

Assessment of uranium concentration in drinking water

(A case study in the western soums of Tov province)

Uriintuya Gantsetseg^{1,*}, Odsuren Batdelger¹, Renchinbud Badrakh¹,

Gan-Erdene Enkhbold¹

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

*Corresponding author email: uuriintuya_g@mas.ac.mn

Received: 31 October 2022 / Accepted: 30 November 2022 / Published online: 29 December 2022

ABSTRACT

The purpose of this study was to conduct a detailed survey of drinking water sources and determine the potential risks to water quality and human health. In October 2021, samples were taken from 43 deep wells in the western soums of Tov province, and 53 trace elements and physicochemical parameters were measured at sites. In terms of chemical composition, hydrocarbonate class, calcium group, type 1, and pure and soft water quality prevailed. Water-rock interactions and evaporation mechanisms affect water quality. The highest concentration of uranium (75 µg/l) was detected in the drinking water wells of Ughtaalsaidam soum. 12 out of 43 deep wells in western soums had uranium levels above 30 µg/l. The uranium concentration was 27.9%, which was higher than in the standard MNS 0900:2018. For wells with high uranium concentrations, the cancer risk is 1-2 per 100,000 children and 2 per 10,000 adults. Carcinogenic and non-carcinogenic health risks were moderate to high in some source wells.

Keywords: *Uranium, Health risk, Drink water*

Ундны усан дахь ураны агууламжийн үнэлгээ (Төв аймгийн баруун сумдын жишээн дээр)

Үүрийнтуяа Ганцэцэг^{1,*}, Одсүрэн Батдэлгэр¹, Рэнчинбуд Бадрах¹,

Ган-Эрдэнэ Энхболд¹

¹Усны Нөөц, Ус Ашиглалтын Салбар, Газарзүй, Геоэкологийн Хурээлэн, Шинжлэх Ухааны Академи,
Улаанбаатар, Монгол

*Холбоо барих зохиогчийн цахим хаяг: uuriintuya_g@mas.ac.com

Хүлээн авсан: 2022 оны 10 сарын 31 өдөр / Зөвшөөрөгдсөн: 2022 оны 11 сарын 30 өдөр / Нийтлэгдсэн: 2022 оны 12 сарын 29 өдөр

ХУРААНГУЙ

Энэхүү судалгааны зорилго нь ундны усны эх үүсвэрийн нарийвчилсан судалгааг хийж, усны чанараас хүний эрүүл мэндэд учирч болох эрсдэлийг тодорхойлоход оршиж байна. 2021 оны 10 дугаар сард Төв аймгийн Баруун сумдын гүний 43 худгаас дээж авч, 53 микроэлементийн үзүүлэлт, физик-химийн үзүүлэлтүүдийг тогтоосон. Химийн найрлагын хувьд гидрокарбонатын анги, кальцийн бүлгийн, 1-р төрлийн, чанарын хувьд цэвэр, зөөлөвтөр ус зонхилсон. Ус чулуулгийн харилцан үйлчлэл ба ууршилтын механизм нь усны чанарт нөлөөлөх хандлагатай. Угтаалцайдам сумын ундны усны худагт ураны агууламж (75 мкг/л) хамгийн өндөр илэрсэн. Баруун сумдын судалгаанд хамрагдсан 43 гүний худгаас 12 гүний худагт уран нь 30 мкг/л -ээс их тодорхойлогдсон. Энэ нь ураны агууламжаар 27.9% нь ундны усны стандартад заасан хэмжээнээс их байна. Уран нь хүлцэх агууламжаас давсан уснаас унданд тогтмол хэрэглэдэг хүүхдүүдийн хувьд хавдрын эрсдэл үүсэх магадлал зуун мянган хүүхэд тутамд 1-2 хүүхэд, насанд хүрэгчдийн хувьд арван мянган насанд хүрсэн хүн тутамд 2 хүн өртөх магадлалтай байна. Хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх хорт хавдрын эрсдэл болон хорт хавдрын бус эрсдэл зарим эх үүсвэрийн худагт дунд зэргээс өндөр эрсдэлтэй тодорхойлогдсон.

