

Гадаргын Дулааны Тэнцлийн Харьцуулалт Судалгаа.

Х.Тэмүүжин¹, А.Дашцэрэн¹, Ц.Ундрахцэцэг¹

Шинжлэх Ухааны Академийн Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэн.

ABSTRACT: The surface energy balance (SEB) determines the amount of energy flux available to evaporate from surface (latent heat flux), exchange of energy between the surface and the atmosphere (sensible heat flux) and between the surface and the subsurface layer (ground heat flux) (soil, rock, water etc.). We have been used the simultaneous heat and water (SHAW) model to determine the surface energy balance and flux. The SHAW model requires the usage of the high precision data. This requirement led us to choose the three station with highly detailed metrological data. The two of them located in the permafrost area (Udleg, Nalaikh), other one located in seasonally frozen ground zone. In this study, we aimed to describe the reasons why two sites has permafrost exist and one none, based on the difference of the variables of SEB. In Udleg site, the highest value of the energy flux was the ground heat flux. It occupied about 60% of the total energy flux. The highest flux value of Terelj site was the sensible heat flux about 70% of amount energy flux. All of three energy fluxes values was almost equal in Nalaikh site.

ТҮЛХҮҮР ҮГ: Ил, далд, хөрсний дулааны урсгал, дулааны тэнцэл, SHAW

ОРШИЛ.

Цэвдэг нь нэг талаас температураар, нөгөө талаас цаг хугацаагаар илэрхийлэгддэг байгалийн нэгэн бүрэлдэхүүн хэсэг юм (Hugh M French, 2017). Цэвдгийн судалгаанд дулаан, хөрсний хэв шинж зэрэг нь асар чухал бөгөөд нөгөө талаас газарзүйн хүчин зүйл ч бас чухал байдаг (Я.Жамбалжав, 2017). Иймээс цэвдгийн температурын өөрчлөлтийг судлахаас гадна түүний оршин байгаа газрын онцлог шинж чанар болон дулааны өөрчлөлтийг нарийвчлан судлах нь цэвдгийн оршин буй зүй тогтлыг нээн илрүүлэхэд нэн чухал ач холбогдолтой юм (А.Дашцэрэн нар, 2020). Иймд энэхүү судалгаагаар цэвдэгтэй болон улирлын хөлдөлттэй бүсэд байрлах цаг уурын автомат станцууд дээр дулааны тэнцлийн харьцуулсан судалгаа хийхийг зорьсон.

Үүний тулд бид Тэрэлж, Налайх болон Үдлэгт байрлах цаг уурын автомат 3 станцыг сонгон авч тооцооллоо хийсэн. Дулааны тэнцлийн тооцооллыг SHAW 3.02 (Simulated Heat and Water) загварыг ашиглаж хийсэн. Энэхүү

загвар нь 1989 оноос хойш одоог хүртэл сайжруулалт хийгдэж байгаа бөгөөд 3.02 загвар нь 2017 онд гарсан хамгийн сүүлийн хувилбар юм. Мөн оролтын мэдээ нь маш нарийн байхыг шаарддаг бөгөөд мэдээ нь цагийн давтамжтай байна.

Энэхүү судалгаатай адил төстэй судалгааг өмнө нь Япон улсын судлаач доктор Мамору Ишикава Налайхын цаг уурын станцын жишээн дээр 2006 онд (Ishikawa, 2006), мөн тус улсын судлаач доктор Шин Миязаки Үдлэгийн станцын жишээн дээр 2013 онд (Miyazaki, 2013), мөн доктор Дашцэрэн Тэрэлжийн станцын жишээн дээр 2014 онуудад (Dashtseren, 2014) тус тус хийж гүйцэтгэж байсан.

Дээрх судлаачдын гаргасан бүтээлээс энэ судалгаа нь өөр загвар ашигласан, өөр өөр газарт байх станцуудыг хооронд нь харьцуулалт хийсэн зэрэг нь дээрх судлаачдын судалгаанаас өөр болсон гэж үзэж байна.

СУДАЛГААНЫ ТАЛБАЙ.

SHAW загварыг ажиллуулахын тулд цаг уурын нарийвчлал сайтай мэдээ хэрэгтэй. Иймд бид Улаанбаатар

хоттой ойр байрлах цаг уурын автомат станцуудыг сонгож авсан. Тухайлбал Тэрэлжийн ууланд байрлах цаг уурын станц, Үдлэг өртөөнд ойролцоо байрлах цаг уурын станц, мөн Налайхын хотост байрлах цаг уурын станц зэргийг сонгож авсан. Тухайн станцууд нь өөр хоорондоо ялгаатай байгаль цаг уурын нөхцөлтэй цаг уурын станцууд юм.

1-р хүснэгт. Судалгааны цэгүүдийн танилцуулга.

