

Groundwater recharge and soil moisture in the unsaturated zone of Gobi region

Enkhbayar Dandar^{1,*}, Batchimeg Gansukh², Naranchimeg Batsaikhan¹, Aley Mustafa¹

¹*Department of Geology and Hydrogeology, School of Geology and Mine Engineering, Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar, Mongolia.*

²*Water Supply Unit, Department of Infrastructure, Energy Resources LLC, Umnugobi Province, Mongolia*

*Corresponding author email: denkhbayar@must.edu.mn

Received: 30 April 2024 / Accepted: 18 September 2024 / Published online: 29 November 2024

ABSTRACT

In Mongolia, which belongs to an arid and semi-arid climate, freshwater resources are limited and unevenly distributed, and in particular, water consumption in the Gobi region is 100% dependent on groundwater. Therefore, assessment of groundwater resources is essential for implementing water resources management. This study aimed to evaluate the hydrological processes (soil moisture, evapotranspiration, groundwater recharge, etc.) of the Gobi region and to determine the importance of water vapor diffusion. The water and energy balance model that includes water vapor diffusion fluxes and two soil layers was simulated using 2019-2023 daily meteorological data from Tsogt-Ovoo soum of Umnugobi province. Model results showed that evaporation was the main loss in the soil water balance, accounting for 75% of total precipitation. Infiltration occurred only during heavy rainfall. The water vapor diffusion flux accounted for up to 46% of groundwater recharge in the study area. Therefore, hydrological models should consider the water vapor diffusion flux in the water and energy balance, especially in the Gobi region.

Keywords: *Water vapor diffusion flux, Evapotranspiration, Net radiation, Sensible heat, Recharge*

Говийн усаар ханаагүй бүсийн хөрсний чийгийн хөдлөл зүй ба газрын доорх усны ТЭЖЭЭМЖ

Энхбаяр Дандар^{1,*}, Батчимэг Гансүх², Наранчимэг Батсайхан¹,
Алей Мустафа¹

¹Геологи, гидрогеологийн салбар, Геологи, уул уурхайн сургууль, Шинжлэх Ухаан
Технологийн Их Сургууль, Улаанбаатар, Монгол

²Ус хангамжийн нэгж, Дэд бүтцийн алба, Энержи Ресурс ХХК, Өмнөговь аймаг, Монгол

*Холбоо барих зохиогчийн цахим хаяг: denkhbayar@must.edu.mn

Хүлээн авсан: 2024 оны 04 сарын 30 өдөр / Зөвшөөрөгдсөн: 2024 оны 09 сарын 18 өдөр /

Нийтлэгдсэн: 2024 оны 11 сарын 29 өдөр

ХУРААНГУЙ

Цэвэр усны нөөц хязгаарлагдмал, жигд бус тархалттай ба хуурай, хагас хуурай уур амьсгалтай Монгол орны хувьд, ялангуяа Говийн бүсийн усны хэрэглээ, ашиглалт газрын доорх уснаас 100% хамааралтай байдаг. Иймээс газрын доорх усны тэжээмжийг үнэлэх нь усны нөөцийн менежментийг хэрэгжүүлэхэд чухал юм. Судалгааны ажлын зорилго нь Говийн бүсийн гидрологийн үйл явцуудыг (ул хөрсөн дэх чийгийн хөдөлгөөн, ууршилт, газрын доорх усны тэжээмж гэх мэт) үнэлэх, мөн усны уурын диффузийн ач холбогдлыг тодорхойлоход оршино. Усны уурын диффузийн урсгалыг агуулсан ус ба энергийн балансын 2 үетэй загварт Өмнөговь аймгийн Цогт-овоо сумын цаг уурын станцын 2019-2023 оны өдөр бүрийн мэдээг ашигласан. Загварын үр дүнгээс харахад ууршилт нь усны балансын үндсэн алдагдал бөгөөд нийт хур тунадасны 75%-г эзэлнэ. Нэвчилт нь зөвхөн их хэмжээний хур тунадас орсон үед явагдана. Усны уурын диффузийн урсгал нь газрын доорх усны тэжээмжийн 46 хүртэлх хувийг бүрдүүлж байна. Иймд гидрологийн загварууд нь ус ба энергийн балансад усны уурын диффузийн урсгалыг, ялангуяа Говийн бүсэд тооцох нь зүйтэй.

Түлхүүр үгс: Диффузийн урсгал, Ууршилт, Нийлбэр цацраг, Тэжээмж

1. ОРШИЛ

Монгол орны хувьд хүн ам, нийгэм-эдийн засгийн салбаруудын усны хэрэглээнд 80 гаруй хувийг газрын доорх усаар хангаж байна [1]. Говийн бүсийн томоохон төлөөлөл Өмнөговь аймгийн нутаг дэвсгэрийн хэмжээнд нийт 53 газрын доорх усны хуримтлал илрүүлж нөөцийг зохиох зэргүүдээр үнэлсэн ба тус ордуудын нийт нөөц 4484.26 л/с байна. Гэвч тус аймгийн хэмжээнд ус ашиглалтын хэмжээ 2020 оны байдлаар 8298.9 л/с байгаа нь газрын доорх усны байгалийн баялагт ачаалал үзүүлж эхэлсэн ба үр дүнд усны тогтсон түвшин буурах, том талбайд буурцын хүнхээл үүсэх, усны чанар өөрчлөгдөх, хоосон орон зайн үүсэх эрсдэл үүссэнийг зарим судлаачид дүгнэжээ [2, 3]. Эдгээр асуудлуудыг шийдвэрлэхэд газрын доорх усны нөөцийн нэгдсэн менежмент зайлшгүй хийх шаардлагатай юм. Говийн бүс нь хуурай уур амьсгалтай ба гадаргын ус хязгаарлагдмал, цорын ганц усны эх үүсвэр нь газрын доорх ус бөгөөд Монгол орны хөгжлийн одоогийн ба ойрын ирээдүйн томоохон хөшүүрэг болоод буй газрын доорх ус нөөцийн судалгааг орчин үеийн тоног төхөөрөмж, аргагүйг ашиглан нарийвчлан тогтоох нэн тэргүүний шаардлага урган гарч байна. Иймээс газрын доорх усны ордын нөөцийг үнэлэхэд хамгийн чухал тулгуур хөшүүрэг нь газрын доорх усны тэжээмжийг зөв тооцох юм. Гэвч Говийн бүсийн газрын доорх усны тэжээгдэл хомс талаар судлаачид дурдсан байдаг [4, 5]. Харин Ундайн сайрын дагуух бага гүнд орших уст давхаргын усны түвшний хэлбэлзлийн өгөгдлөөр газрын доорх усны тэжээмжийг тооцож үзэхэд хур тунадасны 30 хүртэлх хувийг эзэлж байна [6]. Иймд Говийн бүсийн газрын доорх усны тэжээмжийг үнэлэхэд усаар ханаагүй бүсийн ус ба энергийн балансын авч үзэх нь чухал юм.

