

Assessing Groundwater Quality, and Non-Carcinogenic Health Risks from Fluoride and Nitrate Contamination: A Case Study in the Kherlen River Basin, Mongolia

Togtokh Enkhjargal^{1,*}, Enkhbaatar Uchral², Batdelger Odsuren¹, Zorigt Byambasuren¹, Sukhbaatar Chinzorig¹, Batsukh Munkhtur¹

¹*Division of Water Resources and Water Utilization, Institute of Geography and Geo-Ecology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia.*

²*Department of Meteorology and Hydrology, School of science National University, Ulaanbaatar, Mongolia*

*Corresponding author email * enkhjargalt@mas.ac.mn

<https://orcid.org/0000-0002-3563-5917>

Received: 29 September 2023 / Accepted: 12 December 2023 / published online: 28 December 2023

ABSTRACT

In arid and semi-arid regions, where groundwater serves as the main source of drinking and domestic water for the population. Continuous consumption of water that does not meet drinking water standards can have a negative effects on human well-being. The purpose of this study is to investigate the quality and composition of groundwater in the Kherlen river basin, as well as to estimate the risk of non-cancerous diseases caused by fluoride and nitrate pollution to human health. Fieldwork was conducted in June 2023, and a total of 37 samples were collected and analyzed from the deep and shallow groundwater in the study area. Water quality (major ions) was analyzed according to approved standard methods and procedures. The assessment of non-carcinogenic health risks rising from nitrate and fluoride in different age groups (infants, children, and adults) using the methodology outlined by the United States Environmental Protection Agency (USEPA). The findings revealed that 73% (27 out of 37 samples) failed to meet the requirements outlined in the drinking water standard MNS 0900:2018 and the World Health Organization (WHO) recommendations for various parameters, including pH, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), fluoride, nitrate, total hardness, calcium, and magnesium. Specifically, 43.2% of all samples exhibited fluoride concentrations higher (ranging from 1.57 to 7.9 mg/l) than the MNS 0900:2018 and WHO-recommended levels (0.7-1.5 mg/l). Moreover, 21.6% fell below the specified limits, registering fluoride concentrations ranging from 0.29 to 0.67 mg/l. The nitrate concentration in the studied wells ranged from 1.0 to 582.3 mg/l, with 24.3% of all samples exceeding the MNS 2018 standard (50 mg/l) and only 2.7% surpassing the WHO-recommended limit of 45 mg/l. Human health risk indices (HI) were calculated for different age groups. The resulting HIs ranged from 0.182 to 12.985 for adult males, 0.224 to 22.209 for females, and 0.261 to 28.582 for children. Notably, 78.34% of children, 67.57% of adult women, and 64.86% of men exhibited HI values greater than 1, indicating a potential risk to human health posed by fluoride and nitrate-induced non-carcinogenic diseases.

Keywords: *Groundwater consumption, fluoride, nitrate, health risk*

Газрын доорх усны чанар, фтор болон нитратын хүний эрүүл мэндэд учирч болзошгүй эрсдэлийн судалгаа: Хэрлэн голын сав газрын жишээн дээр

Энхжаргал Тогтох*, Учрал Энхбаатар², Одсүрэн Батдэлгэр¹, Бямбасүрэн Зоригт¹, Чинзориг Сүхбаатар¹, Мөнхтөр Батсүх¹

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

²Цаг уур судлалын тэнхим, Шинжлэх ухааны сургууль, МУИС, Улаанбаатар, Монгол

Холбоо барих зохиогчийн цахим хаяг enkhjargalt@mas.ac.mn

<https://orcid.org/0000-0002-3563-5917>

Хүлээн авсан: 2023 оны 09 сарын 29 өдөр / Зөвшөөрөгдсөн: 2023 оны 12 сарын 12 өдөр / Нийтлэгдсэн: 2023 оны 12 сарын 28 өдөр

ХУРААНГУЙ

Хуурай, хагас хуурай бүс нутагт газрын доорх ус нь хүн амын унд, ахуйн усны гол эх үүсвэр болдог. Чанарын шаардлага хангаагүй усыг тогтмол хэрэглэх нь хүний эрүүл мэндэд сөргөөр нөлөөлдөг. Энэхүү судалгааны зорилго нь Хэрлэн голын татамд орших газрын доорх усны чанар, найрлагыг судлахаас гадна фтор, нитратын бохирдлоос үүдэлтэй хүний эрүүл мэндэд учруулж болзошгүй хавдрын бус өвчлөл үүсгэх эрсдэлийг тооцоход оршино. Тус судалгааны хээрийн ажлыг 2023 оны 6-р сард хийж гүйцэтгэсэн бөгөөд судалгааны талбайд орших гүний болон бага гүний газрын доорх уснаас нийт 37 сорьц цуглуулан шинжлэн дүгнэлээ. Усны чанарыг (үндсэн ионууд) батлагдсан стандарт арга, аргачлалын дагуу шинжилсэн ба фтор, нитратын хавдрын бус өвчлөл үүсгэх эрсдэлийн хор аюулын үзүүлэлт (HQ) болон хор аюулын индексийг (HI) АНУ-ын байгаль орчныг хамгаалах агентлаг (USEPA 2018)-ийн стандарт аргын дагуу янз бүрийн насны бүлгүүдэд тооцлоо. Судалгааны дүнгээр нийт 37 сорьцоос 27 нь буюу 73% нь рН, ЕС, TDS, фтор, нитрат, нийт хатуулаг, кальци, магни зэрэг үзүүлэлтүүдээр ундны усны стандарт MNS 0900:2018 болон ДЭМБ (2017)-ийн зөвлөмж стандартын шаардлага хангахгүй байна. Фторын агууламжаар нийт сорьцын 43.2% нь MNS 0900:2018 болон ДЭМБ (0.7-1.5)-ын зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс их (F 1.57-7.9 мг/л), 21.6% нь бага (F 0.29-0.67 мг/л) байна. Ундны усан дахь нитратын агууламжийг MNS 2018 стандартад 50 мг/л, ДЭМБ-ийн зөвлөмжид 45 мг/л гэж заасан байдаг бөгөөд судалгаанд хамрагдсан худгуудад нитрат (NO₃⁻)-ын агууламж 1.0-582.3 мг/л илэрсэн. Энэ нь нийт сорьцын 24.3% нь MNS 2018 стандарт, 2.7% нь ДЭМБ-ийн зөвлөмжид заасан хязгаараас хэтэрсэн байна. Хор аюулын чанарын индекс (HI)-ийн тооцоогоор HI нь насанд хүрсэн эрэгтэйд 0.182-12.985, эмэгтэйд 0.224-22.209, хүүхдэд 0.261-28.582-ын хооронд байна. Фтор, нитратаас шалтгаалсан хавдрын бус өвчлөл үүсгэх HI-ийн утга нь насны бүлгүүдэд ялгаатай байна. HI нь хүүхдэд 78.34%, насанд хүрсэн эмэгтэйчүүдэд 67.57%,

эрэгтэйчүүдэд 64.86% нь ($HI > 1$)-ээс дээш их байгаа нь хүний эрүүл мэндэд эрсдэл учруулах магадлал өндөр байна.

