

Түйн голын эхээс адаг хүртэл: Хангайн нуруунаас Говь цөлд хүрдэг гадагш урсгалгүй голын гидравлик

Стефан Р. Фаснахт^{1,2,3}, Ниа Б.Х. Венабле^{4,5}, Жигжидсүрэнгийн Одгарав^{6,7}, Жамьянхуягийн Сүхбаатар^{8,9}, Гэлэгпилын Адибадам^{6,10}

¹ESS-Ус хагалбарын шинжлэх ухаан, Колорадо мужийн Их Сургууль, Fort Collins, CO АНУ 80523-1476

²Агаар мандалын судалгааны нэгдсэн хүрээлэн, Fort Collins, CO АНУ 80523-1375
³<steven.fassnacht@colostate.edu>

⁴EASC-Ус хагалбарын шинжлэх ухаан, CSU, Fort Collins, CO АНУ 80523-1482
⁵<niah.venable@gmail.com>

⁶Ус цаг уур, орчны судалгаа, мэдээллийн хүрээлэн, Худалдааны гудамж-5, Улаанбаатар-210646 Монгол
⁷<odgarav.j@gmail.com>

⁸Газарзүйн хүрээлэн, Улаанбаатар, Монгол
⁹<sukhee_geo@yahoo.com>

¹⁰<adyabadam@yahoo.com>

ХУРААНГҮЙ

Хуурай ба хуурайвтар нутгаар дамжин урсах гол мөрний систем нь тухайн газар нутгийн оршин суугчдад шийдвэрлэх экосистемийн шийдвэрлэх үйлчилгээг үзүүлдэг. Тэгвэл хүн амын төвлөрлөөс зайтай, алслагдмал болон/буюу дөхөж ойртоход хүндрэлтэй газруудад эдгээр голын системийн усгалын мөн чанарыг тодорхойлох шууд хэмжилтүүд цөөн хийгдсэн байдаг. Түйн гол нь атираат өндөр уулс болон ойт хээрийн ландшафт бүхий Монголын төв хэсэг Хангайн нуруунаас эх авч, Говь цөлийн хойд хэсгийн цөлийн хээр ба элсэн манханы дунд орших Орог нуурт цутгадаг. 2012 оны 6 сард голын эхнээс адаг хүртэл нь нэлээд олон байршилд авсан талбайн хэмжилтүүдийг уг голын ерөнхий гулдирал болон үүнтэй холбоотой голын татам дахь урсгалыг тодорхойлоход ашигласан болно. Эдгээр хэмжилтээс авч өндөрлөгийн цахим зураглал болон орон зайн бусад өгөгдлийг ашиглан голын гулдирлын гидравликийн шинж чанарыг тооцоолохын зэрэгцээ гидрологийн шинж байдал буюу ус хураах талбай, хэвгий, гидравлик радиус болон голдирлын барзгаршил зэргийг үнэллээ. Бага урсацтай нөхцөлд голын урсгал голын дээрээс доошоо чиглэн багасах нь хэмжилт судалгааны үед ажиглагдсан. Улмаар Баянхонгор болон Богдын усны төвшинг хэмжих станцын дундах хэсэг газарт голын урсгал шургаж алга болсноо голын доош 10 орчим километрийн цаанаас эргэн гадарга дээр гарч ирсэн ба үүгээрээ бага урсацтай нөхцөл болон газрын гадаргын доорх урсацын бүрэлдэхийн жишээ болсон. Энэхүү шинжилгээний үр дүнг ялангуяа гидрологийн загварчлалын зориулалтаар бусад гадагшаа урсгалгүй голын системд хэрэглэх боломжтой.

