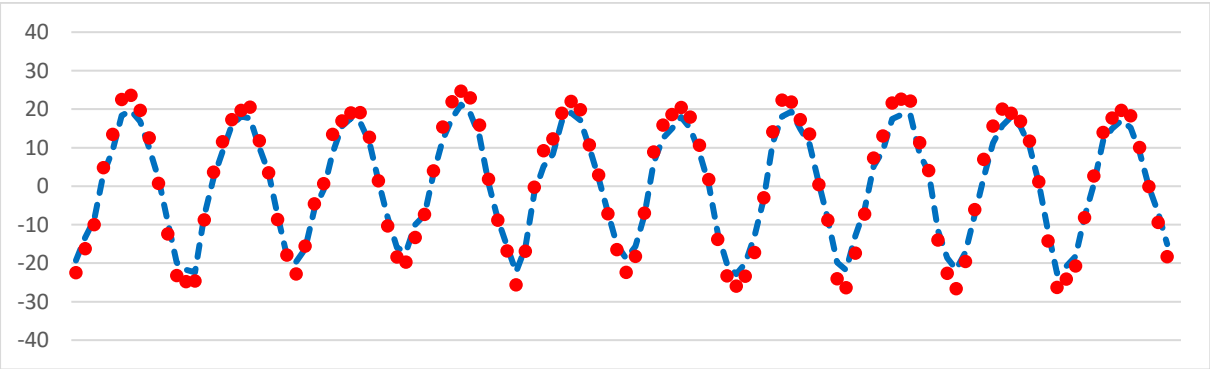


График 8. Дадал сумын сарын дундаж гадаргын болон агаарын температурын явц

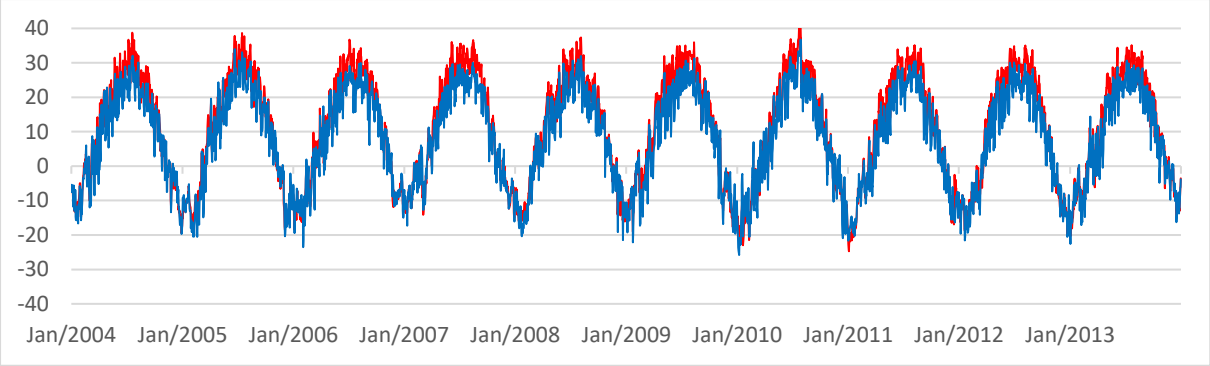


График 9. Ханбогд сумын MODIS гадаргын температур, агаарын температурын явц

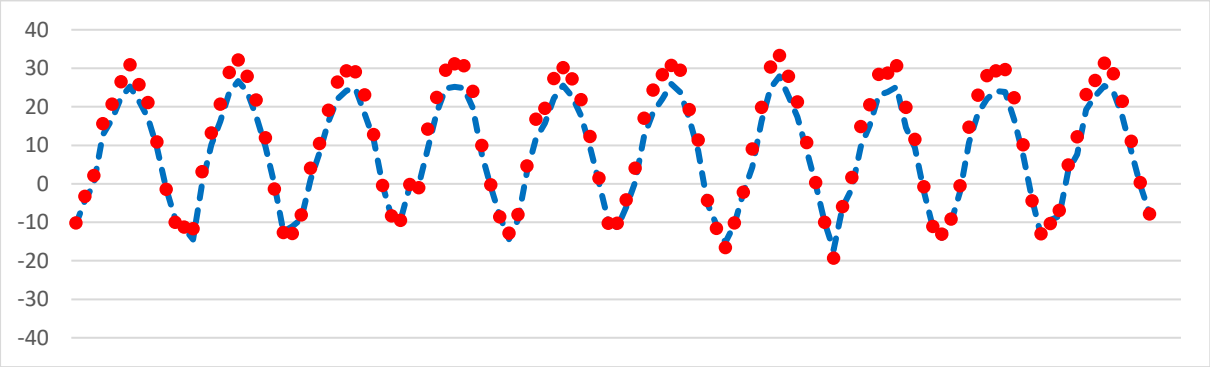


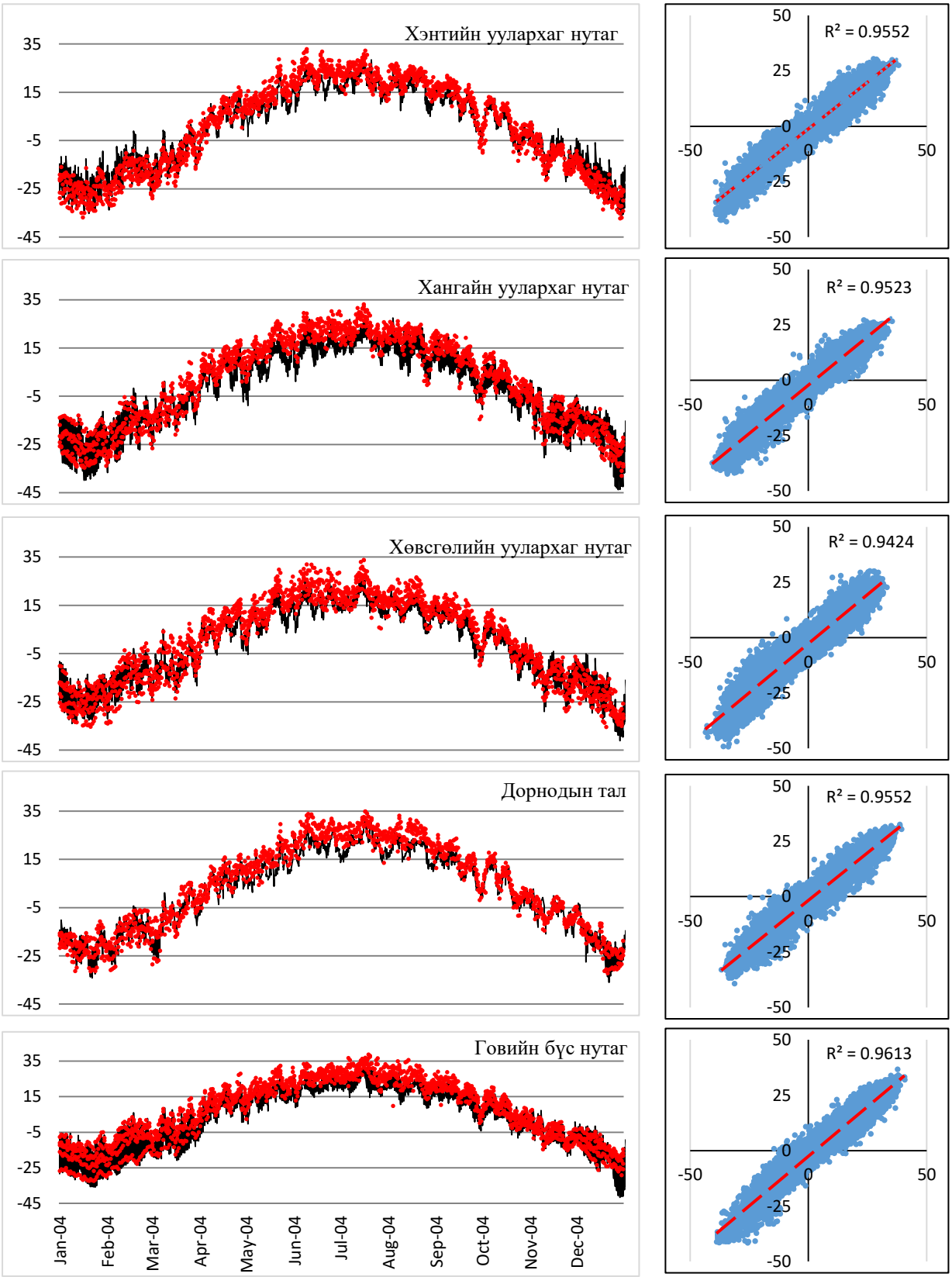
График 10. Ханбогд сумын сарын дундаж гадаргын болон агаарын температурын явц

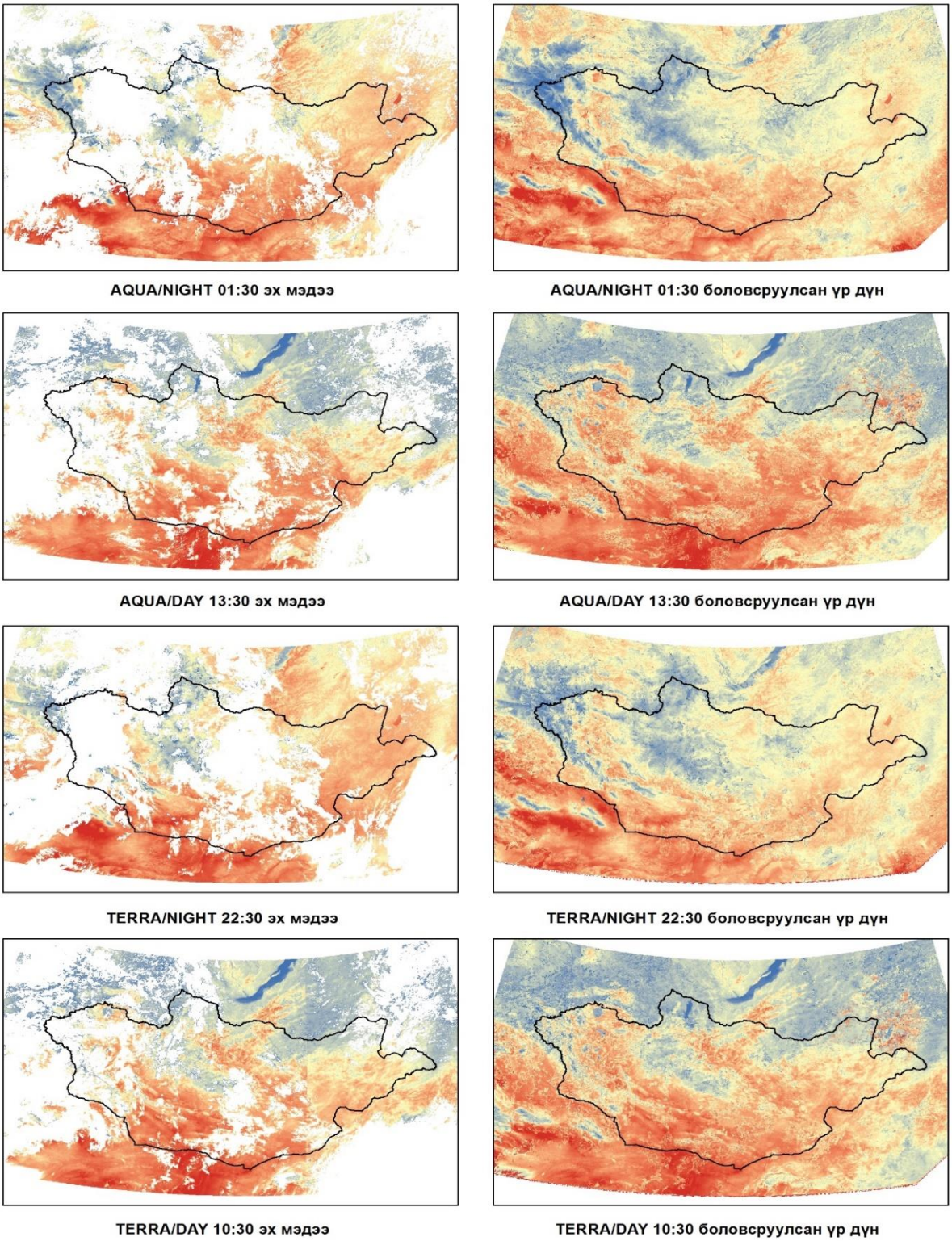
Температурын сарын дундаж утгуудыг 2010 оны байдлаар доор харуулав. Өвлийн улиралд (12, 1, 2-р сар) томоохон хотос, хөндий болон голуудын хөндий, сав газрууд мөн өндөр уулын бүсэд бусад газартай харьцуулахад илүү хүйтэн байна. Гадаргын температурын сарын дундаж утга -30°C-аас -5°C-н хооронд хэлбэлзэж байна. Энэ нь өвлийн улирлын гадаргын температурын хуваарилалтад инверсийн болон өргөргийн зүй тогтол хүчтэй илэрдгийг харуулж байна.

Харин хавар, намрын улиралд гадаргын температурын хуваарилалтад өндөр болон өргөргийн зүй тогтол илрэх бөгөөд -15°C-ээс 15°C хооронд хэлбэлзэж байна. Зуны улиралд (6, 7, 8-р сард) гадаргын температурын утга 5°C-аас 30°C хооронд хэлбэлзэх бөгөөд Монгол орны ихэнх нутаг 15°C-аас 25°C хооронд байна (Зураг 12, 13).

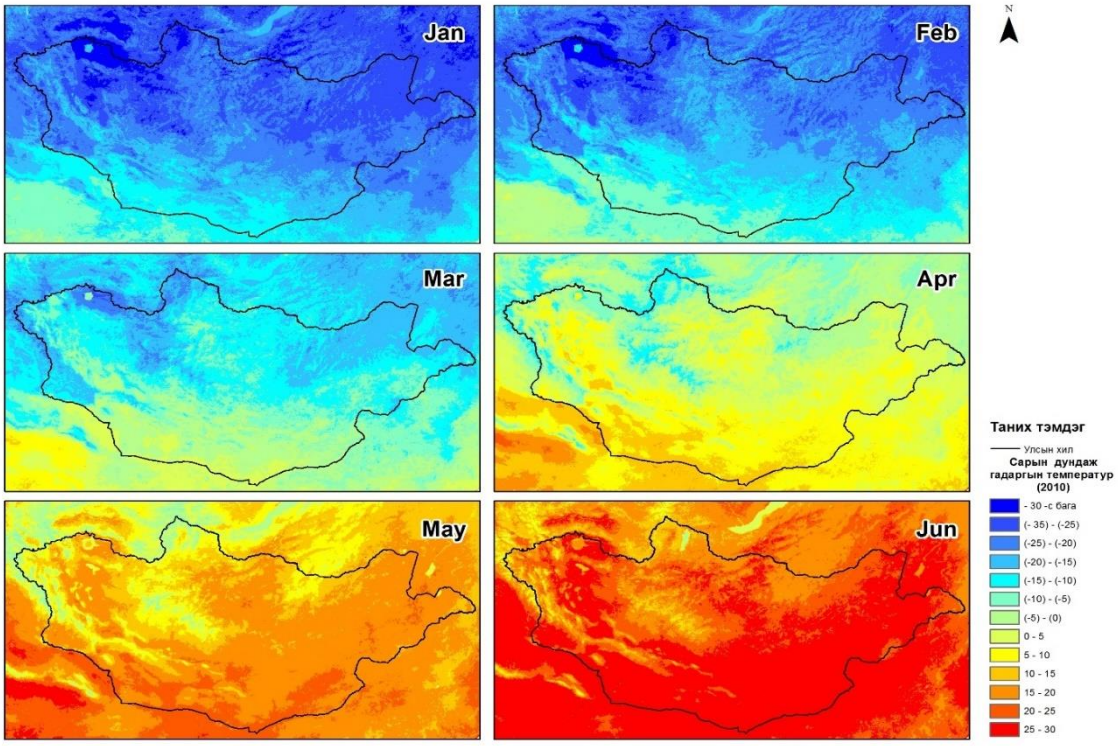
Гадаргын сарын дундаж температурын утгын газарзүйн хуваарилалт нь Монгол орны хойд хэсэг, төвийн хэсэг, өмнөд хэсэг тус бүрд харилцан адилгүй бөгөөд өндөр, байгалийн бүс бүслүүр, гадаргын хэв шинжээс хамаарна (График 11).

График 11. Монгол орны гадаргын температур бүс тус бүрээр.

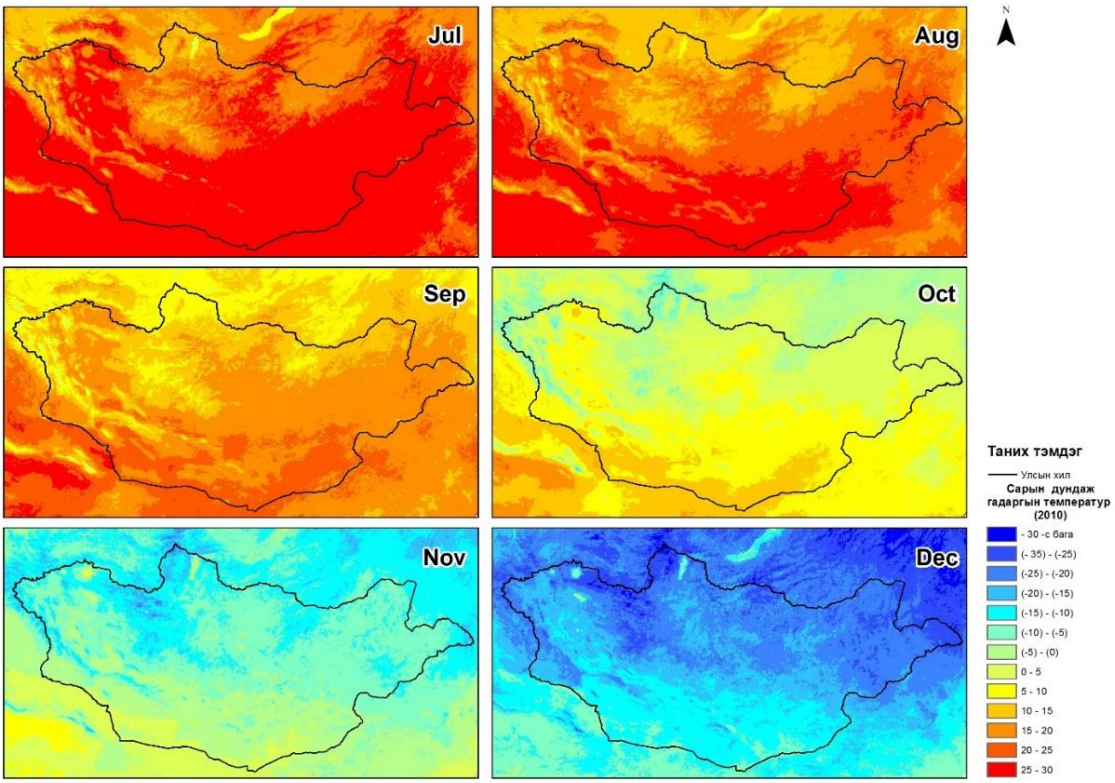




Зураг 11. MODIS-ын гадаргын температурын эх мэдээ, боловсруулалтын үр дүн



Зураг 12. Монгол орны гадаргын сарын дундаж температур (2010 оны 1-6-р сар).



Зураг 13. Монгол орны гадаргын сарын дундаж температур (2010 оны 7-12-р сар).

Энэхүү судалгаанд гадаргын температурын 0°C-ээс их утга бүхий өдрүүдийн нийлбэр градус (Хоногийн нэмэх температурын нийлбэр-Thawing Degree Days-TDD), 0°C-ээс бага утга бүхий өдрүүдийн нийлбэр градус (Хоногийн хасах температурын нийлбэр -

Freezing Degree Days-FDD) 2 үзүүлэлтийг жил бүрээр тооцоолсон. Эдгээр үзүүлэлтүүд гадаргын дулааны баланс болон хөрсний биологийн идэвхтэй процессийн тооцоонд чухал үзүүлэлт юм. Байгалийн бүс бүслүүрийн олон хэв шинж, өндрийн зөрүү, газарзүйн онцлогоос шалтгаалан хоногийн дундаж нэмэх температурын нийлбэр болон хоногийн дундаж хасах температурын нийлбэр өргөн утгын хооронд хэлбэлзэж байна.

Иймд Баянхонгор аймгийн Баянбулаг сум, Төв аймгийн Мөнгөнморьт сум, Хөвсгөл аймгийн Ренчинлхүмбэ сумын хоногийн дундаж нэмэх температурын нийлбэр болон хөлдөх хэм өдрийн хоорондын харьцаа, зүй тогтлыг тодорхойлж харуулав.

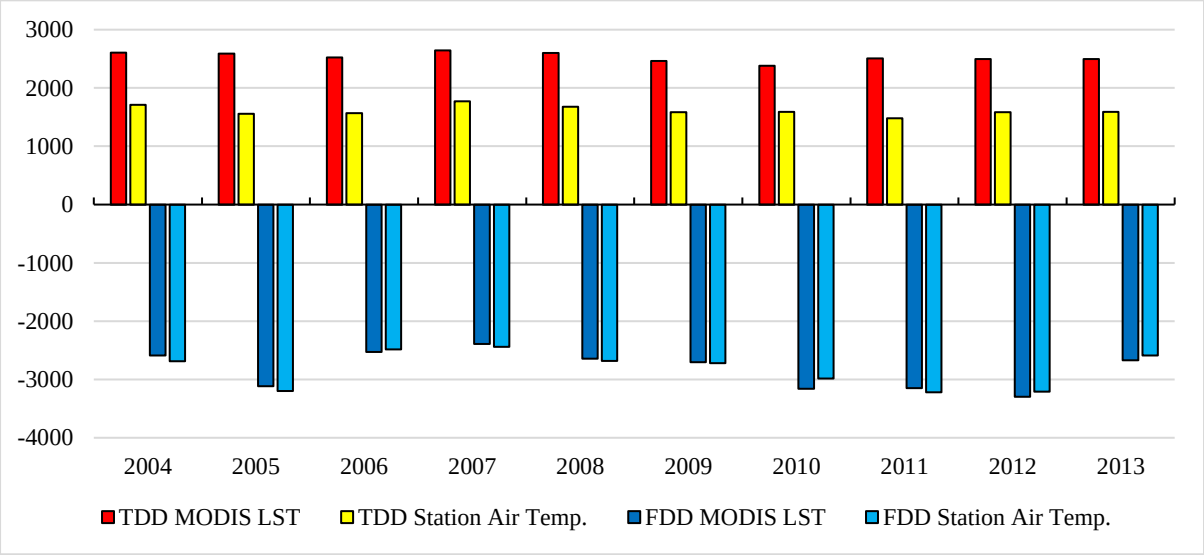


График 12. Баянбулаг сумын хоногийн нэмэх температурын нийлбэр, хоногийн хасах температурын нийлбэр

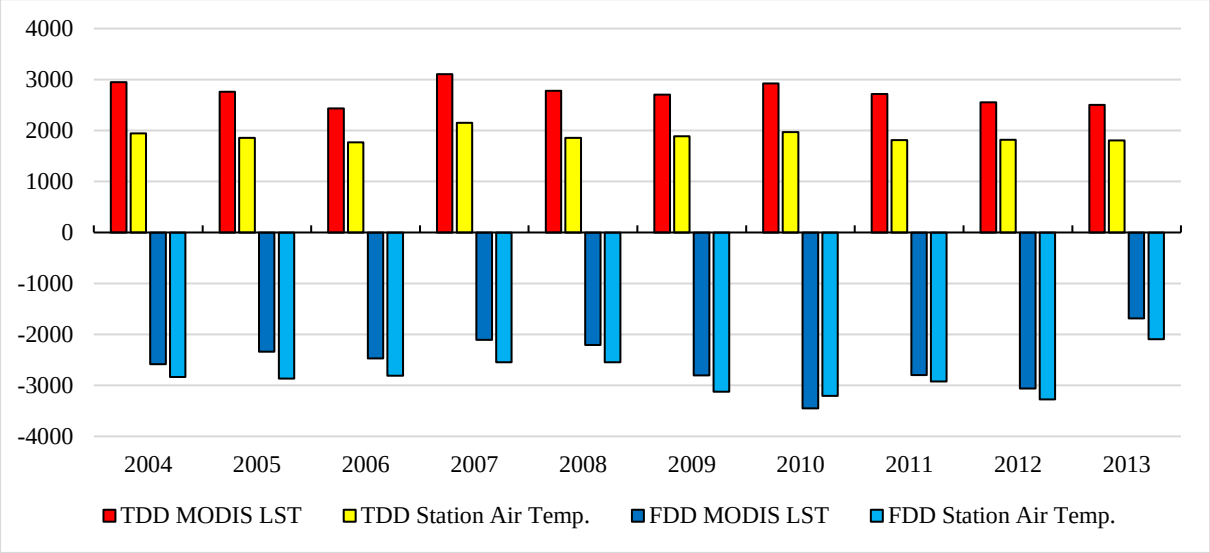


График 13. Мөнгөнморьт сумын хоногийн нэмэх температурын нийлбэр, хоногийн хасах температурын нийлбэр

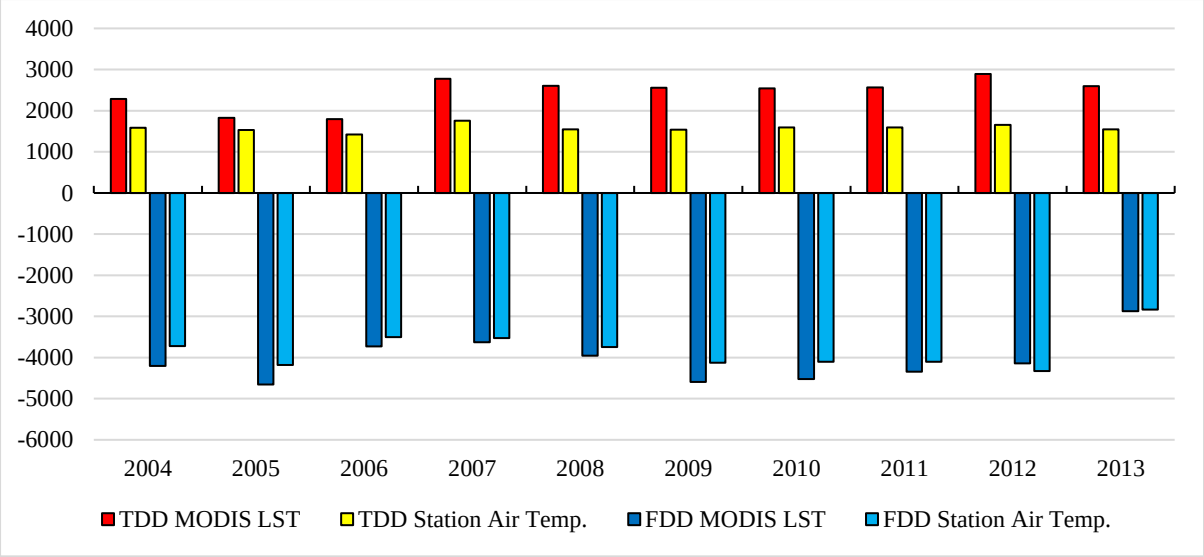
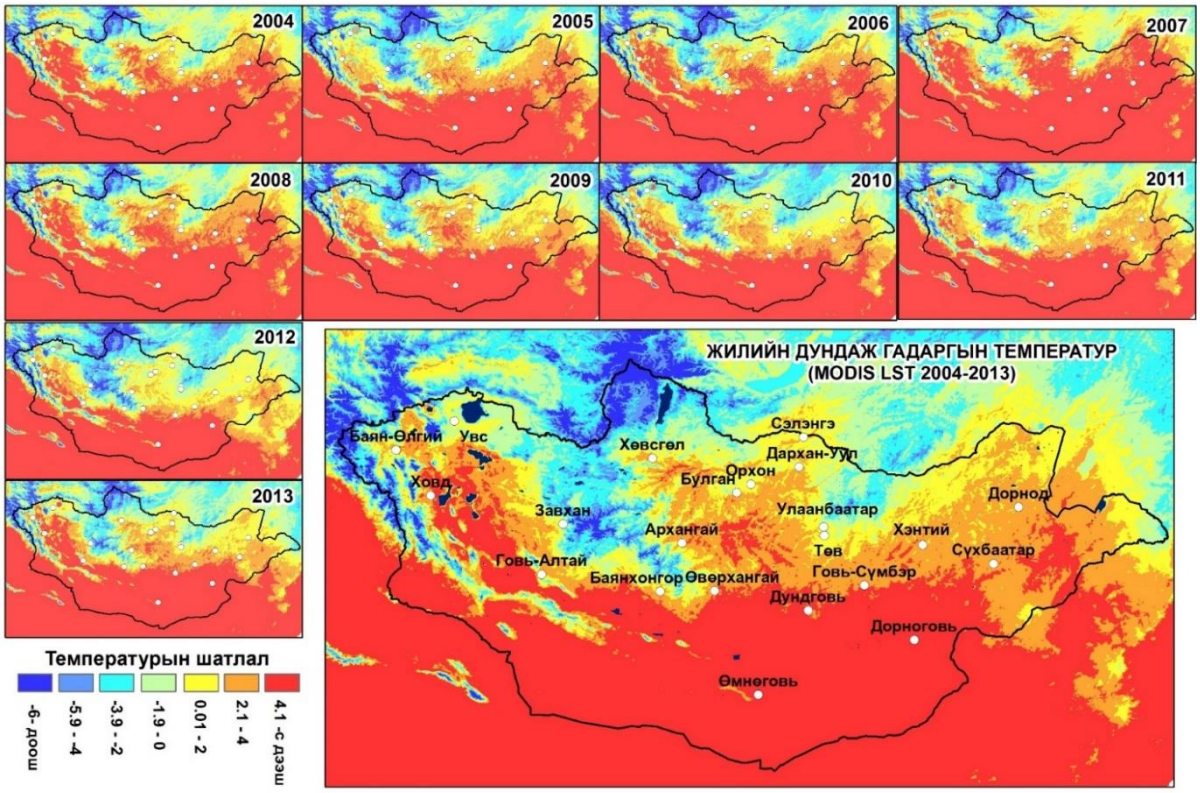


График 14. Ренчинлхүмбэ сумын хоногийн нэмэх температурын нийлбэр, хоногийн хасах температурын нийлбэр

Дээрх графикуудаас харвал MODIS-ын гадаргын температурын хоногийн дундаж нэмэх температурын нийлбэр станцын агаарын температурын хоногийн дундаж нэмэх температурын нийлбэрээс харьцангуй илүү байгаа нь дээрх 2 үзүүлэлтийг тухайн нэг цэгт өндрийн зөрүүтэй төвшинд хэмжиж байгаатай холбоотой. Өөрөөр хэлбэл, дулааны улиралд хиймэл дагуул нь тухайн цаг хугацаанд наранд ээгдсэн гадаргын температурыг харин станц нь агаарын температурыг хэмжиж байдаг. Харин хоногийн дундаж хасах температурын нийлбэр ойролцоо байгаа нь цасан бүрхэвчийн гадаргын температур, агаарын температур инверслэг байдалтай холбоотой.

