

Газрын тосны орд орчмын ус, хөрсний цацраг идэвхийн судалгаа

М.Эрдэнэтуяа¹, М.Энхбаатар^{2,*}, Н.Норов², Л.Эрдэнэсайхан¹

¹Монгол улсын шинжлэх ухаан, технологийн их сургууль

² Монгол улсын их сургууль, Цөмийн физикийн судалгааны төв

Газрын тос олборлох, боловсруулах, тээвэрлэх үйл ажиллагаа явуулах үед газар доорх ус, газрын тосонд агуулагдах байгалийн цацраг идэвхт изотопууд гадаад орчинд хаягдаж зарим тохиолдолд байгалийн цацрагийн дэвсгэр түвшнээс их болж үйлдвэрийн ажилчид болон гадаад орчинд цацрагийн шаралтын нэмэлт тун өгөх нөхцөл бүрддэг байна. Иймээс Газрын тос олборлох үйлдвэрийн орчимд байгалийн цацрагийн дэвсгэр түвшинг тогтоох зорилгоор Тамсагийн сав газрын Тосон-уулын орд, Дорноговийн сав газрын Зүүнбаянгийн орд орчмын хөрс, усны цацраг идэвхийг судалсан үр дүнг авч үзсэн болно.

Түлхүүр үг: Газрын тос, цацраг идэвх, хувийн идэвх, элементийн агуулалт, тунгийн чадал

ОРШИЛ

Газрын тос нь уран ба торин гэх мэт цацраг идэвхт нэгдлээр баялаг байдгийг судлаачид тогтоосон. Түүхий газрын тосны найрлаганд уран 0.02г/тн, торин 0.0011г/тн байдаг[1]. Газрын тос олборлох, боловсруулах, тээвэрлэх үйл ажиллагаа явуулах үед газар доорх ус болон газрын тосонд байгалийн цацраг идэвхт элементүүд ямар нэг хэмжээтэй агуулагдсан байдаг бөгөөд зарим тохиолдолд дэвсгэр түвшнээс их болж үйлдвэрийн ажилчид болон гадаад орчинд цацрагийн шаралтын нэмэлт тун өгөх нөхцөл бүрддэг байна. Иймээс газрын тосны орд орчмын хөрсний цацраг идэвхийн дэвсгэр түвшинг тогтоож, байгаль орчны бохирдолтын хяналтанд цацрагийн хяналтын мониторинг оруулах шаардлага гарч байна. Газрын тосны орд газарт газрын тосны олборлолтоо холбоотой цацрагийн хордуулал бий болдог. Олборлолтоос гадна өрөмдлөгийн үед үүссэн газрын тосны хаягдал нефтешлам нь цацрагийн хэмжээг нэмэгдүүлдэг байна. Монгол Улсын хэмжээнд газрын тосны хэтийн төлөв бүхий хайгуулын 31 талбай ялгаснаас өнөөдрийн байдлаар 23 талбайд 19 гэрээлэгч Бүтээгдэхүүн хуваах гэрээ байгуулан, Засгийн газраар батлуулан ажиллаж байна. Үүнээс Тосон-Уул XIX, Тамсаг XXI талбайд "Петрочайна Дачин Тамсаг" ХХК, БХГ-97 талбайд "Доншен Газрын тос (Монгол)" ХХК тус тус газрын тосны ашиглалт, олборлолтын үйл ажиллагааг явуулж байна.

Монгол улсын хэмжээнд газрын тосны орд газар орчмын цацрагийн дэвсгэр түвшинг тогтоох

ажил одоогийн байдлаар хараахан хийгдээгүй байна. Газрын тосны ордын хувьд зөвхөн олборлолт, нефтешламаас гадна газрын тосыг тээвэрлэх, цэвэрлэх, байгууламж дээрх цацрагийн хэмжээг тодорхойлох шаардлагатай байдаг. Мөн геохими, цацрагийн экологи, хөрсний үүсэл гарлын судалгаанд ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K зэрэг байгалийн цацраг идэвхт изотопууд болон ^{90}Sr , ^{137}Cs зэрэг үүсмэл цацраг идэвхт изотопуудыг тодорхойлох шаардлагатай байдаг. Уг ордуудын газрын тос нь битум агуулсан нүүрсжилт бүхий эх үүсвэр болох Цагаанцав, Зүүнбаян формацийн нуурын гаралтай хурдас дотроо байрандаа байрласан холоос зөөгдөж хуримтлагдаагүй дээд юра, доод цэрдийн настай байна.