Түлхүүр үгс: Уран, Эрүүл мэндийн эрсдэл, Ундны ус

1. ОРШИЛ

Уран нь дэлхийн царцдас бүрхүүлийн хэмжээнд алтнаас 400 дахин, мөнгөнөөс 20 дахин их тархалттай, далай тэнгис, рашаан булаг, газрын доорх ус, нүүрс болон зарим чулуулагт тодорхой хэмжээгээр агуулагдаж байдаг. Байгальд орших ураны түвшин нь түүний геологийн тогтоцоос газарзүйн байршил, түүнчлэн тухайн бүс нутагт үйл ажиллагаа явуулж буй геохимийн процессуудаас хамаардаг [1]. Мөн гүний усанд агуулагдах уран нь чулуулгийн шинж чанар, геоморфологи болон бүс нутгийн бусад геологийн тогтоц, ураны исэлдэхүйн хэмээс хүчтэй хамаарч байдаг [2].

Ундны усан дахь ураны агууламж зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс давах нь хүний эрүүл мэндэд хортой нөлөө үзүүлж болзошгүй нь тогтоогдсон [3]. Ураны эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөг хорт хавдар үүсгэгч

болон хорт хавдар үүсгэдэггүй гэж хувааж болох бөгөөд эдгээр ангиллыг ураны цацраг идэвхт эрсдэл (хорт хавдар үүсгэгч) болон химийн хоруу чанар (хорт хавдар үүсгэдэггүй) дээр үндэслэн тогтоосон байна [4]. Ундны усанд агуулагдах ураны зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээ нь 30 мкг/л (MNS0900:2018) хүртэл гэж заасан байдаг ба уг стандартын шаардлага хангахгүй ундны ус тогтмол ууж хэрэглэснээр дотор эрхтнүүд болон ялангуяа бөөр, ясанд өвчлөл үүсгэдэг [5]. Дэлхийн эрүүл мэндийн байгууллагын мэдээлснээр хүн төрөлхтний өвчлөлийн 80% нь ундны усны чанар муудсанаас үүсэж байна гэсэн судалгааны үр дүн гарчээ.

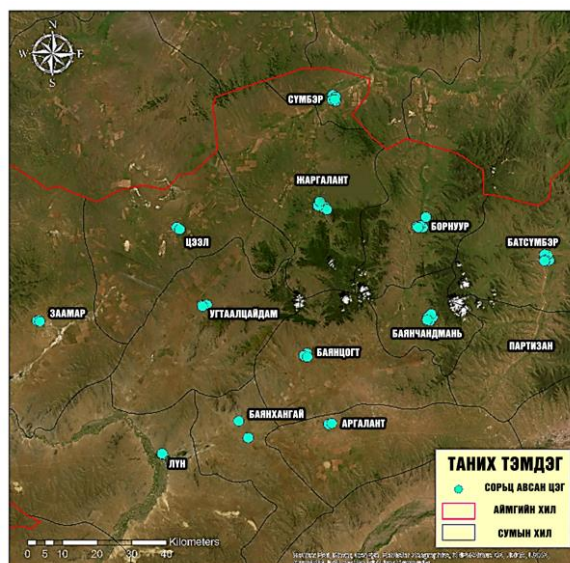
Монгол орны 21 аймаг болон Улаанбаатар хотын хэмжээнд ундны усан дахь ураны хэмжээг тодорхойлсон судалгаанаас үзэхэд дундаж утга 14 мкг/л байна. Нийт судалгаанд хамрагдсан уст цэгүүдийн 15% нь Монгол улсад мөрдөгдөж буй стандартаас хэтэрсэн байна. Хамгийн өндөр ураны агууламжтай аймгуудад Дорноговь аймаг (347 мкг/л), Төв аймаг (238 мкг/л), Дорнод аймаг (248 мкг/л), Сүхбаатар аймаг (220 мкг/л) илэрчээ [2].

Иймд бид уг судалгааны ажлыг Төв аймгийн баруун бүсийн ундны усны эх үүсвэрийн худгуудийг хамруулан сорьц цуглуулж, гол ионуудын агууламж болон ураны агууламжийг тодорхойлж хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх хорт хавдар үүсгэх эрсдэл болон хорт хавдрын бус эрсдэлийг насанд хүрэгчид болон хүүхдүүдэд нөлөөлөх нөлөөллийг тооцоолох зорилготой хийж гүйцэтгэсэн.

2. СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

2.1. Судалгааны талбай

Төв аймаг нь газар зүйн байрлалын хувьд Хангай, Хэнтий уулархаг, Дорно Монголын талархаг мужид оршдог.