Түлхүүр үгс: Газрын доорх усны хэрэглээ, фтор, нитрат, эрүүл мэндийн эрсдэл

1. ОРШИЛ

Монгол орны хувьд газрын доорх нийгэм эдийн засгийн бүх салбарт ашиглагддаг чухал усны эх үүсвэр юм. Ихэнх нутгаар ялангуяа говь хээрийн бүсэд гадаргын ус хомс учир малчид газрын доорх усыг ашигладаг. Газрын доорх ус нь чанарын хувьд ч ундны усны баталгаатай эх үүсвэр болдог [1]. Усны нөөцийг нэмэгдүүлэх, бохирдож хомсдохоос хамгаалах, түүнийг зохистой ашиглах, усан орчны экосистемийг алдагдуулахгүй байх нь дэлхий нийтийн анхаарлын төвд байдаг чухал асуудлын нэг юм [1]. Хүн амын өсөлт, хот суурин газрын тэлэлт, үйлдвэр, хөдөө аж ахуй, уул уурхайн хөгжил нэмэгдэхийн хэрээр энэ нь хүрээлэн буй байгаль орчинд сөрөг нөлөө үзүүлж, экологийн тэнцвэрт байдал алагдахад хүргэдэг. Усны бохирдол нь ихэвчлэн дутуу цэвэрлэсэн бохир ус, үйлдвэрийн хог хаягдал, газар тариалангийн талбайгаас хөрсөөр угаагдах бохир, мал аж ахуй, үйлдвэр, хот суурин газрын тэлэлт зэргээс шалтгаалан үүсдэг. Манай улсын томоохон хот сууринууд голуудын хөндий дагууд байршдаг тул хөрс, агаарын болон усны бохирдол стандартын зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээнээс давах тохиолдол байнга ажиглагдаж, хүний эрүүл аюулгүй орчинд ажиллаж амьдрах эрх зөрчигдөх болсон. Усны эх үүсвэр бохирдсоноор амьд организмын амьдрах орчин доройтож, хүний эрүүл мэндэд шууд ба шууд бусаар нөлөөлж болно [2].

Усны чанарын судалгаанд үндсэн (макро) элементүүдээс гадна дагалдах микроэлементүүдийг (F, Mn, Fe, Cu, Zn, Ni, I) судалж байна. Зарим дагалдах элементүүд ихэвчлэн усаар дамжиж

хуримтлагддаг ба эдгээрийн нэг нь фтор юм. Газрын доорх усан дахь фтор нь байгалийн юм уу геогенийн болон хүний оролцооноос үүдэлтэй бөгөөд ихэнх нь геогенийн эх үүсвэрээс бүрддэг [3]. Фтор нь тухайн бүс нутагт тархсан хайлуур жонш болон фосфоритийн хүдрийн орд илэрц, мөн галт уулын дэлбэрэх үйл ажиллагааны төгсгөлийн үед үүссэн уулын чулуулгууд газрын доорх усан дахь фторыг нэмэгдүүлэх үндсэн эх үүсвэр болдог [4].

Фтор нь ундны ус болон янз бүрийн хүнсний эх үүсвэрт байдаг зайлшгүй шаардлагатай бичил тэжээл юм. Гэвч фтор нь бие махбодод ашиг тустай хэдий ч хортой нөлөө үзүүлдэг. Шүдний флюороз, шүд шарлах, хөл, мөр өвдөх, яс мушгирах, гажиг үүсэх зэрэг хүндрэлүүд нь газрын доорх усан дахь фторын өндөр агууламжаас үүдэлтэй байдаг [5, 10]. Ундны ус дахь фторын агууламж нь 0.5 мг/л-ээс бага концентрацитай үед шүд цоорох, 1.5-5 мг/л концентрацид флюороз, 5-40 мг концентрацитай үед ясны флюороз зэрэг хэд хэдэн сөрөг үр дагаварт хүргэдэг. Фтороор бохирдсон уснаас үүдэлтэй бусад эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөө нь мэдрэлийн эмгэг, хорт хавдар, үе мөчний үрэвсэл, бамбай булчирхай, үргүйдэл, цусны даралт ихэсгэдэг [5]. Мөн Япон улсын судлаач Кавахара ундны усан дахь фторын агууламж 3.5 мг/л-ээс их байх тохиолдолд хүүхдийн биеийн өсөлт хөгжилт удааширдаг бол 10 мг/л агууламжтай ус хөгжилтийг зогсоодог болохыг судлан тогтоосон байдаг [4].

Нитрат нь байгалийн болон хүний үйл ажиллагааны улмаас газрын доорх усанд тархсан бохирдуулагчийн нэг юм. Бордоо хэрэглэх, хог хаягдлыг

зүй бусаар зайлуулах, бохир ус, газар тариалангийн урсац зэрэг хүний үйл ажиллагаа нь газрын доорх усны нөөцийг нитратаар бохирдуулахад ихээхэн хувь нэмэр оруулдаг. Ундны усанд нитратыг удаан хугацаагаар хэрэглэх нь нярайд метгемоглобинеми (хөх нярайн синдром) үүсгэдэг [6]. Гүний ус дахь нитратын өндөр концентраци нь жирэмсэн эмэгтэйчүүд, хүүхэд, нярай хүүхдүүд өндөр эрсдэлтэй байдаг [7]. Нитратаар бохирдсон усыг удаан хугацаагаар хэрэглэх нь бамбай булчирхайн эмгэг, тератогенез, үргүйдэл, мутагенез гэх мэт өвчлөлийг үүсгэдэг [8]. Иймд хүний эрүүл мэндийг хамгаалах үүднээс зарим улс оронд ундны ус дахь нитратын (NO_3) агууламжийг зохицуулсан байдаг. Тухайлбал, Европын холбоо ундны усанд агуулагдах NO_3 -ын хязгаарыг 50 мг/л, Хятад улс 20 мг/л, ДЭМЗ 10 мгN/л байдаг.

Манай улсын хувьд Байгаль орчин, ногоон хөгжлийн сайд, Эрүүл мэндийн сайд, Онцгой байдлын ерөнхий газрын даргын 2012 оны 10 дугаар сарын 25-ны өдрийн А-50/378/565 дугаар хамтарсан тушаалын 2 дугаар хавсралтад хүний эрүүл мэндэд учруулах эрсдэлийн үнэлгээг тооцох журам баталсан байдаг. Энэхүү журамд заасан арга, аргачлал нь (USEPA 2018)-ийн аргаар тооцсон байдаг тул бид судалгааны ажилдаа хорт хавдар үүсгэдэггүй хүний эрүүл мэндийн эрсдэлийн үнэлгээг АНУ-ын Байгаль орчныг хамгаалах агентлаг (USEPA 2018)-ийн энэхүү аргыг сонгон авч судалгаандаа ашигласан болно. Бусад орны судлаачид төрөл бүрийн бохирдлоос үүдэлтэй хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх хавдрын бус өвчлөл үүсгэх эрсдэлийг үнэлэхдээ ихэвчлэн АНУ-ын байгаль орчныг хамгаалах агентлаг (USEPA 2018)-аас гаргасан стандарт аргаар тооцсон байдаг. Янз бүрийн насны бүлгүүдийн эрсдэлийн түвшин нь хүүхэд, насанд хүрэгчдийн хувьд ихээхэн ялгаатай байдаг ба насанд хүрэгчидтэй