Ренчинлхүмбэ суманд хоногийн дундаж хасах температурын нийлбэрийн утга хоногийн дундаж нэмэх температурын нийлбэр утгаас даруй 2 дахин их байгаа нь жилийн ихэнх хугацаанд хүйтэн, сэрүүн байдгийг илтгэнэ. Харин Баянбулаг, Мөнгөнморьт сумын хоногийн дундаж нэмэх, хасах температурын нийлбэр утга ойролцоо буюу хоногийн дундаж хасах температурын нийлбэр өдрийн утга бага зэрэг их байна. Энэ нь дээрх 2 сум сэрүүн бүсэд оршдогийг илтгэж байна (График 12-14).

Гадаргын жилийн дундаж температурын утга нь байгалийн бүрэлдэхүүн хэсэг, тэдгээрийн тархалт зүй тогтлыг илэрхийлэгч уур амьсгалын үндсэн хүчин зүйлсийн нэг бөгөөд MODIS-ын гадаргын температурын жилийн дундаж утгыг тооцоолох нь байгалийн төрөл бүрийн судалгааны анхдагч эх материал болох юм (Зураг 14).

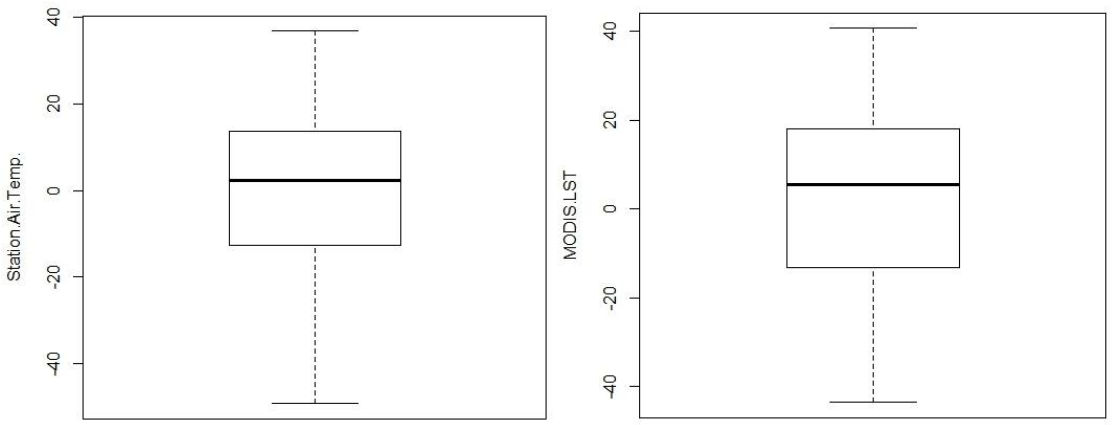


Зураг 14. Монгол орны MODIS-ын жилийн дундаж гадаргын температур

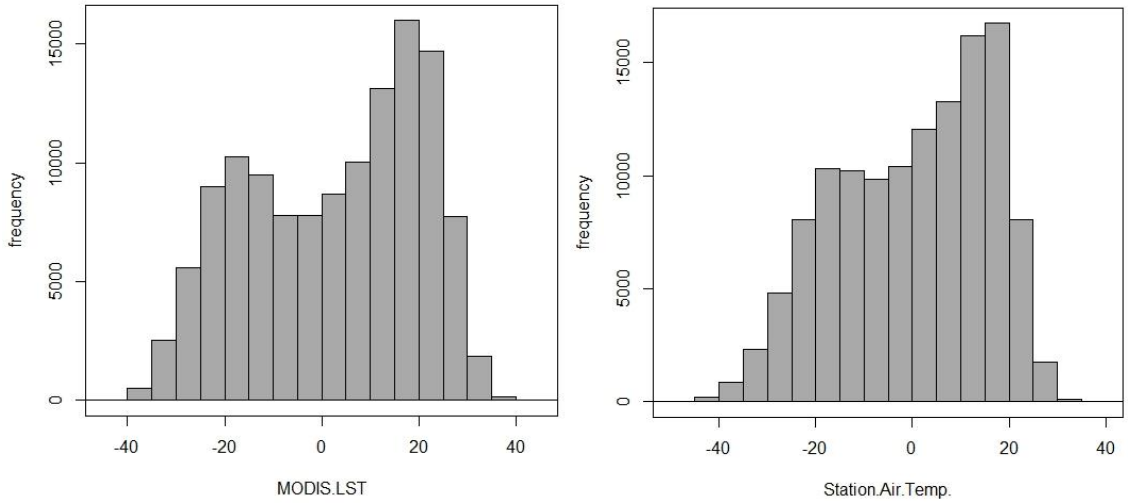
2.3 MODIS-ын гадаргын температурын дүн шинжилгээ

Энэхүү судалгаанд хиймэл дагуулын гадаргын температур (MODIS LST), цаг уурын 128 станцын агаарын температур, Цэвдгийн мониторингийн цэгүүдийн газрын гадаргын температурын хоорондын хамаарал, таарцыг шалгахдаа хамаарлын коэффициент (R), Дундаж ялгаа (MD), стандарт алдаа (SE) зэрэг статистик үзүүлэлтүүдийг тооцоолсон. Хэрвээ MODIS-ын гадаргын температур нь агаарын болон газрын гадаргын хэмжилтийн температураас их байвал дундаж ялгаа нь нэмэх (+) тэмдэгтэй буюу дулаан байна.

Харин бага байвал дундаж ялгаа нь хасах (-) тэмдэгтэй буюу хүйтэн байгааг илтгэн харуулна. MODIS хиймэл дагуул нь хоногт 4 удаа хэмжилт (Terra-Day/Night, Aqua-Day/Night) хийдэг бөгөөд эдгээрийн арифметик дунджаар хоногийн дундаж температурыг бодсон. Хоногийн дундаж температурыг цаг уурын станц, цэвдгийн мониторингийн цэг тус бүрээр сар, улирал, жил, 10 жилээр хамаарал таарцыг үнэлсэн.



Зураг 15. MODIS-ын гадаргын температур, станцын агаарын температурын утга (2004-2013)



Зураг 16. MODIS-ын гадаргын температур, станцын агаарын температурын гистограмм тархалт (2004-2013)

Температурын тархалтаас харахад MODIS-ын мэдээ -20°C болон 20°C үед илүү өндөр давтамжтай буюу зонхилж байна. Энэ нь дулааны болон хүйтний улиралд хиймэл дагуулын гадаргын температурын мэдээ нь хэмжилтийн утгатай харьцуулахад илүү өндөр эсвэл нам утга илэрхийлж байна. Харин гадаргын хэмжилтийн агаарын температурын утга харьцангуй нормаль тархалттай байна (Зураг 16).

MODIS-ын гадаргын температур, станцын агаарын температурын утгыг харьцуулан харвал 0°C орчим дундажтай мөн хамгийн их бага утгууд -40°C-ээс 40°C хооронд хэлбэлзэж байна (Зураг 15).

NASA-гийн шинжлэх ухааны багийн боловсруулан гаргаж буй MODIS-ын гадаргын температурын мэдээ нь цаг хугацааны болон орон зайн шийд ялгаатай хэд хэдэн хувилбартай байдаг. Бид энэхүү судалгаанд Акуа, Терра хиймэл дагуулын 1 км-н орон зайн шийд бүхий MOD11A1 болон MYD11A1-н эх мэдээг тус тус ашигласан (Хүснэгт 5).

MODIS-ын гадаргын температурын нөхөлт боловсруулалт хийсэн үр дүн MODIS-ын 8 хоногийн дундаж гадаргын температурын мэдээтэй (MOD11B1, MYD11B1) харьцуулан шалгалт хийсэн. MODIS-ын 8 хоногийн дундаж температур нь

эх мэдээг нөхөлт боловсруулалтын ажил хийхгүйгээр чанарын шалгалтыг хийж дундажласан зураг юм. MODIS-ын нөхөлт хийсэн хоногийн дундаж температурыг 8 хоногоор дундажлаж дээрх мэдээтэй таарц, үнэмшлийг статистик үзүүлэлтээр харуулав (Хүснэгт 6).

Хүснэгт 5. MODIS-ын гадаргын температурын эх мэдээний цаг хугацаа болон оронзай шийд.

Бүтээгдэхүүний хувилбар		Терра хиймэл дагуул	Акуа хиймэл дагуул
Цаг хугацааны шийд	Оронзайн шийд		
Хоног	1 км	MOD11A1	MYD11A1
8 хоног	1 км	MOD11A2	MYD11A2
Хоног	6 км	MOD11B1	MYD11B1
Хоног	1 км	MOD11_L2	MYD11_L2
Хоног	0.05°	MOD11C1	MYD11C1
8 хоног	0.05°	MOD11C2	MYD11C2
Сар	0.05°	MOD11C3	MYD11C3

Хүснэгт 6. MODIS-ын боловсруулалт хийсэн, боловсруулалт хийгээгүй мэдээний статистик үзүүлэлт.

Статистик үзүүлэлт	*MODIS – Нөхсөн хоногийн температурыг 8 хоногоор дундажласан температур*	*MODIS–Нөхөөгүй хоногийн температурыг 8 хоногийн дундаж гадаргын температур (Эх сурвалж: NASA-MODIS Land Science Team)*
Хамаарлын коэффициент	0.98	0.98
Дундаж	5.204	5.326
Стандарт алдаа	0.116	0.118
Медиан	8.410	8.775
Мод	17.173	17.975
Стандарт хазайлт	15.915	16.137
Агууриг	82.032	81.555
Хамгийн бага	-36.550	-36.515
Хамгийн их	45.482	45.040
Нийлбэр	97832.146	100130.645
Хэмжилтийн тоо	18800.0	18800.0

Нөхөлт хийсэн MODIS-ын 8 хоногийн дундаж гадаргын температурын мэдээ нь 2004-2013 оны хугацаанд хамаарлын коэффициент 0.98 байгаа бөгөөд стандарт алдаа нь 0.1°C байна (График 15). Мөн нийт мэдээний дундаж нь нөхөлт хийж боловсруулсан мэдээ, нөхөлт хийгээгүй мэдээ тус бүр 5.204°C, 5.326°C байна (Хүснэгт 6).

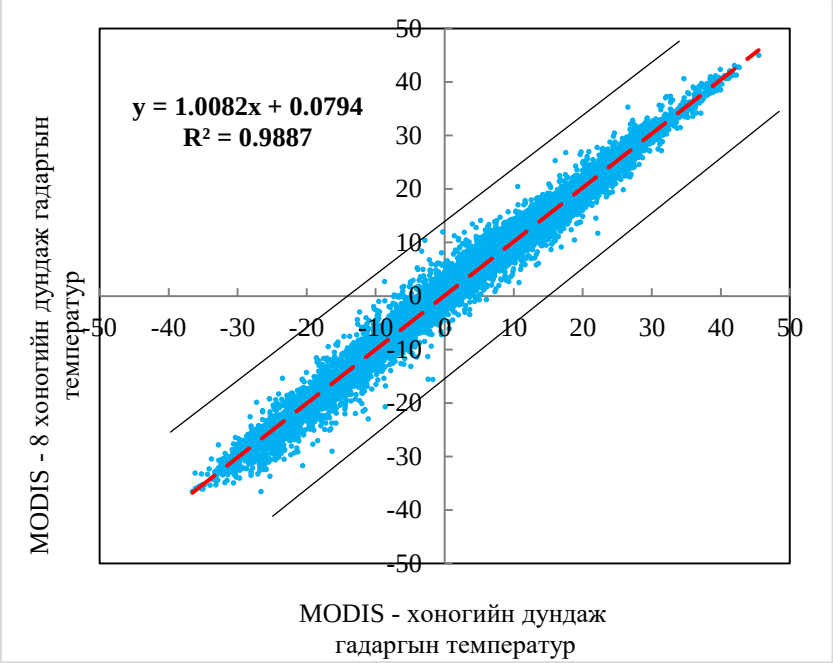


График 15. MODIS-ын боловсруулалт хийсэн, боловсруулалт хийгээгүй мэдээний тархалт.

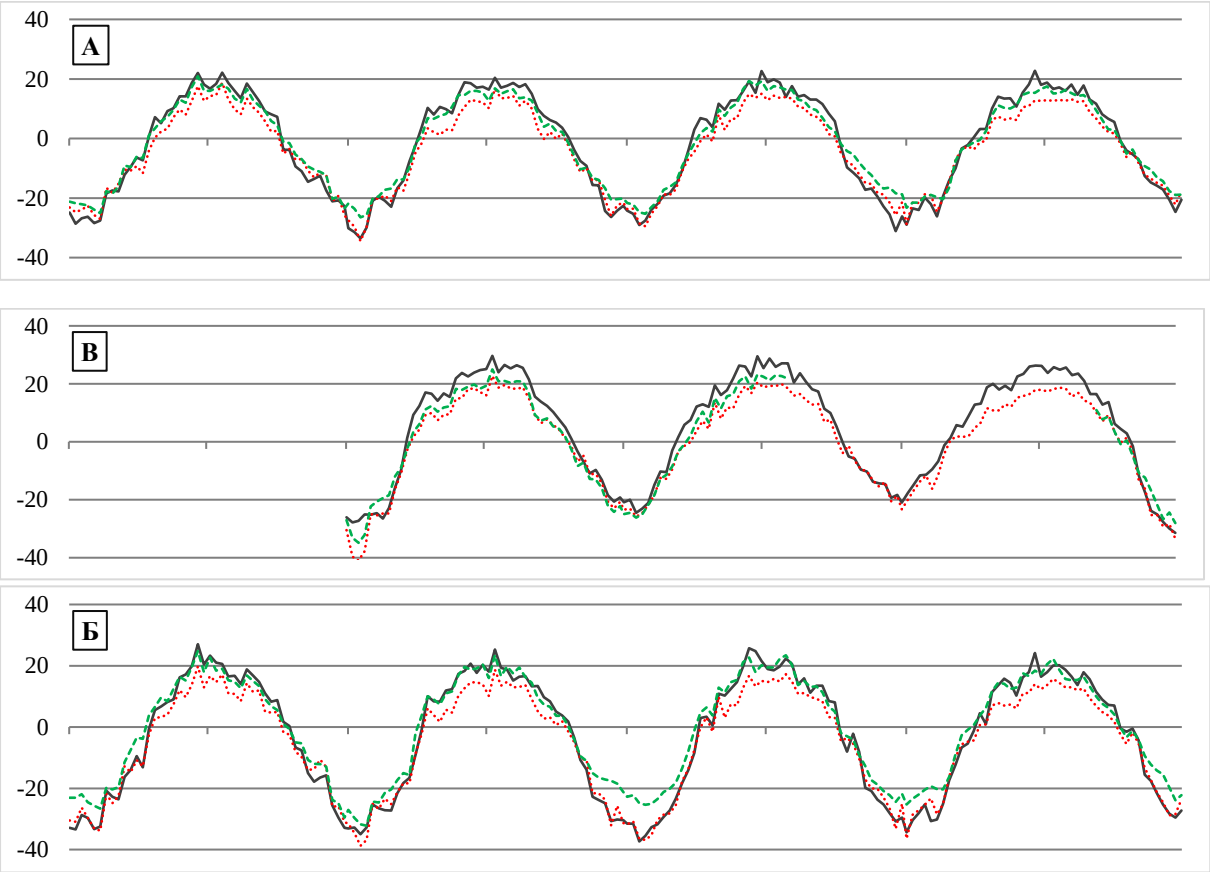
Монгол орны 128 цаг уурын станцын хоногийн дундаж агаарын температурын мэдээтэй хамаарлын коэффициент 0.97, дунджийн ялгаа 2.37°C, стандарт алдаа нь 0.05°C байна. Дунджийн ялгаа их байгаа нь тухайн газар нутгийн байгалийн бүс, бүслүүр, газарзүйн онцлогоос хамаарч байна.

2004-2013 гадаргын температурын мэдээг дулааны (0°C-с дээш температуртай үе) болон хүйтний (0°C-с доош температуртай үе) улирал болгон хоёр хуваах температурын мэдээний хамаарал, таарцыг үнэлсэн. Судалгааны талбайн хүрээнд хүйтний улиралд температурын хамаарал 0.9, дунджийн ялгаа -0.19°C, стандарт алдаа 0.04°C харин дулааны улиралд 0.9, 4.25°C, 0.03°C тус тус байна (Хүснэгт 7). Энэ нь хүйтний улиралд цасан бүрхэвчийн дээрх температур, агаарын температурын хамаарал таарц сайн байгааг харуулж байна.

Хүснэгт 7. Гадаргын температур болон агаарын температурын статистик үзүүлэлт.

Статистик үзүүлэлт	Хүйтний улиралд		Дулааны улиралд	
	MODIS хоногийн дундаж	Агаарын температур	MODIS хоногийн дундаж	Агаарын температур
Дундаж	-15.68	-15.49	15.88	11.63
Стандарт алдаа	0.04	0.04	0.03	0.03
Медиан	-15.72	-15.05	16.43	12.24
Мод	-5.29	-16.65	17.40	14.56
Стандарт хазайлт	8.87	9.01	8.06	7.60
Агууриг	43.62	60.98	40.64	52.69
Хамгийн бага	-43.62	-49.20	-	-
Хамгийн их	-	-	40.64	36.78
Нийлбэр	-830637.9759	-820415.0875	1148595.514	840998.2643
Хэмжилтийн тоо	52964	52964	72334	72334

Харин дулааны улиралд ургамал бүрхэвч, газрын бүрхэвчийн олон янз байдлаас шалтгаалан температурын зөрүү тод ажиглагдаж байна. MODIS хиймэл дагуулын гадаргын температур бүртгэх мэдрэгч нь агаар мандал болон газрын гадарга хоорондын харилцан үйлчлэлийн зааг орчмын температурын мэдээг бүртгэдэг (*Hachem ба бусад, 2012*). Иймд тухайн цаг хугацаан дахь газрын бүрхэвчийн олон янз байдал (ургамал бүрхэвч, цасан бүрхэвч, хад асга, мөнх цас, суурьшлын бүс, нуур) нь гадаргын температурын утгад ихээхэн нөлөөлдөг байна. Жилийн хасах температуртай үед MODIS-ийн гадаргын температурын өдөр, шөнийн хэлбэлзэл нэлээд их, хүйтэн байна. Харин цооногийн гадаргын температур нь хэлбэлзэл багатай, илүү дулаахан байгаа нь цасан бүрхэвчийн нөлөө их байгааг харуулж байна. Нэмэх температуртай үеийн хэлбэлзэл мөн адил боловч харьцангуй бага байгаа нь ургамал бүрхэвчтэй холбоотой байна. Мониторингийн цэгүүдийн хэмжилтийн гүн нь 0-5 см гүнд байх бөгөөд хиймэл дагуулын гадаргын температуртай харьцуулахад цасан болон ургамал бүрхэвчийн нөлөөллөөс хамаарч тодорхой температурын зөрүү тод ажиглагдаж байна. Учир нь MODIS хиймэл дагуул нь тухайн хугацаан дахь цасан бүрхэвч, ургамал бүрхэвчийн дээд хэсгийн температурыг шууд бүртгэж байгаа тул хэлбэлзлийн зөрүү илэрдэг (График 16).



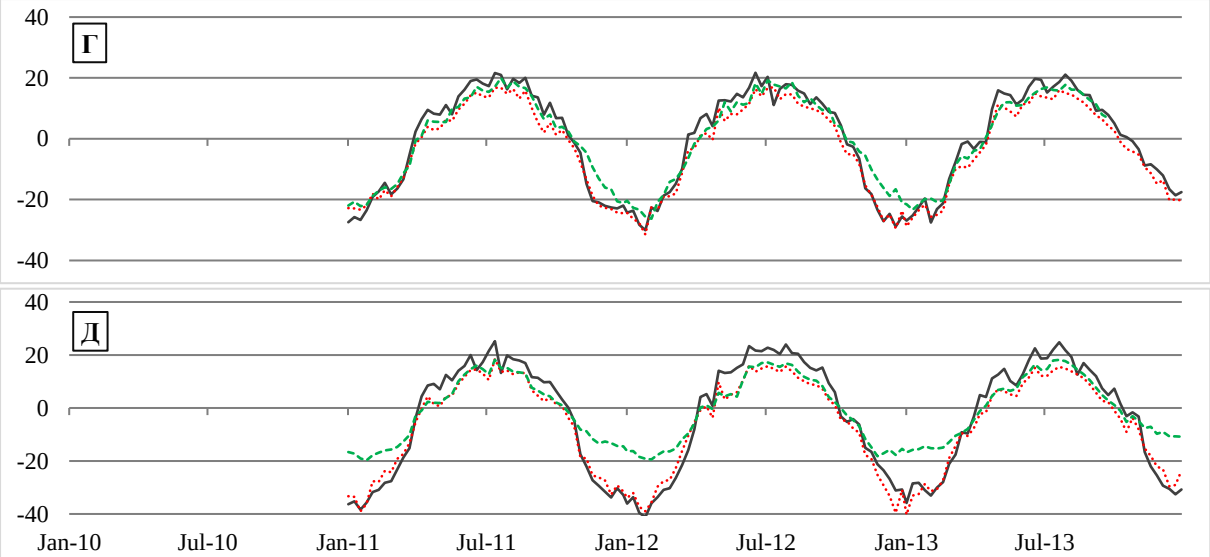


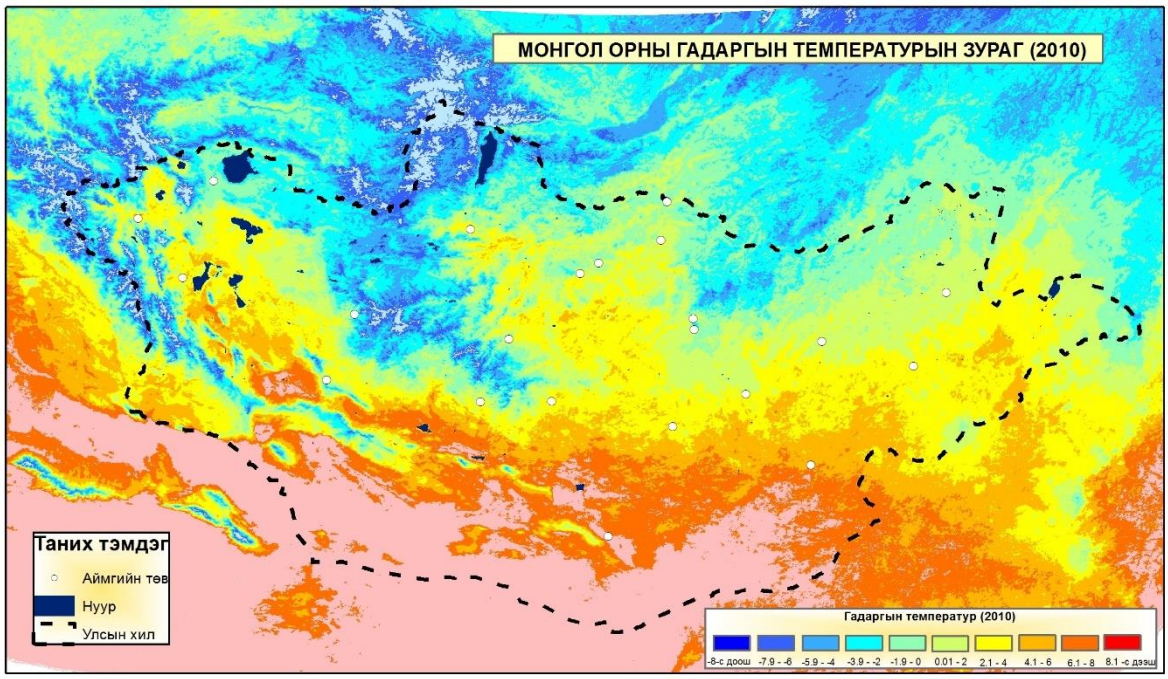
График 16. MODIS-ын гадаргын температур (----- хар зураас), цаг уурын станцын агаарын температур (------ улаан тасархай зураас), Цэвдгийн цооногийн газрын гадаргын температур (------ ногоон зураас) хоорондын хамаарал таарц. А-Баянбулаг, Б-Нөмрөг, В-Цэцэг, Г-Мөнгөнморьт, Д-Ренчинлхүмбэ (2010-2013).

Хүснэгт 8. Гадаргын температур болон агаарын температурын зөрүү.

