

Investigation of drinking water quality in the urban areas of Bulgan province

Enkhjargal Togtokh^{1,*}, Odsuren Batdelger¹, Erdenetsetseg Tsogtbayar¹, Purev-Erdene Erdemjargal¹, Sandag Dalaijargal¹

¹*Division of Water Resources and Water Utilization, Institute of Geography and Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia*

*Corresponding author email and ORCID: enkhjargalt@mas.ac.mn, <https://orcid.org/0000-0002-3563-5917>

Received: 27 Jun 2025 / Accepted: 27 Oct 2025 / Published online: 19 December 2025

Abstract

This research work conducted within the framework of the contracted project "Study, assessment, and recommendations on the quality of drinking water in the center and rural settlements of Bulgan province" in 2022 and has been incorporated into this article following processing of the results. The chemical composition of groundwater was overall dominated by the hydrocarbonate ions prevailed over anions (97.8%). In case of cation, showed that 69.6% of all water points were determined as Ca-HCO₃, 17.4% mixed, 10.9% was Na-HCO₃, and the remaining 2.2% was S-C-Ca-Mg. In terms of total mineralization, 21.7% is classified as slightly mineralized and 78.3% as fresh. The hardness of the water varies from soft to hard (hardness 2.52-8.4 mg-eq/L). Out of all the samples, only 2.17% are hard, 10.9% are moderately hard, 80.4% are slightly hard, and 6.5% are soft. About 15.2% of the samples were dominated by magnesium and magnesium content exceeded the standard of drinking water in the 4 samples (8.5%) which was 1.1-2.3 times higher than the permissible level of the standard "Environment. Health protection, Safety Drinking water. Hygienically requirements, assesment of the quality and safety" MNS 0900:2018. The calcium ion and total hardness levels exceed the standard in only 2.17% of the samples. Nitrate ions were predominantly detected in the nutrient pollutions, with 6.4% of the samples not meeting the drinking water standards, and 39.1% have low fluoride content, while 26% have high fluoride levels. Microbiological analysis showed that 8.7% of the water points have total bacterial and intestinal group bacteria exceeding the standard requirements. Microelement analysis found uranium (U) in 8.7% (4 wells), strontium (Sr) in 6.5% (3 wells), and manganese (Mn) in 2.2% (1 well) of the samples. Radon (Rn) levels in 13 wells were 1.01-1.92 times higher than the standard, accounting for 28.3% of the total samples. Out of the total 46 samples, 76.1% did not meet the requirements of the MNS 0900:2018 drinking water standard in at least one parameter, indicating the need to ensure the safety of water sources and to enhance and regularize monitoring activities.

Keywords: Groundwater quality and Composition

Булган аймгийн хот суурин газрын ундны усны чанарын судалгаа

Тогтох Энхжаргал^{1,*}, Батдэлгэр Одсүрэн¹, Цогтбаяр Эрдэнэцэцэг¹,
Эрдэнэжаргал Пүрэв-Эрдэнэ¹, Сандаг Далайжаргал¹

¹Усны нөөц, ус ашиглалтын салбар, Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэн, Шинжлэх Ухааны Академи,
Улаанбаатар, Монгол

*Холбоо барих зохиогчийн цахим хаяг, ORCID: enkhjargalt@mas.ac.mn, <https://orcid.org/0000-0002-3563-5917>

Хүлээн авсан: 2025 оны 06 сарын 27 өдөр / Зөвшөөрөгдсөн: 2025 оны 10 сарын 27 өдөр / Нийтлэгдсэн:
2025 оны 12 сарын 19 өдөр

ХУРААНГУЙ

Энэхүү судалгааны ажил нь тус хүрээлэнд 2022 онд хэрэгжсэн “Булган аймгийн төв болон сум, суурин газрын ундны усны чанарын судалгаа, дүгнэлт, зөвлөмж” гэрээт ажлын хүрээнд хийгдсэн. Судалгаанд хамрагдсан газрын доорх ус нь химийн бүрэлдэхүүний хувьд анионуудаас гидрокарбонатын ион дангаараа давамгайлсан (97.8), катионы хувьд 69.6% нь Са-НСО₃ төрөл, 17.4 % нь Холимог-НСО₃, 10.9% нь Na-НСО₃, үлдсэн 2.2% нь S-C-Са-Mg төрлийн ус байна. Нийт эрдэсжилтийн хувьд 21.7% нь цэнгэгдүү, 78.3 % нь цэнгэг устай ангилалд хамаарч байна. Хатуулгийн хувьд зөөлнөөс хатуу (хатуулаг 2.52-8.4 мг-экв/л) устай байна. Судалгаанд хамрагдсан нийт сорьцын зөвхөн 2.17% нь хатуу, 10.9% нь хатуувтар, 80.4% нь зөөлөвтөр, 6.5% нь зөөлөн устай ангилалд тус тус хамаарч байна. Нийт сорьцын 15.2% нь хатуулаг дотроо магни ион зонхилсон устай, 4 худгийн усны /8.5%/ магнийн ион нь “Ундны ус. Эрүүл ахуйн шаардлага, чанар, аюулгүй байдлын үнэлгээ” MNS 0900:2018 стандартад заасан хэмжээнээс 1.1-2.3 дахин их, кальцийн ион болон ерөнхий хатуулгийн хэмжээ нь стандартаас давсан нь нийт сорьцын зөвхөн 2.17%-ийг тус тус эзэлж байна. Шим бохирдлын үзүүлэлтээс нитратын ион давамгайлж илэрсэн ба нийт сорьцын 6.4% нь ундны усны стандартад нийцээгүй, мөн 39.1 % нь фторын агууламж багатай, 23.9% нь ихтэй байна. Нян судлалын шинжилгээгээр нийт уст цэгийн 8.7 % нь нийт нян болон гэдэсний бүлгийн нийт нян илэрч стандартын шаардлага хангахгүй байна. Бичил элементийн шинжилгээгээр уран (U) 4 худаг буюу 8.7%, стронци (Sr) 3 худгийн усанд буюу 6.5%, манганы агууламж нь (Mn) 1 худаг буюу 2.2%-ийг тус тус эзэлж байна. Цацрагийн аюулгүйн үзүүлэлтийн шинжилгээгээр радоны (Rn) нь 13 худгийн усанд стандартад заасан хэмжээнээс 1.01-1.92 дахин их илэрсэн ба энэ нь нийт сорьцын 28.3%-ийг эзэлж байна. Нийт 46 сорьцын 76.1% нь ундны усны MNS 0900:2018 стандартад ямар нэгэн үзүүлэлтээр нийцээгүй дүнтэй гарсан нь усны эх үүсвэрийн аюулгүй байдлыг хангах, хяналт-шинжилгээг тогтмолжуулах, сайжруулах шаардлагатайг харуулж байна.