Түлхүүр үгс: голын урсгал, гидрологи, өндөрлөгийн цахим зураглал

ОРШИЛ

Монгол бол жилд 30-аас 500 мм хур тунадас хүлээн авдаг хуурай, хуурайвтар орон (Венаблболон бусад, 2015). Гол мөрөн ихэнхдээ мал сүрэг болон тухайн газар нутгийн нүүдэлч малчдын усалгаа ундны цэг болохоор Монголын бэлчээрийн амин судас нь болдог. Монголын зарим хэсгийн усны нөөцийн тухай ойлгохын тулд гидрологийн загварчлалд зориулан гулдирлын гидравлик мэдээллийг хангах хээрийн өгөгдлийг цуглуулсан байдаг. Энэ өгүүлэлт Төв Монголын Түйн голын тухай гидрологи болон гидравлик цуглуулсан өгөгдлийн тоймыг оруулсан (Зураг 1А). Тус гол гадагш урсгалгүй тул урсацын хувьд “урсац алдагдах” хэмээн ангилагдсан байна.

СУДАЛГААНЫ АРГАЧЛАЛ

Хээрийн судалгаа

Талбайн хэмжилтийг 2012 оны зун АНУ ба Монголын судлаачдын баг хийсэн. Хангайн өндөр уул нурууны эко-бүс дэх Түйн голын эхээс голын нийт уртын дагуу цөлийн хээр дэх Орог нуур руу цутгах адаг хүртэл нь голын урсгал болон гидравликийн хөндлөн огтлолын хэмжилтийг хийсэн (Зураг 1, Хүснэгт 1).

Гидрологийн жишиг аргачлалыг ашиглан урсгалын арван долоон хэмжилтийг хийв (Картерболон Давидиан, 1989). Хурдын хэмжилтэд ургамалжил болон бусад саад тотгор, шүлжилдсэн гулдирал, мөн гулдирал дахь мушгирал зэргийн нөлөөг аль болох сааруулах зорилгоор судалгааны байршлыг маш нарийн сонгов. (АНУ Геологийн судалгаа буюу USGS, 1980). Хээрийн арга барилд гулдирлын хоёр эрэгт хоёуланд метрийн тууз тогтоох ба хөндлөн огтлолын талбайг тооцоолохын тулд гулдирлын өргөнийх нь дагуу хэмжилтүүд авахаар гүнийг хэмжигч саваа ашиглах зэрэг нь багтана. Хэмжигч (гүнийг хэмжигч) саваанд стандарт, эргэлдэгч бяцхан аяга бүхий урсац-хурд хэмжигчийг холбож, гүнийн байршил тус бүрт хурдны хэмжилтүүдийг хийв. Голын гүн үргэлж 1 метрээс бага байсан болохоор хэмжигч саваан дээр тодорхойлсон ёсоор гүнийн 60%-д дундаж хурдыг хэмжсэн. Урсацын хэмжүүрүүд болон талбайн тооцоолуудыг хамтад нь авч тухайн байршлын дундаж ус зарцуулалтыг секундэд шоо метрээр гаргана.

Үүн дээр нэмээд, гулдирлын барзгаршлыг тоогтоох ба ирээдүйн загварчлалд зориулан эрэг дүүрэн ус зарцуулалт болон гидравлик радиус зэргийг тодорхойлоход дэм болохоор үндсэн гулдирал болон залгай голын татамын найман гидравлик хэмжилт хийв (Chow, 1959). Барзгаршлын тогтоолтонд цаашлан дэмжлэг үзүүлэхээр ургамалжлын шинж чанар болоод гулдирал/голын татамын тунадасын тухай тэмдэглэгээ хийжээ. Байр зүйн рельефээс шалтгаалан гулдирлын нөхцөл илүү цомхон нягт байх голын эхийн бүс нутагт бүхий л хөндөн огтлолыг хэмжиж болох байв. Голын эхээс илүү алслагдсан хэсэгт голын татам нь гулдирлаасаа хэдэн километрийн алслалд сунайсан тул хэмжилтийг зөвхөн үндсэн гулдирлын ойролцоо л хийх боломжтой байсан.