Ус ба энергийн баланс нь гидрологийн

загваруудын үндсэн суурь болдог. Эх газрын хүйтэн, хуурай уур амьсгалтай бүс нутгийн гидрологийн загварууд нь уур амьсгалын өөрчлөлтийг судлахад чиглэгдэнэ [7]. Дэлхийн хойд бүс нутгийн усны эргэлт, ус ба энергийн урсгалуудыг үндэслэлтэйгээр ойлгох нь зөвхөн уур амьсгалын өөрчлөлтөөс гадна усны менежментэд чухал юм [8, 9].

Сонгодог гидрологийн загварууд болох WatBal [10] болон SWAT [11, 12] зэрэг нь голын сав газрын хэмжээнд усны балансын тооцоо хийдэг жишээлбэл ул хөрсөн дэх чийг, ууршилт ба гадаргын урсац гэх мэт. Сүүлийн үед SWAT загвар хөрсөн дэх энергийн балансыг ашиглан цасны хайлалтыг тооцох болсон [13, 14]. Гэхдээ энэ загвар нь зөвхөн хөрсөн дэх дулааны урсгалыг авч үздэг. Бидний зорилго бол хөрсний ус ба энергийн балансад усны уурын диффузийн урсгалын нөлөөг авч үзэхэд оршино.

Судалгааны ажлын зорилго нь Говийн бүсийн гидрологийн үйл явцуудыг (ул хөрсөн дэх чийгийн хөдөлгөөн, ууршилт, газрын доорх усны тэжээмж гэх мэт) үнэлэх, мөн усны уурын диффузийн ач холбогдлыг тодорхойлоход оршино. Уг зорилгыг хэрэгжүүлэхийн тулд хөрсний чийг, температурын хэмжилтийг хийх, ус ба энергийн загварын тооцоо хийх зорилтуудыг дэвшүүлж байна. Ус ба энергийн загвар ашиглан газрын доорх усны тэжээмжийн судалгааг Говийн бүсэд анх удаа тооцож байна.

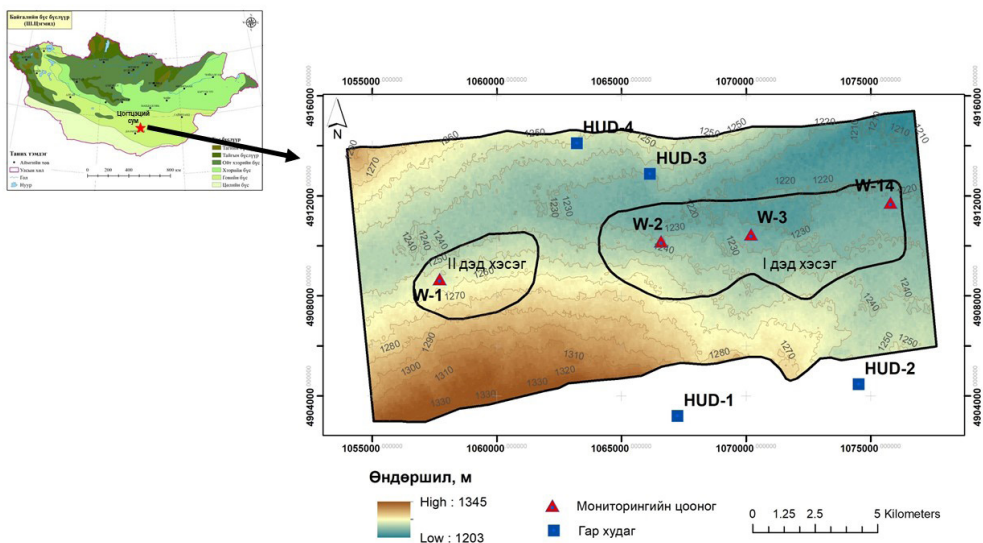
1.1. Судалгааны талбай

“Загийн усны хоолой” газрын доорх усны орд нь Өмнөговь аймгийн Цогтцэций сумын төвөөс зүүн хойд зүгт 60 км, Цогт-овоо сумын төвөөс зүүн урд зүгт 62 км зайд оршино (Зураг 1). “Загийн усны хоолой” газрын доорх усны ордод 2016 онд технологийн ус хангамжийн шинэ эх үүсвэрийн зориулалтаар газрын доорх

