



МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ
ШИНЖЛЭХ УХААНЫ СУРГУУЛЬ
ГАЗАРЗҮЙН ТЭНХИМ

Газарзүйн асуудлууд

Geographical Issues

Volume 22 (2)

ISSN: 2312-8534

2022

Улаанбаатар хот 2022

Усны нөөцийг усны данслалын аргаар тооцох нь: Хэрлэн голын сав газрын жишээн дээр

Estimation and application of the water resources distribution using the Water Accounting Plus: A case study of the Kherlen River basin

©З.Мөнхцэцэг^{1*}, Д.Доржсүрэн², Ц.Жаргалтулга¹

Munkhtsetseg Zorigt^{1*}, Dorjsuren Dechinkhudev², Jargaltulga Tsogtbayar¹

¹Хэрэглээний Математикийн Тэнхим, Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан, Инженерчлэлийн Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Монгол Улс

²Цэнгэг Усны Хүрээлэн, Улаанбаатар, Монгол Улс

¹Department of Applied Mathematics, School of Engineering and Applied Sciences, National University of Mongolia, Mongolia

²Fresh Water Institute, Ulaanbaatar, Mongolia

*Харилцагч зохиогч: munkhtsetseg.z@seas.num.edu.mn

*Corresponding author: munkhtsetseg.z@seas.num.edu.mn

Хүлээн авсан: 2022.10.05

Засварласан: 2022.11.10

Зөвшөөрөгдсөн: 2022.11.13

Хураангуй

Аливаа голын сав газрын усны нөөцийг тооцох, түүнийг ашиглах, төлөвлөх, менежмент хийхэд урт хугацааны ажиглалт хэмжилт, өгөгдөл боловсруулалт, тайлагнал чухал байдаг. Түүнчлэн усны нөөцийг тухайн сав газрын орон зайн түвшинд тооцож гаргах нь ус ашиглагч/хэрэглэгч, менежер, шийдвэр гаргагч зэрэг оролцогч талуудад чухал мэдээлэл болдог. Гэвч сав газар бүрт нягтшил сайтай ажиглалт хэмжилтийн сүлжээ хөгжөөгүй нь усны нөөцийг орон зайн хувьд тооцоолоход хүндрэл учруулдаг. Бид судалгаандаа Усны Данслал Нэмэх аргыг ашиглан Хэрлэн голын сав газарт усны нөөцийн орон зайг хуваарилалтыг 2005-2020 оны мэдээлэлд үндэслэн тооцохыг зорилоо. Усны Данслал Нэмэх арга нь усны эргэлтийг газрын бүрхэвч бүр дээр зайнаас тандан судлалын нээлттэй мэдээ өгөгдөл ашиглан усны нөөцийг тооцохоор хөгжүүлсэн байдаг. Судалгаанд Хэрлэн голын сав газрын хур тунадас, ууришлыг GPM болон SSEBop хиймэл дагуулын өгөгдлийг ашиглаж тэдгээрийг сав газар дахь газрын хэмжилтээр шалгаж баталгаажуулсан. Судалгаанд хамарсан жилүүдээс услаг ихтэй болон багатай жилийг сонгон усны дансыг гаргахад Хэрлэн голын сав газарт услаг ихтэй жилд 35.3 км³ ус хур тунадсаар орж, 23.3 км³ нь ууришиж, 1.9 км³ ус Хэрлэн голын урсац болдог байна. Харин услаг багатай жилд 22.8 км³ ус хур тунадсаар орж, ердөө 0.7 км³ ус Хэрлэн голын урсац болдог байна. Мөн энэхүү үр дүнд үндэслэн Хэрлэн голын сав газарт хамрагдах Дорнод аймгийн багуудын малын усны хүрэлцээг тооцвол нийт 23 багийн 11 нь усны нөөцийн хувьд дутагдалтай байна. Эндээс усны данслалын аргаар усны нөөцийн орон зайн тархалтыг тогтоож, эрэлт хэрэгцээг хангах хувилбарыг тодорхойлох бүрэн боломжтойн зэрэгцээ зайнаас тандан судлалын мэдээ өгөгдлийг шалгаж баталгаажуулах, газрын доорх усны нөөцийг тооцдог хэсгийг цаашид илүү сайжруулах нь чухал байна.

Түлхүүр үгс: Усны данслал, Усны данслал нэмэх, Усны нөөц, Хиймэл дагуулын өгөгдөл, Газрын бүрхэвч

Abstract

It is crucial to assess water resources in a basin level to have observational data and measurements related to the water, its data processing and reporting. To present water resources in the spatial way is valuable information for the stakeholders including decision makers, water users and managers. However, not every river basin has adequate measurement network and spatially estimating water resources is challenging. Therefore, we applied the water accounting plus to estimate water resources as a spatial representation for the Kherlen river basin for the period of 2005-2020. Water Accounting Plus is a method to analyze water resources considering different land uses using the open-source remote sensing datasets. For this study, GPM and SSEBop datasets were used for the basin and validated with ground measurement data from six meteorological stations. Based on WA+ outputs, Sheet and Sheet 2 were developed for the Kherlen river basin in high and low water years. In high water year, the basin receives precipitated water as 35.3 km³ and its 23.3 km³ are lost by evapotranspiration and 1.9 km³ water is outflow as a runoff. For the low water year, 22.8 km³ water fall as a precipitation at the basin and only 0.7 km³ is outflow as a runoff of Kherlen river. In addition, we analyzed how spatial maps of water resources can be used for the water resources planning such as the Bag-level

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: **З.Мөнхцэцэг:** Үндэслэл, өгөгдөл боловсруулалт, үндсэн бичвэр, **Д.Доржсүрэн:** бичвэрийн үндсэн засвар болон үр дүнгийн хяналт. **Ц.Жаргалтулга:** мэдээ өгөгдөл боловсруулалт, дүн шинжилгээ хийх, бичвэрийн үндсэн засвар.

livestock water supply in Dornod province, which overlaps the Kherlen river basin. Of the 23 Bags in Dornod province, 11 have not enough water availability for the livestock. It noted that WA+ was a method of analyzing water resource and the. Further research is needed to validate remote sensing data with more ground data and will refine the groundwater resources estimation.

Keywords: *Water accounting, Water accounting plus, Water resources, Satellite data, Land cover*

Оршил

Усны нөөц нь тухайн сав газрын уур амьсгал, газарзүйн нөхцөл, геологийн тогтоц, гидрогеологийн нөхцөл зэрэг олон хүчин зүйлээс хамаарсан нарийн нийлмэл систем юм. Манай орны нутаг дэвсгэрт хур тунадас харьцангуй бага тухайлбал, Хангайн нуруу, Хөвсгөл, Хэнтийн уулсаар 300-350 мм, Монгол Алтай болон ойт хээрийн бүсэд 250-300 мм, хээрийн бүсэд 150-250 мм, говь цөлийн бүсэд 50-150 мм орчим хур тунадас унадаг (Batima et al., 2005). Харин гадаргын усны үндсэн алдагдал нь ууршилтаар дамжих ба ууршилтанд нөлөөлөх уур амьсгалын хүчин зүйлүүдийн нэг нь агаарын температур байдаг. Түүнчлэн газрын доорх усны нөөц, уст давхаргууд, тэдгээрийн гадаргын устай гидравлик холбоотой байх зэрэг нь усны нөөцийн тархац, бүрэлдэх тархах нөхцөлд нөлөөлдөг томоохон хүчин зүйлс билээ. Тиймээс усны нөөцийг одоо болон хэтийн ирээдүйд ашиглаж болох гадаргын болон газрын доорх усны нийт хэмжээгээр илэрхийлж болно.

Усны нөөцийг ийнхүү тооцоолоход гадаргын болон газрын доорх усны ажиглалтын мэдээ өгөгдөл, судлагдсан байдал ихээхэн чухал юм. Монгол орны хувьд гадаргын усны нөөцийг голын сав газрын адаг хэсэгтэй хамгийн ойр харуулын мэдээг ашиглан сав газрын урсацын модулийг тооцож, 50%, 90%-ийн хангамшилтай урсац хоорондын харьцаагаар илэрхийлдэг. Газрын доорх усны нөөцийг тодорхойлохдоо гидрогеологийн зураг, уст давхаргын үзүүлэлтүүд, хайгуул, туршилт, ашиглалтын цооногуудын болон газрын доорх усны ордуудын мэдээг ашиглан үнэлдэг (Долгорсүрэн, 2012). Одоогоор Монгол орны хэмжээнд гадаргын усны 140 орчим харуул, газрын доорх усны 280 гаруй цооногт ажиглалт хэмжилт хийж байна (2030 WRG). Түүнчлэн загварчлал тооцооллын аргыг усны нөөцийг үнэлэхэд ашиглах нь бий.