Бүс нутаг	Станц	Хүйтний улирал			Дулааны улирал		
		MODIS-ын гадаргын температур	Станцын агаарын температур	Зөрүү	MODIS-ын гадаргын температур	Станцын агаарын температур	Зөрүү
Алтайн уулархаг нутаг	Өлгий	-12.00	-12.82	0.82	15.08	10.55	4.53
	Алтай	-14.27	-14.29	0.02	12.96	7.66	5.30
	Мөнххайрхан	-12.20	-10.46	-1.74	12.31	10.17	2.14
	Бугат	-11.68	-11.82	0.14	14.60	10.17	4.43
	Булган	-14.59	-15.06	0.47	14.33	9.88	4.46
Хангайн уулархаг нутаг	Тосонцэнгэл	-21.67	-22.01	0.35	14.84	9.60	5.24
	Отгон	-20.03	-22.98	2.95	13.52	7.35	6.17
	Баянхонгор	-13.06	-13.55	0.49	15.49	10.91	4.58
	Хужирт	-16.25	-15.21	-1.04	15.33	9.90	5.43
	Улиастай	-16.81	-15.99	-0.82	15.12	13.44	1.68
Хөвсгөлийн уулархаг нутаг	Баянзүрх	-17.11	-18.39	1.28	12.86	8.45	4.41
	Цагаан-Үүр	-17.17	-18.47	1.30	11.53	10.07	1.46
	Тариалан	-15.92	-15.42	-0.50	15.75	11.02	4.72
	Цэцэрлэг	-21.48	-19.65	-1.83	14.48	8.91	5.57
	Мөрөн	-15.41	-14.76	-0.66	14.22	10.94	3.28
Хэнтийн уулархаг нутаг	Дадал	-15.79	-13.64	-2.16	14.49	11.82	2.67
	Биндэр	-15.99	-15.07	-0.92	14.86	11.73	3.13
	Ерөө	-20.34	-19.52	-0.81	16.75	11.73	5.02
	Мандал	-18.60	-16.31	-2.29	15.39	12.05	3.33
	Баянчандмань	-16.20	-13.89	-2.31	15.46	10.95	4.51
Дорнодын	Халх гол	-17.59	-16.70	-0.89	16.66	13.33	3.33
	Матад	-14.54	-13.99	-0.55	17.40	12.81	4.59

	Галшар	-14.70	-14.52	-0.18	17.40	12.98	4.43
	Дарьганга	-17.87	-16.22	-1.66	17.12	12.52	4.60
	Баруун-Урт	-15.14	-14.95	-0.19	17.11	13.20	3.90
Төв халхын тэгш өндөрлөг	Эрдэнэдалай	-13.10	-13.81	0.71	16.99	12.44	4.55
	Гурвансайхан	-11.54	-11.77	0.23	17.55	14.06	3.49
	Сүмбэр	-14.73	-13.85	-0.88	17.27	12.95	4.32
	Эрдэнэсант	-14.76	-13.09	-1.67	16.43	11.58	4.85
	Булган	-15.38	-16.01	0.63	15.57	10.07	5.49
Говийн нутаг	Улаангом	-19.22	-21.38	2.16	17.91	12.67	5.24
	Дөрвөлжин	-16.67	-16.52	-0.15	17.68	12.99	4.68
	Богд	-11.19	-13.14	1.96	19.49	14.02	5.47
	Ханбогд	-8.96	-9.22	0.26	19.72	15.79	3.93
	Сайншанд	-11.73	-12.05	0.33	18.86	15.23	3.63

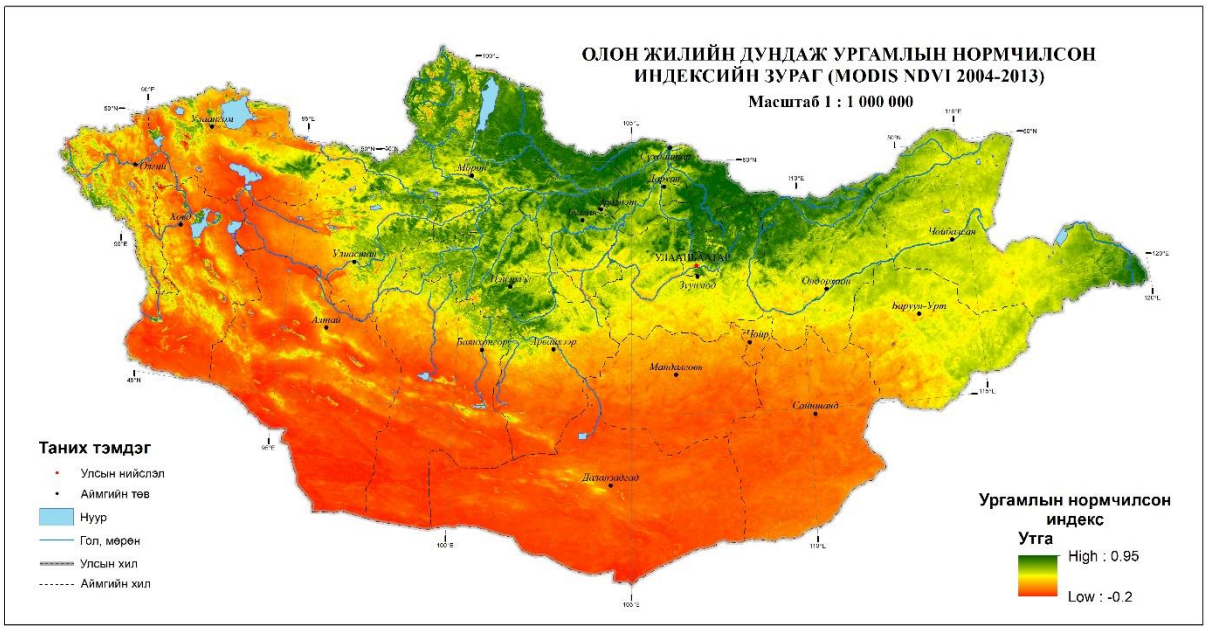
Монгол орны 1-р сарын дундаж гадаргын температурын зургаас харахад Алтай, Хангай, Хөвсгөл, Хэнтийн уулсын орой, Увс нуурын хотгор, Дархадын хотгор, Тэс, Идэр, Дэлгэрмөрөн, Хараа, Ерөө, Орхон, Туул, Хэрлэн голын хөндий, Дорнодын тал нь бусад нутгаас илүү хүйтэн байна. Харин Их нууруудын хотгор, Алтайн цаад говь, Орхон-Сэлэнгийн сав газар, Халхын тэгш өндөрлөг, Говийн бүс нутгууд харьцангуй дулаан байна. Хүйтний улиралд гол нууруудын хотост температурын инверс хүчтэй илэрдэг байна. 7-р сарын гадаргын дундаж температурын хувьд өндрийн болон өргөргийн зүй тогтол сайн илэрч байна. Монгол орны 2010 оны гадаргын дундаж температурын зургаас харахад Алтайн уулархаг нутагт өндрөөс хамаарсан температурын өөрчлөлт хүчтэй илрэх бөгөөд Хангайн нурууны урд хэсэгт өндрийн хамаарал, хойд хэсэгт өндөр, өргөргийн зүй тогтол ажиглагдаж байна. Хөвсгөлийн уулсад өндрийн болон газрын бүрхэвчийн онцлогоос хамаарсан байна. Харин Хэнтийн уулархаг нутагт газрын бүрхэвчийн онцлогоос илүү их хамаарч байна (Зураг 17).



Зураг 17. Монгол орны гадаргын жилийн дундаж температур (2010).

2.3.1 Ногоон ургамлын индексийн зураг (NDVI) болон ургамал бүрхэвчийн температур

Монгол орны хэмжээнд 2004-2013 оны дулааны улирлын ургамалын нормчлогдсон индексийн хамгийн их утгын зургийг гаргасан (Зураг 18).



Зураг 18. Олон жилийн дундаж ногоон ургамлын нормчлогдсон индексийн зураг.

Ургамал бүрхэвч нь түүний доорх температурыг дулааны улиралд бууруулах, хүйтний улиралд нэмэгдүүлэх ерөнхий зүй тогтолтой боловч ургамлын төрөл, зүйлээс хамаарч харилцан адилгүй нэлээд нарийн төвөгтэй зүй тогтолтой (*Кудрявцев 1974*). Дулааны улиралд ургамал бүрхэвч нь газрын гадаргыг хэт их халахаас хамгаалдаг бөгөөд ингэснээр тухайн гадаргаас ууршиж ууршилтыг багасгана (*Шархүү, 2008*). Нөгөө талаас, ялангуяа цэвдгийн тасалданги тархалттай бүс нутагт ургамал бүрхэвч нь цэвдгийн индикатор болдог. Монгол орны хувьд, ялангуяа Хангай, Хэнтэй, Хөвсгөлийн уулсад шилмүүст ой дор ихэнхдээ цэвдэг тархсан байдаг. Шилмүүст ой нь гадаргад ирэх нарны шулуун цацрагийг сарниулах замаар тухайн газрын гадаргын температурыг бууруулдаг (*Жамбалжав, 2011*). Хөвсгөл нуурын зүүн эрэг Далбайн голын хөндийд тодорхой талбайд янз бүрийн ургамал бүрхэвчийн Nt факторыг тодорхойлсон байдаг (*Анармаа, 2008*). Ойн Nt фактор 0.63÷0.72 бол хөвдөн дээр 0.86, өтгөн өвснийх 0.93 байсан бол өвсийг хадсан халцгай гадаргын хувьд 1.13 тус тус байна.

Монгол орны цэвдгийн зураглалын ажилд ургамал бүрхэвчийн нөлөөг дулааны улирлын Nt факторoор илэрхийлсэн. Монгол орны 26 боломжт цэг дээр MODIS LST болон мониторингийн цооногийн гадаргын температурын мэдээг ашиглан дулааны улирлын N факторыг дараах тэгшитгэлээр тооцоолов.

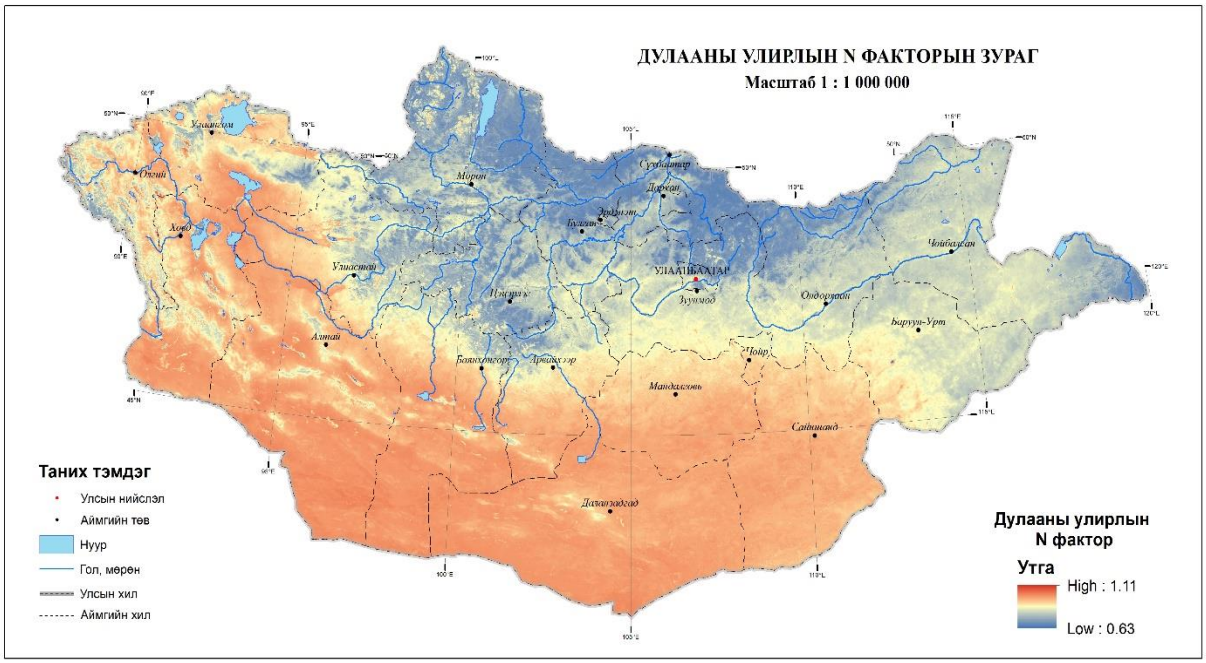
$$N_t = \frac{TDD_{\text{цооног}}}{TDD_{MODIS\ LST}} \qquad (17)$$

Nt тодорхойлсон цэгүүд дээр харгалзах NDVI - ийн утгыг түүвэрлэж тэдгээрийн хоорондын корреляци хамаарал тооцохоос гадна энгийн нэг гишүүнт шугаман регресс бодуулж, статистик үзүүлэлтүүдийн R статистикаар тооцон гаргасан.

Корреляцийн коэффициент -0.71, статистик ач холбогдол 0***, R2=0.55, p-value=1.11e-05 тус тус байсан бөгөөд тэгшитгэл нь дараах болно.

$$N_t = 1.02 - 0.41 * \text{NDVI} \qquad (18)$$

Дээрх тэгшитгэлээр тооцоолсон Монгол орны Nt факторын үзүүлэлт 0.63 ÷ 1.11 хооронд хэлбэлзнэ (Зураг 19).



Зураг 19. Дулааны улирлын N факторын зураг.

2.3.2 Цасан бүрхэвчийн зураг болон цасан бүрхэвчийн доорх температур

Цасан бүрхэвчийн доод хилийн температур, хөрсний температур, улирлын хөлдөлт гэсэлтийн гүн зэрэг нь уур амьсгалын хүчин зүйлс, гадаргын бүрхэвч, хөрсний шинж чанар, чийг зэргээс хамаарч харилцан адилгүй байдаг. Тодорхой цэг талбайд цас, ургамал бүрхэвчийн доод хилийн температур нь тухайн талбайн ургамал ба цасан бүрхүүлээс ихээхэн хамаардаг нь олон төрлийн судалгаагаар тогтоогдсон байдаг (*Кудрявцев 1974, 1978, Lunardini 1978, Goodrich 1982, Sharkhuu 2008, Jambaljav 2011*). Цасан бүрхэвчийн доод хилийн температур нь цасны зузаан ба нягтаас шууд хамаарахаас гадна тухайн талбайн газарзүйн байршлаас хамаарч дулаацуулах ба сэрүүцүүлэх нөлөөтэй (*Кудрявцев 1981*). Агаарын ба цасан бүрхэвчийн доод хилийн температур хоёрын хоорондын хамаарлыг энгийн болгож гаргаж авсан байдаг. Жишээлбэл, 1954 онд Кудрявцев цасан бүрхэвчийн нөлөөг тооцох тэгшитгэл гаргаж авсан байдаг бол 1978 оны цэвдгийн олон улсын 3-р их хурал дээр Люнардин N-факторын онолын үндэс илтгэлээ хэлэлцүүлсэн байдаг. Судалгааны аргазүй бүлэгт дурдсан үзүүлснээр энд цасан бүрхэвчийн тархалтын 500 м – ийн орон зайн

нарийвчлалтай, цасны нөөц усны 25 км – ийн орон зайн нарийвчлалтай зургуудтай байна.

Бидний сонгосон цэвдгийн орон зайн тархалтын загварчлалд цасан бүрхэвчийн зузааны орон зайн тархалт хэрэгтэй. Бид энд цасан бүрхэвчийн зузааны оронд цасны нөөц усны утгыг ашигласан. Өөрөөр хэлбэл SWE=snow thickness*density of snow байдаг тул цас хэмжээ зузаан байх тусам цасны нөөц ус их байна. 25 км – ийн орон зайн нарийвчлал бүхий цасны нөөц усны зураг нь манай зураглалын ажлын орон зайн нарийвчлалын шаардлага хангахгүй тул бид энд нарийвчлал сайжруулах аргыг (downscaling method) ашигласан.

Нарийвчлал сайжруулах арга (downscaling method) нь орон зайн ба цаг хугацааны нарийвчлал сайжруулах арга гэж 2 ангилна. Мөн динамик ба статистик нарийвчлал сайжруулах арга гэж 2 ангилна. Энд бид статистик нарийвчлал сайжруулах аргын нэг болох олон гишүүнт шугаман регрессийн арга ашигласан.

Энд цасны нөөц ус нь цасан бүрхэвчийн үргэлжлэх хугацаа, өргөргөөс шууд хамаарна гэж үзээд шугаман регрессийн шинжилгээг R статистик программ дээр хийсэн. Үүнд R^2=0.59, коэффицентүүдийн статистик ач холбогдол 0.001***, P-value<2.2e-16 тус тус болно.

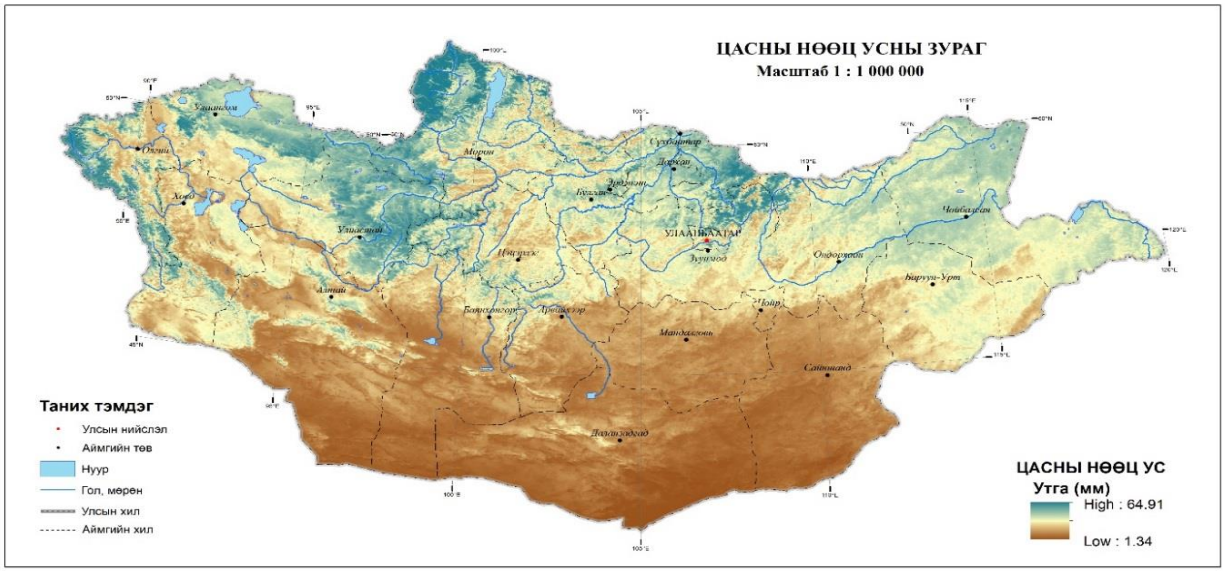
$$SWE = -79.1 + 1.9 * Lat + 1.73 * SCD \qquad (19)$$

$SWE -$ цасны нөөц ус,

$Lat -$ өргөрөг,

$SCD -$ цастай байх хугацаа

Дээрх энгийн 2 гишүүнт шугаман регрессийн тэгшитгэлийг ашиглан 1000 м орон зайн нарийвчлалтай цасны нөөц усны зураг гаргаж авсан (Зураг 20).



Зураг 20. Цасны нөөц усны зураг.

Дулааны болон хүйтний улиралд хугацаагаар интеграл авсны дараа дээрх тэгшитгэл дараах хэлбэртэй болно.

$N_f = \frac{FDD_s}{FDD_a}$, хүйтний улиралд (20)

$N_t = \frac{TDD_s}{TDD_a}$, дулааны улиралд (21)

Монгол орны хэмжээнд боломжтой 37 цэг дээр MODIS LST болон мониторингийн цооногийн гадаргын температурын мэдээг ашиглан хүйтний улирлын N факторыг дараах тэгшитгэлээр тооцоолов.

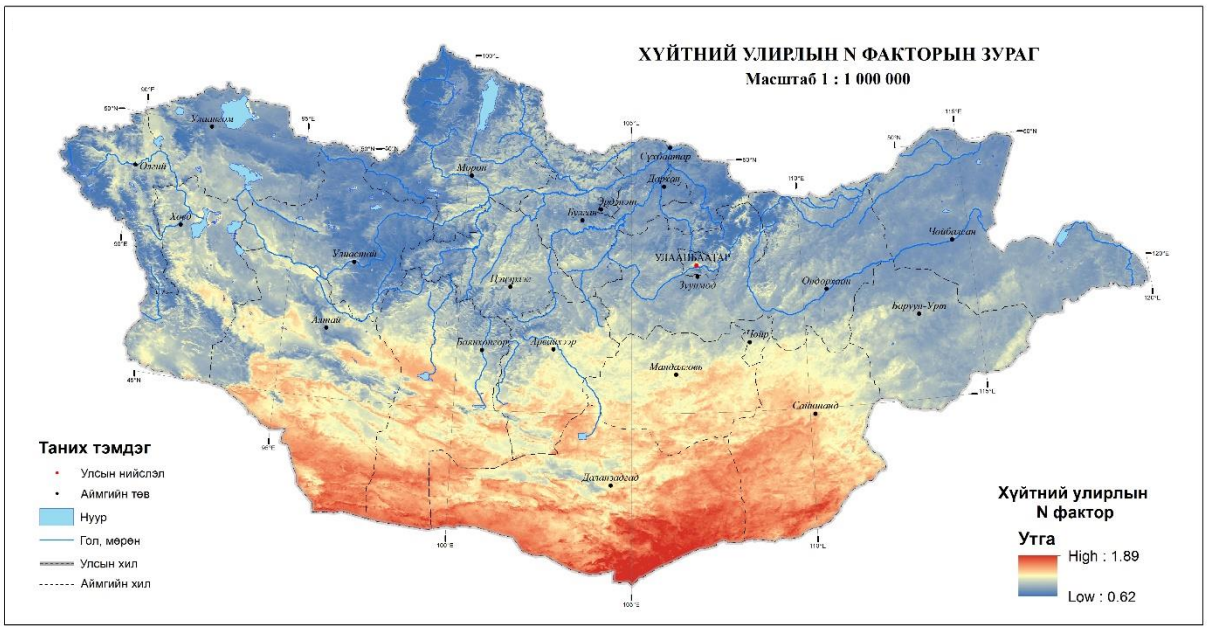
$N_f = \frac{FDD_{\text{borehole}}}{FDD_{MODIS\ LST}}$ (22)

Nf тодорхойлсон цэгүүд дээр харгалзах цасны нөөц усны утгыг түүвэрлэж тэдгээрийн хоорондын корреляц хамаарал тооцохоос гадна энгийн нэг гишүүнт шугаман регресс бодуулж, статистик үзүүлэлтүүдийн R статистик дээр тооцон гаргасан.

Корреляцийн коэффициент -0.67, статистик ач холбогдол 0***, R^2=0.45, p-value=4.02e-06 тус тус байсан бөгөөд тэгшитгэл нь дараах болно.

$N_f = 1.98 - 0.33 * \log(\text{цасны нөөц ус})$ (23)

Дээрх тэгшитгэлээр тооцоолсон Монгол орны Nf факторын үзүүлэлт нь 0.62 ÷ 1.89 хооронд хэлбэлзнэ (Зураг 21).



Зураг 21. Хүйтний улирлын N факторын зураг.

2.3.3 Дулаан дамжуулалтын коэффициент

Энэ зураглалд хэрэглэсэн TTOP загварчлалын оролтын өгөгдлүүд дээр илэрхийлэгдсэнээр нэлээд өндөр статистик үзүүлэлтүүдтэй тодорхойлогдсон бол загварын оролтын нэг гол өгөгдөл болох дулаан дамжуулалтын коэффициент нь

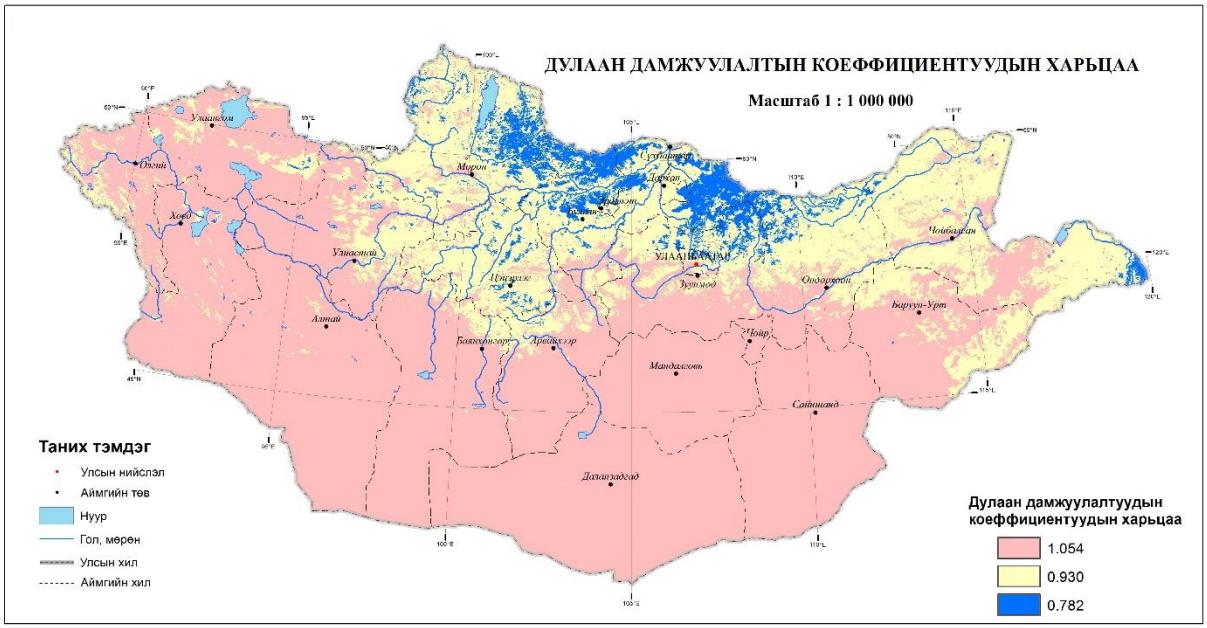
харьцангуй бага судлагдсан байдаг. Дулаан дамжуулалтын коэффициент бол тухайн хөрсний эрдэслэг бүтэц, нягт, мөс чийгийн агууламж, хөлдүү гэсгэлэн төлөв зэргээс хамаарч харилцан адилгүй байна. ТТОР загварын өгөгдөлд гэсгэлэн ба хөлдүү төлөвийн дулаан дамжуулалтын коэффициентийн харьцааг оруулдаг. Иймд хөрсний гэсгэлэн ба хөлдүү төлөвийн дулаан дамжуулалтын коэффициентуудын харьцаа нь тухайн хөрсний чийг, мөсний агууламжаас ихээхэн хамаардаг. Хэрэв хөрсний чийгийн агууламж бага байвал түүний дулаан дамжуулалтын коэффициент нь хөлдүү ба гэсгэлэн төлөвт адил байдаг (*Ершов 1987*). Монгол орны хувьд, ялангуяа говь, цөлийн бүсэд нэлээд хуурай бөгөөд хөрсний чийг багатай.

Монгол орны хэмжээнд тодорхойлж болох 38 цэг дээр загварын тэгшитгэлээс урвуу бодолт хийж гэсгэлэн болон хөлдүү төлвийн дулаан дамжуулалтын коэффициентийн харьцааг гаргаж авсан. Ингэж бодуулсан цэг тус бүрд харгалзах NDVI –ийн утгыг тодорхойлсон. Гэвч гэсгэлэн болон хөлдүү төлвийн дулаан дамжуулалтын коэффициентийн харьцаа ба NDVI –ийн хооронд сул корреляци хамааралтай байв (R=-0.34). Иймд бид Монгол орны гэсгэлэн болон хөлдүү төлвийн дулаан дамжуулалтын коэффициентын харьцаагаар нь 3 хуваж тэдгээрт харгалзах NDVI – ийн утга өгсөн. Ингэхдээ дээр бодсон 38 цэг дээрх гэсгэлэн болон хөлдүү төлвийн дулаан дамжуулалтын коэффициентын харьцуулсан утгуудаас ¼, ½, ¾ -т тохирох утгыг тооцоонд ашиглав (Хүснэгт 9).

Хүснэгт 9. Дулаан дамжуулалтын коэффициентийн харьцаа.

λt/λf	NDVI
0.782	>0.8
0.931	>0.5 – 0.8>=
1.054	=<0.5

Дээрх хүснэгтэд өгөгдсөн утгаар Монгол орны хэмжээнд гэсгэлэн болон хөлдүү төлвийн дулаан дамжуулалтын коэффициентын харьцааны зураг гаргаж авсан (Зураг 22). Гэсгэлэн болон хөлдүү төлвийн дулаан дамжуулалтын коэффициентын харьцаа нь 0.782 гэсэн утга бүхий ой, чийг намгархаг газрын хөрс, 0.93 гэсэн утга бүхий өндөр уулсын орой, хээр, талын хөрс, 1.054 гэсэн утга бүхий говь цөлийн хөрс гэж ангилсан.



Зураг 22. Дулаан дамжуулалтын коэффициентуудын харьцааны зураг.