усны эрэл-хайгуулын гидрогеологийн судалгааг хийж газрын доорх усны ашиглалтын нөөц баялгийг Загийн усны хоолойн I, II дэд хэсэгт дээд цэрдийн Улаангов (K_2ug)-ийн давхаргадасын тунамал хурдасны зузаалаг дахь тухайн орчны шинж төрхтэй хэсэгчилсэн даралт (түрлэг) бүхий газрын доорх усны 65 л/с хэмжээтэй үйлдвэрлэлийн С зэргийн түвшинд гидродинамикийн аргаар үнэлж тооцсон байдаг. Судалгааны талбай Монгол орны физик-газарзүйн мужлалын хувьд Алтайн уулархаг их мужийн Говь-Алтайн нурууны салбар уулсын зүүн хэсэг Шанхийн нурууны зүүн хойт талын дэвсгэр талбайд Говийн бүслүүрт хамаарна [15, 16]. Сүүлийн жилүүдийн агаарын дундаж температур 5.51°C байна. Хамгийн хүйтэн 12, 1-р саруудад -13.7°C-аас -14.15°C, харин 7-р сард +23.34°C хүрдэг. Жилийн дундаж хур тунадас 83.36 мм ба үүний 87 орчим хувь нь 4-9 сард, харин

үлдсэн хэсэг нь бусад саруудад оногдоно. Хүйтэн улирлын хур тунадас бага байдаг нь цасан бүрхэвчийн зузаан бага байх ба хамгийн их цасны зузаан 10 см байна. Дундаж салхины хурд 4.32 м/с байх ба хамгийн өндөр агаарын харьцангуй чийг 12, 1-р сард ажиглагдана. Дундаж харьцангуй чийгшил 41.9% байна.

Судалгааны талбайн газрын гадарга орчин үеийн хотгор гүдгэрийн хэв шинжээрээ далайн түвшнээс дээш 1203-1345 м үнэмлэхүй өндөртэй тэвш маягийн хэлбэр бүхий өргөргийн дагуу 30 орчим км урттайгаар сунаж тогтсон нэлээд өргөн уулс хоорондын суумал хотгор давамгайлна. Судалгааны талбай Говь цөл, давсархаг ба чийгт гарлын хөрс олон улсын хөрсний ангиллаар [17, 18] заримдаг цөлийн цайвар бор (Calcisols Yermic) хөрсний ангилалд хамаарч байна. Цөлийн цайвар бор хөрсний механик бүрэлдэхүүн нь хайрга агуулсан элсэнцэр хөрс байна.



Зураг 1. Судалгааны талбайн байршил. “Загийн усны хоолой” газрын доорх усны ордын талбайн I, II дэд хэсгүүд

2. СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ

Усны уурын диффузийнн урсгалыг агуулсан ус ба энергийн балансын 2 үетэй загварыг [19, 20] ашиглан Говийн бүсэд орших “Загийн усны хоолой” газрын доорх усны ордод тэжээмжийн үнэлгээ хийсэн. Загварын эхний үе газрын гадаргын өнгөн хэсэг бөгөөд өнгөн хэсгийн температурын хэлбэлзлээр тодорхойлогдох ба 16 см зузаантайгаар, хоёр дахь үе хөрсний хэсэг бөгөөд 100 см зузаантай байхаар тус тус авсан. Усны балансын хувьд хур тунадас (бороо ба цас) нь загварын оролт болох ба гаралт нь ууршилт (ургамлын ууршилт ба

сублимаци), гадаргын урсац болон газрын доорх усны тэжээмж болно. Усны уурын диффузи болон хур борооноос нэвчих нэвчилт нь 2 үе дунд явагдана. Энергийн балансын хувьд оролт нь нийлбэр цацрагаар, гаралт нь ил (sensible heat) ба нууц (latent heat) дулааны урсгалуудаар илэрхийлэгдэнэ. Хөрсөн дэх дулааны урсгал нь 2 үе дунд явагдах ба энэ нь фазын өөрчлөлтийг явуулна. Эдгээр ус ба энергийн урсгалууд нь усны масс (кг м^{-2}) ба нийт энерги (Ж м^{-2}) гэсэн үндсэн хоёр хувьсагчаар тодорхойлогдоно [19, 20].

$$\frac{\partial m_{sf/ss}}{\partial t} = P - (ET_{sf} + ET_{ss}) \pm I - SR - R \pm J_D \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_{sf/ss}}{\partial t} = e_{i/l}P - e_g(ET_{sf} + ET_{ss}) \pm e_i I - e_l SR - e_l R + R_n - H - G \pm e_g J_D \quad (2)$$

Энд : sf- газрын гадаргын өнгөн үе, ss – 2 дахь хөрсний үе, m - үе тус бүрийн усны масс (шингэн эсвэл мөс) (кг м^{-2}), P - хур тунадас, ET - ууршилт, I - нэвчилт (эерэг утга доош чиглэсэн хөдөлгөөнийг илэрхийлнэ), SR - гадаргын урсац, R – газрын доорх усны тэжээмж, J_D - усны уурын диффузи (эерэг утга доош чиглэсэн хөдөлгөөнийг илэрхийлнэ). Эдгээр адвекцын урсгалуудын нэгж нь $\text{кг м}^{-2} \text{с}^{-1}$. U - үе тус бүрийн нийт энерги (Ж м^{-2}), R_n - нийлбэр цацраг ($\text{Ж м}^{-2} \text{с}^{-1}$), H - ил дулааны урсгал ($\text{Ж м}^{-2} \text{с}^{-1}$), G – хөрсөн дэх дулааны урсгал ($\text{Ж м}^{-2} \text{с}^{-1}$). Энергийн балансад адвекцын дулааны урсгалууд (P, ET, SR, I, R, J) нь харгалзах дотоод энергүүд (ус (e_l), мөс (e_i) ба хий (e_g))-ээр үржигддэг. Эдгээр дотоод энергүүд нь температурын шугаман функц юм.