Гео-орон зайн судалгаа

Хээрийн судалгааны байршил тус бүрийг Газарзүйн байршлын систем буюу GPS ашиглан тэмдэглэв. Хэмжилтийн цэг бүрд ус хураах талбайг цаашид шинжилж судлах зорилгоор эдгээр байрлалыг Газарзүйн мэдээллийн системд (ГМС буюу GIS) оруулав. Тухайн бүс нутгийн өндөрлөгийн цахим 30 метрийн нарийвчлалтай зураглалыг (NASA, 2012) ашиглан үндсэн гулдирлын урт ба хазайлт (хэвгийг) тооцоолов. Хэмжилтийн цэг бүрийн талбайн зураг төслийг ArcGIS Гидро Хэрэгслийн тусламжтайгаар хийсэн (Мейдмент, 2002; Джокик, 2008; ESRI, 2009). Уг програм хангамжин хэрэгсэлд нутаг дэвсгэрийн урьдчилсан боловсруулалт, усны хагалбар

боловсруулах (гулдирлын зураг төсөл гаргалт) болон голын сүлжээг ерөнхийчлөх аргачлалууд багтсан байдаг.

Хээрийн судалгааны байршлын цэгүүдийн байрлалыг Монголын Ус цаг уур орчины хүрээлэнгээс хангаж өгсөн усны төвшинг хэмжих станцуудын байршлын хамтаар зураг төсөлд ашиглав. Нэмэлт байрлалын мэдээллийг тусгахаар, эсвэл сав газрын ус хураах талбайн тооцооллыг хийхэд бидэнд хэрэгтэй байсан програм хангамжийн ашиглалтын улмаас жижиг тохируулгууд хийв. Жишээлбэл, сав газрын шинжилгээнд ашигласан Баянхонгорын усны төвшинг хэмжих станцын байрлалыг өгөгдсөн GPS-ын байрлалаас 1.3 км шилжүүлсэн.

Гидрологийн ба Гидравликийн шинжилгээ

Гидрологийн стандарт үнэлгээнд Түйн голын дагуух урсгал болон хазайлтын харьцуулалт багтсан (жишээ нь, Чоу, 1959). ГМС-д үндэслэгдсэн шинжилгээг талбайн хэмжилтүүдтэй нийлүүлсэнээр бид Маннингийн тэгшитгэлээр гулдирлын харьцуулшгүй барзгаршлыг (n) тооцоолов:

$$V = 1/nR^{2/3}S^{1/2} \quad [\text{Тэгшитгэл1}],$$

Энд V бол нэгж талбай дэх урсгалаас тооцоолон гаргасан, м/сек-ээр илэрхийлэгдэх гулдирлын дундаж хурд, R бол хөндлөн огтлолын нэгж норсон периметр дэх талбайгаас тооцоолон гаргасан, м-ээр илэрхийлэгдэх гидравликийн радиус, харин S бол хэвгий (Чоу, 1959). Бид өгөгдлөө ашиглан V -г урсгал (Q) болон талбай (A), R -г A болон гүн, харин S -г ГМС-ийн шинжилгээ зэргээс тооцоолон гаргав.

ҮР ДҮН БОЛОН ТАЙЛБАР

Хэмжилт хийх үед урсгалын жишиг талбайгаас хамаарч, урсац алдагдах голын системийн хувьд хүлээгдэж байсан ёсоор талбайг дагаад урсгал буурч байсан. Гэхдээ нэгээс бусад бүх хэмжилт Баянхонгороос урсгал доошоо хийгдсэн бөгөөд ус зайлуулах талбайн ихэнх хэсэг илүү том хэмжээтэй ($>5000 \text{ km}^2$) байсан тул урсгалаас хамаарах ус зайлуулах талбайн өөрчлөлтийг тайлбарлахад хүнд байна. Бусад гадагш урсгалгүй сав газарт ажиглагдсантай төстэй байдлаар урсгал Жинстээс дээхэн газарт төгсөж, бүхэлдээ газрын гадаргын доорх урсац болсныг (жишээ нь, Валдез, огноо үгүй) тэмдэглэвэл зохино. Усгалын иймэрхүү алдагдал газрын гадаргын усны хэмжээг бууруулж, харин газар доорх нөөцийг нэмэгдүүлдэг. Ирээдүйн усны нөөцийн менежментэд энэхүү газрын доорх-гадарга дээрх усны харилцан үйлчлэлийгуур амьсгалын өөрчлөлттэй холбож авч үзэх хэрэгтэй байна. Цаашлаад урсгал нь Богдын усны төвшинг хэмжих станцийн дээхэн газрын доороос урсаж эргэн гарч ирэв.