Нэр	Зүг зовхис	Байгалийн бүслүүр	Цэвдгийн тархалт
Тэрэлж	Урд	Ойт хээр	Тархаагүй
Үдлэг	Зүүн	Ой	Тархсан
Налайх	Тэгш	Хээр	Тархсан

Нэгдүгээр хүснэгтэд дурдсанчлан судалгааны цэгүүд байгалийн бүслүүр, зүг зовхис нь өөр хоорондоо харилцан адилгүй ч Үдлэг болон Налайх цэгүүдэд цэвдэг тархсан байгаа нь ижил байна. Мөн Тэрэлж болон Налайх цэгүүд нь хээрийн бүсэд орших боловч нэг нь цэвдэгтэй, нөгөөх нь цэвдэггүй байна. Иймд дээрх цэгүүдийн дулааны урсгалд тухайн байгалийн нөхцөлүүд хэрхэн нөлөөлж байгааг судлах, мөн цэвдэгтэй болон цэвдэггүй газруудын дулааны урсгалын ялгаа аль зэрэг байгааг тогтоохыг зорих юм. Энэхүү судалгаанд тухайн станцуудын жилийн бүтэн цуваатай мэдээ давхцаж байгаа он буюу 2004 оны мэдээг авч ашигласан болно. Учир нь бусад жилүүдэд зарим станцын мэдээ тасарсан тул ашиглах боломжгүй байсан.

СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ.

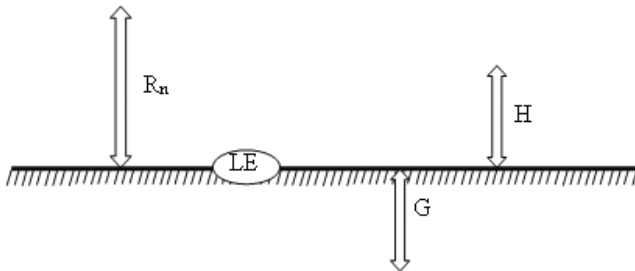
SHAW загварыг анх Flerchinger болон Saxton нар 1989 онд ургамал бүрхэвч, хөвдөн давхарга болон цасан бүрхэвчийн нөлөөг оролцуулан нэг хэмжээсээр хөрсний хөлдөлт болон гэсэлт, дулааны тооцоо, ус болон түүний шилжилтийг тооцоолохоор

зохиогдсон. Тус тооцоолуудыг нарны цацрагийн солилцоо (шингээлт болон ойлголт), ууршилт, ил болон далд дулааны зөөгдөл зэрэг дээр үндэслэн гаргаж ирдэг. Энэхүү загварыг Fortran хэл дээр бичсэн бөгөөд бүх орох мэдээллийг тоон утгаар илэрхийлсэн байдаг (Flerchinger and Saxton, 2017). Оролтын мэдээ нь таван ширхэг өгөгдлийг шаардах бөгөөд тус тусын мэдээллийг агуулсан байна. Үүнд: ".inp" өгөгдөл нь орох болон гарах өгөгдлүүдийн нэрсийн жагсаалтыг агуулна, ".wea" өгөгдөл нь цаг уурын мэдээллийг агуулна (агаарын температур, салхины хурд, харьцангуй чийгшил, хур тунадас, цасны зузаан, нарны цацраг), ".sit" энэ өгөгдөл нь тухайн судалгааны цэгийн газарзүйн мэдээллийг агуулсан байна (солбицол, өндөршил, зүг зовхис, налуу, ургамлан бүрхэвч, хөрсний бүтэц, цасны дундаж зузаан гэх мэт), ".moi" тус өгөгдөл нь тухайн цэгийн хөрсний чийгийн мэдээллийг агуулсан, ".tmp" тухайн өгөгдөл нь хөрсний гүний температурын мэдээллийг тус тус агуулсан байна. Харин гаралтын мэдээ нь тухайн цэгийн энергийн урсгалуудыг мэдээллийг агуулсан байна.

Дэвсгэр гадаргын дулааны тэнцэл бол тодорхой хугацааны завсарт туяат энергийн ямар хэсгийг авсан болон алдсан бэ гэдгийг зааж байгаа юм. Цацрагийн тэнцэл эерэг байна гэдэг бол дэвсгэр гадарга нарны богино долгионт цацрагийг шингээж авсан нь урт долгионт цацраг хэлбэрээр алдсанаасаа илүү байгаа буюу дэвсгэр гадарга хална гэсэн үг (Anderson.E.A, 1976).

$$R_n = H + L_v E + G \quad (1)$$

Энд R_n -нийт цацрагийн тэнцэл, L_E -далд дулааны урсгал, H -ил дулааны урсгал, G -хөрсний дулааны урсгал.



1-р зураг. Дэвсгэр гадаргын дулааны тэнцлийн бүдүүвч.