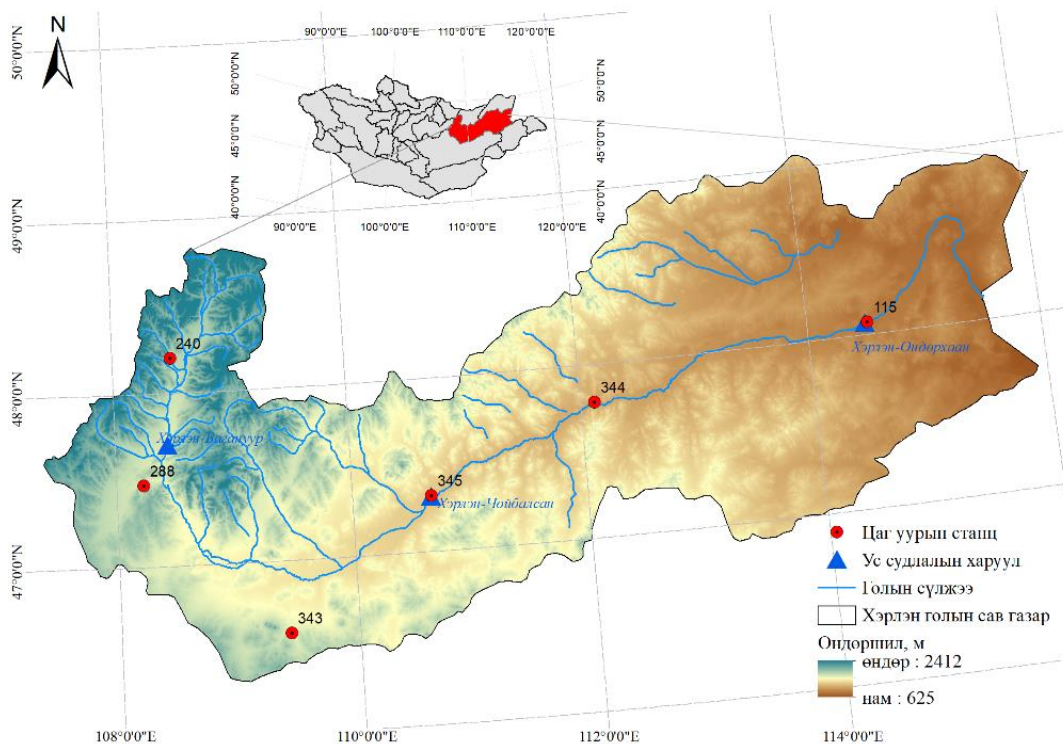
Хэмжилт, ажиглалтын мэдээ өгөгдөл хангалтгүй тохиолдолд гадаргын болон газрын доорх усны загваруудыг зүгшрүүлэх замаар усны нөөцийг сав газрын түвшинд үнэлж болно (Arnold, Fohrer 2000; Arnold, 2005; Wu et al., 2013). Сүүлийн жилүүдэд зайнаас тандан судлал, хиймэл дагуулын өгөгдлийг ус зүйн судалгаанд ашиглах явдал нэлээд хөгжиж байна (Giardino et al., 2010; Kumar, Reshmidevi, 2013; Wang, Xi, 2018; Kaur et al., 2020). Гагцхүү түүний нарийвчлал нь ус хурах сав газрын түвшинд масштабыг оновчтой тохируулах асуудлууд тавигдсаар байна (Karimi et al., 2013; Karimi, Bastiaanssen, 2015; Lettenmaier et al., 2015; Pekel et al., 2016; Pande et al., 2018; Sheffield et al., 2018). Усны нөөцийн тооцоо судалгаанд загварчлал болон зайнаас тандан судлалын өгөгдлүүдийг ашигласнаар усны нөөцөд гарч буй өөрчлөлтүүдийг тооцох, хэтийн төлвүүдийг тодорхойлох, мэдээлэлгүй газрын өгөгдлийг тооцох гэх мэт олон боломжуудыг бий болгодог. Ялангуяа ажиглалт хэмжилтийн сүлжээ бага, уур амьсгал, газар зүйн нөхцөл нэлээд ялгаатай хуурай бүс нутгийн хувьд усны нөөцийг цаг хугацааны болон орон зайн түвшинд тооцоолох нь нэлээд ач холбогдолтой юм. Усны нөөц сав газрын аль хэсэгт өсөн нэмэгдэж эсвэл буурч байгааг газрын бүрхэвчтэй холбон авч үзэх нь тухайн системийг бүрэн тайлбарлахад дөхөм болно.

Энэхүү зорилготой уялдан Усны данслал (УД) хэмээх аргын анхны ухагдахууныг Молден (1997) усны нөөцөд гарч буй хөдөө аж ахуй, усжуулалтын нөлөөг тооцоход зориулан хөгжүүлжээ. Энэ арга нь усны эргэлт, балансыг газар ашиглалтын төрлүүдээс хамааруулан тооцсоноор усны нөөц хэрхэн яаж бүрэлдэн, өөрчлөгдөж байгааг гаргах боломжийг өгсөн. Улмаар Карими (2013) Усны Данслал Нэмэх (УД+) аргыг боловсруулж усны байгалийн эргэлтийг газар ашиглалтын нөхцлөөс хамааруулж, ус ашиглалтын салбаруудыг оролцуулан хиймэл дагуулын өгөгдлийг ашиглах аргагүйг хөгжүүлсэн. Одоогоор дэлхийн 40 гаруй усны сав газарт Голландын Усны Боловсролын Хүрээлэн (ИНЕ)-гээс усны данслалын аргыг ашиглан усны нөөц, балансыг тооцож, усны нөөцийн үнэлгээ, менежментийг боловсруулж байна. Монгол орны хувьд Сэлэнгэ мөрний сав газарт усны данслалыг туршиж (Michailovsky et al., 2020), мөн Хэрлэн голын сав газарт нэвтрүүлсэн (Michailovsky, Solomon, 2022). УД+ аргаар “Бүртэлийн данс” гэгдэх зургаан шинэ данс гарах ба дээрх ажлуудын хүрээнд Бүртгэлийн данс-I (Нөөцийн данс), Бүртгэлийн данс-II (Ууршилтын данс)-ыг боловсруулан гаргажээ (Michailovsky et al., 2020; Michailovsky, Solomon, 2022).

Энэ судалгаанд Хэрлэн голын сав газарт УД+ аргыг нэвтрүүлсэн туршлага дээр үндэслэн сав газрын усны нөөцийн бүрдэлт, түүний орон зайн тархалтыг тооцож гаргасан. УД+ арга ёсоор орон зайн өгөгдлийг тооцохдоо нээлттэй хиймэл дагуулын өгөгдөл ашиглах ба бид судалгаандаа авч ашигласан “GPM” хиймэл дагуулын хур тунадас болон “Ssebor” хиймэл дагуулын ууршилтын өгөгдлүүд, Хэрлэн голын сав газар дахь газрын хэмжилттэй хэрхэн уялдаж байгааг шалгасан. Улмаар усны нөөцийн орон зайн өгөгдөл дээр суурилан баг, сумын түвшинд усны нөөцийг төлөвлөлтийг хийх боломжтой эсэхийг малын ус хангамжийн жишээн дээр тодорхойлсон.

Судалгааны талбай

Хэрлэн голын сав газар нь Их Хэнтий нурууны салбар Хэнтий Хан уулын өвөр, Хэрэй толгой, Будан Цагаан уулаас Хэрлэн гол эх авдаг. Сав газрын өндөржилт д.т.д 625-2412 метрийн хооронд хэлбэлзэнэ (Зураг 1). Голын эх хэсэгт дундаж өндөр уулсын хөндий даган голын голдирол өмнө зүг чиглэн урсаж, аажмаар зүүн, зүүн хойш чигт голдирол эргэн Далай нуурт цутгана. Ус хурах талбай Монгол орны нутагт 107040 км² бол Хэрлэн голын нийт урт 213 км.



Зураг 1. Хэрлэн голын сав газрын байршил

Хэрлэн голын савд 1 дүгээр эрэмбийн гол 1706, 2 дугаар эрэмбийн гол 395, 3 дугаар эрэмбийн гол 88, 4 дүгээр эрэмбийн гол 18, 5 дугаар эрэмбийн гол 3 бий. Хэрлэн голын урсац Төв аймгийн Мөнгөнморьт сумын нутагт (8%) бүрэлдэж, Хэрлэнгийн Хөдөө арал орчимд урсац нэмэгдэж, түүнээс доош урсацын алдагдал эхэлдэг байна (WWF, 2016). Хэрлэн голын дагуух ус судлалын 4 харуулын олон жилийн хэмжилтийн мэдээнээс үзэхэд уг голын урсац Багануур хүртэл нэмэгдээд Улаан хошуунаас доош урсац буурдаг (Simonov, 2016).

