



Монгол орны ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ



Улаанбаатар
2017 он



*Empowered lives.
Resilient nations.*

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ

Зохиогч: Я.Жамбалжав

Улаанбаатар хот
2017

Киотогийн протоколын “Дасан Зохицох Сан”-гийн санхүүжилтээр
БОАЖЯ, НҮБ-ын Хөгжлийн хөтөлбөрөөс хэрэгжүүлж буй
“Экосистемд түшиглэсэн дасан зохицох арга хэмжээг уур амьсгалын өөрчлөлтөд
өндөр эрсдэлтэй голуудын сав газарт хэрэгжүүлэх нь” (МОН/12/301) төслийн
дэмжлэгтэйгээр боловсруулан хэвлүүлэв.

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ

Хуурай гандуу, сэрүүн бүс нутгийн цэвдэг нь тухайн экосистемийн тэнцвэрт байдалд чухал үүрэг гүйцэтгэнэ. Энэхүү нэгэн сэдэвт бүтээл нь цэвдэг судлалын шинжлэх ухааны зарим нэр томъёоны тайлбар тодорхойлолтыг өгөхөөс гадна Монгол орны хэмжээнд сүүлийн үед хийсэн судалгаа шинжилгээний ажлын үр дүнд тулгуурлан цэвдгийн тархалт, өөрчлөлтийн талаар бичсэн болно. Термокарст, термокарстын нуур, бөөрөг зэрэг криоген үзэгдлийн судалгааны үр дүнг товчлон оруулсан. Бөөрөг нь цэвдгийн аградацийн илрэл байдаг бол термокарст нь түүний деградацийг илэрхийлдэг. Уг бүтээлийг байгалийн шинжлэх ухааны чиглэлээр суралцагчид болон судалгаа шинжилгээний ажилтан нар гарын авлага болгон ашиглах боломжтой.

Энэхүү бүтээлийг зохиогчийн эрхийн зөвшөөрөлгүйгээр олшруулан хувилахыг хуулиар хориглосон болно.

Зохиогчийн эрхээр хамгаалагдсан

© - Я.Жамбалжав

Редактор: Академич Д.Дашжамц

Хавтасны зураг: Мөсжилт ихтэй эртний нуурын хурдас термоэрозид идэгдэж ил гарсан байдал, Шаргын голын эрэг, Хөвсгөл аймгийн Ренчинлхүмбэ сум.

© - Я.Гансүх

ISBN: 978-99962-1-035-8

Хэвлэлийн эх: Я.Гансүх

Хэвлэсэн газар: “.....”

DDC
551.4517
Д-392

ГАРЧИГ

ОРШИЛ	5
НЭГДҮГЭЭР БҮЛЭГ. ЦЭВДЭГ	6
1.1 Цэвдэг гэж юу вэ?	6
1.2 Цэвдгийн тархалт	9
1.3 Улирлын хөлдөлт, гэсэлт	14
ХОЁРДУГААР БҮЛЭГ. МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ЗУРАГЛАЛ	17
2.1 Цэвдгийн зураглалын аргазүй	17
2.1.1 Ажиглалт туршилтын загвар	17
2.1.2 Физик процесс дээр тулгуурласан загвар	19
2.1.3 Загваруудын ангилал	21
2.2 Монгол орны цэвдгийн зураглалын аргазүй	25
2.2.1 Цэвдгийн дээд хилийн температурыг загварчлах аргазүй	25
2.2.2 Агаарын буюу MODIS LST температурын орон зай, цаг хугацааны тархалтын тооцооны аргачлал	27
2.2.3 Ногоон ургамлын индексийн зураг (NDVI), ургамал бүрхэвчийн доорх температур болон дулааны улирлын нөлөөний хүчин зүйл (n_T -фактор)	30
2.2.4 Цасан бүрхэвчийн тархалтын зураг, цасан бүрхэвчийн доорх температур болон хүйтний улирлын нөлөөний хүчин зүйл (n_F -фактор)	32
2.2.5 Хөрсний дулаан дамжуулалтын коэффициент	36
2.3 Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураг	40
2.3.1 Монгол орны цэвдгийн зураглалын түүх	40
2.3.2 Монгол орны цэвдгийн зураг (1: 1 000 000)	44
ГУРАВДУГААР БҮЛЭГ. МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ӨӨРЧЛӨЛТ, ИРЭЭДҮЙН ХАНДЛАГА	53
3.1 Цэвдгийн өөрчлөлт	54
3.2 Цэвдгийн ирээдүйн хандлага	59
ДӨРӨВДҮГЭЭР БҮЛЭГ. КРИОГЕН ҮЗЭГДЛҮҮД	68
4.1 Термокарстын нуурын үүсэл болон морфологи	68
4.1.1 Термокарстын нуурын ач холбогдол	69
4.1.2 Цэвдэгт бүс нутаг дахь термокарстын нуурын тархалт	70
4.1.3 Термокарстын нуурын өөрчлөлт	70
4.2 Бөөргийн үүсэл, хөгжил	77
4.2.1 Бөөргийн тархалт	78
4.2.2 Монгол орны бөөргийн судалгааны үр дүн	78

ЗУРГИЙН ЖАГСААЛТ

Зураг 1. Хөрсний хамгийн их, хамгийн бага температурын муруй	6
Зураг 2. Дэлхийн бөмбөрцөгийн хойд хагасын цэвдгийн тархалтын зураг	10
Зураг 3. Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураг, 1971 он	11
Зураг 4. Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураг, 2016 он	12
Зураг 5. ТТОР-ыг тооцоолох онолын үндэслэл, ерөнхий схем	26
Зураг 6. ТТОР загварт ашигласан мэдээ, үр дүнгийн схем	26
Зураг 7. Судалгааны аргазүйн ерөнхий схем	27
Зураг 8. Температурын мэдээ нөхөх аргазүйн схем.	30
Зураг 9. Олон жилийн дундаж ногоон ургамлын нормчлогдсон индексийн зураг	31
Зураг 10. Монгол орны дулааны улирлын p_T -фактор	32
Зураг 11. Монгол орны нутаг дэвсгэрийн цасны нөөц усны зураг	35
Зураг 12. Монгол орны хүйтний улирлын p_F -фактор	36
Зураг 13. Монгол орны дулаан дамжуулалтын коэффициентуудын харьцааны зураглал	37
Зураг 14. Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураг	40
Зураг 15. Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураг	41
Зураг 16. Улаанбаатар хотын ул хөрсний улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн зураг	43
Зураг 17. Улаанбаатар хот орчмын цэвдгийн зураг	43
Зураг 18. Монгол орны цэвдэгт бүс нутгууд	44
Зураг 19. Монгол-Алтайн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн зураг	46
Зураг 20. Говь-Алтайн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн зураг	47
Зураг 21. Хангайн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн зураг	47
Зураг 22. Хэнтийн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн зураг	48
Зураг 23. Хөвсгөлийн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн зураг	48
Зураг 24. Монгол орны цэвдгийн мониторингийн сүлжээ	53
Зураг 25. Монгол орны цэвдгийн өнөөгийн төлөв	62
Зураг 26. Монгол орны цэвдгийн ирээдүйн өөрчлөлт (RegCM4-HadGEM)	64
Зураг 27. Монгол орны цэвдгийн ирээдүйн өөрчлөлт (RegCM-ECHAM5)	65
Зураг 28. Үргэлжилсэн ба тасалданги тархалттай цэвдэгт бүс дэх термокарстын нуурын үүсэл, хөгжлийн үе шатууд	69
Зураг 29. Боломжит термокарстын нууруудын тархалт	71
Зураг 30. Landsat-5 TM хиймэл дагуулын мэдээнээс авсан термокарстын нуурууд элбэг тархсан бүсүүд	72
Зураг 31. Идэвхтэй термокарстын нуур (Баян-Өлгий, Цагааннуур тосгон)	72
Зураг 32. Монгол орны цэвдгийн тархалттай бүсүүд дэх термокарстын нууруудын судалгааны цэгүүд	73
Зураг 33. Идэвхтэй термокарстын нуур (Завхан, Түдэвтэй сум, Жарамтайн голын хөндий)	74
Зураг 34. Нээлттэй (а), хаалттай (б) системийн бөөрөг үүсэх үе шат	77
Зураг 35. Термоэрозид идэвхтэй өртөж буй бөөрөг (Хэнтий, Өмнөдэлгэр сум)	79

ГРАФИКИЙН ЖАГСААЛТ

График 1. (А) Говь-Алтай аймгийн Эрдэнэ-2 цооногийн 7.8 м-ийн гүний температурын явц (2014-2016), (Б) 2.0-7.8 м-ийн гүний хамгийн их, хамгийн бага температурын муруй (2015)	14
График 2. Уулархаг бүс нутгуудын цэвдгийн талбай, нийт цэвдэгт бүсэд эзлэх хэмжээ	45
График 3. Монгол Алтай, Говь-Алтай, Хангайн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн температурын өөрчлөлт	55
График 4. Хэнтий, Хөвсгөлийн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн температурын өөрчлөлт	57
График 5. Монгол ороны цэвдгийн алдрал (RegCM4-HadGEM).	63
График 6. Монгол орны цэвдгийн алдрал (RegCM-ECHAM5).	66

ХҮСНЭГТИЙН ЖАГСААЛТ

Хүснэгт 1. Цэвдгийн тархалт	9
Хүснэгт 2. MODIS-ын гадаргын температурын мэдээ боловсруулж байсан судлаачид, аргазүй болон нарийвчлал	29
Хүснэгт 3. Цасан бүрхэвчийн тархалтын кодын утга	33
Хүснэгт 4. Цасны нөөц усны зургийн кодын утга	34
Хүснэгт 5. Дулаан дамжуулалтын коэффициентийн харьцаа	37
Хүснэгт 6. Ирээдүйн цэвдгийн өөрчлөлтийн таамаглал	60
Хүснэгт 7. Цэвдгийн алдрал (RegCM4-HadGEM).	61
Хүснэгт 8. Цэвдгийн алдрал (RegCM-ECHAM5)	63

ӨМНӨХ ҮГ

Энэхүү ном нь монгол орны цэвдгийн тархалт, өөрчлөлтийг судалсан сүүлийн үеийн судалгааны үр дүнд тулгуурлан бичсэн нэгэн сэдэвт бүтээл юм. “Цэвдэг” гэж юу болох тухай болон дэлхий хатуу царцдас хэсэгт хэрхэн тархсан, цэвдгийн улирлын гэсэлт, хөлдөлт, тэдгээрт нөлөөлдөг хүчин зүйлсийн тухай ерөнхий ойлголтыг орчин үеийн системийн онолын үүднээс авч үзэх оролдлого хийсэн байна.

Уг бүтээлд монгол орны нутаг дэвсгэр дэх цэвдэг хөрс, чулуулгийн тархалтыг зураглахад орчин үед нилээд амьдралд ойрд тооцогдож буй физик процесс дээр тулгуурлан Канадын эрдэмтдийн боловсруулж хэрэглээнд оруулсан цэвдгийн дээд хил дээрх температурт суурилсан “ТТОР”(Temperature on top of permafrost) загварын аргыг ашиглан Монгол орны цэвдгийн тархалтыг шинээр зураглаж, судалгааны үр дүнг танилцуулсан нь цэвдэг судлаач эрдэмтдийн сонирхолыг татсан ажил болсон нь туйлын сайшаалтай.

Цэвдгийн өөрчлөлтийн явцыг судалсан үр дүнг Монгол-Алтай, Говь-Алтай, Хангай, Хэнтий, Хөвсгөлийн уулархаг бүс нутгаар ангилан танилцуулсан нь судлаачдын ихээр сонирхдог асуудалд хариулт өгөхөөр болсон байна. Мөн өнөөгийн цэвдгийн хил хязгаарын өөрчлөлтийг тодорхойлсон явдал нь уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөө, хүчин зүйлийн тод илрэл юм.

Номын сүүлийн бүлэгт Монгол орны цэвдэгт бүс нутагт түгээмэл тархсан дулааны хөндийлж, дулааны хөндийлжийн нуур, бөөрөг зэрэг криоген үзэгдлүүдийн илрэл, өөрчлөлтийн тухай ажиглалт, загварчилсан судалгааны үр дүнг товч үзүүлсэн нь судлаачдын сонирхол татахуйц асуудлыг хөндсөн байна.

Бүхэлд нь авч үзвэл энэхүү нэгэн сэдэвт бүтээл нь газарзүй, цэвдэг судлалын шинжлэх ухааны сүүлийн үеийн ололт амжилтуудыг ашигласан бөгөөд цэвдэг судлаач, багш, оюутан нарын шинэ мэдлэгийг өргөтгөн хөгжүүлсэн бүтээл болсон.

Хянан тохиолдуулсан

Академич Д.Дашжамц

ОРШИЛ

Монгол хэлээр ЦЭВДЭГ гэдэг үг нь хоёр утга санааг илэрхийлдэг. Нэгдүгээрт хүний сэтгэл санааг илэрхийлдэг бол хоёрдугаарт газрын хөлдүүг хэлдэг. Энэхүү номонд газрын цэвдгийн тухай бичсэн болно. Монгол орны газар нутгийн нэлээдгүй хэсэгт цэвдэг тархсан байдаг.

Гэвч энгийн иргэдээс эхлээд инженер, судлаач нар нь хүртэл цэвдгийн тухай дутуу, буруу ойлголттой явдаг. Энэ нь тухайн хувь хүн, инженер, судлаач нартай огт холбоогүй бөгөөд манай орны их дээд сургуульд цэвдэг судлалын хичээл бага цагаар ордогтой холбоотой. Гэтэл гандуу хуурай эх газар оршдог манай орны экосистемийн бүрдэл, тэнцвэр, чийг, дулааны горимд цэвдэг нь чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. Нөгөө талаас цэвдэг хөрс нь инженерийн байгууламжийн буурь суурь болох үед дулааны тэнцвэр алдагдаж барилга байгууламж хэв гажилтад орох нь элбэг ажиглагдах болсон.

Монгол орны хувьд 1940-өөс 1950-иад оны үеийн их бүтээн байгуулалтын явцад инженер техникийн ажилчид цэвдгийн бэрхшээлтэй учирч байсан түүхтэй. Цэвдэг судлалын шинжлэх ухааныг дотор нь ерөнхий цэвдэг судлал, инженерийн цэвдэг судлал гэж хоёр ангилж үздэг. Энэ номонд ерөнхий цэвдэг судлалын зарим асуудлуудыг Монгол орны жишээн дээр авч үзсэн.

Нэгдүгээр бүлэгт цэвдэг судлалын шинжлэх ухааны суурь ойлголтууд, цэвдгийн тархалт, улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн талаар бичсэн.

Хоёрдугаар бүлэгт Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураглалын тухай бичсэн. Монгол орны цэвдгийн тархалтын зургийг 1960-аад оноос хойш янз бүрийн масштабтайгаар нийт улс орны хэмжээнд болон зарим бүс нутаг, тодорхой газруудын хэмжээнд зурагласан байдаг. Сүүлийн жилүүдэд, ялангуяа 1990-ээд оны сүүл, 2000 оны эхэн үеэс цэвдгийн тархалтанд загварчлалын аргазүйг хэрэглэх болсон. Загварчлалын аргазүйгээр Монгол орны газар нутгийн хэмжээнд цэвдгийн тархалтыг 2016 онд шинээр зурагласан.

Гуравдугаар бүлэгт цэвдгийн өөрчлөлтийг Монгол орны бүс нутгаар авч үзсэн. Тодорхой хугацаануудад тасалдалтай ч гэсэн 1960-1970 аад оны үеэс манай орны хэмжээнд цэвдгийн мониторинг судалгаа хийж эхэлсэн байдаг. Тэгвэл энд сүүлийн 40-50 жилийн өөрчлөлтийг харуулахаас гадна ирээдүйн өөрчлөлтийн таамаглалын талаар өгүүлсэн болно.

Дөрөвдүгээр бүлэгт хүйтний гаралтай зарим үзэгдлүүд болох дулааны хөндийлж, дулааны хөндийлжийн нуур, бөөрөг, тэдгээрийн динамик өөрчлөлтийн талаар өгүүлсэн болно.

Энэхүү номыг хамтран бичсэн магистр Я.Гансүх (II-р бүлэг), доктор А.Саруулзаяа, магистр Г.Цогт-Эрдэнэ (IV-р бүлэг) болон цэвдэг судлалын салбарын хамт олон, хянан тохиолдуулж үнэтэй санал, зөвлөмж өгсөн Академич Д.Дашжамц нартаа гүн талархал илэрхийлье. “Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураглал”-ын ажил болон энэхүү номыг хэвлүүлэхэд санхүүгийн дэмжлэг үзүүлж хамтран ажилласан “Экосистемд түшиглэсэн дасан зохицох арга хэмжээг уур амьсгалын өөрчлөлтөд өндөр эрсдэлтэй голуудын сав газарт хэрэгжүүлэх нь” төслийн үндэсний зохицуулагч Ц.Туяа, мэргэжилтэн Ж.Сумьяасүрэн нарт талархал дэвшүүлье.

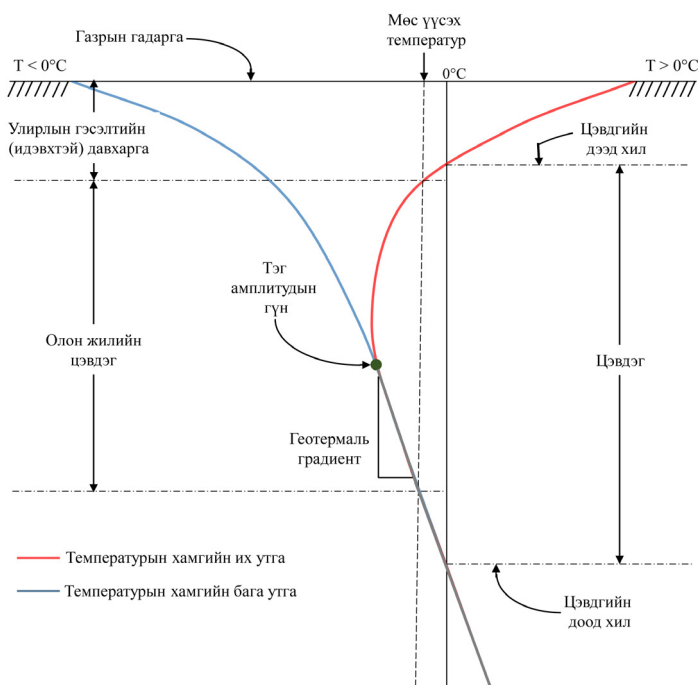
Номын цагаан буян дэлгэрэх болтугай.

НЭГДҮГЭЭР БҮЛЭГ. ЦЭВДЭГ

1.1 ЦЭВДЭГ ГЭЖ ЮУ ВЭ?

Ус хатуу төлөвт орших бүхий л мандлыг криосфер (грек гаралтай үг: *κρύος*-сүюохүйтэн *σφαῖρα*-sphere-мандал) гэнэ. Криосферийн бүрдэл хэсэгт улирлын цас, уулын мөстлөг, мөсөн хучаас (Антрактид, Гренландын мөс), туйлын бүсийн далай, тэнгисийн мөс, цэвдэг зэрэг багтдаг.

Монгол хэлээр бичсэн ном сурах бичиг, илтгэл, өгүүлэл зэрэгт мөнхцэвдэг, олон жилийн цэвдэг, цэвдэг гэсэн нэр томъёог нэг утгатай, эсвэл өөр утгатай мэтээр ойлгож, бичиж ирсэн бөгөөд эдгээр нь өөр өөрийн тодорхойлолттой байдаг. Цэвдэг (permafrost) гэдэг нь тэг буюу түүнээс доош температурт хоёр буюу түүнээс дээш жил орших хөрс, чулуулгийг хэлнэ (French, 2007). Гэвч цэвдэг гэдэг үг нь мөнхийн, тогтмол гэсэн утга санааг агуулаагүй бөгөөд цэвдэг нь уур амьсгал болон бусад өөрчлөлтөд өртөж, хувьсан өөрчлөгддөг. Цэвдэгт агуулагдаж буй чийг нь шингэн ба хатуу төлөвт байх нь чухал биш байдаг бол голчлон орос хэлээр бичсэн ном зохиолд “Тэг буюу түүнээс доош температурт хоёр буюу түүнээс дээш жил орших, агуулагдаж буй чийгийн зарим хэсэг нь мөс болсон хөрс, чулуулгийг олон жилийн цэвдэг (многолетнемёрзлые горные породы) гэнэ” хэмээн тодорхойлсон байдаг (Кудрявцев, 1978). Өөрөөр хэлбэл бүх төрлийн олон жилийн цэвдэг хөрс чулуулаг нь цэвдэг болох боловч бүх цэвдэг нь олон жилийн цэвдэг хөрс чулуулаг болохгүй. Зарим төрлийн хөрс, чулуулагт агуулагдах чийг нь тодорхой хасах градуст мөс болдоггүй онцлогоос хамаарч цэвдэг, олон жилийн цэвдгийн ялгаа бий болдог. Олон жилийн цэвдэг чулуулгийг англиар “perennially frozen ground”, оросоор “многолетнемёрзлые горные породы” гэж бичдэг.



Зураг 1. Хөрсний хамгийн их, хамгийн бага температурын муруй

Цэвдэггүй бүс нутагт гадаргаасаа улирлаар хөлдөж гэсэхийг улирлын хөлдөлт гэж нэрлэдэг. Энэ бүс нутгийг улирлын хөлдөлттэй бүс нутаг гэнэ. Монгол хэлээр хэвлэгдсэн зарим ном зохиолд үүнийг “улирлын цэвдэг” гэж бичсэн байдаг (Зураг 1).

Цэвдэг нь хэдэн сантиметрээс хэдэн зуун метрийн зузаантайгаар тодорхой хэмжээний газрын гүнд (гадаргаас 1-8 м ба түүнээс доош) оршино (French, 2007). Дэлхий дээрх хамгийн зузаан цэвдэг Дорнод Сибирийн төв хэсэгт 1500 м ба үүнээс ч зузаан гэж тогтоогдсон байдаг (Ершов, 2002). Монгол оронд тархсан цэвдэг хэдэн метрээс хэдэн зуун метрийн зузаантай байдаг. Манай дэлхийн хамгийн хүйтэн цэвдэг Антарктид тивд -23.6°C температуртай хэмжигдсэн (Vieira, 2010) бол Монгол орны цэвдгийн температур -5°C -аас 0°C хооронд хэлбэлзэнэ (Жамбалжав ба бусад, 2016).

Дээрх тодорхойлолтоос үзвэл цэвдэг нь температур болон хугацаагаар тодорхойлогддог бол олон жилийн цэвдэг нь дээрх хоёр үзүүлэлтээс гадна төлөвөөр илэрхийлэгдэж байна. Өөрөөр хэлбэл олон жилийн цэвдэг нь температур, хугацаа, төлөв гэсэн гурван үндсэн хүчин зүйлээр тодорхойлогдоно. Хөрс, чулуулагт агуулагдаж буй ус-чийг нь холбоот ус, чөлөөт ус гэж ялгарахаас гадна эрдэсжилтийн хувьд харилцан адилгүй байдаг. Хөрс, чулуулаг дахь эрдэсжилт ихтэй ус, холбоот ус нь тодорхой хасах хэмийн мужид хөлддөггүй бөгөөд ийм төрлийн усыг “хөлдөөгүй ус” гэж нэрлэдэг. Хөрсний нунтаглагдсан шинж чанараас хамаарч түүнд агуулагдах хөлдөөгүй усны хэмжээ, хөлдөж эхлэх температур зэрэг нь харилцан адилгүй. Элсэн хөрсний холбоот ус бага, хөлдөж эхлэх температур тэг хэмд ойрхон байдаг бол шаварлаг хөрсөнд агуулагдах хөлдөөгүй холбоот усны хэмжээ их, хөлдөх температур нь харьцангуй нам байна. Элсэн хөрсний холбоот усны хөлдөж эхлэх температур нь -0.5°C -аас -1°C бол 41-45% чийгшилтэй шаврынх -2.5°C -аас -3.5°C байдаг бөгөөд элсэн хөрсний чөлөөт гадаргын талбай шавар хөрснийхөөс бага байдаг (Ершов, 2002). Хасах температурт оршиж байгаа ч түүнд агуулагдах ус, чийг нь мөс болоогүй бол түүнийг хөргөгдсөн хөрс чулуулаг (cryotic, морозны) гэнэ (French, 2007; Ершов, 2002).

Цэвдэг нь агаар мандал ба газрын өнгөн хэсэг хоёрын хооронд явагдах дулаан эргэлтийн үр дүнд үүсэж, устаж үгүй болдог онцлогтой. Цэвдгийн зузаан нэмэгдэх, талбай тэлэх зэрэг үйл явцыг цэвдгийн өсөлт, хөгжил (аградаци) гэдэг бол эсрэг тохиолдолд цэвдгийн алдрал (деградаци) гэнэ. Үүнээс гадна хэрэв хурдас хуримтлал үүссэний дараа цэвдэг буй болж байвал голомтот (эпигенетик) цэвдэг, хурдас хуримтлалтай зэрэг үүсэж байвал хоршмол (сингенетик) цэвдэг гэж нэрлэдэг.

Үргэлжилсэн цэвдэгтэй газарт гэсгэлэн хэсэг, үе байх тохиолдол элбэг бөгөөд үүнийг “гэсгэлүүн” гэж нэрлэдэг. Гэсгэлүүн нь газрын гүний дулааны үйлчлэлээр, гадарга дээрх дулааны баланс алдагдахад, нарны ээвэрлэлт, гидротермаль дулаан зэргийн үйлчлэлээр буй болдог. Гэсгэлүүнийг цэвдэгт давхаргад орших хэлбэрээр нь нэвт гэсгэлүүн, хаалттай гэсгэлүүн гэж ангилдаг. Цэвдэг дунд гэсгэлүүн давсны хэт уусмалууд тохиолддог. Энэ нь хөрс, чулуулаг хөлдөх явцад шахагдаж үлдсэн байдаг бөгөөд үүнийг “криопеги” гэж нэрлэдэг.

Цэвдгийг температурын утгаар нь хүйтэн ба дулаан гэж 2 ангилдаг. Хүйтэн цэвдэг нь -2°C -аас доош температуртай байдаг бөгөөд өндөр өргөрөгийн ба өндөр уулсын үргэлжилсэн тархалттай цэвдэгт бүсэд оршдог. Дулаан цэвдэг нь -2°C -аас дээш температуртай ба цэвдэгт бүс нутгийн өмнөд захаар, уулс хоорондын хөндий, тэдгээрийн бэл хормойн тасалданги тархалттай хэсэгт тохиолддог. Дээрх 2 төрлийн цэвдгийн аль аль нь манай орны газар нутагт тархсан байдаг. Монгол орны хувьд цэвдгийн үргэлжилсэн тархалттай хойд болон өндөр уулсын хэсэгт хүйтэн цэвдэг элбэг тархсан байдаг.

Ашигласан хэвлэл

1. Я.Жамбалжав, Я.Гансүх, Х.Тэмүүжин, Г.Цогт-Эрдэнэ, Ц.Ундрахцэцэг, А.Саруулзаяа, Ё.Амарбаясгалан, А.Дашцэрэн, Ш.Нарангэрэл, (2016). Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураг, масштаб 1:1000 000.
2. Ершов Э.Д, Общая геокриология, учебник-М, Изд-во МГУ, 2002.
3. В.А.Кудрявцев, (1978). Общее мерзлотоведение, Второе издание, Издательство Московского Университета.
4. Hugh M. French, (2007). The Periglacial Environment, Third Edition, The University of Ottawa, John Wiley & Sons, Ltd.
5. Vieira, G., et al., (2010). Thermal state of permafrost and active-layer monitoring in the Antarctic, Advances During the International Polar Year 2007-2009, Permafrost and Periglacial Processes, 21, 182-197

1.2 ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ

Цэвдэг нь дэлхийн бөмбөрцөгийн хуурай газрын 20-25%-д (French, 2007; Кудрявцев, 1978), дэлхийн бөмбөрцөгийн хойд хагасын хуурай газар нутгийн 22.79-23.37*106 км² буюу 23.9-25.4%-д (Zhang et al., 1999; Brown et al., 1997) тус тус тархсан байдаг. Дээрх судлаачдын тоон үзүүлэлтүүд бага зэргийн зөрүүтэй байгаа нь нэг судлаач нь мөстлөг доорх болон далай тэнгисийн шельф орчмын цэвдгийг оруулж тооцсон байдаг бол нөгөө нэг нь мөстлөг, далай тэнгис, томоохон нууруудын талбайг хасаж тооцсон байдаг.

Дэлхийн 48 улс орны газар нутагт ямар нэгэн хэмжээгээр цэвдэг орших бөгөөд нийт цэвдэгт бүс нутгийн 95 орчим хувь нь 5 улсын газар нутагт ноогддог (Zhang et al., 2006). Үүнд ОХУ, Канад, Хятад, АНУ зэрэг улсуудын дараа Монгол орон цэвдгийн тархалтаараа тавдугаарт ордог (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Цэвдгийн тархалт

Дэлхийн бөмбөрцөгийн хойд хагас	Талбай, (сая км ²)	Дэлхийн бөмбөрцөгийн өмнөд хагас	Талбай, (сая км ²)
ОХУ (хуучин ЗХУ)	11.0	Антрактид тив	13.5
Канад улс	5.7		
Хятад улс	2.1		
Аляск муж (АНУ)	1.5		
Монгол улс	0.8 (Brown) 0.98* (Гравис) 0.46* (Жамбалжав)		
Гренландын арал	1.6		
Нийт	22.7		13.5
Дэлхийн бөмбөрцөгийн нийт цэвдэгтэй талбай			36.2
Дэлхийн бөмбөрцөгийн хуурай газрын талбай			149.0
Дэлхийн бөмбөрцөгийн хуурай газарт цэвдгийн эзлэх хувь			24%
Эх сурвалж: Hugh M.French, 2007, The Periglacial Environment, Third edition ; * нэмж оруулав			

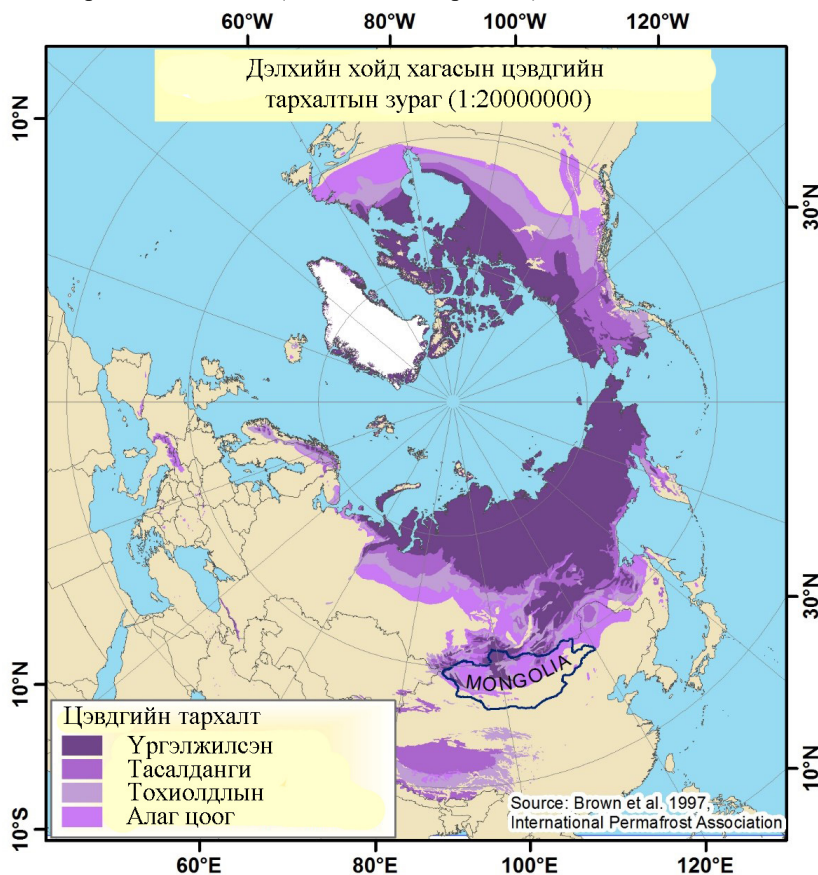
Цэвдэг нь өндөр өргөрөгийн бүс нутаг болох туйл орчимд, мөн өндөр уулын бүс нутагт тус тус тархсан байдаг. Иймд цэвдгийг тархалтаар нь өргөрөгийн зүй тогтолтой цэвдэг (arctic), уулын цэвдэг (alpine) гэж ангилахаас гадна тэгш өндөрлөгийн (plateau) буюу хуурай сэрүүн бүс нутгийн цэвдэг (montane), далай тэнгисийн шельф орчмын цэвдэг (subsea), реликт цэвдэг (relict) гэж ангилсан байдаг (French, 2007).

Цэвдэг нь хойд өргөрөгийн N26°-аас (Гимлайн нуруу) N84°-ийн (Гренландын арал) хооронд тархах бөгөөд үүний 70% орчим нь N45° - N67° хооронд тохиолдоно (Зураг 2). Цэвдгийг тархалтын хэлбэрээр нь үргэлжилсэн (90-100%), тасалданги (50-90%), алаг цоог (10-50%), тохиолдлын (0-10%) гэж ангилна (Brown et al., 1997).

Монгол орны цэвдгийн тархалт: Алтай, Хангай, Хөвсгөл, Хэнтийн уулсад цэвдэг нь төвлөрсөн байхаас гадна Монгол орны хойд бүс нутагт илүү тархалттай. Өөрөөр хэлбэл Монгол орны газар нутагт тархсан цэвдэг нь өндрийн болон өргөрөгийн зүй тогтолоор өөрчлөгддөг онцлогтойгоос гадна тасалданги, алаг цоог тархалттай байдаг нь бичил уур амьсгалын онцлогтой холбоотой бөгөөд уулархаг хуурай гандуу бүс нутгийн цэвдэг болно. Нөгөө талаас Монгол орны цэвдэг нь Дорнод Сибирийн цэвдэгт бүс нутгийн өмнөд захад оршдог бөгөөд тэг градустан ойрхон хасах температуртай байдаг. Тэг градустан ойрхон хасах температуртай уулархаг, хуурай гандуу бүс нутгийн цэвдэг нь дулаарч

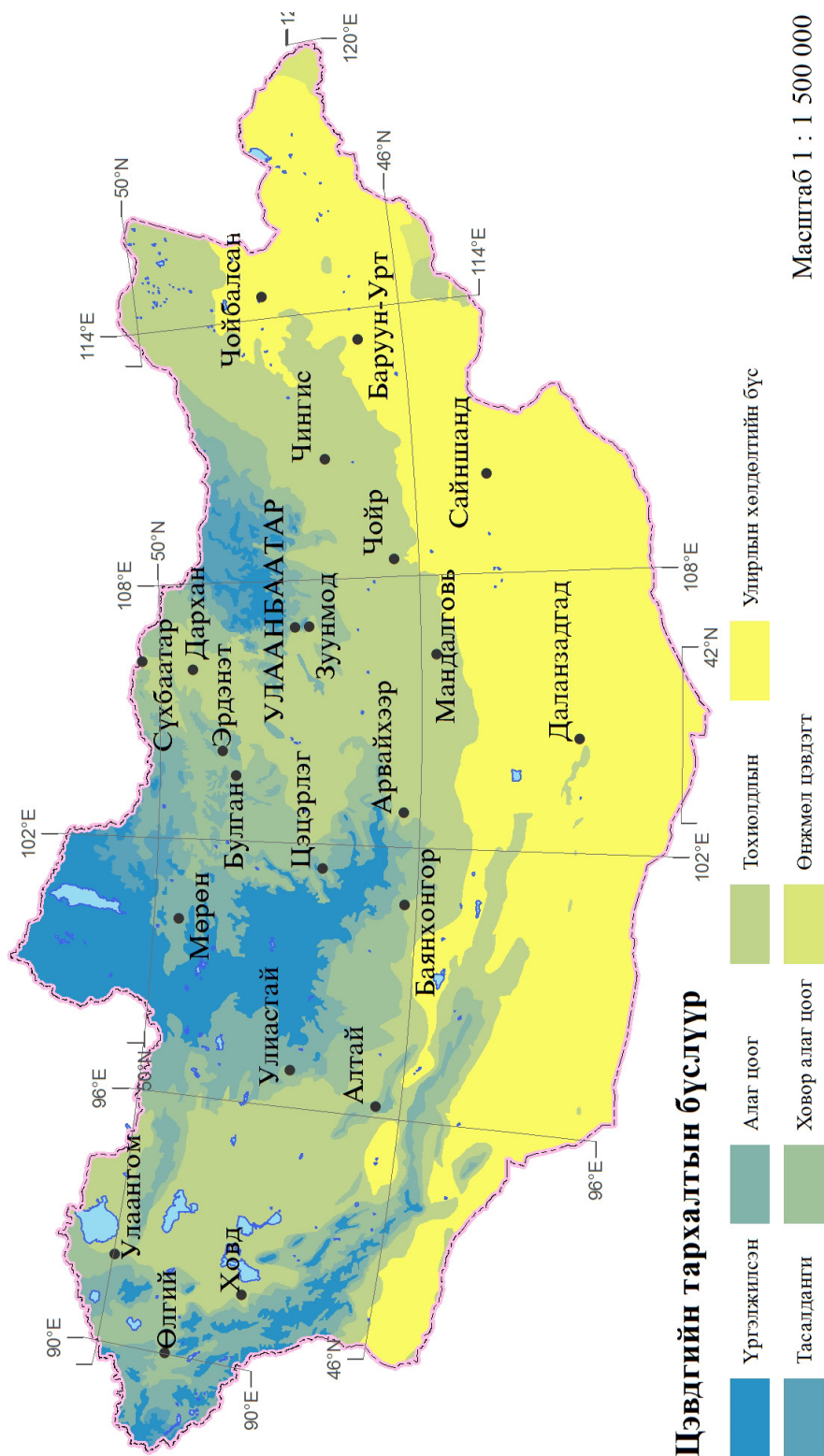
МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ

уярахаас гадна гэсэж үгүй болдог онцлогтой (Жамбалжав нар, 2013). Монгол орны хойд бүс нутаг ба уулсын өндөрлөг хэсэгт үргэлжилсэн ба тасалданги тархалттай цэвдэгтэй бол Алтай, Хангай, Хөвсгөл, Хэнтийн уулсын бэл хормой, хөндий, хотост алаг цоог, тохиолдлын тархалттай байдаг (Жамбалжав нар, 2016).