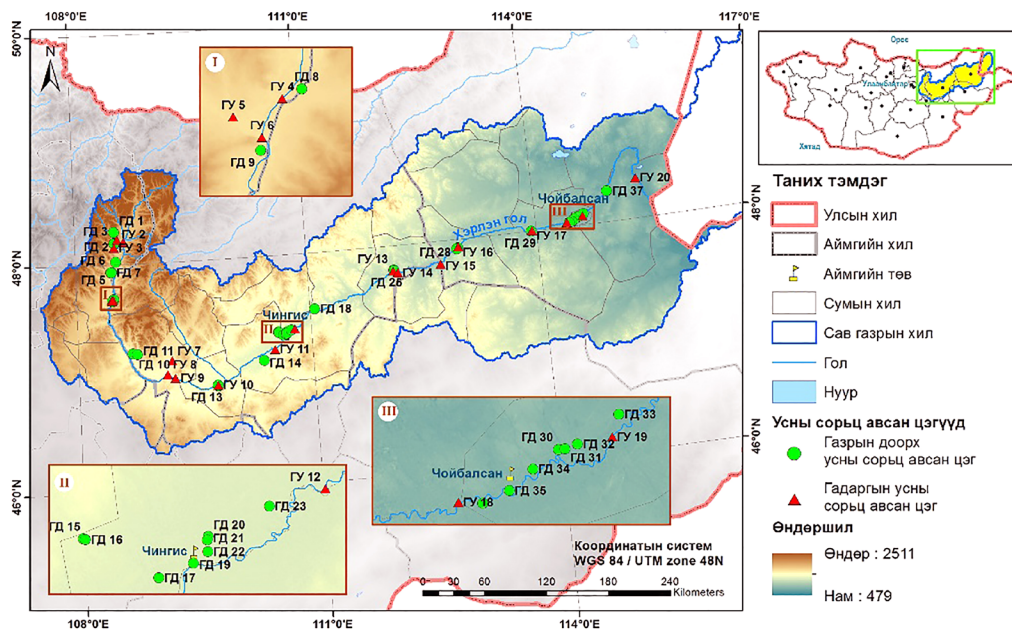
харьцуулахад хүүхэд бохирдуулагчийн сөрөг нөлөөнд бага эсэргүүцэлтэй байдаг тул бохирдолд маш өртөмтгий байдаг байна [9]. Фтор ба нитратын бохирдол нь гадаргын устай харьцуулахад гүний усанд ерөнхийдөө өндөр агууламжтай байдаг. Бохирдсон усны хордлого нь залгих, арьсанд хүрэх гэсэн хоёр замаар дамждаг. Арьсанд өртөх зам нь амаар өртөх замтай харьцуулахад маш бага гэж тооцогддог [10].

Хүрээлэн буй байгаль орчны тулгамдсан асуудлыг шийдвэрлэх гол арга зам нь сөрөг нөлөөллийг урьдчилан тогтоох, хяналт шинжилгээ хийж, үнэлээ өгөх замаар түүнийг бууруулах явдал юм. Иймд бид Хэрлэн голын татамд орших газрын доорх усны чанарыг судалж, үнэлэлт өгөхөөс гадна насанд хүрэгчид (эрэгтэй, эмэгтэй), хүүхэд гэсэн янз бүрийн насны бүлгүүдэд фтор, нитратын бохирдлоос үүдэлтэй хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх хавдрын бус өвчлөл үүсгэх эрсдэлийг тооцож үнэлгээ өгөхийг зорьсон.

2. СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ

2.1. Судалгааны талбай

Хэрлэн голын сав газар нь Монгол орны зүүн хэсэгт, эдийн засгийн Төв, зүүн бүсэд, Дорнод, Дорноговь, Хэнтий, Төв, Сүхбаатар зэрэг хэд хэдэн аймгийн нутгийг дамнан оршино. Тус сав газар нь Монгол улсын газар нутгийн 6.9%-ийг хамардаг манай орны усны томоохон сав газруудын нэг юм [1]. Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд Хэрлэн голын дагууд газрын доорх усны чанар, бохирдлын түвшнийг илэрхийлж чадахуйц ашиглалт ихтэй, хүн ам үйлдвэрлэл үйлчилгээний газрууд төвлөрсөн сум, суурин газруудын ус хангамжийн болон нийтийн эзэмшлийн, газар тариалан, уул уурхайн ашиглагдаж буй гар болон гүний худгуудыг сонгон авсан (Зураг-1).



Зураг 1. Сорьц авах цэгүүдийн байршил

2.2. Хээрийн болон лабораторийн судалгааны аргазүй

2023 оны 6-р сард газрын доорх усны нийт 37 сорьц цуглуулсан бөгөөд 3-100м-ийн гүнтэй хурднуудыг судалгаанд хамруулсан (Зураг-1). Сорьц бүрийг 15 минутын турш шавхалт хийсний дараа авсан. Хээрийн судалгаагаар усны температур (ТС), усны орчин (рН), цахилгаан дамжуулах чадвар (ЦДЧ), нийт ууссан давс (TDS), исэлдэн ангижрах потенциал (ORP) зэрэг үзүүлэлтүүдийг Nach Multiparameter (HANNA HI 98195), булингарыг (HANNA HI 93703) зөөврийн багажаар хэмжсэн. ШУА-ийн Газарзүй, Геоэкологийн хүрээлэнгийн Усны шинжилгээний лабораторид ерөнхий химийн шинжилгээг хийсэн. Титрлэлтийн аргаар үндсэн ионууд (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-}), ерөнхий хатуулаг, исэлдэх чанар (ПИЧ), NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , Fe^{3+} , SO_4^{2-} ионуудыг зөөрийн спектрофотометр

(DR1900), Na^+ , K^+ ионыг “SGS IMME” ХХК-ийн лабораторид индукцийн холбоост плазмын масс спектрометрийн (ICP-MS) багажаар тус тус шинжилсэн.