Судалгааны материал

Энэ судалгаанд гадаргын усны Хэрлэн-Багануур, Хэрлэн-Өндөрхаан, Хэрлэн-Чойбалсан 3 харуулын сарын дундаж урсацын мэдээ, цаг уурын 6 станцын (Зураг 2-т тэмдэглэсэн кодоор 240-Мөнгөнморьт, 288-Багануур, 343-Оргил, 345-Өндөрхаан, 344-Баян-Овоо, 115-Чойбалсан) сарын дундаж агаарын температур, сарын нийлбэр хур тунадасны 2005-2020 оны мэдээллийг ашигласан. Мөн газар ашиглалтын буюу газрын бүрхэвчийн зурагт “MODIS” хиймэл дагуулын

зураг, “GPM” хиймэл дагуулын 10 км-ийн нарийвчлалатай хур тунадас, “SSEbor” хиймэл дагуулын 1 км-ийн нарийвчлал бүхий бодит ууршилтын өгөгдөл зэргийг ашиглав (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Ашигласан мэдээ өгөгдөл

№	Өгөгдөл	Эх сурвалж
1	Газар ашиглалт/газрын бүрхэвч	MODIS (https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod12.php)
2	Хур тунадас (хэмжилт)	Хэрлэн голын сав газрын захиргаа
3	Хур тунадас (хиймэл дагуул)	GPM хиймэл дагуул (https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/GPM_3IMERGHH_06/summary)
4	Ууршилт (хиймэл дагуул)	SSEbor хиймэл дагуул (https://earlywarning.usgs.gov/ssebor/modis/daily)
5	Урсацын хэмжилтийн мэдээ	Хэрлэн голын сав газрын захиргаа
6	Тусгай хамгаалалттай газар нутаг болон газар тариалангийн талбайн зураг	Хэрлэн голын сав газрын захиргаа
7	Малын тоо толгой, багаар	Статистикийн үндэсний хороо www.1212.mn
8	Малын ус хангамжинд ашигладаг бага гүний худгуудын ундарга	Хэрлэн голын сав газрын захиргаа

Малын ус хангамжийн судалгаанд Дорнод аймгийн 6 сумын 28 багийн 2018 оны байдлаар тоологдсон малын тоо болон тус оны бага гүний худгуудын ундаргыг авч ашигласан.

Хүснэгт 2. Сав газарт хамрагдаж буй Дорнод аймгийн сум, багуудын малын тоо (2018 байдлаар)

№	Сум	Баг, хороо	Багийн дугаар	Адуу	Хонь	Тэмээ	Үхэр	Ямаа
1	Баяндун	3-р баг, Яргай	18	3454	31673	50	4137	16688
2	Баянтүмэн	1-р баг, Цагаан дэрс	1	1386	2106	2	1631	1568
3		2-р баг, Жаргалант	27	16338	36439	368	11974	27923
4		3-р баг, Өлзийт баг	2	5554	24747	320	4249	14989
5		4-р баг, Хотонт	28	4561	20741	79	4047	12231
6	Баян-Уул	2-р баг, Хар чулуут	17	5980	21859	151	3775	14670
7		3-р баг, Урт	21	2518	8511	6	4246	7638
8	Булган	1-р баг, Өндөр хошуу	6	1190	3984	67	896	2972
9		2-р баг, Хулсан шанд	7	7842	26645	108	5103	17200
10		3-р баг, Баян-Уул	4	7602	24825	60	5059	15556
11	Матад	1-р баг, Жаргалант	5	7114	20008	137	4454	11438
12		4-р баг, Буян-Өндөр	3	8353	14331	239	5712	9462
13	Сэргэлэн	1-р баг, Барчин	22	3691	23214	123	3288	14205
14		2-р баг, Архоолой	26	7628	40783	415	4957	18303
15		3-р баг, Баян	24	3670	16237	56	2436	10645
16		4-р баг, Очир хүрээ	25	4543	19303	150	2488	11467
17		5-р баг, Галын гол	23	949	8008	14	1428	3960
18	Хөлөнбуйр	1-р баг, Баян-Өлзийт	8	8402	40652	134	5511	18775
19		2-р баг, Батхаан	9	8844	28560	276	4748	15928
20	Цагаан-Овоо	1-р баг, Баянгол	13	3576	12699	76	2983	8966
21		2-р баг, Элст	16	3730	18119	191	5635	18782
22		3-р баг, Зүрх	19	5629	20359	213	3172	15714
23		4-р баг, Хүрээт	20	3542	19339	116	2390	11916
24		5-р баг, Гүн цэнгэлэг	15	5685	12233	39	3878	13324
25		6-р баг, Хөөвөр	14	1640	13514	6	3150	8954
26	Чойбалсан	1-р баг, Хулстай	10	2416	11230	11	2830	7976
27		2-р баг, Сүмбэр	12	6575	34817	120	5357	21829
28		3-р баг, Энгэр шанд	11	5779	21575	224	4286	13032

Судалгааны арга зүй

Усны данслал нь ус хурах талбай, сав газар, усжуулалтын талбай зэрэг тодорхой нутаг дэвсгэрт байгалийн болон хүний үйл ажиллагаан дор явагдаж буй усны эргэлтийн процессуудыг тооцоолж, түүний орлого зарлагыг бүртгэж нэгтгэх системчилсэн арга юм (FAO, 2012). Энэ аргаар усны нөөцийн боломжит хэмжээ, ус ашиглалт, усны үр өгөөмжийг тооцох боломжтой. Сүүлийн жилүүдэд усны данслалын олон хувилбаруудыг хөгжүүлж ирсэн бөгөөд хамгийн сүүлийн хувилбар болох УД+ арга нь зайнаас тандан судлал, хиймэл дагуулын өгөгдлийг ашиглаж сав газрын түвшинд усны эргэлтийн процессуудыг тооцоолж бүртгэдэг арга юм. УД+ арга нь газрын бүрхэвч дээр үндэслэн усны эргэлтийг тооцоолох ба ингэхдээ газрын бүрхэвчийг

4 үндсэн бүлэгт хувааж үздэг. Үүнд: 1) Тусгай хамгаалалттай газар нутаг (PLU), 2) Ашиглалттай газар (ULU), 3) Нөлөөнд өртсөн (MLU) 4) Бүрэн өөрчлөгдсөн газар (MWU) (Karimi et al., 2013).

- Тусгай хамгаалалттай газар нутаг - Тухайн улсын засгийн газар, төрийн байгууллага, олон улсын ТББ гэх мэт тодорхой байгууллагын тусгай хамгаалалтанд авсан газар нутаг;
- Ашиглалттай газар - хүний үйл ажиллагааны нөлөө маш бага хэмжээгээр орсон ч усны эргэлтийн процесс байгалийн горимоороо явагдаж буй газар нутаг;
- Нөлөөнд орсон газар - анхны хэлбэрээсээ хувирч өөрчлөгдсөн ба газрын бүрхэвчийн өөрчлөлт нь ханаагүй бүс дэх нэвчилт, хуримтлал шүүрэлт гэх мэт босоо чиглэл дэх процессууд өөрчлөгдсөн;
- Өөрчлөлттэй газар - хүний үйл ажиллагааны дор буюу усжуулалт, цооног, гидравлик барилга байгууламж, суваг шуудуу гэх мэт өөрчлөлтүүд нь усны эргэлт бүрэн өөрчлөгдсөн газар нутаг

Усны баланс гол оролт болох хур тунадасны хувьд GPM (Global Precipitation Measurement) хиймэл дагуулын 2005-2020 оны сар нийлбэр тунадас (Huffman 2019), SSEбор бодит ууршилтын сарын нийлбэрийг мөн судалгааны жилээр авч ашигласан. Хиймэл дагуулын өгөгдлүүдийг шалгаж баталгаажуулж, Хэрлэн голын сав газарт усны балансын PixSWAB загварыг зүгшрүүлсэн. Энэ загвар нь Занг (2018) нарын боловсруулсан Динамик Усны Балансын Загвар (DWBM) дээр үндэслэсэн арга юм (Zhang et al., 2018). ДУБЗ загвар нь хиймэл дагуулаас авсан бодит ууршилтыг “цэнхэр” болон “ногоон” ууршилт гэж хуваан авч үздэг. Сав газрын усны балансад t хугацаан дахь хур тунадас нь шууд урсац болон бусад процесст зарцуулагдах ба усны балансын тэгшитгэлийг (1) дараах байдлаар илэрхийлнэ.

$$P(t) = Q_d(t) + X(t) = Q_d(t) + ET(t) + (S(t) - S(t-1)) + R(t) \quad (1)$$

Энд: $Q_d(t)$ - шууд урсац, $X(t)$ - сав газарт орсон хур тунадас, $ET(t)$ - ууршилт, $S(t)-S(t-1)$ – хөрсний чийгийн өөрчлөлт, $R(t)$ - тэжээмжийн утгууд юм.