ГМС-ээс гаргаж авсан тооцоолсон хэвгий бүгд гүехэн, ихэнх хазайлт нь ойролцоогоор 0.5%, харин урсгалын дээд хэсгийн хамгийн их хазайлт 1.1% байв (Хүснэгт 1). Урсгал доошлох тусам хазайлт улам буурах магадлалтай байжээ (Фаснахт, 2000). Энд судлагдсан сегментийн хувьд өндөршлийн өөрчлөлтийн хувь хэмжээ -3.74 м/км, бараг төгс шугаман нийцэлтэй байна.

Түйн голын Баянхонгор дагуух урсгал нь Богд дэх урсгалаас илүү их байх төлөвтэй (Зураг1бболон1в). Ялангуяа газар доорх усыг сэлбэж байдаг бага урсацын хувьд (Зураг 1б-д дундаж урсгал хэмээн тэмдэглэгдсэн ба Зураг 1в-д урсацын үргэлжлэх хугацааны муруйгаар үзүүлсэн) тийм байгааг 2012 оны судалгаанаас харж болно. Түйн гол Жинстээс дээхэн газарт төгсөөд эргэн гарч ирж байгааг (газар доороос урсан) бид харлаа (Хүснэгт 1). Ерөнхийдөө голын урсгал доорхоос илүүтэйгээр оргил урсац нь (Зураг 1б-д жилийн хамгийн их өдөр тутмын урсгал гэж тэмдэглэгдсэн) голын урсгал дээр илүү их байв. Гэхдээ тус бүс нутгийн хур

тунадасын үзэгдэл орон зайн хувьд өөр өөр байх тул эдгээр нь үргэлж нэг л хур бороон үзэгдлээс үүдэлтэй байсангүй.

Маннингийн барзгаршлын коэффициентийг хэвгий болон талбарын урсгалын хэмжилтээс тооцоолон гаргасан (Хүснэгт 1). Гулдирал илүү өргөн болох тусам илүү барзгаршилтай болж байв (Хүснэгт 1). Гэвч тооцоолж гаргасан n -ийн хүрээ хэтэрхий өргөн үүнийг бодит гэж үзэхэд хэцүү байна (0.051-ээс 0.117 хүртэл). ГМС-ээр тооцоолсон хэвгийгээс бодит хэвгий нь илүү орон нутгийн шинжтэй байдаг тул ийм байж магадгүй. Судалгааны байршлыг сонгохдоо стандарт протоколыг мөрдсөн тул урсацын хэмжилтэд сонгон авсан гулдирлын хөндлөн огтлолууд төлөөлөл болж чадсан гэж үзэв (Картер болон Давидиан, 1989).

Ирээдүйн ажилд, зөвхөн эрэг дүүрэн урсгалаас гадна голын татмын хэмжээнд хүртэл бүхэл гулдирлын хөндлөн огтлолын өгөгдлийг гулдирлын гидравликийг цаашид үнэлэхэд ашиглахыг зөвлөж байна. Учир нь энд цуглуулсан өгөгдөл нь хэмжилт хийсэн байршил бүрийн үндсэн гулдирал дахь бага урсацын нөхцлийг төлөөлдөг тул. Энэ нь хөндлөн огтлол тус бүрд гүнийн гүйцэтгэх үүрэг болгон R -г үнэлж гаргах, мөн байршил бүрийн гэрэл зургийг ашиглан n -ийг тооцоолж, дараа нь эрэг дүүрэн ба үерийн шатны урсгалыг тоолж гаргах шаардлагатай гэсэн үг. Эдгээр голын систем дэх их урсац нь илүү том талбайг хамардаг ба улмаар нарийвчилсан загварчлал гаргахад хэрэгтэй гулдирлын барзгаршил болон хэвгийн тооцоолол өөрчлөгдөх магадлалтай.