2.4 Цэвдгийн тархалтын зураг

Дээр тэмдэглэснээр агаарын буюу ургамал ба цасан бүрхүүлийн дээрх температурын орон зайн тархалтын зураг, ургамал болон цасан бүрхүүлийн доод хилийн температурын орон зай зураг, дулаан дамжуулалтын коэффициентын харьцааны зураг зэрэг зургууд гарснаар цэвдгийн дээд хилийн температур буюу ТТОР температурыг зураглах боломжтой болно.

ТТОР загвараар гаргаж авсан Монгол орны цэвдгийн тархалтын зурагт цэвдгийн дээд хилийн температур буюу ТТОР температураар нь үргэлжилсэн ба тасалданги , алаг цоог, тохиолдлын тархалттай бүслүүрүүдэд хуваасан. Үүнд: Үргэлжилсэн тархалттай бүслүүр (<-2°C), тасалданги тархалттай бүслүүр (-2°C ÷ -1°C), алаг цоог тархалттай бүслүүр (-1°C ÷ 0°C), тохиолдлын тархалттай бүслүүр (0°C ÷ +1°C).

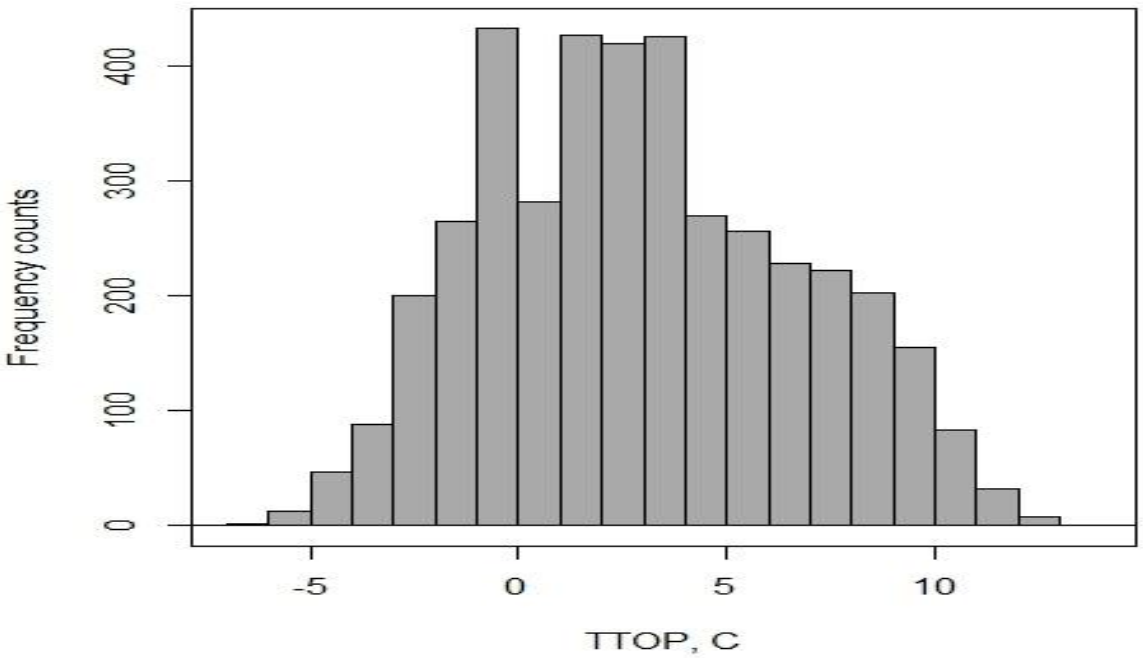
Ингэж температураар нь хуваахаас гадна бүслүүрүүдэд харгалзах цэвдэг тархах боломжит талбайн хувь хэмжээг зааж өгсөн. Ингэхдээ олон улсын хэмжээнд хэрэглэж буй тухайн тархалтад харгалзах цэвдэгтэй талбайн эзлэх хувь хэмжээг оруулсан болно. Үүнд: Үргэлжилсэн тархалттай бүслүүр (>90%), тасалданги тархалттай бүслүүр (90% ÷ 50%), алаг цоог тархалттай бүслүүр (<50%-10%), тохиолдлын тархалттай бүслүүр (<10%).

Үүнээс гадна тухайн зурагт цэвдгийн мониторингийн цооногууд, тэдгээрт харгалзах улирлын хөлдөлт гэсэлтийн гүн, температур хэмжсэн тодорхой нэг гүн, түүнд харгалзах температур зэргийг оруулж өгөхөөс гадна нийслэл, аймаг, сумын төвүүд, тэдгээрийн хил, мөн төмөр зам, авто зам зэргийг оруулсан.

Бид энэхүү зураглалын ажилд голчлон MODIS хиймэл дагуулын зургууд ашигласан тул Монгол орны хэмжээнд 1 км –ийн орон зайн нарийвчлал бүхий тоон зураг гаргаж авсан. Энэ нь 1 км квадрат тутамд цэвдгийн дээд хилийн буюу ТТОР температурыг

тодорхойлох боломж гаргасан. Ингээд Монгол орны хэмжээнд 5 км тутамд цэвдгийн дээд хилийн буюу ТТОР температурыг тодорхойлсон. Цэвдэггүй бүс нутагт энэ температур нь улирлын хөлдөлтийн давхаргын доод хилийн температур болно. Зургаас харахад цэвдэгтэй бүс нутгийн цэвдгийн дээд хил ба цэвдэггүй бүс нутгийн улирлын хөлдөлтийн давхаргын доод хилийн температурын утга Монгол орны хэмжээнд -6ºС ээс +13 ºС ийн хооронд хэлбэлзэнэ. Энд -2 ºС ээс бага температуртай газар нутаг нь Алтай, Хангайн нурууны өндөрлөг хэсэг, Хөвсгөлийн уулсын хойд хэсэг, Дархадын хотгор, Хэнтийн нурууны өндөрлөг хэсгийг тус тус хамран оршино. Энэ бүс нутаг нь цэвдгийн үргэлжилсэн тархалттай бүслүүрт орно. -2 ºС аас +1 ºС температуртай хэсэг нь үргэлжилсэн тархалттай бүслүүрийг хүрээлэн орших бөгөөд харьцангуй нам дор газруудын хамарна. Энд бид цэвдгийн тасалданги ба алаг цоог тархалттай бүслүүр гэж 2 ангилсан.

Харин +1 ºС аас дээш буюу улирлын хөлдөлттэй бүс нутаг нь Их нууруудын хотгор, Дорнодын тал, Говь цөлийн бүс, зарим нэгэн томоохон голууд болох Дэлгэр мөрөн, Идэр, Орхон, Туул зэрэг голуудын дагуу дунд хэсгээс доош газар нутгийг тус тус эзлэн оршино.



Зураг 23. ТТОР температурын давтагдал.

Үүнээс гадна загварчлалаар гарсан үр дүнг зарим нэгэн тодорхой цэгүүд дээр шалгаж үзсэн (График 17). Зургаас харахад манай загварчлалын үр дүнд гарсан зураг нь ± 2ºС нарийвчлалтай зураглагдсан байна. Нөгөө талаас цэвдгийн дээд хилийн ба улирлын хөлдөлтийн доод хилийн жилийн дундаж температурын утга нь жилээс жилд хэлбэлздэг. Мэдээ, материалын дутмагаас болж хэмжсэн ТТОР ийн хувьд 10 жилийн дундаж утгыг биш боломжит хэмжилт хийсэн хугацааны утгыг авч ашигласан болно.

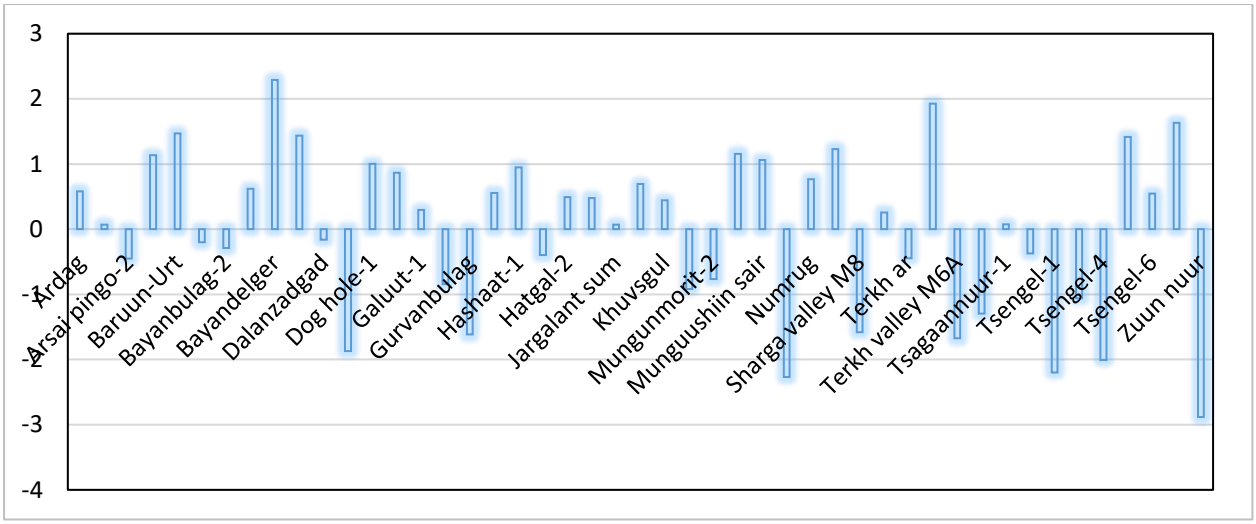


График 17. Хэмжсэн ТТОР – Загварчилсан ТТОР

ГУРАВДУГААР БҮЛЭГ. ЦЭВДГИЙН ЦАГ ХУГАЦААНЫ ЗАГВАРЧЛАЛ

3.1 Монгол орны зарим станц дээрх агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрийн олон жилийн явц, ирээдүйн хандлага

Завхан Улиастай, Дөрвөлжин

Завхан аймгийн Улиастай сум нь байгалийн мужлалаар хээр, уулын нуга, ар хажуугийн ой бүхий умард хуурай хээрийн мужид багтана. Улиастай сум нь Чигэстэйн болон Богдын голын хөндийд байрлана. Хойд талаараа Баян улаан (д.т.д 2442 м), урд талаараа Товцог хайрхан (д.т.д 2622 м) зэрэг уулсаар хүрээлэгдэн оршдог. Харин Дөрвөлжин сум нь байгалийн мужлалаар цөлжүү хээрийн мужид багтана. Тус сум нь Завхан голын хойд эрэгт байрлах ба ойр орчим өндөр уул байхгүй тэгшивтэр гадаргатай, ургамал бүрхэвч багатай бөгөөд дундаж өндөр нь ойролцоогоор д.т.д 1390 метр юм.

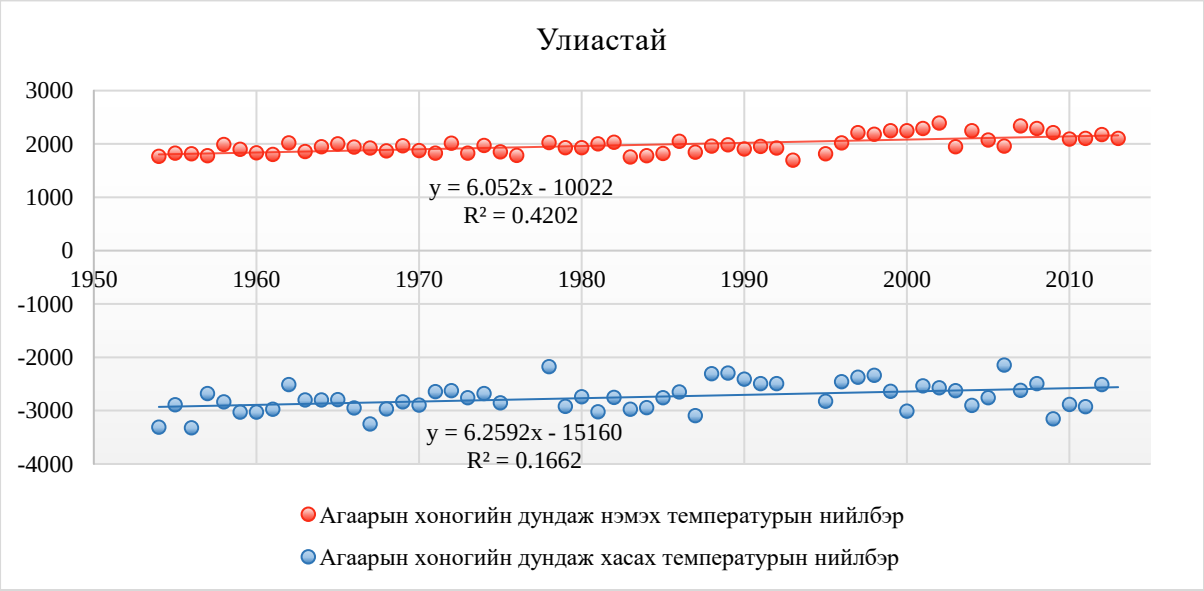


График 18. Улиастай станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц.

Хүснэгт 10. Улиастай станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн.

Нэр / Он	1970	2010	2050	2090
Агаарын хоногийн дундаж нэмэх температурын нийлбэр	1900.44	2142.52	2384.6	2626.68
Агаарын хоногийн дундаж хасах температурын нийлбэр	-2829.38	-2579.01	-2328.64	-2008.27
Цэвдгийн дээрх температур	-1.52	-0.41	0.66	1.72

Улиастай станцын агаарын хоногийн дундаж нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явцаас харахад шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу аль аль утга нь өсөж байгаа буюу жил ирэх тусам дулаарч байгаа зүй тогтоц ажиглагдаж байна. Гэхдээ зуны улирал буюу дулааны улиралд явагдах өсөлт нь өвлийн буюу хүйтний улирлын өсөлтөөс харьцангуй бага байгаа нь графикаас харагдана (График 19).

Цэвдгийн дээрх температур нь 1970-аас 2090 оны хооронд 3.24°C-ээр нэмэгдэж, 2050 он гэхэд цэвдэг алдралд орж болзошгүй гэсэн дүр зураг ажиглагдаж байна (Хүснэгт 10).

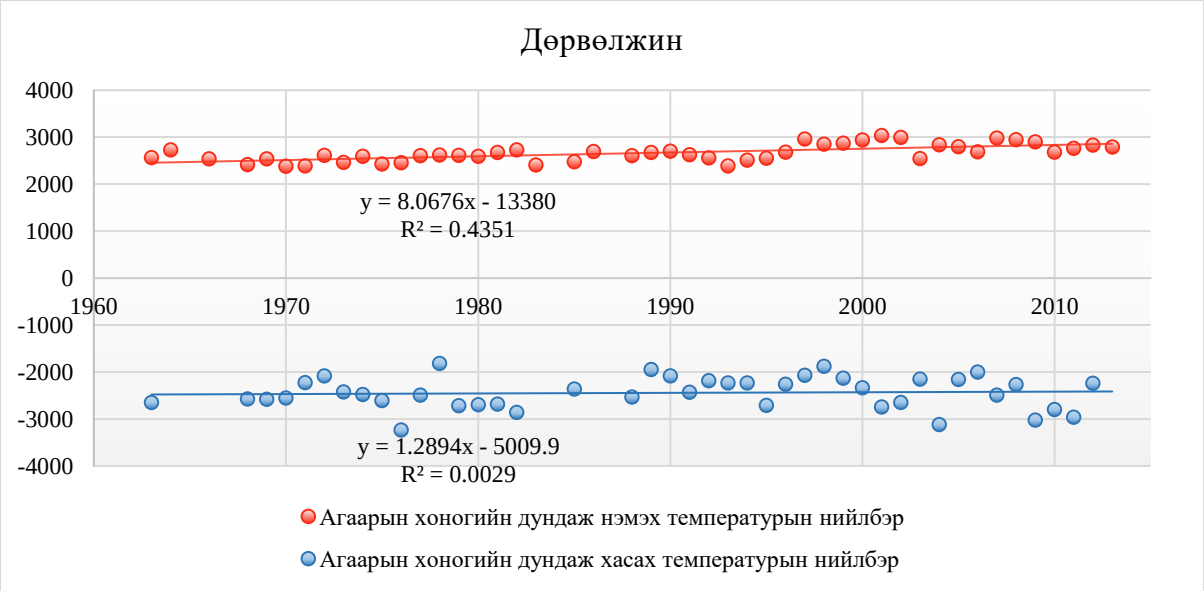


График 19. Дөрвөлжин станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрийн олон жилийн явц.

Хүснэгт 11. Дөрвөлжин станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн.

Нэр \ Он	1970	2010	2050	2090
Агаарын хоногийн дундаж нэмэх температурын нийлбэр	2513.17	2835.87	3158.58	3481.28
Агаарын хоногийн дундаж хасах температурын нийлбэр	-2469.78	-2418.21	-2366.63	-2315.05
Цэвдгийн дээрх температур	-0.06	0.88	1.82	2.76

Дөрвөлжин цаг уурын станцын 1963 оноос 2013 оны хоорондох агаарын хоногийн дундаж нэмэх болон хасах температурын нийлбэрийн мэдээг дээрх графикт харуулсан байна (График 20). Тус графикийн регрессийн тэгшитгэлүүдийг ажиглавал дулааны улирал нь хүйтний улирлыг бодвол илүү хурдацтай өсөх хандлагатай байна. Энэ нь хүснэгтэд үзүүлсэн регрессийн тэгшитгэлийн дагуу гаргаж авсан хүснэгтээс мөн харагдана (Хүснэгт 11). Станц дээр тооцоолж гаргасан цэвдгийн дээрх температур нь 1970-аас 2090 оны хооронд 2.82°C-ээр нэмэгдэх хандлагатай байна.

Сүхбаатар Эрдэнэцагаан

Сүхбаатар аймгийн Эрдэнэцагаан сумын зүүн талаар Хүйсийн гол урсдаг бөгөөд хээр бүхий умард хуурай хээрийн мужид багтана. Тус сумын ойролцоо өндөр уул толгод байхгүй сумын дундаж өндөр ойролцоогоор д.т.д 1070 метр байна.

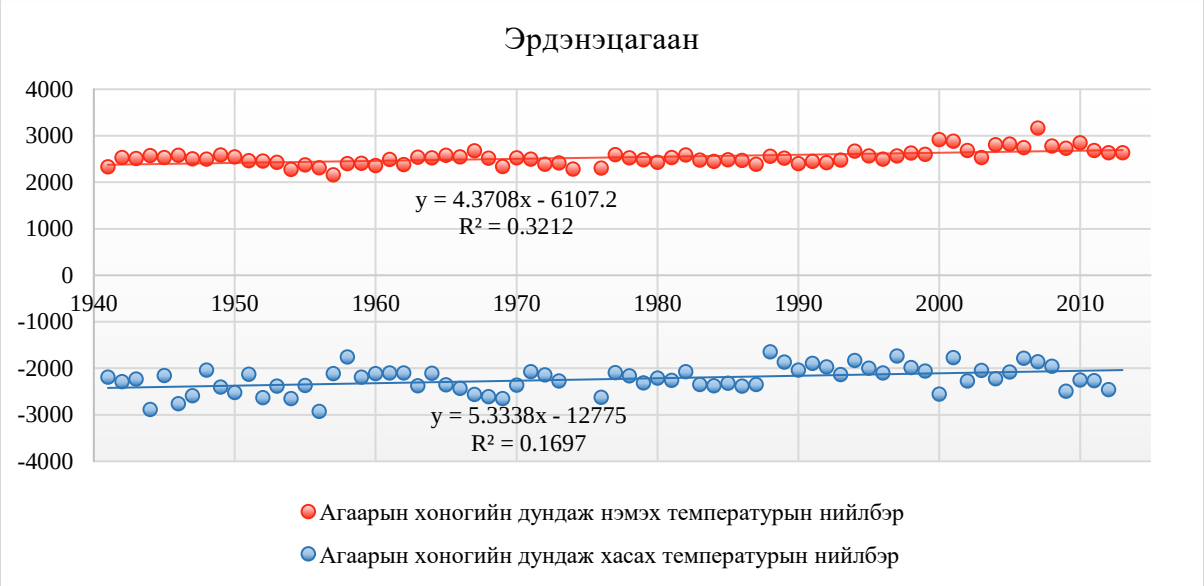


График 20. Эрдэнэцагаан станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц.

Хүснэгт 12. Эрдэнэцагаан станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн.

Нэр \ Он	1970	2010	2050	2090
Агаарын хоногийн дундаж нэмэх температурын нийлбэр	2503.27	2678.1	2852.94	3027.77
Агаарын хоногийн дундаж хасах температурын нийлбэр	-2267.4	-2054	-1840.7	-1627.36
Цэвдгийн дээрх температур	0.44	1.37	2.3	3.25

Эрдэнэцагаан станцын 1941-ээс 2013 оны агаарын хоногийн дундаж нэмэх болон хасах температурын нийлбэрийг дээрх графикт үзүүлсэн (График 21). Мөн хүснэгтэд үзүүлсэн регрессийн тэгшитгэлийн дагуу гарган авсан цэвдгийн дээрх температураар аль цаг үед тухайн станц нь цэвдэггүй байсныг илтгэж байгаа нь бидний гарган авсан зургийн үр дүнтэй нийцэж байгаа юм (Хүснэгт 12).

Дундговь Сайхан-овоо

Дундговь аймгийн Сайхан-Овоо сум нь өмнөд хуурай хээр бүхий цөлжүү хээрийн мужид багтах бөгөөд Онгийн голын эрэг дээр оршино. Ойр орчим өндөр уул толгод байхгүй бөгөөд дундаж өндөр нь ойролцоогоор д.т.д 1310 метр байна.

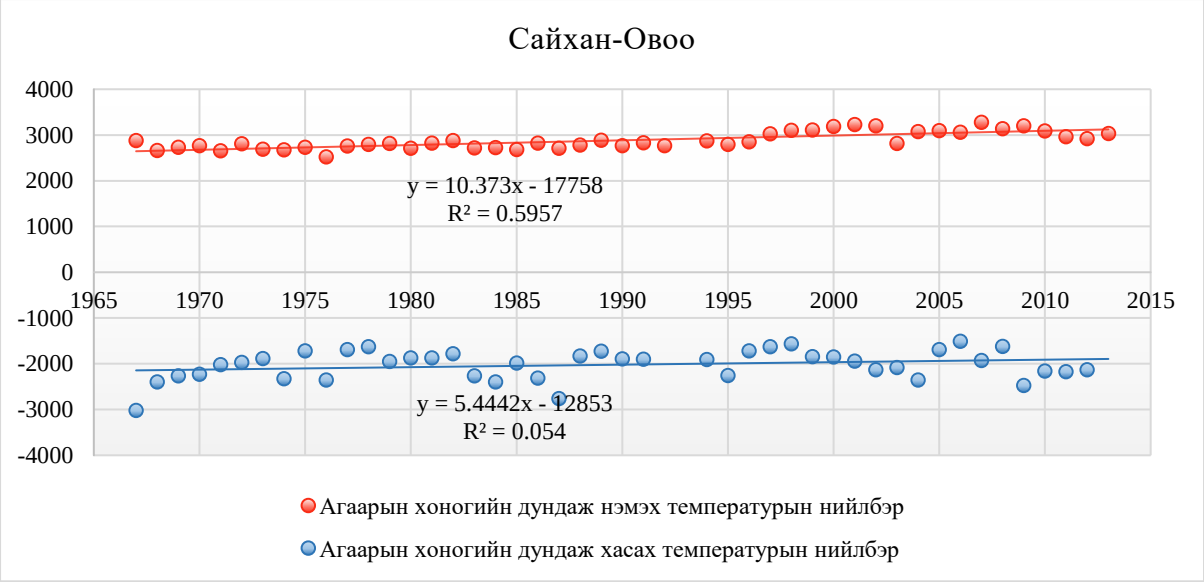


График 21. Сайхан-Овоо станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц.

Хүснэгт 13. Сайхан-Овоо станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн.

Нэр \ Он	1970	2010	2050	2090
Агаарын хоногийн дундаж нэмэх температурын нийлбэр	2676.8	3091.7	3506.65	3921.57
Агаарын хоногийн дундаж хасах температурын нийлбэр	-2127.9	-1910.2	-1692.4	-1474.6
Цэвдгийн дээрх температур	0.34	1.9	3.6	5.2

Тус суманд байрлах цаг уурын станцын 1967-2013 оны хоорондох агаарын хоногийн дундаж нэмэх болон хасах температурын нийлбэрийн явцыг дээрх графикт үзүүлэв (График 22). Хүснэгтээс харахад агаарын хоногийн дундаж нэмэх болон хасах температурын нийлбэр нь дулааны улиралд бага, хүйтний улиралд илүү өсөлттэй гарч байна (Хүснэгт 13).

Баянхонгор-Галуут

Баянхонгор аймгийн Галуут сум нь Баянхонгор уулын (д.т.д 2716 м) өвөр энгэрт орших бөгөөд урд талаар нь Үхээгийн гол урсана. Байгалийн мужлалын хувьд умард хуурай хээр, цөлжүү хээр, нуга бүхий өмнөд хуурай хээрийн мужид багтах ба дундаж өндөр нь ойролцоогоор д.т.д 2120 метр байна.

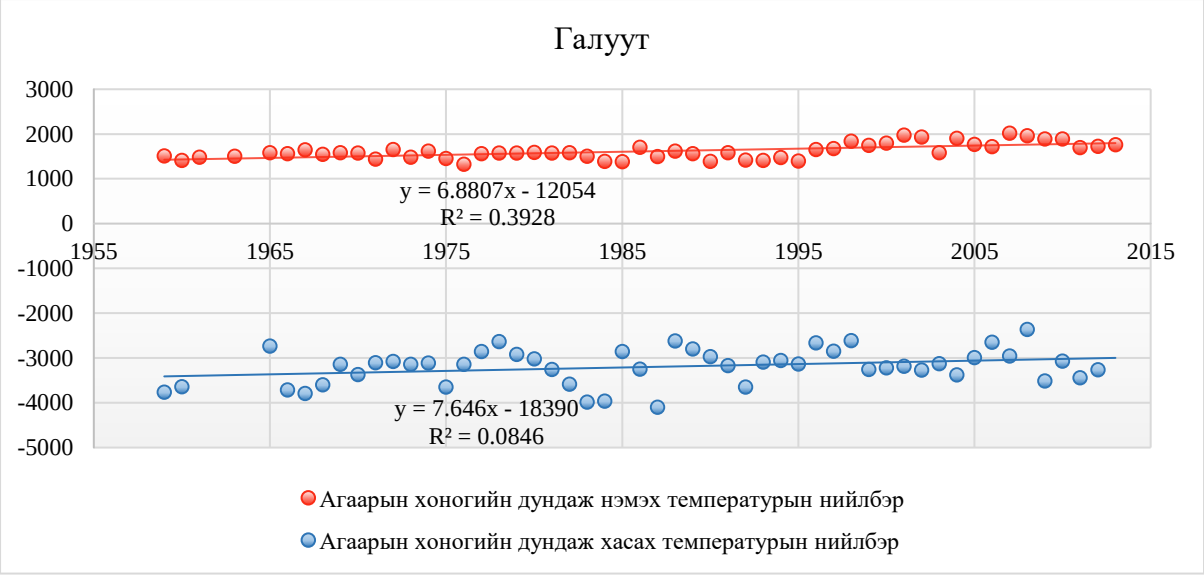


График 22. Галуут станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц.

Хүснэгт 14. Галуут станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн.

Нэр / Он	1970	2010	2050	2090
Агаарын хоногийн дундаж нэмэх температурын нийлбэр	1500.97	1776.2	2051.4	2326.6
Агаарын хоногийн дундаж хасах температурын нийлбэр	-3327.4	-3021.5	-2715.7	-2409.8
Цэвдгийн дээрх температур	-4.4	-3.03	-1.7	-0.32

Галуут сумын нутагт байрлах цаг уурын станцын 1959-өөс 2013 он хүртлэх агаарын хоногийн дундаж нэмэх болон хасах температурын нийлбэрийн зүй тогтлыг дээрх графикт харуулав (График 23). Мөн графикаас харахад хүйтний улирлын өсөлтийн явц нь дулааны улирлыг бодоход арай их байгаа нь харагдаж байна. 1970 оноос 2090 оны хугацаанд цэвдгийн дээрх температур нь 4.1°С-ээр нэмэгдэж байгаа ч цэвдэг оршин байсаар байх нь тооцооллын үр дүнд, зургийн үр дүнтэй адил гарсан юм (Хүснэгт 14).