Хур тунадас (P) болон боломжит усны нөөцийг (X) (Zhang et al., 2008) Будикогийн зарчим буюу усны эргэлтийн орлого, зарлагын муруй дээр үндэслэсэн тооцсон. Эндээс сав газарт үүсэх хуримтлалыг (2) дараах томъёогоор тооцдог.

$$S(t) = \begin{cases} Y(t) - ET(t) & \text{if } (Y(t) - ET(t)) > 0 \\ 0 & \text{if } (Y(t) - ET(t)) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Энд ууршилт ET -ийг хиймэл дагуулын өгөгдлөөс авсан ба “цэнхэр” (3) болон “ногоон” ууршилтыг (4) дараах тэгшитгэлээр тооцно.

$$ET_{ц}(t) = \begin{cases} ET(t) - Y(t) & \text{if } (ET(t) - Y(t)) > 0 \\ 0 & \text{if } (ET(t) - Y(t)) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$ET_{н}(t) = ET(t) - ET_{ц}(t) \quad (4)$$

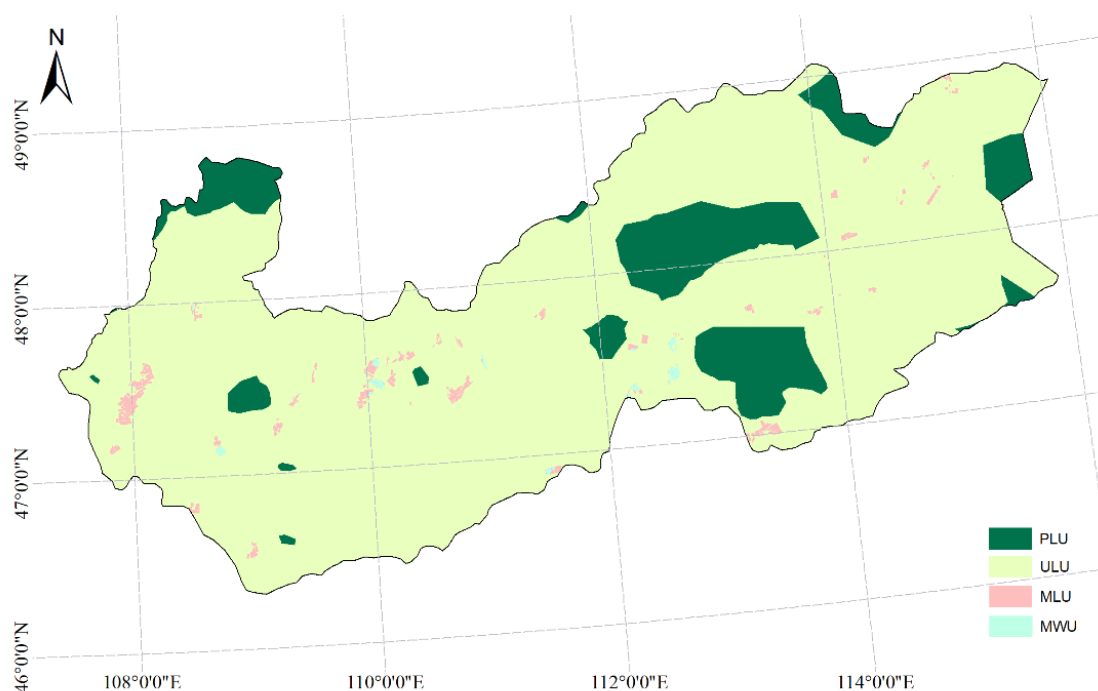
Усны эргэлтийн зарлага хэсэгт усжуулалтын үр ашигт факторыг fc (0-оос 1-ийн хооронд)-ээр тэмдэглэж, энэ нь усны тодорхой хэсэг нь ууршилтанд зарцуулагдах хэмжээг илэрхийлнэ. Усны эргэлтийн зарлага хэсгээс үлдсэн ус нь хөрсний чийг болох бөгөөд хөрс усаар ханасан үед гадаргуугийн урсац болон шүүрэлтийн процесст зарцуулагдана. Загварт цас хэлбэрээр орсон тунадасыг цасны усны нөөцийг бүрдүүлнэ гэж үзнэ. Энд цас бүрэн хайлах хүртэл цасыг хуримтлуулан хадгална. Дараа нь хур бороо орж эхлэх үед цасны хуримтлал хэсгээс нөөц ус шууд урсац болон хөрсний чийгийг нэмэгдүүлнэ гэсэн тооцоолол хийгдэнэ.

УД+ аргын үр дүнд сав газрын усны нөөцийг хаана хэрхэн бүрдэж, өөрчлөгдөж байгааг илэрхийлсэн Бүртгэлийн дансууд, орон зайн зургууд, хүснэгт график зэргийг гаргаж авдаг. Одоогийн байдлаар зургаан бүртгэлийн дансыг байгуулдаг ба үүнд: Бүртгэлийн данс 1- Нөөцийн данс, Бүртгэлийн данс 2-Ууршилтын данс, Бүртгэлийн данс 3- Хөдөө аж ахуйн данс, Бүртгэлийн

данс 4-Ус ашиглалтын данс, Бүртгэлийн данс 5-Гадаргын ус, Бүртгэлийн данс 6-Газрын доорх усны данснуудыг байгуулдаг. Усны нөөцийн орон зайн зургийн хувьд усны эргэлтийн процессуудыг газрын бүрхэвчийн ангилал бүр дээр тооцсон байдлаар илэрхийлдэг.

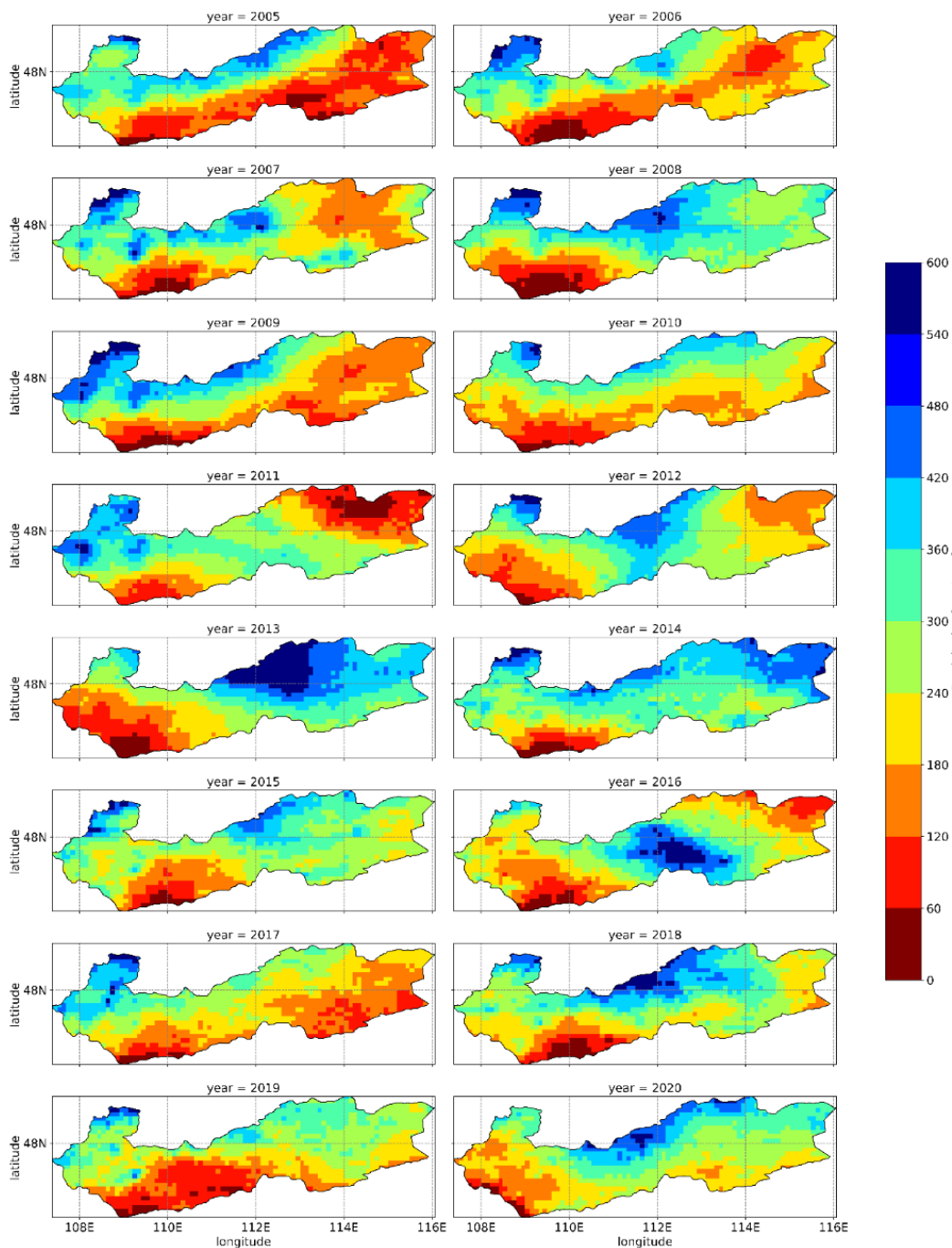
Судалгааны үр дүн

Усны данслал: УД+ арга зүйгээр Хэрлэн голын сав газрыг газрын бүрхэвчийг үндсэн 4 бүлэгт ангилсан. Энд сав газрын 89% нь УД+ аргын 2-р ангилал (ULU) буюу ашиглагдсан газрын төрөлд хамаарагдаж байна (Зураг 2).