ТАЛАРХАЛ

Тус төслийн санхүүжилтыг Үндэстний Шинжлэх Ухааны Сангийн Хүн байгалийн хосолсон системийн (ХБХС) хөтөлбөрөөс (*Нутгийн иргэдэд түшиглэсэн бэлчээрийн экосистемийн менежмент нь Монголд болж буй уур амьсгалын өөрчлөлтөөс нөхөн сэргэх хосолсон системийн чадамжийг нэмэгдүүлдэг үү?*, нэртэй ГС Мариа Фернандез-Гименез судалгааны тэтгэлэг BCS-1011801) хангав. Уг өгүүллэгийг сайжруулах тал дээр гярхай ажиглалт хийж тайлбар өгсөн хоёр шүүмжлэгчид бид талархаж байна.

АШИГЛАСАН ХЭВЛЭЛ

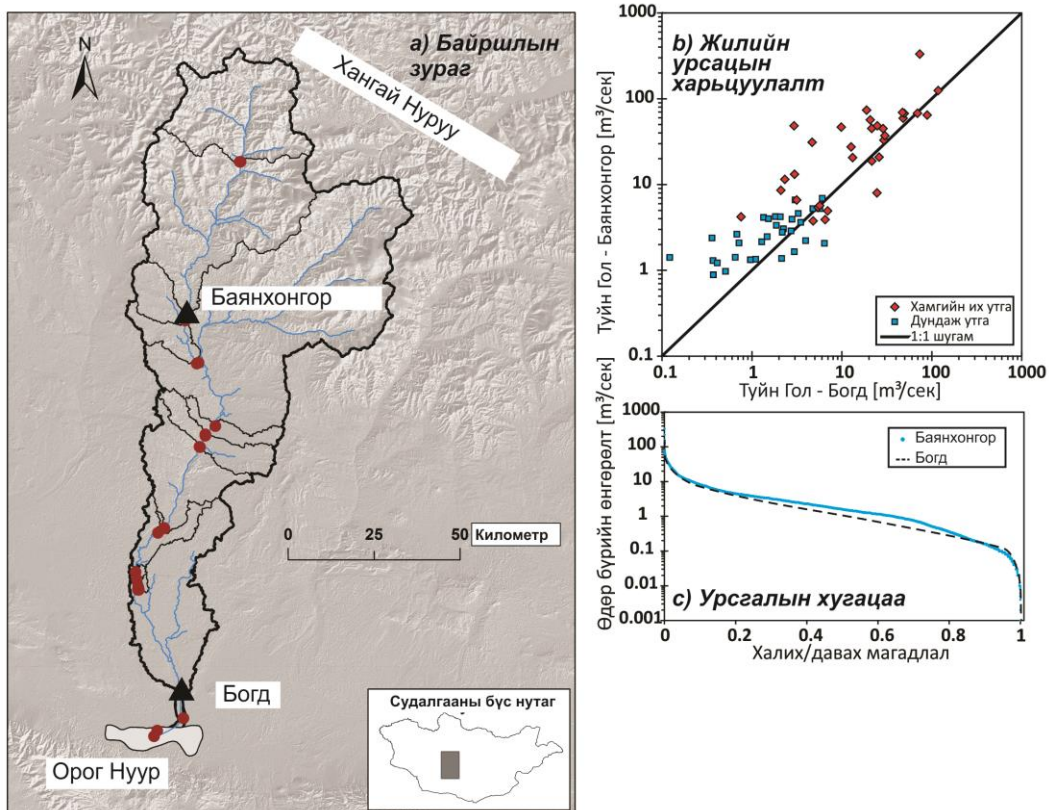
- Carter RW, and Davidian J. (1989). Chapter A6: General Procedure for Gaging Streams. In: *Book 3: Applications of Hydraulics*. Techniques of Water-Resources Investigations of the U.S. Geological Survey, U.S. Department of the Interior, Denver, CO.
- Chow VT. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, New York, NY.
- Djokic D. (2008). *Comprehensive Terrain Pre-Processing Using Arc Hydro Tools*. ESRI Press, Redlands, CA.
- ESRI (2009). *Arc Hydro Tools Tutorial, Version 1.3*. ESRI Press, Redlands, CA.
- Fassnacht SR. (2000). Flow modelling to establish a suspended sediment sampling schedule in two Canadian Deltas. *Hydrology and Earth System Sciences*, 4(3), 425-438.
- Maidment DR [ed.] (2002). *ArcHydro: GIS for Water Resources*. ESRI Press, Redlands, CA.
- NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) (2012). *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Digital Elevation Model (DEM): 30-meter resolution raster files*. USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, SD.
- U.S. Geological Survey (1980). *National Handbook of Recommended Methods for Water-Data Acquisition*. Office of Water Data Coordination, U.S. Department of the Interior, Reston, VA.