2.3 Фтор ба нитратаас үүдэлтэй эрүүл мэндийн эрсдэлийн тооцоо

Хорт хавдар үүсгэдэггүй хүний эрүүл мэндийн эрсдэлийн үнэлгээг АНУ-ын Байгаль орчныг хамгаалах агентлаг (USEPA 2018)-ийн аргын дагуу тооцсон. Фтор, нитратын хоруу чанарын коэффициент (RfD)-г АНУ-ын Байгаль орчныг хамгаалах агентлаг (USEPA 2018)-ийн гаргасан үр дүнгээр тооцсон [11].

$$CDI = \frac{CW \times IR \times ED \times EF}{BW \times AT} \quad (1)$$

$$HQ = \frac{CDI}{RfD} \quad (2)$$

CDI-хоногийн архаг тун, (мг/кг×өдөр), CW-усан дахь бохирдуулагч бодисын концентраци (мг/л), IR- 1 өдөрт уух усны

хэмжээ, (л/өдөр), EF-өртөх давтамж, ED-дундаж насжилт, жил, BW-биеийн дундаж жин, AT-дундаж хугацаа (хоног, AT=ED×365), RfD-тухайн элементийн хоруу чанарын коэффициент, мг/кг-өдөр (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Эрүүл мэндийн эрсдэлийн үнэлгээний үзүүлэлтүүд

Үзүүлэлт	Эрэгтэй	Эмэгтэй	Хүүхэд	Эх сурвалж
CW				Судалгааны дүн
IR	2.5	2.5	1.5	ДЭМБ (2017), USAPE (2018)
AL	67.33	76.7	12	https://www.1212.mn
EF	365	365	365	USAPE (2018)
BW	60	55	35	(ICMR *2022)
AT	24575	27995	4380	Судалгааны дүн
RfD	F 0.04, NO ₃ 1.6			USAPE (2018)

Хор аюулын чанарын индексийг (HI)-ийг дараах тэгшитгэлээр тооцсон [11, 12].

$$\sum(HI) = HQ_{(Нитрат)} + HQ_{(фтор)} \quad (3)$$

Хор аюулын индекс (HI)-ийн утга 1-ээс дээш байх нь газрын доорх усны хэрэглээний улмаас эрүүл мэндэд эрсдэлтэй гэж үздэг. Энэхүү судалгаанд насанд хүрсэн эрэгтэй, эмэгтэй, хүүхэд гэсэн насны бүлгүүдэд усны бохирдлоос үүдэлтэй хүний эрүүл мэндэд учруулж болзошгүй хавдрын бус өвчлөл үүсгэх эрсдэлийн үнэлгээг фтор, нитрат гэсэн 2 үзүүлэлтээр тооцсон (Хүснэгт 1).

Хорт хавдар үүсгэдэггүй эрсдэлийн үнэлгээний хэмжүүрийг эрсдэлийн түвшингөөс нь хамааруулан дөрвөн ангилалд ангилсан. Үүнд ач холбогдолгүй буюу эрсдэлгүй (HI<0.1), бага (0.1<HI<1.0), дунд (1.0≤HI<4.0), өндөр эрсдэлтэй (HI ≥ 4.0) [13].

2.3. Статистик болон үнэлгээний аргууд

SPPS 21 программ хангамжаар голлох физик, химийн үзүүлэлтүүдийн статистикийн хураангуйг болон нийт эрдэсжилт, хатуулгийн ангиллыг, Aquachem 2014 программаар усны химийн найрлагыг илэрхийлэхэд тус тус ашигласан.

Судалгааны ажлын үр дүнд боловсруулалт хийхдээ “Хүрээлэн буй орчин, эрүүл мэндийг хамгаалах аюулгүй байдал, Ундны ус эрүүл ахуйн шаардлага, түүнд тавигдах хяналт MNS 0900:2018 стандарт болон ДЭМБ (2017)-ын зөвлөмж стандарттай тус тус харьцуулж үнэлэлт, дүгнэлт өгсөн [6, 14].

3. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

3.1. Усны чанарын анализ

Энэхүү судалгаанд газрын доорх уснаас 37 сорьц авч, усны чанарын 22 үзүүлэлтээр шинжилгээг хийсэн. Голлох үзүүлэлтүүдийн хураангуйг Хүснэгт 2-т үзүүлэв. Усны орчин рН-ийн утга 6.08-8.13, дундаж утга 7.36, сул хүчиллэгээс сул шүлтлэг орчинтой, нийт сорьцын 8.1% нь MNS болон ДЭМБ (6.6-8.5)-ын зөвлөмжид заасан хязгаараас хэтэрсэн байна. TDS-ийн утга 122-1716 мг/л хооронд хэлбэлзэж, дундаж утга 547.4 мг/л байна. Нийт сорьцын 43.2% нь ДЭМБ-ын зөвлөмжид (TDS-500мг/л) заасан хэмжээнээс хэтэрсэн байна. Харин цахилгаан дамжуулах чанарын утга 204-2860 μS/cm, дундаж утга нь 914.13 μS/cm ба нийт сорьцын 16.1% нь MNS 0900:2018 (EC-1000μS/cm), 18.9% нь ДЭМБ 2017 (EC-1500μS/cm) зөвлөмж стандартаас тус тус хэтэрсэн байна. Шинжилгээний дүнгээр катионоос кальцийн (Ca²⁺) агууламж 23-218 мг/л, дундаж утга нь 74.5 мг/л, магнийн (Mg²⁺) агууламж 4.9-144.2 мг/л, дундаж утга нь 32.7 мг/л байна. Кальцийн зөвшөөрөгдөх хэмжээ нь 75 мг/л, 100 мг/л ба (MNS, 2018, ДЭМБ-ын зөвлөмж) нийт сорьцын

16.2%, 18.9% нь дээрх стандартуудаас давсан байна. Магнийн агууламж нь 13 уст цэгт MNS-ийн зөвшөөрөгдөх хязгаараас хэтэрсэн, энэ нь нийт сорьцын 35.1%-ийг эзэлж байна. Натрийн (Na⁺)14-231.4 мг/л, дундаж утга нь 84.7 мг/л байна. Анионуудаас гидрокарбонатын (HCO₃⁻) ион 109.8-1860.5 мг/л, дундаж утга нь 345.5 мг/л, хлор (Cl⁻ 5.3-225.4) мг/л, дундаж утга нь 49.8 мг/л, сульфат (SO₄²⁻) 7-310 мг/л, дундаж утга нь 99.4 мг/л байна. Хлор, сульфат, натрийн ионууд нь MNS-ийн зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс хэтрээгүй, стандартын шаардлага хангаж байна. Шим бохирдолтын үзүүлэлтээс фосфат, аммони, нитрит зэрэг ионуудын агууламж нь илрүүлэх хязгаараас доогуур үзүүлэлттэй байна (Хүснэгт 2).

Бидний судалгаагаар фторын агууламж нийт сорьцын 43.2% нь MNS болон ДЭМБ (0.7-1.5)-ын зөвлөмжид заасан зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс их, 21.6% нь стандарт

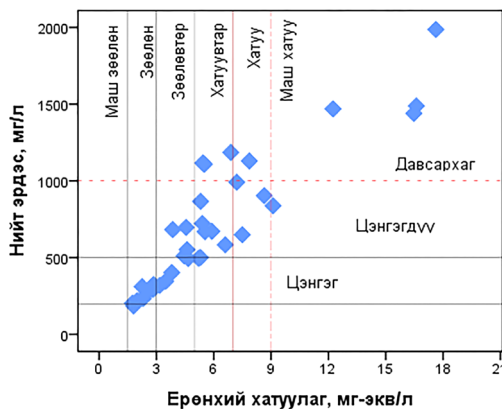
хэмжээнээс бага байна. Судалгаанаас харахад сав газрын эхэнд хэсэгт (Төв аймгийн Мөнгөнморьт сум) фторын агууламж нь стандартаас бага, харин дунд болон адаг хэсэгт (Хэнтий, Дорнод аймаг) фторын агууламж стандартаас 1.04-5.3 дахин их илэрсэн байна.