Үүнээс харахад цацрагийн нийт тэнцэл нь далд дулааны урсгал, ил дулааны урсгал, хөрсний дулааны урсгалтай тэнцүү байна. Дэвсгэр гадаргад орж ирж байгаа, гарч байгаа дулааны харьцаанаас болоод дулааны тэнцэл эерэг юм уу, сөрөг байж болно (1-р зураг).

Далд дулааны урсгал

Дэвсгэр гадаргаас ууршилт явуулахад зарцуулагдах дулаан бол дулааны тэнцлийн чухал бүрэлдэхүүний нэг юм. Үүнийг дараах томъёогоор олно.

$$E = -pk_s \frac{ds}{dz} \quad (2)$$

Энд: p - агаарын нягт, k_s - эрчлэлийн итгэлцүүр, ds/dz - усны уурын массын хувийн босоо шатлуур.

Ил дулааны урсгал

Ил дулааны урсгал нь эрчлэлт холилдооны эрчимшил болоод газар орчмын агаарын үе давхаргын давхраашлаас дараах байдлаар хамаарна.

$$H = -p \cdot C_p \cdot k \cdot \frac{d\theta}{dz} \quad (3)$$

Энд: θ - потенциал температур, p - агаарын нягт, k - эрчлэлийн итгэлцүүр, C_p -даралт тогтмол үеийн агаарын хувийн дулаан багтаамж, p - нягт (Campbell, 1977).

Хөрсний дулааны урсгал

Дэвсгэр гадарга ба түүний доод үе давхаргууд хоорондын дулаан

солилцоо нь янз бүрийн механизмын оролцоотой явагдана.

Хөрсний янз бүрийн гүний хоорондох молекулын дулаан солилцоог гэж илэрхийлнэ.

$$G = -\lambda \frac{\partial T}{\partial \xi} \quad (4)$$

Энд: G - дулааны урсгал, λ хөрсний молекулын дулаан дамжуулалтын итгэлцүүр, $\frac{\partial T}{\partial \xi}$ (хөрсний гүний) температурын шатлуур.

ҮР ДҮН

Тэрэлж станц.

Тэрэлжийн станцад ил дулааны урсгал 1 сараас 2 сарын хооронд тогтвортой буюу бараг тэг байна. Энэ нь агаарын температур болон хөрсний температурын зөрүү бага байсантай холбоотой юм. Харин жилийн бусад үед нэмэх утгатай байна. Энэ нь хөрсний гадаргаас дээш чиглэсэн дулаан урсгал их явагдсан гэж ойлгож болно. Ил дулааны урсгалын утга нь жилийн турш $-11.5 \text{ Вт/м}^2 - 85.5 \text{ Вт/м}^2$ хооронд хэлбэлзэж байна.

Далд дулааны хувьд жилийн ихэнх хугацаанд бараг тэг байх бөгөөд 4 сараас 8 сар хүртэл нэмэх утга авсан байна. Энэ нь тухайн станц орчим нь нэлээд хуурай болохыг илтгэж байгаа юм. Далд дулааны урсгалын утга хамгийн багадаа -3.2 Вт/м^2 бол хамгийн ихдээ 40.5 Вт/м^2 тус тус байжээ.

Хөрсний дулааны урсгал нь өвлийн улиралд хасах, дулааны улиралд нэмэх байна. Энэ нь хөрс өвлийн улиралд гүнээсээ дулаанаа алдаж байгаа буюу хөлдөлт явагдаж байгаа бөгөөд зуны улиралд хөрсний гүн рүү дулаан явж байгаа буюу хөрс гэсэж байгааг илэрхийлж байгаа юм (2-р зураг). Хөрсний дулааны урсгалын хамгийн их



2-р зураг. Тэрэлж станцын дулааны тэнцлийн үзүүлэлдүүтийг харуулсан график.