Ус ба энергийн балансыг тэгшитгэл (1), (2)-г ашиглан төгсгөлөг ялгаварт хагас илэрхий (semi-implicit finite differences) аргаар [19] нэг өдрийн интервалаар сүүлийн 5 жилийн (2019-2023 он) хугацаанд, мөн судалгааны талбай нь

уулс хоорондын хотгор хөндийн учир загварт газрын гадарга 0° налуутай байхаар тооцоо хийв. Цогтцэций сумын цаг уурын харуулын мэдээ зарим саруудад хэмжилт тасарсан шалтгааны улмаас ус ба энергийн балансын загварт Өмнөговь аймгийн Цогт-овоо сумын цаг уурын 2019-2023 оны өдрийн мэдээг ашигласан. Усны уурын даралт нь температурын хувьд их өөрчлөлтийг үзүүлдэг тул түүнийг шугаман хамааралтай болгож тооцсон [21]. Загварын алгоритм excel программ дээр хийгдсэн ба доорх линкээр орж “SWEB-SF” нэртэй загвартай холбоотой хэлэлцүүлэг хийх боломжтой. <https://www.h2ogeo.upc.edu/software>.

“Загийн усны хоолой” газрын доорх усны ордод усаар ханаагүй бүсийн чийг, температурын хөдлөл зүйн онцлогийг судлах, ус ба энергийн балансын үр дүнг батлах зорилгоор 5 см, 10 см, 30 см, 50 см ба 100 см гүнд TDR сенсоруудаар НОВО маркийн даталоггер ашиглан 2023 оны 7-р сараас 12-р сарыг хүртэл нийт таван сарын турш 30 минутын интервалтайгаар

хэмжилт хийж мэдээлэл цуглуулсан. Хөрсний чийг, температур хэмжигч TDR сенсоруудыг байршуулсан байдлыг Зураг 2-т үзүүлэв. TDR багажийг Зураг 1-д

үзүүлсэн W-3 мониторингийн цооногийн дэргэд 5 м зайд байршуулан хэмжилтийг гүйцэтгэв.

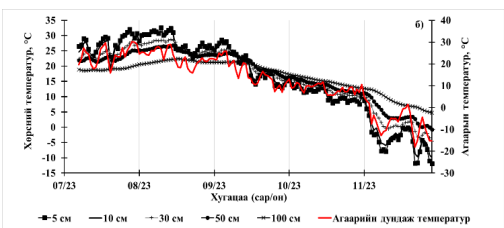
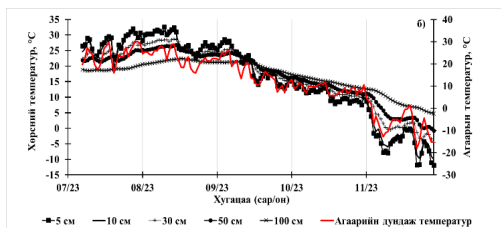


Зураг 2. Хөрсний чийг, температур хэмжигч TDR сенсор ба түүнийг суурилуулсан байдал

3. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

Судалгааны талбайн хөрсний чийгийн хэмжээ эхний 5-10 см гүнүүдэд 7-р сарын сүүлчээр 8-р сарын эхэн үеийн хугацаанд $0.08-0.18 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ($8-18\%$) болж нэмэгдсэн. 50 см гүнээс дооших хөрсний чийгийн хэмжээ зуны улиралд $0.08-0.11 \text{ м}^3/\text{м}^3$ тогтмол утгатай бол 9-р сарын дунд үеэс аажмаар буурч эхэлж байна. 30 см гүний хөрсний чийг бага зэргийн хугацаанаас хамаарсан хэлбэлзлийг үзүүлэх ба $0.04-0.05 \text{ м}^3/\text{м}^3$ утгатай байна. 10-р сарын эхэн үеэс эхлэн уг гүн дэх чийгийн хэмжээ аажим

буурч байна. Зураг 3а-д хөрсний чийгийн хэмжилтийн үр дүнг Цогт-овоо сумын цаг уурын станцын хэмжилт хийсэн хур тунадасны мэдээтэй харьцуулан үзлээ. 7-р сарын дунд болон төгсгөл үед $17.9-24.5 \text{ мм}$ хэмжээтэй орсон хур тунадасны нөлөөгөөр 5 см гүнд орших хөрсний чийг $0.11 \text{ м}^3/\text{м}^3$ утгаар, 10 см гүнд $0.05 \text{ м}^3/\text{м}^3$ утгаар, 30 см гүнд $0.01 \text{ м}^3/\text{м}^3$ утгаар тус тус нэмэгдсэн бол үүнээс доош орших хөрсний чийгт тухайн орсон хур тунадас нөлөө үзүүлж чадаагүй байна (Зураг 3а).



Зураг 3. Хөрсний чийгийн үр дүнг хур тунадасны мэдээтэй (а), температурын хэмжилтийн үр дүнг агаарын температуртай (б) тус тус харьцуулсан байдал

Хөрсний температурын хэмжилтийг зураг 3б-д үзүүлэв. Судалгааны талбайн хөрсний температур зуны улиралд буюу 7-9 саруудад 50 см гүнд 24°C байхад 100 см гүнд байгаа хөрсний температур 19-20°C тогтмол утгатай байна. 10-р сараас эхлэн хөрсний 1 м хүртэлх гүнүүдэд хөрсний температур багасаж 11-р сарын сүүл үед хөрсний гадаргууд -12°C хүртэл, 1 метрийн гүн дэх хөрсний температур 5°C хүртэл буурсан байна. Эхний 5-10 см хүртэлх гүнд орших хөрсний температур агаарын температурын хэлбэлзэлтэй ижил байна. 30 см-аас доош орших хөрсний температурын хэлбэлзэл харьцангуй багасаж улирлын чанартай бууралтыг үзүүлнэ.