Баянхонгор- Баянбулаг

Баянхонгор аймгийн Баянбулаг сум нь өмнөд хуурай хээр бүхий умард хуурай хээрийн мужид багтана. Мөн сумын төвийн урдаас Бүрдийн гол эх аван урсах бөгөөд хойд талд нь Баянбулаг уул (д.т.д 2862 м), зүүн урд талаар нь Далангийн нуруу (д.т.д 2965 м) зэрэг өндөр уулсаар хүрээлэгдсэн оршино. Сумын дундаж өндөр ойролцоогоор д.т.д 2260 метр байна.

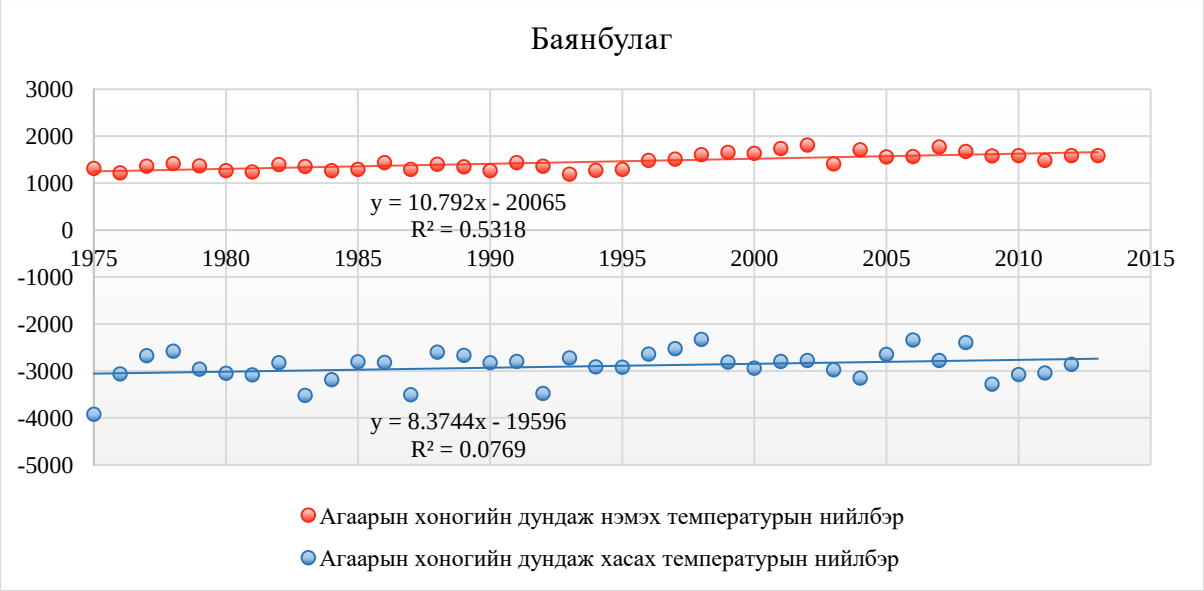


График 23. Баянбулаг станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц.

Хүснэгт 15. Баянбулаг станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн.

Нэр \ Он	1970	2010	2050	2090
Агаарын хоногийн дундаж нэмэх температурын нийлбэр	1195.2	1626.9	2058.6	2490.3
Агаарын хоногийн дундаж хасах температурын нийлбэр	-3098.4	-2763.5	-2428.5	-2093.5
Цэвдгийн дээрх температур	-5.5	-3.6	-1.7	0.17

Баянбулаг станц дээрх 1975-аас 2013 он хүртлэх агаарын хоногийн дундаж нэмэх болон хасах температурын нийлбэрийн зүй тогтлыг дээрх графикт харуулав (График 24). 1970 оноос 2090 оны хугацаанд цэвдгийн дээрх температур нь 5.6°C-ээр нэмэгдэж цэвдэг алдралд орж болзошгүй байгаа нь тооцооллын үр дүнд гарсан (Хүснэгт 15).

Говь-Алтай Алтай

Говь-Алтай аймгийн төв нь байгалийн мужлалын хувьд марз бүхий цөлжүү хээрийн мужид багтана. Энэхүү аймгийн төв нь Монгол орны хамгийн өндөрт оршдог аймгийн төв гэдгээрээ онцлогтой бөгөөд ойролцоогоор д.т.д 2150 метрт оршино.

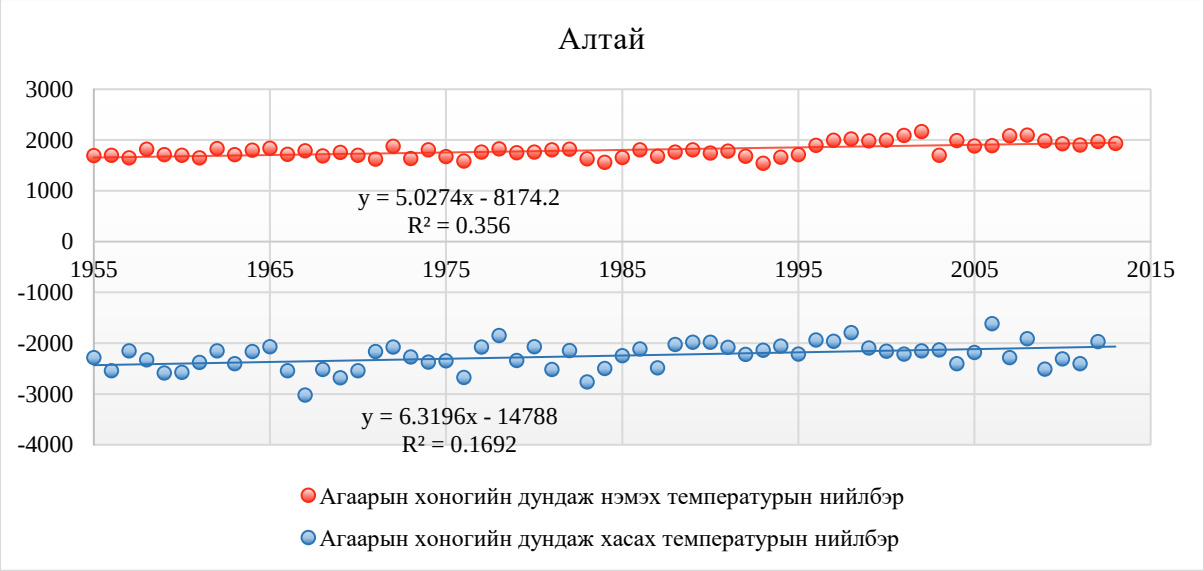


График 24. Алтай станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц.

Хүснэгт 16. Алтай станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн.

Нэр \ Он	1970	2010	2050	2090
Агаарын хоногийн дундаж нэмэх температурын нийлбэр	1729.8	1930.9	2131.9	2333
Агаарын хоногийн дундаж хасах температурын нийлбэр	-2338.4	-2085.6	-1832.8	-1580
Цэвдгийн дээрх температур	-1.1	-0.05	1.03	2.1

Алтай цаг уурын станцын 1955-өөс 2013 он хүртлэх агаарын хоногийн дундаж нэмэх болон хасах температурын нийлбэрийн зүй тогтлыг дээрх графикт харуулав (График 25). Мөн графикаас харахад хүйтний улирлын өсөлтийн явц нь дулааны улирлыг бодоход эрчимтэй байгаа нь ажиглагдаж байна. 1970 оноос 2090 оны хугацаанд цэвдгийн дээрх температур нь 3.2°C-ээр нэмэгдэж, 2050 он гэхэд цэвдэг нь алдралд орж болзошгүй гэдгийг харж болохоор байна (Хүснэгт 16).

Ховд Зэрэг

Ховд аймгийн Зэрэг сум нь цөлжүү хээрийн мужид оршино. Мөн Бумбат хайрхан (д.т.д 3464 м) болон Баатар хайрхан (д.т.д 3984 м) гэх том уулсын хөндийд оршино. Мөн сумын ойр орчим жижиг нуур, цөөрөм, булаг ихтэй учир газрын гадаргын хувьд их чийглэг. Сумын төв ойролцоогоор д.т.д 1150 метр өргөгдсөн байна.

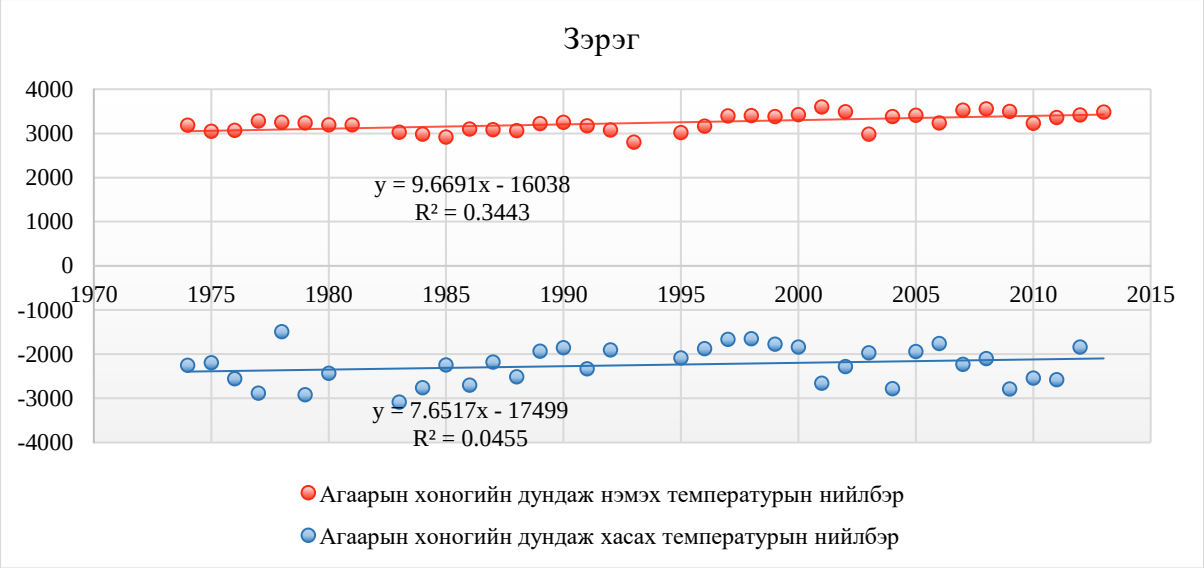


График 25. Зэрэг станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц.

Хүснэгт 17. Зэрэг станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн.

Нэр \ Он	1970	2010	2050	2090
Агаарын хоногийн дундаж нэмэх температурын нийлбэр	3010.1	3396.9	3783.6	4170.4
Агаарын хоногийн дундаж хасах температурын нийлбэр	-2425.1	-2119	-1813	-1506.9
Цэвдгийн дээрх температур	1.8	3.5	5.2	6.9

Алтай цаг уурын станцын 1974-өөс 2013 он хүртлэх агаарын хоногийн дундаж нэмэх болон хасах температурын нийлбэрийн зүй тогтлыг дээрх графикт харуулав (График 26). Мөн графикын регрессийн тэгшитгэлийн явцаас харахад дулааны улирлын өсөлтийн явц нь хүйтний улирлыг бодоход арай их байгаа нь ажиглагдаж байна. 1970 оноос 2090 оны хугацаанд цэвдгийн дээрх температур нь 5.1°C-ээр нэмэгдэж болзошгүй гэдгийг харж болохоор байна (Хүснэгт 17).

Төв Зуунмод

Төв аймгийн Зуунмод нь умард хуурай хээр, ой, нуга бүхий ойт хээрийн мужид багтах ба ойролцоогоор д.т.д 1500 метрийн өндөрт оршино.

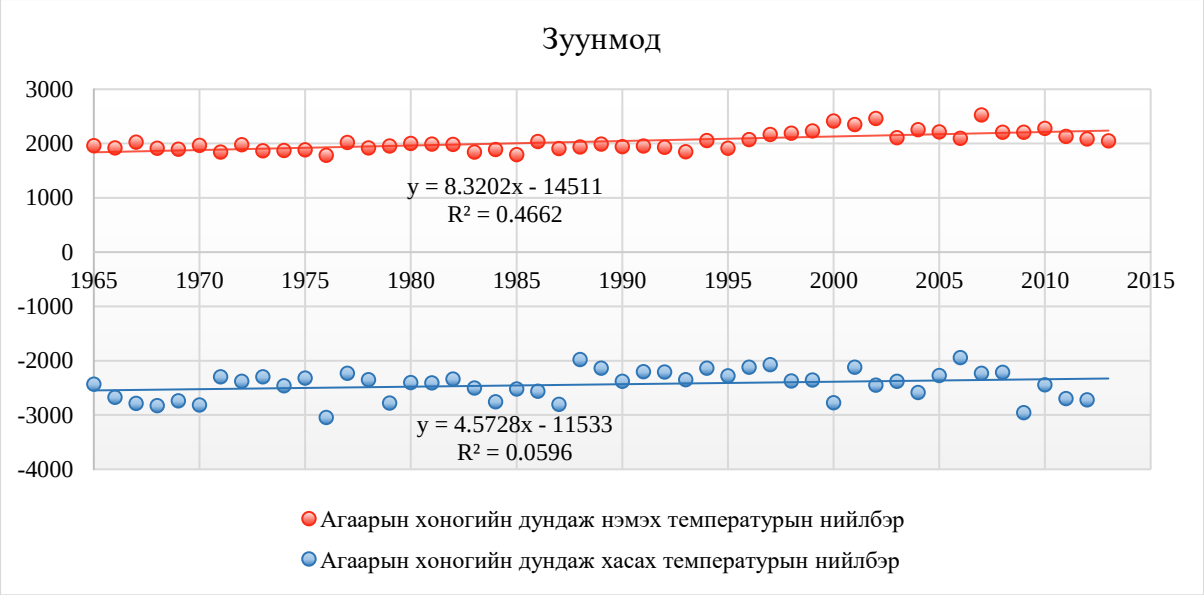


График 26. Зуунмод станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц.

Хүснэгт 18. Зуунмод станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн.

Нэр \ Он	1970	2010	2050	2090
Агаарын хоногийн дундаж нэмэх температурын нийлбэр	1879.8	2212.6	2545.4	2878.2
Агаарын хоногийн дундаж хасах температурын нийлбэр	-2524.6	-2341.7	-2158.7	-1975.8
Цэвдгийн дээрх температур	-2	-0.8	0.36	1.5

Зуунмод цаг уурын станцын 1965-өөс 2013 он хүртлэх агаарын хоногийн дундаж нэмэх болон хасах температурын нийлбэрийн зүй тогтлыг дээрх графикт харуулав (График 27). Мөн графикын регрессийн тэгшитгэлийн явцаас харахад дулааны улирлын өсөлтийн явц нь хүйтний улирлыг бодоход арай их байгаа нь ажиглагдаж байна. 1970 оноос 2090 оны хугацаанд цэвдгийн дээрх температур нь 3.5°C-ээр нэмэгдэж, 2050 он гэхэд цэвдэг алдралд орж болзошгүй гэдгийг харж болохоор байна (Хүснэгт 18).

Өмнөговь Даланзадгад

Өмнөговь аймгийн Даланзадгад сумын нутаг нь умард цөл бүхий заримдаг цөлийн мужид багтах ба ойролцоогоор д.т.д 1460 метрийн өндөрт оршино.

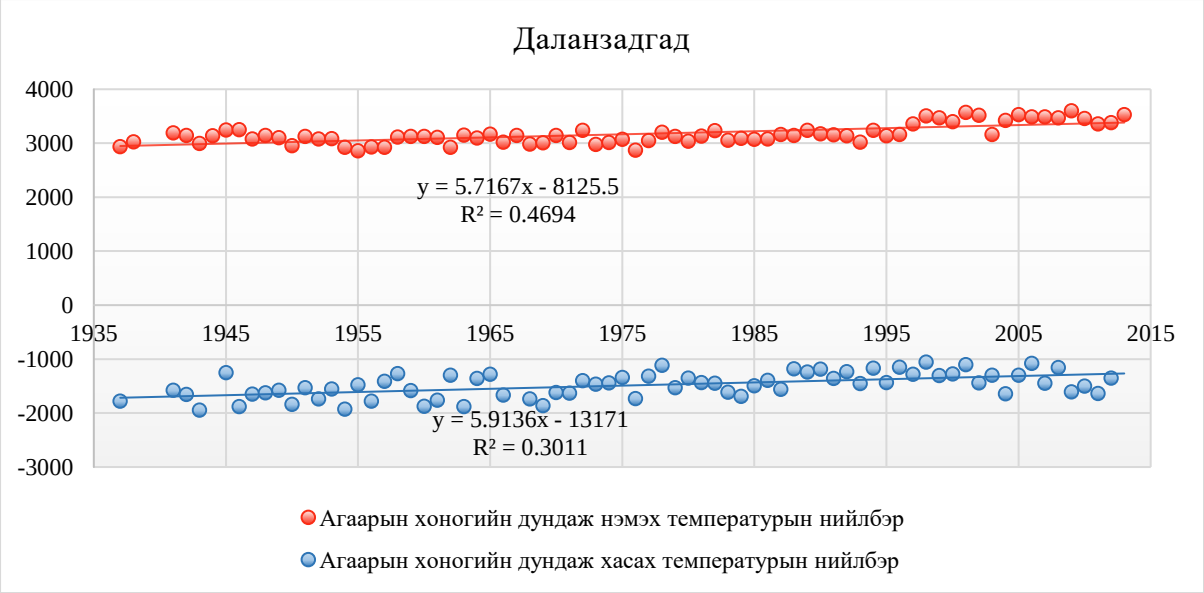


График 27. Даланзадгад станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц.

Хүснэгт 19. Даланзадгад станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн.

Нэр / Он	1970	2010	2050	2090
Агаарын хоногийн дундаж нэмэх температурын нийлбэр	3136.4	3365.06	3593.7	3822.4
Агаарын хоногийн дундаж хасах температурын нийлбэр	-1521.2	-1284.6	-1048.1	-811.6
Цэвдгийн дээрх температур	2.9	4.3	5.6	7

Даланзадгад цаг уурын станцын 1937-оос 2013 он хүртлэх агаарын хоногийн дундаж нэмэх болон хасах температурын нийлбэрийн зүй тогтлыг дээрх графикт харуулав (График 28). Мөн графикын регрессийн тэгшитгэлээс харахад дулаан, хүйтний улирлын явц нь нийлээд адил өсөх хандлагатай байна. 1970 оноос 2090 оны хугацаанд цэвдгийн дээрх температур нь 4.1°C-ээр нэмэгдэж болзошгүйг харж байна (Хүснэгт 19).

Өвөрхангай Арвайхээр

Өвөрхангай аймгийн Арвайхээр сум нь байгалийн мужлалын хувьд цөлжүү хээр, нуга бүхий өмнөд хуурай хээрийн мужид багтах ба ойролцоогоор д.т.д 1840 метрийн өндөрт оршино.

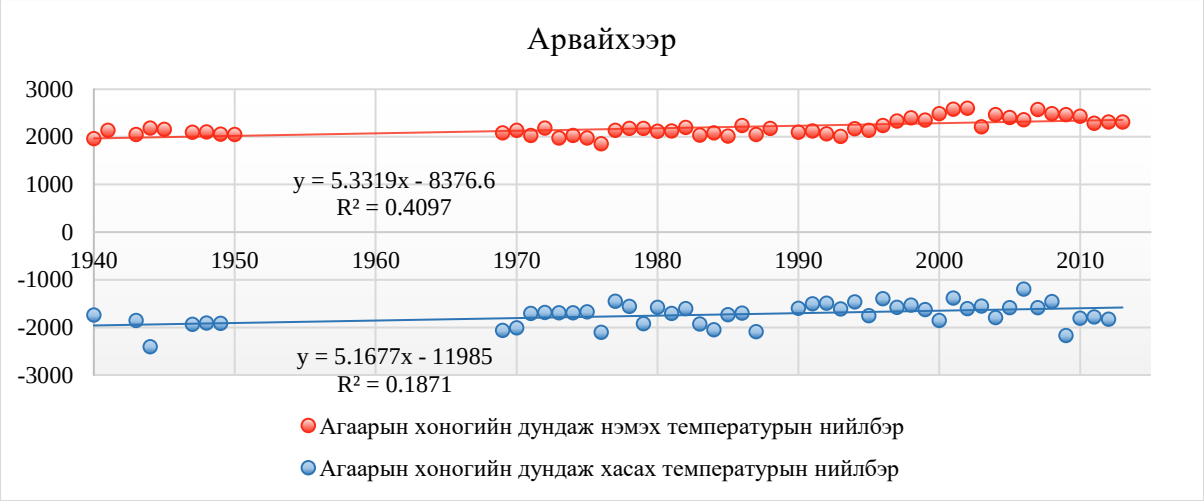


График 28. Арвайхээр станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц.

Хүснэгт 20. Арвайхээр станцын агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явцын графикийн шугаман регрессийн тэгшитгэлийн дагуу тооцоолсон цаг хугацааны өөрчлөлтийн үр дүн.

Нэр / Он	1970	2010	2050	2090
Агаарын хоногийн дундаж нэмэх температурын нийлбэр	2127.2	2340.5	2553.8	2767
Агаарын хоногийн дундаж хасах температурын нийлбэр	-1804.6	-1597.9	-1391.2	-1184.5
Цэвдгийн дээрх температур	-0.85	0.34	1.5	2.6

Арвайхээр цаг уурын станцын 1940-өөс 2013 он хүртлэх агаарын хоногийн дундаж нэмэх болон хасах температурын нийлбэрийн зүй тогтлыг дээрх графикт харуулав (График 29). Мөн графикын регрессийн тэгшитгэлээс харахад дулаан, хүйтний улирлын явц нь нийлээд адил өссөн хандлагатай байна. 1970 оноос 2090 оны хугацаанд цэвдгийн дээрх температур нь 3.4°C-ээр нэмэгдэж болзошгүйг харж байна (Хүснэгт 20).

Дээр дурьдсан сумдууд болон мөн бусад станцууд дээр тооцоолсон агаарын хоногийн дундаж нэмэх болон хасах температурын нийлбэрийн утгуудыг дундажлаж Монгол орны 1937 оноос 2013 оны хоорондох дундажийг олсон (График 29).

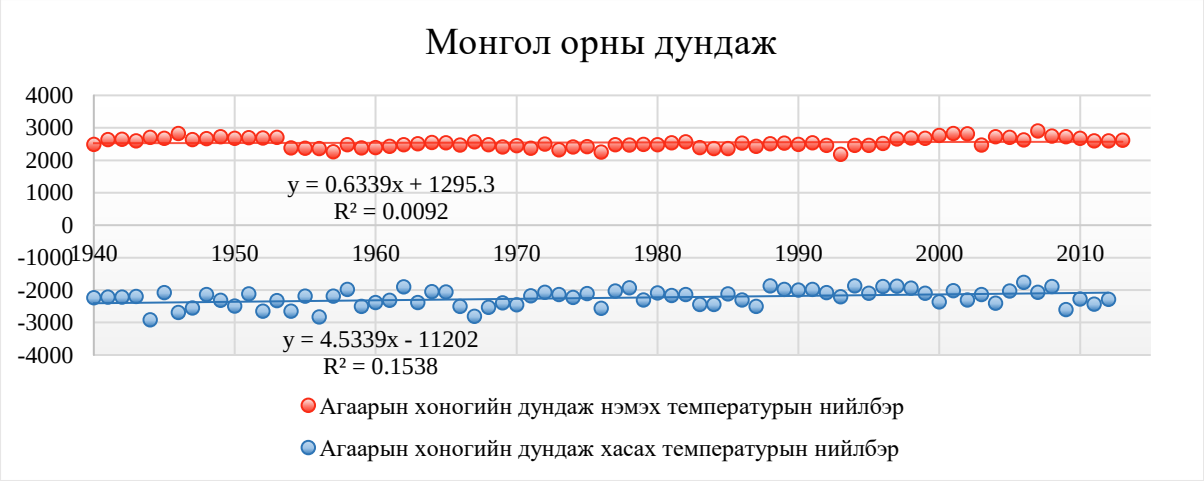


График 29. Монгол орны дундаж агаарын хоногийн нэмэх болон хасах температурын нийлбэрүүдийн олон жилийн явц.

3.2 Цэвдгийн цаг хугацааны загварчлалын тулгамдсан асуудал, онолын үндэс

Дэлхийн бөмбөрцгийн хойд хагаст өргөн уудам талбайг эзлэн оршиж буй цэвдэг нь тухайн газар нутгуудын экосистем, ус, энергийн тэнцлийн тогтвортой байдлыг тодорхойлдог гол хүчин зүйлсийн нэг болдог. Цэвдэг өөртөө янз бүрийн хэмжээтэй чийг, мөс агуулдаг ба манай орны ихэнх том гол, горхи эх ундарга цэвдэгтэй өндөр уулсаас авсан байдаг бөгөөд энэ нь тухайн бүс нутгийн ард иргэдийн амьжиргаанд чухал нөлөө үзүүлдэг (*Dashtseren, 2015*). Нөгөө талаас энэхүү өргөн, уудам нутаг дах цэвдэгт ойролцоогоор 1700 гигатонн нүүрстөрөгч, нүүрстөрөгчийн давхар исэл агуулж байдаг ба энэхүү хэмжээ нь агаар мандалд байгаа ижил төрлийн хийн хэмжээнээс 2 дахин их үзүүлэлт юм (*Tarnocai et al. 2009*). Хэрвээ энэхүү цэвдэгт агуулагдаж буй хүлэмжийн хийн нэг төрөл болох эдгээр хий агаар мандал руу алдагдвал одоо явагдаж буй уур амьсгалын өөрчлөлтөд ихээр нөлөөлж улмаар байгалийн тэнцвэрт байдал алдагдах нь ойлгомжтой юм.

Манай улс сүүлийн жилүүдэд цэвдэгт бүс нутгуудад томоохон бүтээн байгуулалтыг олноор хийсээр байгаа бөгөөд үүнд улсаас их хэмжээний хөрөнгө, хүч гаргаж байна. Харамсалтай нь цэвдэгт хөрсний дулааны горим нь уур амьсгал болон хүний хүчин зүйлийн нөлөөгөөр өөрчлөгдвөл (цэвдэг гэсэх, алдрах, идэвхтэй давхаргын гүн ихсэх г.м) тухайн бүтээн байгуулалтын ажлын үр дүнд сөрөг нөлөө үзүүлдэг. Энэхүү цэвдэгт үзэгдлийн сөрөг нөлөөгөөр барилга, зам гэх мэт инженерийн байгууламж нь хагарч цуурах, овойх, суулт өгөх зэрэг хэв гажилтууд олноор гардаг. Энэ нь манай улсын нийгэм, эдийн засагт багагүй хохирлыг үзүүлэх нь илэрхий юм. Дээр тоймлон харуулсан тулгамдаж буй шалтгаануудын улмаас цэвдгийн өнгөрсөн, одоо, ирээдүйн төлөв байдал болон түүний хандлагыг судлах нь шинжлэх ухааны болон практикийн чухал ач холбогдолтой ба олон орны эрдэмтэн, судлаачид энэхүү сэдвийг анхаарал хандуулан судалж байна.

Цэвдэг нь газрын гадаргаас доош тодорхой хэмжээний гүнд олон янзын бүтэцтэйгээр оршдог. Монгол орны цэвдэг нь арал хэлбэрийн тархалттай ба маш бага талбайд ч гэсэн хувьсан өөрчлөгддөг онцлогтой ба энэ нь тухайн газрын бичил уур амьсгал, гадаргын

нөхцөл, хөрсний бүтэц бүрэлдэхүүн зэрэг хүчин зүйлстэй шууд холбоотой байна (*Ishikawa et al., 2005; Sharkhuu et al., 2007; Жамбалжав ба бусад., 2010; Dashtseren et al., 2014*). Ийм учраас цэвдгийг газрын гадаргаас шууд таньж мэдэх, цэвдэгтэй газрын хил хязгаарыг зураглах, загварчлах асуудал нэлээд төвөгтэй байдаг бөгөөд цэвдэгт хөрсний дулааны орон, тархалтын талаарх өндөр нарийвчлалтай судалгаа хийхэд тухайн газар орны бичил уур амьсгал, газрын бүрхэвч, хөрсний талаарх цогц мэдээлэл шаардлагатай. Эдгээр мэдээллүүд олдоц муу, хэмжилтийн тоног төхөөрөмжийн үнэ өндөр зэргээс шалтгаалж зарим нэг ач холбогдол бага дээрх хүчин зүйлсийг цэвдгийн судалгаа, загварчлал хийхдээ тооцохгүй орхиж болдог.