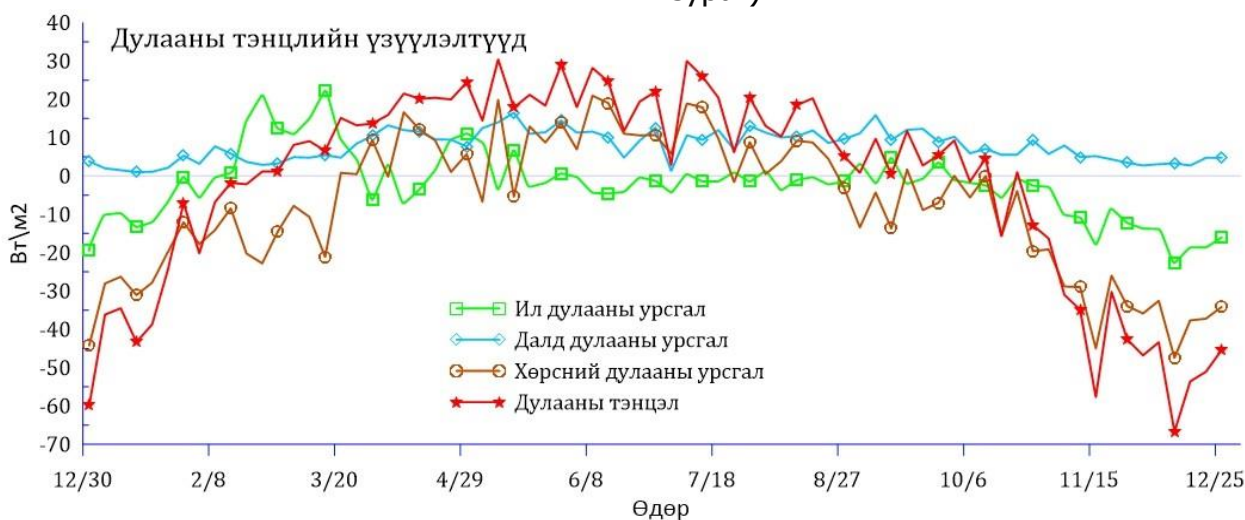
утга нь 34.7 Вт/м^2 , хамгийн бага утга нь -17.3 тус тус байна.

Налайх станц.

Налайх станцын ил дулааны урсгал нь өвлийн улиралд хасах, дулааны улиралд нэмэх утгатай байна. Энэ нь хөрсний гадарга нь дулааны улиралд халж дээш дулаанаа алдаад, өвлийн улиралд агаараас доош чиглэсэн урсгал явдаг гэсэн үг юм. Хамгийн их утга нь 68.5 Вт/м^2 бол хамгийн бага утга нь -31.3 Вт/м^2 бол дундаж утга нь 25.6 Вт/м^2 байна.

Далд дулаан нь хүйтний улиралд тэг байх бөгөөд дулааны улиралд нэмэх утгатай байна. Хамгийн их утга нь 84.4 Вт/м^2 байх бол хамгийн бага нь -0.3 Вт/м^2 байна.

Хөрсний дулааны урсгал нь мөн адил хүйтний улиралд хасах, дулааны улиралд нэмэх утгатай байна. Хамгийн ихдээ 43.3 Вт/м^2 байгаа бол хамгийн бага нь -47.7 Вт/м^2 , харин дундаж утга нь 17.8 Вт/м^2 байгаа нь хөрсөнд тийм ч их хангалттай дулаан хуримтлагддаггүйг илтгэж байна (3-р зураг).



3-р зураг. Үдлэг станцын дулааны тэнцлийн үзүүлэлдүүтийг харуулсан график.

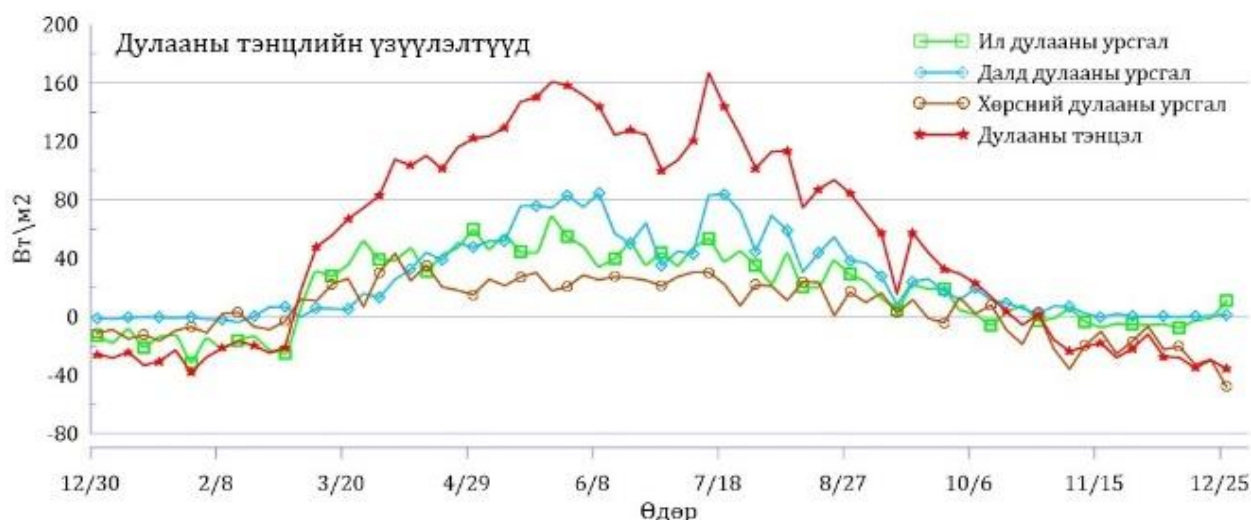
Үдлэг станц.