Түлхүүр үгс: Газрын доорх усны чанар, Найрлага

1. ОРШИЛ

Хуурай, хагас хуурай бүс нутагт хүн амын унд, ахуйн усны гол эх үүсвэр нь газрын доорх ус юм [1]. Хуурай ба хагас хуурай газар нутаг дахь хөгжиж буй орнуудад газрын доорх усны чанар муудаж, усны нөөцөд хомсдол үүсэх нь эцэстээ тогтвортой хөгжилд сөргөөр нөлөөлдөг. Усны эх үүсвэр бохирдсоноор хүн, амьтан, усны амьтдын амьдрах орчин доройтож, хүний эрүүл мэндэд шууд ба шууд бусаар нөлөөлөх эрсдэлтэй [2].

Аливаа улс орны хөгжил дэвшилд нөлөөлөх үндсэн хүчин зүйлсийн нэг нь цэвэр, цэнгэг ус байдаг. Цэвэр цэнгэг усны нөөцийг нэмэгдүүлэх, бохирдож хомсдохоос хамгаалах, түүнийг зохистой ашиглах, усан орчны экосистемийг алдагдуулахгүй байх нь дэлхий нийтийн анхаарлын төвд байдаг чухал асуудал юм [3].

НҮБ-ын 2015 оны дээд чуулганаар хүн төрөлхтний өмнө тулгамдсан асуудлуудыг

шийдвэрлэхээр Тогтвортой Хөгжлийн 17 зорилтууд батлагдсаны 6-д “Баталгаат ундны ус, ариун цэврийн байгууламжаар хангах” зорилт тавигдсан байдаг [4]. Монгол улсын урт хугацааны хөгжлийн бодлого “Алсын хараа 2050”-д хүн амыг баталгаат ундны усаар хангах, Монгол улсын засгийн газрын 2019 оны 474 дүгээр тогтоол болон Орчны эрүүл мэндийн хөтөлбөрийг 2021-2024 онд хэрэгжүүлэх арга хэмжээний төлөвлөгөөнд “Ундны ус гүнний худгийн усны чанарын судалгаа хийх, цахим мэдээллийн систем байгуулах, усны чанарыг сайжруулах, тохирох техник технологийн шийдэл боловсруулах, суурилуулах” гэсэн зорилтуудыг тусгасан байдаг [5]. Нөгөөтэйгөөр манай улсын томоохон хот суурины гадаргын болон гүнний ус, хөрс, агаарын бохирдол стандартын зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээнээс давах тохиолдол байнга ажиглагдаж хүний эрүүл, аюулгүй орчинд амьдрах эрх зөрчигдөх болсон. Тиймээс байгаль орчны нөөц, баялгийг зохистой

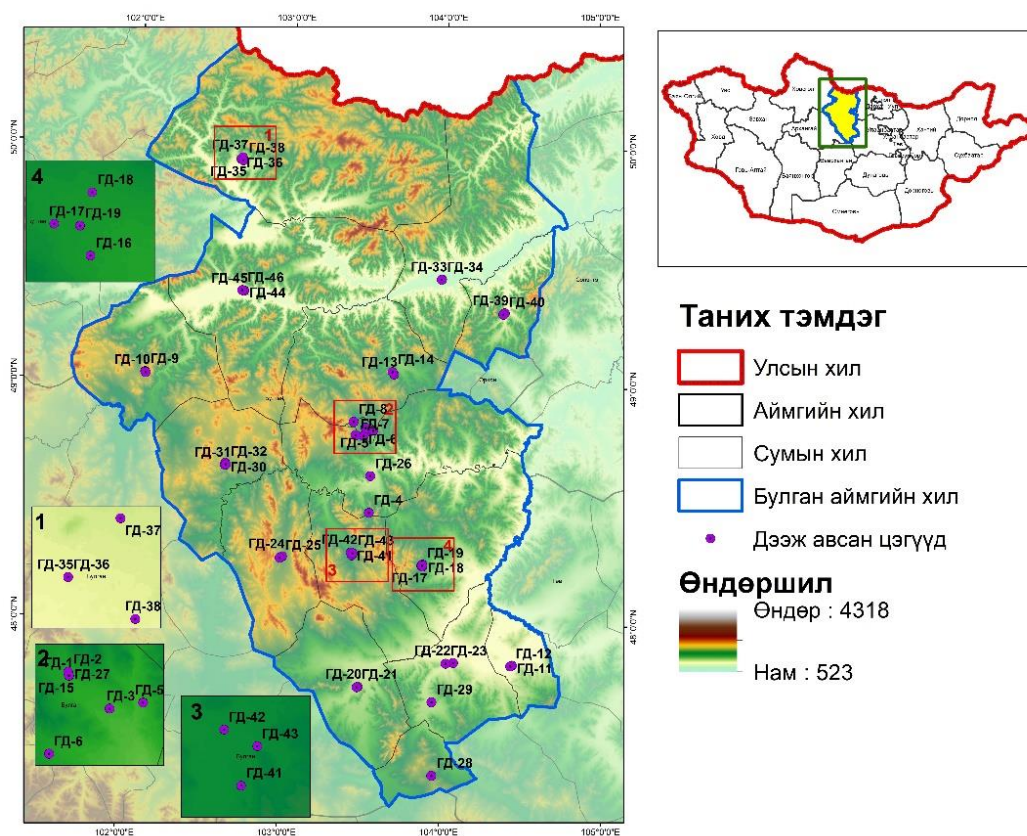
ашиглах, хамгаалах бодлого, чиглэлийг боловсронгуй болгоход усны нөөц, тархалт, усны чанар, бохирдлыг мэдэх, судлах, улмаар чанарын шаардлага хангахгүй байгаа төв суурин газрын хүн амын унд, ахуйд ашиглагдаж буй худгийн усны чанарыг сайжруулан, стандартын түвшинд нийцүүлэн ашиглах зайлшгүй шаардлага гарч байна. Хүн амыг найдвартай ус хангамжаар хангах нь тухайн орны засгийн газрын үүрэг, хүний үндсэн эрхэд хамаарах асуудал боловч хөдөө, орон нутгийн иргэдийн хувьд цэвэр усны хүртээмж хязгаарлагдмал байна. Иймд дээрх бодлого, төлөвлөлт, зорилтыг хэрэгжүүлэх үүднээс “Хот, суурины ус хангамж, ариутгах татуургын ашиглалт, үйлчилгээг зохицуулах зөвлөл”, ШУА-ийн “Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэн”-ийн судлаачид Булган аймгийн усны чанарын судалгааг 2022 онд хийж гүйцэтгэсэн бөгөөд судалгааны үр дүнд боловсруулалт хийж энэхүү өгүүлэлдээ оруулсан болно.

2. СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ

2.1. Судалгаа явуулсан талбай

Булган аймаг нь манай орны төв хэсэгт Хангайн бүс нутагт оршдог ба 4873300 га нутагтай, баруун, өмнө, зүүн, талаараа Хөвсгөл, Архангай, Өвөрхангай, Төв, Сэлэнгэ аймгуудтай хойд талаараа ОХУ-тай хиллэдэг. Улаанбаатар хотоос 318 км, бүсийн төв Эрдэнэт хотоос 68 км зайд

оршино. Хамгийн өндөр цэг нь Хантай нурууны оргил Давлин 2171 м, хамгийн нам дор газар нь Сэлэнгэ мөрний сав, Сүмийн булан, Ингэт толгой орчим далайн түвшингээс дээш 950 м байдаг. Булган аймгийн нутаг нь Сэлэнгэ мөрний сав газарт бүхэлдээ хамаардаг [10].



Зураг 1. Сорьц авсан цэгүүдийн байршил

Уур амьсгал нь эх газрын эрс тэс сэрүүвтэр чийглэг 1-р сарын дундаж температур нь Булган хотын орчимд -22.80, 7-р сард 16.50, үнэмлэхүй дулаан нь 34.8 хэм, үнэмлэхүй хүйтэн нь -44.10, жилийн дундаж тунадас 324 мм боловч, зарим жил 500 мм-с дээш байдаг. Салхины дундаж хурд 2.2 м/с, цасан бүрхүүлийн дундаж зузаан Булган орчимд 15-25 см, түрүүчийн цас 9-р сарын дундуур, сүүлийн цас 5-р сарын дундуур ордог. Хур бороо элбэгтэй учир агаар чийглэг, харьцангуй чийглэгийн жилийн дундаж 63 хувь байдаг [10].

2.2. Хээрийн болон лабораторийн судалгааны аргазүй

Уг судалгааг 2022 оны 10-р сард хийж гүйцэтгэсэн ба тус аймгийн төв болон 16 сумын ус хангамжийн эх үүсвэрийн 46 худгуудаас сорьц авсан бөгөөд судалгаанд 26-130 метрийн гүнтэй гүний худгууд хамрагдсан (Зураг 1).

Хээрийн судалгаагаар зарим физик үзүүлэлт болох усны температур ($T^{\circ}\text{C}$), усны орчин (pH), цахилгаан дамжуулах чадвар (ЦДЧ), нийт ууссан давс (TDS), исэлдэн ангижрах потенциал (ORP) зэрэг үзүүлэлтүүдийг Nach Multiparameter

(HANNA HI 98195), булингарыг (HANNA HI 93703) зэрэг зөөврийн багажаар тус тус хэмжиж тодорхойлсон. Үндсэн ионууд (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^{-} , HCO_3^{-} , CO_3^{2-}) болон исэлдэх чанар (ПИЧ)-ийг титрлэлтийн аргаар, NO_2^{-} , NO_3^{-} , NH_4^{+} , Fe^{3+} , SO_4^{2-} зэрэг ионуудыг спектрофотометр (DR1900) багажаар тус тус тодорхойлсон. Бичил элементүүд буюу хүнд металлуудыг олон улсын сүлжээ “SGS IMME” лабораторид индукцийн холбоост плазмын масс спектрометрийн (ICP-MS) багажаар, цацрагийн шинжилгээг МУИС, Цөмийн судалгааны төвийн лабораторид, микробиологийн шинжилгээг Газарзүй геоэкологийн хүрээлэнгийн Биоэкологийн лабораторид тус тус тодорхойлсон.

2.3. Үр дүнг боловсруулах

Усыг эрдэсжилт, хатуулгаар нь ангилсан олон ангилал байдаг. Судалгаанд хамрагдсан газрын доорх усны эрдэс, хатуулгийн зэрэгт үнэлгээ өгөхдөө дараах ангиллын дагууд ангилж, үнэлсэн болно (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Байгалийн усны эрдэсжилт, хатуулгийн ангилал

Эрдэсжилт, г/л	Хатуулаг, мг-экв/л
----------------	--------------------

Нэнцэнгэг	< 0.20	Маш зөөлөн	<1.50
Цэнгэг	0.21-0.50	Зөөлөн	1.51-3.00
Цэнгэгдүү	0.51-1.00	Зөөлөвтөр	3.01-5.00
Давсархаг	1.01-3.00	Хатуувтар	5.01-7.00
Давстай	3.01-7.00	Хатуу	7.01-9.00
Шорвог	>7.01	Маш хатуу	>9.01

Хүн амын ундны усны аюулгүй байдлыг хангах арга хэмжээг хууль эрхзүйн талаас нь дэлхийн бусад улс, орнуудад стандартаар зохицуулж өгсөн байдаг. Судалгаанд хамрагдсан газрын доорх усны чанарыг үнэлэхдээ Монгол улсад баримталж буй “Хүрээлэн буй орчин, эрүүл мэндийг хамгаалах аюулгүй байдал, Ундны ус эрүүл ахуйн шаардлага, түүнд тавигдах хяналт MNS 0900:2018 стандарттай харьцуулж үнэлэлт, дүгнэлт өгсөн [7].

2.4. Статистик ба үнэлгээний арга

SPSS 21 программаар физик, химийн үзүүлэлтүүдийн статистикийн хураангуйг болон нийт эрдэсжилт, хатуулгийн ангиллыг, Aquachem программыг усны химийн бүрэлдэхүүн, зарим бичил элементийн агууламжийн орон зайн тархалтыг илэрхийлэхэд ArcGIS программыг тус тус ашигласан.

3. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

3.1. Статистикийн дүн шинжилгээ

Физик, химийн голлох үзүүлэлтүүдийн хураангуйг **Хүснэгт 2**-т үзүүлэв. Усны орчин (pH)-ийн утга 7.13-8.06, дундаж утга 7.57, саармагаас сул шүлтлэг орчинтой, нийт сорьц нь MNS, 2018 стандартад нийцэж байна. Цахилгаан дамжуулах чанар (EC)-ийн утга 300-1188 $\mu\text{S}/\text{cm}$, дундаж утга

нь 499.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ба нийт сорьцын зөвхөн 2.17% нь MNS, 2018 (EC 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) стандартаас хэтэрсэн байна. TDS-ийн утга 165-713 мг/л хооронд хэлбэлзэж, дундаж утга 291.7 мг/л байна. TDS-ийн утга нь ундны усны стандартад нийцэж байна (**Хүснэгт 1**).