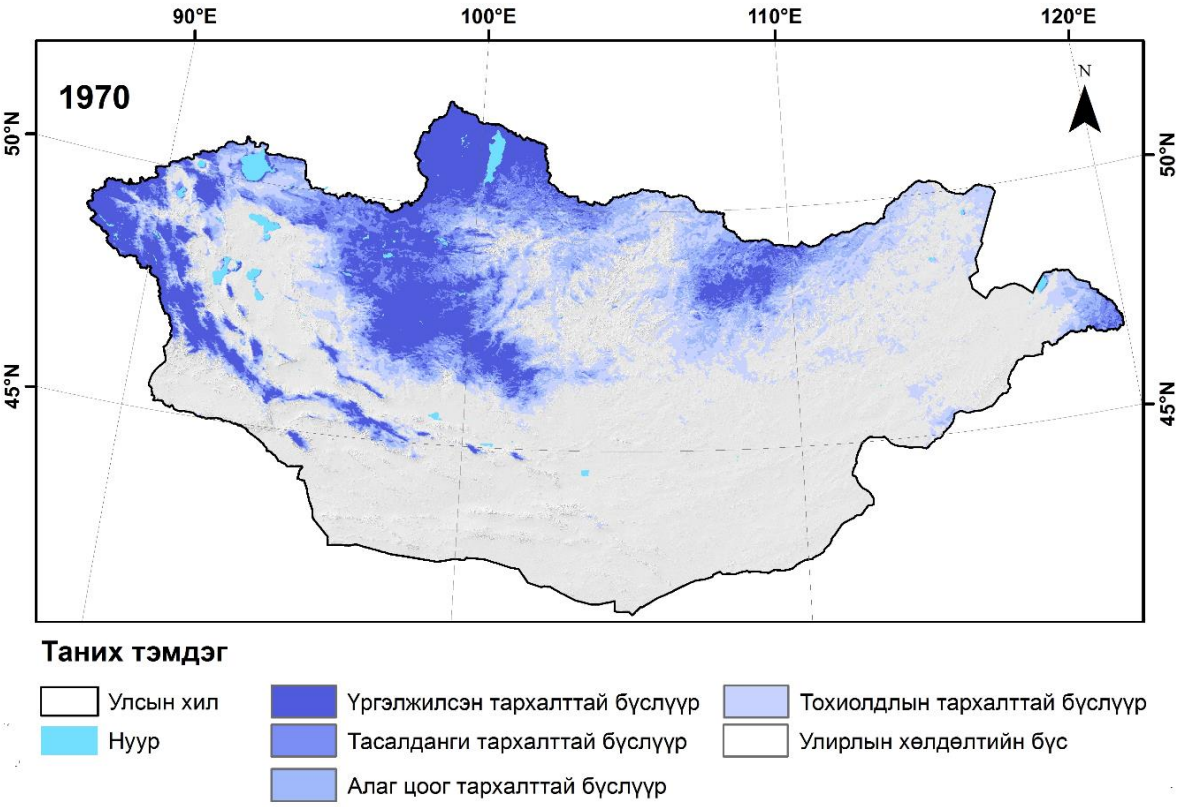
Сүүлийн жилүүдэд олон орны судлаачид дэлхийн болон бүс нутгийн цэвдгийн ирээдүйн тархалтын талаар нэлээдгүй судалгаа хийж байна. Эдгээр судлаачид ихэвчлэн физик загварчлал буюу физик процесс дээр тулгуурласан загварчлал ашиглаж байгаа ба энэ нь агаар мандал ба цэвдэг хоёрын хооронд явагдах энергийн солилцоо дээр ихэвчлэн суурилсан байдаг. Эдгээр загваруудын нэг төрөл болох цэвдгийн орон зайн тархалтын ТТОР загварчлалыг бид Монгол орны цэвдгийн тархалтын өнгөрсөн, одоо, ирээдүй үеийн цаг хугацааны өөрчлөлтийг харуулахаар сонгож авсан. ТТОР загварт хэд хэдэн хялбарчлал хийсэн байдаг. Үүнд хөрсний дулаан дамжуулалтын коэффициент өвөл, зуны улиралд тогтмол, хөрсний чийгийн шилжих хөдөлгөөн, чийгт зарцуулах дулааныг тооцоогүй зэрэг дутагдалтай талтай ч уг загвар нь бүс нутгийн зураглалд илүү тохиромжтой бөгөөд Канадын хойд бүс нутагт шалгагдсан байдаг (*Smith & Riseborough, 2002, Riseborough, 2003, Wright et al., 2003).* Харин Оросын хойд, Скандиновын хойг, Ирланд, Гренланд арал, Канадын хойд бүс нутгийг хамарсан ТТОР загварын үр дүнгийн зургийг Норвегийн эрдэмтэн С.Вестерманн 2015 онд гаргасан бөгөөд статистик шалгалтын үзүүлэлт сайтай гарчээ. 2016 онд манай салбарын эрдэм шинжилгээний ажилчид (*Я.Жамбалжав ба бусад,2016*) Монгол орны цэвдгийн тархалтын 1:1 000 000 масштабтай зургийг ТТОР загвар ашиглаж зохиосон ба тус загварын аргазүйн талаар өмнөх бүлэгт дэлгэрэнгүй оруулсан болно.

3.3 Монгол орны цэвдгийн тархалт 1970 он

ТТОР загварын үр дүнгээр гаргаж авсан Монгол орны цэвдгийн 1970 оны тархалтыг зураг 24-т харуулав. Тус зурагт үзүүлснээр цэвдэг тархах боломжит талбай Монгол орны нутаг дэвсгэрийн 38.2 хувийг эзэлж байгаа бөгөөд тархалт нь Алтай, Хангай, Хэнтий, Хөвсгөлийн уулархаг газар нутгууд, тэдгээртэй залгаа хотос, хөндийнүүдэд зонхилон оршиж байна. Мөн тус зургийг агуулгад орсон цэвдгийн бүсийн ангилал хийхдээ дэлхийн улс орнууд цэвдгийн зураг зохиохдоо ихэвчлэн ашиглаж буй үргэлжилсэн, тасалданги, алаг цоог, тохиолдлын, улирлын хөлдөлттэй бүсүүд гэж хуваасан. Бүс тус бүрийн талбайн эзлэх хэмжээ Монгол орны нийт газар нутгийн 11.9; 6.7; 7.8; 11.9 хувиудыг тус тус эзэлж байна.

Монгол орны цэвдгийн тархалтын зургийг анх 1971 онд Орос-Монголын хамтарсан экспедицийн ажлын үр дүнгээр Гравис тэргүүтэй судлаачид 1: 1 500 000 –ын масштабтай зохиосон байдаг бол судлаач Шархүү 1977, 1989 онуудад манай орны цэвдгийн тархалтын зургийг 1:3 000 000 ба 1: 2 500 000 масштабтайгаар зохион гаргасан байдаг. 1971оны зурагт Монгол оронд тархсан цэвдгийг тархалтын хэв шинжээр нь

үргэлжилсэн, тасалданги, элбэг алаг цоог, ховор алаг цоог, тохиолдлын, өнжмөл, улирлын цэвдэгтэй гэж үндсэн 7 бүс, бүслүүрт хуваажээ. Мөн тус зургаар дээрх цэвдэгт бүсүүдийн талбайн хэмжээ манай орны газар нутгийн 63 орчим хувьтай тэнцэнэ гэж дүгнэсэн байдаг. Судлаач Шархүүгийн зохиосон зургуудад харуулсан цэвдгийн тархалтын хэмжээ, хил хязгаар нь 1971 оны зурагтай адил боловч цэвдгийн температур,



Зураг 24. Монгол орны цэвдгийн тархалт 1970 он.

зузааныг нэмэлтээр оруулж өгснөөрөө давуу талтай болсон.

Дээрх ТТОР загварын үр дүнгээр гаргаж авсан болон бусад судлаачдын зурагласан Монгол орны цэвдгийн тархалтын талбайн хэмжээ нь өөр хоорондоо нэлээд зөрүүтэй гарсан байна. Энэ нь тухайн судлаачдын сонгож авсан судалгааны аргазүйтэй холбоотой. Жишээлбэл, судлаач Гравис ба Шархүү нар зураглалын ажилдаа уламжлалт аргазүй, тэр дундаа тухайн томоохон бүс нутгийг нэг төрлийн байгалийн хэв шинжийн ангилалд оруулж улмаар энэхүү мэдээлэл дээрээ суурилж цэвдгийн зураг зохиосон байдаг. Харин ТТОР загварт оруулах орон зайн болон байгалийн хүчин зүйлсийн мэдээнүүд нарийвчлал өндөр байдаг нь Монгол орны цэвдгийн тархалтыг илүү бодитой гаргахад хүргэсэн байж болзошгүй. Мөн аливаа нэг үзэгдлийн өнгөрсөн, одоо, ирээдүй үеийн цаг хугацааны өөрчлөлтийг харуулахдаа ижил төрлийн аргазүй сонгож авах шаардлагатай. Эдгээр шалтгаануудын улмаас Монгол орны цэвдгийн тархалтын өнгөрсөн, одоо, ирээдүй үеийн цаг хугацааны өөрчлөлтийг харуулахдаа зөвхөн ТТОР загвараар гаргаж авсан үр дүнгүүдийг хоорондоо нь харьцуулсан юм. Эдгээр зургуудад цэвдгийн тархалт, боломжит хувь хэмжээг дараах байдлаар тодорхойлсон. Үүнд : Цэвдгийн үргэлжилсэн тархалттай бүс ($t<-2^oC$), тасалданги тархалттай бүс ($-2^oC < t < -1^oC$), алаг цоог тархалттай бүс ($0^oC>t>-1^oC$), тохиолдлын тархалттай бүс ($0^oC< t <1^oC$),

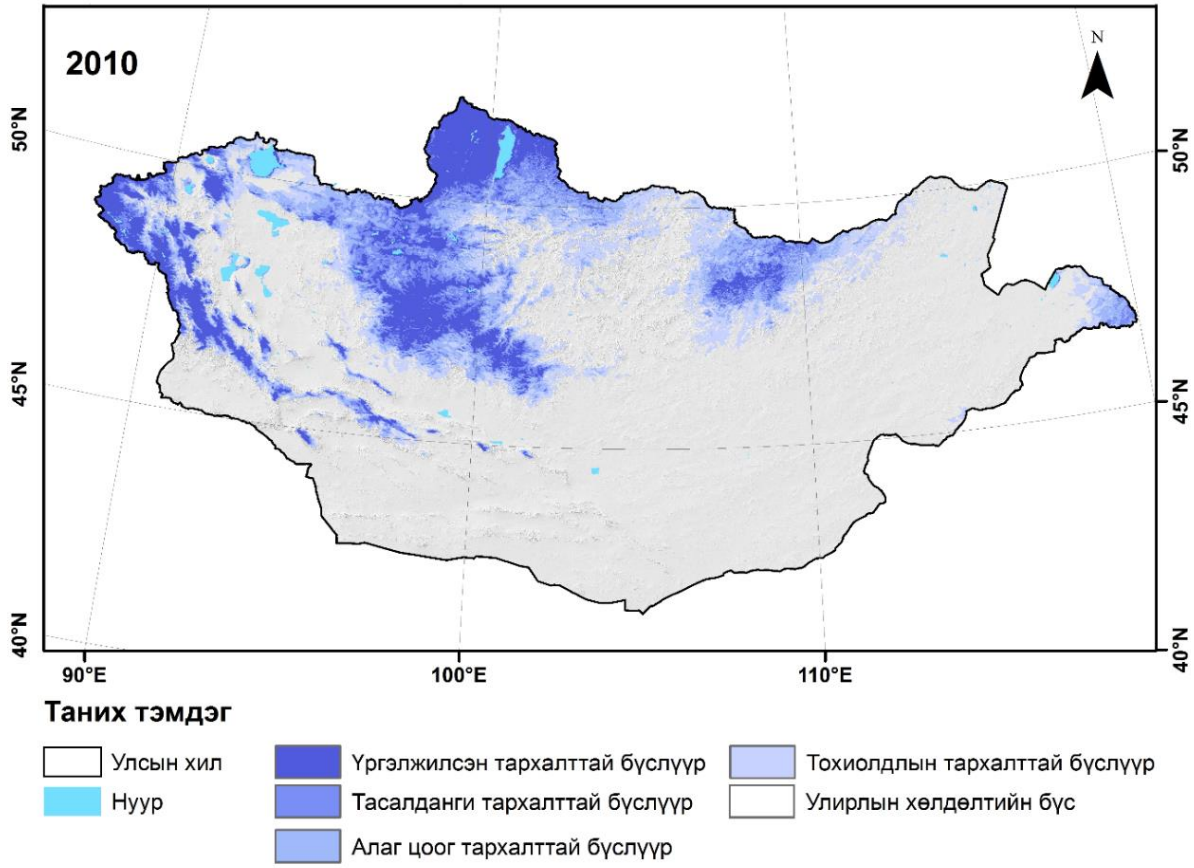
улирлын хөлдөлттэй бүс (t>1ºC) гэж тус тус ангилсан. 1970 оны байдлаар Алтай, Хангай, Хөвсгөл, Хэнтийн уулс, тэдгээрийн салбар уулсын өндөрлөг хэсгүүд болон Дархадын хотгор зэрэг газар нутгууд цэвдэг үргэлжилсэн тархалттай байсан бол цэвдгийн тасалданги болон алаг цоог тархалттай бүсүүд нь цэвдгийн үргэлжилсэн тархалттай бүстэй залгаа орших бөгөөд харьцангуй нам дор газруудын хамарч байжээ. Харин дээрх гурван цэвдгийн бүсийн гадна талаар, ихэвчлэн уулс хоорондын хөндий, хотосуудад цэвдгийн тохиолдлын тархалттай бүс оршиж байсан. Харин +1ºC аас дээш буюу улирлын хөлдөлттэй бүс нутаг нь Их нууруудын хотгор, Дорнодын тал, хээр, говь, цөлийн бүс, зарим нэгэн томоохон голууд болох Дэлгэр, Сэлэнгэ мөрөн, Идэр, Орхон, Туул зэрэг голуудын дагуу газар нутгийг тус тус эзлэн оршиж байсан зүй тогтол илэрсэн.

3.4 Монгол орны цэвдгийн өнөөгийн тархалт

Монгол орны цэвдгийн тархалтын 2010 оны талбайн болон бүсүүдийн тархалтын зүй тогтлыг зураг 25-т үзүүлэв. Тус зурагт харуулснаар цэвдэг тархах боломжит талбайн хэмжээ манай орны нийт нутаг дэвсгэрийн 29.3 хувийг эзэлж байна. Энэ нь 1970 оны загварчилсан үр дүнгээр гарсан зургийн цэвдэг тархах боломжит талбайн хэмжээнээс 10.1 хувиар бага үзүүлэлт юм. Эдгээр цэвдгийн алдрал, гэсэлт, нимгэрэл нь ихэвчлэн Монгол орны цэвдгийн өмөнд хил орчим, тэр дундаа Алтай, Хэнтий, Хангайн нурууны өмнөд, баруун, зүүн хэсгээр ихэвлэн тохиолдсон бол Хөвсгөлийн уулархаг мужид цэвдгийн гэсэлт, алдрал ажиглагдаагүй байна. Монгол улсын нутгаар жигд шахам тархан байрласан цаг уурын өртөөний 1940-2013 оны мэдээгээр газар орчмын агаарын температур 2.07ºC-аар дулаарсны дотор уулархаг нутгаараа арай эрчимтэй, говь, тал хээрийн бүсд арай бага хэмжээгээр дулаарсан бөгөөд зуны улиралд хугацаа өнгөрөх тутамд дулааралтын эрчимшил нэмэгдэж байгаа хандлага ажиглагдаж байгаа зүй тогтол гарчээ (***УАӨҮИ**, 2014*). Эдгээр хүчин зүйлс нь Алтай, Хангай, Хэнтийн уулархаг газар нутгуудын зах хэсгүүд, тэдгээртэй залгаа хотос, хөндийнүүдэд оршиж байсан цэвдэгт нөлөөлж улмаар дээр өгүүлсэн цэвдгийн гэсэлт, алдралын үйл явцад тодорхой хэмжээний нөлөө үзүүлсэн нь илэрхий юм. Цэвдгийн бүсүүдийн талбайн өөрчлөлтийн хэмжээг 1970-2010 оны хооронд авч үзвэл харилцан адилгүй хэмжээтэйгээр багассан бол харин улирлын хөлдөлттэй бүсийн талбайн хэмжээ өссөн байна. Үүнд:

- Цэвдэг үргэлжилсэн тархалттай бүсийн газар нутгийн хэмжээ 4.2 хувиар багассан
- Цэвдэг тасалданги тархалттай бүсийн газар нутгийн хэмжээ 1.2 хувиар багассан
- Цэвдэг алаг цоог тархалттай бүсийн газар нутгийн хэмжээ 0.9 хувиар багассан
- Цэвдэг тохиолдлын тархалттай бүсийн газар нутгийн хэмжээ 3.9 хувиар багассан
- Улирлын хөлдөлттэй бүсийн талбайн хэмжээ 10.1 хувиар өсөж манай орны газар нутгийн 70.3 хувьтай тэнцүү байна.

Эдгээр цэвдгийн бүсүүдийн талбайн багасалтын хэмжээ нь тухайн бүсийн цэвдгийн мөсжилт, температурын горимоос шууд хамаардаг онцлогтой.



Зураг 25. Монгол орны цэвдгийн тархалт 2010 он.

3.5 Монгол орны цэвдгийн тархалтын хэтийн хандлага

Монгол орны цэвдгийн тархалтын талбайн хэмжээ болон бүсүүдийн газарзүйн байрлал 2050-2090 оны хооронд хэрхэн өөрчлөгдөхийг зураг 26-аар харуулав. Тус зургаас харахад Монгол орны цэвдгийн талбай хэмжээ ирээдүйд ч гэсэн ихээхэн хэмжээгээр буурах хандлага харагдаж байна. Цэвдэг тархах боломжит газар нутгийн хэмжээ 2050, 2090 онуудад манай орны нийт нутаг дэвсгэрийн 21.5, 16.2 хувийг тус тус эзэлж болзошгүй.

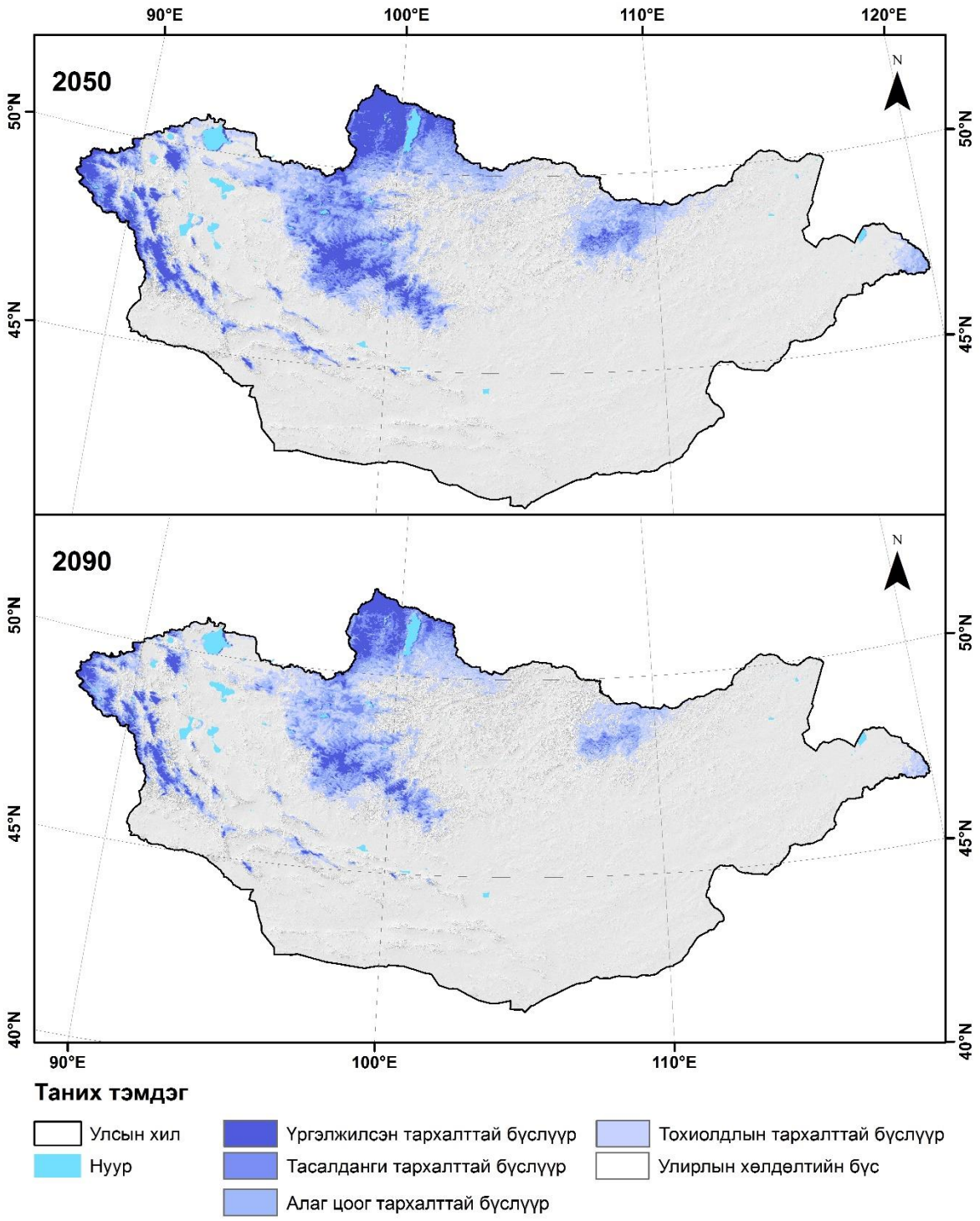
2050 оны үед цэвдгийн ухралт, алдрал, гэсэлт ихэвчлэн Алтай, Хэнтий, Хангайн нурууны ихэнх хэсгийг хамрах төлөвтэй байгаа ба Хөвсгөлийн уулархаг мужид ч цэвдгийн өөрчлөлт багагүй хэмжээгээр явагдах зүй тогтол илэрч байна. Жишээлбэл, одоогийн байдлаар цэвдгийн үргэлжилсэн тархалттай бүсэд багтах Хөвсгөлийн уулс, Дархадын хотгорт 2050 оны үед цэвдгийн тасалданги болон алаг цоог тархалтай бүсийн талбайн эзлэх хэмжээ нэлээд их хэмжээгээр нэмэгдэх төлөвтэй байна. Тэрчлэн Алтай, Хэнтий, Хангайн нурууны салбар бэсрэг уулс дахь цэвдэг ихээхэн алдрах хандлага илэрсэн (Зураг 26). Цэвдгийн бүсүүдийн талбайн өөрчлөлтийн хандлагыг 2010-2050 оны хооронд тооцож үзвэл доорх үр дүн гарч байна. Үүнд:

- Цэвдэг үргэлжилсэн тархалттай бүсийн газар нутгийн хэмжээ 3.1 хувиар багасах.
- Цэвдэг тасалданги тархалттай бүсийн газар нутгийн хэмжээ 1.4 хувиар багасах.

- Цэвдэг алаг цоог тархалттай бүсийн газар нутгийн хэмжээ 0.8 хувиар багасах.
- Цэвдэг тохиолдлын тархалттай бүсийн газар нутгийн хэмжээ 1.4 хувиар багасах.
- Улирлын хөлдөлттэй бүсийн талбайн хэмжээ 6.4 хувиар өсөж манай орны газар нутгийн 77.6 хувьтай тэнцүү болно.

2090 оны үед Хэнтийн нурууны цэвдгийн талбайн хэмжээ нэлээд хувиар хорогдож зөвхөн тус нурууны өндөрлөг хэсгүүдэд багахан хэмжээний цэвдэг тархах магадлалтай бөгөөд үргэлжилсэн тархалттай цэвдгийн бүс бүрмөсөн устах хандлага илэрч байна. Харин Алтай, Хэнтий, Хангайн нуруунд цэвдгийн үргэлжилсэн, тасалданги, алаг цоог, тохиолдлын тархалттай бүсүүд орших боловч талбайн хэмжээ багасах хандлагатай байна. Цэвдгийн бүсүүдийн талбайн өөрчлөлтийн хандлагыг 2050-2090 оны хооронд тооцож үзвэл доорх үр дүн гарч байна. Үүнд:

- Цэвдэг үргэлжилсэн тархалттай бүсийн газар нутгийн хэмжээ 2.0 хувиар багасах.
- Цэвдэг тасалданги тархалттай бүсийн газар нутгийн хэмжээ 1.3 хувиар багасах.
- Цэвдэг алаг цоог тархалттай бүсийн газар нутгийн хэмжээ 1.4 хувиар багасах.
- Цэвдэг тохиолдлын тархалттай бүсийн газар нутгийн хэмжээ 0.5 хувиар багасах.
- Улирлын хөлдөлттэй бүсийн талбайн хэмжээ 5.3 хувиар ихсэж манай орны газар нутгийн 83.8 хувьтай тэнцүү болно гэсэн тооцоо гарч байна.



Зураг 26. Монгол орны цэвдгийн тархалтын хандлага 2050 болон 2090 он

3.6 Цэвдгийн өөрчлөлтийн нөлөө

Цэвдэг нь өөртөө янз бүрийн хэмжээтэй чийг, мөс, хий агуулдаг ба манай гарагийн хойд хагасын дунд болон өндөр өргөргийн бүс нутгуудын экосистем, ус-энергийн эргэлт, тэдгээрийн хэвийн үйл ажиллагааг дэмжих үндсэн хүчин зүйлсийн нэг болдогоороо чухал ач холбогдол бүхий байгалийн нэг бүрэлдэхүүн хэсэг. Мөн манай орны ихэнх том гол, горхи нь цэвдэгтэй өндөр уулсаас эх авсан байдаг бөгөөд энэ нь тухайн бүс нутгийн ард иргэдийн амьжиргаанд чухал нөлөө үзүүлдэг байна (*Dashtseren et al., 2014*). Хэнтийн уулархаг мужид цэвдэгтэй болон цэвдэггүй газрууд дээр усны тэнцлийн судалгааг судлаач Iijima хийжээ. Тус судалгаагаар зуны улиралд цэвдэгтэй ар хажуугийн ууршилтын хэмжээ хур тунадасны хэмжээнээс бага бөгөөд илүүдэл хэсэг нь ойр орчмынхоо гол горхины усны эх ундарга, ургамал ургахад шаардагдах нөөц ус болдог бол цэвдэггүй өвөр энгэрт ууршилтын хэмжээ хур тунадасны хэмжээнээсээ илүү гарч улмаар гол горхины усны эх ундаргад ямар ч хувь нэмэр оруулдаггүй нь батлагдсан байна (*Iijima et al., 2012*). Ийм учраас дээрх дэд бүлгүүдэд өгүүлсэн цэвдгийн өөрчлөлт нь манай орны хөрс хуурайших, усан хангамж муудах, ургамлын бүлгэмдэл өөрчлөгдөх, ургамлын гарц муудах зэргээр олон төрлийн сөрөг нөлөөг үзүүлэх нь гарцаагүй юм.