Үдлэг станцын ил дулааны урсгалын зургийг ажиглавал хүйтний улиралд ихэвчлэн хасах утгатай харин дулааны улиралд тогтмол буюу хэлбэлзэл багатай байгаа нь ажиглагдаж байна. Ил дулааны урсгал нэмэх утгатай байгаа үе нь хаврын улирал бөгөөд хамгийн их утга нь 22.2 Вт/м^2 байна. Харин хамгийн бага утга нь 11 сард буюу -22.6 Вт/м^2 байна.

Далд дулааны хувьд тухайн станц нь агаарын чийгшил ихтэй мөн ой модтой газар байрладаг тул ууршилт маш бага явагддаг болох нь дээрх зургаас ажиглагдаж байна. Жилийн далд дулааны урсгалын хэмжээ нь 1.02 –

16.5 Вт/м^2 гэдэг нь дээрх бичсэн зүйлийг нотолж байна.

Хөрсний дулааны урсгалын хувьд хамгийн их зарцуулалттай байгаа бөгөөд дулааны улиралд маш бага дулааны урсгал хөрсний гүн рүү шилжих буюу хамгийн ихдээ 20.9 Вт/м^2 утгатай байна. Харин өвлийн улиралд маш их дулааны урсгал гүнээс газрын гадарга руу шилжиж байгаа дүр зураг ажиглагдаж байна (4-р зураг). Энэ үед хамгийн бага утга нь -47.4 Вт/м^2 байна. Харин дундаж нь -7.7 байгаа нь хөрсний гүнээс хөрсний гадарга руу чиглэсэн дулааны урсгал давамгайлдаг болохыг илтгэж байна.



4-р зураг. Налайх станцын дулааны тэнцэлийн үзүүлэлдүүтийг харуулсан график.

ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Налайх станц зуны улиралд хамгийн их дулааныг хүлээн авч байгаа бөгөөд өвлийн улиралд мөн дулаанаа багагүй хэмжээгээр эргүүлээд алдаж байна. Дулааны тэнцлийн утгын хувьд хамгийн их нь 167.06 Вт/м^2 байсан бол хамгийн бага утга нь -38.1 Вт/м^2 байна. Харин дундаж утга нь 50.6 Вт/м^2 байгаа нөгөө хоёр цэгийнхийг бодоход харьцангуй их байгаа юм.

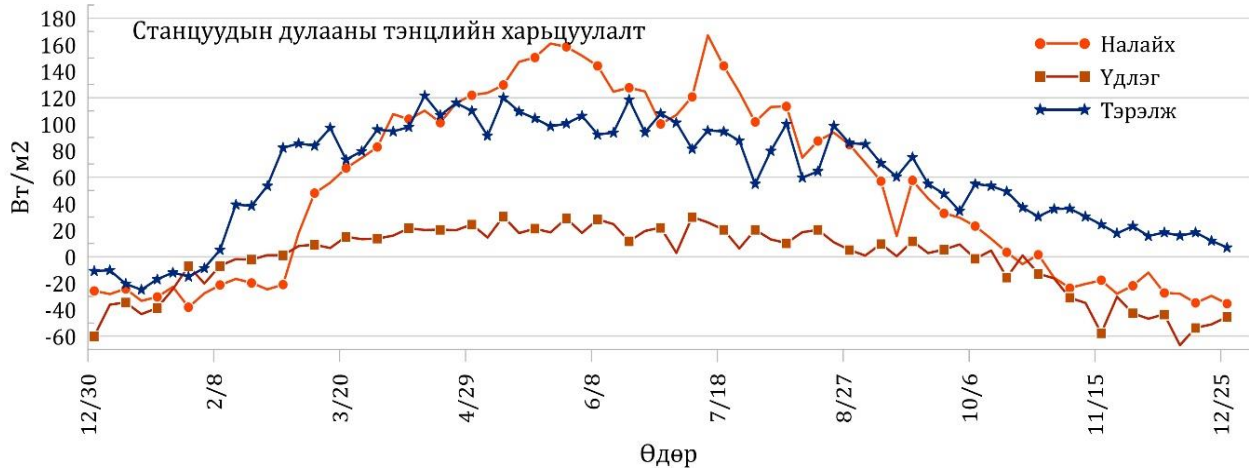
Тэрэлжийн станцад зуны улиралд их хэмжээний дулаан хөрсний гадарга дээр ирж байгаа ч өвлийн улиралд

дулаанаа маш бага хэмжээгээр алдаж байгаа дүр зураг ажиглагдаж байна. Харин дулааны тэнцлийн утгын хувьд хамгийн их утга нь таван сард 121.7 Вт/м^2 байсан бол хамгийн бага утга нь нэг сард -24.94 Вт/м^2 байна. Харин Тэрэлж станцын дулааны тэнцлийн дундаж утга нь 60.4 Вт/м^2 байна.