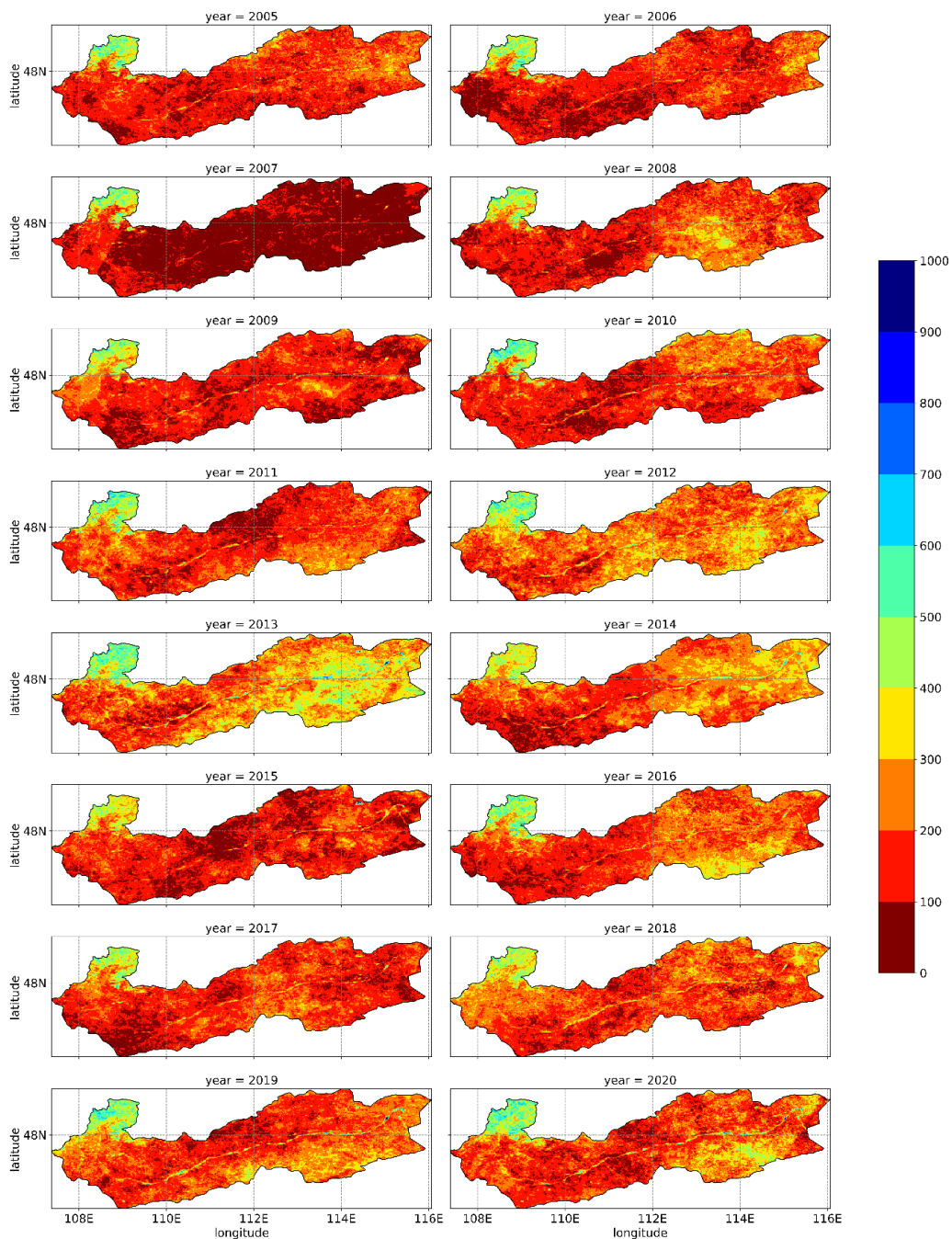
Зураг 2. Усны данслалын арга зүйгээр газрын бүрхэвчийг ангилсан байдал

Газрын бүрхэвчийн ангиллыг хийсний дараа сарын нийлбэр хур тунадасны өгөгдлийг татаж газрын хэмжилтийн өгөгдлөөр шалгаж үнэлсэн. Хур тунадасны өгөгдөл дээр GPM хиймэл дагуулын өгөгдлийг сав газар дахь зургаан цаг уурын станцын 2005-2020 оны сарын нийлбэр хур тунадасны хэмжилтийн өгөгдлөөр үнэлсэн (Зураг 3). GPM болон ажиглалтын хур тунадасны хоорондын хамаарлын коэффициентийг шалгахад $r=0.70-0.93$ сайн гарсан тул өгөгдлийг тооцоололд ашиглав. GPM-ийн өгөгдлөөс харахад Хэрлэн голын сав газарт 210-375 мм тунадас унадаг бөгөөд дунджаар 278 мм/жил байна (Зураг 3).



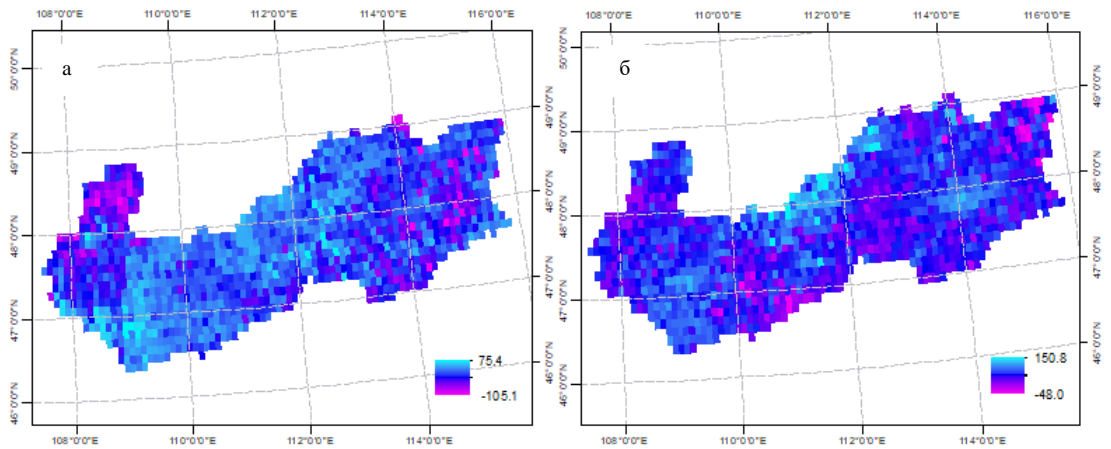
Зураг 3. GPM хиймэл дагуулын хур тунадасны өгөгдөл

Ууршилтын өгөгдлийн хувьд SSebor хиймэл дагуулын өгөгдлийг ашигласан ба энэ нь бодит ууршилтыг илэрхийлнэ (Зураг 4). 2005-2020 онуудад 88-370 мм буюу дунджаар 200 мм/жил байна.



Зураг 4. “Ssebor” хиймэл дагуулын бодит ууршилт

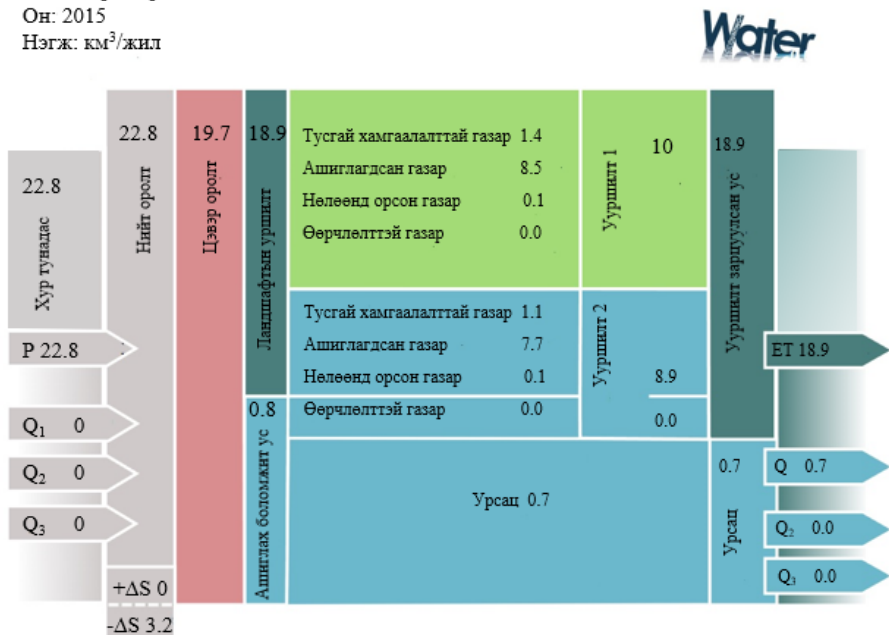
Оролтын мэдээллүүдийг бэлтгэсний дараа Хэрлэн гол урсацыг загвараар тооцож зүгшрүүлсэн. Нэгэнт загвар амжилттай зүгшрүүлсний дараа сав газрын усны нөөцийн орон зайн хуваарилалтыг гаргаж тооцов (Зураг 5). Судалгааны жилүүдээс 2015 болон 2018 онуудыг сонгож усны нөөцийн тархалтыг гаргавал услаг багатай жилд голын эх болон адаг хэсэгт ууршилт хур тунадаснаас давж гадаргын усны нөөц энэ хэсэгт бүрэлддэггүй байна. Мөн услаг ихтэй жилд ч голын дагуу усны нөөц алдагддаг байна.