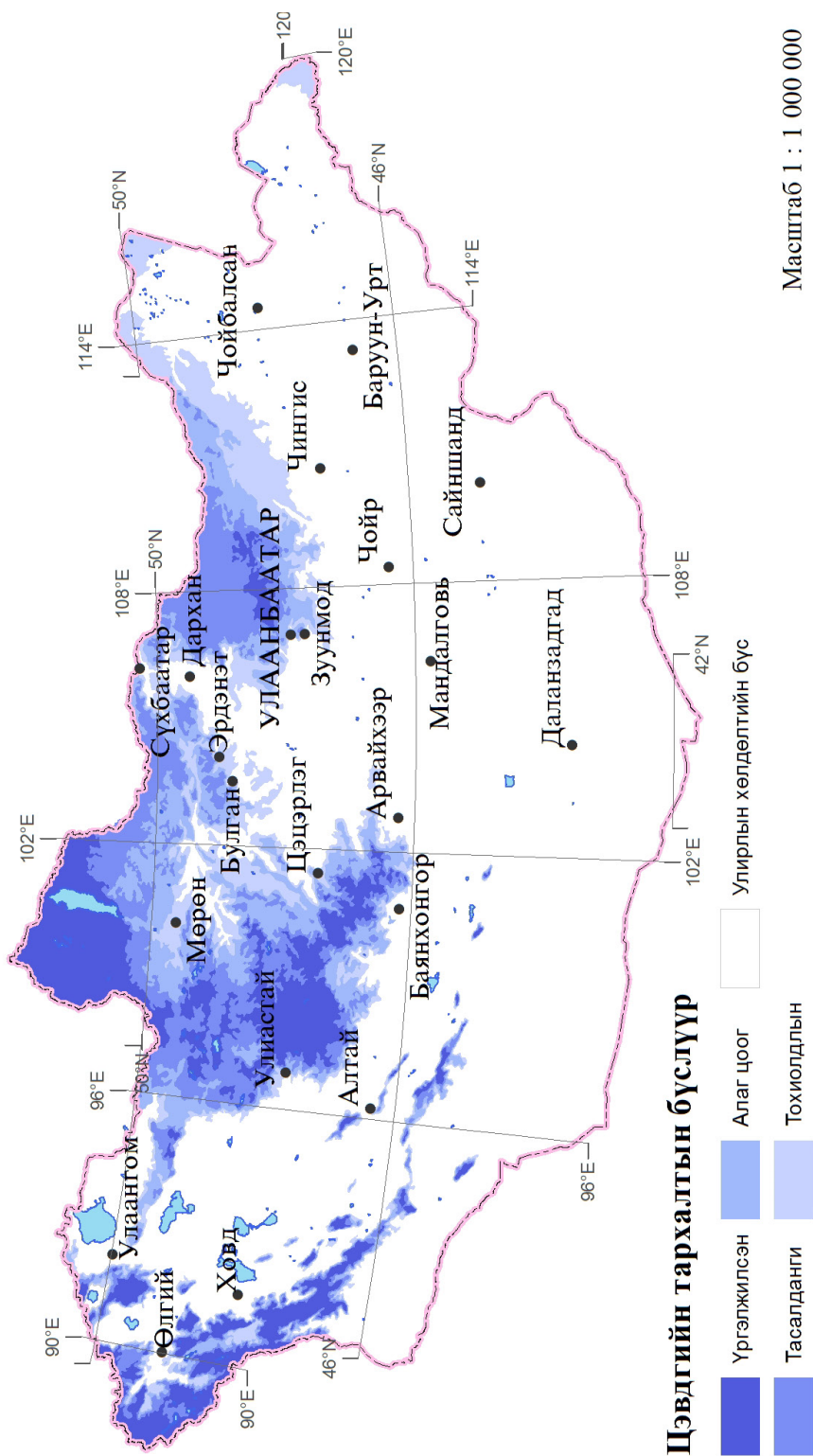


Зураг 2. Дэлхийн бөмбөрцөгийн хойд хагасын цэвдгийн тархалтын зураг

ЗХУ-БНМАУ-ын Геологийн хамтарсан экспедицийн Геокриологийн ангийн 1968-1971 оны хооронд хийсэн судалгааны ажлын нэг гол үр дүн бол Монгол орны цэвдгийн тархалтыг харуулсан 1:1500000 масштабтай Геокриологийн зураг юм. Энэ геокриологийн зурагт үзүүлсэнээр Монгол орны нийт газар нутгийн 63%-д тасалданги болон алаг цоог хэлбэрийн цэвдэгтэй гэж тодорхойлогдсон байдаг (Гравис нар, 1974). Энэхүү зурагнаас хойш Монгол орны газар нутгийг бүхэлд нь болон хэсэгчилсэн хамарсан зургууд янз бүрийн масштабтай зохиогдож байсан боловч цэвдгийн өмнөд хилийг 1971 онд тогтоогдсоноор зураглаж байсан. 1971 оноос хойш зохиосон бүх зургууд нь уламжлалт аргаар буюу цэвдгийн температурын зүй тогтолыг ландшафт, геоморфологийн онцлогтой холбох замаар зурагласан бөгөөд Монгол орныг цэвдгийн тархалтаар нь үргэлжилсэн, тасалданги, алаг цоог, ховор алаг цоог, тохиолдлын, өнжмөл, улирлын хөлдөлтийн бүс гэж ангилсан байдаг. Ингэж хуваахдаа үргэлжилсэн тархалттай бүслүүрт >80%, тасалданги тархалттай бүслүүрт 40-80%, алаг цоог тархалттай бүслүүрт 5-40%, ховор алаг цоог тархалттай бүслүүрт 1-5%, тохиолдлын тархалттай бүслүүрт <1% цэвдгийн тархалттай гэж тус тус ангилсан байдаг (Зураг 3).



Зураг 3. Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураг, 1971 он



Зураг 4. Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураг, 2016 он

Байгаль орчин, ногоон хөгжил, аялал жуулчлалын яамны Ногоон хөгжлийн бодлого, стратеги төлөвлөлтийн газрын захиалгаар НҮБХХ-ийн “Экосистемд түшиглэсэн дасан зохицох арга хэмжээг уур амьсгалын өөрчлөлтөд өндөр эрсдэлтэй голуудын сав газарт хэрэгжүүлэх нь” төслийн санхүүжилтээр 2014-2015 оны хооронд цэвдгийн тархалтын загварчлалын шинэлэг аргазүй болох ТТОР аргазүйг ашиглан 1:1000 000 масштабтай Монгол орны цэвдгийн тархалтын зургийг зохиосон. Уг зурагт үзүүлсэнээр Монгол орны газар нутгийг дотор нь үргэлжилсэн, тасалданги, алаг цоог, тохиолдлын, улирлын хөлдөлтийн бүс гэж ангилсан.

Дээрх шинэчилсэн зурагт цэвдэг нь тасалданги, алаг цоог хэлбэртэйгээр Монгол орны нийт газар нутгийн 29.3%-д тархаж буйг тодорхойлсон. Үргэлжилсэн тархалттай бүслүүрт улирлын гэсэлтийн гүн дэх жилийн дундаж температур буюу цэвдгийн дээд хилийн жилийн дундаж температур нь -2°C -ээс бага, тасалданги тархалттай бүслүүрт энэ температур нь -2°C ба -1°C -ийн хооронд, алаг цоог тархалттай бүслүүрт -1°C ба 0°C -ийн хооронд, тохиолдлын тархалттай бүслүүрт 0°C ба $+1^{\circ}\text{C}$ -ийн хооронд тус тус байдаг бол улирлын хөлдөлтийн бүсэд улирлын хөлдөлтийн гүн дэх жилийн дундаж температур нь $+1^{\circ}\text{C}$ -ээс дээш гэж ангилсан (Зураг 4).

Ашигласан хэвлэл

1. Гравис и др., (1974). Геокриологические условия Монгольской Народной Республики, Совместная Советско-Монгольская научно-исследовательская геологическая экспедиция, Труды, вып. 10
2. Я.Жамбалжав, Т.Ванчиг, Д.Баттогтох, А.Саруулзаяа, А.Дашцэрэн, Ц.Жаргалтулга, Я.Гансүх, Ё.Амарбаясгалан, Х.Тэмүүжин, Ш.Нарангэрэл (2013). Монгол орны мөнхцэвдгийн урт хугацааны мониторинг судалгаа, Сэдэвт ажлын эрдэм шинжилгээний тайлан, Шинжлэх Ухааны Академийн Газарзүйн хүрээлэн ажлын эрдэм шинжилгээний тайлан, Шинжлэх Ухааны Академийн Газарзүйн хүрээлэн.
3. Я.Жамбалжав, Я.Гансүх, Х.Тэмүүжин, Г.Цогт-Эрдэнэ, Ц.Ундрахцэцэг, А.Саруулзаяа, Ё.Амарбаясгалан, А.Дашцэрэн, Ш.Нарангэрэл, (2016). Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураг, масштаб 1:1000 000.
4. Brown, J., O.J.Ferrians, Jr., J.A. Heginbottom, and E.S.Melnikov, eds, (1997). Circum-Arctic map of permafrost and ground-ice conditions. Washington, DC: U.S.
5. Hugh M. French, (2007). The Periglacial Environment, Third Edition, The University of Ottawa, John Wiley & Sons, Ltd.
6. Tingjun Zhang, Mark A. Parsons, and Roger G. Barry, (2006). Statistics of Global Permafrost Distribution, Abstracts of Asian Conference on Permafrost, August 7-9, 2006, Lanzhou, China.

1.3 УЛИРЛЫН ХӨЛДӨЛТ, ГЭСЭЛТ

Агаарын температурын хамгийн бага утга хасах хэм рүү орох үед газар гадаргуу талаасаа хөлддөг. Хасах температуртай хугацаа тогтвортой үргэлжлэхийн хэрээр газрын хөлдөлтийн гүн нэмэгдэх бөгөөд хэрэв энэ хугацаа нь улирлаар үргэлжлэх тохиолдолд улирлын хөлдөлт болдог. Хүйтэн сэрүүн бүс нутагт агаарын температурын хамгийн их утга эерэг болох үед газар дээд талаасаа гэсдэг. Нэмэх температуртай хугацаа уртсах тусам газрын гэсэлтийн гүн нэмэгдэж хэрэв энэ хугацаа улирлаар хэмжигдэх тохиолдолд улирлын гэсэлт болдог. Хасах температуртай хугацаа богино үргэлжлэх тохиолдолд газрын гадарга гүехэн хөлдөх бөгөөд үүнийг богино хугацааны хөлдөлт гэнэ. Хугацаагаар нь богино хугацааны хөлдөлт, улирлын хөлдөлт, өнжмөл цэвдэг (нэг жилд гүн хөлдөж, дараа зун хөлдсөн хэмжээндээ хүрч гэсээгүй тохиолдолд үүснэ), урт хугацааны хөлдөлт (цэвдэг) гэж ангилж болно (Кудрявцев, 1978).

Улирлаар гэсдэг давхаргыг идэвхтэй давхарга гэнэ. Улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн гол шалгуур үзүүлэлт нь түүний хөлдөх болон гэх үеийн зузаан болно. Улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн давхаргын зузаан нь газарзүйн байршил, уур амьсгалын горим, гадаргын нөхцөл, хотгор гүдгэрийн онцлог, хөрсний бүтэц, мөс, чийгийн агууламж зэргээс хамаарахаас гадна, ялангуяа эх газрын эрс тэс уур амьсгалтай бүс нутагт жилээс жилд нэлээд хэлбэлздэг.

Сүүлийн жилүүдэд уур амьсгалын дулааралтай холбоотойгоор улирлын гэсэлтийн гүн нэмэгдэх, мөн зундаа гэссэн хэмжээндээ өвөлдөө хүрч хөлддөггүй нь ажиглагдах болсон. Өөрөөр хэлбэл Монгол орны цэвдэгт бүс нутгийн өмнөд захаар гэсгэлүүн үе илрэх үзэгдэл ажиглагдаж байна (Жамбалжав нар, 2013). Даян дэлхийн дулаарлын нөлөөгөөр ойд идэвхтэй давхаргын зузаан нэмэгдэх, модны үндэс орших гүехэн үеийн бүтэц өөрчлөгдөх, улмаар түүн дээрх мод хазайх, бүр унасан байдаг (Bohannon, 2008). Улирлын гэсэлтийн давхарга нь агаар мандал ба цэвдэг хоёрын завсар оршдог бөгөөд түүнд явагдах дулааны эргэлт нь цэвдгийн оршин байх нөхцөлд чухал үүрэг гүйцэтгэнэ.

Газарзүйн байршил, өндөр, зүг зовхис, хөрсний бүтэц, ус чийгийн хэмжээ зэргээс хамаарч Монгол орны хэмжээнд улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн зузаан 1–6 м хүрнэ. Сүүлийн жилүүдэд уур амьсгалын дулааралтай холбоотойгоор улирлын гэсэлтийн зузаан 8 м хүрсэн нь хэмжилтээр тогтоогдсон байдаг (Жамбалжав нар, 2013). Монгол орны хэмжээнд улирлын гэсэлтийн зузаан жилээс жилд 0.5–40 см хүртэл нэмэгдэнэ (Lin Zhao et al., 2010). Улаанбаатар хотын хэмжээнд хөлдөлтийн гүний хэмжээ дунджаар жилд 0.7–1.07 см-ээр буурна (Төмөрбаатар, 1996).

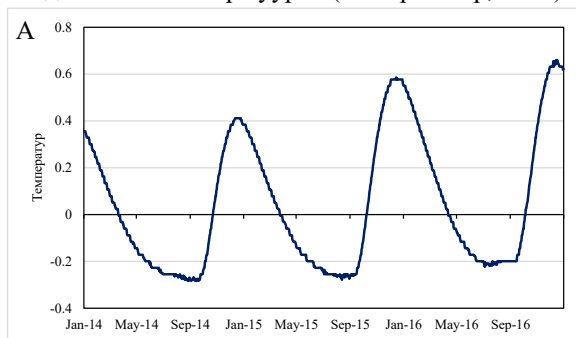
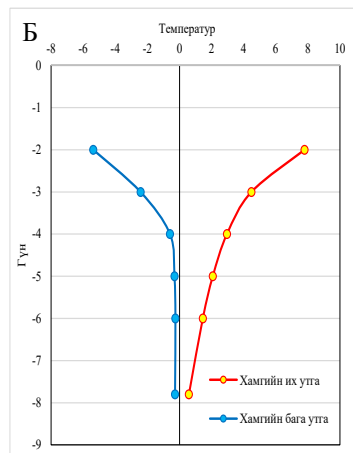


График 1. (А) Говь-Алтай аймгийн Эрдэнэ-2 цооногийн 7.8 м-ийн гүний температурын явц (2014-2016)
(Б) 2.0-7.8 м-ийн гүний хамгийн их, хамгийн бага температурын муруй (2015)



Улирлын хөлдөлт, гэсэлтэд нөлөөлөх хүчин зүйлс

Улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн гүнд үзүүлэх хүчин зүйлс нь хотгор гүдгэрийн онцлог, ургамал, цасан бүрхэвч болон хөрс чулуулгийн дулааны үзүүлэлт зэрэг болно. Эдгээр нь харилцан адилгүй эрчимтэй илэрдэг онцлогтой. Монгол орны хувьд газарзүйн байршил, хотгор гүдгэрийн онцлогтой холбоотойгоор уулсын өвөр энгэр, ар хажууд ирэх боломжит богино долгионы цацрагийн зөрөө дулааны улиралд бага, хүйтний улиралд 3-8 дахин их байдаг бол ойн нөлөө гадаргад ирэх цацрагийн хэмжээг 33-86%-иар бууруулдаг (Dashtseren, 2014).

Газрын гадаргын жилийн дундаж температур болон температур хэлбэлзэлийн агууриг хоёр нь хөлдөлтийн гүнд сөрөг ба эерэг нөлөөтэй. Гадаргын жилийн дундаж температур нь тэг хэмд ойрхон байх тусам хөлдөлт, гэсэлтийн гүн их байдаг бол температур хэлбэлзэлийн агууриг нь их байх тусам хөлдөлт гэсэлтийн гүн их байна (Кудрявцев, 1978). Агаарын температур ба гадаргын температур хоёрын хооронд нэлээд ялгаа байдаг нь цасан болон ургамал бүрхэвчийн нөлөөгөөр тодорхойлогдог. Цасан болон ургамал бүрхэвчийн нөлөөг илэрхийлдэг N-фактор гэх ойлголтыг В.Ж.Люнардени (1978) тодорхойлон бичсэн байдаг.

Цасан бүрхэвч нь газрын гадаргыг дулаацуулах болон сэрүүцүүлэх нөлөөтэй. Намар эрт орсон болон хавар оройтож хайлсан цасан бүрхэвч нь газрын гадаргыг сэрүүцүүлдэг бол жин өвлийн хүйтэн үед цасан бүрхэвч нь дулаацуулах нөлөөтэй. Жишээлбэл, Баянгийн хөндийд 10-20 см зузаантай цасан доорх 11-р сарын дундаж температур нь тухайн сарын агаарын дундаж температураас даруй 0.6-1.16°C-ээр хүйтэн байжээ. Харин 12, 1, 2-р саруудад Баянгийн амны цасан бүрхэвч доорх температур нь агаарын температураас 13-16°C-ээр дулаан байна (Шархүү, 2015). Энэ нь хүйтний улирлын хугацаанд зузаан цасан бүрхэвч газрын гадаргыг хэт хөлдөхөөс хамгаалж, дулаан тусгаарлах үүрэгтэй байна.

Цасан бүрхэвч нь дулаацуулах нөлөөтэй бол ургамал бүрхэвч нь сэрүүцүүлэх нөлөөтэй байна. Ургамал бүрхэвч, түүний биомасс, гадаргын температур зэргийн хоорондын хамаарлын судалгааг Монгол орны хэд хэдэн газарт хийсэн байдаг. Биомассын хэмжээ хоёр дахин нэмэгдэхэд түүний дулаан тусгаарлалт хоёр дахин нэмэгдсэн байна. Ургамал бүрхэвчгүй талбайтай харьцуулахад 210-270 г/см² биомасстай талбайн гадаргын температур 0.7°C, 30 см гүний температур 0.9°C-аар тус тус хүйтэн байсан. Харин ургамал бүрхэвчгүй талбайтай харьцуулахад 10 см зузаантай хөвдөн бүрхэвч, шигүү бургас, шинэсэн ойн хөрсний гадаргын температур нь 5-9°C, өтгөн сөөг, хээрийн ургамал бүрхэвчтэй хөрсний гадаргын температур нь 2-4°C-аар тус тус хүйтэн байсан нь тогтоогдсон (Шархүү, 2015).

Ургамал болон цасан бүрхэвчийн нөлөөгөөр гадаргын жилийн дундаж температур нь агаарын жилийн дундаж температураас ихэнх тохиолдолд дулаан байдаг ба энэхүү хоёр температурын зөрүүг гадаргын зөрүү (surface offset) гэнэ. Хөрсний хөлдөлт, гэсэлт нь цас, ургамал зэрэг гадаргын бүрхэвчийн дулаан тусгаарлах шинж чанараас хамаарахаас гадна тухайн хөрсний ус чийгийн хэмжээ, хөрсний бүтцээс хамаарч харилцан адилгүй байдаг. Энд уг хөрсний дулаан дамжуулалт ба дулаан багтаамж чухал үүрэгтэй бөгөөд хөлдүү, гэсгэлэн төлөвт эдгээр нь хооронд ялгаатай байдаг. Мөсний дулаан дамжуулалтын коэффициент (2.23кВт/мК) усныхаас (0.605кВт/мК) дөрөв дахин их бол усны дулаан багтаамж (4.187кЖ/кг-К) мөснийхөөс (2.094кЖ/кг-К) хоёр дахин бага. Хуурай хүлрийн дулаан дамжуулалт 0.05 кВт/мК байдаг бол усаар ханасан гэсгэн хүлрийнх 0.5 кВт/мК, усаар ханасан хөлдүү хүлрийнх 2 кВт/мК тус тус болно (French, 2007). Ийнхүү хөлдүү, гэсгэн төлөвт дулааны үзүүлэлтүүд нь эрс ялгаатай байгаа нь хөрсний хөлдөх гүн, температур, цэвдэг үүсэх зэрэгт шууд нөлөөлдөг.

Идэвхтэй давхаргын гүн дэх жилийн дундаж температур нь газрын гадарга дээрх жилийн дундаж температураас голчлон бага байдаг ба энэхүү хоёр температурын зөрүүг термаль зөрүү (thermal offset) гэнэ. Энэхүү термаль зөрүүний хэмжээ тухайн хөрсний дулааны үзүүлэлт болох дулаан дамжуулалт, дулаан багтаамжийн хөлдүү болон гэсгэн үеийн ялгаа хэр их байхаас хамаарна (Ершов, 2002).

Ашигласан хэвлэл

1. Я.Жамбалжав, Т.Ванчиг, Д.Баттогтох, А.Саруулзаяа, А.Дашцэрэн, ба бусад, (2013). “Монгол орны мөнхцэвдгийн урт хугацааны мониторинг судалгаа” сэдэвт эрдэм шинжилгээний ажлын тайлан, Шинжлэх Ухааны Академийн Газарзүйн хүрээлэн ажлын эрдэм шинжилгээний тайлан, Шинжлэх Ухааны Академийн Газарзүйн хүрээлэн.
2. В.А.Кудрявцев, (1978). Общее мерзлотоведение, Второе издание, Издательство Московского Университета.
3. Н.Шархүү, Ш.Анармаа, (2015). “Монгол орны хөрсний гадаргын бүрхэвчийн дулаан тусгаарлалт”. Монгол орны газарзүй асуудлууд, 11(27): 52-60.
4. Avirmed D., Ishikawa M., Iijima Y., and Yamkin J, (2014). Temperature Regimes of the Active Layer and Seasonally Frozen Ground under a Forest-Steppe Mosaic, Mongolia, Permafrost and Periglac. Process., 25, pages 295–306, doi: 10.1002/ppp.1824.
5. Bohannon J, (2008). The big thaw reaches Mongolia’s pristine north. Science 319: 567-568
6. Hugh M. French, (2007). The Periglacial Environment, Third Edition, The University of Ottawa, John Wiley & Sons, Ltd.
7. Lunardini, V.J, (1978). Theory of n-factors and correlation of data. In Proceedings, 3rd International conference on Permafrost, Edmonton, Alberta, July 10 –13, 1978. National Research Council of Canada. Ottawa, ON.1:40–46
8. Zhao, L., Wu, Q., Marchenko, S.S. and Sharkhuu, N. (2010), Thermal state of permafrost and active layer in Central Asia during the international polar year. Permafrost Periglac. Process., 21: 198–207. doi:10.1002/ppp.688

ХОЁРДУГААР БҮЛЭГ. МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ЗУРАГЛАЛ

2.1 ЦЭВДГИЙН ЗУРАГЛАЛЫН АРГАЗҮЙ

Цэвдэг нь дулааны үзэгдэл бөгөөд газрын гадарга орчмын цацраг-дулааны баланс ба идэвхтэй давхаргад явагдах дулааны эргэлтээр тодорхойлогдоно. Нөгөө талаас, ялангуяа уулархаг бүс нутагт богино зайд хувьсаж өөрчлөгддөг онцлогтой тул бичил уур амьсгалын хүчин зүйлээр тодорхойлогддог. Сүүлийн жилүүдэд дэлхийн улс орнуудын хэмжээнд, ялангуяа уулархаг бүс нутагт цэвдгийн тархалтын зураглалд загварчлалын аргыг өргөн хэрэглэж байна. Монгол орны Хөвсгөлийн зүүн эргийн цэвдгийн зураглалд Этзелмуллер олон шалгуурт аргазүйг (multi criteria approach) хэрэглэсэн (Eitzelmuller et al., 2004).

Цэвдгийн тархалтын загварчлалыг ажиглалт-туршилтын (empirical statistical model) загвар, физик процесс дээр тулгуурласан загвар (physical model, process-based model) гэж хоёр ангилдаг (Жамбалжав, 2009).

2.1.1 Ажиглалт туршилтын загвар

Бичил уур амьсгалын хүчин зүйлс болох өндөр, зүг зовхис, налуу, агаарын болон гадаргын температур, нарны цацраг, газрын гадаргын бүрхэвч, хөрс чулуулгийн онцлог, хөрсний чийг зэргээс хамаарсан цэвдгийн тархалтын загварыг ажиглалт туршилтын загвар гэж нэрлэдэг.

Эдгээр загварууд нь газар орон бүрт харилцан адилгүй зохиогдсон байдаг. Тухайлбал, Альпын нуруунд орших Европын орнууд (Швейцарь, Герман), Скандиновын хойгийн орнууд болон Төвдийн тэгш өндөрлөгт тохируулж зарим эрдэмтэн судлаачид өөр өөрийн загваруудыг зохиосон байдаг. Хэрэв бүс нутаг буюу тухайн талбайд маш сайн тохируулга, шалгалт хийсэн тохиолдолд сайн үр дүн өгдөг, хэрэглэхэд хялбар байдаг (Haerberli et al., 2002). Гэвч өөр бүс нутагт шууд ашиглах боломжгүй бөгөөд түүний зарим параметруудыг өөрчлөх, дахин шалгах зэргээр ашигладаг. 1990-ээд оны эхээр газарзүйн мэдээллийн системийн хөгжил, дэвшилтэй уялдан уулархаг нутгийн цэвдгийн оронзайн тархалтын зураглалыг уламжлалт аргазүйгээс татгалзаж, шинэ аргазүйгээр хийх болсон. Ихэнх ажиглалт туршилтын загварууд нь дараах параметрууд дээр тухайн газарт тохирсон шалгуур үзүүлэлт тавих зэргээр олон хувьсагчаас хамаарсан функц хэлбэрээр ашиглаж байна.

Нэмэх (дулаан) болон хасах хэмтэй (хүйтэн) хоногийн дундаж температурыудын нийлбэр (TDD, FDD): Улирлын хөлдөлт ба гэсэлтийн хугацааны хоногийн дундаж температурын нийлбэр бөгөөд (хөлдөлтийн үед FDD буюу IF; гэсэлтийн үед TDD буюу IT) градус, өдөр, нэгжээр илэрхийлэгдэнэ. Энэхүү үзүүлэлтийг агаар эсвэл гадаргын хоногийн дундаж температурыг ашиглан сар, улирал, жилийн хугацаанд тооцоолно. TDD болон FDD үзүүлэлтийн нийлбэрийг тооцоолол хийсэн хугацаанд (N, сар-30 хоног, улирал-120 хоног, жил-365 хоног) харьцуулбал тухайн хугацааны дундаж температурыг (T) дараах томъёогоор тодорхойлж болно.

$$TDD = \sum_{i=0}^N T_i, \quad T_i > 0;$$

$$-FDD = \sum_{i=0}^N T_i, \quad T_i < 0;$$

$$T_{average} = \frac{TDD + (-FDD)}{N}$$

Цэвдгийн индекс (Frost number, Permafrost index): Цэвдгийн индекс нь өргөрөгийн бүсийн дагуу цэвдгийн тархалтын өөрчлөлтийг тодорхойлоход ашиглаж болох бөгөөд нэмэх ба хасах градустай хоногийн дундаж температуруудын нийлбэрийн (TDD, FDD) үнэмлэхүй утгаас язгуур авч хоорондын харьцаагаар бодно.

$$F_{number}(\text{Permafrost index}) = \frac{\sqrt{|FDD|}}{\sqrt{|FDD|} + \sqrt{TDD}}$$

Цэвдгийн индексийг гарган авахдаа хөлдөлт, гэсэлтийн гүний температурт нөлөөлөх хэд хэдэн хүчин зүйлсийг тооцоолсон. Тэдгээр нь цэвдгийн үргэлжилсэн болон оршин байх нөхцөлтэй корреляци хамааралтай байдаг. Цэвдгийн индекс нь тив, эх газрын хэмжээнд орчин үеийн цэвгийн тархалтыг зураглахад тохиромжтой хэдий ч реликт цэвдгийг тодорхойлох боломжгүй юм. Мөн тухайн судалгааны талбайд хангалттай тооны цаг уурын станц байхгүй, эсвэл бага хэмжээний талбайд ашиглахад төвөгтэй байдаг (Nelson and Outcalt, 1987).

Цасан бүрхэвчийн доорх температур (Bottom Temperature of Snow-BTS): Цасан бүрхэвч, газрын гадарга хоорондын харилцан үйлчлэлийн заагт температурыг цэвдгийн тархалт, оршин байх эсэхийг тодорхойлогч нэг хүчин зүйл хэмээн үздэг (Haeberli, 1973). Скандиновын хойгийн орнуудад (өндөр өргөрөгт орших нутагт) ажиглалт-туршилтын загвар нь цасан бүрхэвчийн доорх температур, агаарын жилийн дундаж температур хоорондын хамаарал дээр үндэслэн зохиогдсон байдаг.

Норвегийн Осло хотын их сургуулийн эрдэмтэн Этзелмуллер Өмнөд Норвеги, Скандиновийн хойгт агаарын жилийн дундаж температур, цасан бүрхэвчийн доорх температур хоорондын хамаарлыг цэвдгийн тархалтын зураглалд ашигласан (Etzelmueller et al., 1998). Левкович болон Боннавентур нар Канадын баруун хэсэгт томоохон хэмжээний уулархаг нутгийн цэвдгийн тархалтыг загварчлахдаа цасан бүрхэвчийн доорх температурт үндэслэсэн статистик загварыг тухайн бүс нутагт нутагшуулах аргазүйг боловсруулсан (Lewkowicz and Bonnaventure, 2008).

Богино долгионт цацрагийн хуваарилалт: Дэлхийн эргэлт, хөдөлгөөнтэй холбоотой бөгөөд ай сав газар, уулархаг нутгийн хувьд богино долгионт цацрагийн хуваарилалтад тухайн газрын онцлог шинжүүд болох гадаргын хэлбэр дүрс, бүрхэвч (ургамал, ой, цасан бүрхэвч гэх мэт) нөлөөлж, улмаар энэ нь шууд ба шууд бусаар цэвдгийн тархалт, түүний энергийн тэнцлийг тодорхойлох голлох хүчин зүйлсийн нэг болдог (Дашцэрэн, 2016). Ялангуяа энэхүү нөлөө нь цэвдгийн тасалданги тархалттай захын бүс нутаг, уулархаг нутгуудад ихээхэн ач холбогдолтой. Ой модны доройтол нь газрын гадарга дээр ирэх богино долгионт цацрагийн хэмжээг нэмэгдүүлж, идэвхтэй давхаргын гүнийг нэмэгдүүлснээр цэвдгийн алдралыг эрчимжүүлдэг гэж Часнмер тогтоосон байна (Chasnmer et al., 2011). Левкович болон Эдни нар Канадын Юконы бүс нутагт цасан бүрхэвчийн доорх температур болон богино долгионт цацраг дээр суурилсан статистик загварыг боловсруулсан. Энэхүү загвараа хэмжилтийн цэгүүдийн мэдээ зэрэг олон үзүүлэлтээр шалгалт, баталгаажуулалт хийсэн (Lewkowicz and Ednie, 2004).

Судлаач Этзелмуллер болон Хэггэм нар Хөвсгөл нуурын орчим тархсан цэвдгийн тархалтад нөлөөлж буй голлох хүчин зүйлүүдийн нэг нь богино долгионт цацраг гэж тодорхойлсон боловч ой, хотгор гүдгэр, зүг чигийн нөлөөг тооцоогүй байна (Etzelmueller and Heggem, 2006). Үүнээс гадна А.Дашцэрэн (2014; 2016) болон бусад судлаачид өндрийн тоон загвар ашиглан боломжит богино долгионт цацраг болон газрын гадарга дээр станцын хэмжсэн богино долгионт цацрагийн мэдээнүүдийг ашиглан гадаргын хэлбэр дүрс, ойн бүрхэвч, үүлнээс хамаарч богино долгионт цацрагийн хуваарилалт

өөрчлөгдөх, цаашлаад цэвдэг оршин байхад хэрхэн нөлөөлж байгааг харуулсан судалгаа хийсэн. Дээрх ажиглалт-туршилтын загварууд нь тухайн бүс нутагт тохирц сайтай боловч өөр бусад судалгааны талбайд шууд авч ашиглахад нэлээд алдаатай үр дүнг харуулах бөгөөд нэмэлт ажиглалт-туршилт шаардлагатай. Мөн ийм төрлийн загварууд нь жижиг масштабын зураглалд ашиглах боломжгүй учир орон зай-цаг хугацааны хувьд хязгаарлагдмал хэрэглээтэй байдаг.

2.1.2 Физик процесс дээр тулгуурласан загвар

Физик загварууд нь агаар мандал болон хөрс хоёрын хооронд явагдаж буй энергийн солилцоон дээр тулгуурладаг. Үндсэн зарчим нь газрын гадарга дээр явагдах энергийн урсгал, хөрсөн дэх дулааны урсгал гэсэн 2 хэсгээс бүрддэг.

Нэгдүгээрт цаг уурын мэдээ, тухайн газар нутгийн онцлог, гадаргын нөхцөл зэргийг тооцсон газрын гадарга дээр явагдах энергийн урсгалаас хамаарсан гадаргын температурыг тооцоолон гаргадаг. Гадаргын температур нь тухайн газар нутгийн энергийн баланс, ургамал болон цасан бүрхэвчээс хамаарсан функц болно.

$$\text{Гадаргын температур} = f_{(x)}\{\text{энергийн баланс}\}$$

Хоёрдугаарт хөрсөн дэх дулааны нөхцөлийг дээр тодорхойлсон гадаргын температураас хамаарсан функц байдлаар загварчилна. Харин хөрсний гүний температур нь ул хөрсний нүх сүв, ширхэгийн бүтэц, хөрсний чийг зэргээс хамаарсан функц болно.

$$\text{Гүний температур} = f_{(x)}\{\text{нүх сүв, ширхэгийн бүтэц, чийг}\}$$

Физик процесс дээр тулгуурласан загварууд нь дулаан дамжуулалтын хоёрдугаар эрэмбийн дараах тэгшитгэлийг янз бүрийн захын болон хязгаарын нөхцөлтэй аналитик болон тоон шийдлүүдээр илэрхийлэгддэг.

$$C \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$$

Үүнд:

C – Эзлэхүүн дулаан багтаамж (Жм^{-3})

T – Температур ($^{\circ}\text{C}$)

λ – Дулаан дамжуулалтын коэффициент ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1}\text{K}^{-1}$)

δ – дельта

t – хугацаа (сек)

z – гүн (метр)

Энэхүү дулаан дамжуулалтын суурь ойлголтын талаар Карслав, Жаегер (Carslaw and Jaeger, 1959), Кудрявцев (1974), Уллямс, Смит (Williams and Smith, 1989), Люнардини (Lunardini, 1981) нар өөрсдийн бүтээлдээ тайлбарласан байдаг. Энэхүү тэгшитгэл нь тухайн нөхцөлд бүх геотермаль загваруудын суурь болдог. Цэвдгийн загваруудад дээрх тэгшитгэлийг өргөн ашигладаг (Riseborough et al., 2008).

Стефаны тэгшитгэл: Цэвдгийн загвар боловсруулахад хамгийн өргөн ашигладаг аналитик тэгшитгэл нь хөлдөлтийн фронт руу чиглэсэн дулааны урсгалыг боддог Стефаны шийдэл юм. Заальшютц (1862) хөрсний хөлдөлтийн гүнийг анх тооцоолсон бөгөөд тэрээр эхлэлийн температур нь тэгтэй тэнцүү хөрсөнд тохирох хялбар томъёо гаргасан. Энэ тэгшитгэлийн хөгжилд Австрийн математикч Стефан их хувь нэмэр оруулсан бөгөөд хагас хязгаарлагдсан жигд орчинд бодлогын автомодель шийдийг (Стефаны сонгодог бодлого) бодож гаргасан байна (Кудрявцев, 1974).

$$X = \sqrt{\frac{2\lambda I}{L}}$$

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ

Үүнд:

X – Гэсэлтийн гүн (метр) λ – Дулаан дамжуулалтын коэффициент ($\text{Втм}^{-1}\text{К}^{-1}$)
 I – FDD эсвэл TDD L – Фазын шилжилтэнд зарцуулагдах дулаан (Жм^{-3})

Стефаны тэгшитгэлийг гарган авахдаа хэд хэдэн хялбарчлал хийсэн байдаг. Үүнд: 1-рт хөрсний температур нь тэгтэй тэнцүү гэж үзэх нь ялангуяа хүйтэн цэвдэгтэй бүс нутагт өндөр алдаа өгдөг, 2-рт захын температур нь тогтмол гэж үздэг, 3-рт хөрсийг нэгэн төрлийн гэж үздэг. Эдгээр хялбарчлалууд нь заримдаа нэлээдгүй алдаа өгөх тохиолдол бий.

Кудрявцевийн тэгшитгэл: Хөрсөн дэх дулаан эргэлт нь түүний дулааны физикийн шинж чанараас хамаарахаас гадна түүн дотор явагдах чийгийн фазын шилжилтэнд зарцуулагдахыг тооцоолон гаргасан тэгшитгэлийг В.А.Кудрявцев (1974) гаргаж авсан. Энэхүү тэгшитгэл нь хөлдөлт, гэсэлтийн гүн ба тухайн гүн дэх жилийн дундаж температурыг тооцоолдог.

$$\xi = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4DE}}{2D}$$

$$D = \alpha\delta; B = \alpha v + \alpha^2\sigma - \beta\delta - \sigma\delta^2; E = v\beta + \alpha\beta\sigma + v\sigma\delta; \alpha = A_{av} + \delta;$$

Үүнд:

ξ – улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн гүн, м

A_0 – хөрсний гадарга дээрх агаарын температурын физик агууриг ($^{\circ}\text{C}$)

t_{ξ} – улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн гүн дэх жилийн дундаж температур ($^{\circ}\text{C}$)

T – хугацаа (жил, цагаар)

λ – хөрсний дулаан дамжуулалтын коэффициент, ($\frac{\text{КДЖ}}{\text{м}^3}$. хэм. цаг)

C_{3D} – эзлэхүүн дулаан багтаамж ($\frac{\text{КДЖ}}{\text{м}^3}$. хэм)

Q_{ph} – хөрсөн дэхь усны фазын шилжилтийн дулаан ($\frac{\text{КДЖ}}{\text{м}^3}$)

Кудрявцевийн тэгшитгэлд фазын өөрчлөлтийг хугацааны хувьд стационар төлөвт байна гэж авч үзсэн. Кудрявцевын тэгшитгэлийг бүтэн жилийн мэдээнд суурилан ашиглаж болдог (Romanovsky and Osterkamp, 1997). Кудрявцевийн тэгшитгэлд суурилсан загварыг бүс нутгийн хэмжээнд (Shiklomanov and Nelson, 1999; Sazonova and Romanovsky, 2003; Stendel et al., 2007) болон Арктикийн бүсэд өргөн ашиглаж байна (Anisimov et al., 1997). Улаанбаатар хотын ул хөрсний улирлын хөлдөлт гэсэлтийн 1:25000 масштабтай зураг зохиоход суурь тооцооны аргазүйд энэхүү тэгшитгэлийг доктор Д.Төмөрбаатар (1971) ашигласан. Романовский болон Остеркамп нар АНУ-ын Аляск мужид Кудрявцев, Стефаны тэгшитгэлүүдээр тооцоолсон үр дүнг хэмжилтийн үр дүнтэй харьцуулж Кудрявцевийн тэгшитгэл нь илүү нийцтэйг тогтоосон байдаг (Romanovsky and Osterkamp, 1997).