Үдлэг станц нь хаврын улирал буюу модны навч гүйцэд нахиалаагүй үед бусад үетэй харьцуулахад их дулаан хүлээж авч байна. Харин сэрүүний улиралд эргээд хөрснөөс их хэмжээний

дулаан алдагдаж байна. Дулааны тэнцлийн утгын хувьд хамгийн ихдээ 30.4 Вт/м^2 , хамгийн багадаа -66.8 Вт/м^2 тус тус байна. Харин дундаж утга нь –

2.04 Вт/м^2 байгаа нөгөө хоёр станцаас хамаагүй бага байгаа юм (5-р зураг).

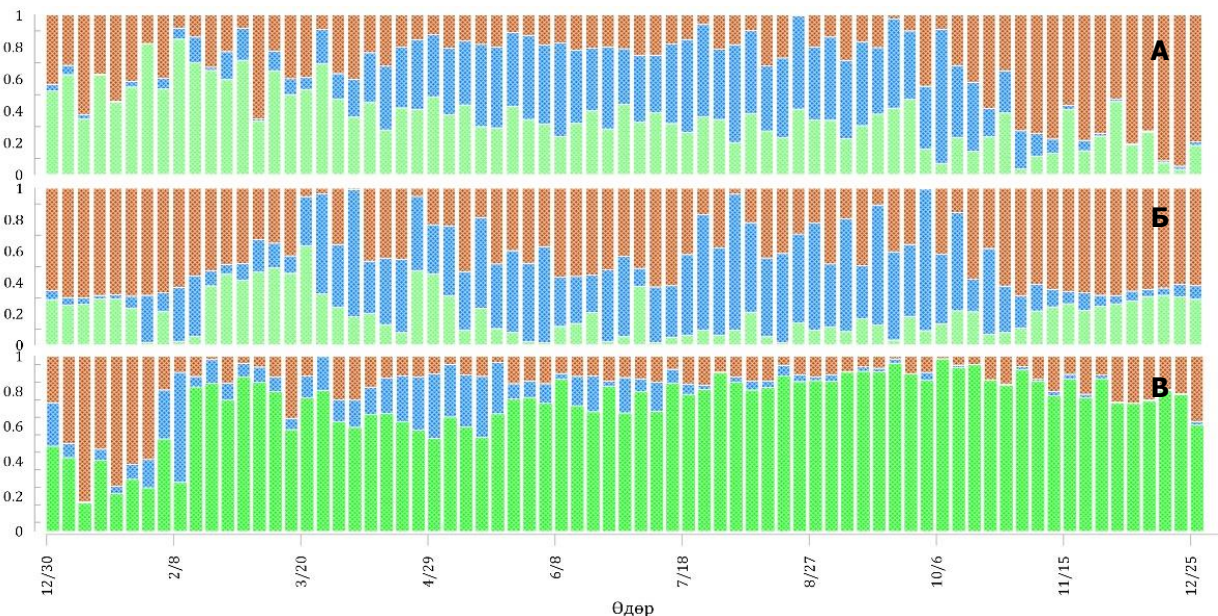


5-р зураг. Налайх, Үдлэг, Тэрэлж станцуудын дулааны тэнцлийг харуулсан график.

Дулааны тэнцлийн үзүүлэлтүүдийн хувиас харахад Налайх болон Тэрэлж гэсэн тал газарт байрлах станцуудад ил дулааны урсгал Үдлэг станцыг бодвол их явагдаж байна.

Харин Үдлэг станцад хөрсний дулааны урсгал бусад дулааны урсгалаасаа их дулаан зарцуулалттай байна. Мөн Налайх, Үдлэгийн станцууд нь далд дулаан зарцуулалт нь Тэрэлжийн