Газрын гадарга хэвтээ (0° налуутай) үед усны балансын урсацуудыг (хур тунадас, ууршилт, газрын доорх усны тэжээмж, гадаргын урсац ба усны уурын диффузи), хөрсөнд агуулагдах чийг, дулааны урсгалуудыг (нийлбэр цацраг, ил ба нууц дулаан, усны уурын конвекци ба хөрсний дулаан) ба температурын (агаарын, газрын гадаргын өнгөн үеийн, 2 дахь хөрсний үеийн) үр дүнг сүүлийн 2 жилээр Зураг 4-т харууллаа.

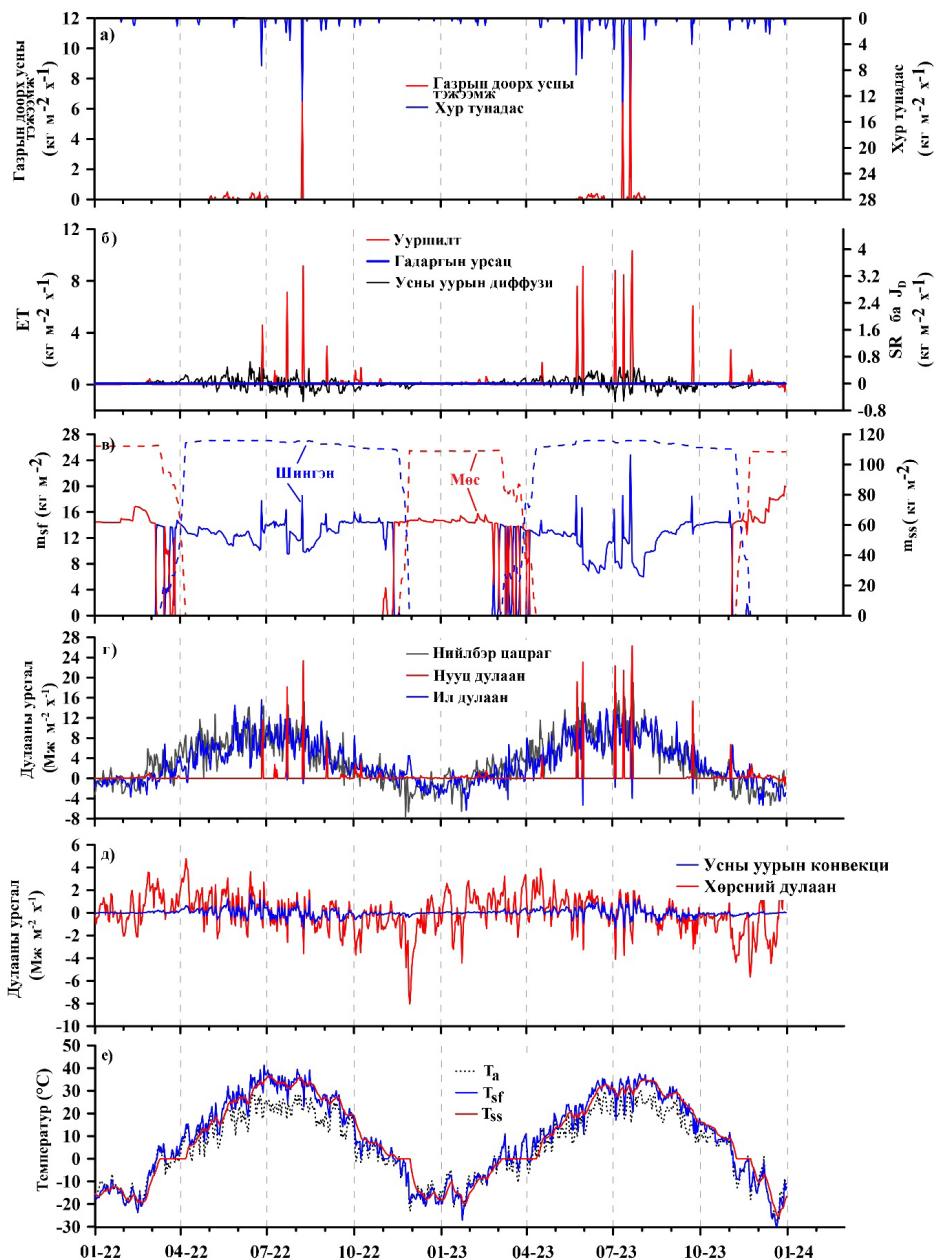
Шууд гадаргын урсац байхгүй байгаа нь (Зураг 4б) бага хэмжээтэй хур тунадас ордог, өвлийн улирлын хур тунадастай, мөн сублимацийн үзэгдэл их явагддагтай холбоотой. Хур тунадаснаас нэвчих нэвчилт болон газрын доорх усны тэжээмж харьцангуй бага (Зураг 4а) байна. Нэвчилт нь зөвхөн их хэмжээний хур тунадас орсон үед явагдана. Загварын үр дүнгээр жилийн дундаж газрын доорх усны тэжээмж 20.9 мм/жил байна. Гэхдээ хур тунадас багатай хавар, зуны улиралд газрын доорх усны тэжээмж бага хэмжээний хэлбэлзлийг үзүүлж байгааг Зураг 4а хэсэгт харж болох ба усны уурын диффузийн урсгалаас тодорхой хэмжээ нь бүрдэнэ. Диффузийн урсгал нь нийт газрын доорх

усны тэжээмжийн 4.5-46.2%-г эзлэх ба чийг ихтэй зуны улиралд диффузийн урсгалын хэмжээ багасаж байна. Усны уурын диффузийн урсгал нь газрын гадаргын өнгөн үе болон 2 дахь хөрсний үеүд дунд явагдах ба тэг (0) утгаас их бол доош чиглэсэн хөдөлгөөнийг илэрхийлнэ. Газрын өнгөн үе дэх усны уурын даралт 2 дахь хөрсний усны уурын даралтаас их учраас усны уурын диффузийн урсгал хавар, зуны улиралд доош чиглэлтэй байна (Зураг 4б). Харин намар, өвлийн улиралд дээш чиглэсэн байдаг, гэхдээ усны уурын даралт бага температурын үед багасдаг учир хэмжээ нь харьцангуй бага байна.