N-фактор: Газрын гадаргын энергийн балансын эмпирик хувилбарын нэг болох гадаргын температурыг агаарын температурт харьцуулсан харьцаанд үндэслэсэн тэгшитгэлийг 1978 онд Люнардин гарган авсан байдаг (Lunardini, 1978). Үүнийг N-фактор гэж нэрлэдэг. Улирлын хөлдөлт ба гэсэлтийн хугацааны хоногийн дундаж температурын нийлбэрийн (хөлдөлтийн үед FDD буюу IF; гэсэлтийн үед TDD буюу IT) харьцаагаар N-фактор илэрхийлэгдэнэ. Тэдгээрийн тооцоолоход агаар болон гадаргын хоногийн дундаж температур 0°C -ээс дээш, доош байх үеийн температурыудын нийлбэрийг бодож дараах тэгшитгэлээр гаргана.

$$n_T = \frac{I_{TS}}{I_{TA}} \quad ; \quad n_F = \frac{I_{FS}}{I_{FA}}$$

Үүнд:

n_T ; n_F – дулааны болон хүйтний улирлын N – фактор

I_{TS} ; I_{FS} – гадаргын хоногийн дундаж нэмэх; хасах температурын нийлбэр ($^{\circ}\text{C}$)

I_{TA} ; I_{FA} – агаарын хоногийн дундаж нэмэх; хасах температурын нийлбэр ($^{\circ}\text{C}$)

N -фактор нь агаар мандал, хөрсний систем доторх цогц үйл явцын хоорондын уялдаа холбоог тайлбарладаг. Түүнчлэн N -фактор нь тухайн байршил бүрт ялгаатай байх болно. Гэхдээ тухайн талбайн N -фактор тогтвортой болохыг илрүүлсэн бөгөөд жилийн доторх өөрчлөлт Арктикийн эх газарт 10%-иас бага байна (Shur and Slavin-Borovskiy, 1993). Гэсэн хэдий ч уулархаг бүс нутагт N -факторын хэлбэлзэл бүтэн жилийн хугацаанд цасан бүрхэвчийн өөрчлөлтийн улмаас өвлийн улиралд их байна (Juliussen and Humlum, 2007). Энэхүү хэлбэлзэл далайд ойрхон уулархаг газруудад илүү чухал юм (Eitzelmuller et al., 2007; 2008).

Цэвдгийн дээд хилийн температур (Temperture on Top of Permafrost): Агаар мандал ба улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн давхаргад явагдах дулааны эргэлт дээр суурилсан энэхүү цэвдгийн орон зайн тархалтын загварчлалын T_{TOP} аргазүйг 1990-ээд оны сүүл үеэс хэрэглэж эхэлсэн байдаг (Westermann et al., 2015; Smith and Riseborough, 1996; Romanovsky and Osterkamp, 1995). Энэхүү аргазүй нь нэлээд хялбарчилж, загварчлалын энгийн тэгшитгэл гаргаж авсан бөгөөд дэлхийн цэвдэгт бүс нутгуудад туршигдан, шалгагдсан байдаг.

$$T_{TOP} = \frac{n_T TDD_A + n_F \frac{\lambda_T}{\lambda_F} FDD_A}{P}, \quad T_{TOP} \leq 0$$

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

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, $^{\circ}\text{C}$

FDD_A – агаарын хоногийн дундаж хасах температурын нийлбэр, $^{\circ}\text{C}$

λ_T – гэсгэн хөрсний дулаан дамжуулалтын коэффициент, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1}\text{K}^{-1}$

λ_F – хөлдүү хөрсний дулаан дамжуулалтын коэффициент, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1}\text{K}^{-1}$

P – температур хэлбэлзлийн нэг үеийн хугацаа, хоног

2.1.3 Загваруудын ангилал

Физик процесс дээр тулгуурласан загваруудыг дотор нь дулааны, орон зайн болон цаг хугацааны шалгууруудаар ангилж болно. Цаг хугацааны загвар нь тухайн цаг хугацааны цэвдгийн төлөвөөр (тэнцвэрт загвар-equilibrium model) эсвэл тодорхой анхны нөхцөлөөс өнөөгийн болон ирээдүйн төлөвийг тодорхойлно (transient model).

Дулааны загварын энгийн жишээ бол эмпирик болон статистик хамаарлууд эсвэл агаар мандал болон хөрс хоорондын шилжүүлэх функцууд зэрэг дээр суурилсан хөрсний

жилийн дундаж температур, идэвхтэй давхаргын зузаан, цэвдэгтэй эсвэл цэвдэггүй зэргийг тодорхойлдог загварууд болно. Тоон загварууд (finite-element or finite-difference models) нь гүний температурын нэг жилийн эсвэл урт хугацааны өөрчлөлтийг тодорхойлдог (transient model). Газрын гадарга болон хөрс хооронд явагдах дулааны эргэлт нь зарим нэг хялбаршуулсан тоон (numerical) тэгшитгэлүүдийг бодсоноор тодорхойлогддог.

Орон зайн загвар нь цэвдгийн нөхцөлийг нэг хэмжээст (1D), хоёр хэмжээст (2D), эсвэл газарзүйн бүсийн хэмжээнд тодорхойлдог. Мөн орон зайн загварыг хамрах хүрээгээр нь тив, туйлын (continental and circumpolar), бүс, орон нутгийн (regional and local), уулархаг нутгийн (montane) гэж ангилдаг. Тив, туйлын бүс нутгийн орон зайн загварт цэвдгийн тархалтад нөлөөлөх үндсэн хүчин зүйл нь агаарын температур, цасан бүрхэвч байх бол бүс, орон нутгийн хэмжээнд дээрхээс гадна ургамал бүрхэвч, гадаргын өндөр нөлөөлнө. Уулархаг нутгийн хувьд богино долгионт цацраг, зүг зовхис, хөрс, геологийн онцлогоос ихээхэн хамаардаг.

Орчин үед хэрэглэгдэж буй загварууд

Бүс нутаг, улс орон, тивийн хэмжээнд тодорхой хялбарчлал хийж улирлын хөлдөлт гэсэлтийн гүний төвшинд аналитик тэгшитгэлийг бодож цэвдгийн ирээдүйн өөрчлөлтийг тооцоолсон байдаг. Эдгээр бодолтыг дотор нь үндсэн гурван хэсэгт хувааж болно. Үүнд: АНУ-ын эрдэмтдийн боловсруулсан GIPL1 (Geophysical Institute Permafrost Lab 1) болон GIPL 2, Норвегийн эрдэмтдийн зохиосон CryoGrid 1 болон CryoGrid 2, Канадын эрдэмтдийн гаргасан NEST (Northern Ecosystem Soil Temperature) болно. Эдгээр загварчлалын аргууд нь гаднаас агаарын температур, цасан болон ургамал бүрхэвчийн мэдээг оруулж өгөхөөс гадна хөрсний үзүүлэлтүүдийг тодорхойлж өгсөн байх хэрэгтэй бөгөөд уур амьсгалын үзүүлэлт болох агаарын температурын мэдээг уур амьсгалын хувьсал өөрчлөлтийг харуулсан урьдчилсан таамаглал, загварчлалын үр дүнгээс шууд авч ашигладаг.

GIPL 1 болон GIPL 2 загваруудын онолын суурь нь Кудрявцевийн тэгшитгэл бөгөөд GIPL 1 загвар нь зөвхөн тухайн нөхцөл дэх орон зайн тархалтыг илэрхийлэх бөгөөд Дорнод Сибирийн нутагт, GIPL 2 загвар нь орон зайн тархалтаас гадна цаг хугацааны өөрчлөлт, ирээдүйн хандлагыг тооцоолдог бөгөөд АНУ-ын Аляска мужид тус тус ашигласан. CryoGrid 1 болон CryoGrid 2 загварууд нь ТТОР аргагүй дээр суурилсан бөгөөд CryoGrid 1 нь орон зайн тархалт, CryoGrid 2 нь орон зай-цаг хугацааны өөрчлөлтийг харуулдаг. CryoGrid загвар нь орон нутгийн болон тухайн талбайн хувьд илүү нарийвчлал сайтай загвар юм. Харин NEST загвар нь гадарга дээр болон хөрсөнд явагдах энергийн солилцоо, тэнцвэр дээр суурилсан бөгөөд нарийн хэмжилтийн мэдээ шаарддаг үнэмшил сайтай загвар юм.

Гэхдээ энд тэмдэглэн хэлэхэд эдгээр бүх загварчлалууд нь тодорхой гүний, голчлон улирлын гэсэлтийн гүн дэх жилийн дундаж температур буюу цэвдгийн дээд жилийн жилийн дундаж температурыг зурагладаг. Тэгвэл энэ гүний жилийн дундаж температур эерэг болж байгаа нь тухайн гүнд гэсгэлүүн үе илэрч байгааг илтгэх бөгөөд түүнээс доош гүнд цэвдэгтэй байх боломжтой юм. Жишээлбэл, Баянхонгор аймгийн Баян-Овоо сумын нутагт орших Хөх Бүрд нуурын эрэгт орших цооногийн мэдээгээр гадаргаас доош 4 метрийн гүнд гэсгэлүүн үетэй боловч түүнээс доош гүнд цэвдэгтэй байдаг. Энэ нь тухайн газарт өнөөгийн уур амьсгалын үзүүлэлт, цэвдэг хоёрын хооронд термодинамик тэнцвэр алдагдаж цэвдгийн алдрал явагдаж буйг илтгэнэ (Жамбалжав нар, 2013).

Ашигласан хэвлэл

1. А.Дашцэрэн, (2016). “Богино долгионт цацрагийн хуваарилалтад үзүүлэх хотгор гүдгэр, газрын бүрхэвчийн нөлөө”, Монгол орны газарзүй асуудлууд, 11(27): 35-42.
2. Я.Жамбалжав, (2009). “Уулархаг нутгийн олон жилийн цэвдгийн зураглалд загварчлалын аргыг хэрэглэх боломж”, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар. (Ph.D диссертаци).
3. Я.Жамбалжав, Т.Ванчиг, Д.Баттогтох, А.Саруулзаяа, А.Дашцэрэн, ба бусад, (2013). “Монгол орны мөнхцэвдгийн урт хугацааны мониторинг судалгаа”, сэдэвт эрдэм шинжилгээний ажлын тайлан, Шинжлэх Ухааны Академийн Газарзүйн хүрээлэн ажлын эрдэм шинжилгээний тайлан, Шинжлэх Ухааны Академийн Газарзүйн хүрээлэн.
4. Anisimov OA, Nelson FE, (1997). Permafrost zonation and climate change in the northern hemisphere: results from transient general circulation models. *Climatic Change*, 35(2): 241–258. DOI: 10.1023/A:1005315409698.
5. Avirmed D., Ishikawa M., Iijima Y., and Yamkin J, (2014). Temperature Regimes of the Active Layer and Seasonally Frozen Ground under a Forest-Steppe Mosaic, Mongolia, Permafrost and Periglac. *Process.*, 25, pages 295–306, doi: 10.1002/ppp.1824.
6. Carslaw HS, Jaeger JC, (1959). *Conduction of Heat in Solids*, 2nd Ed. Oxford University Press: Oxford.
7. Chasmer et al., (2011). Vegetation canopy and radiation controls on permafrost plateau evolution within the discontinuous permafrost zone, Northwest Territories Canada. *Permafrost and Periglacial Processes* 22:199-213, DOI:10.1002/ppp724
8. Etzelmüller B, et al., (2006). Mountain Permafrost distribution Modelling using a Multi-criteria Approach in the Hovsgol Area, Northern Mongolia, *Permafrost and Periglacial Processes*, 17, 91-104.
9. Etzelmüller B, Farbrot H, Guðmundsson A, Humlum O, Tveito OE, Björnsson H, (2007). The regional distribution of mountain permafrost in Iceland. *Permafrost and Periglacial Processes* 18: 185–199. DOI: 10.1002/ppp.583.
10. Etzelmüller B, Schuler TV, Farbrot H, Guðmundsson A, (2008). Permafrost in Iceland distribution, ground temperatures and climate change impact. In *Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost*, 29 June–3 July 2008, University of Fairbanks, Fairbanks, Alaska. Institute of Northern Engineering, University of Alaska, Fairbanks.
11. Juliussen H, Humlum O, (2007). Towards a TTOP ground temperature model for mountainous terrain in central-eastern Norway. *Permafrost and Periglacial Processes* 18: 161–184. DOI: 10.1002/ppp.586.
12. Kudryavtsev VA, Garagulya LS, Kondrat'yeva KA, Melamed VG, (1974). *Fundamentals of Frost Forecasting in Geological Engineering Investigations*. Cold Regions Research and Engineering Laboratory: Hanover, NH.
13. Haeberli W. (1973). Die Basis-Temperatur der winterlichen Schneedecke als möglicher Indikator für die Verbreitung von Permafrost in den Alpen. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 9, p. 221-227.
14. Lewkowicz AG, Ednie M, (2004). Probability mapping of mountain permafrost using the BTS method, Wolf Creek, Yukon Territory, Canada. *Permafrost and Periglacial Processes* 15: 67–80. DOI: 10.1002/ppp.480.
15. Lewkowicz AG, Bonnaventure PP, (2008). Interchangeability of local mountain permafrost probability models, northwest Canada. *Permafrost and Periglacial Processes*, 19: 49–62. DOI: 10.1002/ppp.612.
16. Lunardini VJ, (1978). Theory of N-factors and correlation of data. In *Proceedings of the Third International Conference on Permafrost*, Vol. 1. National Council of Canada: Ottawa; 40–46.
17. Lunardini VJ, (1981). *Heat transfer in cold climates*. Van Nostrand Reinhold: New York.
18. Nelson, F. E., and S. I. Outcalt, (1987). A computational method for prediction and regionalization of permafrost, *Arct. Alp. Res.*, 19, 279–288.
19. Riseborough, D., Shiklomanov, N., Etzelmüller, B., Gruber, S. and Marchenko, S, (2008). Recent advances in permafrost modelling. *Permafrost Periglac. Process.*, 19: 137–156. doi:10.1002/ppp.615

20. Romanovsky VE, Osterkamp T, (1995). Interannual variations of the thermal regime of the active layer and near-surface permafrost in northern Alaska. *Permafrost and Periglacial Processes*, 6(4): 313–335. DOI: 10.1000/PPP.3430060404.
21. Romanovsky VE, Osterkamp TE, (1997). Thawing of the active layer on the coastal plain of the Alaskan Arctic. *Permafrost and Periglacial Processes*, 8(1): 1–22. DOI:10.1002/(SICI)1099-1530(199701)8:1<1::AID-PPP243>3.0.CO;2-U.
22. Sazonova TS, Romanovsky VE, (2003). A model for regional-scale estimation of temporal and spatial variability of active layer thickness and mean annual ground temperatures. *Permafrost and Periglacial Processes* 14: 125–139. DOI: 10.1002/ppp.449.
23. Shiklomanov NI, Nelson FE, (1999). Analytic representation of the active layer thickness field, Kuparuk River Basin, Alaska. *Ecological Modeling*. 123(2-3): 105–125. DOI: 10.1016/S0304-3800(99)00127-1.
24. Shur YL, Slavin-Borovskiy VB, (1993). N-factor maps of Russian permafrost region. In *Proceedings of the Sixth International Conference on Permafrost*, Vol. II. South China University of Technology Press, Wushan, Guangzhou, China; 564–568.
25. Smith MW, Riseborough DW, (1996). Ground temperature monitoring and detection of climate change. *Permafrost and Periglacial Processes*, vol 7 no 4, pp. 301–310. DOI:10.1002/(SICI)1099-1530(199610)7:4<301::AIDPPP231>3.0.CO;2-R.
26. Stendel M, Romanovsky VE, Christensen JH, Sazonova T, (2007). Using dynamical downscaling to close the gap between global change scenarios and local permafrost dynamics. *Global and Planetary Change* 56: 203–214. DOI:10.1016/j.gloplacha.
27. Westermann S, T.I.Ostby, K.Gisnas, T.V.Schuler, and B.Etzelmuller, (2015). A ground temperature map of the North Atlantic permafrost region based on remote sensing and reanalysis data, *The Cryosphere*, 9, 1303-1319, www.the-cryosphere.net/9/1303/2015/ DOI:10.5194/tc-9-1303-2015
28. Williams PJ, Smith MW, (1989). *The Frozen Earth: Fundamentals of Geocryology*. Cambridge University Press: Cambridge.

2.2 МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ЗУРАГЛАЛЫН АРГАЗҮЙ

2.2.1 Цэвдгийн дээд хилийн температурыг загварчлах аргазүй

Орчин үед цэвдгийн зураглалын боловсруулалтад ТТОР загварыг өргөн ашиглах болсон. ТТОР 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 жилээс жилд хувиралт ихтэй байдаг. Идэвхтэй давхаргын дулаан дамжуулалтын коэффициент нь хурдас чулуулгийн бүтэц, нягт, чийг зэргээс хамаарч өөрчлөгддөг. Иймд эдгээр параметруудийг үнэн зөв тодорхойлох нь загварын үр дүнд чухал нөлөөтэй. Уулархаг бүс нутагт дээрх параметрууд нь орон зайн хувьд богино зайд өөрчлөгддөг онцлогтой.

ТТОР загвар нь ашиглахад энгийн боловч хэд хэдэн сул талтай. Параметрууд нь орон зайн төдийгүй цаг хугацааны хувьд хувьсамтгай байдаг. Мөн ТТОР 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.Люнардений танилцуулсан N-факторын онол ба ЗХУ-ын эрдэмтэн В.А.Кудрявцевын температурын үсрэлтэд тулгуурлан ТТОР загварыг 1996 онд Канадын эрдэмтэн М.В.Смит гарган авсан. ТТОР загвар нь бүс нутгийн зураглалд илүү тохиромжтой бөгөөд Канадын хойд бүс нутагт шалгагдсан байдаг (Smith and Riseborough, 2002; Riseborough, 2003; Wright et al., 2003). Харин Оросын хойд, Скандиновын хойг, Ирланд, Гренланд арал, Канадын хойд бүс нутгийг хамарсан ТТОР температурын зургийг Норвегийн эрдэмтэн С.Вестерманн 2015 онд гаргасан бөгөөд статистик шалгалтын үзүүлэлт сайтай гарчээ. 2016 онд цэвдгийн тархалтын загварчлалын аргазүй болох ТТОР аргазүйг ашиглан 1:1000 000 масштабтай Монгол орны цэвдгийн тархалтын зургийг зохиосон (Жамбалжав нар, 2016).

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

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

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

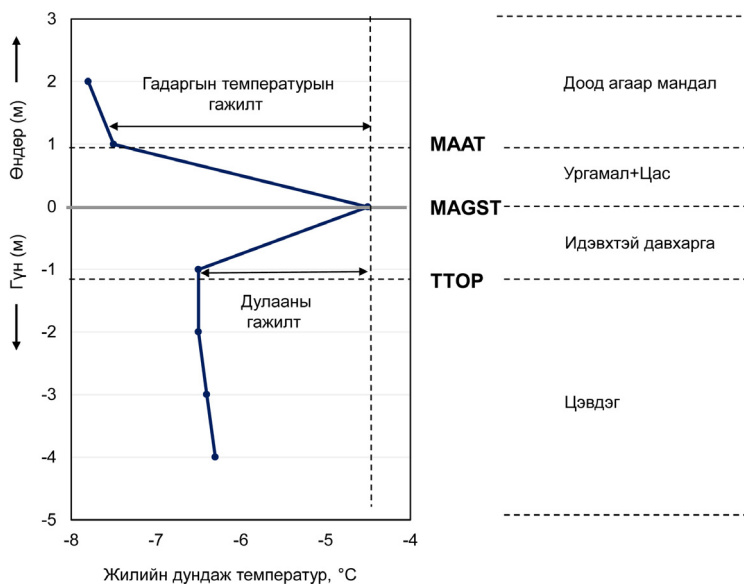
$t_{\xi}(\text{ТТОР})$ -Цэвдгийн дээд хил дээрх жилийн дундаж температур

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.

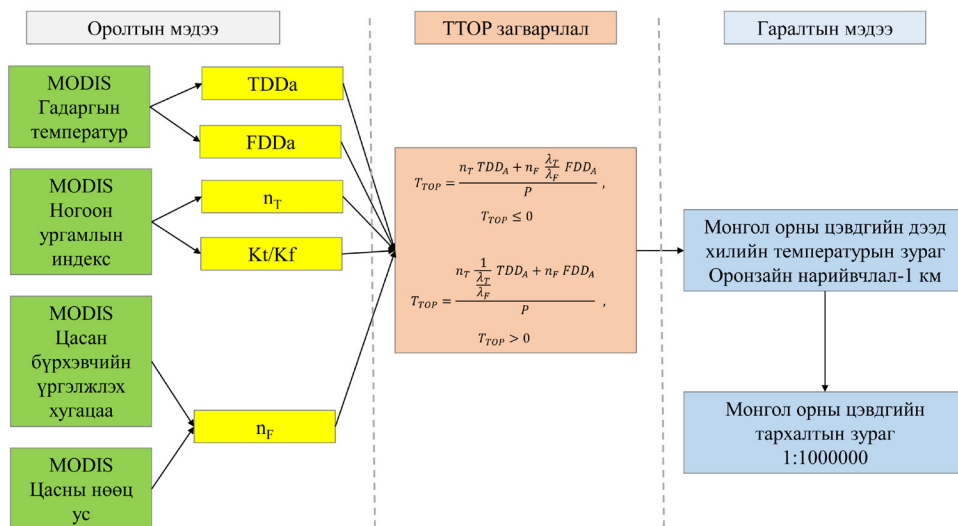
ТТОР загварт хэд хэдэн хялбарчлал хийсэн байдаг. Үүнд хөрсний дулаан дамжуулалтын коэффициент өвөл, зуны улиралд тогтмол, хөрсний чийгийн шилжих хөдөлгөөн, чийгт зарцуулах дулааныг тооцоогүй зэрэг дутагдалтай талтай ч ТТОР загвар нь энгийн тэгшитгэлээр илэрхийлэгдсэн байдаг бөгөөд агаар мандал ба чулуун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

Ерөнхийдөө ТТОР загварчлал нь үе шаттайгаар цэвдгийн дээд хилийн жилийн дундаж температурыг тооцоолдог. Нэгдүгээрт агаарын буюу ургамал болон цасан бүрхүүлийн дээрх температурын орон зайн тархалтыг гаргана. Хоёрдугаарт ургамал болон цасан бүрхүүлийн доорх температурыг зураглах, Гуравдугаарт цэвдгийн дээд хилийн температур буюу ТТОР температурыг зураглах явдал юм.

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ



Зураг 5. TTOP-ыг тооцоолох онолын үндэслэл, ерөнхий схем



Зураг 6. TTOP загварт ашигласан мэдээ, үр дүнгийн схем

Цасан болон ургамал бүрхэвчийн дээрх жилийн дундаж температур (жилийн дундаж агаарын температур, Mean Annual Air Temperature-MAAT) нь тэдгээрийн доорх жилийн дундаж температур (газрын гадаргын жилийн дундаж температур, Mean Annual Ground Surface Temperature-MAGST)-аас хүйтэн байдаг. Мөн цэвдгийн дээд хилийн жилийн дундаж температур (TTOP эсвэл MAGT) нь гадаргын жилийн дундаж температураас хүйтэн байдаг (Зураг 5). Агаарын жилийн дундаж температур ба газрын гадаргын жилийн дундаж температурын хоорондын зөрөөг гадаргын температурын гажилт (sur-

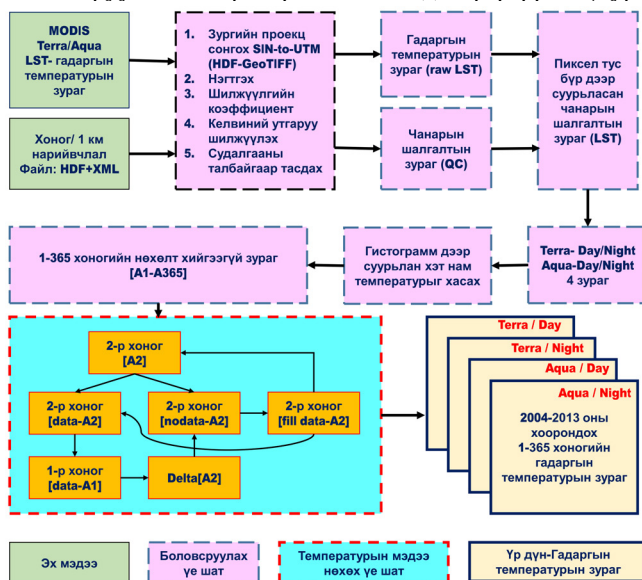
face offset) гэнэ. Харин газрын гадаргын жилийн дундаж температур ба цэвдгийн дээд хилийн жилийн дундаж температур хоёрын хоорондын зөрөөг дулааны гажилт (thermal offset) гэдэг.

Агаарын буюу ургамал болон цасан бүрхэвчийн дээрх температурын орон зайн тархалтыг зураглахад MODIS хиймэл дагуулын гадаргын температурын мэдээг (MODIS Land Surface Temperature-LST) ашигласан болно. Ургамал болон цасан бүрхэвчийн доорх температур (GST)-ыг зураглахад цасан болон ургамал бүрхэвчийн орон зай, цаг хугацааны зураг шаардлагатай болсон. Ургамал бүрхэвчийн шинж чанарыг тодорхойлоход MODIS хиймэл дагуулын TERRA платформын ногоон ургамлын индексийн зургийг (MOD_NDVI_16days) ашигласан. Цасан бүрхэвчийн зурагт MODIS хиймэл дагуулын TERRA платформын цасан бүрхэвчийн зураг болон Колорадо их сургуульд боловсруулсан MODIS/AQUA – ийн AMSR-E сенсоровн 25 километрийн орон зайн нарийвчлалтай цасны нөөц усны (Snow water equivalent) зураг зэргийг ашигласан.

Цэвдгийн тархалтыг тодорхойлох нь нэлээд нарийн төвөгтэй олон хүчин зүйлээс хамаарах бөгөөд, ялангуяа уулархаг бүс нутагт түүний тархалтын зураглалд олон аргагүй ашигладаг бөгөөд тэдгээрээс хамгийн тохиромжтой аргазүйн нэг бол ТТОР загварчлал юм (Зураг 6).

2.2.2 Агаарын буюу MODIS LST температурын орон зай, цаг хугацааны тархалтын тооцооны аргачлал

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



Зураг 7. Судалгааны аргазүйн ерөнхий схем

Зургийг проекцид шилжүүлэх: MODIS Reprojection Tool (MRT V4.0) программ ашиглан тэгш өнцөгт синусойд (sinusoidal) проекцтэй, HDF өргөтгөл бүхий эх мэдээг Universal Transverse Mercator проекцид шилжүүлсэн (UTM Zone 48N, WGS84 ellipsoid). Ингэхдээ шинжлэх ухааны багц мэдээлэл (SDS) 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 планшетууд нь нэгэн төрлийн буюу 16_BIT_UNSIGNED хэлбэртэй байна. Харин нэгтгэсэн зургийг үүсгэх тохиолдолд дээрх кодыг заавал тааруулж өгөх бөгөөд дараагийн шилжүүлэгд алдаа гарахгүй нөхцөлийг бүрдүүлнэ.

Кельвины утгаруу хөрвүүлэх: Хиймэл дагуулын бүртгэж авсан гадаргын цацаргалтын мэдээг (Digital Number) боловсруулан 0-65535 утгаар илэрхийлсэн байх бөгөөд ArcGIS программын растер зургийн тооцоолол цэсний тусламжтайгаар хиймэл дагуулын эх мэдээг 0.02 коэффициентээр үржүүлж Кельвины утгаруу хөрвүүлнэ.

Гадаргын температур (Кельвин)=Эх мэдээ (DN=7500÷65535)*0.02 (4)

Гистограмм дээр суурьлан 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) утгын гистограмм тархалтад суурилан 1-р болон 3-р зэргийн 4-ний нэгийг тодорхойлж (1st, 3rd quartile) хэвийн тархалтын дээд, доод хязгаарыг тодорхойлно.

$$1^{st}_{quartile} = L + \frac{\left(\frac{N}{2} * 1\right) - F}{f} * c \quad 3^{rd}_{quartile} = L + \frac{\left(\frac{N}{2} * 3\right) - F}{f} * c$$

Үүнд:

L-ангилалын доод хязгаар, N-хэмжилтийн нийт тоо,

F-өмнөх ангилалын хуримтлагдсан давтамж,

f-одоогийн ангилалын давтамж, c-ангилалын алхам

Ингэснээр хязгаараас давсан артефактны утгуудыг хасаж хэвийн тархалт бүхий засварласан зургийг үүсгэнэ. 1-р болон 3-р кваттайлаас хамаарсан дээд доод хязгаарыг дараах томъёогоор олно.

Доод хязгаар = 1st_quartile - 1.5 × (3rd_quartile - 1st_quartile)

Дээд хязгаар = 3rd_quartile + 1.5 × (3rd_quartile - 1st_quartile)

Эдгээр үйлдлийг ArcGIS программын дэд программ болох ArcPy дээр Python программчлалын хэл ашиглан гүйцэтгэнэ. Тухайн температурын орон зайн тархалтын зураг нь 1кмХ1км пикселээс тогтсон нэгэн төрлийн матриц бөгөөд зургийн бүх пикселийн утгыг текст хэлбэрлүү хөрвүүлнэ. Текст бүхий тоон матрицаас утгагүй хэсгийг (NA=-9999) хасч үлдсэн утгуудаас доод, дээд хязгаарыг тооцно.

Чанарын шалгалт хийх: Гадаргын температурын мэдээг боловсруулахдаа үүлтэй болон алдаатай мэдээ бүхий утгуудыг хассан. Тухайн нэг пиксел дээрх утга агаар

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ

мандлын болон гадаргын бүрхэвчийн онцлогоос хамааран алдаатай болдог. Иймд 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 (Quality Control) нь MODIS-ын гадаргын температурын зураг дээрх хэмжилтийн утгын алдааны нарийвчлалын зураг бөгөөд 0-255 утгын хооронд хэлбэлзэнэ. Энэхүү утгийг 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 алдаа 2°K-тэй тэнцүү буюу бага утга байх 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 (Гансүх, 2015).

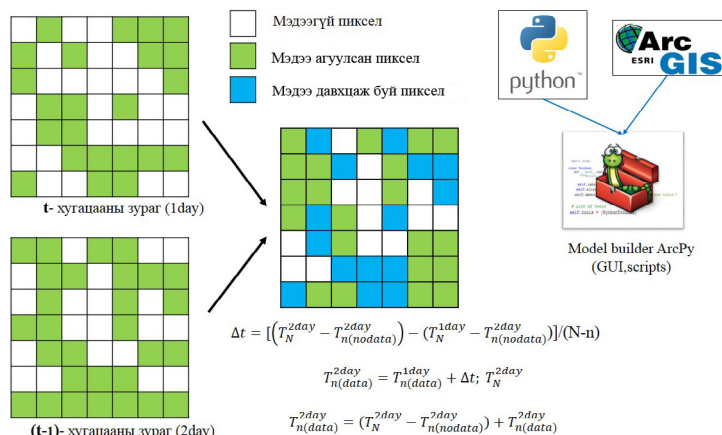
Температурын мэдээг нөхөх: Судлаачдын гадаргын температурын мэдээг нөхөх янз бүрийн аргазүй нь тухайн судалгааны талбайн газарзүйн байршил, өндөр, зүг зовхис, далайн нөлөө, салхи, хотгор гүдгэрийн онцлогоос хамааран олон гишүүнт регрессийн тэгшитгэл, 3 хэмжээст шугаман интерполяци, Фурьегийн хувиргалт,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

Хүснэгт 2. MODIS-ын гадаргын температурын мэдээ боловсруулж байсан судлаачид, аргазүй болон нарийвчлал

Зохиогч	Аргазүй	Хамрах хүрээ	Нарийвчлал	Хугацаа	Мэдээ	Гаралт
Scharlemann et al., 2008	Фурьегийн хувиргалт	Дэлхий	1000 м	2001–2005	2 цаг/8 өдөр	34 үзүүлэлтээр тодорхойлсон LST
Neteler, 2010	Эзэлхүүнт (3D) шугаман интерполяци	Италийн хойд хэсэг	200 м	2000–2008	4 цаг/өдөр бүр	Цаг хугацааны бүрэн цуваа
Crosson et al., 2012	Улирлын дундаж	АНУ	1000 м	2003–2008	4 цаг/өдөр бүр	Хэсэг хугацааны цуваа
Hengl et al., 2011	Цагийн дундаж, 2D шугаман интерполяци	Хорват	1000 м	2008	2 цаг/8 өдөр	Цаг хугацааны бүрэн цуваа
Benali et al., 2012	Цагийн нийлбэр	Португаль	250 м	2000–2009	2 цаг/өдөр бүр	Хэсэг хугацааны цуваа
Markus et al., 2014	Цагийн дундаж, олон гишүүнт регресс, шугаман интерполяци	Европ	1000 м	2000–2013	4 цаг/өдөр бүр	Цаг хугацааны бүрэн цуваа

Олон янзын байгалийн бүс, бүслүүр, газарзүйн байршил, өндрийн ялгаатай байдал, уур амьсгалын өөр өөр хэв шинжээс шалтгаалан хамаарлын тэгшитгэл, интерполяцийн аргыг хэрэглэх боломжгүй. Иймээс цагийн болон хоногийн дундаж утгууд, тэдгээрийн зөрүүн дээр үндэслэн температурын утгыг нөхөх аргазүйг сонгосон. Тухайн өдрийн мэдээ байхгүй хэсгийг нөхөхдөө өмнөх болон дараагийн өдрийн мэдээ, тухайн сарын

температурын өсөх, буурах температурын харьцангуй утга (Δt) дээр суурилан нөхсөн. Ингэхдээ эхний өдрийн мэдээгүй пикселийг дараа юм уу, өмнөх өдрийн мэдээтэй утгыг авч ашиглах бөгөөд тэрхүү пикселийн утгыг хоногийн температурын өөрчлөлтийн зөрүүгээр нэмэгдүүлэх зарчмаар тооцоолно. Аливаа нэг газарт температурын утга байхгүй нөхцөлд хамгийн ойр орших температурын утга бүхий пикселийн хоногийн зөрүүг ашиглан нөхдөг (Зураг 8).



Зураг 8. Температурын мэдээ нөхөх аргазүйн схем

2.2.3 Ногоон ургамлын индексийн зураг (NDVI), ургамал бүрхэвчийн доорх температур болон дулааны улирлын нөлөөний хүчин зүйл (n_T -фактор)

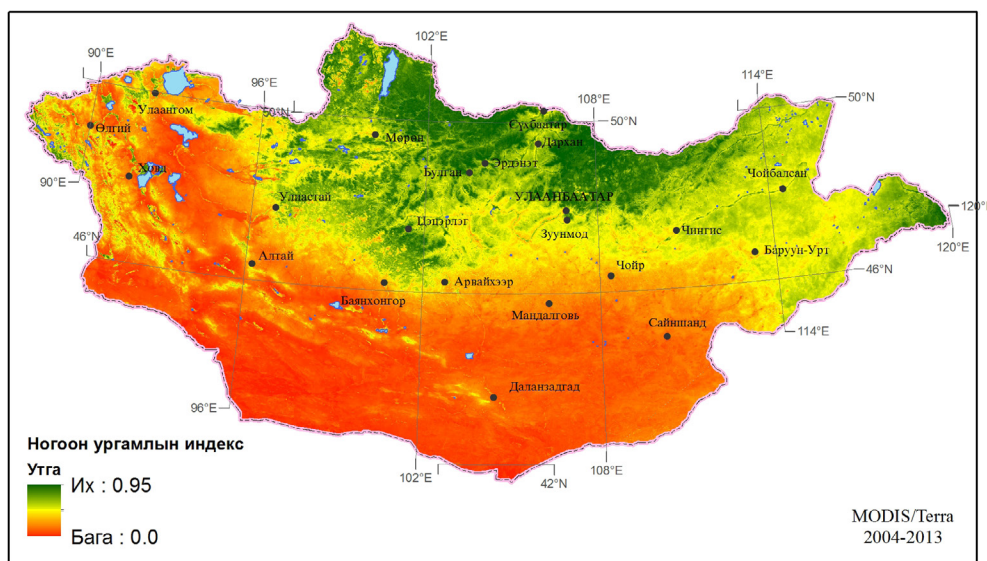
Ургамал бүрхэвч нь түүний доорх температурыг дулааны улиралд бууруулах, хүйтний улиралд нэмэгдүүлэх ерөнхий зүй тогтолтой боловч ургамлын төрөл, зүйлээс хамаарч харилцан адилгүй нэлээд нарийн төвөгтэй зүй тогтолтой (Кудрявцев, 1974). Дулааны улиралд ургамал бүрхэвч нь газрын гадаргыг хэт их халахаас хамгаалдаг бөгөөд ингэснээр тухайн гадаргаас уурших ууршилтыг багасгана (Шархүү, 2008). Нөгөө талаас, ялангуяа цэвдгийн тасалданги тархалттай бүс нутагт ургамал бүрхэвч нь цэвдгийн оршин байх нөхцөлийг илэрхийлэгч үзүүлэлт болдог. Монгол орны Хангай, Хэнтий, Хөвсгөлийн уулсад шилмүүст ойн дор ихэнхдээ цэвдэг тархсан байдаг. Шилмүүст ой нь гадаргад ирэх нарны шулуун цацрагийг сарниулах замаар тухайн газрын гадаргын температурыг бууруулдаг (Жамбалжав нар, 2011). Хөвсгөл нуурын зүүн эрэг Далбайн голын хөндийд судалгааны ялгаатай талбайнуудад янз бүрийн ургамал бүрхэвчийн n_T -факторыг тодорхойлсон байдаг (Anarmaa et al., 2008). Ойн n_T -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 байсан (Шархүү ба Анармаа, 2015).

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 болон сарын дундаж гэсэн 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 үндэслэн боловсруулсан байдаг.

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ

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 авч ашигласан. 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 байдаг. Өөрөөр хэлбэл дулааны улирлын n_T -факторыг тооцоолох учраас Монгол орны хэмжээнд 2004-2013 оны дулааны улирлын ургамлын нормчлогдсон индексийн хамгийн их утгын зургийг гаргасан (Зураг 9).



Зураг 9. Олон жилийн дундаж ногоон ургамлын нормчлогдсон индексийн зураг (2004-2013)

Монгол орны цэвдгийн зураглалын ажилд ургамал бүрхэвчийн нөлөөг дулааны улирлын n_T -фактороор илэрхийлсэн. Нийт 26 боломжит цэг дээр MODIS-ын гадаргын температур болон мониторингийн цооногийн газрын гадаргын температурын мэдээг ашиглан дулааны улирлын N -факторыг дараах тэгшитгэлээр тооцоолов.