Зураг 1. Сорьц цуглуулсан цэгүүдийн байршил

Газар нутгийн хэмжээ 77.4 мянган хавтгай дөрвөлжин километр. Нутгийн хойд хэсгийн өргөн хөндийнүүд нь газар тариаланд тохиромжтой хүрэн хөрстэй, өмнөд хэсэг нь гүвээ толгод бүхий тал хээр газар юм. Нутаг дэвсгэрийн 16.4 хувийг ой мод, 36.5 хувийг хээрийн бүс эзэлдэг. Хэрлэн, Туул зэрэг том жижиг 30 гаруй голтой. Баруун бүсийн сумд нь далайн түвшнээс дээш 1200-1500 м өргөгдсөн. Жилийн дундаж салхины хурд 4-6 м/с, жилийн хур тунадасны нийлбэр 300-400 мм байдаг. Тус аймгийн баруун бүсийн 12 сумд (Батсүмбэр, Борнуур, Баянцогт, Баянхангай, Аргалант, Сүмбэр, Жаргалант, Цээл, Угтаалцайдам, Заамар, Лүн, Баянчандмань) судалгаанд хамрагдсан (Зураг 1).

2.2. Судалгааны арга зүй

2.2.1. Сорьц цуглуулалт ба хээрийн хэмжилт

Хээрийн хэмжилт судалгаагаар Төв аймгийн судалгаанд хамрагдсан уст цэгүүдийн байршлыг тодорхойлж, фото зураг авч, аргачлалын дагуу 43 худгийн усны сорьцийг 2021 оны 10 сард цуглуулж шинжилгээ хийсэн. Усны сорьц цуглуулахдаа сорьцлолт, тээвэрлэлт ISO 5667-3:2012 стандартын дагуу ажилласан. Газар дээр нь усан орчин (pH), цахилгаан дамжуулах чанар (EC), нийт ууссан давс (TDS), температур (T), даралт (P), исэлдэн ангижрах потенциалыг (ORP) мультметр багажаар (HI98195), булингаршилыг булингар хэмжигчээр тус тус тодорхойлсон.

2.2.2. Гидрохимийн анализ

Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэнгийн Усны шинжилгээний лабораторид үндсэн катион, анион болох кальци (Ca^{2+}), магни (Mg^{2+}), гидрокарбонат, карбонат (HCO_3^- , CO_3^{2-}), хлор (Cl^-) ионуудыг эзлэхүүний аргаар, сульфатын (SO_4^{2-}) ионыг жингийн анализийн аргаар, нитрат, нитрит, аммони, төмрийн ионуудыг (DR2800) спектрофотометрээр тодорхойлов. Шинжилгээний үр дүнг “MNS0900:2018” ундны усны стандарттай харьцуулан дүгнэлт гаргасан. SGS лабораторид Индукцийн холбоост плазмын масс спектрометрээр 53 микро элементийг тодорхойллоо.

Усны орчны бичил элементүүдийг тодорхойлсноор хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх эрсдэлийг тодорхойлж, бохирдуулагч бодисын хэмжээ, бохирдуулагчийн нөлөөллийн түвшин ба хүний эрүүл мэндэд учрах эрсдэлийг үнэлнэ. Тодорхой хугацааны туршид хүний эрүүл мэндэд хортой нөлөө үзүүлж болзошгүй хор хөнөөлийг үнэлэх нь давуу тал юм. Америкийн нэгдсэн улсын, Байгаль орчныг хамгаалах агентлаг (USEPA) -аас санал болгосон Хүний эрүүл мэндийн эрсдэлийн үнэлгээ (HHRA) загвар нь гүний усны бохирдлын хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөллийг судлахад хамгийн өргөн хэрэглэгддэг загвар юм [6].

Байгаль орчныг хамгаалах агентлаг (USEPA) –аас тодорхойлсон хорт хавдрын эрсдэлийг үнэлсэн тэгшитгэл (1) ба (2) .

$$ECR = A_U \times R_F \quad (1)$$

$$R_F = r \times C_R \times E_P \quad (2)$$

R_F - эрсдэлийн хүчин зүйл, r - эрсдэлийн коэффициентийн утга, C_R - усны хэрэглээний түвшин, E_P – өртөх хугацаа [7]

Хорт хавдар үүсгэдэггүй эрсдэлийг илэрхийлэхийн тулд хор аюулын коэффициентийг (HQ) ашиглалаа. Насан туршийн дундаж хоногийн тун (LADD) ба жишиг тун (R_fD) хоёрын харьцаа нь цэвэр хор аюулын коэффициентийг тодорхойлдог. R_fD -ийн утга нь өдөрт 4.53 мкг/кг байна. HQ-ийн 1-ээс бага утга нь химийн хордлогын үүднээс аюулгүй гэж тооцогддог байна тэгшитгэл (3) ба (4) [8].

$$H_Q = \frac{LADD}{R_fD} \quad (3)$$

$$LADD = \frac{C_U \times C_R \times F_E \times D_E}{E_L \times W_B \times 365}$$

C_U -ураны агууламж (мкг/л), C_R -усны хэрэглээний хэмжээ (л/хоног), F_E -өртөх давтамж (жилд ~350 хоног) [8], D_E - нийт өртөх хугацаа (жил), E_L -дундаж наслалт (жил), W_B - биеийн жин (кг).

3. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

3.1. Гидрохимийн анализын үр дүн

Судалгаанд хамрагдсан нийт 43 гүний худгийн ус нь химийн бүрэлдэхүүний хувьд 93% нь гидрокарбонатын ангийн, 4.65% нь сульфатын ангийн, 2.35% нь хлор-гидрокарбонатын ангийн, 37.2% нь кальцийн бүлгийн, 18.6% нь холимог бүлгийн, 16.2% нь магни-натрийн бүлгийн, 13.9% нь магнийн бүлгийн, 9.4% нь натрийн бүлгийн, 4.7% нь кальци-магнийн бүлгийн, 62.8% нь 1-р төрлийн, 37.2% нь 2-р төрлийн, чанарын хувьд 48.8% нь цэнгэгдүү, 44.2% нь цэнгэг, 7% нь давсархаг, 58.14% нь зөөлөвтөр, 20.93% нь хатуувтар, 11.63% нь маш хатуу, 4.65% нь зөөлөн, 4.65% нь хатуу устай байна. Нийт гүний

худгийн макроэлементүүдийн агууламж, нийт ууссан давс, ерөнхий хатуулгийн хамгийн их утга, хамгийн бага утга, дундаж утгыг Хүснэгт 1-т үзүүлэв.

Хүснэгт 1. Гидрохимийн анализийн дүн (мг/л)

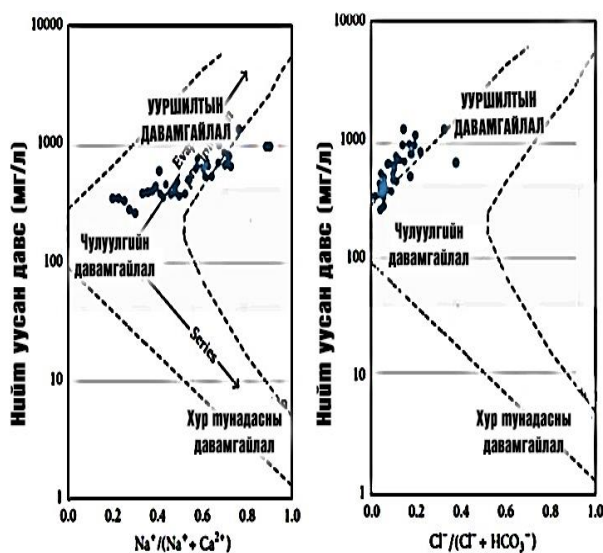
	Max	Min	Mean	Стандарт хазайлт	CV %
Ca ²⁺	85.2	26.1	47.5	9.95	20.9
Mg ²⁺	107	8.5	35.7	24.4	68.4
Na ⁺	208.7	11.8	67.2	51.1	76.0
Cl ⁻	191.7	3.6	45.9	45.1	98.2
HCO ₃ ⁻	524.6	176.9	314.7	87.2	27.71
TDS	1341	264	598.4	267.8	44.7
ТН	11.9	2.7	5.31	2.2	42.1