Ууршилт нь усны балансын үндсэн алдагдал юм. Гэхдээ дулааны улиралд ууршилт явагдахад хэрэгцээт усаар хязгаарлагддаг ба хур бороо орсны дараа, мөн газрын гадаргын өнгөн үеийн гэсэлт явагдах үед ууршилт их байдаг (Зураг 4б). Ууршилт нь нийт хур тунадасны 74.8%-г эзэлнэ. Загвар бодуулсан хугацаанд гадаргын урсацгүй байсан. Энергийн эргэлтийг хөдөлгөгч гол хүч нь нарны цацраг юм. Өвлийн улиралд нийлбэр цацраг (Net radiation) бага (<0) байгаа нь цасны хувьд албедогийн утга их байдагтай холбоотой (Зураг 4г). Хөрсний гадарга хуурай үед ил дулааны (sensible heat) урсгалыг ихсэх ба нууц дулааны (latent heat) урсгал нь ууршилттай холбоотой явагдана. Жилийн дундаж нийлбэр цацрагийн хэмжээ загвар бодуулсан хугацаанд 1353.79 МЖ м⁻² жил⁻¹, ил дулааны урсгалын дундаж хэмжээ 1196.07 МЖ м⁻² жил⁻¹ байхад нууц дулааны урсгалын дундаж хэмжээ 157.45 МЖ м⁻² жил⁻¹ байна.

Хамгийн сонирхолтой үр дүнгийн нэг бол хөрсний дулаан (heat conduction) ба усны уурын конвекцийн (vapor convection) урсгал юм. Жилийн дундаж хөрсний дулааны урсгал -4.8 МЖ м⁻² жил⁻¹ бол усны уурын конвекцийн урсгал +5.1 МЖ

$\text{м}^2 \text{ жил}^{-1}$ байна. Хөрсний дулааны урсгал жилийн дундаж утга нь баланслагдаж нь улирлын чанартай хэлбэлздэг, гэхдээ байна (Зураг 4).

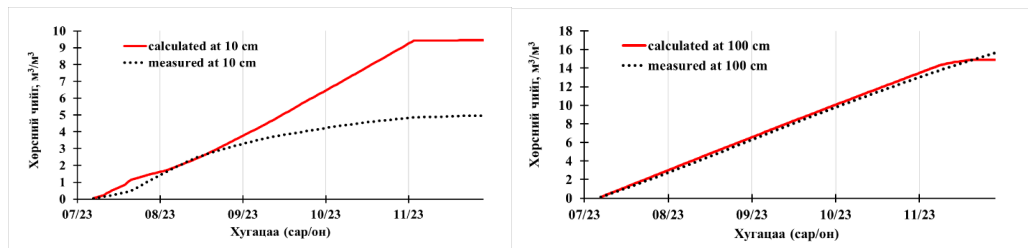


Зураг 4. Хур тунадас ба газрын доорх усны тэжээмжийн (а); ууршилт, гадаргын урсац ба усны уурын диффузи (б); газрын гадаргын өнгөн үе (үргэлжилсэн шугам) ба 2 дахь хөрсний үе (тасархай шугам) дэх чийгийн хэмжээ (в); дулааны урсгалуудын (г, д) ба температурын (е) өдрийн хэлбэлзэл. Хэвтээ тэнхлэгт хугацааг үзүүлэв (сар-он).

Газрын гадаргын өнгөн үеийн температур агаарын температуртай адил 2 дахь хөрсний үеийн температурыг бодвол хэлбэлзэл өндөртэй (Зураг 4е). 2 дахь хөрсний үе жилийн 4-5 сарын турш хөлдүү байх ($\leq 0^{\circ}\text{C}$) ба 2 үеийн температурын зөрүү нь хавар, зуны улиралд хамгийн их байна.

Ус ба энергийн загварын үр дүнг 2023 оны зуны улиралд TDR автомат багажаар хэмжсэн хөрсний чийг, температурын хэмжилттэй харьцуулалт хийснийг Зураг 5, 6-д үзүүлэв. Зураг 5-д хөрсний чийгийн хуримтлагдсан утгын харьцуулалтыг үзүүлэв. 10 см гүнд багажаар хэмжсэн хөрсний чийгийн хэмжээ хугацааны