Valdez AD. (undated). *The Role of Streams in the Development of the Great Sand Dunes and their Connection with the Hydrologic Cycle*. Department of Interior, National Parks Service, Great Sand Dunes National Park, 4pp.

Venable NBH, Fassnacht SR, and Hendricks AD. (2015). Spatial Changes in Climate across Mongolia. In (Fernandez-Gimenez ME, Batkhishig B, Fassnacht SR, Wilson D, eds.) *Proceedings of Building Resilience of Mongolian Rangelands: A Trans-disciplinary Research Conference*, Ulaanbaatar Mongolia, June 9-10, 2015.

Хүснэгт 1. Ус хураах-ус зайлуулах тайлбай, үндсэн гулдирлын сегментийн урт, мөн талбайн хэмжилт авсан байршил бүрийн хазайлт зэргийг Arc Hydro хэрэгслийг ашиглан гаргаж авсан. Маннингийн *n* барзгаршлын коэффициентийг Тэгшитгэл 1-г ашиглан тооцоолсон. (Жич: * Q03 байршилд зүүн зүг чиглэсэн томоохон салаа урсгал бүхий голын уулзвар байсан ба сегментийн уртад үндсэн баруун талын гулдирлын уртыг авсан.)

Туйн гол дээрх байршлын нэр	ус зайлуулах талбай[км ²]	сегментийн урт[км]	gradient [м/м]	урсгал[м ³ /сек]	Маннингийн <i>n</i> [харьцуулшгүй]
Эрдэнэцогтоос дээхэн газарт	920	27	0.011	N/A	N/A
Баянхонгор дэх	2436	84	0.007	N/A	N/A
Q01	2621	89	0.008	1.79	0.053
Q02	2777	105	0.007	0.386	0.051
Q03	5596	133*	0.006	0.907	0.063
Q04	5721	136	0.006	1.14	0.075
Q05	5973	142	0.006	1.07	0.100
Q06	6489	172	0.005	1.14	0.117
Q07	6498	175	0.005	0.860	0.064
Q08	6662	194	0.005	0.427	0.070
Q09	6675	196	0.005	0.337	0.076
Q10	6682	198	0.005	0.084	N/A
Q11	6683	199	0.005	0.054	N/A
Q12	6684	200	0.005	0.019	N/A
Жинстээс дээхэн газарт	6693	201	0.005	N/A	N/A
Богд дэх	7524	240	0.005	0.191	N/A
Орог нуураас дээхэн газарт	7540	249	0.005	0.012	N/A
Орог нуурт цутгах газарт	7561	258	0.005	N/A	N/A



Зураг 1. а) Төв Монгол дэх Туйн голын сав газар, Баянхонгор ба Богд дэх урт хугацааны голын урсгалыг хэмжигч станцууд болон талбайн хэмжилт авсан байршлууд, б) Баянхонгор ба Богдын усны төвшинг хэмжих станцуудыг зэрэгцүүлэн тэдгээрт Туйн голын жилийн дундаж ба оргил урсгалыг харьцуулсан байдал, в) Баянхонгор ба Богд дэх Туйн голын урсацын үргэлжлэх хугацааг илтгэсэн муруй.