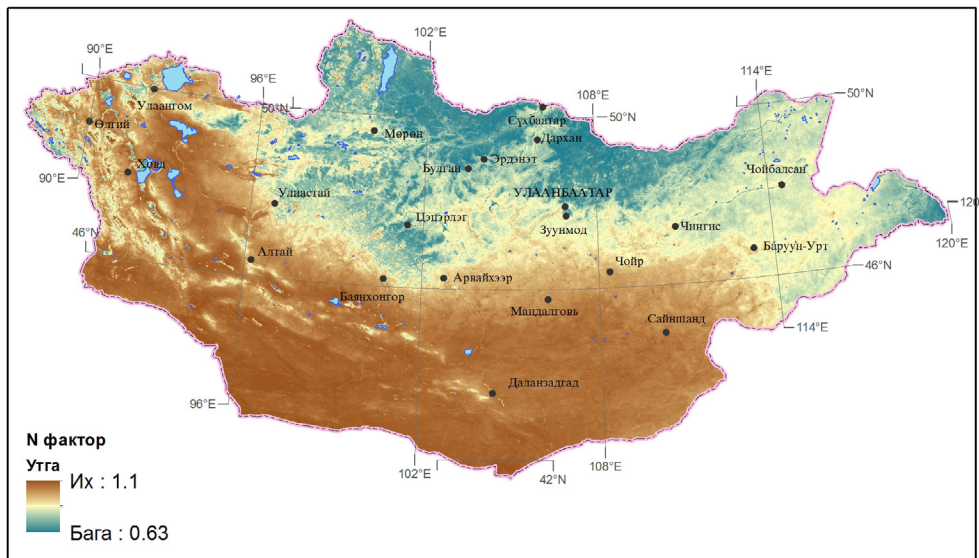
$$n_T = \frac{TDD_{\text{цооног}}}{TDD_{\text{MODIS LST}}}$$

n_T -фактор тодорхойлсон цэгүүд дээр харгалзах NDVI-ийн утгыг түүвэрлэж тэдгээрийн хоорондын корреляци хамаарал тооцохоос гадна энгийн нэг гишүүнт шугаман регресс бодуулж, статистик үзүүлэлтүүдийн R статистик программ ашиглан тооцоолсон.

Корреляцийн коэффициент -0.71, статистик ач холбогдол 0*** буюу маш сайн, $R^2=0.55$, $p\text{-value}=1.11\text{e-}05$ тус тус байсан бөгөөд дараах тэгшитгэлээр илэрхийлэгдэнэ.

$$n_T = 1.02 - 0.41 * NDVI$$

Энэхүү шугаман хамааралд үндэслэн дулааны улирлын n_T -факторыг Монгол орны хэмжээнд тооцоолсон бөгөөд 0.63–1.11 хооронд байсан. Ургамал бүрхэвч багатай Алтайн уулархаг нутаг, Их нууруудын хотгор, Говийн нутгаар өндөр гарсан бол, эсрэгээрээ Хангай, Хэнтий, Хөвсгөлийн уулархаг нутаг, Дорнодын тал хээрээр бага утгатай гарсан (Зураг 10).



Зураг 10. Монгол орны дулааны улирлын n_T -фактор

2.2.4 Цасан бүрхэвчийн тархалтын зураг, цасан бүрхэвчийн доорх температур болон хүйтний улирлын нөлөөний хүчин зүйл (n_F -фактор)

Цасан бүрхэвчийн дулаан тусгаарлалт нь тухайн газар нутагт цэвдэг бүрэлдэх температурын горимыг тодорхойлогч хүчин зүйлсийн нэг бөгөөд бичил цаг уурын нөхцөлөөс шалтгаалан харилцан адилгүй хэмжээ, хамаарлаар хувьсан өөрчлөгдөж байдаг. Өөрөөр хэлбэл цасан бүрхэвч нь өвлийн улиралд хөрсийг хэт хөрөх, хөлдөхөөс хамгаалдаг. Энэхүү дулаан тусгаарлалтын хэмжээ нь өвлийн агаарын температур, хугацаа, цасны нягт, зузаан зэргээс хамаарч өөрчлөгдөнө. Намар эрт орсон цасан бүрхэвч нь хөрсийг бага зэрэг хөргөх нөлөөтэй байдаг. Улаанбаатар хот орчимд цасан бүрхэвчийн дулаан тусгаарлалтын судалгааг хийсэн байна. Уг судалгааны үр дүнд дулаан тусгаарлалтын дундаж хэмжээг сийргээс (0.1 г/см^3) нягтавтарт шилжих (0.3 г/см^3) 5-10 см зузаан цасанд $1-5^\circ\text{C}$, 10-20 см зузаан цасанд $3-8^\circ\text{C}$ орчим байхаар тогтоосон. Цасны дулаан тусгаарлалтын хамгийн их хэмжээ нь 1-р сард, ялангуяа тэсгим хүйтэн өдрүүдэд илүү тод ажиглагдаж байна. Мөн тогтвортой цасан бүрхэвчийн эхний ба сүүлийн өдрүүдэд цасны дулаан тусгаарлалт бага зэргийн сөрөг утгад шилжиж байна (Шархүү, 2015).

Цасан бүрхэвчийн тархалтын зураг (Snow cover): MODIS/TERRA хиймэл дагуулын цасан бүрхэвчийн эх мэдээ нь синусойд тусгаг бүхий 500 м орон зайн шийдтэй, 8 өдрөөр дунджилсан HDF өргөтгөлтэй $1200\text{км} \times 1200\text{км}$ 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-h26v04 хооронд 7 планшетын мэдээг ашигласан бөгөөд эх мэдээний утга нь 0-255-р кодлогдсон байдаг. Эдгээр утгаас 200 код нь цасан бүрхэвчийн тархалтыг харуулдаг (Хүснэгт 3).

Цасны нөөц усны зураг (Snow water equivalent): Колорадо их сургуульд боловсруулсан MODIS/AQUA – ийн AMSR-E сенсрын 25 км–ийн орон зайн нарийвчлалтай цасны нөөц усны зурагт хиймэл дагуул дээр суурилсан сенсор нь агаар мандал, цасан бүрхүүл,

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ

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).

Хүснэгт 3. 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

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-ын ногоон ургамлын хүснэгт, жагсаалт зэргийг ашигласан. Мөн Геосфер-Биосфер хөтөлбөрийн ангиллыг (IGBP) ашиглан 0-100%-иар илэрхийлсэн. Дэлхий хойд болон өмнөд хагасын цасны нягтыг Канад болон ОХУ-ын цасны гадаргын хэмжилтийн мэдээнд үндэслэн 6 ангилан авч үзсэн. Цасан бүрхэвчийн зузааныг тооцоход газрын бүрхэвчийн ангилал дээр тулгуурласан цасны нимгэнээс зузаан руу шаталсан байдлаар ойтой болон ойгүй талбай дээр тодорхойлсон.

$$SD = (ff * (SDf)) + ((1 - ff) * (SDo))$$

Үүнд:

SD – Цасны зузаан (см)

SDf - Ойтой газрын цасны зузаан (см)

SDo - Ойгүй газрын цасны зузаан (см)

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

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

$$SWE = SD \text{ (см)} * \text{нягт (г см}^{-3}\text{)} * 10.0 \text{ (мм)}$$

2004 оны 10-р сарын 1-өөс 2011 оны 5-р сарын 1-ны өдрийн хоорондох 25 км орон

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ

зайн нарийвчлал бүхий 5 өдрийн дундаж цасны нөөц усны мэдээг энэхүү судалгаанд ашигласан. Монгол орны хэмжээнд h23v03-h26v04 хооронд 7 планшетын мэдээг ашигласан бөгөөд эх мэдээний утга нь 0-255 хооронд кодлогдсон байдаг. Эдгээр утгаас цасан бүрхэвч нь 0-200 код нь цасны нөөц усны утгыг илтгэх бөгөөд 2-т хуваан мм-ээр илэрхийлснээр тооцооны утгыг гарган авна (Хүснэгт 4).

Хүснэгт 4. Цасны нөөц усны зургийн кодын утга

Утга	Тайлбар
0-240	Цасны нөөц ус (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.

Цасан бүрхэвчийн тархалтын зураг (орон зайн шийд 500 м) болон цасны нөөц усны зураг (орон зайн шийд 25км) гаргасан бөгөөд цэвдгийн орон зайн тархалтын загварчлалд цасан бүрхэвчийн зузааны орон зайн тархалт хэрэгтэй байдаг. Иймд цасан бүрхэвчийн зузааныг цасны нөөц усны утгаар орлуулсан. Өөрөөр хэлбэл хэр их зузаан цас байна төдий хэмжээний их цасны нөөц устай байна. Гэвч энэхүү 25 км-ийн орон зайн нарийвчлал бүхий цасны нөөц усны зураг нь энэхүү зураглалын ажлын орон зайн нарийвчлалын шаардлага хангахгүй тул энд нарийвчлал сайжруулах аргыг (downscaling method) ашигласан. Нарийвчлал сайжруулах арга нь орон зайн ба цаг хугацааны нарийвчлал сайжруулах арга гэж 2 төрөл байдаг.

Мөн динамик ба статистик нарийвчлал сайжруулах арга гэж 2 янз байдаг бөгөөд статистик нарийвчлал сайжруулах аргын нэг болох олон гишүүнт шугаман регрессийн аргыг ашигласан. Цасны нөөц ус нь цасан бүрхэвчийн үргэлжлэх хугацаа болон өргөргөөс сайн хамааралтай байсан ба шугаман регрессийн шинжилгээг R статистик программ дээр хийсэн. Үүнд $R^2=0.59$, коэффициентүүдийн статистик ач холбогдол 0.001^{***} , $P\text{-value}<2.2e-16$ тус тус болно.

$$SWE=1.9*\Theta_{preop}+1.73*SCD-79.1$$

Үүнд:

SWE-цасны нөөц ус,

SCD-цастай байх хугацаа (цасан бүрхэвчийн хоногийн давтамж дээр үндэслэв)

Дээрх 2 гишүүнт шугаман регрессийн тэгшитгэлийг ашиглан 1000 м-ийн орон зайн нарийвчлалтай цасны нөөц усны зураг гарган авсан (Зураг 11).

Нарийвчлал сайжруулах аргаар гарган авсан цасны нөөц усны зургийг хүйтний улирлын N-фактор болгон хувиргахдаа Люнардины N-факторыг тооцоолох гаргалгааг (Lunardini, 1978) ашигласан.

$$N_f = \frac{FDD_{borehole}}{FDD_{MODIS\ LST}}$$

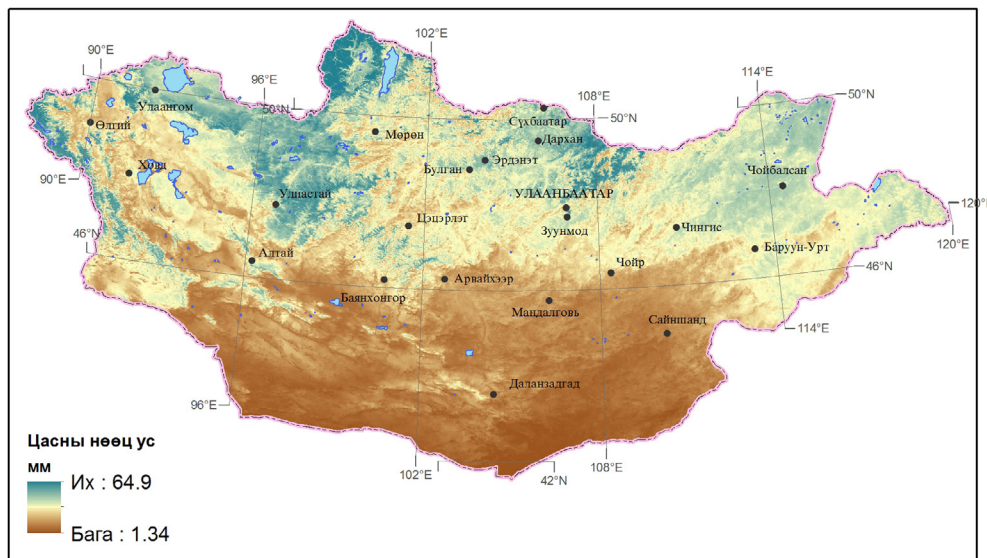
$$N = \frac{\int_0^{t_s} (T_f - T_s) dt}{\int_0^{t_a} (T_f - T_a) dt};$$

Үүнд:

τ_s ; τ_a – дулаан, хүйтний улирлын үргэлжлэх хугацаа, хоног

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

T_f – хөлдөх температур, °C



Зураг 11. Монгол орны нутаг дэвсгэрийн цасны нөөц усны зураг

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

$$N_f = \frac{FDD_s}{FDD_a}, \text{ хүйтний улиралд}$$

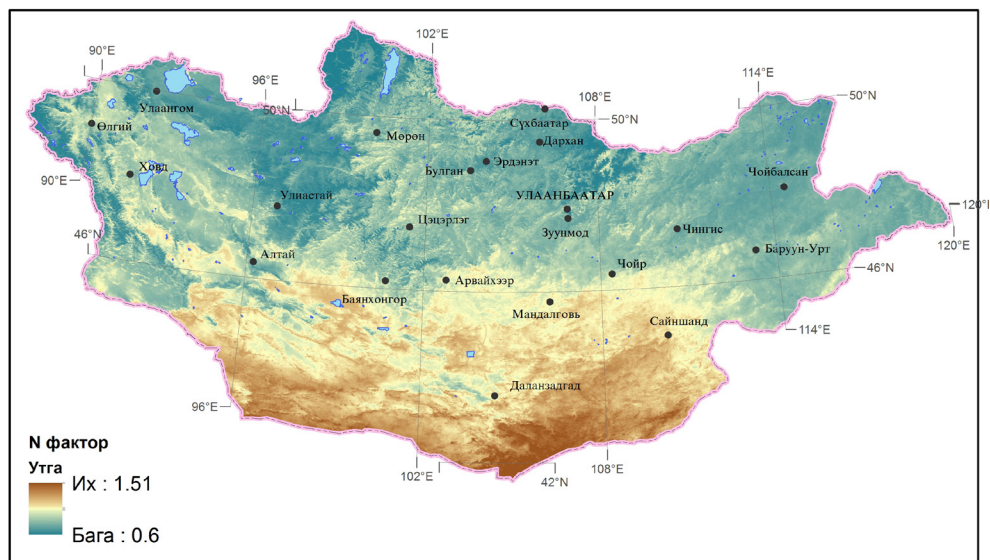
Монгол орны хэмжээнд боломжтой 37 цэг дээр MODIS-н гадаргын температур болон мониторингийн цооногийн гадаргын температурын мэдээг ашиглан хүйтний улирлын n_f -факторыг дараах тэгшитгэлээр тооцоолов.

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

n_f -факторыг тодорхойлсон цэгүүд дээр харгалзах цасны нөөц усны утгыг түүвэрлэж тэдгээрийн хоорондын корреляци хамаарал тооцсон. Корреляцийн коэффициент -0.67, статистик ач холбогдол 0^{***} , $R^2=0.45$, $p\text{-value}=4.02e-06$ тус тус байсан бөгөөд тэгшитгэл нь дараах болно.

$$n_f = 1.98 - 0.33 * \ln(SWE)$$

Дээрх тэгшитгэлээр тооцоолсон Монгол орны хүйтний улирлын n_f -факторын үзүүлэлт нь 0.62-1.51 хооронд хэлбэлзэнэ (Зураг 12). Монгол орны өмнөд хэсэгт цасан бүрхэвч тогтдоггүй бөгөөд n_f -фактор нь 1-ээс их. Уулархаг бүс нутаг, Увс нуурын хотгор, Орхон-Сэлэнгийн сав газраар цас их унадаг бөгөөд n_f -фактор нь 1-ээс бага.



Зураг 12. Монгол орны хүйтний улирлын n_f -фактор

2.2.5 Хөрсний дулаан дамжуулалтын коэффициент

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

ТТОР загварчлалын оролтын параметрууд нь нэлээд өндөр статистик үзүүлэлттэй тодорхойлогдсон бол дулаан дамжуулалтын коэффициент нь харьцангуй сул статистик хамааралтай байсан.

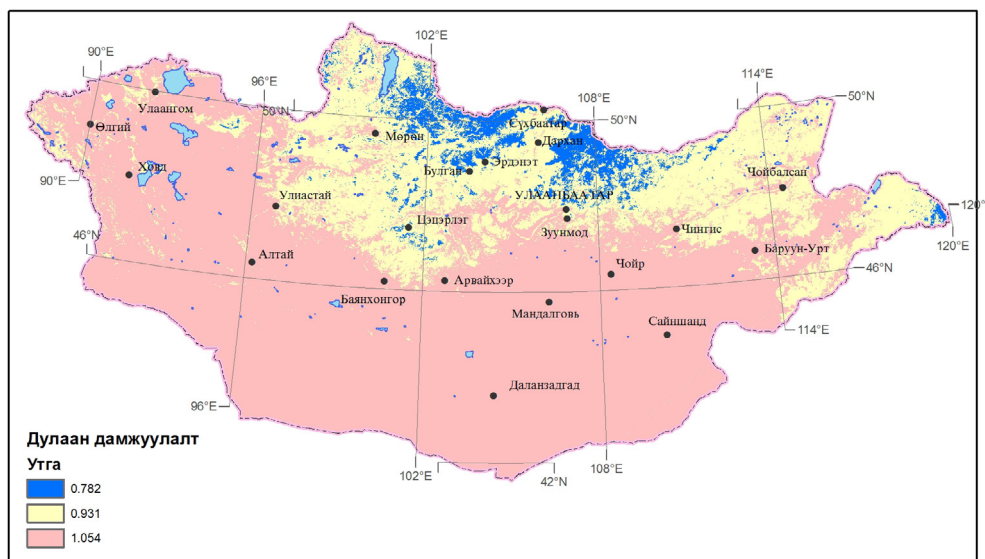
АНУ-ын “Decagon devices” компанид үйлдвэрлэсэн KD2 Pro (Thermal Properties Analyzer) багажаар тодорхой газруудад дулаан дамжуулалтын коэффициентийг хөлдүү болон гэсгэн төлөвт тодорхойлсон боловч Монгол орны нийт нутаг дэвсгэрийн хэмжээний үзүүлэлт харахан гаргаж авч чадаагүйн улмаас энэхүү материалыг ашиглаагүй болно. Харин тодорхойлж болох боломжит 38 цэг дээр загварын тэгшитгэлээс урвуу бодолт хийж гэсгэн болон хөлдүү төлөвийн дулаан дамжуулалтын коэффициентийн харьцааг гаргаж авсан бөгөөд цэг тус бүрд харгалзах NDVI-ийн утгыг тодорхойлсон. Гэвч гэсгэн болон хөлдүү төлөвийн дулаан дамжуулалтын коэффициентийн харьцаа ба NDVI – ийн хооронд сул корреляци хамааралтай байсан ($R=-0.34$). Иймд Монгол орны гэсгэн болон хөлдүү төлөвийн дулаан дамжуулалтын коэффициентын харьцаагаар нь 3 хувааж тэдгээрт харгалзах NDVI – ийн утга өгсөн. Ингэхдээ тухайн цэгүүд дээр гэсгэлэн болон хөлдүү төлөвийн дулаан дамжуулалтын коэффициентийг харьцуулсан утгуудаас $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ -т тохирох утгыг тооцоонд ашигласан (хүснэгт 5).

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ

Хүснэгт 5. Дулаан дамжуулалтын коэффициентийн харьцаа

$\lambda t/\lambda f$	NDVI
0.782	>0.8
0.931	>0.5 – 0.8>=
1.054	=<0.5

Дээрх хүснэгтэд өгөгдсөн утгаар Монгол орны хэмжээний гэсгэн болон хөлдүү төлөвийн дулаан дамжуулалтын коэффициентуудын харьцааны зураг гаргаж авсан. Гэсгэн болон хөлдүү төлөвийн 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 13).



Зураг 13. Монгол орны дулаан дамжуулалтын коэффициентуудын харьцааны зураглал

Ашигласан хэвлэл

1. Я. Гансүх, (2016). MODIS-н гадаргын температурын мэдээ боловсруулах аргазүй, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар. (Магистрын дипломын ажил).
2. Я.Гансүх, Я.Жамбалжав, (2015). MODIS хиймэл дагуулын гадаргын температурын мэдээг боловсруулах шинэ аргазүй, Хүрэлтогтоот-2015 эрдэм шинжилгээний бүтээл, хуудас 29-40, Улаанбаатар.
3. Н.Шархүү, Ш.Анармаа, (2015). Монгол орны хөрсний гадаргын бүрхэвчийн дулаан тусгаарлалт. , Монгол орны газарзүй асуудлууд, 11(27): 52-60.
4. Benali, A.C Carvalho, J.P Nunes, N. Carvalhais, A. Santos, (2012). Estimating air surface temperature in Portugal using MODIS LST data, *Remote Sens. Environ.* 124, 108–121.
5. Chang, A. T. C., J. L. Foster, Dorothy Hall, A. Rango, and B. Hartline, (1982). Snow Water Equivalence Determination by Microwave Radiometry. *Cold Regions Science and Technology* 5: 259-267.
6. Crosson W.L, M.Z Al-Hamdan, S.N.J Hemmings, G.M Wade, (2012). A daily merged MODIS Aqua–Terra land surface temperature data set for the conterminous United States. *Remote Sens. Environ.* 119, 315–324.
7. Delucchi L, (2015). PyMODIS documentation.
8. Foster, J. L., A. T. C. Chang, Dorothy K. Hall, and A. Rango, (1991). Derivation of Snow Water Equivalent in Boreal Forests Using Microwave Radiometry. *Arctic* 44(1):147-152.
9. Goodison, B., A. E. Walker, and F. W. Thirkettle, (1990). Determination of Snowcover on the Canadian Prairies Using Passive Microwave Data. *Proceedings of the International Symposium on Remote Sensing and Water Resources*. Enschede, The Netherlands, 127-136.
10. Kunzi, K. F., S. Patil and H. Rott, (1982). Snow-cover Parameters Retrieved from Nimbus-7 Scanning Multichannel Microwave Radiometer (SMMR) Data. *Geoscience and Remote Sensing: IEEE Transactions GE-20(4):452-467*.
11. Hachem S., M. Allard, and C.R Duguay, (2012). Comparison of MODIS-derived land surface temperatures with ground surface and air temperature measurements in continuous permafrost terrain” *The Cryosphere*, 6, 51–69.
12. Hengl T. , G.B.M Heuvelink, M. Perčec Tadić, E.J Pebesma, (2011). Spatio-temporal prediction of daily temperatures using time-series of MODIS LST images, *Theor. Appl. Climatol.* 107,265–277.
13. Hallikainen, M. T., and P. A. Jolma, (1986). Retrieval of Water Equivalent of Snow Cover in Finland by Satellite Microwave Radiometry. *Geoscience and Remote Sensing: IEEE Transactions GE-24(6):855-862*.
14. P.Jö nsson, L. Eklundh, (2012). Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data”. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 40, 1824–1832
15. Kudryavtsev VA, Garagulya LS, Kondrat’eva KA, Melamed VG, (1974). Fundamentals of Frost Forecasting in Geological Engineering Investigations. *Cold Regions Research and Engineering Laboratory: Hanover, NH*.
16. S.Lin, N.J.Moore, J.P.Messina, M.H. DeVisser, J.Wu, (2012). 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
17. Lunardini VJ, (1978). Theory of N-factors and correlation of data. In *Proceedings of the Third International Conference on Permafrost*, Vol. 1. National Council of Canada: Ottawa; 40–46.
18. Matzler, C, (1987). Applications of the Interaction of Microwaves with the Natural Snow Cover, *Remote Sensing Reviews Series*, Vol. 2. London: Taylor and Frances, Inc. *Remote Sensing Rev.*, 2, 259-391.
19. M. Metz, R. Duccio, M. Neteler, (2014). Surface Temperatures at the Continental Scale: Tracking Changes with Remote Sensing at Unprecedented Detail, *Remote Sens.* 6, 3822-3840; doi:10.3390/rs6053822
20. M. Neteler, (2010). Estimating daily Land Surface Temperatures in mountainous environments by reconstructed MODIS LST data”. *Remote Sens.* 2, 333–351.
21. M. Neteler, B.H.Bowman, M.Landa, M.Metz, (2012). GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS. *Environ. Model. Softw.*
22. M. Neteler, D.Roiz, D. Rocchini, C. Castellani, A. Rizzoli, (2011). Terra and Aqua satel-

- lites track tiger mosquito invasion: modelling the potential distribution of *Aedes albopictus* in north-eastern Italy” *International journal of health geographics*, doi:10.1186/1476-072X-10-49
23. R Development Core Team, (2009). R Development Core Team R: A Language and Environment for Statistical Computing; R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria.
24. G.J.Roerink, M.Menenti, W.Verhoef, (2000). Reconstructing cloudfree NDVI composites using Fourier analysis of time series, *Int. J. Remote Sens.* 21, 1911–1917.
25. D.J.Rogers, S.I.Hay, M.J. Packer, (1996). Predicting the distribution of tsetse flies in West Africa using temporal Fourier processed meteorological satellite data, *Ann. Trop. Med. Parasitol.* 90, 225-241.
26. Rott, H. and J. Aschbacher, (1989). Proceedings of the IAHS Third International Assembly on Remote Sensing and Large Scale Global Processes, Baltimore, MD. Publication No. 186.
27. J.P. Scharlemann, D. Benz, S.I. Hay, B.V Purse, A.J Tatem, G.R Wint, D.J. Rogers, (2008). Global data for ecology and epidemiology: A novel algorithm for temporal Fourier processing MODIS data, *PLoS One* 3, doi:10.1371/journal.pone.0001408.
28. Smith MW, Riseborough DW, (1996). Ground temperature monitoring and detection of climate change. *Permafrost and Periglacial Processes*, vol 7 no 4, pp. 301–310. DOI:10.1002/(SICI)1099-1530(199610)7:4<301::AIDPPP231>3.0.CO;2-R.
29. USGS EROS center, (2011). MODIS reprojection tool user’s manual.
30. Z. Wan et al., (2006). MODIS Land-Surface Temperature User Guide.
31. Z. Wan et al., (1999). MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document.
32. S. Westermann, M. Langer, and J. Boike, (2011). 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.
33. Westermann. S, T.I.Ostby, K.Gisnas, T.V.Schuler, and B.Etzelmuller, (2015). A ground temperature map of the North Atlantic permafrost region based on remote sensing and reanalysis data, *The Cryosphere*, 9, 1303-1319, www.the-cryosphere.net/9/1303/2015/ DOI:10.5194/tc-9-1303
34. Wright, J. F., Duchesne, C., and Cote, M. M, (2003). Regional-scale permafrost mapping using the TTOP ground temperature model, in: *In Proceedings of the Eighth International Conference on Permafrost*, edited by: Balkema, L. A., 1241–1246, Phillips, M., Springman, S. M., and Arenson, L. U., Zurich, Switzerland.

2.3 МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТЫН ЗУРАГ

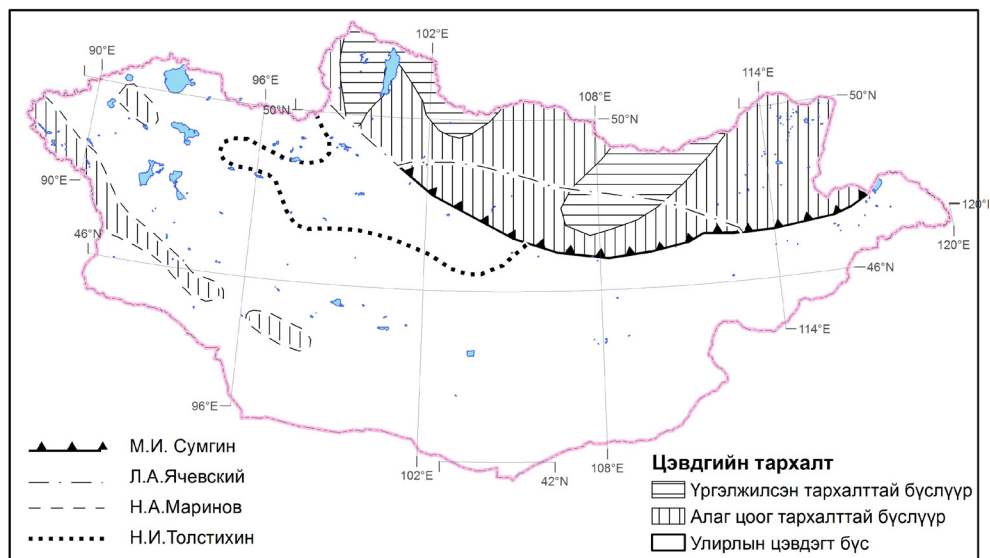
2.3.1 Монгол орны цэвдгийн зураглалын түүх

Гербельоны уур амьсгалын орон нутгийн мэдээг үндэслэж дэлхийн бөмбөрцөгийн хойт хагасын “Цэвдгийн тархалтын өмнөд хил Улаанбаатар орчимд оршино” гэдэг дүгнэлтийг 1842 онд Академич К.М.Бер анх удаа гаргажээ. Оросын эрдэмтэн Л.Я.Ячевский 1889 онд Улаанбаатараас 90 км хойгуур Хэнтий, Хангайн нурууны усны хагалбараар дайруулан цэвдгийн хилийн шугамыг зураглажээ. Эрдэмтэн Л.И.Прасолов 1912 оны 6 сарын 4-нөөс 7 сарын 16-ны хооронд Хиагтаас Улаанбаатар хүртэл замын дагуу газарзүйн байрлал, хөрсний үе давхаргын тогтоц, химийн найрлагыг судалжээ.

1927 онд ЗХУ-ын эрдэмтэн, цэвдэг судлаач В.Б. Шостикович, М.И.Сумгин нар Монгол орны цэвдгийн тархалтын хилийг Л.А.Ячевскийн тогтоосон шугамыг өөрчилж, Улаанбаатар хотоос 60-100 км-ын урдуур Хэнтий, Хангайн уулархаг мужийг хамруулан Монгол орны хойд хэсгийг оруулж, цэвдгийн өмнөд хилийг баруунаас зүүн тийш татсан байна. 1954 онд геологич эрдэмтэн Н.Толстихин, Н.Маринов, Лувсанданзан нарын зохиосон геологийн зурагт цэвдгийн хилийг өмнөх эрдэмтдийнхээс өөрөөр зуржээ. 1932 оны зун Ленинград хотын Барилгын институтын хээрийн судалгаагаар Улаанбаатар хот орчмын цэвдэг хөрс, чулуулгийг судлаж, газрын үе давхаргын даацыг тодорхойлж “Улаанбаатар хот орчмын цэвдэг” бүлгийг ЗХУ-ын цэвдэг судлалын хүрээлэнгийн эрдэм шинжилгээний бүтээлийн 7-р ботьд хэвлүүлжээ.

Судлаач Н.А.Цытович “Улаанбаатар хотын Туул голын хөндий, Налайх, Бүхэгийн голын адагт цэвдэг янз бүрийн гүнд тархсан ба заримдаа 36.5 м зузаан үе давхарга үүсгэсэн байдаг бөгөөд түүний температур нь -1°C байна” гэж тодорхойлжээ. 1936 онд В.И.Заверын Монгол Алтайн нурууны зүүн өмнөд хэсэг, х.ө 45° , з.у 96° солбицолд далайн төвшнөөс дээш 2250 м өндөрт орших Бага Даян уулын хавьд геологийн судалгаа хийх явцад дайралдсан цэвдэг 1.45-2.5 метрийн гүнд буюу агаарын температур 11°C хэм байхад, цооногийн 2 м-ийн гүнд -2°C байсныг тэмдэглэжээ.

Н.А. Маринов, Н.И.Толстихин нар 1950 онд Монгол орны цэвдгийн тархалтын зурагт



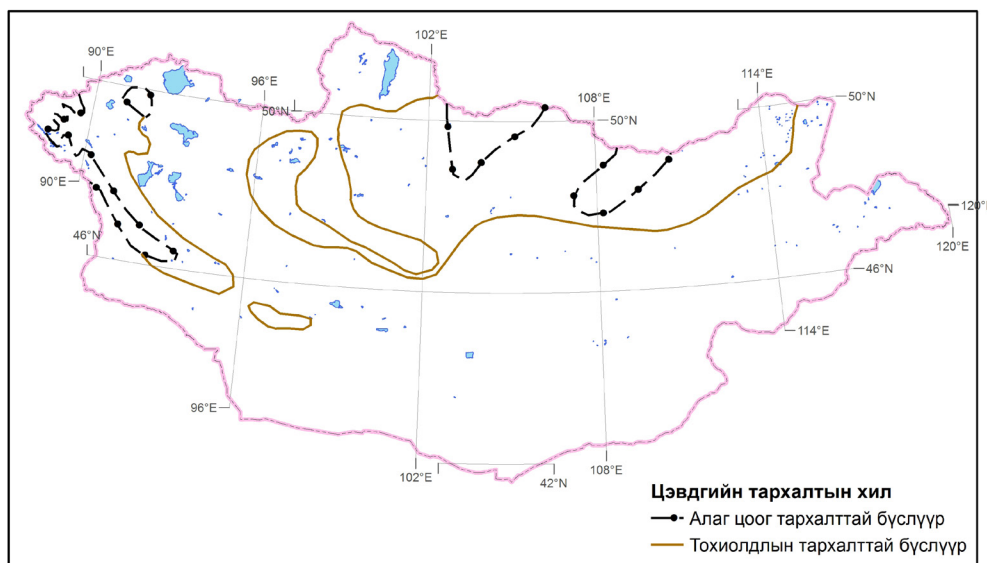
Зураг 14. Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураг (1967 оноос өмнө)

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ

үзүүлэхдээ Хөвсгөлийн уулархаг бүс нутагт цэвдэг түгээмэл тархалттай, түүний зузаан нь 15 м-ээс илүү гэж дүгнэсэн байна. Харин Хангайн уулархаг бүс нутагт алаг цоог тархалттай, зузаан биш, температур нь тэг хэмд ойролцоо гэж ерөнхийлөн дүгнэсэн бөгөөд цэвдгийн тархалтын өмнөд хилийг тогтоосон байдаг. Э.М.Мурзаев “Монгол орны цэвдгийн өмнө хил нь Хөвсгөлийн уулархаг бүс нутгаас эхлэн Хангайн өмнөд хэсгээр тойрч улмаар зүүн тийш Улаанбаатар хотын өмнүүр гарч цаашаа Хэрлэн голын өмнөд талаар Мөнххаан сум хүрч, тэндээс зүүн хойшоо Буйр нуурын зүг эргэнэ” гээд Монгол оронд цэвдэг тархсан хэд хэдэн шалтгааныг “БНМАУ-ын газарзүй” номонд тоймлон бичжээ.

О.Намнандорж 1954 оны 9 сард “Хөвсгөл нутагт аялсан замын тэмдэглэл” өгүүлэлдээ өнгөн хөрсний олон жилийн овон товон Дархадын хотгорын төв болон зүүн баруун хэсэгт олон жилийн бөөргүүд олноор үүссэн тухай ажиглан дүгнэлт хийжээ. Н.А.Маринов, В.И. Попов нарын 1963 оны номондоо Монгол оронд тархсан цэвдгийн өмнөд хилийг 1971 оны Монгол орны геокриологийн зурагтай нэлээд ойролцоо нарийвчлан гаргаж, цэвдгийн тархалтыг гурван бүсэд ангилан хуваасан нь чухал ач холбогдолтой болсон юм. Тэд Хөвсгөл нуурын баруун хэсэгт цэвдэг чулуулгийн зузаан нь 100-200 м, Хангайн хэсэгт 25-100 м хүрнэ гэж тэмдэглэжээ.

1958 онд Цэвдэг судлалын групп, 1960 онд Цэвдэг судлалын станц (Тосонцэнгэл, Чойбалсан, Налайх салбар станцтай), 1962 онд Газарзүй-Цэвдэг судлалын хүрээлэн тус тус байгуулагдсан бөгөөд 1960-аад оноос манай үндэстний мэргэжилтэн бэлтгэгдэж ирснээр цэвдгийн тархалтын зүй тогтол, температурын горим, криогений үзэгдэл, хөлдөлт, гэсэлтийг системтэйгээр судалж эхэлсэн.



Зураг 15. Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураг (Н.Лонжид, 1967)

Монгол орны газар нутагт тархсан цэвдгийн өмнөд хилийг 1970-аад оноос өмнө олон төрлийн арга, аргачлалаар тодорхойлж байсан. ЗХУ-БНМАУ-ын хамтарсан геокриологийн экспедицийн (1968-1970) судалгааны ажлын үр дүнд 1:1500000 масштабтай “БНМАУ-ын Геокриологийн зураг” 1971 онд зохиогдсон бөгөөд Монгол

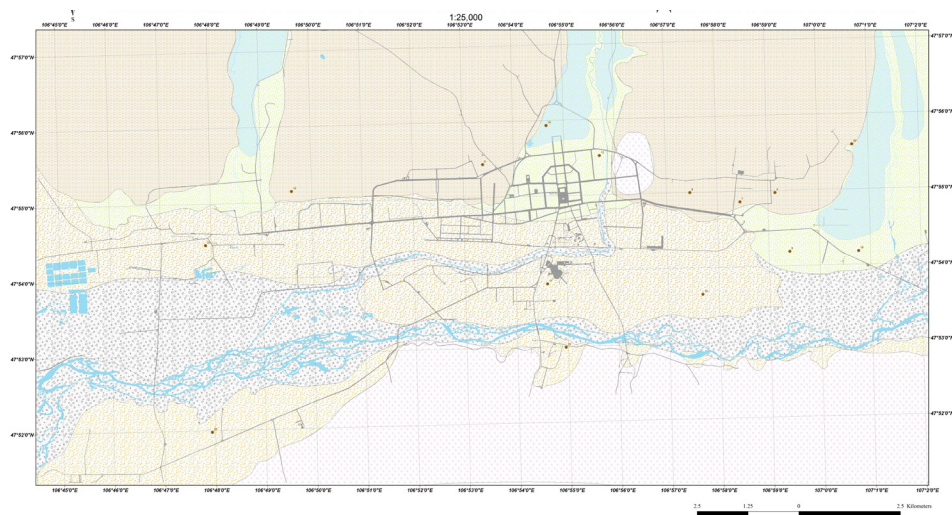
МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ

орны нийт газар нутгийн 63%-д тасалданги болон алаг цоог хэлбэрийн цэвдэгтэй гэж тогтоосон (Гравис нар, 1974). Түүнээс хойш зохиогдсон цэвдгийн зургууд нь уламжлалт аргаар буюу цэвдгийн температурын зүй тогтолыг ландшафт, геоморфологи, геологийн онцлогтой холбох замаар зурагласан бөгөөд Монгол орныг цэвдгийн тархалтаар нь үргэлжилсэн, тасалданги, алаг цоог, ховор алаг цоог, тохиолдлын, өнжмөл цэвдэгт бүслүүрүүд ба улирлын хөлдөлтийн бүсэд хуваасан. Цэвдэг тархах боломжит хувиар нь үргэлжилсэн тархалттай бүслүүрт >80%, тасалданги тархалттай бүслүүрт 40-80%, алаг цоог тархалттай бүслүүрт 10-40%, ховор алаг цоог тархалттай бүслүүрт 1-10%, тохиолдлын тархалттай бүслүүрт <1%-тай гэж тус тус ангилсан байдаг (Гравис нар, 1974).