Мөн газрын тосны хийн олборлолтын үед ^{238}U , ^{232}Th -ын задралын нөлөөгөөр ради, радон зэрэг цацраг идэвхт изотопууд үүснэ.

СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Уг судалгааны ажлын хүрээнд Тамсагийн сав газрын Тосон-уулын орд, Дорноговийн сав газрын Зүүнбаянгийн орд орчмын хөрснөөс дээж авч цацраг идэвхийн хэмжээг МУИС-ийн Цөмийн Физикийн Судалгааны төвийн гаммаспектрометр дээр тодорхойлсон. Газрын тосны хайгуулын болон ашиглалтын цооног орчмын хөрсөн дэх байгалийн ба үүсмэл цацраг идэвхт изотопуудын бүрэлдэхүүн, тэдгээрийн хувийн идэвхийг гамма спектрометрээр тодорхойлж цацрагийн тунгийн чадлыг тооцоолдог [4]. Хэмжилтэнд өндөр ялгах чадвартай цэвэр хагас дамжуулагч германи детектор, 4096 сувагтай "Камберра" анализатор

* Electronic address: enkhbaatar@num.edu.mn

бүхий гамма спектрометр хэрэглэв. Детекторын ажлын эзлэхүүн 52 см³ гамма туяаг энергиэр ялгах чадвар 1333 кэВ энергитэй шугамын хувьд 2.0 кэВ байв. Гамма спектрометрт гаргаж авсан мэдээллийг компьютерээр боловсруулав. Газрын тосны орд газруудын өнгөн хөрсний 5см гүн, 15см×15см талбайгаас дээжийг ургамлын хамт авав. Дээжээ детекторт 700 см³ эзэлхүүнтэй Маринеллийн саванд хийж, түүнийг 1 цаг хэмжив.

Цацраг идэвхт изотопын хувийн идэвх (А)

Хөрсөн дэх цацраг идэвхт изотопын хувийн идэвхийг бүрэн шингээлтийн пикийн талбайгаар олохдоо дараах томъёо (1)-г хэрэглэв.

$$A = \frac{N(Ei)}{k \cdot \epsilon_0 \cdot (E) \cdot k_\gamma \cdot m \cdot t} \quad (1)$$

Үүнд: А- изотопын хувийн идэвх (Бк/кг); N(E)- спектрийн шугамын талбай; k_γ- гамма квантын гаралт; ε₀(E)- усны хувьд (ρ=1г/см³) олсон детекторын үнэмлэхүй бүртгэх чадвар; k- дээжид гамма туяаны сулралтыг тооцсон тогтмол (туршлагаар тодорхойлсон); m - дээжийн жин (кг); t - хэмжсэн хугацаа (с). [4]

Гамма цацрагийн тунгийн чадал (Р)

Хөрсөн дэх байгалийн цацраг идэвхт элементүүдийн хувийн идэвхийн хэмжээг ашиглан газрын хөрснөөс 1 м өндөрт агаарт шингэсэн цацрагийн тунгийн чадлыг дараах томъёогоор бодож олов.

$$P = 0.427A_U + 0.662A_{Th} + 0.043A_K \quad (2)$$

Үүнд: P_{abs}-цацрагийн тунгийн чадал (нГр/цаг); A_U, A_{Th}, A_K- ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K-ийн хувийн идэвх (Бк/кг).