Үндсэн ионууд: Катионоос кальцийн (Ca^{2+}) ион нь 18-106 мг/л, дундаж утга нь 50.3 мг/л, магнийн (Mg^{2+}) ион нь 8.3-68.1 мг/л, дундаж утга нь 19.7 мг/л байна. Кальцийн зөвшөөрөгдөх хэмжээ нь 100 мг/л ба (MNS, 2018) нийт сорьцын зөвхөн 2.17% нь дээрх стандартаас хэтэрсэн үзүүлэлттэй байна. Магнийн (Mg^{2+}) ион нь 4 худгийн усанд MNS, 2018-ийн зөвшөөрөгдөх хязгаараас (MNS, 30 мг/л) хэтэрсэн, энэ нь нийт сорьцын 8.7%-ийг эзэлж байна. Натрийн (Na^{+}) 8.4-106.6 мг/л, дундаж утга нь 35.7 мг/л байна. Анионуудаас гидрокарбонатын (HCO_3^{-}) ион 174-354 мг/л, дундаж утга нь 248 мг/л, хлорын ион нь (Cl^{-}) 3.6-84 мг/л, дундаж утга нь 15.3 мг/л, сульфатын ион (SO_4^{2-}) 5-230 мг/л, дундаж утга нь 47.2 мг/л байна. Хлор, сульфат, натрийн ионууд нь MNS, 2018 стандартын шаардлага хангаж байна.

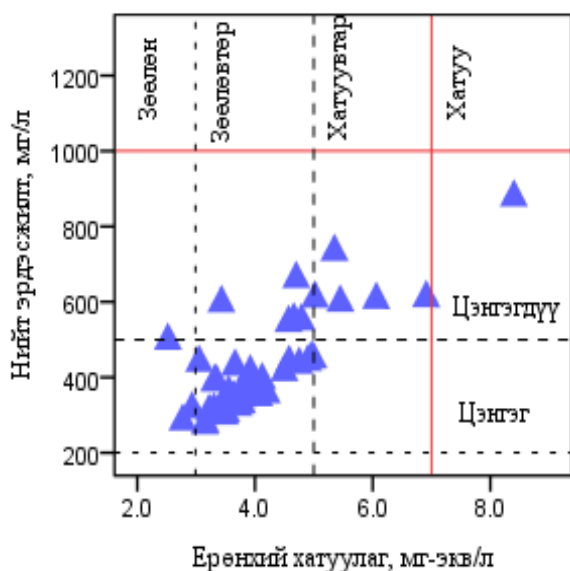
Эрдэс, хатуулаг: Нийт эрдэсжилтийн хэмжээг ундны усны стандарт MNS, 2018-д 1000 мг/л, хатуулгийн хэмжээг 7.0 мг-экв/л-ээс ихгүй гэж заасан байдаг. Эрдэсжилтийн хувьд цэнгэгээс давсархаг (эрдэсжилт 274-877 мг/л) устай байна. Нийт эрдэсжилтийн хувьд 21.7% нь цэнгэгдүү, 78.3 % нь цэнгэг устай ангилалд хамаарч байна.

Харин хатуулгийн хувьд зөөлнөөс хатуу (хатуулаг 2.52-8.4 мг-экв/л) устай байна. Судалгаанд хамрагдсан нийт сорьцын зөвхөн 2.17% нь хатуу, 10.9% нь хатуувтар, 80.4% нь зөөлөвтөр, 6.5% нь зөөлөн устай ангилалд тус тус хамаарч байна (**Зураг 2**).

Хүснэгт 2. Газрын доорх усны гол ионуудын статистик үзүүлэлт (n=46)

Үзүүлэлтүүд	Хамгийн бага утга	Хамгийн их утга	Дундаж	Стандарт хазайлт	MNS 0900:2018	Шаардлага хангаагүй,%
pH	7.1	8.0	7.5	0.1	6.5-8.6	-
Нийт эрдэсжилт, мг/л	273.8	877.0	428.7	132.9	1000.0	-
Ерөнхий хатуулаг, мг/л	2.5	8.4	4.1	1.1	7.0	2.1
EC, ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	300.0	1188.0	499.1	188.7	1000	2.1
TDS, (ppm)	165.0	713.0	291.7	115.9	-	-
Ca^{2+} , (мг/л)	18.0	106.2	50.3	14.1	100.0	2.1
Mg^{2+} , (мг/л)	8.3	68.1	19.7	10.2	30.0	8.7
Na^{+} , (мг/л)	8.4	106.6	35.7	28.4	200.0	-
HCO_3^{-} , (мг/л)	174.0	354.0	248.0	46.1	-	-
Cl^{-} , (мг/л)	3.6	84.0	15.3	16.8	350.0	-
SO_4^{2-} , (мг/л)	5.0	230.0	47.2	47.3	500.0	-
NO_3^{-} , (мг/л)	0.0	95.0	12.2	19.4	50.0	6.5
F, (мг/л)	0.2	3.5	1.2	0.9	0.7-1.5	65.0
U, (мкг/л)	1.0	58.1	9.3	13.4	30	8.7

Үзүүлэлтүүд	Хамгийн бага утга	Хамгийн их утга	Дундаж	Стандарт хазайлт	MNS 0900:2018	Шаардлага хангаагүй, %
Sr, (мкг/л)	239.0	231	696.5	509.6	2000.0	6.5
As, (мкг/л)	0.3	19.7	2.1	3.1	10	2.1
Be, (мкг/л)	0.1	2.8	0.2	0.5	0.2	6.5
Mn, (мкг/л)	5.0	123.0	7.6	17.4	100.0	2.1
²¹⁴ Pb, (Бк/л)	0.3	175.0	69.4	39.0	-	-
²¹⁴ Bi, (Бк/л)	0.5	218.0	90.3	51.9	-	-
²²² Rn, (Бк/л)	0.4	197.0	79.9	44.5	100.0	28.3