1972-оос 2015 оны хооронд Монгол орны газар нутгийг бүхэлд нь хамарсан болон хэсэгчилэн хамарсан, мөн бүс нутаг, зарим газруудыг хамарсан цэвдгийн зургууд тодорхой цаг хугацаанд зохиогдож байжээ. Үүнд:

1977	Монгол орны цэвдгийн зураг	1: 3 000 000
1975	Улаанбаатар хотын улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн зураг	1: 25 000
1982	Сэлэнгэ мөрний сав газрын цэвдэг, инженер-геологийн зураг	1: 1 500 000
1986- 1988	Бүрэнхан, Хөвсгөлийн фосфиритийн орд газрын цэвдгийн зураг	1: 100 000
1987	Монгол орны цэвдэг, инженер-геологийн зураг (ОХУ-ын ПНИИИС-ын экспедиц)	1: 1 500 000
1989	Аргалант тосгон орчмын цэвдгийн зураг	1: 5 000
1989	Монгол орны цэвдгийн зураг	1: 2 500 000
1990- 1992	Монгол орны төв, зүүн хойд болон өмнөд хэсгийн цэвдгийн зураг	1: 500 000
1993- 1996	Налайх, Багануурын уурхай болон Богдхан уулын цэвдгийн зураг	1: 5 000 1:10 000 1: 50 000
2003	Мянганы замын дагуух цэвдгийн зураг	1: 1 000 000
2004	Монгол орны ул хөрсний улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн зураг	1: 1 500 000
2009	Тэрэлж, Налайх, Улаанбаатар хот орчмын цэвдгийн тархалтын зураг	1: 100 000
2014	Улаанбаатар хот орчмын геокриологийн зураг	1: 100 000

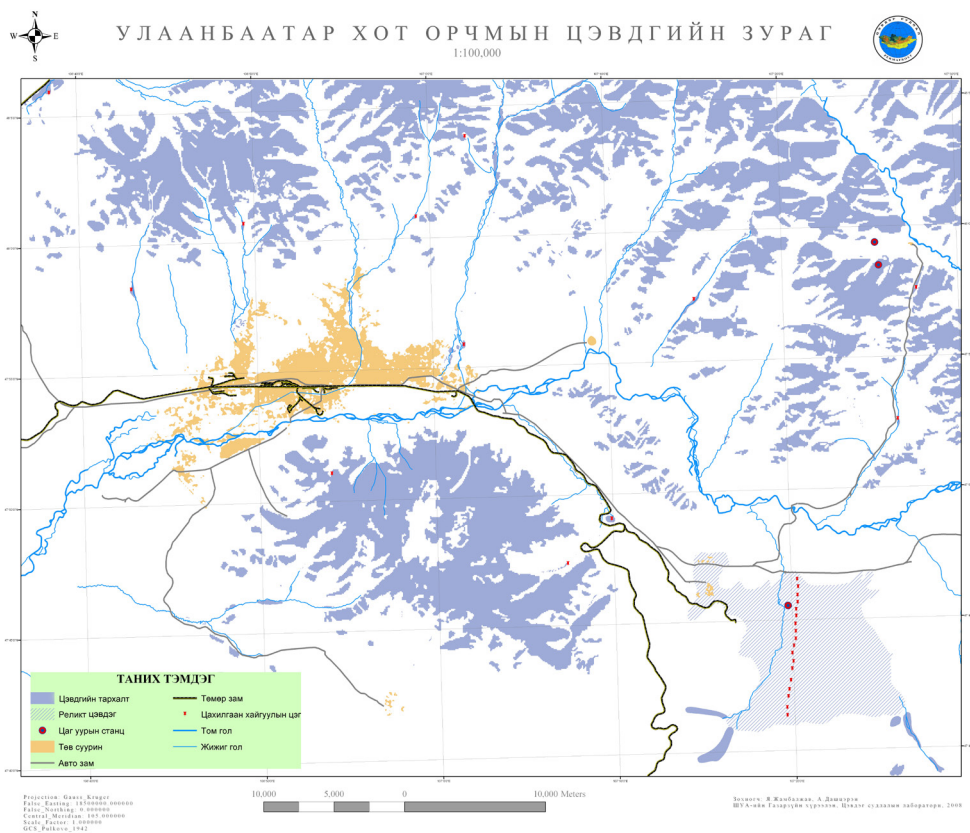
МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ



ТАНИХ ТЭМДЭГ

А район Б район В район Г район Д район Е район Цоног Гол Хатуу хучлагтай зам Мөнхдэдэг

Зураг 16. Улаанбаатар хотын ул хөрсний улирлын хөдлөлт, гэсэлтийн зураг (1971)



ТАНИХ ТЭМДЭГ

Цэвдгийн тархалт
Реликт цэвдэг
Цаг уурын станц
Төв суурин
Авто зам
Төмөр зам
Цахилгаан хайгуулын цаг
Том гол
Жижиг гол

10,000 5,000 0 10,000 Meters

Засалгаач: Я. Жамбалсүх, А. Дамдинсүх
ШУА-ийн Газарзүйн үйлдвэр, Шалгалт судалгааны лаборатори, 2009

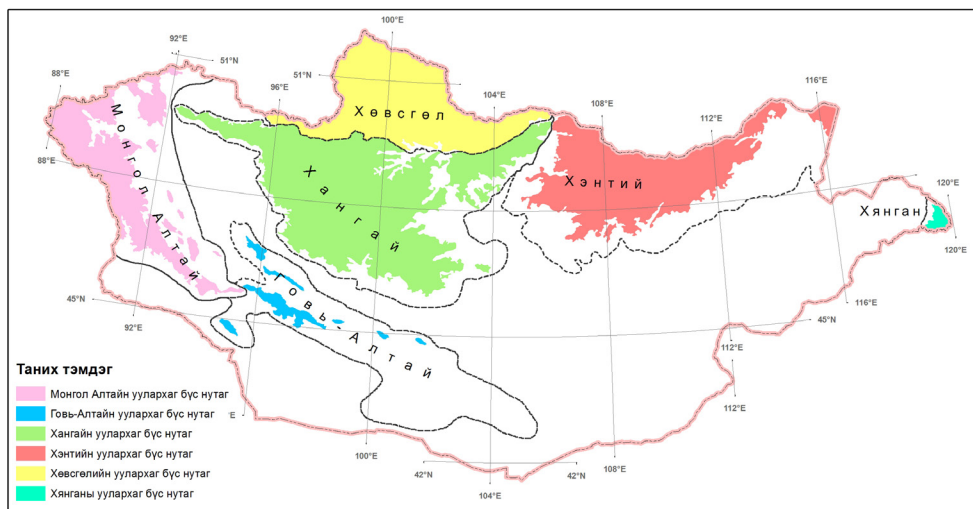
Зураг 17. Улаанбаатар хот орчмын цэвдгийн зураг (2009)

2.3.2 Монгол орны цэвдгийн зураг (1: 1 000 000)

Доктор Я.Жамбалжав 2016 онд “Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураг”-ийг 1:1000 000 масштабтайгаар шинэчлэн зохиосон (Я.Жамбалжав нар, 2016). Уг зурагт цэвдгийг тархалтаар нь үргэлжилсэн, тасалданги, алаг цоог, тохиолдлын тархалттай цэвдэгт бүслүүр болон улирлын хөлдөлтийн бүс гэж ангилсан бөгөөд нийт газар нутгийн 29.3%-д цэвдэг тархана.

Цэвдгийн дээд хилийн (цэвдэггүй бол улирлын хөлдөлтийн гүн дэх) жилийн дундаж температур нь үргэлжилсэн тархалттай бүслүүрт $<-2^{\circ}\text{C}$, тасалданги тархалттай бүслүүрт $-2^{\circ}\text{C} - (-1^{\circ}\text{C})$, алаг цоог тархалттай бүслүүрт $-1^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}$, тохиолдлын тархалттай бүслүүрт $0^{\circ}\text{C} - (+1^{\circ}\text{C})$, улирлын хөлдөлтийн бүсэд $>(+1^{\circ}\text{C})$ гэж ангилсан (Зураг 3).

Монгол орны цэвдэг нь температур, газарзүйн байрлал, ландшафт, геологийн онцлогоос хамаарч бүс нутаг бүрт харилцан адилгүй байдаг. Алтай, Хангайн уулсын цэвдгийн тархалтад өндрөөс хамаарсан зүй тогтол хүчтэй илэрдэг бол, Хөвсгөл, Хэнтийн уулсад гадаргын хэлбэр төрх, газрын бүрхэвч, хурдас чулуулгаас хамаарна. Үүнээс гадна уулархаг нутгийн цэвдгийн тархалтад өргөрөг, зүг зовхисын нөлөө хүчтэй илэрдэг. Цэвдгийн тархалтын онцлог болон ландшафт, физик газарзүйн мужлалд үндэслэн (Цэгмид, 1969; Даш, 2010) Монгол орныг Монгол Алтай, Говь-Алтай, Хангай, Хөвсгөл, Хэнтий, Хянганы уулархаг цэвдэгт бүс болгон 6 ангилсан (Зураг 18).



Зураг 18. Монгол орны цэвдэгт бүс нутгууд

Алтай, Хангай, Хөвсгөл, Хэнтийн уулархаг бүс нутагт цэвдэг төвлөрөн тархдаг бөгөөд Монгол орны хойд бүс нутгаар цэвдэг элбэг тархсан байдаг. Монгол улсын засаг захиргааны нэгжээр цэвдгийн тархалтыг авч үзвэл Хөвсгөл, Завхан, Архангай зэрэг аймгийн нутаг дэвсгэрт цэвдгийн тархах хувь хэмжээ илүү их бол Дорноговь, Өмнөговь, Дундговь, Говьсүмбэр, Сүхбаатар гэсэн говь, хээрийн бүсэд орших 5 аймгийн газар нутагт огт цэвдэггүй болно. Гэвч эдгээр аймгуудын газар нутаг улирлын хөлдөлттэй бүсэд оршино.

Энд цэвдгийн тархалт түүний онцлогийн талаар аймгийн нутаг дэвсгэрийн хэмжээнд бус дээр өгүүлсэн цэвдгийн бүсүүдийн хэмжээнд тодорхойлон бичсэн болно. Хангай,

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ

Хөвсгөлийн уулсын өндөрлөг хэсэг болон өргөгдсөн өргөн хөндий, хотгоруудад цэвдэг нь үргэлжилсэн тархалттай бол Монгол-Алтай, Говь-Алтайн нурууны зөвхөн өндөрлөг хэсэгт, Хэнтийн нурууны оройн таг хэсэгт үргэлжилсэн тархалттай байдаг. Тэгвэл үргэлжилсэн тархалттай хэсгийг хормойлж тасалданги, алаг цоог, тохиолдлын тархалттай бүслүүрүүд оршино. Хангайн уулархаг бүс нутагт цэвдгийн эзлэх хувь хэмжээ хамгийн их бол Хянганы нуруу, Халх-Нөмрөгийн голд тохиолдлын тархалттай цэвдэгтэй (График 2).

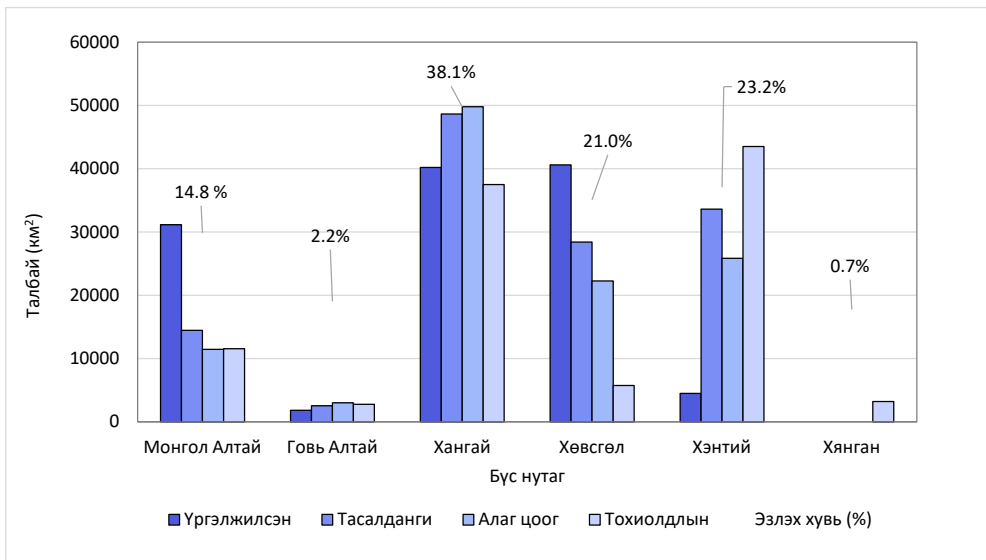


График 2. Уулархаг бүс нутгуудын цэвдгийн талбай, нийт цэвдэгт бүсэд эзлэх хэмжээ

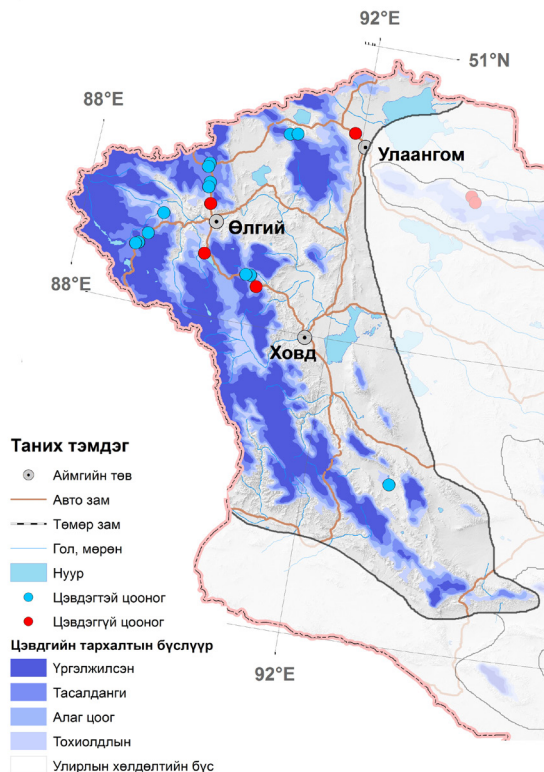
Монгол Алтайн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн тархалт

Энэ уулархаг бүс нутаг нь Монгол орны баруун захын Монгол Алтай, Сийлхэм, Хархираа, Түргэний уулсыг багтаадаг бөгөөд баруун хойноос зүүн урагшаа сунаж оршино. Түүний хил нь Увс нуурын хотгороос эхлэн Хяргас, Хар-Ус, Дөргөн, Хар нуурын хотгорыг хөндлөн огтолж, Дарвийн нурууны ар хормойгоор тойрч Шаргын хотгорыг дайран Алаг Хайрхан уулын өвөр бэлээр ороож Бодонч, Үенч голуудыг огтлон Булган голын урд талаар улсын хилд тулж очно.

Алтайн уулархаг мужид манай улсын Баян-Өлгий аймаг бүтнээрээ багтахас гадна Увс аймгийн баруун хэсэг, Ховд, Говь-алтай аймгийн баруун хэсэг тус тус ордог. Тус бүс нутгийн уул нурууд Монгол орон дахь урагшаа тохойрсон хоёрдох эгнээ уулс хамаарахдаа ихэвчлэн баруун хойноос зүүн урагшаа сунаж оршино. Үндсэн нуруу нь энэ чиглэлээр зэрэгцэн нягт байрласан учраас салбар нурууд богинохон бөгөөд Хангай, Хэнтийн их мужийн шиг гол нуруудад перпендикуляр орших явдал бараг үзэгдэхгүй, гол төлөв өргөрөг дагаж салбарлана. Монгол Алтайд улсын хилийн дагуу Гол нуруу оршино. Тэдгээрээс хамгийн өндөр нь гол нуруу (дундаж өндөр 3500 гаруй метр) бол бусад хоёр нуруу дараалан намсаж дундах нь 3000-аад метр, хамгийн хойдох нь 2500 орчим болно.

Монгол Алтайн уулархаг бүс нутаг нь газарзүйн байрлал, уулзүйн тогтоц, уур амьсгалын нөлөөгөөр геокриологийн өвөрмөц, бусдаас ялгаатай орчин бүрэлдсэн байдаг. Харьцангуй нимгэн сэвсгэр хурдас, тачир ургамал бүрхэвч нь тус бүс нутагт

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ



Зураг 19. Монгол-Алтайн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн зураг

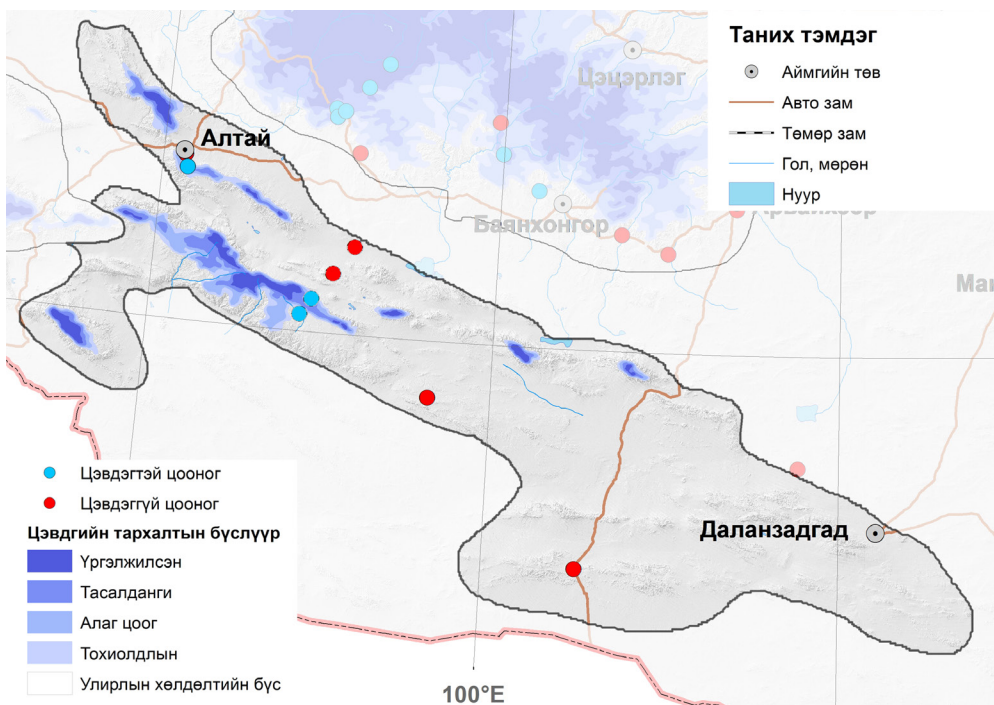
уулын онцлог шинжтэй цэвдэг бүрэлдэн тогтох бичил уур амьсгалын нөхцөл болдог. Өөрөөр хэлбэл тус уулсын системийн хэмжээнд цэвдэг үүсэн хөгжих, оршин тогтноход нөлөөлөх давамгайлах хүчин зүйлс нь далайн төвшнөөс дээш өргөгдсөн байдал болон зүг зовхис юм.

Энэхүү бүс нутагт Монгол орны цэвдэг тархах боломжит талбайн 14.8%-д ноогдох бөгөөд үргэлжилсэн тархалттай цэвдэг 31158 км², тасалданги тархалттай цэвдэг 14462 км², алаг цоог тархалттай цэвдэг 11459 км², тохиолдлын тархалттай цэвдэг 11571 км² талбайг тус тус эзлэнэ. Гадаргын өндөр болон зүг зовхис нь Монгол-Алтайн уулархаг бүс нутагт цэвдгийн тархалт, түүний доод хил оршин байх гол хүчин зүйлс болдог. Цэвдгийн тархалтын доод хил Хархираа-Түргэний уулсад 1850-2010 м, Алтай Таванбогд, Цамбагарав уулсад 2000-2220 м, Мөнххайрхан, Хөх Сэрхийн нуруунд 2160-2400 м, Сутай, Алаг хайрхан уулсад 2500-2700 метрийн өндөрт тус тус байна (Зураг 19).

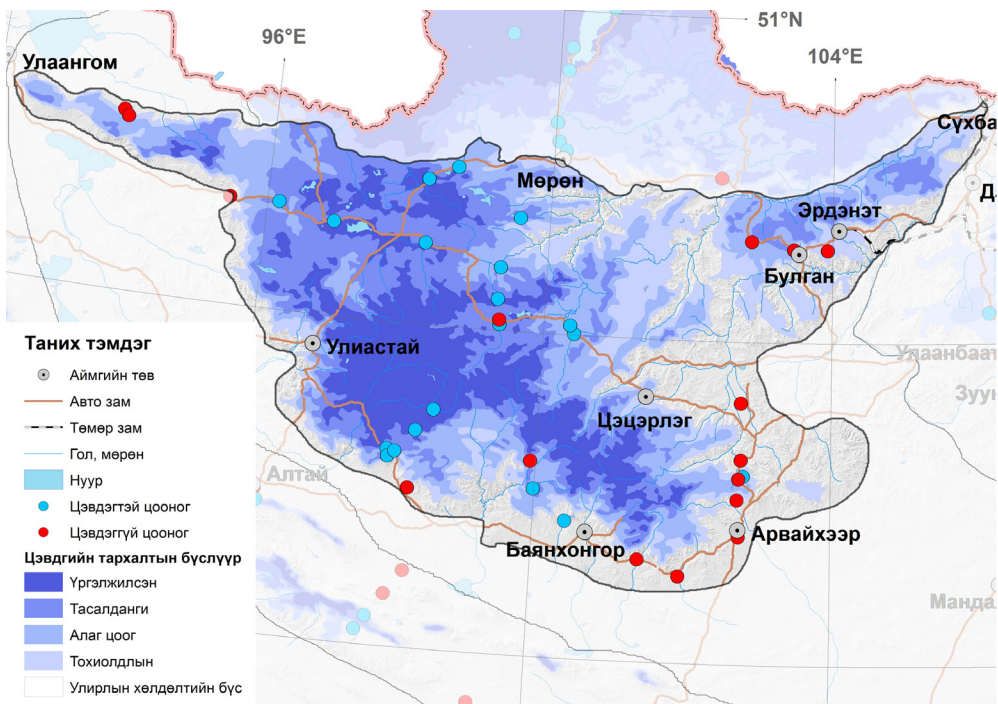
Говь-Алтайн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн тархалт

Энэ уулархаг бүс нутаг нь Монгол орны баруун хэсгийн Хасагт хайрхан, Хантайширын нуруу, Гичгэний нуруу, Аж Богдын нуруу, Говь Гурван сайханы нурууг багтаадаг. Баруун хойноос зүүн урагшаа сунаж оршино. Түүний хил нь Хасагт хайрхан уулын араас эхлэн зүүн урагш чиглэн Хантайширын нуруу, Баянцагааны нуруу, Говь-Алтайн хойд захын нурууны ар бэлийг барьсаар Хурхын уулсын зүүн талаар ороож урд захын нуруудын өвөр бэлийг дагаж баруун тийшээ улмаар баруун хойшоо чиглэнэ. Алаг нуурын хотгорын баруун хойд зах хүрч зүүн хойш эргэн Шаргын говийг зүүн

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ

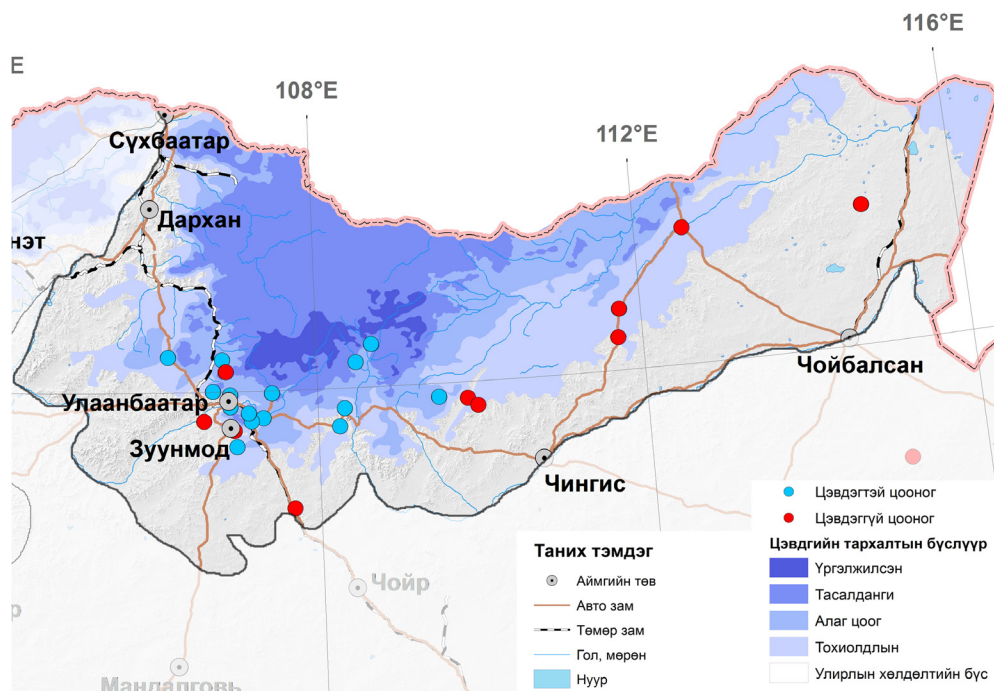


Зураг 20. Говь-Алтайн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн зураг

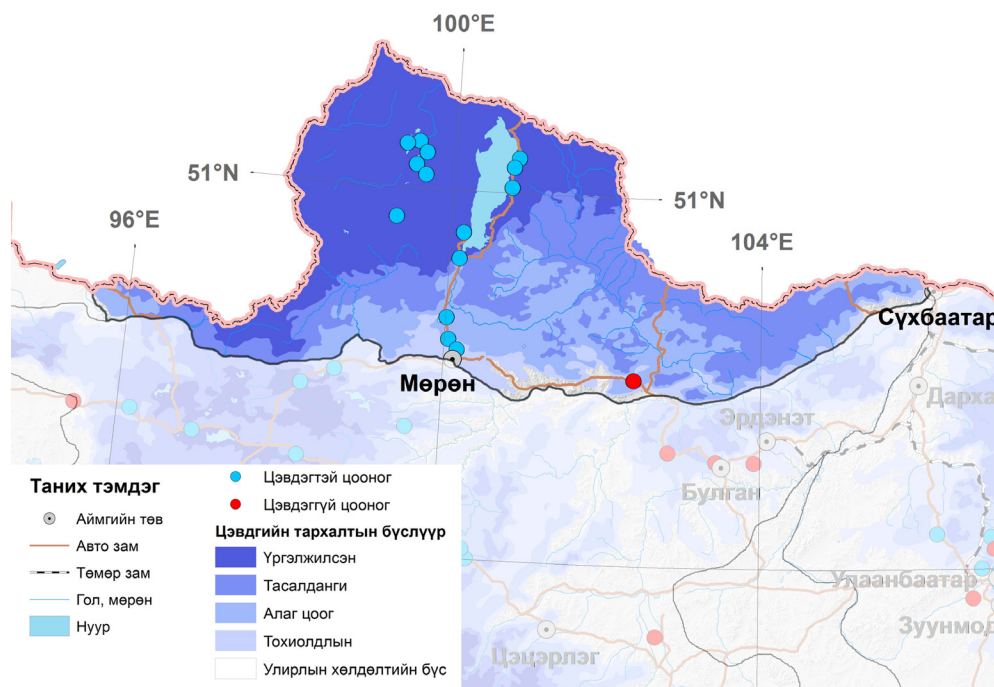


Зураг 21. Хангайн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн зураг

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ



Зураг 22. Хэнтийн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн зураг



Зураг 23. Хөвсгөлийн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн зураг

захаар тойрон Хасагт хайрхан уул хүрнэ.

Говь-Алтайн уулархаг бүсэд Говь-Алтай, Баянхонгор, Өвөрхангай, Өмнөговь аймгуудын дунд хэсэг тус тус ордог. Тус мужийн уул нурууд Монгол орон дахь урагшаа тохойрсон хоёр дахь эгнээ уулс хамаарахдаа ихэвчлэн баруун хойноос зүүн урагшаа сунаж оршино.

Говь Алтайд бол Гурван Богд, Гурван Сайханы уулыг багтаасан дундах нуруу дунджаар 3000 гаруй метр хүрч бусдаасаа өндөр бол хойд талын нурууны дундаж өндөр 2500 орчим метр, урд талынх 2300-аад метр юм. Говь Алтайн уулархаг бүсийн ноён оргил Их Богд уул (4000 орчим м) бол зүүн тийшээ Зүүн Сайхан (2346 м) болж бүр зүүн үзүүрийн Хурх уул (1760 м) байна.

Говь-Алтайд байнгын урсгал устай хөндий ховор байдаг. Харин түр зуурын борооны ус урсаж ёроолыг нь улам идэж гүнзгийрүүлдгээс гадна ийм хөндийн нэг төрөл болох сайрыг ихээр үүсгэнэ. Хотгор дотроос тус их мужид тектоник гаралтай хотгор чухал байр суурьтай юм. Тэдгээр хотгорууд, нуруудын хооронд тэдгээрийн суналыг дагаж ихэвчлэн баруун хойноос зүүн урагшаа юм уу, эсвэл өргөргийн чиглэлээр тогтжээ.

Говь-Алтайн уулархаг бүс нутаг нь газарзүйн байрлал, уулсын чиглэлийн хувьд Монгол Алтайн нурууны үргэлжлэл ба хуурай, гандуу бүс нутаг руу гүн түрж орсон учраас цэвдгийн нөхцөл нь хязгаарлагдмал шинжтэй бөгөөд өндөр уулсын оройгоор тархдаг. Энэхүү бүс нутагт Монгол орны цэвдэг тархах боломжит талбайн 2.2% ноогдох бөгөөд үргэлжилсэн тархалттай цэвдэг 1819 км², тасалданги тархалттай цэвдэг 2531 км², алаг цоог тархалттай цэвдэг 3032 км², тохиолдлын тархалттай цэвдэг 2784 км² талбайг тус тус эзлэнэ. Гадаргын өндөр болон зүг зовхис нь Говь-Алтайн уулархаг бүс нутагт цэвдгийн тархалт, түүний доод хил оршин байх гол хүчин зүйлс болдог бөгөөд цэвдгийн тархалтын доод хил Хантайшир, Гичгэний нуруунд 2400-2620 м, Их Богдын нуруунд 2550-2680 м, Аж Богдын нуруунд 2700-2800 метрийн өндөрт тус тус байна (Зураг 20).

Хангайн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн тархалт

Хангайн уулархаг бүс нутаг нь Монгол орны төв хэсгийг эзлэн ойт хээрийн бүсийг голчлон багтааж орших бөгөөд бусад бүс нутгуудаас хамгийн их талбайг эзэлдэг. Түүний хил зааг баруун ба өмнө хэсэгтээ их мужийн хилтэй нийлж хойд талдаа Хөвсгөлийн уулс болон улсын хил, зүүн талдаа Хэнтийн уулсын захаар гарна. Энэ мужид Хангайн нуруу, түүний салбар уулсаас гадна Сэлэнгэ Орхоны сав газрын уулс багтах учир гадарга нь нийтдээ уулархаг боловч уулс жигд өндөр биш буюу өөрөөр хэлбэл өндөр уулын зэрэгцээ бэсрэг ба нам уул, цав толгод тархана (Цэгмид, бусад 1969). Хангайн гол нуруу баруун хойноос зүүн урагшаа сунаж тогтсон байхад, түүний зарим салбар Булнай, Тарвагатайн нурууд өргөргийн чиглэлтэй буюу гол нуруунд бараг перпендикуляр байрлалаар тогтсон ажээ. Хангайн уулархаг бүс нутаг нь Хангайн гол нуруу, түүний салбар уулс, Сэлэнгэ, Орхоны сав дахь бэсрэг уулс гэж хуваагдах ба тэдгээр нь тус тусдаа онцлог шинжтэй юм.

Үнэмлэхүй өндөр нь дунджаар 3000 м орчим боловч зарим оргил далайн түвшнээс дээш 3500-4000 метр хүрнэ. Хамгийн өндөр оргил нь Улиастай хотоос зүүн тийш орших мөнх цастай Отгонтэнгэр уул 4021 метр хүрдэг. Хангайн төв нурууны хяр нуруу нь ихэвчлэн хавтгай буюу бөмбөгөрдүү хэлбэртэй, зарим газарт өргөн талбай байдгаас үзвэл түүнийг эртний тэгш өндөрлөгийн үлдэгдэл гэж үзэж болно. Ийм хавтгай хяр дээр намаг балчиг, жижиг нуур хүртэл бий болжээ. Төв нурууны дунд хэсэгт уулын хажуу эгц цавчим, хад чулуу элбэгтэй байдаг. Харин тал руугаа налуу болсоор нийт

гадаргын байдал нь бэсрэг уулсын хэв шинжтэй болно. Эгц хажуунуудын дээд хэсэгт эртний мөсөн голын үйл ажиллагаанаас үүссэн хунх байдаг. Мөсөн голын үлдээсэн морений толгод, далан голын хөндий, ёроолоор байдаг. Хангайн гол нуруунд эртний галт уулсаас бялхаж гарсан хүрмэн чулуун лаав зарим хөндийг дагаж урссан, зарим хөндийг хөндлөн боосноос хаагдмал нуур үүсчээ. Түүнчлэн Хангайн гол нуруунд солифлюкци, овойлтын дов, хүйтний хагарал, ялангуяа өвлийн цагт үүсэх халиа тошин зэрэг криоген үзэгдлийн илэрц их юм. Гадаргын өндөр их, уур амьсгал нь хүйтэн, хур тунадас их учир хүйтний өгөршил хүчтэй явагдаж уулсын орой дэнж, асган хүрээ олон байдаг. Хангайн уулархаг бүс нутаг ус зүйн сүлжээний нягт ихтэй учир хөндийнүүд маш олон, харин хотгорууд цөөн юм.

Монгол орны цэвдэг нь Хангайн уулархаг бүс нутгийн өндөр уулс, хөндий хотост төвлөрөн тархдаг бөгөөд хөрсний гулсалт, чулуун хүрээ, дов сондуул, бөөрөг, халиа тошин зэрэг хүйтний гаралтай үзэгдлүүд элбэг тархсан байдаг. Энэ бүс нутагт цэвдгийн температурын хэмжилт, судалгаа нэлээдгүй сайн хийгдэж байсан. Жишээ нь Баянхонгор аймгийн Баянбулаг суманд цэвдгийн байнгын ажиглалт, хэмжилтийн станц ажиллаж байсан. Хангайн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн зузааныг Баянхонгор аймгийн Гурванбулаг сумын орчимд 117 м (Бат-Эрдэнэ, 1995), Идэрийн голын хөндийд 25 м (Гравис нар, 1974), Хойд тэрхийн голын хөндийд 123 м (Шархүү, 2011) гэж тооцоо болон хэмжилтээр тодорхойлж байсан. Энэ бүс нутагт Монгол орны цэвдэг тархах боломжит талбайн 38.1% ноогдох бөгөөд үргэлжилсэн тархалттай цэвдэг 40222 км², тасалданги тархалттай цэвдэг 48655 км², алаг цоог тархалттай цэвдэг 49809 км², тохиолдлын тархалттай цэвдэг 37525 км² талбайг тус тус эзлэнэ. Монгол орны цэвдгийн тархалтын зурагт үзүүлснээр Хангайн уулархаг бүс нутагт цэвдгийн тархалтын доод хил Хан Хөхийн нуруунд 1400-1900 м, Хангайн баруун хэсэгт 1800-2000 м, Хангайн өвөр хэсэгт 2000-2200 м, Хангайн зүүн хэсэг болон Орхон-Сэлэнгийн бэсрэг уулсад 1400-1800 метрийн өндөрт тус тус байна (Зураг 21).

Хэнтийн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн тархалт

Хэнтийн уулархаг бүс нутаг нь Монгол орны зүүн хойд захад оршино. Түүний хил зааг төдийлөн тодорхой биш боловч баруун тал нь Туул, Орхон голын хөндий, хойд талаар улсын хил, зүүн хэсэгтээ Онон голын зүүн талаас Хэрлэнгийн дунд бие хүртэл татаж болох шугам, өмнөд талынх нь Хэрлэнгийн хөндий ба Хэрлэнгийн урд тохойгоос Туулын урд тохой хүртэлх шугамаар тус тус заагладаг байна. Хэнтийн уулархаг бүс нь Төв, Сэлэнгэ, Хэнтий болон Дорнод аймгуудын нутаг дээр оршдог бөгөөд түүний баруун өмнө үзүүрт Туул голын эрэг дээр нийслэл Улаанбаатар хот оршино. Хэнтийн бүс нутгийн ландшафтын талаар Байгал нуурын зүүн талын тайгат нутгаас Төв Азийн говь хээрийн нутаг руу шилжин орох завсрын нутаг юм. Үүний хойд хэсэг бараг битүү тайгаар бүрхэгдсэн ба хур тунадас ихтэй учраас гол горхи элбэг бол өмнө хэсэгт өргөн хөндийнүүд усгүй, хуурай шахам бөгөөд хээр зонхилно. Хэнтийн муж өмнө ба зүүн талаараа аажмаар намсаж цав толгодод шилждэг ч нийтдээ уулархаг ба өндрийн хэлбэлзэл 2800 метр (Асралт-Хайрхан уул)-аас 600 метр (Ерөө голын адаг)-ийн хооронд байна. Хэнтийн нуруунаас баруун, зүүн тийш хэд хэдэн нурууд салбарладгийн дотор хамгийн том нь баруун тийш салбарласан Бага Хэнтийн нуруу болно. Энэ нуруу Бага Хэнтий уулын орчим бөөгнөрөн оршсон оргилуудаас эхлэн баруун тийш чиглэн Хөх модны хойд сарьдаг (2507 м)-аар төгсөнө. Их Хэнтийн нуруунд сүндэрлэн байгаа сарьдагуудын үнэмлэхүй өндрийн хэмжээ 2200-2300 м, харьцангуй өндөр нь 600-700 метрт хүрнэ. Их Хэнтийн нуруунаас урагшаа хэд хэдэн шил өргөрөг дагуу шахам

сунан тогтжээ. Хэнтийн зарим сарьдагийн орой дээр янз бүрийн хэлбэртэй үндсэн чулуулгийн элгэн хад байх боловч олонх сарьдаг товойж гарсан хад байдаггүй, харин орой нь бөмбөгөр хэлбэртэй, дээр нь үргэлжилсэн асга юм уу, астан хүрээ оршино. Тийм хавтгай оройтой сарьдагуудын зэрэгцээгээр шовх оройтой сарьдаг ч бас үзэгдэнэ. Хэнтийн уулсаар хур цас, мөсөн гол байхгүй байна. Хэнтийн мужид ус зүйн сүлжээ нягт, гол горхиудаар ихээхэн хэрчигдсэн бөгөөд голуудын хөндий гол нуруудаар нарийхан, харин бусад хэсэгт өргөн, ялангуяа голуудын хөндий уулнаас гарангуутаа тэлэгдэж улам өргөн болно. Жишээлбэл: Хэрлэнгийн хөндий дээд биед Ширнэт голын адаг хүртэл 1.5-2 километр өргөн бөгөөд хажуунууд нь эгц асга ихтэй байна. Уг хөндий маш их өргөсөж Зүүн Бүрэх голын адаг орчим 15 км хүртэл өргөн болдог байна. Хэнтийн мужийн дотоод ялгавар голчлон хотгор гүдгэр, уур амьсгал, хөрс, ургамалаар тодорхойлогдоно.