Гамма цацрагаас жилд авах эффектив эквивалент тун (D)

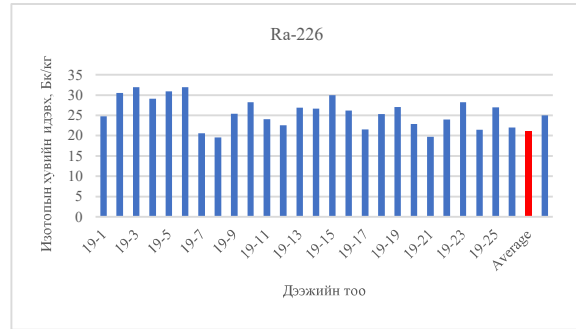
Хүний амьсгалах түвшний агаарт шингэсэн тунгийн дундаж чадлыг хүн гадаа байх харьцангуй хугацаа 0.2 болон гамма цацрагийн дундаж энергийн хувьд эквивалент тунгийн чадлыг шингэсэн тунгийн чадалд харцуулсан харьцаа 0.7-г ашиглан хөрсөнд агуулагдах байгалийн цацраг идэвхт изотопуудын гамма цацрагаас жилд авах эффектив эквивалент тунг дараах байдлаар тооцов.

$$D(\text{мкЗВ}) = 0.2 \cdot P(\text{нГр/цаг}) \cdot 0.7(\text{Зв/Гр}) \cdot 8760(\text{цаг/жил}) \quad (3)$$

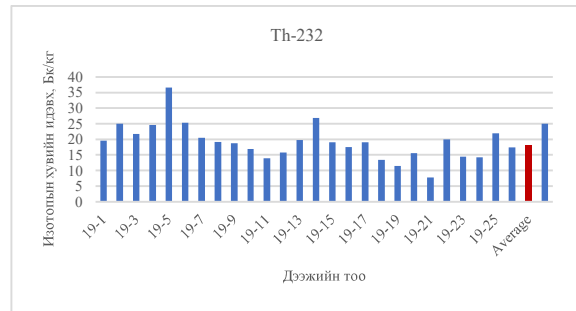
Зүүнбаян Тосон-Уулын ордуудаас авсан хөрсний дээжинд цацраг идэвхт элементүүдийн

дундаж утгыг тодорхойлсон дүнг 1-р хүснэгтэнд харуулав.

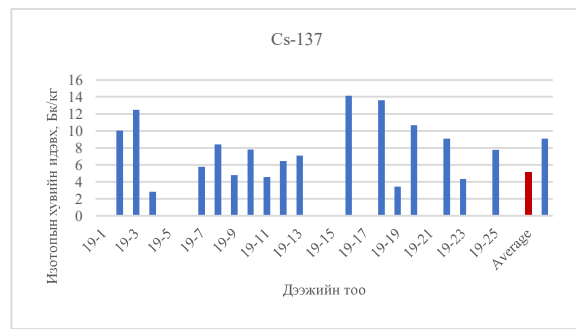
ҮР ДҮН



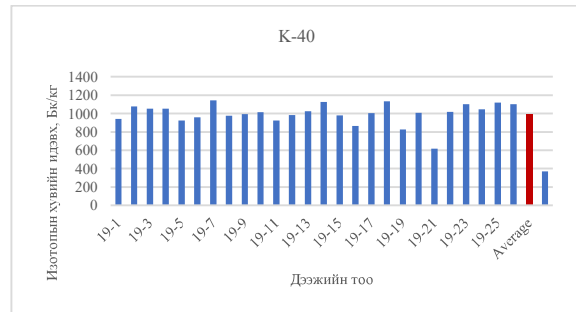
Зураг 1. Тосон-Уулын ордын хөрсний дээж дэх байгалийн болон үүсмэл цацраг идэвхт изотопуудын хувийн идэвх.