3.2. Газрын доорх усны хувьсах механизм

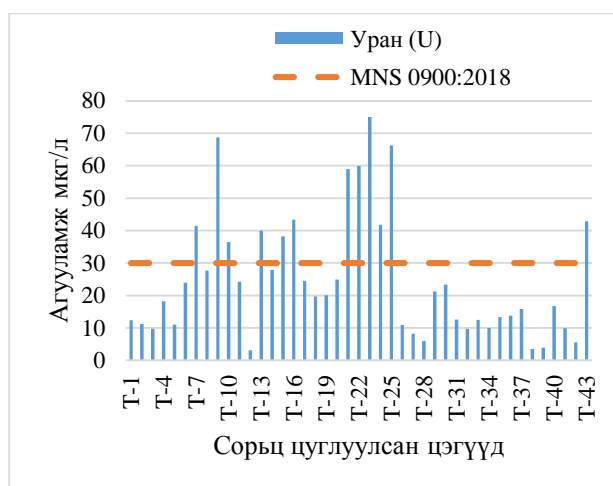
Ерөнхийдөө хур тунадас, ууршилт, чулуулгийн өгөршил зэрэг нь судалгааны талбайн усны химийн шинж чанарыг илэрхийлэх байгалийн гурван үндсэн механизм юм. Гиббсийн диаграм нь усны химийн найрлагад нөлөөлж буй хүчин зүйлийг тодорхойлохын тулд TDS-ийн концентрацийг $Na^+/(Na^+ + Ca^{2+})$ эсвэл TDS ба $Cl^-/(Cl^- + HCO_3^-)$ -ийн жингийн харьцаатай харьцуулж үр дүнг тодорхойлдог [9]. Ууршилт давамгайлсан талбарт байрлаж байгаа нь химийн шинж чанарт байгаль орчны хагас хуурай цаг уурын нөхцөл, гадаргын бохирдлын эх үүсвэр, голчлон бордооны хэрэглээ, усалгааны буцах урсгал, дотоодын хог хаягдал нөлөөлж байгааг илтгэдэг. Чулуулаг давамгайлсан талбар дахь уст цэгүүдэд эрдэс чулуулгийн химийн өгөршил нь уусгах замаар газрын доорх усны чанарт нөлөөлдөг болохыг харуулж байна (Зураг 2).

3.3. Микроэлементийн анализ (Уран)

Ураны агууламжийг тодорхойлоход 43 худгийн усанд 3.09-75 мкг/л (Зураг 3), дундаж утга нь 24.84 мкг/л байв. Судалгааны үр дүнд нийт судалгаанд хамрагдсан уст цэгүүд нь ураны агууламжаар 27.9% нь “MNS 0900:2018” стандартад зааснаас их байна.



Зураг 2. Гиббсийн диаграмм



Зураг 3. Ураны агууламж

3.4. Хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх эрсдэлийн үнэлгээ

3.4.1. Хорт хавдар үүсгэгч эрсдэлийн үнэлгээ

Ураны агууламжаар хорт хавдар үүсгэгч эрсдэлийн үнэлгээг (ECR) тооцоолоход хүүхдийн хувьд 6.44×10^{-7} - 1.56×10^{-5} хооронд, насанд хүрэгчдийн хувьд 8.48×10^{-6} - 2.05×10^{-4} хооронд байв (Хүснэгт 2). Энэ нь хүүхдүүдийн хувьд хавдрын эрсдэл үүсэх магадлал зуун мянган хүүхэд тутамд 1-2 хүүхэд, насанд хүрэгчдийн хувьд арван мянган насанд хүрсэн хүн тутамд 2 хүн өртөх магадлалтай байна.

Хүснэгт 2. Хорт хавдар үүсгэх эрсдэлийн үнэлгээ

Ангилал	ECR= 1×10^{-5}		
	Min	Max	Mean
Хүүхэд	6.4×10^{-7}	1.5×10^{-5}	5.1×10^{-6}
Насанд хүрэгчид	8.4×10^{-6}	2.0×10^{-4}	6.8×10^{-5}

3.4.2. Хорт хавдар үүсгэдэггүй эрсдэлийн үнэлгээ

Хор аюулын коэффициентийг (HQ) тодорхойлоход насанд хүрэгчдийн хувьд 0.05-1.26, хүүхдүүдийн хувьд 0.04-1.01 байв (Хүснэгт 3). Уг хор аюулын коэффициент 1-ээс их тодорхойлогдсон худгийн усыг ууж хэрэглэж буй насанд хүрэгчид болон хүүхдүүдийн хувьд химийн хордлогод өртөх байдал дунд зэрэг байна.

Хүснэгт 3. Хор аюулын коэффициентын утга

Ангилал	HQ>1		
	Min	Max	Mean
Хүүхэд	0.041	1.01	0.33
Насанд хүрэгчид	0.052	1.26	0.41

4. ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Төв аймгийн баруун бүсийн сумдаас судалгаанд хамрагдсан 43 худгийн усны ураны агууламж 23.2% нь 3.09-10 мкг/л, 48.9% нь 10.9-27.9 мкг/л, 27.9% нь 37.9-75 мкг/л тодорхойлогдсон. Улаанбаатар хотын хэмжээнд 129 худгийн судалгааны үр дүнд ураны агууламж 0.01-57 мкг/л илэрсэн нь хүний эрүүл мэндэд бага зэргийн хордлогын нөлөөлөлтэй гэж дүгнэсэн байна [10]. Гүний усанд агуулагдах уран нь чулуулгийн шинж чанар, геоморфологи болон тухайн бүс нутагт үйл ажиллагаа явуулж буй геохимийн процессуудаас хамаарна. Иймд зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээнээс давсан ураны агууламжийг улирлын горимоор судалж тогтмол давсан тохиолдолд зайлшгүй бууруулж унданд хэрэглэх хэрэгтэй.