Хэнтийн уулархаг бүс нутагт Монгол орны цэвдэг тархах боломжит талбайн 23.2 % ноогдох бөгөөд үргэлжилсэн тархалттай цэвдэг 4503 км², тасалданги тархалттай цэвдэг 33631 км², алаг цоог тархалттай цэвдэг 25839 км², тохиолдлын тархалттай цэвдэг 43534 км² талбайг тус тус эзлэнэ. Энэ бүс нутгийн цэвдгийн тархалтад хурдас чулуулаг, ургамлын хэв шинжийн ялгаатай байдал нь гол хүчин зүйл болдог бөгөөд цэвдгийн тархалтын доод хил 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 (Зураг 22).

Хөвсгөлийн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн тархалт

Тус уулархаг бүс нутаг нь Монгол орны хамгийн хойд захад урд талаараа Хангайн мужийн нуурт тэгш өндөрлөг, зүүн урд захаараа Сэлэнгэ, Орхоны сав дахь бэсрэг уулсын тойрогтой хил залгах ба бусад хэсэгтээ улсын хилээр зааглагдана. Хөвсгөлийн уулархаг бүс нутаг далайн төвшнээс дээш дунджаар 1560-3000 метрт оршино. Энэ уулархаг бүс нутгийн гадарга жигд биш өндөр уул нуруу, тэгш өндөрлөг, удам хотгор хонхортой тул нарийн зохион байгуулалттай юм. Хөвсгөл нуураас баруун тийш орших зарим уулс хурц шовх оргил, хэрчигдсэн хянга, хяртай бөгөөд хажуу нь эгц цавчим, нарийн гүн хавцлаар хэрчигдсэн байна. Уулсын чиглэл ч мөн харилцан адилгүй, гэвч ихэнх нь баруун урдаас зүүн хойшоо сунаж тогтсон байна. Харин тус мужийн хамгийн өндөр уул нь Монгол Оросын хил дээр орших Мөнхсарьдаг (3460 м) уул, Соёны нуруутай зэрэгцээ зүүн урдаас баруун хойшоо сунаж тогтсон мөнх цастай жижиг мөсөн голтой. Хөвсгөл нуурын баруун эргээр бараг урдаас хойшоо чиглэсэн 3000 гаруй метр өндөр Хорьдол сарьдаг, Баян зэрэг нуруу оршино. Хорьдол сарьдаг, Баяны нуруунаас баруун тийш эргэн тойрон уулсаар хүрээлэгдсэн Дархадын хотгор нь маш олон жижиг нуурууд бүхий оршино. Дархадын хотгор нь зүүн хойноос баруун урагшаа 150 орчим километр үргэлжлэх бөгөөд гонзгой, зууван хэлбэртэй юм. Дэлгэрмөрөний эх болсон уулсыг Улаан Тайгын нуруу гэх бөгөөд уулсын хажуу эгц, оройгоосоо хормой хүртэл нураг, асга, хад ихтэй юм. Улаан Тайгаас урагш гадаргын байдал ерөнхийдөө намсахын зэрэгцээ уулын орой бөмбөгөрдүү хавтгай болно. Хөвсгөлийн уулархаг бүс нутгийн баруун хэсэгт эртний мөстлөгийн ул мөр элбэг үзэгдэх боловч одоо зөвхөн Мөнхсарьдаг ууланд мөстлөг, жижиг мөсөн голтой байна. Хөвсгөлийн мужийн төв хэсэгт тус орны хамгийн том Хөвсгөл нуур оршино. Хөвсгөл нуураас зүүн тийш орших газар баруунаасаа нэлээд ялгаатай. Тухайн газрын гадарга ерөнхийдөө тэгш өндөрлөгийн шинжтэй, түүний гадарга дээр галт уулын чулуулаг элбэг тохиолдоно. Энэ нь баруун хэсгийг бодвол уул нуруу цөөн, уулсын үнэмлэхүй өндөр бага бөгөөд голдуу мөлгөр бөөрөнхийдүү хэлбэртэй бэсрэг уулс, толгод зонхилох тул уулын орой, хяр ойн захаас

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ

дээш цухуйн гарах нь ховор. Зөвхөн Үүр голын эхэн хавьд 2500-2600 метрийн өндөр нүцгэн оргилтой бүлэг уулс, Аригийн голын баруун гарыг барьж зүүн хойноос баруун урагшаа сунаж тогтсон Бадрын нуруу байрлана.

Энэ бүс нутаг нь Монгол орны хойд захад орших ба цэвдгийн тархалтын өндрийн болон өргөрөгийн зүй тогтол тодорхой илрэхээс гадна газрын гадаргын бүрхэвч цэвдгийн тархалтад чухал ач холбогдолтой.

Хөвсгөлийн уулархаг бүс нутагт Монгол орны цэвдэг тархах боломжит талбайн 21.0 %-д ноогдох бөгөөд үргэлжилсэн тархалттай цэвдэг 40604 км², тасалданги тархалттай цэвдэг 28408 км², алаг цоог тархалттай цэвдэг 22277 км², тохиолдлын тархалттай цэвдэг 5745 км² талбайг тус тус эзэлдэг. Энэ бүс нутаг нь Монгол орны хойд захад орших ба цэвдгийн тархалтын өндрийн болон өргөрөгийн зүй тогтол тодорхой илрэхээс гадна газрын гадаргын бүрхэвч цэвдгийн тархалтад чухал ач холбогдолтой (Зураг 23).

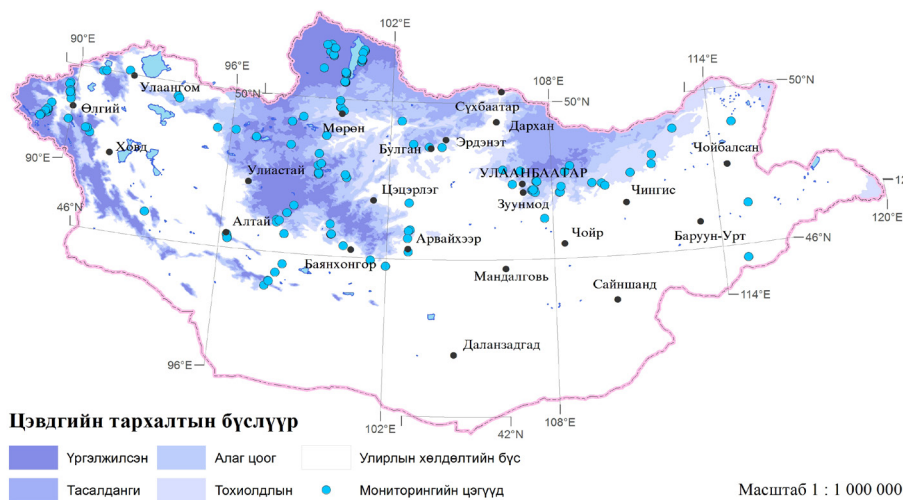
Ашигласан хэвлэл

1. Д.Бат-Эрдэнэ, (1995). Тепловой поток горных пород на территории Монголии и его влияние на многолетнемерзлую толщу, Диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук, Улаанбаатар.
2. Н.Лонжид, (1963). Монгол орны цэвдэгт чулуулаг, Улаанбаатар.
3. Гравис и др., (1974). Геокриологические условия Монгольской Народной Республики, Совместная Советско-Монгольская научно-исследовательская геологическая экспедиция, Труды, вып. 10
4. Д.Даш, (2010). Монгол орны ландшафт-экологийн асуудлууд, Улаанбаатар.
5. Ш.Цэгмид, (1969). Монгол орны физик газарзүй, Улаанбаатар.
6. Я.Жамбалжав, Я.Гансүх, Х.Тэмүүжин, Г.Цогт-Эрдэнэ, Ц.Ундрахцэцэг, А.Саруулзаяа, Ё.Амарбаясгалан, А.Дашцэрэн, Ш.Нарангэрэл, (2016). Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураг, масштаб 1:1000 000.
7. N.Sharkhuu, 2011, Long-term monitoring of permafrost in Mongolia, Extended Abstracts of Second International Symposium on Mountain and Arid Land Permafrost, 22-26 August, 2011, Ulaanbaatar, Mongolia.

ГУРАВДУГААР БҮЛЭГ. МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ӨӨРЧЛӨЛТ, ИРЭЭДҮЙН ХАНДЛАГА

Цэвдгийн өөрчлөлт нь түүний зузаан, тархалтын талбайд өөрчлөлт гарахаас гадна идэвхтэй давхаргын зузаан нэмэгдэх, зундаа гэссэн хэмжээндээ хүрч өвөлдөө хөлдөхгүй байх (гэсгэлүүн үүсэх), термокарстын хонхор, нуур үүсэх, нуурын талбай нь нэмэгдэх, багасах, өндөр уулсын бүсэд хөрсний гулсалт, чулууны нуранг нэмэгдэх зэргээр илэрдэг. Цэвдэг хөрсний төлөвийг тодорхойлогч гол үзүүлэлт нь түүний температур болон түүнд агуулагдах мөс болно. Цэвдгийн өөрчлөлтийн гол үзүүлэлт бол янз бүрийн гүний түвшинд хэмжсэн температур ба түүний зузааны өөрчлөлт болдог. Тодорхойлолт ёсоор цэвдэг нь нөгөө талаас уур амьсгалын бүтээгдэхүүн бөгөөд аливаа өөрчлөлтөнд өндөр мэдрэмтгий юм.

Уур амьсгалын дулааралтай холбоотойгоор цэвдгийн өөрчлөлт газар бүр тодорхой хэмжээгээр тэмдэглэгдсэн байдаг. Хойд туйл орчмын бүс нутгаар цэвдгийн температур нэмэгдсэн зүй тогтол ажиглагдсан бол цэвдэгт бүс нутгийн өмнөд захаар идэвхтэй давхаргын зузаан нэмэгдэх, гэсгэлүүн үе илрэх, цэвдэггүй болох зэрэг үзэгдлүүд ажиглагдаж байна (Romanovsky, 2010b; Жамбалжав нар, 2013).



Зураг 24. Монгол орны цэвдгийн мониторингийн сүлжээ

Гадаад, дотоодын төсөл хөтөлбөрийн хүрээнд Монгол орны нутаг дэвсгэрийн хэмжээнд 200 орчим цэгт цэвдгийн мониторингийн сүлжээг байгуулсан (Зураг 24). Тухайн мониторингийн цооногуудын ихэнх нь Газарзүй-геоэкологийн хүрээлэнгийн Цэвдэг судлалын салбарын судалгаа шинжилгээний ажлын суурь мэдээлэл болон ашиглагдаж байгаа бөгөөд зарим нэг цооног нь Цаг уур, орчны шинжилгээний газар ба судлаач Н.Шархүү нарт харьяалагддаг. Сүүлийн жилүүдэд Газарзүй-геоэкологийн хүрээлэн 117 орчим цооногт тасралтгүй хэмжилт хийж байгаа. Зарим цооног 1960-1980 оны үеийн нэг удаагийн хэмжилтийг сүүлийн үеийн мэдээтэй харьцуулах замаар 30-45 жилийн цэвдгийн температурын өөрчлөлтийг гаргасан байдаг. Монгол орны хойд бүс нутгаар цэвдгийн температур өсөх, өмнөд бүс нутгаар гэсгэлүүн үе илрэх, цэвдэггүй болох зүй тогтол ажиглагдаж байна (Жамбалжав нар, 2013). Хөвсгөлийн уулархаг нутагт цэвдгийн температурын дулаарлын эрчим 1970-1980 оны үетэй харьцуулахад сүүлийн жилүүдтэй харьцуулахад илүү их байсан (Шархүү, 2011).

3.1 ЦЭВДГИЙН ӨӨРЧЛӨЛТ

Газрын гадарга дээрх температурын жилийн хэлбэлзэл нь хөрсний тодорхой гүнд замхарч хэлбэлзэлгүй болдог. Энэ гүнийг тэг амплитудын гүн гэж нэрлэх бөгөөд ихэнхдээ 10-20 м хооронд оршдог. Энэ гүний температурын өөрчлөлт нь цэвдгийн олон жилийн өөрчлөлтийг илэрхийлдэг. Монгол орны цэвдгийн өөрчлөлтөд ихэнхдээ 10-15 м гүний температурын өөрчлөлтийг ашигласан болно.

Сүүлийн 40-өөд жилийн хугацаанд туйл орчмын бүс нутаг болон өндөр уулсын бүсийн хүйтэн цэвдэгтэй хэсэгт цэвдгийн температур 2-3 градусаар нэмэгдсэн байдаг бол цэвдгийн өмнөд зах нутгаар цэвдгийн температурын өсөлт 1 градусаас хэтрээгүй нь хэмжилтээр тодорхойлогдсон байдаг. Гэвч цэвдэгт бүс нутгийн өмнөд захаар тохиолдох дулаан цэвдгийн температур нь өсөхөөс илүүтэйгээр түүний дотоод бүтцэд өөрчлөлт орж түүнд агуулагдах хөлдөөгүй усны хэмжээ нэмэгдэх, температурын градиентгүй болох зэрэг нь бусад бүс нутаг төдийгүй, Монгол орны зарим цэвдэгт бүс нутагт тэмдэглэгдэх болсон.

Монгол Алтайн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн өөрчлөлт

Монгол Алтайн нурууны хэмжээнд хэд хэдэн удаа цэвдгийн судалгаа хийж түүний температур, зузаан, тархалтын зүй тогтол зэргийг тодорхойлж байжээ. Баян-Өлгий аймгийн Ногоон нуур сумын Цагаан нуур тосгоны бүтээн байгуулалтын ажилтай холбоотойгоор цэвдгийн судалгаа хийж, температурын хэмжилт хийж байсан бол Асгатын орд газарт температурын хэмжилт хийж цэвдгийн зузааныг 364.5 м гэж тооцоолсон байдаг (Бат-Эрдэнэ, 1995).

Монгол Алтайн уулархаг бүс нутгийн хэмжээнд цэвдгийн мониторингийн 33 цэг байдаг бөгөөд эдгээрээс 10-15 м хүртлэх гүнтэй 6 цооногийн мэдээг энэхүү судалгаанд ашигласан. Үүнээс уулын өвөр энгэрийн бэл хормойд байрлах Цагааннуур-1 цооногийн 10 метрийн гүний температур нь 1985 онд -0.8°C , 2010 онд -0.42°C , 2011 онд -0.39°C , 2012 онд -0.42°C , 2013 онд -0.42°C , 2014 онд -0.42°C , 2015 онд -0.42°C , 2016 онд -0.39°C , 2017 онд -0.39°C , харин уулын ар хажуугийн Цагааннуур-2 цооногийн 10 метрийн гүний температур нь 1983 онд -1.2°C , 2010 онд -0.62°C , 2011 онд -0.64°C , 2012 онд -0.67°C , 2013 онд -0.70°C , 2014 онд -0.70°C , 2015 онд -0.67°C , 2016 онд -0.67°C , 2017 онд -0.51°C болж тус тус нэмэгдсэн байна. Баян-Өлгий аймгийн Толбо сумын нутаг дахь Хашаат-2 цооногийн 10 метрийн гүний температур 2009 онд -1.51°C , 2012 онд -1.12°C , 2013 онд -1.12°C , 2014 онд -1.1°C , 2015 онд -1.01°C , 2016 онд -1.07°C хэм болж өөрчлөгдсөн байна.

Баян-Өлгий аймгийн Цэнгэл сумын нутаг дахь Цэнгэл-1 цооногийн 10 м-ийн гүний температур 2010 онд -0.03°C , 2011 онд -0.03°C , 2012 онд -0.03°C , 2013 онд -0.004°C , 2014 онд -0.004°C , 2015 онд -0.004°C , 2016 онд $+0.024^{\circ}\text{C}$ болж өөрчлөгдсөн байна. Цэнгэл-3 цооногийн 10 м-ийн гүний температур 2010 онд -2.33°C , 2011 онд -2.36°C , 2012 онд -2.45°C , 2013 онд -2.36°C , 2014 онд -2.36°C , 2015 онд -2.36°C болж өөрчлөгдсөн байна. Цэнгэл-4 цооногийн 10 м-ийн гүний температур 2010 онд -3.50°C , 2011 онд -3.44°C , 2012 онд -3.53°C , 2013 онд -3.44°C , 2014 онд -3.39°C , 2016 онд -3.41°C болж өөрчлөгдсөн байна.

Эдгээр цооногийн цэвдгийн температурын урт хугацааны хандлагаас харахад 10 жил тутамд $0.15\text{--}0.18^{\circ}\text{C}$ –ээр дулаарч байна. Цэвдгийн температурын өсөлт дулааны физикийн шинж чанараас хамаарахаас гадна тэг хэмд ойрхон байвал түүний өсөлтийн эрчим бага байна (График 3). Тухайлбал дулааны энерги нь түүнийг дулаацуулахаас гадна нууц дулаан шингээлтэд зарцуулагдана.

Говь-Алтайн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн өөрчлөлт

Энэхүү бүс нутагт цэвдгийн мониторингийн 8 цэг байдаг бөгөөд эдгээрээс Говь-Алтай аймгийн Эрдэнэ сумын хуучин төв орчимд байрлах цооногийн 7.8 метрийн гүний температур нь 1982 онд -0.3°C , 2010 онд -0.17°C , 2011 онд -0.19°C , 2012 онд -0.19°C , 2013 онд -0.19°C , 2014 онд -0.14°C , 2015 онд -0.11°C , 2016 онд -0.06°C , 2017 онд -0.004°C болж нэмэгдсэн байна. Энэ цооногийн температурын урт хугацааны хандлагаар 10 жил тутамд 0.036°C -ээр дулаарсан байна (График 3). Говь-Алтайн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн температур тэг хэмд ойрхон хэдий ч дулаарлын эрчим нь харьцангуй бага байна. Учир нь дулааны энерги нь түүнд агуулагдах мөсийг хайлуулахад зарцуулагдаж байгаатай холбоотой юм.

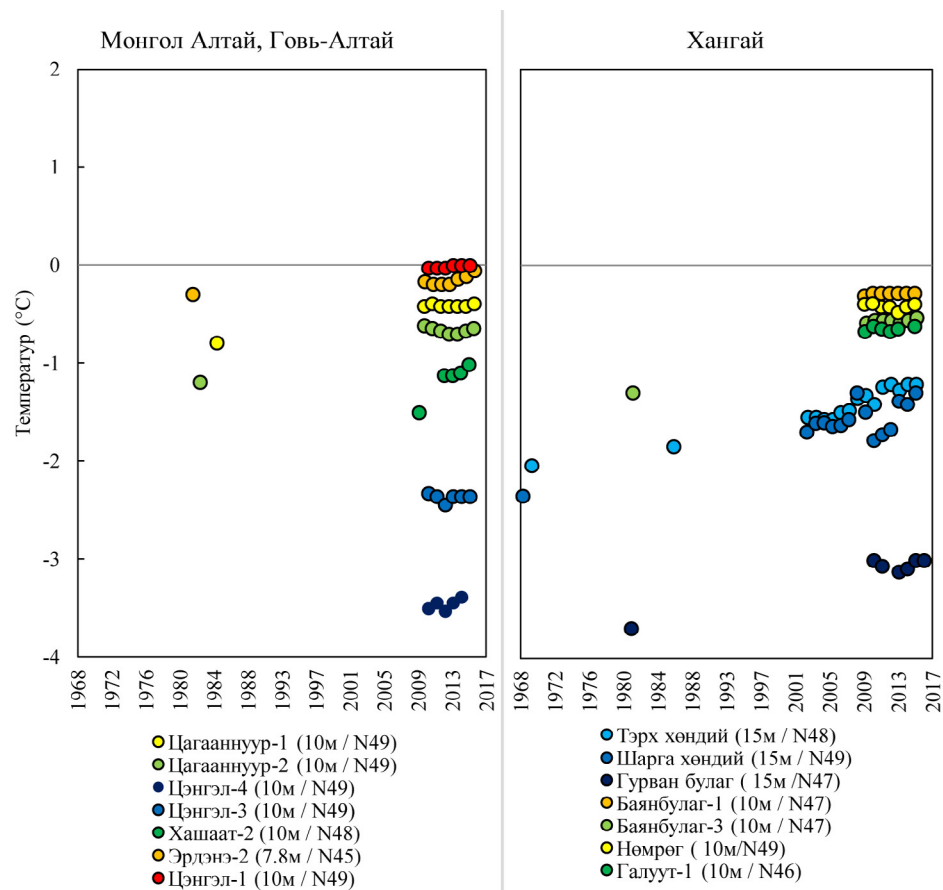


График 3. Монгол Алтай, Говь-Алтай, Хангайн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн температурын өөрчлөлт

Хангайн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн өөрчлөлт

Хангайн уулархаг бүс нутагт цэвдгийн мониторингийн 38 цэг байдаг бөгөөд эдгээрээс 7 цооногийн 10-15 м гүний температурын мэдээг энэхүү судалгаанд ашигласан. Баянхонгор аймгийн Гурванбулаг сумын төвд 2420 м өндөрт орших цооногийн 15 метрийн гүний температур нь 1981 онд -3.7°C , 2010 онд -3.006°C , 2011 онд -3.065°C , 2013 онд -3.12°C , 2014 онд -3.09°C , 2015 онд -3.006°C , 2016 онд -3.006°C , 2017 онд -2.88°C , Баянхонгор аймгийн Баянбулаг сумын төвийн цооногийн 10 метрийн гүний температур нь 1981 онд -1.3°C , 2009 онд -0.59°C , 2010 онд -0.56°C , 2011 онд -0.56°C , 2012 онд -0.56°C , 2013 онд -0.59°C , 2014 онд -0.56°C , 2015 онд -0.53°C , 2016 онд -0.54°C болж тус тус нэмэгдсэн байна. Хангайн нурууны өвөр талд далайн төвшнээс дээш 2400-2500 м өндрийн цэвдгийн температур сүүлийн 33 жилийн хугацаанд $0.60-0.75^{\circ}\text{C}$ -ээр дулаарсан байна.

Мөн Хойд Тэрхийн голын хөндийн цооногийн 15 метрийн гүний температур нь 1969 онд -2.04°C , 1986 онд -1.85°C , 2002 онд -1.55°C , 2003 онд -1.55°C , 2004 онд -1.57°C , 2005 онд -1.57°C , 2006 онд -1.5°C , 2007 онд -1.48°C , 2008 онд -1.35°C , 2009 онд -1.32°C , 2010 онд -1.41°C , 2011 онд -1.24°C , 2012 онд -1.21°C , 2013 онд -1.27°C , 2014 онд -1.21°C , 2015 онд -1.21°C , 2016 онд -1.15°C болж нэмэгдсэн бол Хөвсгөл аймгийн Цагаан-Уул сумын нутагт Булнайн нурууны арын тэгш өндөрлөгт Шаргын голын хөндийн цооногийн 10 метрийн гүний температур нь 1968 онд -2.35°C , 2002 онд -1.7°C , 2003 онд -1.61°C , 2004 онд -1.6°C , 2005 онд -1.64°C , 2006 онд -1.63°C , 2007 онд -1.57°C , 2008 онд -1.29°C , 2009 онд -1.49°C , 2010 онд -1.78°C , 2011 онд -1.72°C , 2012 онд -1.67°C , 2013 онд -1.38°C , 2014 онд -1.41°C , 2015 онд -1.29°C , 2016 онд -1.29°C -ээр тус тус нэмэгдсэн бөгөөд сүүлийн 45 жилийн хугацаанд 0.83°C -аар дулаарсан (Шархүү, 2011).

Завхан аймгийн Нөмрөг сумын төвийн цооногийн 10 метрийн гүний температур нь 1981 онд -0.75°C , 2009 онд -0.39°C , 2010 онд -0.39°C , 2011 онд -0.39°C , 2012 онд -0.39°C , 2013 онд -0.39°C , 2014 онд -0.39°C , 2015 онд -0.39°C , 2016 онд -0.36°C болж нэмэгдсэн байна (График 3). Хангайн уулархаг бүс нутагт цэвдгийн температурын дулаарлын эрчим 10 жил тутамд 0.2°C , дулаан цэвдгийн ($< -2.0^{\circ}\text{C}$) дулаарлын эрчим 0.1°C -ээр тус тус нэмэгдсэн байна.

Хэнтийн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн өөрчлөлт

Улаанбаатар хот орчимд 1971 онд цэвдгийн судалгааг хийж улирлын хөлдөлт гэсэлт, цэвдгийн тархалтын зураг (1:25000 масштаб) зохиож байсан (Төмөрбаатар, 2004; Зураг 16). Мөн 2009 онд загварчлалын аргазүй ашиглан Тэрэлж, Налайх, Улаанбаатар орчмын газар нутгийн цэвдгийн тархалтын зураг (1:100000 масштаб) зохиож байсан (Жамбалжав, 2009; Зураг 17). Сэлбэ, Гачуурт, Улиастай, Толгойт болон Хөлийн голын хөндийд нимгэн, мөсжилт ихтэй хөндийн цэвдэг, Налайхын хотост өнөөгийн уур амьсгалын нөхцөлтэй үл нийцсэн реликт цэвдэг тархсан байдаг. Харин уулын цэвдэг нь Улаанбаатар хот орчмын уулсын ар хажууд голлон тархсан байдаг.

Хэнтийн уулархаг бүс нутагт цэвдгийн мониторингийн 28 цэг байдаг бөгөөд эдгээрээс 5 цооногийн гүний температурын мэдээг энэхүү судалгаанд ашигласан. Төв аймгийн Баян сумын нутагт орших Гурвантүрүү цооногийн 10 метрийн гүний температур нь 1978 онд -0.1°C , 2012 онд -0.06°C , 2013 онд $+0.079^{\circ}\text{C}$, 2014 онд $+0.82^{\circ}\text{C}$, Хэнтий аймгийн Өмнөдэлгэр сумын нутагт орших Айраг нуур орчимд цэвдгийн температур нь 1984 онд -0.1°C , 2010 онд $+1.37^{\circ}\text{C}$, 2010 онд $+1.37^{\circ}\text{C}$, 2012 онд $+1.45^{\circ}\text{C}$, 2013 онд $+1.39^{\circ}\text{C}$, 2014 онд $+1.34^{\circ}\text{C}$, 2015 онд $+1.53^{\circ}\text{C}$, 2016 онд $+1.67^{\circ}\text{C}$ болж тус тус цэвдэг

гэсэж алдарсан байна (График 4). Мөн Улаанбаатар хотын Ногооннуурын орчимд 1970 онд цэвдгийн зузаан 7 м орчим (Төмөрбаатар, 2004) гэж тэмдэглэгдэж байсан бол 2012 онд цэвдэг илрээгүй бөгөөд эрчимтэй алдралд орсныг тодорхойлсон.

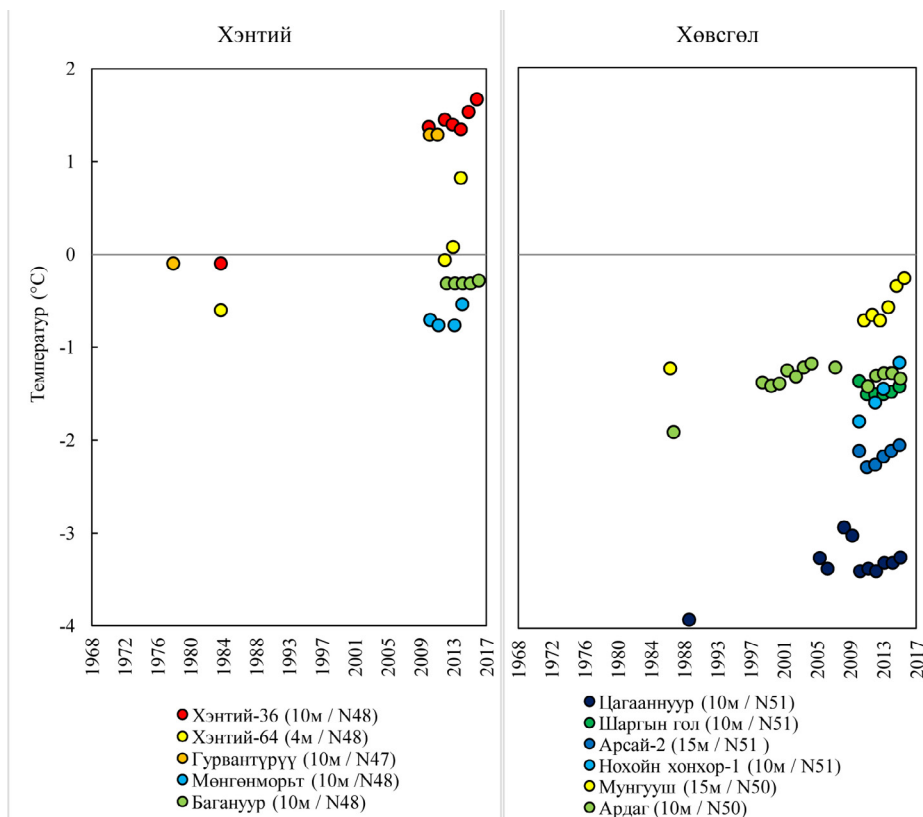


График 4. Хэнтий, Хөвсгөлийн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн температурын өөрчлөлт

Хөвсгөлийн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн өөрчлөлт

Хөвсгөл аймгийн Хатгал тосгоны ойролцоо нуурын гаралтай элсэн дүүргэвчтэй хайрган хурдас бүхий мөсөрхөг цэвдэг тархдаг бөгөөд 10 метрийн гүний температур нь -1.7°C байсан бол Хөвсгөл нуурын баруун эргийн Ардаг ууланд цэвдгийн зузаан 255 м гэж хэмжсэн байдаг (Бат-Эрдэнэ, 1995). Харин Дархадын хотгорын төв хэсэгт цэвдгийн зузаан 80-100 м, өмнөд зах Мөнгүүшийн сайрт 28.4 м тус тус байна. Мэргэн уулын ар хажууд (1400 м) шавранцар хөрстэй цооногийн 10 метрийн гүний температур -0.1°C , цэвдгийн зузаан нь 6 м гэж тодорхойлсон (Төмөрбаатар, 2004). Хөвсгөлийн Бүрэнхааны фосфоритын орд газрын уулс хоорондын хөндийн цэвдгийн зузаан 5-20 м, уулсын орой, ар хажууд 28-50 м байсан (Шархүү, 2011). С.И.Заболотник Цагааннуур сумын онгоцны буудлын талбайн ойролцоох цооногийн 15 метрийн гүний температурыг -4°C гэж тогтоожээ (Төмөрбаатар, 2004).

Хөвсгөлийн уулархаг бүс нутаг мониторингийн 33 цэг байдаг бөгөөд эдгээрээс 7 цооногийн гүний температурын мэдээг энэхүү судалгаанд ашигласан. Хөвсгөл аймгийн Цагааннуур сумын төвд орших цооногийн 10 метрийн гүний температур 1989 онд -3.91°C , 2005 онд -3.25°C , 2006 онд -3.36°C , 2008 онд -2.91°C , 2009 онд -3.006°C , 2010 онд

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ

-3.39°C, 2011 онд -3.36°C, 2012 онд -3.39°C, 2013 онд -3.301°C, 2014 онд -3.301°C, 2015 онд -3.24°C, 2016 онд -2.88°C болж нэмэгдсэн байна. Дархадын хотгорын Мөнгүүшийн сайрын эрэг дээрх цооногийн 15 метрийн гүний температур 1987 онд -1.22°C, 2011 онд -0.704°C, 2012 онд -0.64°C, 2013 онд -0.70°C, 2014 онд -0.56°C, 2015 онд -0.33°C, 2016 онд -0.25°C, 2017 онд -0.25°C, Ардаг уулын 10 метрийн гүний температур нь 1987 онд -1.9°C, 1999 онд -1.41°C, 2000 онд -1.38°C, 2001 онд -1.24°C, 2002 онд -1.31°C, 2003 онд -1.21°C, 2004 онд -1.17°C, 2007 онд -1.21°C, 2011 онд -1.41°C, 2012 онд -1.29°C, 2013 онд -1.27°C, 2014 онд -1.27°C, 2015 онд -1.32°C болж тус тус нэмэгдсэн байна (График 4; Шархүү, 2011; Жамбалжав, 2016). Хөвсгөлийн уулархаг бүс нутагт сүүлийн 26-29 жилийн хугацаанд цэвдгийн температур 0.57-0.85°C-аар дулаарсан байна (Жамбалжав, 2016).

3.2 ЦЭВДГИЙН ИРЭЭДҮЙН ХАНДЛАГА

Дэлхийн бөмбөрцөгийн хуурай газрын дөрөвний нэгд тархсан цэвдэг нь экосистемийн тогтвортой байдал, гадарга орчмын ус, чийг ба дулааны эргэлтэд чухал үүрэг гүйцэтгэнэ. Цэвдэг нь жилийн дундаж агаарын температур, нэмэх болон хасах утгатай хоногийн дундаж агаарын температурын нийлбэр зэргээр тодорхойлогддог уур амьсгалын бүтээгдэхүүн юм. Жилийн дундаж агаарын температур нь сөрөг утгатай газарт голчлон цэвдэг тархсан байдаг. Гэвч тухайн газар нутгийн онцлогтой холбоотойгоор жилийн дундаж агаарын температур нь эерэг утгатай ч цэвдэгтэй байх, сөрөг утгатай ч цэвдэггүй байх тохиолдол байдаг. Энэ нь тухайн газрын цасан болон ургамал бүрхэвчийн жилийн хуваарилалт, хөрсний онцлог, зүг зовхис, тектоник идэвхжил зэргээс хамаарна. Жишээлбэл, жилийн дундаж агаарын температур нь хасах утгатай ч идэвхтэй тектоник хагарал дээр орших Хөвсгөл нуурын баруун эрэг, Тэрхийн голын хөндийн өвөр энгэрийн цооногуудад цэвдэггүй байдаг.

Агаар мандалд өнөөгийн агуулагдаж буй хүлэмжийн хийнээс 2 дахин буюу 17 гига тонн хүлэмжийн хий (CO_2 , CH_4) цэвдэгт хөрсөнд агуулагддаг (Kevin Schaefer, et al., 2011). Нөгөө талаас энэхүү цэвдэг, нэн ялангуяа тэг хэмд ойрхон хасах хэмтэй цэвдэг нь уур амьсгалын өөрчлөлтөд эмзэг, өндөр мэдрэмтгий болно. Цэвдгийн хэмжилт хийж эхэлсэн цагаас хойш (1960-1980) түүний өөрчлөлт газар бүр харилцан адилгүй бөгөөд манай орны цэвдэгт бүс нутгийн өмнөд захаар орших нимгэн цэвдгүүд (~10м) алдарч үгүй болсныг хэмжилтээр тогтоосон байдаг (Жамбалжав нар, 2013).

Сүүлийн жилүүдэд уур амьсгалын дулааралын нөлөөгөөр бүс нутгийн болон тив, дэлхийн хэмжээнд цэвдгийн алдралын ирээдүйн өөрчлөлтийг эрдэмтэн судлаач нар гаргасан байдаг (Хүснэгт 6). 2100 он гэхэд Хойд Америк, Төвдийн Тэгш Өндөрлөгийн хэмжээнд нийт цэвдэгт бүс нутгийн 50%-иас илүү нь алдралд орох бол Дорнод Сибирийн цэвдгийн 25% хүртэлх нь алдралд орно гэж төсөөлсөн байдаг. Дагвадорж болон Төмөрбаатар нар 2040 онд нийт газар нутгийн 29%-д, 2070 онд 20.67%-д цэвдэгтэй гэж тооцоолсон байдаг (Хүснэгт 6).

Цэвдгийн ирээдүйн алдралын үнэлгээнд дулаан дамжуулалтын дараах тэгшитгэлийг янз бүрийн захын болон анхны нөхцөлтэйгээр боддог.

$$\frac{\partial T_f(z, \tau)}{\partial \tau} = a_f \frac{\partial^2 T_f(z, \tau)}{\partial z^2}, 0 < z < \xi(\tau); \tau > 0;$$

$$\frac{\partial T_t(z, \tau)}{\partial \tau} = a_t \frac{\partial^2 T_t(z, \tau)}{\partial z^2}, \xi(\tau) < z < L; \tau > 0;$$

$$T_f(\xi(\tau), \tau) = T_t(\xi(\tau), \tau) = T_3;$$

$$\lambda_f \frac{\partial T_f(z, \tau)}{\partial z} \Big|_{z=\xi-0} - \lambda_t \frac{\partial T_t(z, \tau)}{\partial z} \Big|_{z=\xi+0} = Q_{ph} \frac{d\xi(\tau)}{d\tau},$$

T – температур,

ξ – улирлын хөлдөлт гэсэлтийн гүн,

a – температур дамжуулалтын коэффициент,

λ – дулаан дамжуулалтын коэффициент,

Q_{ph} – фазын шилжилтэнд зарцуулах дулаан,

τ – хугацаа, z – гүн, L – доод хил, t, f – төлөв

Бүс нутаг, улс орон, тивийн хэмжээнд тодорхой хялбарчлал хийж улирлын хөлдөлт гэсэлтийн гүний төвшинд дээрх тэгшитгэлийг бодож цэвдгийн ирээдүйн өөрчлөлтийг тооцоолсон байдаг. Эдгээр бодолтыг дотор нь үндсэн гурван хэсэгт хувааж болно.