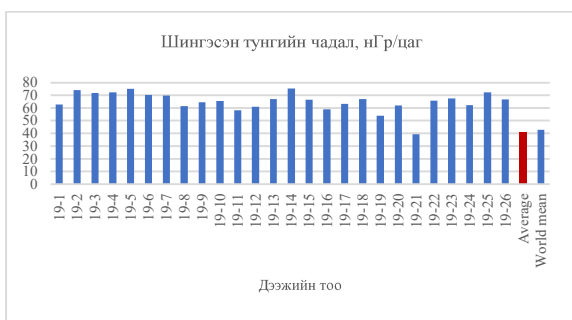
Зураг 2. Тосон-Уулын ордын хөрсний дээж дэх байгалийн болон үүсмэл цацраг идэвхт изотопуудын хувийн идэвх.



Зураг 3. Тосон-Уулын ордын хөрсний дээж дэх байгалийн болон үүсмэл цацраг идэвхт изотопуудын хувийн идэвх.



Зураг 4. Тосон-Уулын ордын хөрсний дээж дэх байгалийн болон үүсмэл цацраг идэвхт изотопуудын хувийн идэвх.



Зураг 5. Тосон-Уулын ордын хөрсний дээж дэх байгалийн болон үүсмэл цацраг идэвхт изотопуудын хувийн идэвх.

Бидний хийсэн судалгаагаар Зүүнбаянгийн ба Тосон-Уулын ордын хөрсөнд агуулагдах элементийн хувийн идэвхийг харьцуулан үзвэл ураны задралын бүтээгдэхүүн болох ^{226}Ra -хувийн идэвх Зүүнбаянгийн ордын хувьд дэлхийн дундаж орчим 25 Бк/кг, Тосон-Уулын ордын хувьд 17 Бк/кг буюу дэлхийн дунджаас 1.4 дахин бага, ^{232}Th -хувийн идэвх Зүүнбаянгийн ордын хувьд дэлхийн дундаж орчим 23 Бк/кг, Тосон-Уулын ордын хувьд 18

Хүснэгт 1. Зүүнбаян, Тосон-Уулын ордуудын хөрсний дээж дэх байгалийн цацраг идэвхт изотопуудын хувийн идэвх, элементийн агууламж, тунгийн чадал, эффе́ктив эквивалент тун.

Дээжийн дугаар	Хувийн идэвх, (Бк/кг)				Элементийн агууламж, г/тн			Тунгийн чадал (нГр/цаг)	Эффе́ктив эквивалент тун, мкЗв
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	U, г/тн	Th, г/тн	K, %		
Зүүнбаян	25	23	964	17.2	2.1	5.5	3.2	66	539
Тосон-уул	21	18	985	5.0	1.8	4.7	3.3	41	454
Дэлхийн дундаж [3]	25	25	370	9.2	2.0	5.2	1.4	43	478



Зураг 6. Зүүнбаян ба Тосон-Уулын ордын ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K – элементийн агууламжыг харьцуулсан хүснэгт.

Тус хайгуулын талбайн оршин суугчдын жилд авах эффе́ктив эквивалент тунгийн хэмжээ нь Зүүнбаянгийн ордын хувьд дэлхийн дунджаас 1.1 дахин их буюу 539 мкЗв, Тосон-Уулын ордын хувьд дэлхийн дунджаас 1.1 дахин бага 421 мкЗв байна.

Бк/кг буюу дэлхийн дунджаас 1.3 дахин бага, ^{40}K -хувийн идэвх Зүүнбаянгийн ордын хувьд дэлхийн дунджаас 2.6 дахин их буюу 964 Бк/кг, Тосон-Уулын ордын хувьд 795 Бк/кг буюу дэлхийн дунджаас 2.1 дахин их, үүсмэл ^{137}Cs изотопын хувийн идэвх Зүүнбаянгийн орд орчмын хөрсөнд 17 Бк/кг байгаа нь Монгол орны нутаг дэвсгэрийн хөрсөн дэх ^{137}Cs -ийн хуримтлалын хамгийн их магадлалтай утгаас 4.6 дахин бага хувьд дэлхийн дунджаас 1.5 дахин бага буюу 17 Бк/кг, Тосон-Уулын ордын хувьд 12 Бк/кг буюу дэлхийн дунджаас 2.3 дахин бага байна. Үүсмэл ^{137}Cs изотоп дэлхийн дунджаас бага гарсан нь хөрс эвдрэлд орсныг харуулж байна.