ДӨРӨВДҮГЭЭР БҮЛЭГ. КРИОГЕН ҮЗЭГДЛҮҮД

Монгол орны нутаг дэвсгэрт хүйтний динамик үйлчлэлээс үүссэн криоген гаралтай хүйтний өгөршил, солифлюкци, олон жилийн ба улирлын бөөрөг, овойлтын дов /туфур/, халиа, тошин, хөрсний овойлт, дулааны хөндийлж /термокарст/, термоэроз, чулуун хүрээ, хүйтний хагарал, хүйтний шигшрэл, нохойн хонхор, согтуу мод зэрэг криоген үзэгдлүүд нэлээд түгээмэл тархалттай байдаг. Тухайлбал Алтай, Хангай, Хөвсгөл, Хэнтийн уулархаг нутгууд, Сэлэнгийн сав, Их нууруудын хотгор зэрэг томоохон голын хөндий түүнчлэн говийн зарим нууруудын бүс орчимд гарал үүсэл, хэмжээ нь харилцан адилгүй тархсан байх нь олонтоо тохиолддог.

Криоген үзэгдлүүдээс халиа тошин, бөөрөг, термокарстын нуурын үүсэл хөгжил нь уур амьсгалын өөрчлөлтийг илэрхийлэх чухал үзүүлэлт болох төдийгүй усны нөөц, горимын судалгаанд онцгой ач холбогдолтой юм. Дээрх криоген үзэгдлүүд нь уур амьсгалын өөрчлөлтийг илэрхийлэх байгалийн хүчин зүйл болох бөгөөд байгаль, нийгмийн олон талын ач холбогдолтой юм.

4.1 Халиа, тошин түүний үүсэл, хөгжил, тархалт

Өвлийн цагт хөрс хөлдөх үед хөрсний ус шахагдан гадаргад гарах үзэгдлийг халиа гэнэ (*Д.Төмөрбаатар, 2004*). Харин гүнээс ундаран гарсан ус их талбайг эзэлж чадахгүй тэр хавьдаа товойж хөлдсөн байвал тошин болдог. Халиа бүрэлдэн тогтоход газрын доорх болон хөрсний ус хүйтний нөлөөгөөр аажмаар газрын гадаргад нэвтрэн гарч, үелэн хөлдөх үйл явцыг хэлдэг. Хөрсний халиа, нэг болон түүнээс олон булаг урсан гарч байвал булгийн халиа, голын голдрилын доороос нэвтрэн гарч голын голдрил, ан цавыг дагаж үүсэж байвал голын халиа гэж тус тус ялгадаг (*Pollard and van Everdingen,1992*). Монгол оронд тархсан халиаг гарал үүсэл, тэжээгдлийн горим, газарзүйн онцлог нөхцлийг нь харгалзан голын, хөрсний, булгийн, холимог халиа гэж ангилж үзсэн байна (*Н.Лонжид, С.Жамсран, Д.Лувсандагва*).

1. Голын халиа

Хүйтний улиралд газрын гадарга хөлдөж эхлэхэд хөрс чулуулагт агуулагдаж буй ус даралтад орж шахагдан хөрсний ан цавыг дагаж бялхан гарч голын голдрилд халиа үүсгэхийг хэлнэ.

2. Хөрсний халиа

Өвлийн хүйтэн эхлэхэд газрын гадарга хүчтэй хөлдөхөд цэвдэг давхаргын дээрх ус криостатик даралттай холбоотой чулуулгийн нүх сүв, ан цаваар шахагдан газрын гадарга дээр гарч ирэх байдлаар хөрсний халиа үүсдэг. Улирлын хөлдөлттэй сэвсгэр хурдасны доор ан цавгүй, ус нэвтрүүлдэггүй давхарга орших нөхцөлд энэхүү үзэгдэл цэвдэг чулуулгийн тархалтын хилийн гадна ч явагдаж болно. Энэхүү хэв шинжийн халиа голдуу хэмжээ багатай байх бөгөөд түүний хөгжил уст үеийн улирлын хөлдөлт явагдаж дуусах хүртэл үргэлжилнэ.

3. Булгийн халиа

Өндөр уулс болон голдуу цэвдэгт давхаргын доорх устай холбоотой, байнгын урсацтай булаг шандын эхэнд зарим тохиолдолд халиа үүсдэг. Энэ хэв шинжийн халиа агаарын

хасах температур тогтвортой хадгалагдах нөхцөлд бүрэлдэн тогтох учир оршин тогтнох үе нь хүйтний улирлын үргэлжлэх хугацаа, гадаргуугийн байдлаас голчлон хамаарна. Цэвдэг чулуулгийн үргэлжилсэн, тасалданги тархалтын бүсэд, мөн цэвдэг чулуулаг хөгжих нөхцөл харьцангуй муутай уулсын өвөр бэл хажууд булгийн халиа голчлон тохиолддог.

4. Холимог халиа

Газрын гадарга дээр бүрэлдэн тогтох мөсний хуримтлалын сэлбэг тэжээлд янз бүрийн гарал үүсэлтэй ус хам оролцох тохиолдолд холимог халиа үүсдэг. Өөрөөр хэлбэл холимог халианы тэжээгдлийн эх үүсвэр нь хөрс, гол, булгийн усны хосолмол гарал үүсэлтэй байна. Гол ба булгийн усаар нэгэн зэрэг тэжээгддэг гол-булгийн халиа ч зонхилно. Гарал үүслийн нийлмэл хослолтой халиа бүрэлдэн тогтож болох боловч ийм халиа харьцангуй ховор тохиолддог байна.

Халианы хэмжээ, эзлэхүүнийг харгалзан В.Г.Петров /1941/, А.С.Симаков /1947/, А.И.Калабин, О.И.Толстихин /1947/ нарын эрдэмтэн судлаачид халианы тархалтын зэргийн ангилалыг боловсруулсан байна (Хүснэгт 21).

Хүснэгт 21. Халианы хэмжээ, эзлэхүүний ангилал.

Халианы зэрэг	Халианы ангилал	Талбай м^2	Эзэлхүүн м^3
1-р зэрэг	Маш бага	$<10^4$	$<10^4$
2-р зэрэг	Бага	10^4 - 10^5	10^4 - 10^5
3-р зэрэг	Дунд	10^5 - 10^6	10^5 - 10^6
4-р зэрэг	Том	10^6 - 10^7	10^6 - 10^7
5-р зэрэг	Маш том	10^7 – 10^8	10^7 – 10^8
6-р зэрэг	Асар том	$>10^8$	$>10^8$

Харин Монгол орны газарзүйн онцлог нөхцлийг харгалзан халианы тархалтын талбай, эзлэхүүнээр нь бага (100 м^2-аас бага), багавтар (100-1000 м^2), дунд (1000-10000 м^2), том (10000 м^2-аас их) гэж 4 ангилж үзсэн байна (*Н.Лонжид*).

Мөн халиаг хөгжлийн динамик явцаар нь эхлэх, идэвхжих, алдрах үе гэж ангилж үздэг. Монгол оронд тархсан халиа нь ихэвчлэн 11-р сарын эхэн, дунд үед эхэлж 12–1 дүгээр сард идэвхжиж, 2 дугаар сарын сүүл 3-р сарын эхэн үед хөгжлийн бууралтын үе буюу халиа зогсонги байдалд орж, 4-5 дугаар сарын эхэн үед хайлдаг ерөнхий зүй тогтол ажиглагддаг.

2002-2004 онд Монгол, Японы хамтарсан судлаачид Тэрэлжийн хойд амны Шижирээгийн голын хөндийн халианы динамикийг судалж тархалтын талбай 17745 м^2, зузаан нь 0.56 м, эзэлхүүн нь 9934 м^3 болохыг тодорхойлсон байна (Хүснэгт 22). Түүнчлэн тус халианы эрчим нь температурын хэлбэлзэл, улирлын хөлдөлтийн гүн, хөрсний усны нөөц, хүний үйл ажиллагаа гэх мэт нөлөөллөөс хамаарч ихээхэн өөрчлөгддөг болохыг тогтоосон байна (*Д. Баттогтох*).

Хүснэгт 22. Тэрэлжийн хойд Шилжрээгийн амны халианы судалгааны үр дүн.

Тэрэлжийн Шижирийн амны халианы динамик					
Хугацаа		Талбай м^2	Дундаж зузаан,	Эзэлхүүн, м3	Тайлбар
2003	09.15	947	0.055	47719.49	Эхлэл
	10.17	1612	0.248	363967.24	
2004	01.18	4809	0.346	1515183.67	Эрчимжил
	02.03	5647	0.633	3251126.06	
	02.17	7372	0.600	4024444.06	
	03.03	10042	0.664	6067451.39	
	03.24	11602	0.685	7234537.31	
	04.16	17745	0.560	9039798.95	
	05.04	8056	0.421	3085886.44	Алдрал
	05.18	1198.4	0.122	133278.60	

4.1.1 Улаанбаатар хот орчмын халиа

Улаанбаатар хот орчимд Рашаант толгой, Сэлбийн зуун мод, Дарь-эх толгойн, Тэрэлжийн хойд амны, Улиастайн амны, Хөлийн голын, Сонгины харзан өндөр, Хүрхрээгийн амны гэх мэт халиа үүсдэг чийг намгархаг газрууд байдаг. Энэхүү сэдэвт ажлын хүрээнд Сэлбэ голын сав газар дахь Дарь эхийн горхины халианы судалгааны үр дүнгээс харуулав.

Энд нийтдээ 900.0 га талбайг засч эргэн тойрон хашаалсан байна (Зураг 27).

Зураг 27. Дарь-эхийн халианы булгийн эх орчим

Хээрийн хэмжилт судалгааг Дарь-эхийн халианд хийсэн бөгөөд судалгааны үр дүнг (Хүснэгт 23, 24)-т үзүүлэв. Дарь-эхийн халиа 11-р сарын сүүлээс эхлэн 2-р сарын сүүлч хүртэл идэвхжиж, 3-р сарын сүүлч хүртэл тогтворжиж, 4-р сарын сүүл 5-р сарын эхэн гэхэд хайлдаг.

Хүснэгт 23. Дарь-эхийн халианы хэмжилтийн үр дүн

Дарь-эхийн халиа, судалгааны талбай-1					
Халианы зүй тогтол	Сар өдөр	Урт /м/	Өргөн /м/	Зузаан /см/	Талбай /м^2/
Эхлэх үе	11.21-12.25	0-123	0-4.28	0-9	0-526
Идэвхжих үе	12.26-2.23	124-539	4.29-11.82	10-36	527-6370
Тогтворжих үе	2.23-3.31	540-550	11.83-14.64	36-55	6371- 8050
Хайлж урсах	4.01-4.20	-128	-4.8	-12	- 623

Хүснэгт 24. Дарь-эх овоо халианы хэмжилтийн үр дүн.

Дарь-эхийн халиа, судалгааны талбай-2					
Халианы зүй тогтол	Сар өдөр	Урт /м/	Өргөн /м/	Зузаан /см/	Талбай /м^2/
Эхлэх үе	11.21-12.25	0-861	0-10.21	0-12	0-14290
Идэвхжих үе	12.26-2.23	862-1769	10.22-16.82	13-40	14290-41594
Тогтворжих үе	2.23-3.31	1770-2616	16.83-20.85	41-68	41595- 54564
Хайлж урсах	4.01-4.20	-728	-9.83	-8	- 623

Улаанбаатар хотын хүн ам ихэссэний улмаас голын татам газар айл өрхүүд ихээр суурьших болсон нь халианд автах эрсдэл өндөр болж байна. (Зураг 28). Хөрс нь тодорхой хэмжээний усыг өөртөө агуулж байдаг. Дарь-эхийн халиа бүхий чийг намгархаг газрын хөрсний байгалийн чийгийн хэмжээг (Хүснэгт 25)-д үзүүлэв.

Зураг 28. Дарь-эхийн халиа орчим, халианд автсан айл.

Хүснэгт 25. Халиа орчмын хөрсний байгалийн чийг.

Гүн /см/	Бюксны №	(g0)	(g1)	(g2)	W
10	18	14.6	52.7	38.3	60.7
20	12	14.6	59.8	45.8	44,8
30	14	15.3	67.1	56.1	26.9
40	4	14.6	68.9	52.3	44.0

Халиа орчмын ул хөрсний сүвшилт 40-45%, ус нэвтрүүлэх чадвар 0.5-1.0 м/хоног, булгийн ундарга 0.032 м^3 /сек, хөрсний усны түвшин 0.8 м байна. Халиа эхлэх үеэс алдрах үе хүртлэх хугацааны саруудын дундаж агаарын температур -13 ^{o}C, жилийн дундаж агаарын температур 0.1 ^{o}C, жилийн дундаж хур тунадас 260 мм байна (*УБ станцын 2013-2014 оны мэдээ*). Дарь-эхийн халианы тархалтын талбай эхний хэсэгт 8050 м^2, хоёр дахь хэсэгт 54564 м^2 нийт 62614 м^2 талбайд тархаж байна. 1981 онд Дарь-эхийн халиа 65088 м^2 талбайд тархаж, эзлэхүүн нь 325443 м^3 болохыг тогтоосон байдаг (*С.Жамсран*). Харин 2015-2016 оны судалгааны үр дүнд тус халианы эзлэхүүн нь эхний талбайд 2415 м^3, хоёр дахь талбайд 32738 м^3, нийт 35153 м^3 болно. Халианд агуулагдах усны хэмжээг тооцож үзвэл нийт 31153 м^3 болж байна. Дарь-эхийн халианы 1981 болон 2016 оны мэдээг харьцуулан үзэхэд талбай төдийлөн өөрчлөгдөөгүй ч эзлэхүүний хэмжээ бараг 89.2% -иар багассан байна.

4.2 Олон жилийн ба улирлын бөөрөг

Ул хөрс хөлдөхдөө эзлэхүүнээ тэлэн, гадаргын гүдгэр хэлбэрийг үүсгэх үзэгдлийг ерөнхийд нь "ул хөрсний овойлт" гэдэг. Хөрсний овойлтыг хэлбэр, хэмжээнээс нь хамааран өөр өөрөөр нэрлэх нь бий. Хамгийн түгээмэл нэршил нь "бөөрөг" юм. Бөөргийг цаг хугацааны хувьд улирлын болон олон жилийн гэж ангилна. Улирлын бөөрөг нь өвлийн цагт булаг шандын ойролцоо чийгээр ханасан шавар, шавранцар хөрсөнд үүсдэг. Зуны цагт гэсэж алга болдог онцлогтой. Олон жилийн бөөрөг нь Хангайн нурууны ар бие , Тэсийн голын эх, Чулуутын голын хөндий, Цэцэг нуур, Налайхын хотос, Олгой нуурын хөндий, Дархадын хотгор зэрэг цэвдгийн үргэлжилсэн болон тасалданги тархалттай газарт, томоохон нууруудын шавранцар ул хөрсөнд ганц нэгээрээ болон бүлэг байдалтай тархсан байдаг. Дээрх бөөргүүдийн мөсөн цөм нь янз бүрийн гүнд оршдог. Булаг, намагтай газарт тохиолдох бөөргийн мөсөн цөм гүний устай холбоотой. Н.Шархүүгийн тэмдэглэснээр Тэсийн голын хөндийн Мөнгөтийн бөөргийг өрөмдөхөд цэвдгийн зузаан 32 метр хүрч олгойдон гарч байгаа ус гадаргаас 1.2 м өндөр хүрч, усны температур 0.15 ºC байжээ. Энэ нь бөөргийн мөсөн цөм ба цэвдэг хоёрын хооронд орших ус маш өндөр даралтад байсныг гэрчилнэ.Хөвсгөл аймгийн Сангийн далай нуурын зүүн хойд хажууд байгаа бөөрөг нь Монгол орны хамгийн том бөөрөг бөгөөд өндөр нь 40 м, голч нь 200 м урт байна. Мөн дээр дурдсан нутгуудад хүлэржсэн бөөргүүд(palsa) элбэг байх ба өндөр нь 3-5 м, суурийн голч 20-40 м хүрнэ. Хүлэрлэг бөөрөг нь хөөмтгий , дээд хэсэгтээ хүлэрлэг бүрхэвчтэй бөөрөг гэж хоёр янз байна. Тэс, Шаргын голын хөндий дэх олон жилийн бөөргийн 10-15 м гүний температур -1.5°C -ээс -2.5ºC байжээ (*Д.Лувсандагва, Хангай-Хөвсгөлийн уулархаг мужийн олон жилийн цэвдэг чулуулаг,1978)*. Олон жилийн бөөргийг гарал үүслээр нь нээлттэй системийн, хаалттай системийн гэж ангилдаг. Нээлттэй системт бөөрөг нь газар доорх усаар тэжээгдэн хөлдөж овойхдоо дотроо мөсөн цөмтэй болсон байдаг. Хаалттай системт бөөрөг нь цэвдгийн аградацийн үед нуурын ёроолын гэсгэлэн давхарга хоорондын ус хөлдөж, мөсөн цөм үүсгэн хэлбэржсэн байдаг. Олон жилийн бөөргийн харьцангуй өндөр дунджаар 5-20 м, голч нь 50-100 м хүрдэг бол улирлын бөөргийн харьцангуй өндөр 0.5-1 м, голч нь 1-2 м байдаг*(Д.Төмөрбаатар, "Монгол орны улирлын ба олон жилийн цэвдэг чулуулаг", 2004).*

Монгол орны бөөргийн судалгааг Н.Шархүү, Р.Ломборинчен, Я.Жамбалжав, Бабинский, Ёшикава, Ишикава тэргүүтэй эрдэмтэн судлаачид тусгайлан судалж, эрдэм шинжилгээний өгүүлэл нийтлүүлж байжээ.

4.2.1 Бөөргийн судалгааны үр дүн

2015 онд Японы Хоккайдогийн их сургуулийн эрдэмтэн доктор М.Ишикава, Монголын ШУА-ийн ГГХ-ийн эрдэмтэн доктор Я.Жамбалжав нарын хамтарсан "Монголын умард хэсэг дэх Арсайн бөөргийн үүслийн цаг хугацааны судалгаа" нэртэй өгүүлэл "PERMAFROST and PERIGLACIAL PROCESSES" цэвдэг судлалын мэргэжлийн сэтгүүлд хэвлэгдсэн. Бид энэ хэсэгт дээр дурдсан өгүүллийн зарим үр дүнгээс орууллаа.

Цэвдгийн температурын мониторингийн шинжилгээний үр дүн

Монгол орны цэвдгийн үргэлжилсэн болон тасалданги тархалттай бүслүүр дэх бөөргүүдийн гүний температурын ерөнхий хандлагыг график 29-т харуулав.

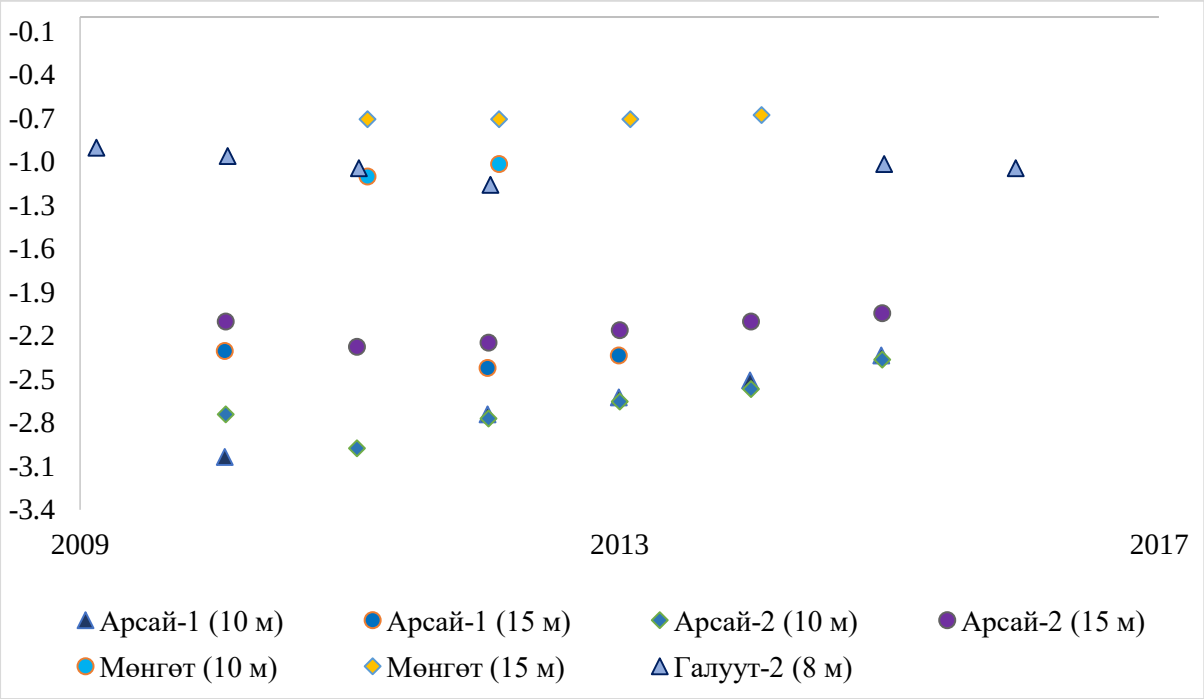
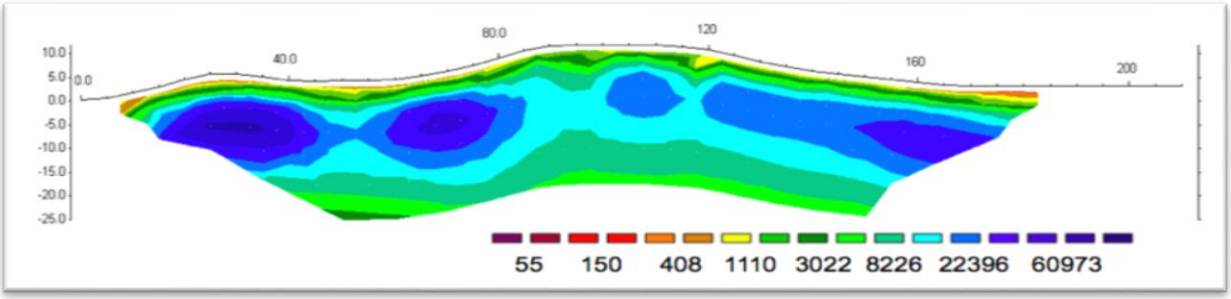


График 30. Бөөргүүдийн гүний температурын хандлага.

Дархадын хотгорын үргэлжилсэн тархалттай цэвдгийн бүслүүр дэх Арсайн голын Арсай-1, Арсай-2 бөөргийн 10 ба 15 м, Тэсийн голын хөндий дэх Мөнгөтийн бөөргийн 10 болон 15 м, Олгой нуурын хөндий дэх Галуут-2 бөөргийн 8- м ийн гүний температур ерөнхийдөө дулаарч байна. Чулуутын бөөргийн 15 м-ийн гүний температур 1969 онд -0.72 ºC, 2002 онд -0.47 ºC буюу 0.008 ºC/жилээр дулаарсан байна.

Цахилгаан эсэргүүцлийн томограф үр дүн

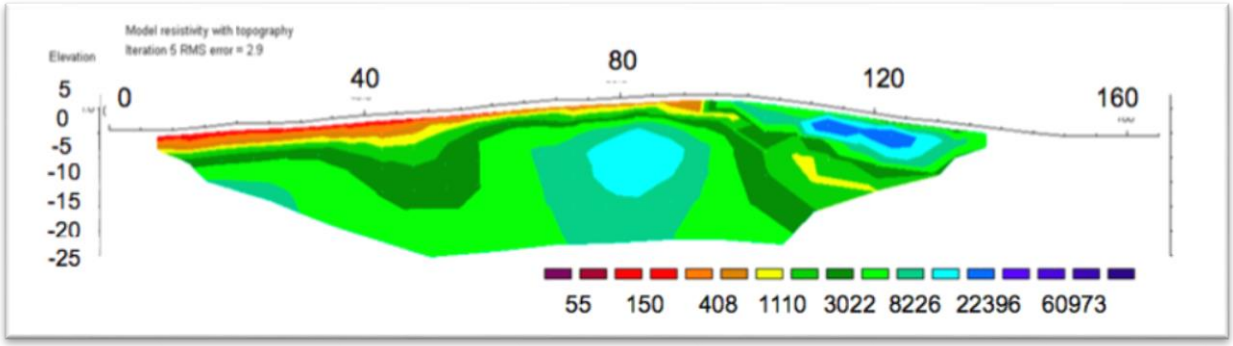
Арсай-2 бөөргийн цахилгаан эсэргүүцлийн утга гадарга орчимд 400-5000 [Ω м], 5-м ээс эхлэн 25 м-ийн гүнд 9000-80000 [Ω м] байна. Бөөргийн баруун хэсэгт жижиг товгорт цахилгаан эсэргүүцлийн хамгийн их утга буюу 70000-80000 [Ω м] байлаа(Зураг 29).



Зураг 29. Арсай-2 бөөрөгт хийсэн геофизикийн зүсэлтийн цахилгаан эсэргүүцлийн утга 166-240824 [Ω м]

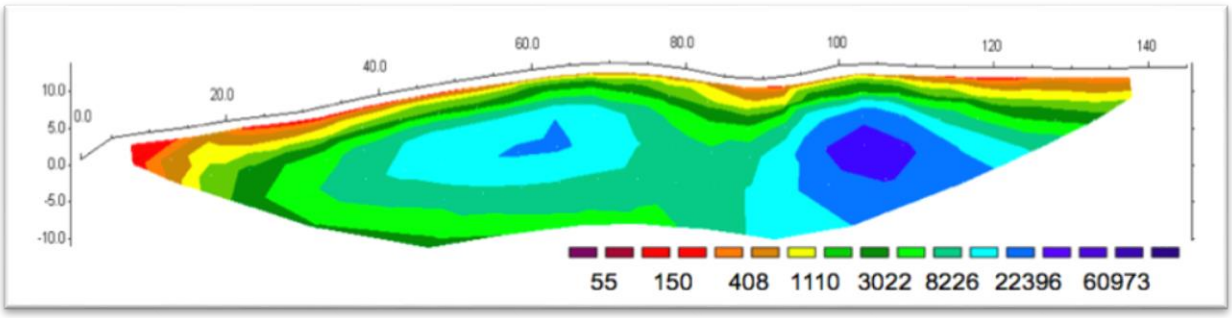
Цооногийн өрөмдлөгийн мэдээнээс үзэхэд хөлдүү шавранцар, мөс бүхий хэсэгт цахилгаан эсэргүүцлийн хамгийн их өндөр байна.

Чулуутын голын хөндий бөөргийн геофизикийн хэмжилтийн мэдээнээс үзэхэд цахилгаан эсэргүүцлийн утга Дархадын хотгорын бөөргүүдтэй харьцуулахад хоёр дахин бага байна(Зураг 30). Мөн Чулуутын бөөргийн 15- м-ийн гүний температурын утга -0.47ºC байгаа нь Арсайн бөөргөөс 1.9 ºC- ээр дулаан байна. Цэвдгийн температур нэмэгдэх тусам цахилгаан эсэргүүцлийн утга буурах зүй тогтолтой байна.



Зураг 30. Чулуутын бөөрөгт хийсэн геофизикийн зүсэлтийн цахилгаан эсэргүүцлийн утга 100- 128811 [Ω·м]

Хангайн нурууны өвөр, Олгой нуурын орчим дахь бүлэг бөөргийн нэг нь болох Галуут-2 бөөргийн хувьд цахилгаан эсэргүүцлийн утга үргэлжилсэн тархалттай цэвдгийн бүслүүр дэх Арсай, Чулуутын бөөргүүдээс 8-10 дахин бага байна(Зураг 31).