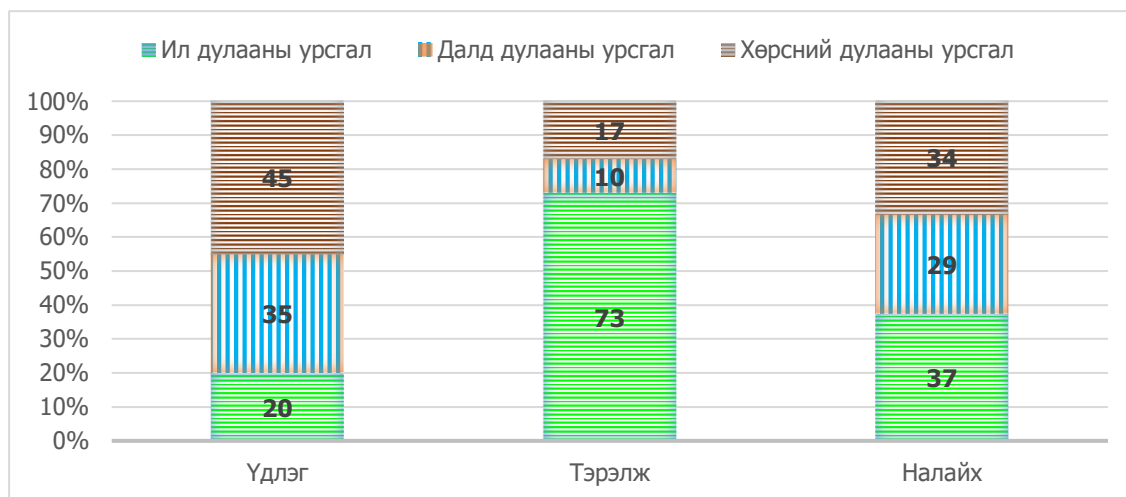
станцаас их байгаа нь тухайн станцууд орчмын хөрс нь харьцангуй чийглэг байдагтай холбоотой байж болно. Өөрөөр хэлбэл нар их тусдаг өвөр энгэр газарт хөрс нь байнгын хуурай байдаг учир чийгийг өөртөө шингээх чадамж багатай байдаг тул Тэрэлжийн станцын далд дулааны урсгал бусад станцаас бага гарсан байх магадлалтай (M.Langer etc, 2011).



6-р зураг. Гурван станцын дулааны тэнцлийн үзүүлэлтүүдийн эзлэх хувийг харуулсан график. А-Налайх, Б-Үдлэг, В-Тэрэлж.

Дээрх график нь станцуудын дулааны тэнцлийн хуваарилалтыг хувиар илэрхийлсэн тул дулааны тэнцлийн

утгатай шууд холбож ойлгох нь өрөөсгөл гэдгийг анхаарна уу (6-р зураг).



7-р зураг. Үдлэг, Тэрэлж, Налайх станцуудын дулааны урсгалуудын нийт хувь.

Дээрх гурван станцууд нь өөр өөр газар байрлах бөгөөд хоёр нь цэвдэгт бүсэд нөгөө нь улирлын хөлдөлттэй бүслүүрт байрлана. Долдугаар зургаас харахад цэвдэгт бүс нутагт байрласан Налайх, Үдлэг станцуудын ил дулааны урсгалын хэмжээ харьцангуй бага буюу нийт дулааны 20 болон 37 хувийг тус тус эзэлж байна.

Харин Тэрэлжийн станцад ил дулааны урсгал нөгөө хоёр дулааны үзүүлэлтүүдээсээ харьцангуй илүү буюу 73%-ийг эзэлж. Налайх, Тэрэлж зэрэг станц нь гадаргын хэв шинж нь харьцангуй адил төстэй боловч Налайх станцад нийт дулааны тэнцлийн 66% нь ил болон далд дулааны урсгалд зарцуулагдаж байгаа тул хөрсний гүн рүү дулаан шилжих нөхцөлийг бүрдүүлж байна. Харин Тэрэлж станцын хувьд далд дулааны урсгал нийт дулааны тэнцлийн 10%-ийг л эзэлж байна. Мөн ил дулааны урсгал их хэмжээгээр явагдаж байгаа тул нийт дулааны 17% нь л хөрсний дулааны дамжуулалтад зарцуулагдаж байна. Үдлэг станцын хувьд ил дулааны урсгал бусад хоёр станцаас

бага 20% байгаа нь харагдаж байна. Харин хөрс болон далд дулааны урсгал харьцангуй их буюу 45 болон 35 хувийг тус тус эзэлж байна. Энэ нь тухайн станц нь ойд байрладагтай холбоотой байж болох юм. Өөрөөр хэлбэл газрын гадаргад ирэх богино долгионт цацрагийн хэмжээ ойн бүрхэвчийн нөлөөнөөс болон буурдаг тул гадарга дээр халалт бага явагдах магадлалтай гэсэн үг юм (Дашцэрэн, 2015). Үүнээс үзэхэд ойн бүрхэвч болон чийг нь хөрсний гүн рүү очих дулааны урсгалыг сааруулж цэвдэг оршин байх нөхцөлийг хангаж байх боломжтойг илтгэж байна.

ДҮГНЭЛТ.

Энэхүү судалгаан нь өөрсдийн онцлог шинж бүхий гурван цаг уурын автомат станцад хийгдсэн бөгөөд судалгааны үр дүнгээс дараах дүгнэлтүүд гарч байна. Үүнд:

- Өвөр энгэр болон хотгор газарт дулааны энерги их ирдэг нь энэхүү судалгаагаар харагдаж байна. Өөрөөр хэлбэл Налайх болон Тэрэлж станцуудад зуны улиралд

121.6 – 167.1 Wm^{-2} дулаан ирж байна.