Хүний амьсгалах түвшний өндөрт өгөх цацрагийн тунгийн чадлыг тооцоолон үзэхэд Зүүнбаянгийн ордын хувьд хамгийн их 66 нГр/цаг буюу дэлхийн дунджаас 1.5 дахин их, Тосон-Уулын ордын хувьд 53 нГр/цаг буюу дэлхийн дунджаас 1.2 дахин их гарсан.

Хүснэгт 3-г Тосон –уул XIX-талбайн технологийн усны дээжинд хүнд хортой элемент, цацраг идэвхт элементийг геологийн төв лабораторийн ICP-124 спектрометрээр тодорхойлсон дүнг үйлдвэрлэлийн болон хаягдал усны стандарттай харьцуулан 2-р хүснэгтэд үзүүлэв.

Зүүнбаянгийн ордын ашиглалт 1950-1969 онууд явагдаж хэсэг завсарласны дараа 1990-ээд оноос дахин сэргэж одоог хүртэл үйл ажиллагаа явагдаж байна. Харин Тосон-Уулын ордын хувьд газрын тосны хайгуул, ашиглалт нь 1994 оноос эхлээд одоог хүртэл явагдаж байгаа Тосон-Уул XIX- талбайд үйлдвэрлэлийн болон олборлолтын зориулалтаар ашиглаж байгаа уст цэгүүдийн усны дээжүүдэд 2015 оны 7 сарын 3-6 нд Геологийн төв лабораторид физик, химийн аргаар шинжилгээг хийсэн. Уг шинжилгээгээр хүнцэл As 0.07-0.018 мг/л буюу дундаж утга нь

0.06 мг/л, үйлдвэрлэлийн болон хаягдал усны стандарттай харьцуулахад 6 дахин их, кадмий $Cd < 0.005$, селен Se 0.024-0.025 мг/м буюу дундаж утга нь 0.024мг/л стандарттай харьцуулахад 1.25 дахин их, уран 0.147-0.171 мг/л байгаа нь (MNS 4943:2011) стандартаас

даруй 3 дахин их утгатай, кали элементийн агууламж 7.4-8.3 мг/л, хар тугалга $Pb < 0.001$, кобальт Co 0.001-0.002 мг/л байгаа нь (MNS 4943:2011) үйлдвэрлэлийн болоод саармагжуулсан хаягдал усны тандартын шаардлага хангаж байна.

Хүснэгт 2. Усны дээжинд цацраг идэвхт элемент болон зарим дагалдах элемент тодорхойлсон дүн.

№	Лаб №	Дээжийн нэр	Элементийн агууламж, мг/л							
			As	Cd	Co	Pb	Se	U	K	
1	6999	(2) Тосон-уул ТА-I байгууламж цэвэршүүлэхээс өмнөх ус	0.008	<0.001	0.002	<0.001	0.025	0.154	7.40	
2	7000	Тосон-уул ТА-I байгууламж цэвэршүүлсэн ус	0.010	<0.001	0.002	<0.001	0.025	0.154	7.50	
3	7001	1-11 дахин дамжуулах хуваарилах байгууламжаас шахаж буй ус	0.018	<0.001	0.002	<0.001	0.024	0.149	8.00	
4	7002	(5-21) ус шахалтанд зориулан олборлож буй худгийн ус	0.008	<0.001	0.002	<0.001	0.025	0.171	7.80	
5	7003	Тосон-уул 19 талбайн 1-4 насосоос гарч буй ус	0.016	<0.001	0.001	<0.001	0.025	0.147	8.30	
MNS4943:2011 стандарт, үйлдвэрлэлийн болоод саармагжуулсан хаягдал ус			0.01	0.03	0.020	0.100	0.020	0.050		
Чанарын хяналт										
1	СУ	Шифр-1544	Стандарт уусмалын агуулга	0.080	0.010	0.025	0.040	0.010	0.010	3.00
			Шинжилсэн утга	0.082	0.010	0.026	0.037	0.010	0.010	3.10
Шинжилгээний аргын код			ICP-124							ICP-125