Нитратын агууламж (NO₃⁻) 1.0-582.3 мг/л, дундаж утга нь 62 мг/л байна. Ундны усан дахь нитратын зөвшөөрөгдөх дээд хязгаар нь 50 мг/л (MNS 2018), ДЭМБ зөвлөмж стандартад 45 мг/л гэж заасан байдаг ба нийт сорьцын 24.3% нь MNS-ийн стандартаас давсан бол зөвхөн 2.7% нь ДЭМБ-ын зөвлөмжид заасан хязгаараас хэтэрсэн байна (Хүснэгт 2). Нитратын агууламж сав газрын адаг болон дунд хэсэгт ялангуяа бага гүнтэй гар худгийн усанд харьцангуй өндөр илэрсэн. Нитратын үр дүн нь бусад судлаачдын судалгааны өмнөх үр дүнгүүдтэй нийцэж байна [15, 16].

Хүснэгт 2. Газрын доорх усны гол үзүүлэлтүүдийн статистик дүн шинжилгээ

Цуглуулсан сорьц (n=37)							
Үзүүлэлтүүд	Хамгийн бага утга	Хамгийн их утга	Дундаж	Std. Хазайлт	ДЭМБ 2017*	MNS 0900:2018	Стандартаас давсан, %
pH	6.08	8.13	7.36	0.44	6.5-8.5	6.5-8.5	5.4
EC (µS/cm)	204.0	2860.0	914.13	650.50	1500	1000	10.1*, 24.32
TDS (мг/л)	122.0	1716.0	547.41	390.72	500	-	43.2*
Ca ²⁺ (мг/л)	23	218	74.59	52.97	75.0	100	18.9*, 16.2
Mg ²⁺ (мг/л)	4.9	144.2	32.74	32.51	30.0	30	35.1
Na ⁺ (мг/л)	14.0	231.4	84.72	71.69	200.0	200	8.1
HCO ₃ ⁻ (мг/л)	109.8	1860.5	345.47	319.94	-	-	-
Cl ⁻ (мг/л)	5.3	225.4	49.76	57.77	250.0	350	-
SO ₄ ²⁻ (мг/л)	7.0	310.0	99.42	89.75	250.0	500	5.4
NH ₄ ⁺ (мг/л)	0.0	1.2	0.36	0.30	1.5	1.5	-
NO ₂ ⁻ (мг/л)	0.00	0.80	0.07	0.16	1.0	1	-
NO ₃ ⁻ (мг/л)	1.00	582.3	62.07	114.56	45	50	24.3
TP (мг/л)	0.050	0.188	0.069	0.04	3.5	3.5	-
F, (мг/л)	0.08	7.90	1.72	1.50	0.7-1.5	0.7-1.5	21.6, 43.2
Fe ²⁺ (мг/л)	0.00	27.8	1.59	6.12	0.3	0.3	13.51
Fe ³⁺ (мг/л)	0.00	2.22	0.26	0.54			18.91

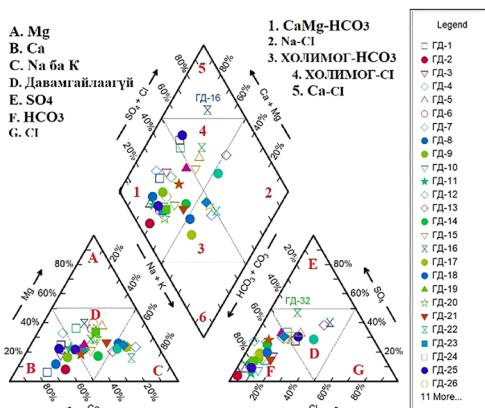
Судалгааны дүнгээс харахад зарим худгийн усны эрдэжилт, хатуулгийн хэмжээ нь унд, ахуйн хэрэгцээ, шаардлагад төдийлөн нийцэхгүй байна. Эрдэжилт нь ундны усны стандартад 1000 мг/л-ээс ихгүй байна гэж заасан байдаг ба эрдсийн хэмжээ нь стандартаас 1.03-2.86 дахин их байна. Эрдсийн хувьд цэнгэгээс давсархаг (эрдэжилт 185.8-2633.7 мг/л), хатуулгийн хувьд зөөлнөөс маш хатуу хатуулаг (1.8-22.75 мг-экв/л) устай байна. Судалгаанд хамрагдсан нийт сорьцын 16.2% нь маш хатуу, 10.8% нь хатуу, 27% нь хатуувтар, 21.6% нь зөөлөвтөр, 24.3% нь зөөлөн ангилалд тус тус хамаарч байна. Нийт эрдэжилтийн хувьд давсархаг устай ангилалд 9 сорьц буюу нийт уст цэгийн 24.3%, цэнгэгдүү устай ангилалд 14 сорьц буюу нийт уст цэгийн 37.8%, цэнгэг устай ангилалд 13 сорьц буюу нийт уст цэгийн 35.1%, нэг цэнгэг устай ангилалд 1 сорьц буюу нийт сорьцын зөвхөн 2.7%-ийг эзэлж байна (Зураг-2).



Зураг-2. Газрын доорх усны эрдэс, хатуулгийн ангилал

3.2. Гидрохимийн шинж

Пайпер диаграмм нь газрын доорх усны гидрохимийн шинж чанар, гидрохимийн төрөл, гидрохимийн хувьслыг ойлгох чухал хэрэгсэл юм [9, 10]. Газар доорх усны сорьцод тодорхойлсон гол ионы концентрацийг (Piper 1944) гурвалсан диаграммаар үзүүлэв (Зураг 3).



Зураг 3. Газрын доорх усны химийн бүрэлдэхүүн

Диаграммаас харахад судалгаанд хамрагдсан нийт сорьцын 48.64% нь Ca-HCO₃ төрөл, 21.62% нь Na-HCO₃, 16.2% нь Холимог-HCO₃, 5.4% нь Na-Холимог, үлдсэн 8.14% байгаа ба судалгааны талбайд төрөл бүрийн холимог найрлагатай ус тархсан байна (Зураг 3).

3.3. Хавдрын бус өвчлөл үүсгэх эрсдэлийн үнэлгээ

Судалгааны дүнгээс харахад нитратын хавдрын бус өвчлөл үүсгэх эрсдэлийн хор аюулын чанарын үзүүлэлт (HQ) нь насанд хүрсэн эрэгтэйд 0.019-10.82, эмэгтэйд 0.016-9.49, хүүхдэд 0.027-15.60 хооронд хэлбэлзэж, дундаж утга нь 1.15, 1.01, 1.67 байна (Хүснэгт 3).