- Харин ой модтой газар буюу Үдлэг станцад 30.3 Wm^{-2} дулаан газрын гадаргад ирж байна.
- Цэвдэгт бүс нутагт орших Үдлэг, Налайх станцуудад хөрсний болон далд дулааны урсгал их хэмжээгээр явагдах ба хөрсний дулаан дамжуулалтууд нь 45 болон 34%-ийг эзэлж байхад далд дулааны урсгал нь нийт дулааны тэнцлийн 35 болон 29%-ийг тус тус эзэлж байна.
- Эсрэгээрээ Үдлэг болон Налайх станцуудын ил дулааны урсгалын хэмжээ бага явагдаж байсан. Тодруулбал Үдлэг станцад 20%, Налайх станцад 37%-ийн ил дулааны урсгалын зарцуулалт явагдаж байгаа нь Тэрэлж станцаас даруй 2 болон 3 дахин бага үзүүлэлтүүд гарсан.
- Тэрэлж станцын хувьд улирлын хөлдөлтийн бүсэд орших бөгөөд ил дулааны урсгалын хэмжээ нийт дулааны тэнцлийн 73%-ийг эзлэх ба далд болон хөрсний дулааны хэмжээ нийлээд 27%-ийг эзэлж байгаа нь маш бага үзүүлэлт гарсан.
- Дээрх дүгнэлтүүдийг нийлүүлэн хэлбэл цэвдэгт бүс нутагт байрлах станцуудад ил дулааны урсгал бага явагдаж, далд болон хөрсний дулааны урсгал их явагдах бол улирлын хөлдөлтийн бүсэд байх станцад эсрэгээрээ далд болон хөрсний дулааны урсгал бага ил дулааны урсгал их явагдаж байгааг дээрх судалгаагаар харж болохоор байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

1. А. Дашцэрэн. 2015. Богино долгионт цацрагийн хуваарилалтанд үзүүлэх хотгор гүдгэр, газрын бүрхэвчийн

нөлөө. Монгол орны газарзүйн асуудал. 11(27): 35-45.

2. А.Дашцэрэн, Х.Тэмүүжин, Ц.Ундрахцэцэг, Г.Уламбаяр, А.Батболд. 2020. Цэвдгийн оршин тогтнох байгалийн хүчин зүйлс. Шинжлэх ухааны академын суурь судалгааны төсөл.
3. Я.Жамбалжав. 2017. Монгол орны цэвдгийн тархалт, өөрчлөлт.
4. Л.Нацагдорж, Г.Сарантуяа. 2018. Уур амьсгал судлалын үндэс.
5. М.Цоозол, Н.Батсүх, Г.Сарантуяа, С.Эрдэнэсүх, Д.Энхбат, Т.Цэнгэл, Л.Жамбажамц. 2008. Дэвсгэр гадаргын дулааны баланс.
6. Anderson, E.A. 1976. A point energy and mass balance of a snow cover. NOAA Tech. Rep. NWS 19, U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmosphere Administration, National Weather Service, Silver Spring, MD. 150 p.
7. Campbell, G.S. 1977. An Introduction to Environmental Biophysics. Springer-Verlag, New York, New York, 159 pp.
8. Dashtheren, A., M. Ishikawa, Y. Iijima, Ya. Jambaljav. 2014. Temperature Regimes of the Active Layer and Seasonally Frozen Ground under a Forest-Steppe Mosaic, Mongolia. Permafrost and Periglacial Processes 25 (4):295-306.
9. Flerchinger, G.N. and K.E. Saxton. 1989. Simultaneous heat and water model of a freezing snow-residue-soil system I. Theory and development. Trans. of ASAE 32(2):565-571.

10. French, H.M. 2017. References. In *The Periglacial Environment 4e*, H.M. French (Ed.). doi:10.1002/9781119132820.refs.
11. Ishikawa, M., Y. Zhang, T. Kadota, and T. Ohata (2006), Hydrothermal regimes of the dry active layer, *Water Resour. Res.*, 42, W04401, doi:10.1029/2005WR004200.
12. Langer, M., Westermann, S., Muster, S., Piel, K., and Boike, J.: The surface energy balance of a polygonal tundra site in northern Siberia – Part 2: Winter, *The Cryosphere*, 5, 509–524, <https://doi.org/10.5194/tc-5-509-2011>, 2011.
13. S. Miyazaki, M. Ishikawa, N. Baatarbileg, S. Damdinsuren, Y. Jambaljav. 2014. Interannual and seasonal variations in energy and carbon exchanges over the larch forests on the permafrost in northeastern Mongolia. *Polar Sci.*, 8 (2) (2014), pp. 166-182.
14. Van den Broeke M., Fettweis X., Mölg T. (2011) Surface Energy Balance. In: Singh V.P., Singh P., Haritashya U.K. (eds) *Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Dordrecht