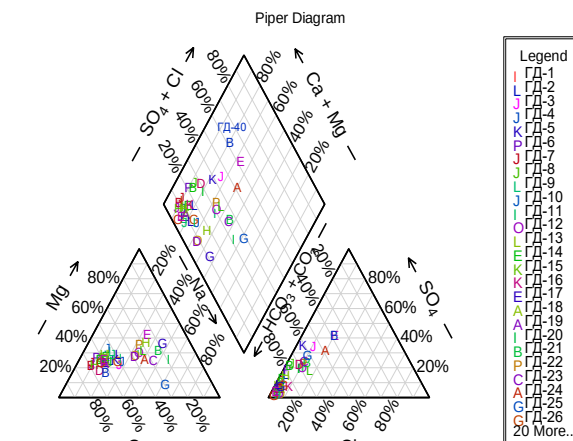


Зураг 2. Газрын доорх усны эрдэс, хатуулаг

Газрын доорх усны нийт эрдэсжилт, хатуулгийн орон зайн тархалтыг зураг 3а, б-д тус тус харуулав. Ерөнхийдөө аймгийн хойд талын сумдын ус нь цэнгэг, зөөлөн болон зөөлөвтөр устай байхад урд талын сумд болох Гурванбулаг, Дашинчилэн зэрэг сумдын ус нь цэнгэгдүү, хатуувтар болон хатуу устай байна (Зураг 2).

3.2. Гидрохимийн шинж

Газрын доорх усны сорьцод тодорхойлсон гол ионы концентрацийг (Piper 1944) гурвалсан диаграммаар үзүүлэв. Диаграммаас харахад судалгаанд хамрагдсан нийт сорьцын 69.6% нь Са-НСО₃ төрөл, 17.4 % нь Холимог-НСО₃, 10.9% нь Na-НСО₃, үлдсэн 2.2% нь S-C-Ca-Mg найрлагатай ус байна Анионы гурвалжны хувьд, 97.8% нь гидрокарбонатын ангийн ус байна (Зураг 3).



Зураг 3. Газрын доорх усны химийн бүрэлдэхүүн

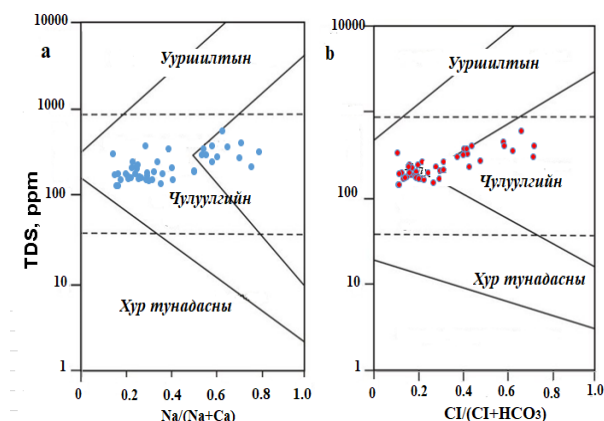
3.3 Персоны корреляцийн шинжилгээ

Гүний усны химийн найрлага нь Са²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻ зэрэг гол катион, анионуудаар тодорхойлогддог. Судалгааны дүнгээс харахад ерөнхий хатуулаг, TDS-ийн хэмжээ нь усны орчин pH-тай сөрөг хамааралтай ($r=-0.035$ $r=-0.314$) байна. TDS нь Na⁺ ($r=0.815$), Mg²⁺ ($r=0.830$), Cl⁻ ($r=0.902$), SO₄²⁻ ($r=0.889$) зэрэг голлох ионуудтай маш хүчтэй эерэг хамааралтай байгаа нь эдгээр ионууд усны нийт эрдэсжилтийн гол бүрэлдэхүүн хэсэг болж байгааг баталж байна. Үүний зэрэгцээ HCO₃⁻ ионтой дунд зэргийн корреляцитай ($r=0.462$) байгаа нь карбонатын бүлгийн ионууд усны химийн найрлагад тодорхой нөлөө үзүүлж буйг харуулж байна. Усан дахь магни (Mg²⁺) ба кальци (Са²⁺) ионууд ерөнхий хатуулагтай (ТН) хүчтэй холбоотой (Mg: $r=0.763$, Са: $r=0.640$) байгаа нь магни, кальци нь хатуулаг үүсгэх гол ионууд болохыг тодотгож байна. Мөн HCO₃⁻ ион нь Na⁺ ($r=0.558$) болон Mg²⁺ ($r=0.592$) ионуудтай мөн хүчтэй холбоотой байгаа нь усны буферийн систем, карбонат болон фторт минералуудын химийн урвалтай холбогдож байгааг харуулж байна. Фторын ион (F⁻) нь магни (Mg²⁺, $r=0.669$) ба натрийн (Na⁺, $r=0.788$) ионтой хүчтэй эерэг корреляцитай байхад кальци (Са²⁺) ионтой сөрөг хамааралтай ($r=-0.266$) байгааг онцлох нь чухал.

Энэ нь фтор кальцийн ионтой урвалд орж фторapatит ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$) зэрэг фторт карбонатын минералууд үүсэх процессын нөлөөг харуулж, усанд кальци бага байх үед фторын агууламж өсөж болохыг илэрхийлж байна. Эдгээр үр дүнг үндэслэн усны фторын агууламж өндөртэй бүс нутгууд нь усны химийн найрлагын карбонат-бууралт, кальци-магни фторт минералын урвал зэргээс шалтгаалан үүсдэг болохыг тайлбарлаж болох бөгөөд усны хатуулаг, TDS, магни, натрийн агууламжтай хүчтэй корреляци нь энэ холбоосыг илэрхийлж байна.

3.4. Ус, чулуулгийн харилцан үйлчлэл

Гиббсийн диаграмм нь усны химийн найрлагад нөлөөлж буй зонхилох геохимийн үйл явцыг (чулуулгийн уусалт, ууршилт, хур тунадасны оролцоо) ялган тодорхойлох үр дүнтэй хэрэгсэл юм [7]. Судалгаанд хамрагдсан гүний худгуудын химийн шинжилгээний дүнгээр Гиббсийн диаграмм байгуулан **Зураг 4-т** үзүүлэв.



Зураг 4. Гиббсийн диаграмм

Уг диаграммаас харахад гүний худгуудын ус нь бүгд чулуулаг давамгайлсан мужид оршиж байгаа бөгөөд ус чулуулгийн харилцан үйлчлэлд орж усны бүтэц, химийн найрлага тухайн орчны геологийн тогтоц болон чулуулгаас хамаарч байгааг харуулж байна. **Гибсс 1** буюу $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ харьцаа 0.1–0.8 хооронд хэлбэлзэж байгаа нь усны найрлагад кальцийн ион (Ca^{2+}) давамгайлж байгааг илтгэж байна. Харин $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ харьцаа 0.04–0.28-ийн хооронд байгаагаас харахад хлоридын агууламж харьцангуй бага, харин гидрокарбонатын ион (HCO_3^-) зонхилж байгааг илтгэж байна. Эдгээр харьцаанууд нь тухайн бүс нутгийн усны химийн найрлагад чулуулгийн уусалт давамгайлж, ялангуяа карбонат чулуулгийн өгөршил, CO_2 -ийн оролцоотой уусалтын процесс зонхилж байгааг харуулж байна. Усанд ууссан CO_2 нь H_2CO_3 болон

хувирч, улмаар CaCO_3 болон бусад карбонат эрдсийн уусалтыг хурдасгадаг. Үүний үр дүнд усанд Ca^{2+} болон HCO_3^- ионуудын агууламж нэмэгддэг.