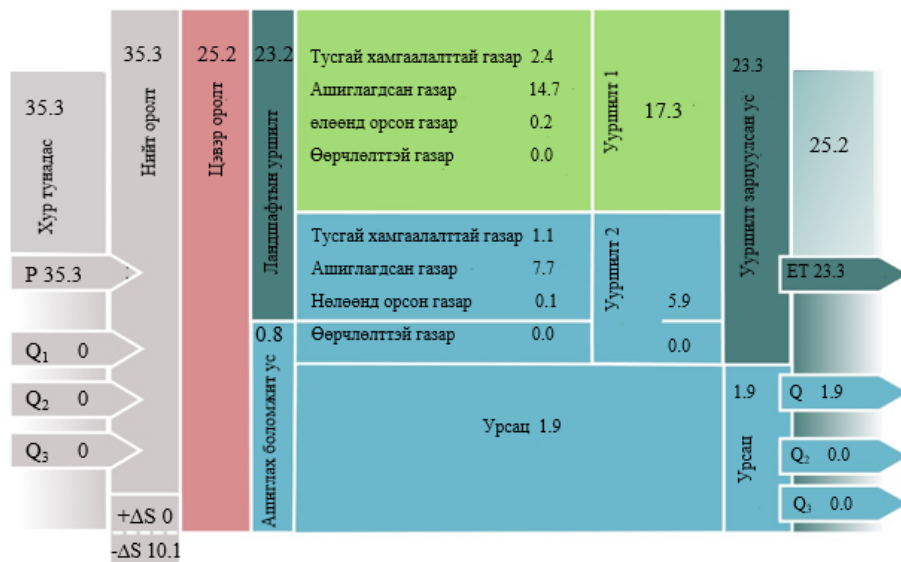
Зураг 5. Усны боломжит нөөцийн зураг а) 2015, б) 2018 он

Нөөцийн болон Ууршилтын данс: УД+ бүртгэлийн данс 1 буюу Нөөцийн данс нь сав газрын орлого, зарлага, хуримтлалыг тооцож усны нөөцийг газрын бүрхэвчийн ангилал бүр дээрх усны эргэлтийг харуулна. Судалгааны үеийн услаг багатай 2015 болон услаг ихтэй 2019 онуудад байгуулсан Нөөцийн дансыг харьцуулахад ландшафтын буюу ургамлын бүрхэвчийн ууршилтад хамгийн их ус зарцуулдаг байна (Зураг 6). Сав газарт хурын болон усалгаатай газар тариалан маш бага хувийг эзэлдэг нь байгалийн ууршилтыг их гэж харуулж буй хэрэг. Сав газраас гарч буй урсац услаг багатай жилд 0.7 км^3 , услаг ихтэй жилд 1.9 км^3 ба сав газрын хуримтлал (сөрөг ΔS) 3.2 - $10.1 \text{ км}^3/\text{жил}$ байна.

Бүртгэлийн данс 1: Нөөцийн данс
Сав газар: Хэрлэн
Он: 2015
Нэгж: $\text{км}^3/\text{жил}$



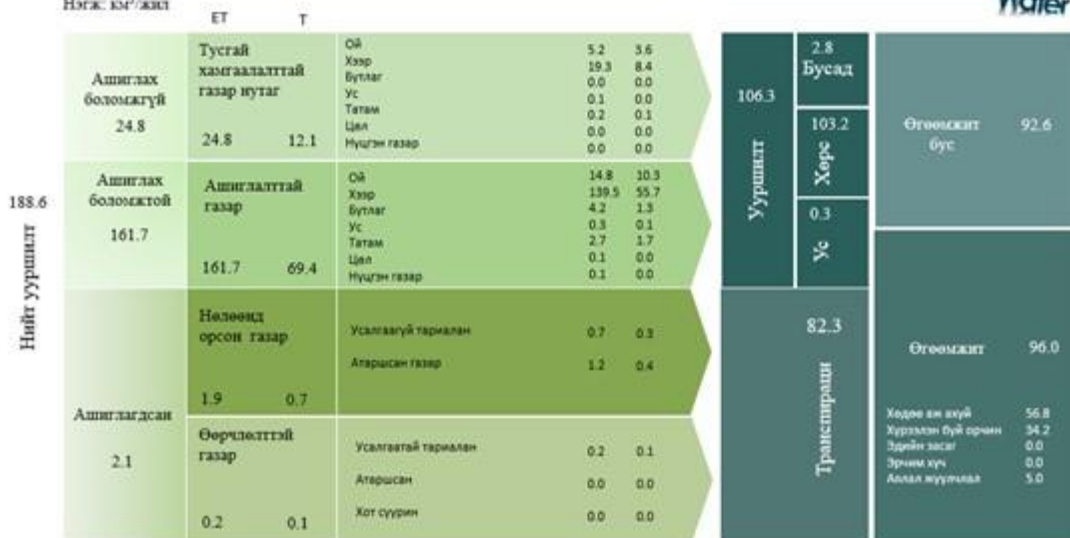
Бүртгэлийн данс 1: Нөөцийн данс
 Сав газар: Хэрлэн
 Он: 2018
 Нэгж: км³/жил

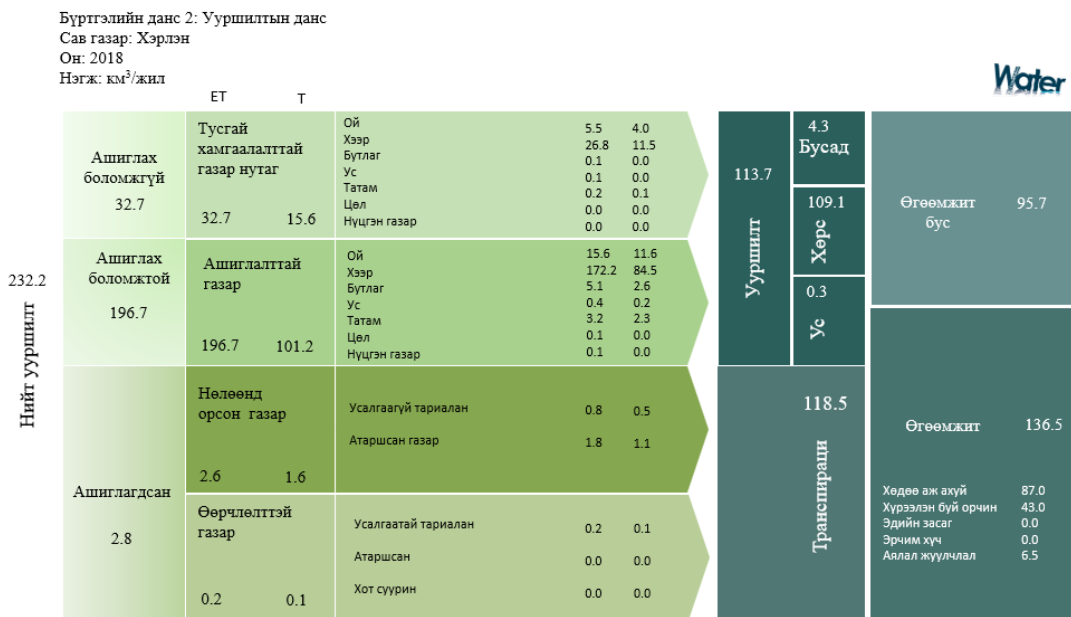


Зураг 6. Нөөцийн данс

Бүртгэлийн данс 2 буюу Ууршилтын дансыг мөн урлаг ихтэй болон багатай жилд байгуулсан ба энэ нь ууршилтыг (ET) ууршилт (E), транспираци (T), ургамлын саатал (I) гэсэн хэсгүүдэд хувааж өгөөмжит болон өгөөмжит бус усны хэрэглээг гарган усны эргэлтийн аль хэсэг усыг илүү өгөөмжтэйгээр ашиглаж байгааг харуулдаг (Зураг 7). Энэ дансны ихэнх хэсэг нь 0 гэсэн утгатай гарч байгаа. Учир нь газар ашиглалтын ангиллуудын дийлэнхийг хээрийн бүс, бусад ангилал нь маш бага хувийг эзэлж байгаатай холбоотой.