Хүснэгт-3. Хор аюулын чанарын үзүүлэлт (HQ)

HQ (нитрат)				
	ХИУ	ХБУ	Дундаж	Std. Хазайлт
Эрэгтэй	0.019	10.82	1.15	2.13
Эмэгтэй	0.016	9.49	1.01	1.87
Хүүхэд	0.027	15.60	1.67	3.07
HQ (фтор)				
Эрэгтэй	0.059	5.87	1.28	1.11
Эмэгтэй	0.052	5.15	1.12	0.98
Хүүхэд	0.086	8.46	1.84	1.61

Тайлбар: ХБУ-Хамгийн их утга, ХБИ-Хамгийн бага утга

Фторын хувьд хавдрын бус өвчлөл үүсгэх эрсдэлийн хор аюулын чанарын үзүүлэлт (НQ) нь насанд хүрэгчид (эрэгтэй)-д 0.059-5.87, насанд хүрэгчид (эмэгтэй)-д 0.052-5.15, хүүхдэд 0.086-8.46 хооронд хэлбэлзэж, дундаж утга нь 1.28, 1.12, 1.84 байна (Хүснэгт 3).

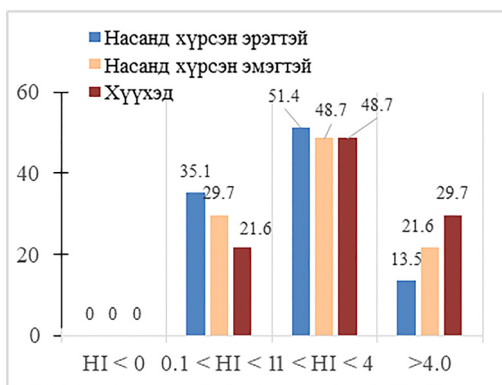
Хүснэгт-4. Хор аюулын чанарын индекс (НИ)

НИ (нитрат+фтор)				
	ХИУ	ХБУ	Дундаж	Std. Хазайлт
Эрэгтэй	0.182	12.99	2.42	2.68
Эмэгтэй	0.224	22.21	3.29	4.41
Хүүхэд	0.261	28.58	4.11	5.66

Тайлбар: ХБУ-Хамгийн их утга, ХБУ-Хамгийн бага утга

Судалгааны дүнгээс харахад хүүхдийн хор аюулын чанарын индекс (НИ) нь насанд хүрэгчид (эрэгтэй)-д 0.182-аас 12.985, насанд хүрэгчид (эмэгтэй)-д 0.224-аас 22.209, хүүхдэд 0.261-28.582 хооронд хэлбэлзэж, дундаж утга нь 2.415, 3.292, 4.106 байна.

Фтор, нитратаас шалтгаалсан хавдрын бус өвчлөл үүсгэх хор аюулын индекс (НИ)-ийн утга нь насны бүлгүүдэд ялгаатай байгаа ба НИ индексийн утга нь судалгааны бүс нутагт Хүүхэд>Эмэгтэй>Эрэгтэй гэсэн дараалалтай байна (Хүснэгт 4).



Зураг 4. Хүн амын янз бүрийн бүлгүүдэд хорт хавдар үүсгэдэггүй эрсдэлийн ангилал

Нийт сорьцын хувьд хавдрын бус өвчлөл үүсгэх хор аюулын индекс (НИ) нь хүүхдэд 78.4%, насанд хүрсэн эмэгтэйчүүдэд 70.3%, насанд хүрсэн эрэгтэйчүүдэд 78.4% нь (НИ>1)-ээс дээш их байгаа нь хүний эрүүл мэндэд эрсдэл учруулах магадлал өндөр байна. Насанд хүрсэн эрэгтэй, эмэгтэй хүмүүсийн хувьд НИ-ийн утга эрсдэлийн дөрвөн ангилалд ойролцоо (НИ 70-78.4%) байна. Харин хүүхдийн эрүүл мэндэд учруулах эрсдэлийн түвшинг ангилж үзвэл: эрсдэлгүй (0%), бага (21.6%), дунд (48.7%), өндөр эрсдэлтэй (29.7%) байна. Гол шалтгаан нь газрын доорх усан дахь фтор, нитратын өндөр агууламж юм (Зураг 4).

4. ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Хэрлэн голын сав газар дахь газрын доорх ус ихэнхдээ эрдэжилт, хатуулаг багатай, цэнгэг устай боловч азот болон төмрийн ион ундны усны стандартаас их байх тохиолдол харьцангуй элбэг байдаг [2]. Өмнөх жилүүдийн усны шинжилгээний дүнгээс үзэхэд тус сав газрын газрын доорх усны дундаж эрдэжилт нь 950 мг/л, дундаж хатуулаг нь 5.6 мг-экв/л байна [17].

Ц.Буухүүгийн “БНМАУ-ын хүн амын унданд хэрэглэж байгаа усан дахь фторын агууламж” бүтээлд дурдсанаар Чойбалсангийн гүний усанд фторын агууламж 2.4-2.5мг/л, Хэнтий аймгийн төв 1.1-1.6 мг/л, Багануур 0.9 мг/л илэрсэн байна. Хуучнаар Усны бодлогын хүрээлэнгийн судлаач нарын (1991) дүнгээр фторын агууламж Матад сумын цооногуудад 2.2-4.2 мг/л, Баян-Овоо сумын цооногуудад 1.6-1.7 мг/л, Баянмөнх сумын цооногуудад 1.6-4.77 мг/л, Өндөрхааны цооногуудад 2.96-3.12 мг/л тус тус илэрч байжээ. Хэрлэн голын сав газар нь Дорнод Монголын флюоритийн бүслүүрт хамаардаг учир газрын доорх усанд фтор илэрсэн гэж үзэж байна [4].

Шүдний флюорозыг фторын хордлогын анхны шинж тэмдэг гэж үздэг бөгөөд дээрх судлаачдын судалгааны дүнгээс харахад тухайн судалгааны талбайд амьдардаг хүн ам флюорозид өртөх магадлал өндөр байна. Бидний судалгаагаар Фторын агууламж нь MNS 0900:2018 болон ДЭМБ (0.7-1.5 мг/л)-ын стандартаас 1.04-5.3 дахин их, 0.41-0.83 дахин бага тус тус илэрсэн нь бусад судлаачдын үр дүнтэй нийцэж байна.

Биогеохимийн анхдагч элементүүдийн нэг болох азот нь хөрсөнд нитрат (NO_3), нитрит (NO_2), аммони (NH_4) хэлбэрээр оршдог. Хөрсөн дэх органик бус азот нь уусаж гүний ус руу амархан шилждэг. NH_4 ба NO_2 нь исэлдүүлэгчийн нөлөөнөөс хамаарч ихэвчлэн бага агууламжтай байдаг. Нитрат нь усанд уусдаг бөгөөд ялангуяа газар тариалангийн бүс нутагт аажмаар хуримтлагддаг [9]. Судалгааны дүнгээс харахад нитратын агууламж нь Хэнтий, Дорнод аймгийн төв суурин газрын бага гүнтэй гар худгуудад илэрсэн ба эдгээр айл өрхүүд хашаандаа хүнсний ногоо тариалах, мал услах зорилгоор гар худгийн (4-8 м) усыг ашиглаж байна. Нөгөөтэйгөөр эдгээр худгууд нь нүхэн жорлонтойгоо ойр байрлалтай байсан нь усны чанарт нөлөөлсөн байх магадлалтай.