Хүснэгт 6. Ирээдүйн цэвдгийн өөрчлөлтийн таамаглал

	Зохиогч	Бүс нутаг	Он	Өөрчлөлтийн хэмжээ	Эх сурвалж
1	Guodong Cheng et al., 2007	Qinghai-Tibet, China	2100	58%	Journal of Geophysical research, Vol 112, Issue F2,
2	Marchenko, et al., 2008	Alaska, USA	2100	57.6%	Proceedings of IX international conference on permafrost
3	Thomas Voigt, et al.,	European Alps	2100	Increase by 4C	European Topic Centre on Air and Climate change, <i>Technical paper</i>
4	E.A.G.Schuur, et al., 2011	Northern Hemisphere	2100	47-61%	Nature, 480(7375), page 32-33
5	Schaefer, et al., 2011	Northern Hemisphere	2200	29-59%	Tellus B, Vol 63, Issue 2, page 165-180
6	Sazonova, et al., 2004	East Siberia	2099	11%(HadCM2), 25%(ECHAM)	Journal of Geophysical Research-Ammos. 109, D1
7	Sazonova, et al., 2004	East Siberia	2080s	0%(HadCM3)	Journal of Geophysical Research-Ammos. 109, D1
8	Dagvadorj, Tumurbaatar, et al., 2001	Mongolia	2040	29%*	Extended abstracts of international symposium on mountain and arid land permafrost
9	Dagvadorj, Tumurbaatar, et al., 2001	Mongolia	2070	20.67%*	Extended abstracts of international symposium on mountain and arid land permafrost
*Монгол орны нийт газар нутгийн 29%-ийг (2040), 20.67%-ийг (2070) тус тус цэвдэгт бүс эзлэнэ					

Үүнд: GIPL 1 (Geophysical Institute Permafrost Lab 1), GIPL 2, CryoGrid 1, CryoGrid 2 ба NEST (Northern Ecosystem Soil Temperature) болно. Эдгээр загварчлалын аргууд нь гаднаас агаарын температур, цасан болон ургамал бүрхэвчийн мэдээг оруулж өгөхөөс гадна хөрсний үзүүлэлтүүдийг тодорхойлох хэрэгтэй. Уур амьсгалын үзүүлэлтийн нэг болох агаарын температурын мэдээг уур амьсгалын загварчлалын үр дүнгээс шууд авч ашигладаг.

Цэвдгийн ирээдүйн өөрчлөлтийн үнэлгээ:

Доорх TTOP (temperature on top of permafrost) загварчлалыг ашиглан Монгол орны цэвдгийн ирээдүйн өөрчлөлтийг үнэлсэн.

$$TTOP = \begin{cases} \tau^{-1} \left(FDD + \frac{k_t}{k_f} TDD \right) & \text{for } -k_f FDD \geq k_t TDD \\ \tau^{-1} \left(\frac{k_f}{k_t} FDD + TDD \right) & \text{for } -k_f FDD < k_t TDD \end{cases} \quad (2)$$

Үүнд:

TTOP – цэвдгийн дээд хил дээрх жилийн дундаж температур,
цэвдэггүй тохиолдол улирлын хөлдөлтийн гүн дэх жилийн дундаж температур,
FDD – хасах хэмтэй хоногийн дундаж температуруудын нийлбэр,
TDD – нэмэх хэмтэй хоногийн дундаж температуруудын нийлбэр,
 k_t, k_f – гэсгэн, хөлдүү хөрсний дулаан дамжуулалтын коэффициент,
 τ – хугацаа,

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ

CryoGrid1 буюу ТТОР загвар нь цэвдгийн дээд хилийн буюу улирлын гэсэлтийн доод хилийн жилийн дундаж температурыг зурагладаг. Хэрэв цэвдэггүй тохиолдолд энэ температур нь улирлын хөлдөлтийн максимум гүний жилийн дундаж температур болдог.

Оролтын өгөгдөлд уур амьсгалын ирээдүйн өөрчлөлтийн загвар болох RegCM4-HadGEM, RegCM-ECHAM5 зэргийн үр дүнгээс агаарын температурын жилийн дундаж утгыг авсан бол цасан болон ургамал бүрхэвч, хөрсний үзүүлэлтийг өнөөдрийн төлөвөөр авсан. Загварчлалын үр дүн дараах байдлаар гарсан (Хүснэгт 7; Хүснэгт 8; Зураг 26; Зураг 27).

ХБНГУ-ын Макс Планкын хүрээлэнгийн ECHAM5, Нэгдсэн Вант улсын HadGEM2 зэрэг уур амьсгалын загваруудыг ашиглан бүс нутгийн уур амьсгалын өөрчлөлтийг Монгол орны хэмжээнд 1986-2005, 2016-2035, 2046-2065, 2080-2099 онуудаар гаргасан байдаг (Гомболүүдэв, 2016). Энэхүү уур амьсгалын мэдээг манай загварын оролтын гол өгөгдлийн нэг болгож авсан. Харин цасан болон ургамал бүрхэвч, хөрсний үзүүлэлтүүдийг өнөөгийн төлөвөөр авсан болно.

Монгол ороны цэвдгийн тархалтын зургийг 2016 онд 1:1000 000 масштабтайгаар зохиосон (Жамбалжав нар, 2016). Уг зурагт үзүүлснээр үргэлжилсэн тархалттай бүслүүр 118296.6 км² талбай буюу нийт газар нутгийн 7.5%-ийг, тасалданги тархалттай бүслүүр 127351 км² буюу нийт газар нутгийн 8.08%-ийг, алаг цоог тархалттай бүслүүр 112416 км² буюу нийт газар нутгийн 7.12%-ийг, тохиолдлын тархалттай бүслүүр 104317.9 км² буюу нийт газар нутгийн 6.62%-ийг тус тус эзлэж байна. Монгол орны газар нутгийн 29.32%-д цэвдэг тархсан гэж зураглагдсан.

Харин 1986-2005 оны агаарын температурын өгөгдлийг ашиглан гаргаж авсан үр дүнгээс харахад үргэлжилсэн тархалттай бүслүүр 117155.4 км², тасалданги тархалттай бүслүүр 92263.9 км², алаг цоог тархалттай бүслүүр 106315.6 км², тохиолдлын тархалттай бүслүүр 121737.1 км² талбайг тус тус эзлэнэ. Монгол орны нийт газар нутгийн 28.01%-д цэвдэг тархсан гэж загварчилсан болно (Хүснэгт 7; Хүснэгт 8; Зураг 25).

Хүснэгт 7. Цэвдгийн алдрал, км² (%) (RegCM4-HadGEM)

№	Цэвдгийн тархалт	2016 оны зургаар	Суурь он (1986-2005)	2016-2035	2046-2065	2080-2099
1	Үргэлжилсэн	118296.6 (7.5)	117155.4 (7.5)	48302.5 (3.1)	72.6 (0.005)	-
2	Тасалданги	127351 (8.08)	92263.9 (5.9)	77477.9 (4.96)	11330.8 (0.72)	-
3	Алаг цоог	112416 (7.1)	106315.6 (6.8)	117491.9 (7.5)	70130.3 (4.5)	660.8 (0.04)
4	Тохиолдлын	104317.9 (6.6)	121737.1 (7.8)	114186.9 (7.3)	88357.3 (5.7)	22716.1 (1.4)
5	Алдрал явагдаж буй бүс		-	80012.6 (5.13)	267580.9 (17.2)	414095.0 (26.5)

2016 оны зургийн орон зайн нарийвчлал нь 1 км, харин бүс нутгийн уур амьсгалын загварын суурь оны (1986-2005) агаарын температурын мэдээ нь 30 км орон зайн нарийвчлалтай. Монгол орны хэмжээнд цэвдгийн тархалтын талбайн хэмжээ нь хоёр зурагт хоорондоо 1.31%-ийн зөрүүтэй гарсан.

Энд ашигласан CryoGrid 1 загварчлалын тооцоололд 1986-2005 оны агаарын температурын мэдээг оролтын өгөгдөл болгон цэвдгийн тархалтын суурь зураг гаргаж авсан. Үүнээс хэр хэмжээгээр өөрчлөгдөхийг RegCM4-HadGEM ба RegCM4-ECHAM5

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ

загвараар гаргаж авсан 2016-2035, 2046-2065, 2080-2099 хугацааны агаарын температурын өгөгдлийг оролтын мэдээ болгож CyoGrid1 загварчлалаар тооцоолоход дараах үр дүн гарсан.

Бүс нутгийн уур амьсгалын ирээдүйн өөрчлөлтийн RegCM4-GEM загварын үр дүнгээр тооцоолсон цэвдгийн өөрчлөлт:

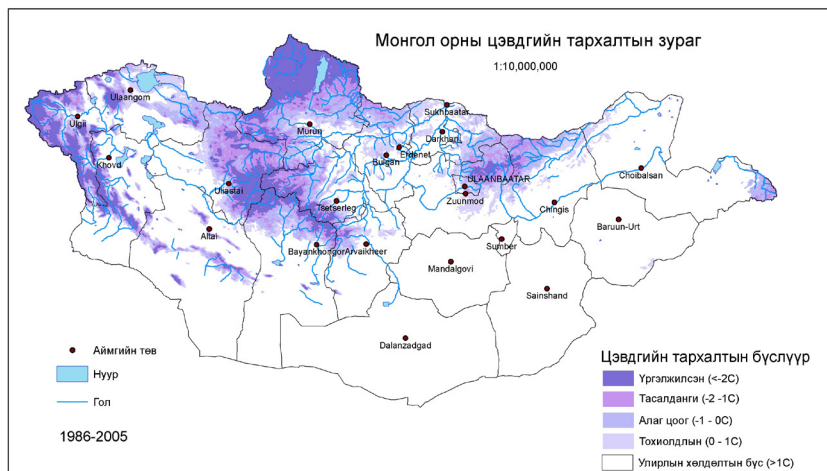
1986-2005 оны хугацаанд Монгол орны газар нутгийн 28.01%-ийг буюу 0.44 сая км² талбайг цэвдэг эзэлж байсан бол 2016-2035 оны хугацаанд 22.88%-ийг буюу 0.36 сая км² талбайг, 2046-2065 оны хугацаанд 10.88%-ийг буюу 0.17 сая км² талбайг, 2080-2099 оны хугацаанд 1.48%-ийг буюу 0.02 км² талбайд тус тус цэвдэгтэй болж алдрал эрчимжинэ гэж гарсан (Хүснэгт7 ; Зураг 26).

2016-2035 оны хугацаанд нийт цэвдэгт талбай 5.13%-иар алдарсан гэдэг нь ийм хэмжээгээр цэвдэг гэссэн гэсэн үг биш бөгөөд ийм хэмжээний талбайн цэвдэг алдралд орсон, магадгүй нимгэн цэвдэг зарим газраа үгүй болсон байх магадлалтай. Иймд энэ талбайг зурагт алдрал явагдаж буй талбай гэж хүрэн өнгөөр зурагласан (Зураг 26). Дараа дараагийн хугацааны зурагт ч дээрхтэй адилаар харуулсан болно.

2016-2035 оны хугацаанд цэвдэг 5.13%-аар алдралд орсон ч үүнд үргэлжилсэн тархалттай бүслүүрийн талбай 50%-иас дээш хэмжээгээр хорогдсон бол алаг цоог ба тохиолдлын цэвдгийн тархалтын бүслүүрүүдэд онцын өөрчлөлт ороогүй байна (График 5). Гэхдээ энэ нь үргэлжилсэн тархалттай цэвдэг алдарсан биш харин бусад бүслүүрүүдийн талбайд шилжсэн болно.

2046-2065 оны хугацаанд нийт цэвдэгтэй талбай 17.15%-иар алдралд орно. Харин үргэлжилсэн (0.005%) ба тасалданги (0.72%) цэвдэгтэй бүслүүр бараг үгүй болж нийт нутаг дэвсгэрийн хэмжээнд алаг цоог, тохиолдлын тархалттай бүслүүр үлдэж байна (График 5).

2080-2099 оны хугацаанд нийт цэвдэгтэй талбай 26.53%-иар алдралд орж үргэлжилсэн ба тасалданги тархалттай бүслүүр үгүй болж зөвхөн маш бага талбайд алаг цоог (0.04%), тохиолдлын (1.44%) цэвдэг тархана. Энэ хугацаанд нийт цэвдэгт талбайн 94.7% орчим нь хүчтэй алдралд орж зарим нимгэн цэвдэгтэй газрууд цэвдэггүй болно (График 5).



Зураг 25. Монгол орны цэвдгийн өнөөгийн төлөв

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ

Бүс нутгийн уур амьсгалын ирээдүйн өөрчлөлтийн RegCM-ECHAM5 загварын үр дүнгээр тооцоолсон цэвдгийн өөрчлөлт:

2016-2035 оны хугацаанд нийт цэвдэгтэй талбай 4.61%-иар алдралд орно (Зураг 27; График 6). 2016-2035 оны хугацаанд цэвдэг 4.61%-иар алдралд орсон ч үүнд үргэлжилсэн тархалттай бүслүүрийн талбай 50%-иас дээш хэмжээгээр хорогдсон харин алаг цоог тархалттай бүслүүрийн талбай 0.63%-иар өснө (Хүснэгт 8; График 6). Энэ нь үргэлжилсэн тархалттай цэвдэг алдарсан бус харин бусад бүслүүрүүдийн талбайд шилжсэн болно. 2046-2065 оны хугацаанд нийт цэвдэгтэй талбай 9.24%-иар алдралд орно. Энд үргэлжилсэн (0.92%) цэвдэгтэй бүслүүр эрчимтэй багассан бол бусад тархалтын бүслүүрүүдэд бага алдрал ажиглагдахаар байна (Зураг 27; График 6). 2080-2099 оны хугацаанд нийт цэвдэгтэй талбай 20.73%-иар алдралд орж үргэлжилсэн (0.003%), тасалданги (0.03%) тархалттай бүслүүр бараг үгүй болж бусад бүслүүрүүдэд идэвхтэй алдрал ажиглагдахаар байна (График 6).

Энэ хугацаанд нийт цэвдэгт талбайн 74% орчим нь хүчтэй алдралд орж зарим нимгэн цэвдэгтэй газрууд цэвдэггүй болохоор байна.

Хүснэгт 8. Цэвдгийн алдрал, км²(%) (RegCM-ECHAM5)

№	Цэвдэг	Суурь он (1986-2005)	2016-2035	2046-2065	2080-2099
1	Үргэлжилсэн	117155.4 (7.5)	55681.5 (3.6)	14383.2 (0.9)	4.9 (0.0003)
2	Тасалданги	92263.9 (5.9)	78964.4 (5.1)	66478.7 (4.3)	405.7 (0.03)
3	Алаг цоог	106315.6 (6.8)	116178.2 (7.4)	93296.4 (6.0)	41516.4 (2.7)
4	Тохиолдлын	121737.1 (7.8)	114620.0 (7.3)	118963.6 (7.6)	71628.0 (4.6)
5	Алдрал явагдаж буй бүс	-	72027.9 (4.6)	144350.0 (9.2)	323917.0 (20.7)

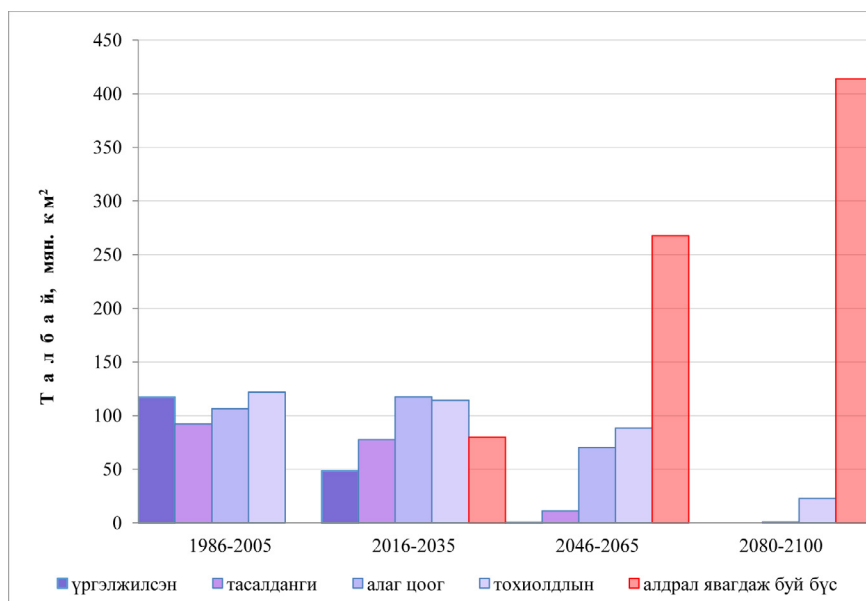
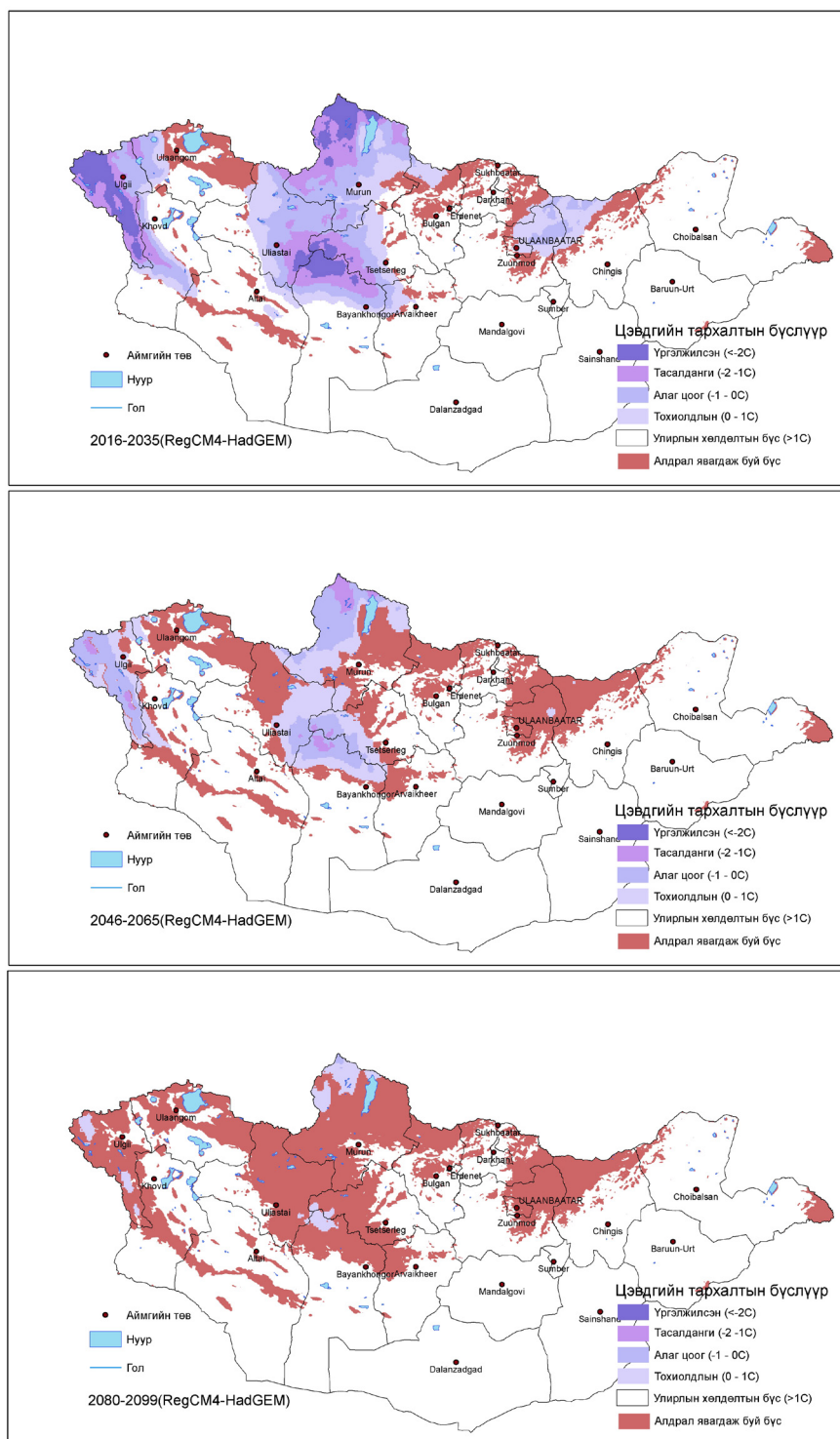


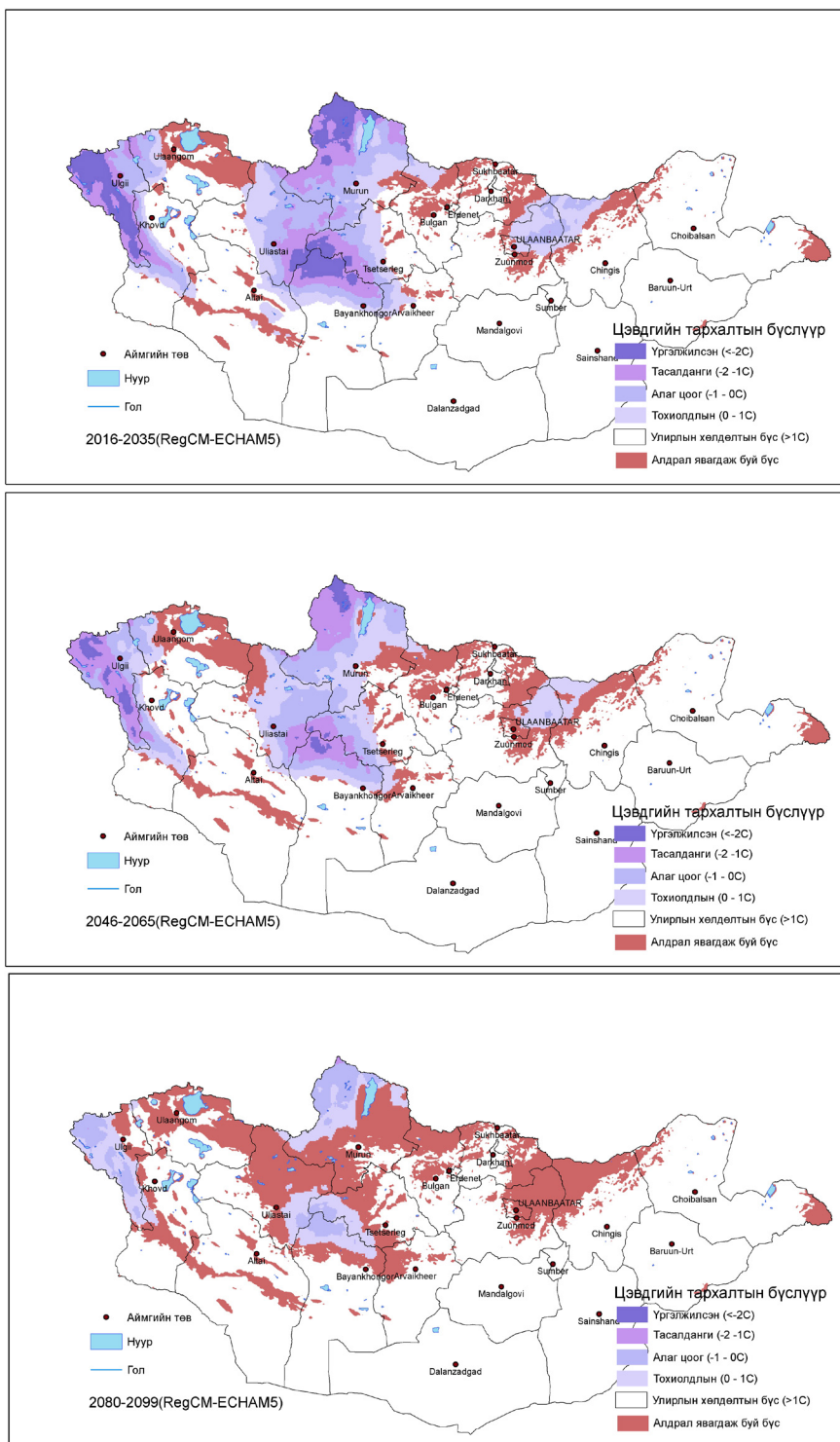
График 5. Монгол ороны цэвдгийн алдрал (RegCM4-HadGEM)

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ



Зураг 26. Монгол орны цэвдгийн ирээдүйн өөрчлөлт (RegCM4-HadGEM)

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ



Зураг 27. Монгол орны цэвдгийн ирээдүйн өөрчлөлт (RegCM-ECHAM5)

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ

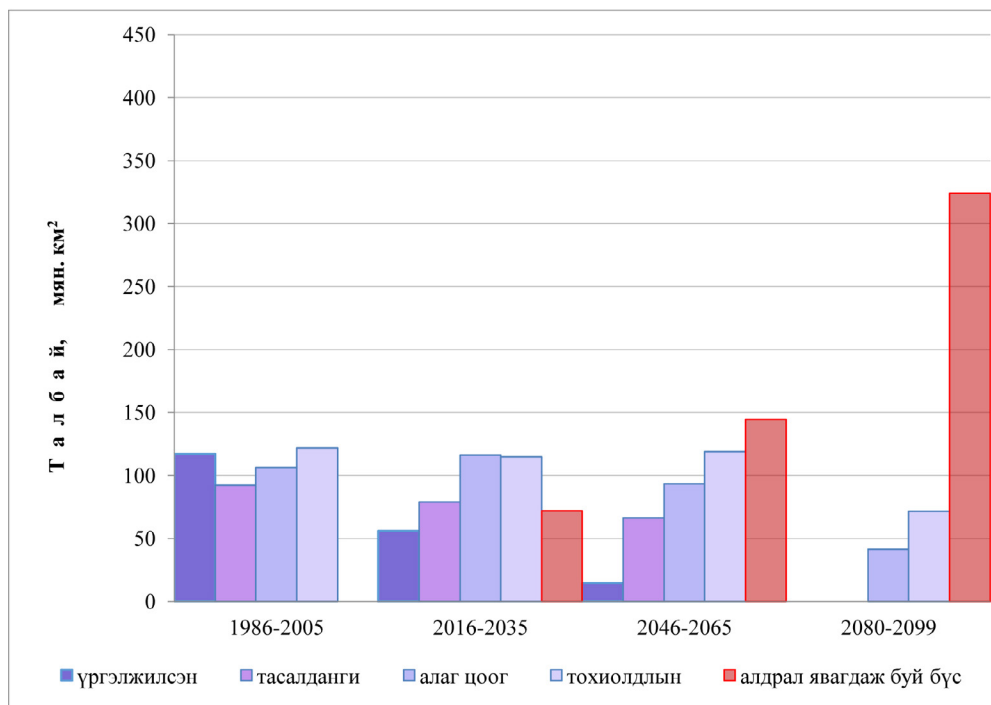


График 6. Монгол орны цэвдгийн алдрал (RegCM-ECHAM5)

Дээрх хоёр загварын үр дүнд Монгол орны цэвдгийн талбай 2016-2035 оны хугацаанд 16.46-18.31%, 2046-2065 оны хугацаанд 33-61.23%, 2080-2099 оны хугацаанд 74-94.7%-иар тус тус ирээдүйд буурахаар төсөөлөгдсөн болно.

Ашигласан хэвлэл

1. Д.Бат-Эрдэнэ, (1995). Тепловой поток горных пород на территории Монголии и его влияние на многолетнемерзлую толщу, Диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук, Улаанбаатар.
2. Я. Жамбалжав, (2009). Уулархаг нутгийн олон жилийн цэвдгийн зураглалд загварчлалын аргыг хэрэглэх боломж, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар. (Ph.D диссертац).
3. Я.Жамбалжав, Т.Ванчиг, Д.Баттогтох, А.Саруулзаяа, А.Дашцэрэн, ба бусад, (2013). Монгол орны мөнхцэвдгийн урт хугацааны мониторинг судалгаа, Сэдэвт ажлын эрдэм шинжилгээний тайлан, Шинжлэх Ухааны Академийн Газарзүйн хүрээлэн ажлын эрдэм шинжилгээний тайлан, Шинжлэх Ухааны Академийн Газарзүйн хүрээлэн.
4. Д.Төмөрбаатар, Монгол орны улирлын ба олон жилийн цэвдэг чулуулаг, Улаанбаатар, 2004.
5. Ш.Цэгмид, (1969). Монгол орны физик газарзүй, Улаанбаатар.
6. V.E.Romanovsky, et al., 2010b: Thermal state of permafrost in Russia, Permafrost and Periglacial Processes, 21, 136-155.
7. N.Sharkhuu, 2011, Long-term monitoring of permafrost in Mongolia, Extended Abstracts of Second International Symposium on Mountain and Arid Land Permafrost, 22-26 August, 2011, Ulaanbaatar, Mongolia.
8. D.Tumurbaatar, 1998, Seasonally and perennially frozen ground around Ulaanbaatar, Mongolia, page 202-203, Extended Abstracts of 7th International Conference on Permafrost, Yellowknife, NWT, Canada, 23-27 June 1998,
9. Tingjun Zhang, Mark A. Parsons, and Roger G. Barry, 2006, Statistics of Global Permafrost Distribution, Abstracts of Asian Conference on Permafrost, August 7-9, 2006, Lanzhou, China

ДӨРӨВДҮГЭЭР БҮЛЭГ. КРИОГЕН ҮЗЭГДЛҮҮД

Криоген буюу хүйтний гаралтай үзэгдлүүд нь газрын гадаргын хэв шинж, хөрсний онцлогоос хамаарч үүсдэг (van Everdingen, 2002) бөгөөд үүнд хөрсний гулсалт (солифлюкци), хүйтний өгөршил, олон жилийн ба улирлын бөөрөг, дов сондуул, халиа, тошин, хөрсний овойлт, дулааны хөндийлж (термокарст), термокарстын нуур, чулуун хүрээ, хүйтний хагарал, нохойн хонхор, мөсөн шаантаг зэрэг үзэгдлүүд багтдаг. Цэвдэг зонхилон тархсан газарт эдгээр криогений үзэгдлүүд нь уур амьсгал болон хүрээлэн буй орчны чухал индикатор болдог (French, 1999). Эртний ба орчин үеийн геологи, геоморфологи, гидрогеологи болон криологийн нөхцөлүүдийг дүгнэн шинжлэхэд криогений үзэгдлүүд, тэдгээрийн морфологи шинж, орон зайн тархалт, статистик үзүүлэлтийг өргөн ашигладаг (Grosse and Jones, 2011).

Хүйтний үзэгдлийн орон зайн тархалт болон статистик үзүүлэлтийн талаар маш олон нарийвчилсан судалгаанууд хийгдсэн байдаг. Жишээлбэл хөрсний гулсалт (Matsuoka, 2001), бөөргийн тархалт (Grosse and Jones, 2011), термокарстын нуур (Hinkel et al., 2005), мөстлөг (Esper-Angillieri, 2009) зэргийг туйлын болон туйл орчмын бүс нутгуудад судалсан байдаг.

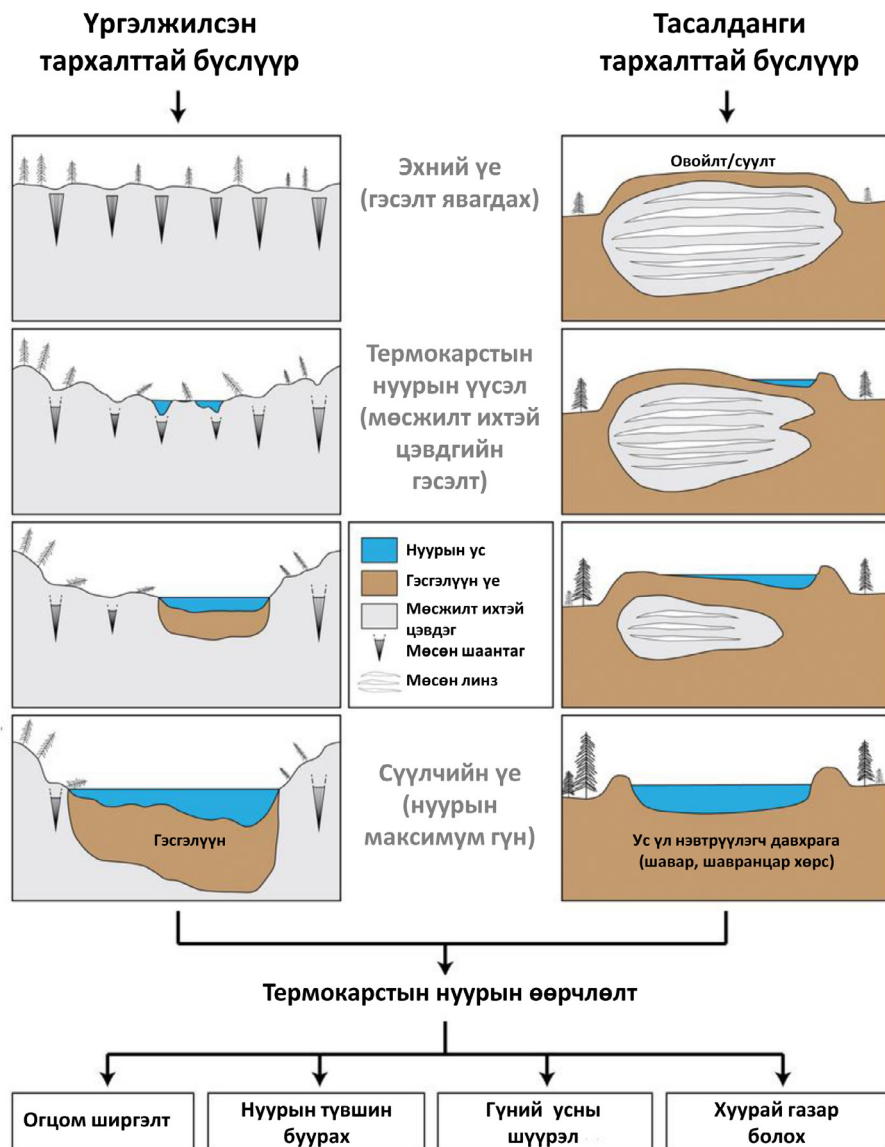
Орчин үеийн судалгаанууд ихэвчлэн газарзүйн мэдээллийн системийн программ хангамжид тулгуурлан томоохон газар нутгийг хамарсан орон зай, цаг хугацааны дижитал тоон мэдээллийг хүрээлэн буй орчны мэдээтэй харьцуулан ашиглаж байна. Энэхүү бүлэгт термокарстын нуурууд, бөөрөг, халиа тошин зэрэг криогений үзэгдлүүдийн үүсэл хөгжил, морфологи шинж чанар, орон зайн тархалт, тэдгээрийн ач холбогдол зэргийг дэлгэрэнгүй тусгасан болно.

4.1 ТЕРМОКАРСТЫН НУУРЫН ҮҮСЭЛ БОЛОН МОРФОЛОГИ

Мөсжилт ихтэй цэвдэг гэссэнээр газрын гадарга сууж, тухайн газарт цэвдгийн хайлсан ус хуримтлагдан үүссэн нуурыг термокарстын нуур (thermokarst lake) гэдэг (van Everdingen, 2002). Иймд термокарстын нуур нь цэвдгийн алдралыг илтгэх үндсэн индикаторын нэг болдог (Wallace, 1948).

Термокарстын нуурууд сүүлчийн Плейстоцен-Мөстлөгийн эхэн үед Арктик болон Арктик орчмын мөсжилт ихтэй цэвдэгтэй, нам дор газруудад маш ихээр үүссэн (Rampton, 1988; Walter et al., 2007). Дэлхийн бөмбөрцөгийн хойд хагасын сэвсгэр хурдастай цэвдэгт бүсэд хэдэн зуун мянган термокарстын нуурууд оршдог (Grosse et al., 2013). Мөн эдгээр нуурууд нь цэвдэгтэй, чийг намгархаг газар (Sannel and Brown, 2010), мөсжилт ихтэй цэвдэгтэй шаварлаг хурдас (Lauriol et al., 2009), шаварлаг занар, суурь чулуулаг (French, 2007) болон уулын цэвдэгтэй бүсүүд ялангуяа уулсын хөндий, хотос, тэгш өндөрлөг газруудад тархсан байдаг (Kacaeб and Haeberli, 2001; Harris, 2002; Lin et al., 2010). Ерөнхийдөө 30%-иас дээш мөсний агууламжтай цэвдэг хөрсөнд термокарстын нуурууд үүсдэг (Grosse et al., 2013) бөгөөд ойролцоогоор 2-4 м-ийн гүнтэй, ихэвчлэн 1-2 км-ээс 300 м-ийн диаметртэй жижиг нуурууд байдаг (French, 2007).

Томоохон хэмжээний термокарстын нуурын ёроол доороо гэсгүүн үетэй бөгөөд энэ нь цэвдгийн хилээр зааглагддаг. Нуурын ёроолын жилийн дундаж температур ойролцоогоор 3-4°C (Burn, 2002) бөгөөд гүний дулааны загварчлалын судалгаануудаар цэвдэгт бүсүүдэд тархсан олон тооны термокарстын нуурын ёроол нэвт гэсгүүн байдгийг тогтоосон байдаг (French, 2007). Мөн термокарстын нуурууд нь цэвдгийн тархалт, бүслүүрээс хамаарч үүсэл, хөгжлийн үйл явц харилцан адилгүй (Зураг 28).



Зураг 28. Үргэлжилсэн ба тасалданги тархалттай цэвдэгт бүс дэх термокарстын нуурын үүсэл, хөгжлийн үе шатууд (Grosse et al. 2013 and Calmels et al. 2008)

4.1.1 Термокарстын нуурын ач холбогдол

Цэвдэгт бүсэд тархсан термокарстын нуурууд нь газрын гадаргын энергийн балансад хүчтэй нөлөө үзүүлж гүний температурын дулааны горимд өөрчлөлт оруулдаг (Jorgenson et al., 2010) бөгөөд агаар мандал дахь хүлэмжийн хийн чухал эх үүсвэр болох CH_4 (метан), CO_2 (нүүрсхүчлийн давхар исэл) ялгаруулдаг нь тогтоогдсон (Kling et al., 1991; Zimov et al., 1997). Учир нь цэвдэгт хадгалагдан буй метаны асар

их нөөц болох метаны гидрат нь термокарстын нуурын ёроолын гэсгэлүүн хурдаснаас ялгардаг. Өөрөөр хэлбэл цэвдэг чулуулаг нь хэдэн сая жилийн настай эртний амьтан, ургамлын үлдэгдлийг агуулдаг бөгөөд эдгээр нь агааргүй, чийглэг орчинд бичил биет организмуудын тусламжтайгаар задарснаар CH_4 ялгарах нөхцөл болдог (Walter et al., 2006). Иймд термокарстын нууруудаас ялгарах метан хий нь ирээдүйд агаар мандлын метан хийн орлого, зарлагад ихээхэн нөлөөлж дэлхийн дулаарлыг эрчимжүүлнэ гэж судлаачид үзэж байна (Walter et al., 2007).