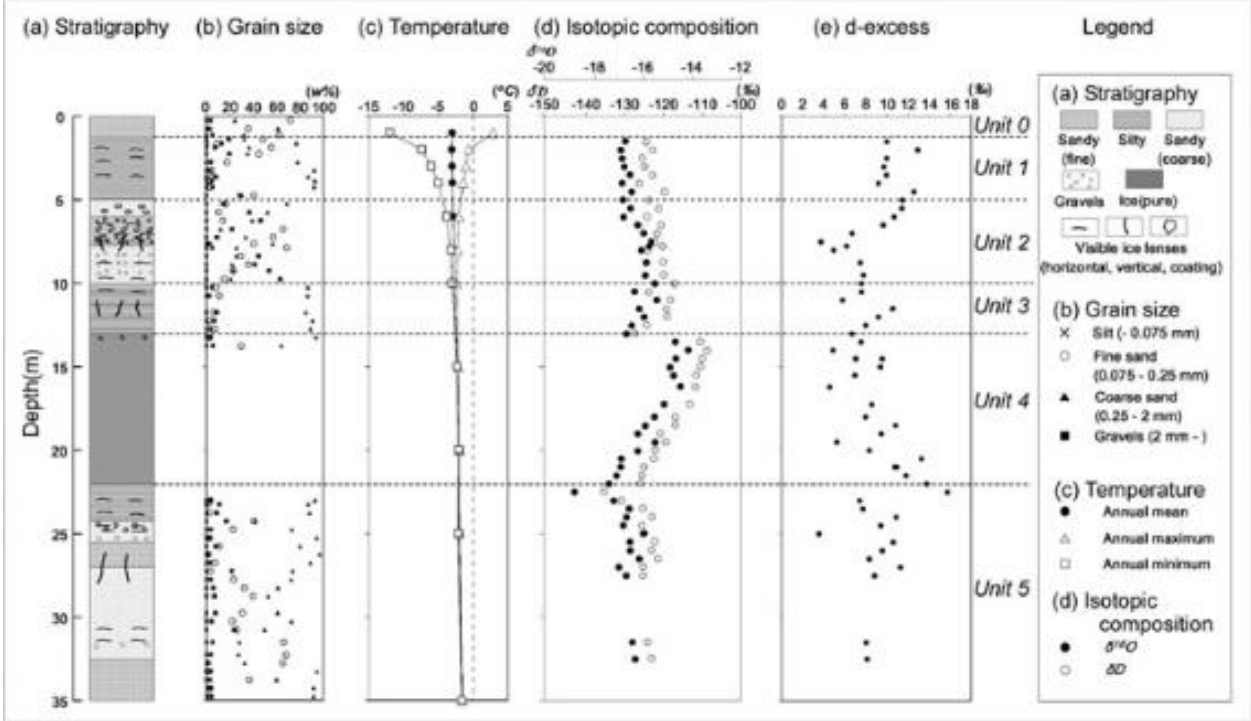


Зураг 31. Галуут-2 бөөрөгт хийсэн геофизикийн зүсэлтийн цахилгаан эсэргүүцлийн утга 158-15241 [Ω·м]

Тогтвортой изотопын судалгааны үр дүн.

Арсай-2 бөөргийн 35 м-ийн цооногоос авсан дээжийг 0-5 м, 5-10 м, 10-12.5 м, 12.5-22.5 м, 22.5м- 35.0 м хооронд 5 хэсэг болгон хуваасан. D ба ^{18}O –ын “δ” утгыг тодорхойлсноор бөөргийн үүслийн явцыг тодорхойлох боломжтой болсон.

Изотопын шинжилгээгээр 4 дэх хэсгийн мөс хаалттай системийн даралтад орших ус хөлдөхөд, 1 болон 2 дах хэсгийн тусгаарлагдсан мөс хур тунадасны ус хөлдөхөд тус тус бүрэлдсэн болохыг тодорхойллоо (Зураг 32).



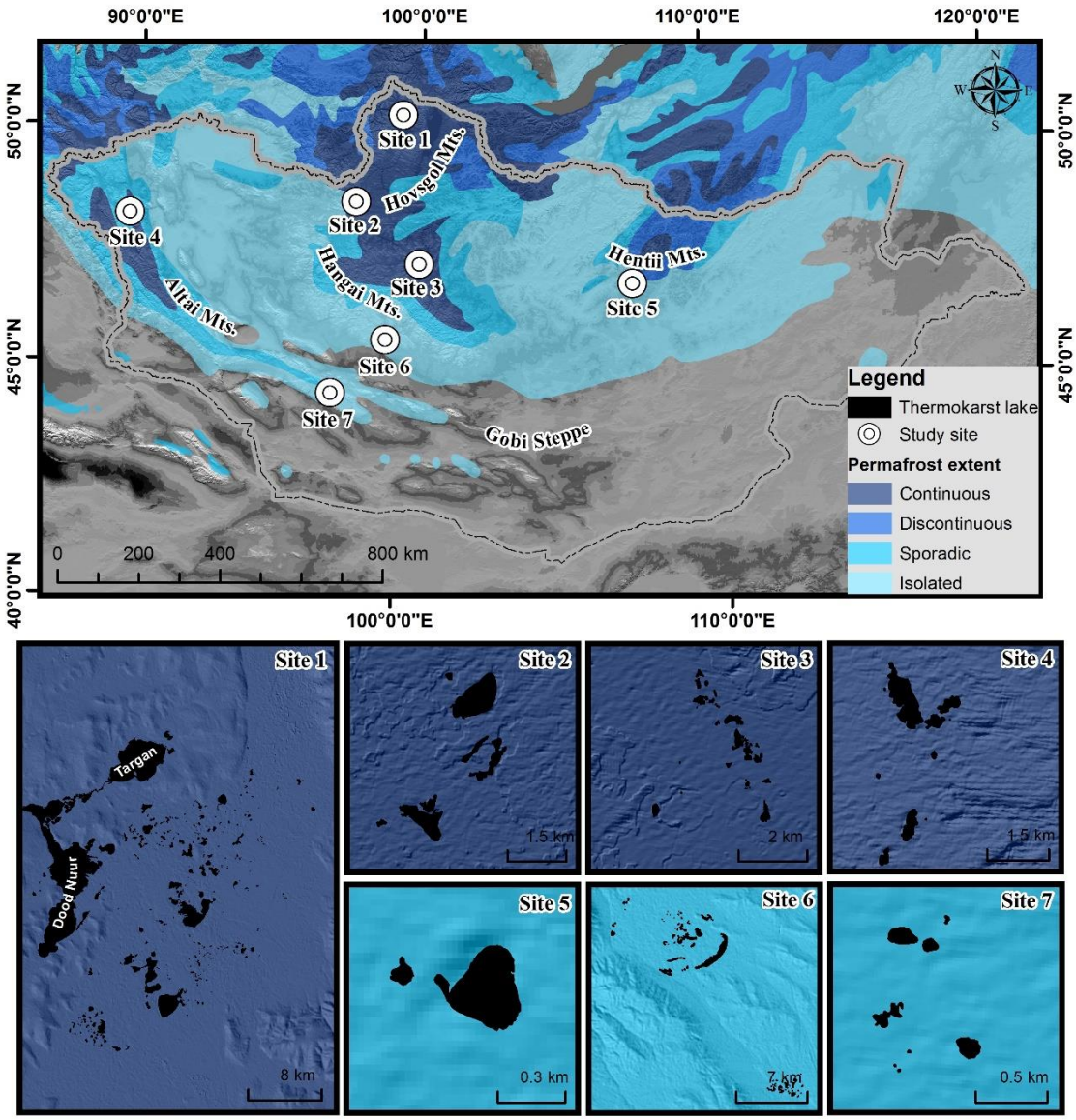
Зураг 32. Арсайн бөөргийн давхарга зүй, ширхгийн бүтэц, температур, изотопын харьцаа, D утга.

Бөөргийн өрөмдлөгийн дээжээс авсан органик гаралтай ялзмаг, модны насыг C^{14}-ын изотопоор тооцоолоход 4509 ± 26 жилийн настай болохыг тогтоолоо(*М.Ишикава, Я.Жамбалжав, 2015*).

4.3 Термокарстын нуурын судалгаа

Монгол орны үргэлжилсэн болон алаг цоог тархалттай цэвдгийн бүслүүрийн хооронд дулааны хөндийлжийн гаралтай нуурын талбайн өөрчлөлт эрс ялгаатай болох нь ажиглагдсан. Цэвдгийн үргэлжилсэн тархалттай бүслүүрт (сайт 1 – 4) 1962 – 2007 оны хооронд нийт нуурын тоо 73 – аар, нуурын талбай 256 га – аар өссөн бол алаг цоог тархалттай бүслүүрт (сайт 5 – 7) нийт нуурын тоо 50 – аар, нуурын талбай 51 га – аар буурсан үзүүлэлт ажиглагдсан (Хүснэгт 26).

Бид цэвдгийн үргэлжилсэн тархалттай бүслүүрт нуурын талбай ба тоон өсөлт бууралтыг тодорхойлоход харилцан адилгүй өөрчлөлтүүд ажиглагдсан. Нэгдүгээр сайтад 1999 онд 142 га талбай хамарсан бүхий 53 нуур, 2006 онд 24 га талбай хамарсан бүхий 56 нуур шинээр ажиглагдсан бол дөрөвдүгээр сайтад цөөхөн үүссэн байна. Эдгээр сайтад нуурын тоо болоод талбай өссөн нь цэвдгийн хайлалтаас үүссэн шинэ нууруудтай холбон тайлбарлаж болно.



Зураг 33. Монгол орны цэвдгийн тархалттай бүсүүд дэх термокарстын нууруудын судалгааны цэгүүд. Нуурын гадаргын усны талбайг 1962-1968 оны Corona хиймэл дагуулын мэдээгээр тодорхойлж, хар өнгөөр үзүүлэв (Saruulzaya et al., 2016).

Хүснэгт 26. Үргэлжилсэн болон алаг цоог тархалттай цэвдгийн бүслүүр дэх нуурын өөрчлөлт.

Цэвдгийн бүс	Судалгааны сайт	1962-1968		1999-2001		2006-2007	
		Нуурын тоо	Нуурын талбай га	Нуурын тоо	Нуурын талбай га	Нуурын тоо	Нуурын талбай га
Үргэлжилсэн	1	296	3350	350	3612	371	3651
	2	7	161	7	141	7	122
	3	34	59	30	47	29	39
	4	10	110	13	119	13	124
	Нийт	347	3680	400	3919	420	3936
Алаг цоог	5	2	7	1	5	1	1
	6	108	409	73	371	64	367
	7	8	6	3	4	3	3
	Нийт	118	422	77	380	68	371

Шинээр ажиглагдсан нууруудын ихэнх нь 10 га – аас бага талбайтай байсан бол хамгийн том нь 113 га талбайтай нуур тохиолдсон. Энэ нь тухайн газрын цэвдгийн онцлог буюу мөсжилт их, гэсэлтийн гүн бага зэрэгтэй холбоотой. Дулааны хөндийлжийн гаралтай нуурын тоон болон талбайн дүн шинжилгээний үр дүнгүүд нь нуурын динамик өөрчлөлтийг ойлгоход чухал ач холбогдолтой юм.

Үргэлжилсэн тархалттай цэвдгийн бүслүүр дэх нуурын өөрчлөлтийн үр дүнг нэгтгэн дүгнэхэд 0.1-1 га талбай бүхий 1962-1968 онд нууруудын тоо 95 буюу 48 га- аар, 1999 онд 111 буюу 73 га- аар, 2006 онд 117 буюу 77 га- аар тус тус нэмэгджээ (Хүснэгт 27).

Хүснэгт 27. Цэвдгийн үргэлжилсэн тархалттай бүслүүр дэх нуурын өөрчлөлт.

Нуурын талбайн ангилал (га)	1962-1968		1999-2001		2006- 2007	
	Нуурын тоо	Нуурын талбай (га)	Нуурын тоо	Нуурын талбай (га)	Нуурын тоо	Нуурын талбай (га)
0.1-1	95	48	111	73	117	77
1-10	187	655	221	849	234	870
10-100	61	1928	63	1861	64	1837
100-1000	4	1049	5	1136	5	1152

Алаг цоог тархалттай цэвдгийн бүслүүрт, судалгааны 5-р сайтад 1962 – 1968 онд 2 нуурыг шинээр үүсэснийг ажигласан бөгөөд 1999 он гэхэд 1 нь ширгэжээ. 1692 – 1968 оны хооронд нийт 422 га бүхий 118 нуур дүрслэгдсэн байна. 1999 он гэхэд тэдгээр нуурын тоо 35 хувиар буурч, 2006 онд 42 хувиар багассан байна. Алаг цоог тархалттай цэвдгийн бүслүүрт сүүлийн 45 жилд нуурын нийт талбай 12 хувиар буурчээ (Хүснэгт 28).

Хүснэгт 28. Цэвдгийн алаг цоог тархалттай бүслүүр дэх нуурын өөрчлөлт.

Нуурын талбайн ангилал (га)	1962-1968		1999-2001		2006- 2007	
	Нуурын тоо	Нуурын талбай (га)	Нуурын тоо	Нуурын талбай (га)	Нуурын тоо	Нуурын талбай (га)
0.1-1	81	25	42	21	34	20
1-10	30	104	29	98	28	96
10-100	6	112	5	110	5	108
100-1000	1	181	1	151	1	147

Дулааны хөндийлжийн нуурууд тасалданги болон алаг цоог тархалттай цэвдгийн бүслүүрт уур амьсгалын дулаарал болон цэвдгийн алдралаас шалтгаалан ширгэж, алдардаг.

ДҮГНЭЛТ

1. Монгол орны хэмжээнд цэвдгийн тархалтын загварчлалын шинэлэг, дэвшилтэт аргазүй болох TTOP загварыг амжилттай ашиглаж, цэвдгийн тархалтын шинэ зураг зохиосон бөгөөд үр дүнгийн таарц нь 90%-тай байсан.
2. 1971 оны Геокриологийн зурагт харуулснаар Монгол орны нийт газар нутгийн 63%-д тасалданги, алаг цоог хэлбэрийн цэвдэг тархаж байсан бол 2016 онд 29.3% болж буурсан. Өөрөөр хэлбэл сүүлийн 45 жилийн хугацаанд цэвдэг тархах боломжит талбайн хэмжээ 50 гаруй хувиар багассан байна. Харин цэвдэг тархах боломжит хувь хэмжээг ашиглан тооцоолвол цэвдэгтэй талбай 5%-аар багассан.
3. Монгол оронд цэвдэг тархах боломжит талбайг бүс нутаг тус бүрээр илэрхийлбэл Монгол Алтайд 4.3%, Говь-Алтайд 0.6%, Хангайд 11.2%, Хэнтийд 6.8%, Хөвсгөлд 6.2% талбайг тус тус эзлэнэ.
4. Цэвдгийн тархалтын доод хилийн өндөр Монгол Алтай, Говь-Алтайн уулархаг бүс нутагт өндөр, зүг зовхис, хөрс чулуулгийн шинж чанараас хамаарах бөгөөд уулархаг нутгийн хувьд өндөр давамгайлах хүчин зүйл болдог. Хангай, Хэнтий, Хөвсгөлийн уулархаг бүс нутагт зүг зовхис, газарзүйн байрлал, газрын бүрхэвч, хөрс чулуулгийн шинж чанар зэргээс хамаардаг. Монгол Алтайн Хархираа-Түргэний уулсад 1850-2010 м, Алтай Таванбогд, Цамбагарав уулсад 2130-2220 м, Мөнххайрхан, Хөх Сэрхийн нуруунд 2160-2400 м, Сутай, Алаг хайрхан уулсад 2500-2700 метрийн өндөрт цэвдгийн доод хил тус тус тохиолдох бөгөөд эдгээр газруудад өргөрөгийн зүй тогтол хүчтэй илэрч байна. Мөн Говь-Алтайн Хантайшир, Гичгэний нуруунд 2550-2620 м, Их Богдын нуруунд 2550-2680 м, Аж Богдын нуруунд 2700-2800 метрийн өндөрт тус тус тохиолдоно. Харин Хангайн уулархаг бүс нутгийн хувьд Хан Хөхийн нуруунд 1400-1900 м, Хангайн нурууны баруун хэсэгт 1900-2000 м, өвөр хэсэгт 2000-2200 м, зүүн хэсэг болон Орхон-Сэлэнгийн бэсрэг уулсад 1400-1800 метрийн өндөрт, Хэнтийн баруун хойд хэсэгт 800-900 м, баруун хэсэгт 900-1300 м, өвөр хэсэгт 1400-1600 м, зүүн, зүүн хойд хэсэгт 1000-1200 метрийн өндөрт тус тус байна. Хөвсгөлийн уулархаг бүс нутаг урд хэсгээрээ Хангайн уулархаг бүс нутагтай хиллэх бөгөөд бусад талаараа улсын хилд тулна.
5. 2016 оны байдлаар цэвдгийн тархалтын боломжит талбайн хэмжээ 29.3%-тай байсан бол цэвдгийн тархалтын ирээдүйн хандлагыг TTOP загварчлалаар 2050, 2090 онуудад энэ тоо 21.5%, 16.2% болж тус тус багасах хандлагатай байна. Ирээдүйн хандлагыг загварчлахдаа ургамал болон цасан бүрхэвч, хөрсний дулааны үзүүлэлтийг тогтмол 2016 оны мэдээгээр авч, температурын өөрчлөлтийг гол хувьсагч болгон ашигласан болно.
6. Сүүлийн 45 жилийн хугацаанд цэвдгийн үргэлжилсэн тархалттай бүсэд нийт 85 нуур шинээр (166 га) үүссэн бөгөөд энэ термокарстын нуурын урт хугацааны өөрчлөлттэй шууд хамааралтай байсан. Харин эсэргээрээ тасалданги, тохиолдлын тархалттай цэвдэгт бүсэд 1962-2007 оны хооронд нуурын тоо болон талбай −42% (118-68), −12% (422 га – 371 га)-иар буурсан. Энэхүү өөрчлөлт нь уур амьсгал болон тухайн газрын цэвдгийн нөхцөлүүдээс хамаарч байсан. Учир нь 1962 оноос хойш жилийн дундаж агаарын температур, боломжит ууршилт үргэлжилсэн тархалттай цэвдэгт бүсэд тохиолдлын тархалттай бүстэй харьцуулахад илүү өссөн үзүүлэлтэй гарсан. Иймд уур амьсгалын дулаарлын нөлөөгөөр газрын доорх мөсжилт ихтэй цэвдэг гэсэлтэнд орсноор үргэлжилсэн

тархалттай цэвдэгт бүсэд нуурын тоо болон талбай өссөн. Тохиолдлын тархалттай цэвдэгт бүсэд термокарстын нуурын ширгэлтийн үр дүн нь магадгүй устаж алга болж байгаа цэвдэг, гадаргын усны ууршилт болон газрын доорх усны нэвчилтийн нөлөөлөөс хамаарсан байх боломжтой.

7. Бөөргийн гүний температур нэмэгдэхэд түүний хувийн цахилгаан эсэргүүцэл буурах зүй тогтол ажиглагдаж байсан. Өөрөөр хэлбэл хойд бүс нутгийн бөөргийн мөсний цахилгаан эсэргүүцэл өндөр, өмнөд бүс нутгийн бөөргийн мөсний цахилгаан эсэргүүцэл харьцангуй бага байсан. Тэсийн голын хөндийн Мөнгөтийн бөөрөг нь хагас хаалттай системийн бөөрөг бол Дархадын хотгорын бөөргүүд нь хаалттай системийнх болно.
8. Халиа, тошин нь газрын доорх усны нөөцийн нэг индикатор болох бөгөөд түүний талбай, хэмжээ багасаж байгаа нь газрын доорх усны нөөц багасаж буйн нэг тод илрэл юм. Сүүлийн жилүүдэд халиа тошин үүсэх давтамж болон түүний талбайн хэмжээ нь эрс багассан. Тэрэлжийн голын хөндийн Шилжрээгийн амны халиа багассан төдийгүй зарим жил үүсэхгүй тохиолдол ажиглагдах болсон. Үүнээс гадна Дарь Эхийн булгийн халиан хэмжээ эрс багассан.
9. Монгол орны хэмжээнд цэвдгийн алдрлын эрчим идэвхтэй байгааг цэвдгийн тархалтын зураг, термокарстын нуурын судалгаа, сүүлийн үеийн мониторинг хэмжилтээр батлан харуулсан бөгөөд цаашид энхүү үйл явцын үр дүн, нөлөөлөл, тэдгээрийн тархалтыг нарийвчлан судлах шаардлагатай байна.
10. Цэвдгийн оршин байх нөхцлийг байгалийн янз бүрийн хүчин зүйлсээс хамааруулан тухайн газар нутгийн хэмжээнд нарийвчлан тодорхойлох, зам, барилга, инженерийн бүтээн байгуулалтад цэвдгийн нөлөөллийг тооцоолох, термокарстын нуур болон цэвдэгт бүс нутгаас ялгарах хүлэмжийн хийн судалгааг нарийвчлан хийх зайлшгүй шаардлагатай. Учир нь цэвдгийн гэсэлтээс ялгарах хүлэмжийн хий нь уур амьсгалын дулаарлыг эрчимжүүлэх нөлөөтэйг эрдэмтэд тогтоосон. Иймд эдгээр судалгааны ажлыг олон түвшинд загварчлах, зураглах ажлыг цаашид хийж гүйцэтгэх шаардлагатай юм.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

1. Ч.Авдай, Д.Энхтуяа "Судалгаа шинжилгээний ажил гүйцэтгэх аргазүй" Улаанбаатар 2010.
2. Д.Амарсайхан, М.Ганзориг "Газарзүйн мэдээллийн системийг байгалийн нөөцийн менежментэд ашиглах зарчмууд" Улаанбаатар 2010.
3. Я.Жамбалжав, "Уулархаг нутгийн олон жилийн цэвдгийн зураглалд загварчлалын аргыг хэрэглэх боломж" Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар. (PhD диссертац) 2009.
4. Benali, A.C Carvalho, J.P Nunes, N. Carvalhais, A. Santos, "Estimating air surface temperature in Portugal using MODIS LST data". Remote Sens. Environ. 2012, 124, 108–121.
5. W.L Crosson, M.Z Al-Hamdan, S.N.J Hemmings, G.M Wade, "A daily merged MODIS Aqua–Terra land surface temperature data set for the conterminous United States". Remote Sens. Environ. 2012, 119, 315–324.
6. L.Delucchi, "PyMODIS documentation" 2015.
7. S.Hachem, M. Allard, and C.R Duguay, "Comparison of MODIS-derived land surface temperatures with ground surface and air temperature measurements in continuous permafrost terrain" The Cryosphere, 6, 51–69, 2012.
8. T.Hengl, G.B.M Heuvelink, M. Perčec Tadić, E.J Pebesma, "Spatio-temporal prediction of daily temperatures using time-series of MODIS LST images". Theor. Appl. Climatol. 2011, 107,265–277.
9. P.Jö nsson, L. Eklundh "Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data". IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2002, 40, 1824–1832
10. S.Lin, N.J.Moore, J.P.Messina, M.H. DeVisser, J.Wu "Evaluation of estimating daily maximum and minimum air temperature with MODIS data in east Africa". Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 2012, 18, 128–140
11. M.Metz, R. Duccio, M. Neteler, "Surface Temperatures at the Continental Scale: Tracking Changes with Remote Sensing at Unprecedented Detail" Remote Sens. 2014, 6, 3822-3840; doi:10.3390/rs6053822
12. MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document 1999
13. M.Neteler, "Estimating daily Land Surface Temperatures in mountainous environments by reconstructed MODIS LST data". Remote Sens. 2010, 2, 333–351.
14. M.Neteler, B.H.Bowman, M.Landa, M.Metz "GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS". Environ. Model. Softw. 2012.
15. M.Neteler, D.Roiz, D. Rocchini, C. Castellani, A. Rizzoli "Terra and Aqua satellites track tiger mosquito invasion: modelling the potential distribution of Aedes albopictus in north-eastern Italy" International journal of health geographics 2011.doi:10.1186/1476-072X-10-49
16. R Development Core Team. R Development Core Team R: A Language and Environment for Statistical Computing; R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria, 2009
17. G.J.Roerink, M.Menenti, W.Verhoef "Reconstructing cloudfree NDVI composites using Fourier analysis of time series". Int. J. Remote Sens. 2000, 21, 1911–1917.

18. D.J.Rogers, S.I.Hay, M.J. Packer “Predicting the distribution of tsetse flies in West Africa using temporal Fourier processed meteorological satellite data”. Ann. Trop. Med. Parasitol. 1996, 90, 225-241.
19. J.P.Scharlemann, D. Benz, S.I. Hay, B.V Purse, A.J Tatem, G.R Wint, D.J. Rogers, “Global data for ecology and epidemiology: A novel algorithm for temporal Fourier processing MODIS data”. PLoS One 2008, 3, doi:10.1371/journal.pone.0001408.
20. USGS EROS center “MODIS reprojection tool user’s manual” 2011.
21. Z.Wan et al., “MODIS Land-Surface Temperature User Guide” 2006.
22. Z.Wan et al., “MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document” 1999.
23. S.Westermann, M. Langer, and J. Boike, “Spatial and temporal variations of summer surface temperatures of high-arctic tundra on Svalbard – Implications for MODIS LST based permafrost monitoring”, Remote Sens. Environ., 115, 908–922, doi:10.1016/j.rse.2010.11.018, 2011
24. Tarnocai, C., Canadell, J.G., Schuur, E.A.G., Kuhry, P., Mazhitova, G. and Zimov, S. (2009). *Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region.* Global Biogeochem. Cycles, 23, doi:10.1029/2008GB003327
25. Жамбалжав Я, Гансүх Я, Тэмүүжин Х, Цогт-Эрдэнэ Г, Ундрахцэцэг Ц, Саруулзаяа А. Амарбаясгалан Ё, Дашцэрэн А, Нарангэрэл Ш. (2016). Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураг, масштаб 1:1000 000.
26. Азийн хөгжлийн банк. (2016). Авто замын салбарын хөгжил-2016, Авто замын салбарын чадавхийг бэхжүүлэх хөтөлбөрийг тайлан.
27. Dashtseren A. (2014). Studies on the ground temperature regimes under a forest-steppe mosaic in the area of discontinuous permafrost, Mongolia. Hokkaido University, Sapporo, Japan (PhD thesis).
28. Жамбалжав Я, Ванчиг, Дашцэрэн А, Саруулзаяа А, Жаргалтулга Ц, Жавхлан Б, Нарангэрэл Ш. (2010). Олон жилийн цэвдгийн тархалт, горим, криоген үйл явцын судалгаа, Сэдэвт ажлын эрдэм шинжилгээний тайлан. ШУА, Газарзүйн хүрээлэн
29. Zhang T, Barry RG, Knowles K, Heginbottom JA, Brown J. (2008). Statistics and characteristics of permafrost and ground-ice distribution in the Northern Hemisphere, Polar Geography, 31:1, 47-68.
30. Уур амьсгалын өөрчлөлтийн үнэлгээний хоёрдугаар илтгэл- 2014. (2014). Монгол улсын Байгаль орчин, ногоон хөгжлийн яам.
31. Д.Лувсандагва, Хангай-Хөвсгөлийн уулархаг мужийн олон жилийн цэвдэг чулуулаг, 1978*)*.
32. Д.Төмөрбаатар, “Монгол орны улирлын ба олон жилийн цэвдэг чулуулаг”, 2004.
33. Hauck C, Vonder MD. 2003. Evaluation of geophysical techniques for application in mountain permafrost studies Geophysical Methods in Geomorphology Schrott L, Hoerdt A, Dikau R (eds).Zeitschrift für Geomorphologie Supplement 132:161–170.
34. Loke MH, Baker RD. 1995. Least-squares inversion of apparent resistivity pseudo sections. Geophysics 60: 1682–1690.
35. Ishikawa M, Watanabe T, Nakamura N. 2001.Genetic differences of rock glacier and the discontinuous mountain permafrost zone in Kanchanjunga Himal, eastern Nepal. Permafrost and Periglacial Processes 12:243–253.

36. Yoshikawa K, Leuschen C, Ikeda A, Harada K, Gogineni P, Hoekstra P, Hinzman L, Sawada Y, Matsuoka N. 2006. Comparison of geophysical investigations for detection of massive ice (pingo ice). Journal of Geophysical Research 111: E06S19.
37. Fritz M, Wetterich S, Meyer H, Schirmeister L, Lantuit H, Pollard WH. 2011. Origin and characteristics of massive ground ice on Herschel Island (Western Canadian Arctic) as revealed by stable isotope and hydrochemical signatures. Permafrost and Periglacial Processes 22:26–38. DOI: 10.1002/ppp714.
38. A.Saruulzaya, M. Ishikawa, Ya.Jambaljav. "Thermokarst Lake Changes in the Southern Fringe of Siberian Permafrost Region in Mongolia Using Corona, Landsat, and ALOS Satellite Imagery from 1962 to 2006", Journal of Advances in Remote Sensing. 2016. 5, pp 215-231. 2.
39. Ishikawa, M., and Yamkhin, J. (2016) Formation Chronology of Arsain Pingo, Darhad Basin, Northern Mongolia. Permafrost and Periglac. Process., 27: 297–306. doi: 10.1002/ppp.1877.