Хэрлэн голын сав газрын хувьд усны чанарын судалгаа харьцангуй сайн хийгдсэн боловч газрын доорх усанд хүний эрүүл мэндэд учруулж болзошгүй эрсдэлийн үнэлгээг ямар нэгэн бохирдуулагч элементүүдээр тооцсон судалгааны ажил огт байхгүй байна. Бусад сав газрын хувьд тодорхой хэмжээгээр хийгдсэн боловч харьцангуй цөөн хийгдсэн тэр дундаа фтор, нитратаар тооцсон судалгаа төдийлөн сайн хийгдээгүй, энэ талын мэдээлэл хязгаарлагдмал байна. Б.Дариймаа, Ц.Соёл-Эрдэнэ нарын судалгаагаар (2020) Хараа гол орчмын худгуудад хавдрын бус өвчлөл үүсгэх эрсдэл ихэнх хүнд металлуудад HQ

үзүүлэлт 1-ээс бага байсан боловч ураны хувьд (HQ 0.0-1.44) эрсдэл өндөрт байжээ [20]. Бусад судлаачид Хараа, Ерөө, Гацуурт голын сав газрын гадаргын болон газрын доорх усанд Cu, Zn, Co, Mo, Ni, As, Cd, Pb зэрэг бохирдуулагч элементүүдээр тооцсон байна. Судалгааны дүнгээр бичил элементийн нийлбэр утгаар гадаргын усны ихэнх сорьцод эрсдэлгүй буюу (HQ>1)-ээс бага байна. Харин эрсдэлтэй түвшинд (HQ 1.09-7.2) Зэлтэр, Зулзаган, Шарын, Баян, Бороо, Гацуурт зэрэг голууд орж байна. Газрын доорх усны ихэнх сорьцуудын HQ үзүүлэлт 1-ээс дээш байна гэж дүгнэсэн байна. Уул уурхай төвлөрсөн Хараа, Ерөө голын сав газрын гадаргын болон газрын доорх усанд ураны эрсдэл илүү давамгайлсан байсан бол Сүхбаатар, Номгон Хөтөл, Баруунхараа, Зүүнхараа, Ерөө зэрэг сумдын газрын доорх усанд нитратын эрсдэл (HQ 8.1-19) давамгайлж байсан бөгөөд хүүхдэд үзүүлэх хавдрын бус өвчлөл үүсгэх эрсдэл насанд хүрсэн хүнтэй харьцуулахад 3-5 дахин их байжээ. Дээрх голуудын усанд нитратын хавдрын бус өвчлөл үүсгэх эрсдэл ихэнх сорьцод эрсдэлгүй, насанд хүрсэн хүний хувьд хамгийн их илэрсэн цэг нь Хиагт гол (HQ 5.86) байсан бол хүүхдийн хувьд HQ үзүүлэлт Шарын, Зулзаган, Баянгол, Хараа зэрэг голуудын усанд (HQ 1.2-3.0), Хиагт гол дээр HQ үзүүлэлт 27.4 буюу насанд хүрсэн хүнээс даруй 5 дахин их эрсдэлтэй гарчээ [21]. Мөн Коуоми нар (2016) Монгол орны хангайн бүс болон өмнөд говийн бүсэд нийт 39 сорьц дээр F, NO_3 , Hg, As, Al, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Mo, Cd, Sb, Pb зэрэг үзүүлэлтээр хорт хавдрын бус эрсдэлийн магадлалыг тооцсон байна. Судалгааны дүнгээс харахад хангайн бүсэд нийт эрсдэлийн индекс (HI) 1-ээс бага, эрсдэлгүй байна. Харин өмнөд говийн бүсэд (Оюутолгой, Тавантолгой) хор аюулын чанарын үзүүлэлт нь фторын агууламжаар нийт сорьцын 95% нь HQ-ийн үзүүлэлт 1-ээс их, эрсдэлтэй, бусад

үзүүлэлтүүдийн хувьд НQ-ийн утга 1-ээс бага гарсан байна.

Хор аюулын индексийн утга 1-ээс дээш гарсан нь газрын доорх усны хэрэглээний улмаас эрүүл мэндэд ноцтой аюул учруулах магадлал өндөр байдаг. Ялангуяа эдгээр насны бүлгээс хүүхэд хамгийн их эрсдэлтэй байдаг байна. Энэ нь хүүхдийн өдөрт уух усаар авах тунгийн хэмжээ, биеийн жин, нас, хүйс, удамшлын хүчин зүйл, хоол тэжээлийн байдал зэргээс хамаардаг байна.

Бидний судалгааны үр дүн дээрх судлаач болон бусад улс орны судлаач нарын судалгааны дүнтэй ерөнхийдөө дүйж байна [3, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 20, 21].

5. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажлаар Хэрлэн голын татам дагуух газрын доорх усанд чанар, бохирдлын судалгааг хийж, фтор, нитратын агууламжид үндэслэн хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх эрсдэлийг тодорхойлж дараах дүгнэлтэд хүрлээ.

1. Нийт сорьцын 35.1% нь эрдэсжилт ихтэй, хатуулагтай унданд хэрэглэхэд тохиромжгүй байна. Чанарын шаардлага хангаагүй, зохисгүй усыг удаан хугацаагаар ашиглах нь хүний эрүүл мэндэд сөрөг нөлөө үзүүлдэг. Ундны усны стандартад эрдэсжилтийн зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээг 1000 мг/л-ээс хэтрэхгүй байхаар заасан байдаг ба нийт сорьцын 24.3%, ерөнхий хатуулгийн (7.0 мг-экв/л) 27% нь стандартад заасан хэмжээнээс хэтэрсэн, шаардлага хангахгүй байна.
2. Нитратын (>50мг/л) өндөр агууламж нь зөвхөн гүехэн уст давхаргад ч илэрсэн ба ундны усны стандарт MNS 0900:2018 болон ДЭМБ (2017)-аас гаргасан зөвлөмжид 1.19-11.6 дахин их байгаа нь ундны

усанд тохиромжгүй байна. Фторын агууламж нь MNS 0900:2018 болон ДЭМБ (0.7-1.5 мг/л)-ын стандартаас 1.04-5.3 дахин их, 0.41-0.83 дахин бага илэрсэн байна.