Бүртгэлийн данс 2: Ууршилтын данс
 Сав газар: Хэрлэн
 Он: 2015
 Нэгж: км³/жил

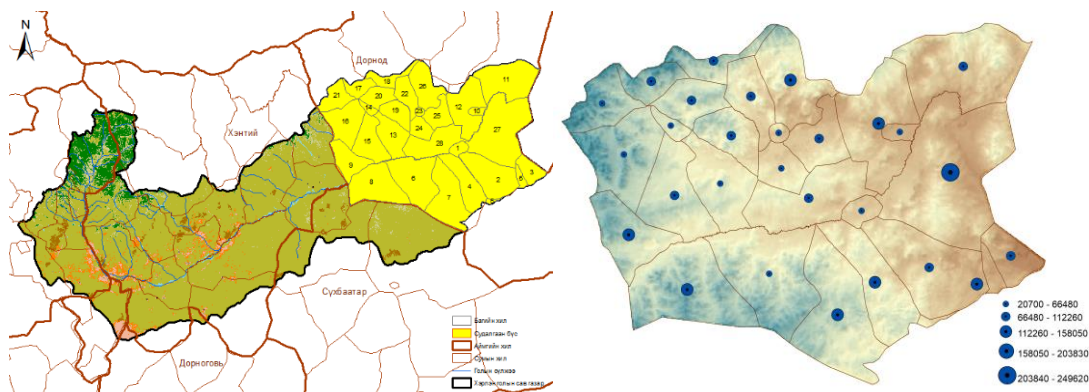




Зураг 7. Ууршилтын данс

Хээрийн бүсийн хувьд ууршилт услаг ихтэй жилүүдэд их явагддаг буюу хур тунадаснаас ихээхэн хамааралтай байна. Транспирацийн буюу ургамлын гадаргаас уурших ууршилт нь сав газрын хур тунадасны хэлбэлзэл ихтэйгээс, мөн хээрийн бүс нь бэлчээрийн хэлбэрээр ашиглагддагтай холбоотой.

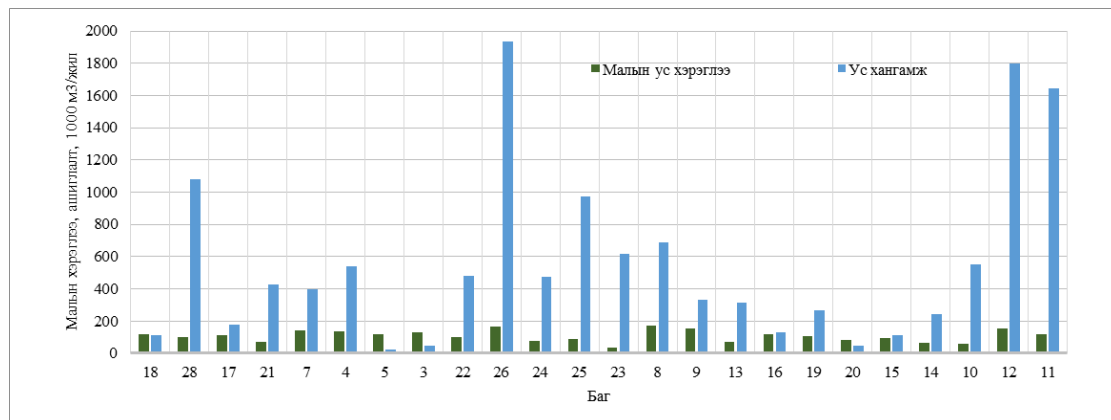
Усны нөөцийн орон зайн өгөгдлийг ашиглах боломж: Хэрлэн голын сав газрын хэмжээнд дээрх Нөөцийн болон Ууршилтын дансуудыг байгуулснаар усны боломжит нөөцийг талбайн хэмжээнд буюу талбай дээрх дурын цэг дээр үзүүлэх боломжтой болсон. Энэхүү орон зайн зураглалыг сав газрын нутаг дэвсгэрт багтаж байгаа аймаг, сум, багийн түвшинд тодорхойлох боломжтой гэсэн үг. Дээрх судалгааны үр дүнг ашиглан Дорнод аймгийн Хэрлэн голын сав газар багтаж байгаа нутагт малын ус хангамжийн хүрэлцээ болон бага гүний худгуудыг малын ус хангамжид зориулж шинээр төлөвлөх шаардлагатай газруудыг тодорхойлсон. Энд Дорнод аймгийн 28 баг хамрагдсан ба 2018 оны байдлаар нийт 148191 адуу, 576511 хонь, 3751 тэмээ, 113820 үхэр, 366111 ямаа тус тус тоологдсон байна. Малын ус хангамжийг малын тоо толгойг усалгааны нормоор (2015 оны нэгж бүтээгдэхүүн үйлдвэрлэх, ажил гүйцэтгэх үйлчилгээ үзүүлэх зарцуулсан усны норм) тооцож үзүүлэв (Зураг 8).



Зураг 8. Хэрлэн голын сав газарт хамрагдах Дорнод аймгийн багууд ба малын усны хэрэглээ

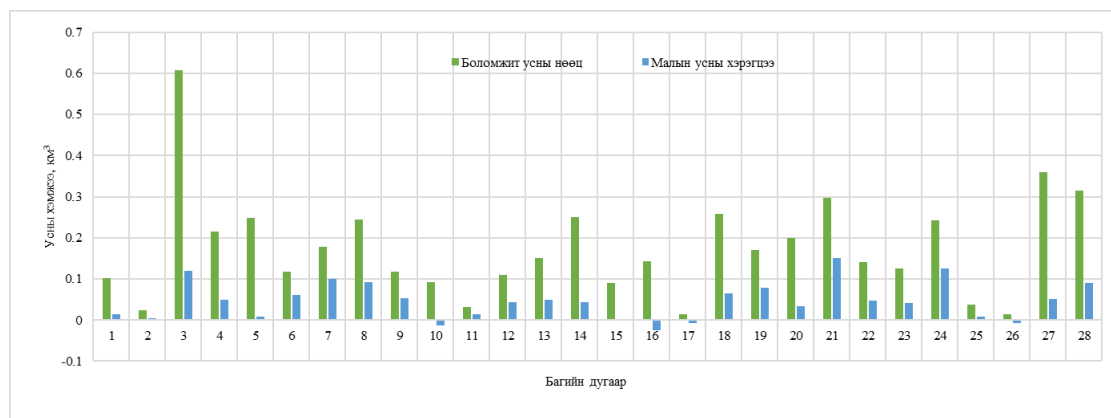
Малын ус хангамжийн хэмжээ тухайн багийн түвшинд тоолуулсан малын тоо толгойноос хамаарч байна. Одоогийн байдлаар малын ус хэрэглээг тухайн багийн бага гүний худгуудын

усны хэмжээтэй харьцуулбал Тухайлбал 18, 5, 3,16, 20, 15 багууд малын ус хангамжийн нэмэлт эх үүсвэр шаардлагатай байна (Зураг 9).



Зураг 9. Багуудын малын усны хэрэглээ болон хангамж

Харин энэхүү ус хангамжийг хангах боломжит усны нөөцийг багуудын түвшинд авч үзвэл дээрх багууд дээр нэмээд тус аймгийн Цагаан Овоо сумын Элст баг, Чойбалсан сумын Хулстай баг, Баян-Уул сумын Хар Чулуут баг, Сэргэлэн сумын Очир хүрээ, Ар хоолой багууд усны нөөцийн бага бүрддэг байна (Зураг 10).



Зураг 10. Малын ус хангамжинд шаардлагатай усны хэрэгцээ болон боломжит усны нөөц

Тухайлбал Дорнод аймгийн Баяндун сумын Яргай баг, Матад сумын Жаргалант, Буян-Өндөр, Цагаан-Овоо сумын Элст, Хүрээт Гүн цэнгэлэг багуудад малын ус хангамжийн хүрэлцээ дутмаг буюу шинээр худаг гаргах шаардлагатай байна. Гэхдээ боломжит усны нөөцийн хувьд авч үзвэл дээрх багууд шинээр худаг төлөвлөхөд тохиромжгүй байна. Багуудын түвшинд хур тунадасны ус ууршилтанд бүрэн зарцуулагддаг ба гадаргуугийн урсац, газрын доорх усны тэжээмж байдаггүйг харуулж байна.

Судалгааны хэлэлцүүлэг

УД+ аргаар сав газрын усны нөөцийн орон зайн тархалт, газрын бүрхэвч бүр дэх усны эргэлтийн процессуудыг тооцох нь урсацын загваруудаас илүү усны нөөцийн бүрдэлт, өөрчлөлтийг илэрхийлэх боломжтой арга байна (Karimi et al., 2013; Singh et al., 2022; Delavar et al., 2022). Гэхдээ УД+ аргаар газрын доорх усны нөөцийг тооцдог дансыг нэмж байгуулан нийт усны нөөцийг сав газрын түвшинд гаргах нь газрын доорх усаа түлхүү ашигладаг манай орны нөхцөлд чухал байна. Үүний тулд газрын доорх усны судлагдсан байдал, усны түвшний өгөгдлүүд зайлшгүй шаардлагатай. УД+ аргын оролтын мэдээ өгөгдөл болох хиймэл дагуулын өгөгдлүүд монгол орны хувьд Сэлэнгэ мөрөн (Michailovsky et al., 2019) болон Хэрлэн голын сав газарт

(Michailovsky et al., 2022) ашигласан жишээнээс харахад харьцангуй сайн таарцтай байна. Гэхдээ бодит ууршилтыг илүү нарийвчилж шалгах шаардлагатай. УД+ аргын нөөцийн болон ууршилтын дансанд тусгагдсан ууршилт болон хуримтлалын утгыг газрын доорх усны нөөцийн судалгаатай харьцуулж үнэлэх боломжтой. УД+ арга нь чухал өгөгдлүүдийг тооцоолдог хэдий ч тухайн зайнаас тандан судлалын өгөгдлүүдийг шалгаж баталгаажуулах ажиглалтын мэдээ, хиймэл дагуулаас авч болдоггүй мэдээллийг (үйлдвэр, ахуйн болон нийгмийн ус хангамж) цуглуулах шаардлагатай болдог. Цаашид газарзүйн болон уур амьсгалын өөр бүсүүдэд усны данслалыг нэвтрүүлж, бусад бүртгэлийн данснуудыг байгуулах боломжтойг эсэхийг судлах нь зүйтэй. Цаашид хиймэл дагуул өгөгдөлд дүн шинжилгээ хийж, ажиглалт урсацын хэмжилтгүй хэсэг дэх усны эргэлт, нөөцийг тооцоолох боломжтой бөгөөд газрын доорх усны нөөцийг усны данслалын аргаар тооцох тал дээр судлагааг нарийвчлах нь зүйтэй байна.