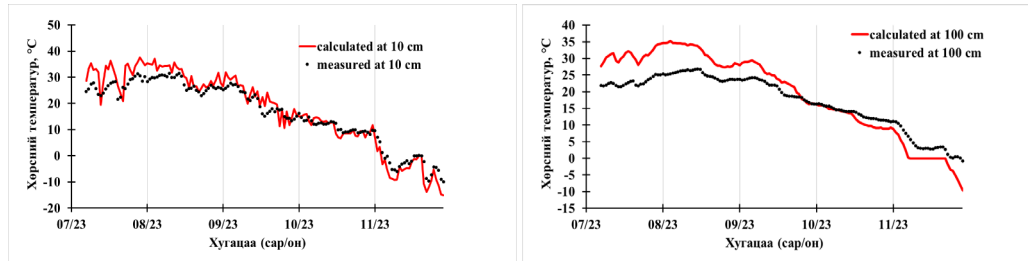
төгсгөлд загварын үр дүнгээс бага утгатай байна. Харин 100 см гүнд хэмжсэн хөрсний чийг загварын үр дүн болон хэмжилтийн утгатай ойролцоо байна. 10 см гүнд загварын үр дүн хэмжилтээс зөрүүтэй байгаа нь магадгүй ашиглаж буй цаг уурын мэдээний нарийвчлалаас шалтгаалж болох юм. Хөрсний 10 см гүнд хэмжсэн (measured) болон загвараар тооцсон (calculated) утгуудад статистик задлан шинжилгээ хийж үзэхэд корреляцийн коэффициент $r=0.95$, 100 см гүнд $r=0.99$ утга тус тус үзүүлсэн бол дундаж квадратын алдаа 10 см гүнд $\text{RMSE}=2.6$, харин 100 см гүнд $\text{RMSE}=0.31$ байна.



Зураг 5. 10 см болон 100 см гүнд хөрсний чийгийн хуримтлагдсан хэмжээ

Зураг 6-д хөрсний температурын утгын харьцуулалтыг үзүүлэв. 10 см гүнд багажаар хэмжсэн хөрсний температурын утга загварын үр дүнгээс хугацааны эхний хэсэгт бага, бусад үед загварын үр дүнтэй ижил байна. Харин 100 см гүнд хэмжсэн хөрсний температурын утга хугацааны эхэн үед загварын үр дүнгээс бага, хугацаан төгсөлд бага зэрэг их гарсан. Гэхдээ температурын хэлбэлзэл ижил байгаа нь

загварын үр дүнг үнэмшилтэй болгох нөхцөлийг бүрдүүлж байна. Хөрсний 10 см гүнд хэмжсэн (measured) болон загвараар тооцсон (calculated) утгуудад статистик задлан шинжилгээ хийж үзэхэд корреляцийн коэффициент $r=0.98$, 100 см гүнд $r=0.94$ утга тус тус үзүүлсэн бол дундаж квадратын алдаа 10 см гүнд $\text{RMSE}=3.84$, харин 100 см гүнд $\text{RMSE}=8.35$ байна.



Зураг 6. 10 см болон 100 см гүнд хөрсний температурын харьцуулалт

4. ДУГНЭЛТ

Ул хөрсний 2 үеийг агуулсан ус ба энергийн балансын загварыг хийсэн. Энэ загвар нь хагас хуурай, хүйтэн уур амьсгалтай бүс нутаг, ялангуяа говийн бүсийн гидрологийн процессуудад үнэлгээ өгөхийг оролдлоо. Өмнө нь тус загварыг эх газрын уур амьсгалтай хангай бүсэд тооцож байсан [19, 20] бол энэ удаа Говийн бүсэд тооцож үзлээ. Ус ба энергийн балансын загварт Өмнөговь аймгийн Цогт-овоо сумын цаг уурын станцын 5 жилийн өдрийн мэдээг ашигласан.

Хур тунадасны нэвчилт нь их хэмжээний хур тунадас орсон үед явагдана. Газрын доорх усны тэжээмж нь хур тунадаснаас гадна хавар, зуны улиралд усны уурын диффузийн урсгалаас бүрдэж байгааг загварын үр дүн харуулж байна. Нийт хур тунадасны 75% орчим ууршилтад зарцуулагдаж байна.

Ил дулааны урсгал нь нууц дулааны урсгалаас их байгаа нь хуурай уур амьсгалтайг илтгэхээс гадна бага хур тунадас ордогтой холбоотой. Газрын гадаргын өнгөн үеийн температур агаарын температуртай адил ул хөрсний температурыг бодвол хэлбэлзэл өндөртэй.

Хамгийн чухал нь усны уурын диффузийн урсгал нь чанартай тоон үзүүлэлтийг үзүүлсэн ба газрын доорх усны тэжээмжийн 46%-г эзэлж байна. Хөрсний дулааны урсгал болон усны уурын конвекцийн урсгалын жилийн дундаж утга нь баланслагдаж байгаа нь магадгүй нь хөрсний гэсэлт, хөлтөлтөнд нөлөөлдөг байж болох юм. Иймд гидрологийн загварууд нь ус ба энергийн балансад усны уурын диффузийн урсгалыг, ялангуяа Говийн бүсэд тооцох нь зүйтэй байна.

Загварын үр дүнг автомат багажаар хэмжсэн үр дүнтэй харьцуулж үзэхэд (Зураг 5) 10 см гүнд чийгийн хэмжилт

загварын үр дүнгээс зөрүүтэй, статистик дүн шинжилгээгээр дундаж квадратын алдаа $RMSE=2.6$, харин хөрсний температурын загварын тооцсон болон хэмжсэн (Зураг 6) үр дүнгийн алдааны утга 3.84-8.35 хооронд хэлбэлзэж байгаа нь магадгүй ашиглаж буй цаг уурын мэдээний нарийвчлалаас шалтгаалж болох юм. Ус ба энергийн балансын загвар ашиглан усны уурын диффузийн урсгалд үнэлгээ өгөхөд үндсэн оролтын мэдээ болох цаг уурын нарийвчилсан хэмжилт шаардлагатай юм.