3. Хавдрын бус өвчлөл үүсгэх эрсдэлийн индекс нь хүн амын янз бүрийн насны бүлэг, байршлын хооронд харилцан адилгүй байсан ба хамгийн өндөр эрсдэлтэй бүлэгт хүүхдүүд (78.34%), насанд хүрсэн эмэгтэйчүүд (67.57%), насанд хүрсэн эрэгтэйчүүд (64.86%) байна.
4. Судалгааны дүнгээс харахад нийт сорьцын 73% нь ундны зориулалтаар ашиглахад тохиромжгүй байгаа нь орон нутгийн хүн амын эрүүл мэндэд сөрөг нөлөөг бий болгож болзошгүй байна. Иймд энэ бүс нутагт газрын доорх усны тогтвортой байдлыг хангах, хүн амын эрүүл мэндийг хамгаалахын тулд зохих менежмент, нөлөөллийг бууруулах шийдлүүдийг авч хэрэгжүүлэх шаардлагатай юм. Тухайлбал, ундны усны стандартын шаардлага хангаагүй худаг уст цэгүүдийн усны чанарыг сайжруулах арга хэмжээг авах, ялангуяа Дорнод аймгийн усны эх үүсвэрт фторгүйжүүлэх төхөөрөмж суурилуулж усны чанарыг сайжруулах хэрэгтэй. Мөн фторын агууламж стандартаас бага илэрсэн ус хэрэглэгчид фторжуулсан бүтээгдэхүүн түлхүү хэрэглэхийг зөвлөж байна. Харин нитратын агууламж өндөр илэрсэн бага гүнтэй гар худгуудыг сав газрын зүгээс хаах хүртэл арга хэмжээг авах хэрэгтэй.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгаа нь 2021-2023 онд Монгол, Хятадын хамтарсан төслийн хүрээнд “Хэрлэн голыг бохирдуулагч эх үүсвэрүүдийг зайнаас тандах (хиймэл

дагуулын мэдээ) арга зүй ашиглан мониторинг, үнэлгээ хийх технологийн судалгааг хөгжүүлэх” сэдэвт судалгааг дэмжин ажиллаж байна. Мөн “Олон улсын атомын энергийн агентлаг (ОУАЭА)-ийн Ази номхон далайн бүсийн хамтын ажиллагааны “Improving Water Resources Management Practices by Enhancing the Regional Collaboration in Environmental Isotope Analysis and Applications” 2022-2025 хүрээнд хийгдэж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1]. Байгаль орчин, ногоон хөгжлийн яам, “Улсын усны нөөцийн нэгдсэн менежментийн төлөвлөгөө боловсруулахад зориулсан судалгааны эмхэтгэл”, Хоёрдугаар дэвтэр, Улаанбаатар, 2012.
- [2]. Монголын гидрогеологичдын холбоо. “Хэрлэн голын сав газрын усны нөөцийн нэгдсэн менежментийн төлөвлөгөө”, Улаанбаатар, 2016.
- [3]. Q.Y.Zhang, P.P.Xu, H.Qian. “Assessment of groundwater quality and human health risk (HHR) evaluation of nitrate in the central-western Guanzhong Basin, China. J. Environ. Res. Public Health 16, 4246. 2019, <https://doi.org/10.3390/ijerph16214246>
- [4]. А.Баатарсүх, Л.Мягмарсүрэн, Д.Гэрэлчулуун, “Монгол зүүн өмнөд регионы газрын доорх усны фторын агууламж түүний тархалтын онцлог”. Усны бодлогын Хүрээлэн, Улаанбаатар, 1991.
- [5]. V.Kimambo, P.Bhattacharya, F.Mtalo, J.Mtamba, A.Ahmad, “Fluoride occurrence in groundwater systems at global scale and status of defluoridation – State of the art”, Groundwater for Sustainable Development, Volume 9, October 2019, 100223, ISSN 2352-801X, <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100223>
- [6]. WHO, (2017). WHO guidelines for drinking-water quality, 4th Ed. World Health Organization, Geneva.
- [7]. Q.Zhang, H.Qian, P.Xu, W.Li, W. Feng, R.Liu, “Effect of hydrogeological conditions on groundwater nitrate pollution and human health risk assessment of nitrate in Jiaokou Irrigation District”, Journal of Cleaner Production, Volume 298, 2021, 126783, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126783>
- [8]. Wu, Jun, et al. “Severe nitrate pollution and health risks of coastal aquifer simultaneously influenced by saltwater intrusion and intensive anthropogenic activities.” *Archives of environmental contamination and toxicology* 77 79-87. 2019. <https://doi.org/10.1007/s00244-019-00636-7>
- [9]. Zhai, Yuanzheng, et al. “Groundwater nitrate pollution and human health risk assessment by using HHRA model in an agricultural area, NE China.” *Ecotoxicology and environmental safety* 130-142. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.11.010>
- [10]. USEPA (United States Environmental protection Agency), “2018 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories” EPA 822-F-18-0018, Office of Water U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC, 2018.
- [11]. Chen, Jie, Hao Wu, Hui Qian, and Yanyan Gao. “Assessing nitrate and fluoride contaminants in drinking water and their health risk of rural residents living in a semiarid region of Northwest China.” *Exposure and Health* 9 (2017): 183-195. <https://doi.org/10.1007/s12403-016-0231-9>
- [12]. Tran, Dang An, et al. “Groundwater quality evaluation and health risk assessment in coastal lowland

- areas of the Mekong Delta, Vietnam.” *Groundwater for Sustainable Development* 15 (2021): 100679. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100679>
- [13]. Стандарт, Хэмжилзүйн Газар, “Ундны ус эрүүл ахуйн шаардлага, түүнд тавих хяналт MNS 0900:2018”.
- [14]. Хот, суурины ус хангамж, ариутгах татуургын ашиглалт үйлчилгээг зохицуулах зөвлөл, ШУА-ийн Газарзүй, Геоэкологийн хүрээлэн. “Хэнтий аймгийн ундны усны чанарын судалгаа, дүгнэлт, зөвлөмж”, “Гарьд Дизайн” хэвлэх үйлдвэр, 2022.
- [15]. Хот, суурины ус хангамж, ариутгах татуургын ашиглалт үйлчилгээг зохицуулах зөвлөл, ШУА-ийн Хими-хими технологийн хүрээлэн. “Дорнод аймгийн ундны усны чанарын судалгаа, дүгнэлт, зөвлөмж”, “Гарьд Дизайн” хэвлэх үйлдвэр, 2022.
- [16]. “Усны шинжилгээний нэгтгэсэн дүнгийн материал”, ШУА-Геоэкологийн хүрээлэн, Улаанбаатар, 2009-2022. <https://igg.ac.mn/c/1003754?content=1384186>
- [17]. https://www.1212.mn/statistic/statcate/48171303/table-view/DT_NSO_0300_039V1
- [18]. Б.Дариймаа, Д. Мөнхзул, Ц.Соёл-Эрдэнэ нар (2020) “Монгол орны төвийн бүсийн зарим ундны усны найрлага, эрүүл мэндэд үзүүлж болзошгүй эрсдэлийн судалгаа”, МОГЗА №41, х.367-374.
- [19]. З.Цэлмүүн. “Сэлэнгэ, Дархан-Уул аймгийн усны чанарын судалгаа” магистрын зэрэг горилсон бүтээл, МУИС, ХШУИС, Хүрээлэн Буй Орчин Ойн Инженерчлэлийн Тэнхим 2021 он. E07120101.
- [20]. Nakazawa K, Nagafuchi O, Okano K, Osaka K, Hamabata E, Tsogtbaatar J, Chojil J. Non-carcinogenic risk assessment of groundwater in South Gobi, Mongolia. *J Water Health*. 2016 Dec;14(6):1009-1018. <https://doi.org/10.2166/wh.2016.035>