Нийт дээжүүдэд HCO_3^- ион давамгайлж буй нь тухайн бүс нутагт усны системд хлоридын хуримтлалын геохимийн нөхцөл сул, харин карбонат чулуулгийн уусалт, CO_2 системийн оролцоо түлхүү үүрэг гүйцэтгэж байгааг илтгэнэ.

Түүнчлэн, $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ харьцангуй өндөр утгатай байгаа нь силикат эрдсийн өгөршил, мөн Ca^{2+} -ийг Na^+ -аар солих катион солилцооны процесс идэвхтэй явагдаж байгаагийн шинж тэмдэг илэрч байна. Энэ нь ус чулуулгийн харилцан үйлчлэл нь зөвхөн карбонат бус, мөн силикат эрдсийн оролцоотойгоор усны гидрогеохимийн найрлагад бодитой нөлөө үзүүлж буйг харуулж байна.

3.5. Бохирдолын үзүүлэлт

Шим бохирдолтын үзүүлэлтээс аммони, нитрит зэрэг ионууд нь харьцангуй бага агууламжтай илэрсэн, стандартын шаардлага хангаж байна. Нитратын агууламж (NO_3^-) 0.0–95.8 мг/л, дундаж утга нь 12.6 мг/л байна. Ундны усан дахь нитратын зөвшөөрөгдөх дээд хязгаар нь 50 мг/л (MNS, 2018) гэж заасан байдаг ба нийт сорьцын 6.5% нь ундны усны стандартад заасан хэмжээнээс 1.2–1.9 дахин их илэрсэн байна.

Фтор нь олон төрлийн усанд илэрч болох боловч газрын доорх усанд илүү өндөр агуулгатай илэрдэг. Энэ нь тухайн газар нутгийн чулуулгийн төрлөөс хамааран өөр өөр байдаг [3]. Фторын агууламж (F) 0.28–3.52 мг/л, дундаж утга нь 1.2 мг/л байна. Нийт 46 худгийн 18 нь буюу 39.1% нь фторын агууламж бага, 23.9 % нь фторын агууламж ихтэй байна. Шинжилгээний дүнгээс харахад фторын ион нь ундны усны стандартын зөвшөөрөх дээд MNS, 2018 ($F1.5 <$) хэмжээнээс 1.2–2.3 дахин их, харин доод хэмжээнээс ($F < 0.7$) 0.9–2.5 дахин бага илэрсэн байна. Булган аймгийн хойд талын сумдын (Хишиг-Өндөр, Бугат, Бүрэгхангай, Булган) ус нь цэнгэг, зөөлөн устай учир фторын агууламж бага илэрсэн бол голчлон урд талын сумдын (Гурванбулаг, Дашинчилэн, Рашаант) ус нь цэнгэгдүү, хатуувтар устай байгаа учир фторын агууламж өндөр илэрсэн байна.

Ураны агууламжийг ундны усны MNS, 2018 стандартад 30 мкг/л байхаар заасан байдаг. Ураны (U) агууламж нь 1.01–58.1 мкг/л, дундаж утга нь 9.3 мг/л байна. Шинжилгээний дүнгээс харахад уран нь 4 худгийн усанд (ГД 19, ГД 20, ГД 23, ГД

29) стандартад заасан хэмжээнээс 1.7-2.3 дахин их байна. Стронцийн агууламж нь (Sr) 239-2314 мкг/л, дундаж утга нь 696.5 мкг/л, 3 худгийн усанд (ГД 24, ГД 25, ГД 40) MNS, 2018 стандартаас 2.1-2.3 дахин их илэрсэн. Манган нь (Mn) 5.0-123 мкг/л хэлбэлзэлтэй илэрч, 1 худгийн усанд (ГД 20) стандартаас 1.2 дахин их илэрсэн байна. Биндэр (Be)-ийн агууламж нь 0.1-2.8 мкг/л хэлбэлзэлтэй илэрсэн ба нийт 3 худгийн усанд стандартаас 6-18 дахин илэрсэн байна.

Ураны хувьд төв болон хойд сумдын худгийн усанд ураны агууламж харьцангуй бага агууламжтай илэрсэн бол урд талын сумд болох Гурванбулаг, Дашинчилэн, Рашаант сумдын худгийн усанд өндөр агууламжтай илэрсэн байна. Хүнцэл (As) 0.38-19.7 мкг/л хооронд хэлбэлзэж илэрсэн ба Дашинчилэн сумын худгийн усанд стандартаас 1.97 дахин их, харин зүүн хойд сумд (Тэшиг, Сэлэнгэ, Хангал Баян-Агт)-ын худгийн усанд хүнцлийн агууламж харьцангуй бага, бол бусад сумдын худгийн усанд түүний агууламж стандартаас хэтрээгүй байна.

Стронцийн хувьд зүүн хойд талын Хангал сум, мөн баруун урд орших Могод сумын худгийн усанд хамгийн их илэрсэн, бусад сумдын худгийн усанд тодорхой хэмжээгээр илэрч ундны усны стандартаас хэтрээгүй байна.

Микробиологийн шинжилгээг 5 үзүүлэлтээр тодорхойлсон бөгөөд нийт 4 худаг буюу 8.5% нь ундны усны стандартын шаардлага хангаагүй байна. Үүнээс 3 худгийн усанд (ГД 17, ГД 19, ГД 22) нийт нянгийн тоо 110-210 ш илэрсэн ба ундны усны стандартаас 1-2.1 дахин их илэрсэн бол гэдэсний бүлгийн нийт нянгийн тоо нь 1 худгийн усанд 8 ш (ГД 29) илэрсэн, нянгийн бохирдолттой байна. Харин нийт гэдэсний савханцрын бүлгийн бактери, халуунд тэсвэртэй гэдэсний савханцрын бүлгийн бактери, *E.coli* болон *Salmonella* /гэдэсний бүлгийн эмгэг төрөгч нян/ илрээгүй.