ТАЛАРХАЛ

БШУЯ-ны ШУТСангийн санхүүжилттэй “Говийн бүсийн газрын доорх усны тэжээмжийн судалгаа” сэдэвтэй суурь судалгааны ажлын хүрээнд хийгдсэн болно.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1]. Ш. Мягмар, "Усны салбарын бодлого, тулгамдаж буй асуудлууд," Монгол улсын усны бодлого зөвлөлдөх уулзалтын эмхэтгэл, Улаанбаатар, Монгол улс, 2018, х. 7–19.
- [2]. П. Хөхөө, "Өмнөговийн газар доорх усны нөөцийг өнөөгийн ус хэрэглээ ба тухайн бүс нутагт хөгжүүлэх уул уурхайн олборлолт, хүнд үйлдвэрийн усны эрэлт хэрэгцээтэй харьцуулсан судалгаа," Монгол орны гидрогеологи, инженер геологи, геоэкологийн асуудлууд, дуг. 29, х. 125–139, 2021.
- [3]. Б. Аюурзана ба бусад, Өмнөд говийн бүсийн усны судалгаа шинжилгээний төвийн техник эдийн засгийн үндэслэл, Улаанбаатар, Монгол улс, 2020, х. 251.
- [4]. A. Tuinhof and N. Buyanhisnig, Groundwater Assessment of the Southern Gobi Region, Mongolia Discussion Papers, East Asia and Pacific Sustainable Development Department, Washington, D.C.: World Bank, 2010.

- [5]. Ч. Жавзан, "Говийн бүсийн газар доорх усны химийн найрлага бүрэлдэх онцлог, чанарын асуудалд," Байгалийн ус, геологи орчны судалгаа – Манай эрдэмтэд, Улаанбаатар, Монгол улс, 2013, х. 39–48.
- [6]. Д. Алтантунгалаг, П. Ууганбаяр, Н. Буянхишиг, "Ундайн сайрын газар доорх усны тэжээмжийг усны түвшний хэлбэлзэлд суурилсан MRC аргаар тооцсон дүн," Монгол орны гидрогеологи, инженер геологи, геоэкологийн асуудлууд, дуг. 27, х. 54–62, 2019.
- [7]. D. J. Nicosky, V. E. Romanovsky, V. A. Alexeev, and D. M. Lawrence, "Improved modeling of permafrost dynamics in a GCM land-surface scheme," *Geophysical Research Letters*, vol. 34, no. 8, 2007. <https://doi.org/10.1029/2007GL029525>.
- [8]. H. Bao, T. Koike, K. Yang, L. Wang, M. Shrestha, and P. Lawford, "Development of an enthalpy-based frozen soil model and its validation in a cold region in China," *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2016. <https://doi.org/10.1002/2016JD024875>.
- [9]. E. Dandar, J. Carrera, and B. Nemer, "Evaluation of groundwater resources in the upper Tuul River basin, Mongolia," in *Water and Environment in the Selenga-Baikal Basin: International Research Cooperation for an Eco region of Global Relevance*, Columbia University Press, 2016.
- [10]. D. N. Yates, "WatBal: An Integrated Water Balance Model for Climate Impact Assessment of River Basin Runoff," *International Journal of Water Resources Development*, vol. 12, no. 2, pp. 121–140, 1996. <https://doi.org/10.1080/07900629650041902>.
- [11]. J. G. Arnold, R. Srinivasan, R. S. Muttiah, and J. R. Williams, "Large area hydrological modeling and assessment, part I: Model development," *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 34, no. 1, pp. 73–89, 1998. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>.
- [12]. L. Hülsmann, T. Geyer, C. Schweitzer, J. Priess, and D. Karthe, "The effect of subarctic conditions on water resources: initial results and limitations of the SWAT model applied to the Kharaa river basin in Northern Mongolia," *Environmental Earth Sciences*, vol. 73, no. 2, pp. 581–592, 2015. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3077-z>.
- [13]. D. R. Fuka, Z. M. Easton, E. S. Brooks, J. Boll, T. S. Steenhuis, and M. T. Walter, "A simple process-based snowmelt routine to model spatially distributed snow depth and snowmelt in the SWAT model," *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 48, no. 6, pp. 1151–1163, 2012. <https://doi.org/10.1111/jawr.12020>.
- [14]. J. Qi, S. Li, Q. Li, Z. Xing, C. P. A. Bourque, and F. R. Meng, "A new soil-temperature module for SWAT application in regions with seasonal snow cover," *Journal of Hydrology*, vol. 538, pp. 863–877, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.003>.
- [15]. Г. Батчимэг, Б. Наранчимэг, and Д. Энхбаяр, "Загийн усны хоолой газар доорх усны ордын усны чанар," Монгол орны гидрогеологи, инженер геологи, геоэкологийн асуудлууд, дуг. 27, х. 41–48, 2019.
- [16]. Д. Энхбаяр, Г. Батчимэг, Б. Наранчимэг, and М. Алей, "Загийн усны хоолой газар доорх усны ордын гидрогеохимийн судалгаа," Монгол

- орны гидрогеологи, инженер геологи, геоэкологийн асуудлууд, дуг. 29, х. 43–50, 2021.
- [17]. О. Батхишиг, Монгол орны төв хэсгийн хөрсний дижитал зураглал, Улаанбаатар, Монгол улс, 2013, х. 106.
- [18]. О. Батхишиг, "Монгол орны хөрсний ангилал-2016," Монголын хөрс судлал сэтгүүл, 2016, дуг. 01, х. 18–25.
- [19]. E. Dandar, Water resources assessment in cold regions: the Upper Tuul River basin, Mongolia, thesis, Spain, 2017.
- [20]. Э. Дандар, Б. Нэмэр, М. В. Саалтинг, and К. Р. Хесүс, "Хүйтэн уур амьсгалтай бүс нутгийн ус ба энергийн балансад усны уурын диффузийн урсгалыг ашиглах нь," Монгол орны гидрогеологи, инженер геологи, геоэкологийн асуудлууд, дуг. 25, х. 60–71, 2017.
- [21]. H. L. Penman, "Natural evaporation from open water, bare soil and grass," Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, vol. 193, pp. 120–145, 1948.