5. ДҮГНЭЛТ

Судалгааны ажлын үр дүнд Сүмбэр, Жаргалант, Цээл, Угтаалцайдам, Борнуур сумдад харьяалагдах унд ахуйн 12 худгийн усанд ураны агууламж 36.4-75 мкг/л илэрсэн нь “MNS 0900:2018” стандартын хүлцэх агууламжаас 1.21-2.5 дахин их байна. Хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх эрсдэлийн үнэлгээний үр дүнд цацрагийн аюулгүйн үнэлгээ буюу хорт хавдрын эрсдэлийн үнэлгээгээр хүүхдүүдийн хувьд $ECR = 1.22 \times 10^{-5}$ - 1.56×10^{-5} дунд зэргийн эрсдэлтэй, насанд хүрэгчдийн хувьд $ECR = 1.04 \times 10^{-4}$ - 2.05×10^{-4} өндөр эрсдэлтэй байна. Насанд хүрэгчдэд нөлөөлөх нөлөөллийн хувьд дөрвөн худгийн усанд хор аюулын коэффициент $HQ=1.01-1.26$, хүүхдүүдийн хувьд нэг худгийн усанд хор аюулын коэффициент $HQ=1.01$ тодорхойлогдсон нь тухайн худгаас тогтмол унданд хэрэглэдэг хүмүүс хорт хавдрын бус эрсдэлд дунд зэрэг өртөх эрсдэлтэй байв.

АШИГЛАСАН НОМ, ХЭВЛЭЛ

- [1] O. Essien, D. N. Sandoval, P.K. Kuroda, “Deposition of Excess Amount of Natural U from the Atmosphere,” Health Physics 48(3), pp.325-331, March 1985. Available: <https://doi.org/10.1097/00004032-198503000-00010>
- [2] Н. Тэгшбаяр, "Монгол орны ундны усан дахь ураны судалгаа," Докторын зэрэг горилсон бүтээл, ШУС, МУИС, Улаанбаатар, 2020.
- [3] World Health Organization, "The urban and rural challenge of the Decade," in Meeting the MDG drinking water and sanitation target, 2008.
- [4] World Health Organization, "Guidelines for Drinking water quality," Geneva, 1998.
- [5] M. L. Zamora, B. L. Tracy, J. M. Zielinski, D. P. Meyerhof, M. A. Moss, “Chronic ingestion of uranium in drinking water: a study of kidney bioeffects in humans,” Toxicol Sci. 1998 May, 43(1), pp. 68-77. doi: 10.1006/toxs.1998.2426. PMID: 9629621. Available: <https://doi.org/10.1006/toxs.1998.2426>
- [6] USEPA, "National Primary and Secondary Drinking Water Standards," 2009. [Online]. Available:(<http://www.epa.gov/safewater/consumer/pdf/mcl.pdf>)
- [7] S. Sharma, J. Kaur, A. K. Nagpal, I. Kaur I, “Quantitative assessment of possible human health risk associated with consumption of arsenic contaminated groundwater and wheat grains from Ropar Wetand and its environs,” Environ Monit Assess. 2016 Sep, 188 (9), 506. doi: 10.1007/s10661-016-5507-9. Epub 2016 Aug 5. Erratum in: Environ Monit Assess. 2016 Dec, 189(1):2. PMID: 27491949. Available: <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5507-9>
- [8] USEPA (United States Environmental Protection Agency), "Cancer risk coefficients for environmental exposure to radionuclides," Federal Guidance Report No. 13. EPA 402-R-99-001, Washington, DC, 1999.
- [9] R. Gibbs, "Mechanisms controlling world water chemistry," Science, 1970. Available: <https://doi.org/10.1126/science.170.3962.1088>
- [10] J. Nriagu et.al., “High levels of uranium in groundwater of Ulaanbaatar, Mongolia,” Sci Total Environ. 2012 Jan 1, 414, 722-6. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.11.037. Epub 2011 Dec 3. PMID: 22142646; PMCID: PMC3258323 Available: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.11.037>