Судалгаанд хамрагдсан газрын доорх усанд ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{238}U зэрэг цацрагийн аюулгүйн үзүүлэлтүүдийг тодорхойлоход радоны агууламж (0.4-197 Бк/л) нь 13 худгийн усанд стандартад заасан хэмжээнээс 1.01-1.92 дахин их илэрсэн байна. Бусад тодорхойлсон цацрагийн аюулгүйн үзүүлэлтүүд нь ундны усны MNS, 2018 стандартын шаардлага хангаж байна.

4. ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Булган аймгийн хэмжээнд худаг уст цэгийн судалгаа, шинжилгээ бусад аймгуудын нэгэн адил 1990-ээд оныг хүртэл төлөвлөгөөний дагуу

хийгдэж, тухайн үеийн Усны бодлогын хүрээлэнгийн фондоод хадгалагдан, 1995-1996 онд мэдээллийн сан үүсгэж эмхэтгэсэн байдаг ба сумын төвүүдийн худаг тодорхой хэмжээгээр хамрагдсан байдаг. Хуучнаар Геоэкологийн хүрээлэнгийн усны шинжилгээний лабораторийн архивын материалаас үзэхэд Булган аймгийн 6 сумын усны физик, химийн үзүүлэлтүүд нь “Хүрээлэн буй орчин, эрүүл мэндийг хамгаалах. Аюулгүй байдал. Ундны ус. Эрүүл ахуйн шаардлага, чанар, аюулгүй байдлын үнэлгээ “MNS 0900:2018” стандартын шаардлага хангаж байгаа бол 9 сумын ус нь бүгд магнийн ионы агууламжаараа ундны усны стандартын шаардлага хангахгүй, чанарын хувьд цэнгэгээс цэнгэгдүү, зөөлнөөс хатуувтар устай байна [8].

Мөн “Сэлэнгэ мөрний сав газрын нэгдсэн менежментийн төлөвлөгөө” боловсруулах судалгааны ажлыг хуучнаар Геоэкологийн хүрээлэнгийн судлаачид 2014 онд хийж гүйцэтгэсэн байна. Уг судалгаагаар тус аймгийн Хангал сумын усны эрдэсжилт 407.6-732.1 мкг/л, хатуулаг 4.5-10.5 мг-экв/л буюу чанарын хувьд цэнгэгээс цэнгэгдүү, зөөлөвтөрөөс маш хатуу устай байхад нэг уст цэгт буюу Арц суурь малчны бүлгийн (49°06'52.2", 104°20'04") координаттай худгийн усны кальци, магни, ерөнхий хатуулаг нь ундны усны стандарт MNS, 2018-д заасан хэмжээнээс давсан үзүүлэлттэй байна.

Бугат сумын усны эрдэсжилт 390.7-521.4 мкг/л, хатуулаг 2.5-7.2 мг-экв/л буюу чанарын хувьд цэнгэгээс цэнгэгдүү, зөөлнөөс хатуу устай байхад Өгөөмөр малчны бүлгийн 49°08'29", 103°39'41" координаттай худгийн ус нь магни болон ерөнхий хатуулгийн хэмжээ нь ундны усны стандартаас давсан үзүүлэлтэй байна. Сэлэнгэ сумын 49°21'03.7", 104°06'42" солбицолд авсан худгийн усны эрдэсжилт 351.5 мкг/л, хатуулаг 3.8 мг-экв/л, усны орчин 7.5 байв. Баян-Агт сумын төвийн худгийн усны эрдэсжилт 420.8 мкг/л, хатуулаг 5.2 мг-экв/л, химийн бүрэлдэхүүнээрээ гидрокарбонатын ангийн, магни-кальцийн бүлгийн, 2-р төрлийн, цэнгэг, хатуувтар, магнийн ион ундны усны стандартад заасан хэмжээнээс бага зэрэг их байжээ [9].

Усны бодлогын хүрээлэн болон Эрүүл ахуй халдвар нян судлалын улсын институт, НЭМХ 1960-1992 болон 2006-2008 онуудад Монгол улсын хэмжээнд анх удаа нийт 338 суурийн газрын хүн амын унд, ахуйн хэрэгцээнд ашиглагдаж буй усны эх үүсвэрээс нийт 6060 сорьц авч нийт эрдэсжилт хатуулаг, кальци, магни, хлор, сульфат, гидрокарбонат гэсэн 8 үзүүлэлтээр сум, аймаг,

улсын дундаж дүнг гаргасан байдаг. Энэхүү судалгаагаар Булган аймгийн хувьд эрдэсжилт дунджаар 200-500 мг/л, хатуулаг 3.66 мг-экв/л, магни 11 мг/л, кальци 26-100 мг/л, хлор 350 мг/л-ээс бага, сульфат 150 мг/л-ээс бага гэж дурдсан байна [3].

5. ДҮГНЭЛТ

Судалгааны хүрээнд Булган аймгийн Засаг даргын Тамгийн газар, “Булган Мээж” ХХК-тай хамтран тус аймгийн ус хангамжийн эх үүсвэрүүд, 16 сумын төвийн худгийн усанд усны чанарын судалгааг физик-химийн, изотопийн, микробиологийн, бичил элементийн гэсэн 88 үзүүлэлтээр дэлгэрэнгүй шинжилгээ хийж, судалгааны үр дүнд үндэслэн дараах дүгнэлтүүдийг хийв. Үүнд:

1. Судалгаанд хамрагдсан нийт 46 худгаас 11 нь буюу 23.9% нь бүх үзүүлэлтээрээ MNS 0900:2018 “Ундны ус. Эрүүл ахуйн шаардлага, чанар, аюулгүй байдлын үнэлгээ” стандартад бүрэн нийцэж байна. Харин 35 худаг буюу 76.1% нь нэг болон түүнээс дээш үзүүлэлтээр ундны усны стандартаас хэтэрсэн буюу нийцэхгүй дүнтэй гарсан байна. Энэ нь хүн амын ундны усны аюулгүй байдлыг хангахад анхаарах шаардлагатайг илтгэнэ.