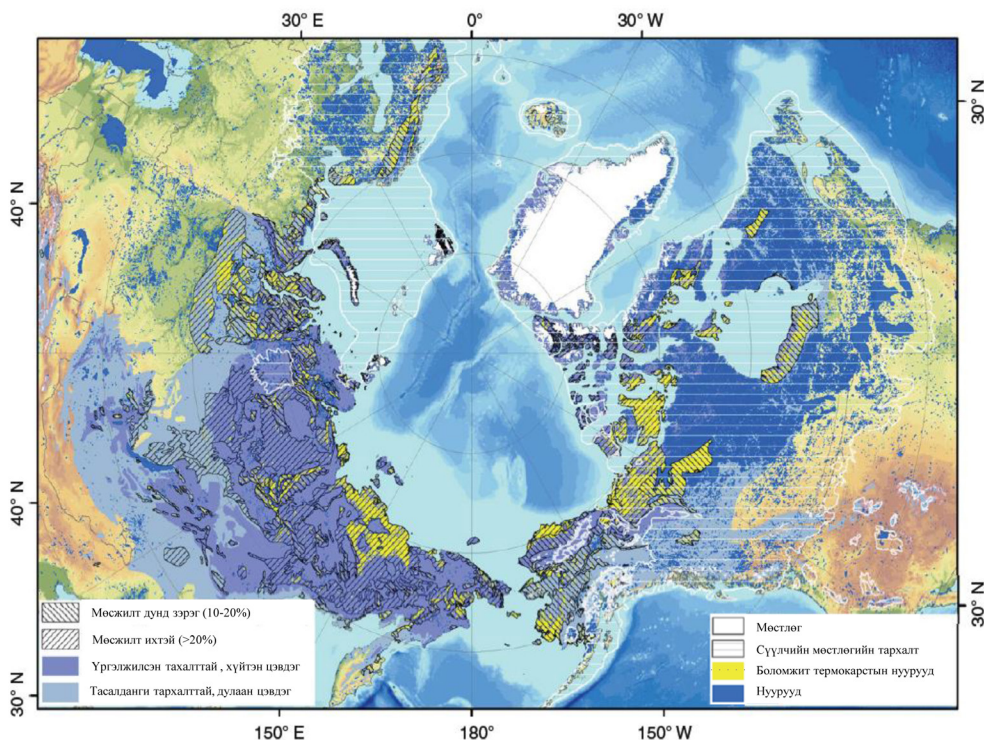
Түүнчлэн цэвдэгт бүсэд тархсан термокарстын нуурууд нь нүүдлийн шувууд болон загасны амьдрах орчныг бүрдүүлдэг (Vincent and Hobbie, 2000; Alerstam et al., 2001). Нууруудын гарал үүсэл, тэдгээрийн хөгжлийн үйл явц, нуурууд хатаж ширгэсэн сав газрын хэв шинж нь зэрлэг ан амьтдын хувьд байгалийн олон янз байдлыг бүрдүүлж байдгаараа чухал ач холбогдолтой юм. Мөн хойт бүс нутагт амьдарч байгаа олон мянган хүмүүс термокарстын нуурын усыг цэвэр усны нөөц болгон ашиглаж байна. Үүнд: ашигт малтмал, нүүрс устөрөгчийн нөөцийн хайгуул болон боловсруулалт, өвлийн мөсөн замын байгууламж, аж үйлдвэрийн усны эх үүсвэр, мөн алслагдсан хойд бүс нутгийн хүмүүсийн амьдрал амьжиргааны нэг хэв маяг болох загас агнуур гэх мэт олон зорилгоор ашиглаж байна.

4.1.2 Цэвдэгт бүс нутаг дахь термокарстын нуурын тархалт

Дэлхийн ус намгархаг газрын мэдээллийн сангаас (GLWD) гаргасан судалгааны үр дүнгээр хойд бүс нутагт манай дэлхийн нууруудын ойролцоогоор дөрөвний гурав нь оршдог гэж тодорхойлсон (Lehner and Do'll, 2004). Арктик болон Арктик орчмын бүсэд тархсан нуурууд (Зураг 29) нь цэвдэг оршин буйг нотолж байгаа бас нэг хүчин зүйл болдог (Smith et al., 2007). Смит нарын судалгаагаар 45.5° өргөрөгөөс хойш цэвдэгт бүсэд 10 га-аас их хэмжээтэй нийт 414 400 км² талбайтай 148 300 нуурууд тархсан байгааг тогтоосон (Smith et al., 2007). Өмнөх судалгаанууд термокарстын нууруудыг нарийвчлан судлаж тогтоосноор эдгээр нуурууд нь ерөнхийдөө Аляск, Сибирь болон Канадын бүс нутагт өргөн тархсан байдаг (Зураг 30). Эдгээр бүс нутагт тархсан термокарстын нуурын үүсэл хөгжил, тархалт, морфологи шинж, тэдгээрээс ялгарч буй метаны хий, эргэлт, байгаль орчинд үзүүлж буй нөлөөллийг өргөн цар хүрээтэй судалгаа шинжилгээний ажлууд олноор хийгдсэн байдаг. Арктикын цэвдэгт бүсэд термокарстын нуурууд нэлээд шигүү оршдог бөгөөд энэ нь тухайн газарт тархсан цэвдгийн онцлог, зузаан, мөсжилтийн хэмжээнээс хамаардаг. Харин Арктик орчмын бүсэд ихэвчлэн голын хөндий, томоохон хотос, тэгш өндөрлөг, уулс хоорондын хөндийд харьцангуй сийрэг тархалттай термокарстын нуурууд оршдог.

4.1.3 Термокарстын нуурын өөрчлөлт

Судлаачид гол төлөв Сибирь, Канад, Аляскын цэвдэгт бүсүүдэд термокарстын нуурын урт хугацааны динамик өөрчлөлтийг агаар, сансрын зураг ашиглан тодорхойлсон байдаг (Smith et al., 2005; Riordan et al. 2006; Plug et al., 2008; Labrecque et al., 2009; Jones et al., 2011; Karlsson et al., 2012; Andresen et al., 2015). Жишээлбэл Аляскын Сивардын хойгт термокарстын нуурын өөрчлөлтийг 1950-2007 оны хиймэл дагуулын мэдээ ашиглан тодорхойлсон (Jones et al. 2011). Судалгааны үр дүнд 0.1 га-аас том хэмжээтэй нуурын тоо 10.7%-иар ихэссэн хэдий ч нуурын усны талбай 14.9%-иар буурсан бөгөөд энэ нь цөөн тооны томоохон нуурууд хэсэгчлэн хатаж ширгэсэнтэй холбоотой гэж тодорхойлсон. Харин 1950 оноос хойш термокарстын нуурын тоо болон усны талбай 11.6%, 19%-иар тус тус буурсан хэдий ч энэ хугацаанд хур тунадасны хандлага тогтвортой байсан (Riordan et al., 2006). Эдгээр нуурын өөрчлөлтийг агаарын



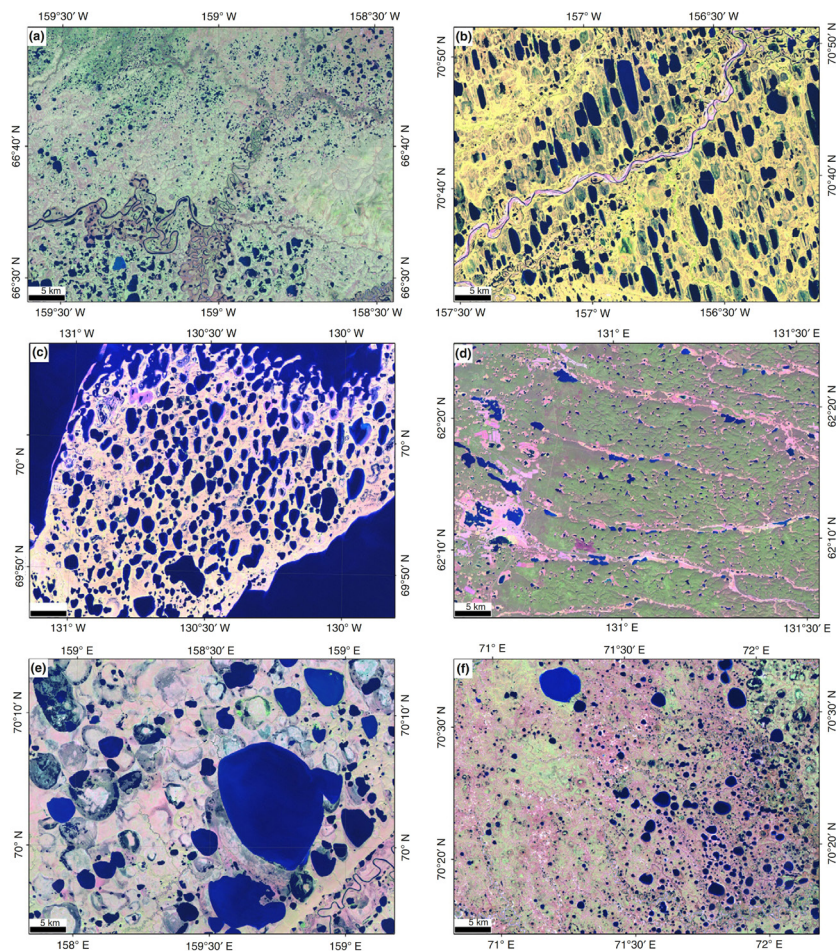
Зураг 29. Боломжит термокарстын нууруудын тархалт (Grosse et al., 2013)

температур болон боломжит ууршилтын огцом өсөлттэй холбоотой гэж дүгнэсэн. Канадын баруун хойт үргэлжилсэн тархалттай цэвдэгт бүсэд термокарстын нуурын усны талбай 1978-1992 оны хооронд өссөн бол 1992-2001 оны хооронд буурсан бөгөөд энэ нь жилийн дундаж хур тунадасны өөрчлөлттэй хамааралтайг тогтоосон (Plug et al. 2008). Эдгээр судалгаанууд уур амьсгалын өөрчлөлт болон нуурын усны хоорондын хамаарлыг тодорхой харуулж байна. Үүнээс гадна термокарстын нуурын динамик өөрчлөлтөнд цэвдгийн тархалт, түүнд агуулагдаж буй мөсжилтийн хэмжээ ихээхэн чухал үүрэгтэй. Баруун Сибирийн цэвдэгт бүсэд термокарстын нуурын өөрчлөлтийг Ландсат хиймэл дагуулын 1973-1998 оны мэдээ ашиглаж тодорхойлсон (Smith et al. 2005). Судалгааны үр дүнгээр үргэлжилсэн тархалттай цэвдэгт бүсэд мөсжилт ихтэй цэвдгийн гэсэлт нуурын өсөлт болон шинэ нуурын үүсэлд нөлөөлсөн гэж дүгнэсэн бол тасалданги, алаг цоог, тохиолдлын тархалттай бүсэд нуурын тоо, усны талбай буурсан нь цэвдгийн алдралтай холбоотой гэж тодорхойлсон (Smith et al. 2005).

Харин термокарстын нуурууд нь Монгол орны Алтай, Хангай, Хөвсгөл, Хэнтийн цэвдэгт бүс нутгийн уулс хоорондын хөндий, хонхор хотос, голуудын хөндийд ихээр тархсан байдаг (Зураг 32). Өмнөх судалгааны түүхээс харахад термокарстын нуурын тархалтыг Дархадын хотгор, Чулуутын голын хөндийд Төмөрбаатар (Tumurbaatar, 2001), Нишида (Nishida and Jamsran, 2009), Шархүү (Sharkhuu, 2011) нарын судалгаагаар тогтоосон байдаг. Гэвч эдгээр судалгаанууд термокарстын нуурын урт хугацааны динамик өөрчлөлтийг тодорхойлоогүй.

Монгол орны газарзүйн байрлал, уур амьсгалын онцлог (хойт бүс нутгаар чийглэг, сэрүүн; өмнөд бүс нутгаар хуурай, гандуу), цэвдгийн тархалт нь термокарстын нуурын өөрчлөлтийг тодорхойлоход ихээхэн сонирхолтой хэдий ч өнөөг хүртэл урт хугацааны

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ

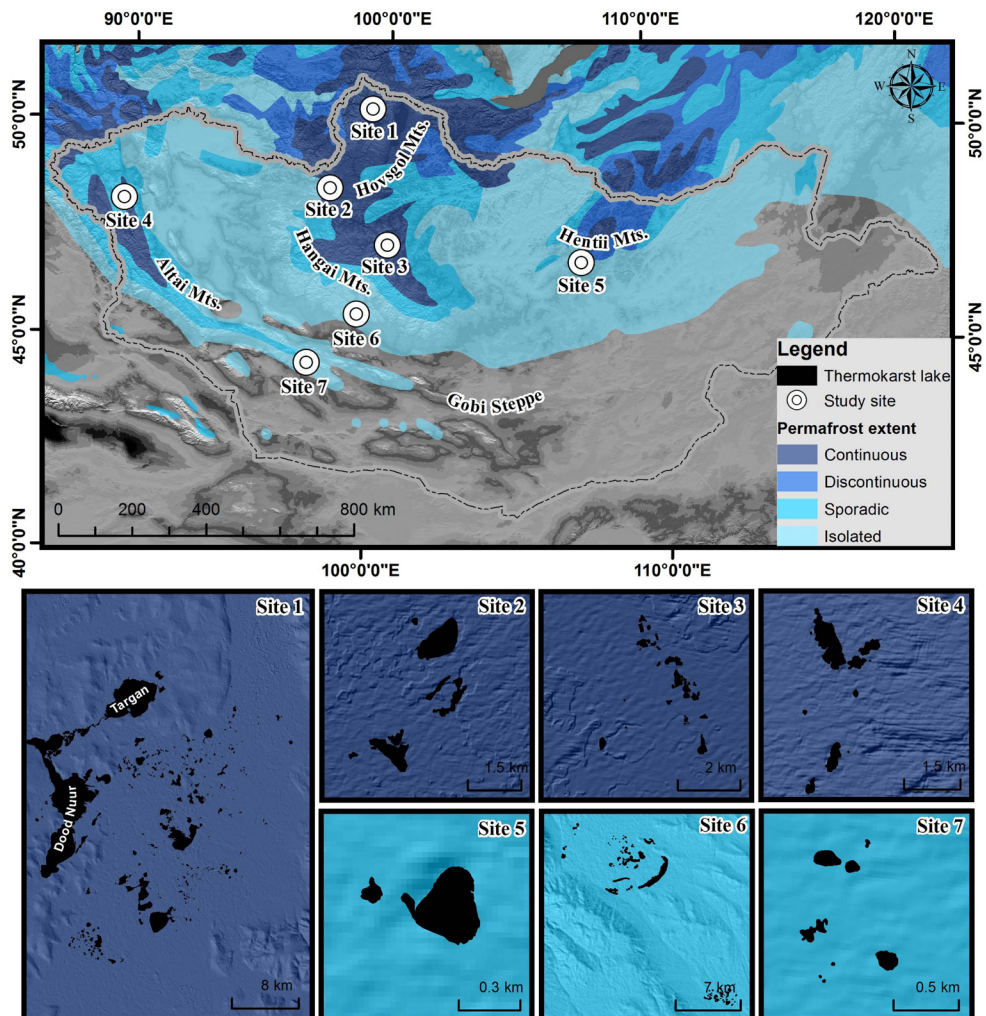


Зураг 30. Landsat-5 TM хиймэл дагуулын мэдээнээс авсан термокарстын нуурууд элбэг тархсан бүсүүд (Grosse et al., 2013): (a) Аляскын Силавяк; (б) Аляскын хойд эргийн дагуу; (в) Канадын баруун хойт бүс; (г) Сибир; (д) Сибирийн баруун хойт бүс болон (е) Ямалын хойг



Зураг 31. Идвөхтэй термокарстын нуур (Баян-Өлгий, Цагааннуур тосгон). Зургийг Я.Гансүх

МОНГОЛ ОРНЫ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТ, ӨӨРЧЛӨЛТ



Зураг 32. Монгол орны цэвдгийн тархалттай бүсүүд дэх термокарстын нууруудын судалгааны цэгүүд. Нуурын гадаргын усны талбайг 1962-1968 оны Корона хиймэл дагуулын мэдээгээр тодорхойлж, хар онгөөр үзүүлэв (Saruulzaya et al., 2016)

термокарстын нуурын динамик өөрчлөлтийн судалгаа хийгдээгүй байсан. Харин судлаач А.Саруулзаяа Монгол орны үргэлжилсэн ба тасалданги тархалттай цэвдэгт бүсүүдэд хэд хэдэн судалгааны цэгт термокарстын нуурын урт хугацааны динамик өөрчлөлтийг өндөр нарийвчлалтай Corona KH-4, KH-4A, KH-4B (1962-1968), Landsat ETM+ (1999-2001), болон ALOS/AVNIR-2 (2006-2007) хиймэл дагуулын мэдээ ашиглаж 0.1 га-аас дээш талбайтай нууруудад анализ хийсэн (Saruulzaya et al., 2016). Тэдний үр дүнгээс харахад Монгол орны хэмжээнд термокарстын нууруудын тоо болон талбай нь үргэлжилсэн тархалттай цэвдэгт бүсэд +21% (347-420), +7% (3680 га – 3936 га)-иар тус тус нэмэгдсэн байна (График 7 а,б). Сүүлийн 45 жилийн хугацаанд нийт 85 нуур шинээр (166 га) үүссэн нь термокарстын нуурын өөрчлөлттэй хамааралтай гэж дүгнэсэн. Харин эсрэгээрээ алаг цоог, тохиолдлын тархалттай цэвдэгт бүсэд 1962-2007 оны хооронд нуурын тоо болон талбай –42% (118-68), –12% (422 га – 371 га)-

иар буурсан (График 7 в,г). 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 алаг цоог, тохиолдлын тархалттай бүстэй харьцуулахад илүү өссөн (A.Saruulzaya et al., 2016). Иймд уур амьсгалын дулаарлын нөлөөгөөр газрын доорх мөсжилт ихтэй цэвдэг гэсэнээр үргэлжилсэн тархалттай цэвдэгт бүсэд нуурын тоо болон талбай өссөн. Алаг цоог, тохиолдлын тархалттай цэвдэгт бүсэд термокарстын нуурын ширгэлт нь устаж алга болж байгаа цэвдэг, ихсэж байгаа гадаргын усны ууршилт болон газрын доорх усны нэвчилтийн нөлөөллөөс хамаарсан гэж тодорхойлсон (A.Saruulzaya et al., 2016).

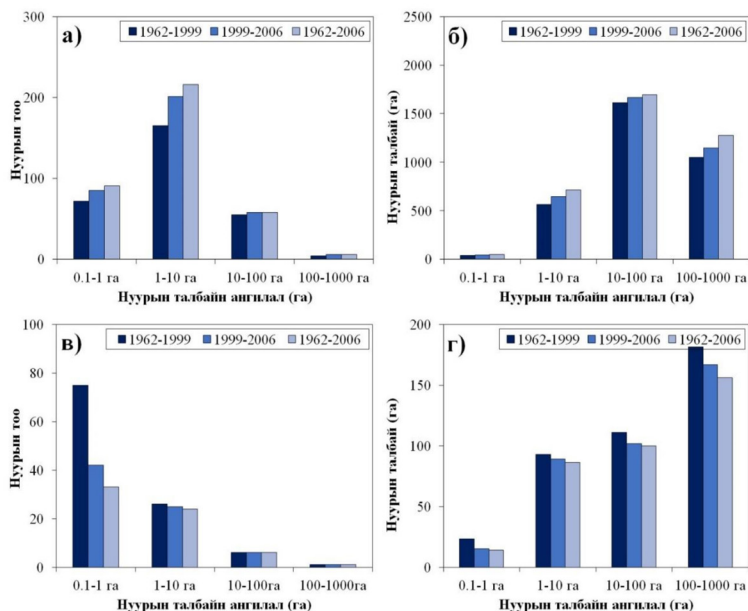


График 7. Монгол орны цэвдгийн үргэлжилсэн (а, б) ба тохиолдлын (в, г) тархалттай бүслүүр дэх термокарстын нуурын тоо, талбайн өөрчлөлт (1962-2007 он) (Saruulzaya et al., 2016)



Зураг 33. Идэвхтэй термокарстын нуур (Завхан, Түдэвтэй сум, Жарамтайн голын хөндий). Зургийг А.Саруулзаяа

Ашигласан хэвлэл

1. Alerstam, T., Gudmundsson, G.A., Green, M., Hedenstrom, A., (2001). Migration along orthodromic sun compass routes by arctic birds. *Science* 291(5502), 300–303.
2. Andresen, C.G. and Loughheed, V.L. (2015) Disappearing Arctic Tundra Ponds: Fine-Scale Analysis of Surface Hydrology in Drained Thaw Lake Basins over a 65 Year Period (1948-2013). *Journal of Geophysical Research, Biogeosciences*, 120, 466-479.
3. Burn, C.R., (2002). Tundra lakes and permafrost, Richards Island, western Arctic coast, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences* 39, 1281–1298.
4. Esper Angillieri, M. Y.: (2009). A preliminary inventory of rock glaciers at 30° S latitude, Cordillera Frontal of San Juan, Argentina, *Quatern. Int.*, 195, 151–157.
5. French, H. M.: (1999). Past and present permafrost as an indicator of climate change, *Polar Research.*, 18, 269–274.
6. Grosse, G., Jones, B. and Arp, C. (2013). Thermokarst Lakes, Drainage, and Drained Basins. In: Shroder, J.F., Ed., *Treatise on Geomorphology, Glacial and Periglacial Geomorphology*, publisher, San Diego, 325-353.
7. Grosse, G and B. Jones.: (2011). Spatial distribution of pingos in northern Asia. *The Cryosphere*, 5, 13–33.
8. Harris, S.A., (2002). Causes and consequences of rapid thermokarst development in permafrost or glacial terrain. *Permafrost & Periglacial Processes* 13, 237–242.
9. Hinkel, K. M., Frohn, R. C., Nelson, F. E., Eisner, W. R., and Beck, R. A.: (2005). Morphometric and spatial analysis of thaw lakes and drained thaw lake basins in the Western Arctic Coastal Plain, Alaska, *Permafrost and Periglacial Processes.*, 16, 327–341.
10. Matsuoka, N.: (2001). Solifluction rates, processes and landforms: a global review, *Earth-Sci. Rev.*, 55, 107–134.
11. Jones, B.M., Grosse, G., Arp, C.D., Jones, M.C., Walter Anthony, K.M. and Romanovsky, V.E. (2011). Modern Thermokarst Lake Dynamics in the Continuous Permafrost Zone, Northern Seward Peninsula, Alaska. *Journal of Geophysical Research*, 116, Article ID: G00M03.
12. Kaeab, A., Haeberli, W., (2001). Evolution of a high-mountain thermokarst lake in the Swiss Alps. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 33, 385–390.
13. Kling, G.W., Kipphut, G.W., Miller, M.C., (1991). Arctic lakes and streams as gas conduits to the atmosphere: implications for tundra carbon budgets. *Science* 251, 298–301.
14. Karlsson, J.M., Lyon, S.W. and Destouni, G. (2012). Thermokarst Lake, Hydrological Flow and Water Balance Indicators of Permafrost Change in Western Siberia. *Journal of Hydrology*, 464-465.
15. Labrecque, S., Lacelle, D., Duguay, C., Lauriol, B. and Hawkings, J. (2009). Contemporary (1951-2001) Evolution of Lakes in the Old Crow Basin, Northern Yukon, Canada, Remote Sensing, Numerical Modeling, and Stable Isotope Analysis. *Arctic* , 62, 225-238.
16. Lauriol, B., Lacelle, D., Labrecque, S., Duguay, C.R., Telka, A.M., (2009). Holocene Evolution of Lakes in the Bluefish Basin, Northern Yukon, Canada. *Arctic* 62(2), 212–224.
17. Lin, Z., Niu, F., Xu, Z., Xu, J., Wang, P., (2010). Thermal regime of a thermokarst lake and its influence on permafrost, Beiluhe Basin, Qinghai-Tibet Plateau. *Permafrost and Periglacial Processes*. <http://dx.doi.org/10.1002/ppp>. 692.
18. Lehner, B., Do"ll, P., (2004). Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands. *Journal of Hydrology* 296, 1–22.
19. Nishida, H. and Jamsran, Ts. (2009). Darkhadyn Wetland in Mongolia: Synthesis Investigation on Ecosystems. Kanazawa, NPO Mongolia Ecology Information Center, Japan.
20. Plug L.J., Scott, B.M. and Walls, C. (2008). Tundra Lake Changes from 1978 to 2001 on the Tuktoyaktuk Peninsula, Western Canadian Arctic. *Geophysical Research Letters*, 35, Article ID: L03502.
21. Rampton, V.M., (1988). Quaternary Geology of the Tuktoyaktuk Coastlands, Northwest Territories. Geological Survey of Canada, memoir 423, 98 pp.
22. Sannel, A.B.K., Brown, I.A., (2010). High-resolution remote sensing identification of thermokarst lake dynamics in a subarctic peat plateau complex. *Canadian Journal of Remote Sensing* 36(1), S26–S40.
23. Smith, L.C., Sheng, Y., MacDonald, G.M., (2007). A first pan-Arctic assessment of the influence of glaciation, permafrost, topography and peatlands on northern hemisphere lake

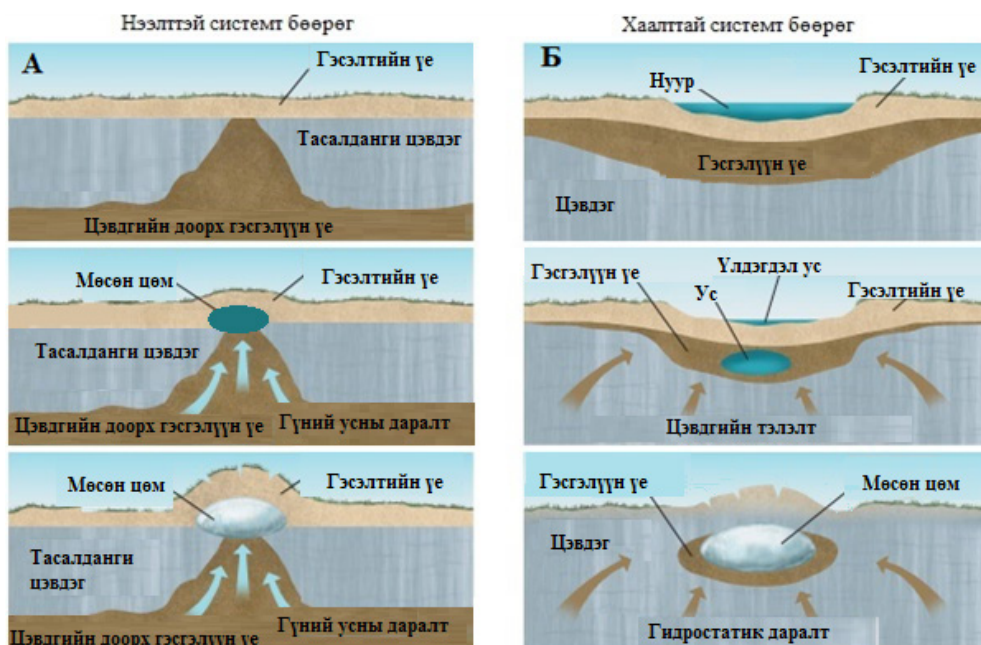
- distribution. *Permafrost & Periglacial Processes* 18, 201–208.
24. Van Everdingen, R.O. (2002). Multi-Language Glossary of Permafrost and Related Ground-Ice Terms.
 25. Wallace, R.E., (1948). Cave-in lakes in the Nabesna, Chisana, and Tanana River valleys, Eastern Alaska. *Journal of Geology* 56, 171–181.
 26. A.Saruulzaya, M. Ishikawa, Ya.Jambaljav. (2016). “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.
 27. Smith, L.C., Sheng, Y., MacDonald, G.M. and Hinzman, L.D. (2005). Disappearing Arctic Lakes. *Science*, 308, 1429.
 28. Riordan, B., Verbyla, D. and McGuire, A.D. (2006). Shrinking Ponds in Subarctic Alaska Based on 1950-2002 Remotely Sensed Images. *Journal of Geophysical Research*, 111, G04002.
 29. Tumurbaatar, D. (2001). Permafrost in the Darkhad Depression of Hovsgol. *Proceeding of the International Symposium on Mountain and Arid Land Permafrost*, Ulaanbaatar, Mongolia, date, 79-82.
 30. Sharkhuu, N. (2011). Field Guidebook to Mountain and Arid Land Permafrost in the Nalaikh and Terelj Areas near Ulaanbaatar, and in the Hovsgol and Hangai Mountainous Regions, Mongolia. Ulaanbaatar, Mongolia, 1-50.
 31. Walter KM, Zimov AS, Chanton JP, D. Verbyla FS, Chapin III. (2006). Methane bubbling from Siberian thaw lakes as a positive feedback to climate warming, *Nature*, 443, 71–75, doi: 10.1038/nature05040.
 32. Walter, K.M., Edwards, M.E., Grosse, G., Zimov, S.A., Chapin, III., F.S., (2007). Thermokarst lakes as a source of atmospheric CH₄ during the last deglaciation. *Science* 318, 633–636.
 33. Vincent, W.F., Hobbie, J.E., (2000). Ecology of Arctic lakes and rivers. In: Nuttal, M.,-Callaghan, T.V. (Eds.), *The Arctic: Environment, People, and Policy*. Overseas Publishers Association, Amsterdam, pp. 197–274.
 34. Zimov, S.A., Voropaev, Y.V., Semiletov, I.P., et al., (1997). North Siberian lakes: a methane source fueled by pleistocene carbon. *Science* 277, 800–802.

4.2 БӨӨРГИЙН ҮҮСЭЛ, ХӨГЖИЛ

Монголчууд товгор, хагас дугуй гадаргын хэлбэрийг “бөөрөг” гэж нэрлэдэг. Манай оронд Бөөрөг Дэлийн элс, Арсайн Бөөрөг, Бөөрөгт гэх мэт нэртэй газрууд тохиолддог. Салхины үйл ажиллагаагаар үүссэн элсэн довцог, бөөрөг нь хуурай хөндий, хотос газруудад үүсдэг бол хүйтэн уур амьсгалтай газруудад криоген үйл явцаар мөсөн цөмтэй бөөрөг үүсдэг.

Бөөрөг (pingo) гэдэг нь ургамал болон хөрсөн бүрхэвчээр хучигдсан, цул мөсөн цөм агуулсан, газрын доорх усны үйл ажиллагаагаар үүссэн олон жилийн хөлдөлтийн овойлтыг хэлнэ (Grosse and Jones, 2011). Бөөрөг нь үргэлжилсэн болон тасалданги тархалттай цэвдгийн бүслүүрт үүсэхдээ 10 м-ээс багагүй өндөртэй, ойролцоогоор 100 м болон түүнээс их диаметртэй байдаг. Энэхүү криогений үзэгдлийн морфологи шинжийг авч үзвэл хэлбэр дүрсийн хувьд конус болон тэгш хэмгүй, оройдоо ан цав үүсэж, тойрог болон зууван хэлбэртэй тогоо үүсгэсэн байдаг (van Everdingen, 2002).

Арктик болон Арктик орчмын бүсэд бөөрөг ихээр тархсан байдаг бөгөөд бөөргийн бүтэц, үүсэл хөгжил, орших хугацаа, мөсний агууламж зэрэг шинж чанараар ялган тодорхойлдог (French, 2007). Бөөргийг гарал үүслээр нь нээлттэй, хаалттай системт гэж ангилдаг (Зураг 34). Нээлттэй системийн бөөрөг нь цэвдгийн доорх гэсгэлэн үеийн доороос гүний усны даралтаар дээш өргөгдсөн ус цэвдэгт давхаргад хөлдөхдөө мөсөн цөм үүсгэн овойж хэлбэрждэг. Ихэнх нээлттэй системийн бөөргүүд тасалданги тархалттай цэвдгийн бүслүүрт тохиолддог. Харин хаалттай системийн бөөрөг нь цэвдгийн доорх гэсгэлэн үед агуулагдах ус цэвдгийн идэвхтэй тэлэх үед дээш шахагдан хөлдөж, овойж хэлбэрждэг. Ихэнх хаалттай системийн бөөргүүд цэвдгийн үргэлжилсэн тархалттай бүслүүрт усан хангамж багатай, хавтгай гадарга бүхий газар тохиолддог (van Everdingen, 2002).



Зураг 34. Нээлттэй (а), хаалттай (б) системийн бөөрөг үүсэх үе шат (Maskay 1985)

4.2.1 Бөөргийн тархалт

Судлаачид цэвдэгт бүсэд ойролцоогоор 11000-аас багагүй тооны бөөрөг байгааг тодорхойлсон байна (Grosse and Jones, 2011). Сибирь, Канад, Аляск зэрэг цэвдгийн үргэлжилсэн тархалттай бүсүүдэд томоохон голуудын адагт олон тооны бөөргүүд үүссэн байдаг. Grosse ба Jones (2011) газарзүйн мэдээллийн систем ашиглан Сибирийн цэвдэгт бүсэд тархсан 6509 бөөргийг зурагласан байна.

Монгол оронд тархсан бөөргийн харьцангуй өндөр дунджаар 5-40 м, диаметр нь 50-100 м-т хүрдэг (Төмөрбаатар, 2004). Эдгээр бөөргүүд нь Хангайн нуруу, Тэсийн голын эх, Чулуутын голын хөндий, Цэцэг нуур, Налайхын хотос, Олгой нуурын хөндий, болон Дархадын хотгор зэрэг цэвдгийн үргэлжилсэн болон тасалданги тархалттай бүслүүрт, томоохон нууруудын шавранцар хөрстэй газарт ганц нэгээрээ болон бүлэг байдалтай тархсан байдаг.

Хөвсгөл аймгийн Сангийн далай нуурын зүүн хойд хажууд орших бөөрөг нь Монгол орны хамгийн том бөөрөг бөгөөд өндөр нь 40 м, диаметр нь 200 м байдаг (Лувсандагва, 1978).

4.2.2 Монгол орны бөөргийн судалгааны үр дүн

Монгол оронд тархсан бөөргийн гарал үүсэл, өөрчлөлтийн судалгааг судлаачид харьцангуй их судалж, эрдэм шинжилгээний илтгэл, өгүүлэл багагүй хэвлүүлсэн байдаг (Ishikawa, 2011; Yoshikawa et al., 2013; Жамбалжав нар, 2016). Монгол орны бөөрөг дээр өрөмдсөн мониторингийн цооногуудын 10-15 м-ийн гүний температурын мэдээнээс харахад ерөнхийдөө дулаарах хандлага ажиглагдсан.

Дархадын хотгорт орших Арсай-2 бөөргийн 15 м-ийн гүний температур 2009-2016 оны хооронд $0.009^{\circ}\text{C}/\text{жилээр}$ дулаарсан байна. Дархадын хотгорын Мөнгүүшийн сайр дахь цооногийн 15 м-ийн гүний температур 1987-2016 оны хооронд $0.033^{\circ}\text{C}/\text{жилээр}$ дулаарсан байна. Арсайн бөөрөг дээрх цооногийн 15 м-ийн гүний температурыг Мөнгүүшийн сайр дахь цооногийн 15 м-ийн гүний температуртай харьцуулахад дулаарлын эрчим багатай байна.

Чулуутын голын хөндийд орших бөөргийн орой дээрх цооногийн 15 м-ийн гүний температур 1969 онд -0.72°C , 2002 онд -0.47°C буюу $0.008^{\circ}\text{C}/\text{жилээр}$ дулаарсан байна (Sharkhuu, 2003). Галуутын голын хөндийд орших бөөргийн 8 м-ийн гүний температур 2009-2016 оны хооронд $0.017^{\circ}\text{C}/\text{жилээр}$, Мөнгөтийн голын хөндийд орших бөөргийн 10 м-ийн гүний температур 2011-2014 оны хооронд $0.042^{\circ}\text{C}/\text{жилээр}$ тус тус дулаарсан байна. Шаргын голын цооногийн 10 м-ийн гүний температурын 2011-2014 оны хооронд $0.07^{\circ}\text{C}/\text{жил-ээр}$ дулаарчээ.

Бөөрөг дээр өрөмдсөн цооногийн гүний температур бусад цооногийн ижил гүний температуртай харьцуулахад дулаарлын эрчим багатай байна. Сүүлийн жилүүдэд үргэлжилсэн болон тасалданги тархалттай цэвдгийн бүслүүрийн бөөргийн 10-15 м-ийн гүний температур алаг цоог тархалттай бүслүүрийн бөөргүүдийн температуртай харьцуулахад эрчимтэй дулаарч байгаа нь ажиглагдсан (Жамбалжав нар, 2016).

Бөөргийн насны судалгааг Дархадын хотгорын Арсайн бөөргийн өрөмдлөгийн дээжийн насыг 14C -ын изотопоор тооцоолон 4509 ± 26 жилийн настай болохыг тогтоосон (Ishikawa and Jambaljav, 2015). Үүнээс гадна Хөвсгөл аймгийн Тэсийн голын хөндийд орших Мөнгөтийн бөөргийн дээжийн насыг 14C -ын изотопоор тооцоолон 8790 ± 50 жилийн настай гэж тогтоосон байдаг (Yoshikawa and Sharkhuu, 2013).



Зураг 35. Термозрозид идэвхтэй өртөж буй бөөрөг (Хэнтий, Өмнөдэлгэр сум). Зургийг Г.Цогт-Эрдэнэ

Ашигласан хэвлэл

1. Я.Жамбалжав, А.Дашцэрэн, Я.Гансүх, Х.Тэмүүжин, Г.Цогт-Эрдэнэ, Ё.Амарбаясгалан, Ц.Ундрахцэцэг, А.Саруулзаяа, Ш.Нарангэрэл, (2016). “Монгол орны мөнхцэвдгийн орон зай цаг хугацааны загварчлал” эрдэм шинжилгээний тайлан. Хуудас 70-73.
2. Д.Лувсандагва, (1978). “Хангайн Хөвсгөлийн уулархаг нутгийн олон жилийн цэвдэг”, Улаанбаатар.
3. Д.Төмөрбаатар, (2004). “Монгол орны улирлын болон олон жилийн цэвдэг чулуулаг”, Улаанбаатар.
4. R.V. Everdingen, (2002). “English Language Glossary of Permafrost and Related Ground-Ice Terms”.
5. G. Grosse, B.M. Jones, (2011). “Spatial distribution of pingos in northern Asia”, The Cryosphere, 5, 13–33.
6. Kenji Yoshikawa, Sharkhuu Natsagdorj, (2013). “Groundwater Hydrology and Stable Isotope Analysis of an Open-System Pingo in Northwestern Mongolia”, Permafrost and Periglacial Processes, 24: 175–183.
7. Hugh M.French, (2007). “The Periglacial Environment”, Third edition, John Wiley and Sons, Ltd.
8. Hughes, O. L, (1969). “Distribution of open system pingos in central Yukon Territory with respect to glacial limits”, Geological Survey of Canada, ppp 69-34.
9. Mackay, J. R, (1986). “Growth of Ibyuk Pingo, western Arctic coast, Canada, and some implications for environmental reconstructions”, Quaternary Research., 26, 68–80.
10. Mamoru Ishikawa, Jambaljav Yamkhin, (2015). “Formation Chronology of Arsain Pingo, Darhad Basin, Northern Mongolia”, Permafrost and Periglacial Processes, DOI:10.1002/ppp.1877.
11. Rott, H, (1983). “SAR data analysis for an Alpine test site”, The European SAR-580 Experiment Investigators Preliminary Report, Publ. JRC-ESA September, pp. 1-14.
12. N.Sharkhuu, (2003). “Recent changes in permafrost Mongolia”. Permafrost, Phillips, Springman & Arenson (eds).