Дүгнэлт

Хэрлэн голын сав газарт хиймэл дагуулын өгөгдлийг ашиглан УД+ аргаар дүн шинжилгээ хийхэд услаг багатай жилүүдэд голын адаг хэсгийн урсацын дийлэнх хувь суурь урсацаас бүрддэг бол услаг ихтэй жилүүдэд гадаргын урсацаас илүү хамаардаг байна. Сав газарт орох хур тунадасны уснаас үүсэх хуримтлал услаг ихтэй жилд 10.1 км³ байхад услаг багатай жилд 3 км³ байна. УД+ ууршилтын данс нь услаг ихтэй болон багатай жилүүдэд хээрийн бүсээс транспирацийн ууршилт маш их хэлбэлзэлтэй явагддаг нь харагдаж байна. Энэ нь Хэрлэн голын сав газрын экосистем хур тунадаснаас хамаарсныг илтгэнэ. Бүртгэлийн данс дахь үр дүн нь тухайн тооцооллын үеийг (тухайн жилийн болон олон жилийн дундаж) илэрхийлдэг тул янз бүрийн жилүүдийн бүртгэлийн данснуудыг харьцуулж, тэнд буй өгөгдлүүдийн орон зайн болон цаг хугацааны трендүүдэд дүн шинжилгээ хийх нь чухал. Бүртгэлийн данснаас гадна орон зайн өгөгдлүүд бүхий зургууд илүү дэлгэрэнгүй мэдээллийг илэрхийлдэг нь харагдаж байна. Ялангуяа усны нөөцийн орон зайн зургийг ашиглан усны нөөцийн төлөвлөлт хийх боломжтой.

Ном зүй

1. Дэлхийн байгаль хамгаалах сан (WWF)-ийн монгол дахь хөтөлбөрийн газар. (2016). *Хэрлэн голын усны нөөцийн нэгдсэн менежментийн төлөвлөгөө* (I үе шат: 2016-2020 он, II үе шат: 2021-2030 он)
2. Arnold, J. G., & Fohrer, N. (2005). SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modelling. *Hydrological Processes: An International Journal*, 19(3), 563-572. <https://doi.org/10.1002/hyp.5611>
3. Batima, P., Natsagdorj, L., Gombluudev, P., & Erdenetsetseg, B. (2005). Observed climate change in Mongolia. *Assess Imp Adapt Clim Change Work Pap*, 12, 1-26.
4. Delavar, M., Eini, M. R., Kuchak, V. S., Zaghiyan, M. R., Shahbazi, A., Nourmohammadi, F., & Motamedi, A. (2022). Model-based water accounting for integrated assessment of water resources systems at the basin scale. *Science of the Total Environment*, 830, 154810. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154810>
5. Giardino, C., Bresciani, M., Villa, P., & Martinelli, A. (2010). Application of remote sensing in water resource management: the case study of Lake Trasimeno, Italy. *Water resources management*, 24(14), 3885-3899. <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9639-3>
6. Steduto, P., Faurès, J. M., Hoogeveen, J., Winpenny, J., & Burke, J. (2012). Coping with water scarcity: an action framework for agriculture and food security. *FAO water reports*, 16, 78.
7. Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Braithwaite, D., Hsu, K., Joyce, R., Xie, P., & Yoo, S. H. (2019). NASA global precipitation measurement (GPM) integrated multi-satellite retrievals for GPM (IMERG). *Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version*, 4(26). <https://doi.org/10.5067/GPM/IMERG/3B-MONTH/06>
8. Karimi, P., Bastiaanssen, W. G., & Molden, D. (2013). Water Accounting Plus (WA+)—a water accounting procedure for complex river basins based on satellite measurements. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(7), 2459-2472. <https://doi.org/10.5194/hess-17-2459-2013>
9. Karimi, P., Bastiaanssen, W. G., Sood, A., Hoogeveen, J., Peiser, L., Bastidas-Obando, E., & Dost, R. J. (2015). Spatial evapotranspiration, rainfall and land use data in water accounting—Part 2: Reliability of water accounting results for policy decisions in the Awash Basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(1), 533-550. <https://doi.org/10.5194/hess-19-507-2015>

10. Kaur, L., Rishi, M. S., Singh, G., & Thakur, S. N. (2020). Groundwater potential assessment of an alluvial aquifer in Yamuna sub-basin (Panipat region) using remote sensing and GIS techniques in conjunction with analytical hierarchy process (AHP) and catastrophe theory (CT). *Ecological Indicators*, 110, 105850. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105850>
11. Kumar, D. N., & Reshmidevi, T. V. (2013). Remote sensing applications in water resources. *Journal of the Indian Institute of Science*, 93(2), 163-188.
12. Lettenmaier, D. P., Alsdorf, D., Dozier, J., Huffman, G. J., Pan, M., & Wood, E. F. (2015). Inroads of remote sensing into hydrologic science during the WRR era. *Water Resources Research*, 51(9), 7309-7342. <https://doi.org/10.1002/2015WR017616>
13. Michailovsky, C., Pareeth, S., Karimi, P., Mul, M., (2020). *Water Accounting and Productivity for the Selenge River Basin*, Mongolia. Project report, IHE Delft Institute for Water Education, The Netherlands.
14. Molden, D. (1997). *Accounting for Water Use and Productivity*, Swim Pap. Colombo, Sri Lanka,
15. Michailovsky, C., Solomon., S. (2022). Water accounting for the Kherlen river basin. 23-45
16. Pande, C. B., Khadri, S. F. R., Moharir, K. N., & Patode, R. S. (2018). Assessment of groundwater potential zonation of Mahesh River basin Akola and Buldhana districts, Maharashtra, India using remote sensing and GIS techniques. *Sustainable Water Resources Management*, 4(4), 965-979. <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0193-5>
17. Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418-422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>
18. Sheffield, J., Wood, E. F., Pan, M., Beck, H., Coccia, G., Serrat-Capdevila, A., & Verbist, K. (2018). Satellite remote sensing for water resources management: Potential for supporting sustainable development in data-poor regions. *Water Resources Research*, 54(12), 9724-9758. <https://doi.org/10.1029/2017WR022437>
19. Senay, G. B., Bohms, S., Singh, R. K., Gowda, P. H., Velpuri, N. M., Alemu, H., & Verdin, J. P. (2013). Operational evapotranspiration mapping using remote sensing and weather datasets: A new parameterization for the SSEB approach. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 49(3), 577-591. <https://doi.org/10.1111/jawr.12057>
20. Singh, V., Singh, S.K., Kumar, N., Kumar, P., Gupta, PK., Singh, PK., Gasparovic, M., Ray, RL., Saito, O. (2022). Water Accounting Using Satellite Products and Water Accounting Plus Framework in a Semi-Arid Betwa River Basin, India. *Water* 2022, 14, 3473. <https://doi.org/10.3390/w14213473>
21. Simonov, E., & Wickel, B. (2016). Kherlen river the lifeline of the eastern Steppe. *Towards Integrated River Basin Management of the Dauria Steppe Transboundary River Basins by Rivers without Boundaries*. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.transrivers.org/pdf/20150503Kherlen%20RiverReport.pdf>.
22. Simons, G.W.H., R. Koster, P. Droogers. (2020). HiHydroSoil v2.0 - A high resolution soil map of global hydraulic properties. *Future Water Report* 213.
23. Singer, M., Asfaw, D. D., Rosolem, R., Cuthbert, M. O., Miralles, D. G., Quichimbo, E. A., ... & Michaelides, K. (2020). Hourly potential evapotranspiration (hPET) at 0.1 degs grid resolution for the global land surface from 1981-present. *University of Bristol*.
24. Wang, X., Xie, H. (2018). A Review on Applications of Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS) in Water Resources and Flood Risk Management. *Water*, 10(5), 608; <https://doi.org/10.3390/w10050608>
25. Wu, G., L, L., Ahmad, S., Chen, X., Pan, X. (2013). A dynamic model for vulnerability assessment of regional water resources in arid areas: A case study of Bayingolin, China. *Water Resources management*. 27, 3085–3101 <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0334-z>