ЗӨВЛӨМЖ

1. Фторын агууламж багатай худгийн усыг өдөр тутамдаа хэрэглэх нь шүдний карьес буюу шүд цоорох өвчлөлд өртдөг тул хэрэглэгчид аль болох фторжуулсан нэмэлт бүтээгдэхүүн хэрэглэж, шүдээ хамгаалж байх хэрэгтэй. Фторын агууламж ихтэй усыг өдөр тутамд хэрэглэх нь шүдний флюороз, шүд шарлах, цоохортохоос гадна ясны флюорозид өртдөг. Иймд фторын агууламж өндөртэй ус хэрэглэгчид аль болох фторжуулсан бүтээгдэхүүн (фторжуулсан оо зэрэг) хэрэглэхээс татгалзах хэрэгтэй.
2. Кальци, магнион ион стандартаас давсан худгуудад катионитон шүүх материал бүхий ус зөөлрүүлэх төхөөрөмж тавьж усны чанарыг сайжруулж, зөөлрүүлж хэрэглэхийг зөвлөж байна.
3. Эрдэсжилт ихтэй давсархаг, хатуу устай худгууд болон нитратын бохирдолтой, бичил

Бидний хийсэн судалгааны дүн дээрх судлаачдын судалгааны үр дүнгүүдтэй ерөнхийдөө нийцэж байна. Гэвч өмнөх судалгааны үр дүнг үзэхэд чанарын ерөнхий шинжилгээг хийсэн бол бид энэ удаагийн судалгаагаараа илүү өргөн хүрээнд олон төрлийн үзүүлэлтээр усны чанар, бохирдлыг үнэлсэн нь шинэлэг бөгөөд давуу талтай байв.

2. Сүүлийн жилүүдэд зарим сумдад “ухаалаг худаг” нэвтрүүлж, картаар ус түгээх дэвшилтэт шийдэл нэвтрүүлсэн боловч эдгээр худгийн усан сангийн ус тодорхой түвшинд хүрмэгц автоматаар дүүргэгддэг технологийн онцлог нь бохирдол үүсэх эрсдэлийг нэмэгдүүлж байна. Судалгаагаар эдгээр худгийн усанд нийт нян болон гэдэсний савханцар (*Escherichia coli*) илэрсэн нь уг эрсдэлийг нотолж байна.
3. Ундны усны чанарын зарим үзүүлэлт MNS 0900:2018 стандартаас хэтэрсэн тохиолдолд улирлын давтамжтайгаар нарийвчилсан шинжилгээ хийх, ус цэвэршүүлэх арга хэмжээ авах, шаардлагатай тохиолдолд усан хангамжийг сайжруулах техник, технологийн шийдэл нэвтрүүлэх нь зүйтэй юм. Энэ нь хүн амын эрүүл мэндийг хамгаалах, ундны усны аюулгүй байдлыг хангахад чухал ач холбогдолтой.

элементүүд (уран, стронци, манган) стандартаас давж илэрсэн худгуудад мембран болон түүнтэй адилтгах шүүх материал бүхий технологиор усны чанарыг сайжруулж илүүдэл элементийг бууруулж хэрэглэх нь зүйтэй.

4. Бичил амьсгалын үзүүлэлтээрээ шаардлага хангахгүй худгийн усыг унданд шууд хэрэглэхэд тохиромжгүй бөгөөд буцалгаж хэрэглэх шаардлагатай. Мөн тухайн худгийн усанд ариутгал, халдваргүйжүүлэлт хийсний дараа дахин бичил амьсгалын шинжилгээнд хамруулж унданд хэрэглэхийг зөвлөж байна.
5. Радон нь (^{222}Rn) 3.82 хоногийн хагас задралын хугацаатай байдаг тул түүний агууламжийг бууруулахын тулд ус нөөцлөх саванд хадгалж бууруулах боломжтой бөгөөд хүчилтөрөгчжүүлэх нь радонг зайлуулах нь практикт хамгийн тохиромжтой арга юм.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг хамтран хийсэн, санхүүжүүлсэн “Хот, суурины ус хангамж, ариутгах татуургын ашиглалт, үйлчилгээг зохицуулах зөвлөл”-ийн хамт олонд болон хамтран ажилласан ГГХүрээлэнгийн усны нөөц, ус

ашиглалтын салбарын хамт олонд талархсанаа илэрхийлье.

АШИГЛАСАН НОМ, ХЭВЛЭЛ

- [1] Байгаль орчин, ногоон хөгжлийн яам, Улсын усны нөөцийн нэгдсэн менежментийн төлөвлөгөө боловсруулахад зориулсан судалгааны эмхэтгэл, Хоёрдугаар дэвтэр, Улаанбаатар, 2012.
- [2] ШУА-ийн Газарзүй, Геоэкологийн хүрээлэн, “Хэрлэн голыг бохирдуулагч эх үүсвэрүүдийг зайнаас тандах, хиймэл дагуулын мэдээ ашиглан мониторинг, үнэлгээ хийх технологийн судалгааг хөгжүүлэх” судалгааны явцын тайлан, Улаанбаатар, 2023.
- [3] Хот, суурины ус хангамж, ариутгах татуургын ашиглалт, үйлчилгээг зохицуулах зөвлөл; ШУА-ийн Газарзүй, Геоэкологийн хүрээлэн, *Булган аймгийн төв болон сум суурин газрын ундны усны чанарын судалгаа, дүгнэлт, зөвлөмж*, “Гарьд Дизайн” хэвлэх үйлдвэр, Улаанбаатар, 2022.
- [4] Байгаль орчин, аялал жуулчлалын яам (БОАЖЯ), *Хөгжлийн түлхүүр – ус*, “Сэлэнгэ Пресс” хэвлэх үйлдвэр, х. 229, ISBN 978-99978-3-505-5, 2018.
- [5] Монгол Улсын Их Хурал, *“Алсын хараа-2050” Монгол улсын урт хугацааны хөгжлийн бодлого*, 52 дугаар тогтоолын 1 дугаар хавсралт, 2020.
- [6] Стандарт, хэмжилзүйн газар, Ундны ус – Эрүүл ахуйн шаардлага, түүнд тавих хяналт, MNS 0900: 2018.
- [7] R. J. Gibbs, “Mechanism controlling world water chemistry,” *Science*, vol. 170, pp. 1088–1090, 1970, <https://doi.org/10.1126/science.170.3962.1088>.
- [8] Геоэкологийн хүрээлэн, Булган аймгийн инженерийн хийцтэй худгуудын гидрогеологи, техникийн үндсэн үзүүлэлтүүд: төслийн тайлан, Улаанбаатар, 1998.
- [9] Геоэкологийн хүрээлэн, Сэлэнгэ аймгийн усны нөөцийн нэгдсэн менежментийн төлөвлөгөө: төслийн тайлан, Улаанбаатар, 2014.
- [10] Үндэсний статистикийн хороо, *Булган аймгийн хүн ам, нийгэм, эдийн засгийн*

үзүүлэлтүүдийн
<https://www.1212.mn>.

нэгдсэн

дүн,