Тосон-уул XIX- талбайн усны дээжинд хийсэн цацраг идэвхт элементийн агууламжийг МУИС-ийн цөмийн судалгааны төвийн гаммаспектрометр дээр тодорхойлсон дүнг үйлдвэрлэлийн болоод хаягдал усны стандарттай харьцуулан хүснэгт 3-т үзүүлэв. 3-р хүснэгтэнд XIX-талбайн ус шахалтанд зориулан олборлож буй худгийн ус, Тосон-Уул XIX талбайн ТА-1 байгууламжид цэвэршүүлэхээс өмнөх ус, Тосон-Уул XIX талбайн ТА-1 байгууламжид цэвэршүүлсэн ус, Тосон-Уул XIX талбайн 1-4 насосоос гарч байгаа ус, (1-11) дахин дамжуулах хуваарьлах байгууламжаас шахаж буй усан дахь цацраг идэвхт изотопын эзлэхүүний идэвхийг гаммаспектрометрийн аргаар тодорхойлсон дүнг харуулав. Хэмжилтийн үр дүнгээс харахад хар тугалга

^{214}Pb изотопын идэвх 2.5-11.6 Бк/л, ^{214}Bi изотопийн идэвх 0.6-40.6 Бк/л, усанд ууссан ^{222}Rn изотопын идэвх 1.5-32.5 Бк/л, ^{226}Ra изотоп илрээгүй ба, ^{238}U изотоп (1-11) дахин дамжуулах хуваарилах байгууламжаас шахаж буй усанд 3 Бк/л хэмжээтэй илэрсэн байна. Тосон-уул XIX талбай ТА-1 байгууламжид цэвэршүүлсэн усанд бусад дээжүүдийг бодвол ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{222}Rn изотопын идэвх харьцангуй өндөр гарсан байна. XIX-р талбайн усны дээжинд хийсэн хэмжилтийн дүнгээс харахад байгалийн цацраг идэвхт элемент болох уран илэрсэн газар хүнд хортой элемент болох хүнцэл, селен дагалдан илэрсэн байна. Усны дээжүүдэд ураны агуулга өндөр гарсан нь газрын гүний ус буюу формацын ус ашиглаж байгаатай холбоотой гэж үзэж байна.

Хүснэгт 3. Тосон-Уул XIX- талбайн усны дээжинд байгалийн болон үүсмэл цацраг идэвхт изотопуудын хувийн идэвх.

№	Дээжийн нэр	Изотопын эзлэхүүний идэвх, Бк/л				
		^{214}Pb	^{214}Bi	^{222}Rn	^{226}Ra	^{238}U
1.	(5-22) Ус шахалтанд зориулан олборлож буй худгийн ус	11.6	10.3	10.9	<0.4	<0.4
2.	(5-23) Ус шахалтанд зориулан олборлож буй худгийн ус	3.7	7.6	5.6	<0.4	<0.4
3.	Тосон-Уул XIX талбайн ТА-I байгууламжид цэвэршүүлэхээс өмнөх ус	6.7	14.3	10.5	<0.4	<0.4

4.	Тосон-Уул XIX талбайн ТА-1 байгууламжид цэвэршүүлсэн ус	24.4	40.6	32.5	<0.4	<0.4
5.	(5-21) Ус шахалтанд зориулан олборлож буй худгийн ус	11.1	25.0	18.1	<0.4	<0.4
6.	Тосон-Уул XIX талбайн 1-4 насосоос гарч байгаа ус	2.5	0.6	1.5	<0.4	<0.4
7.	(1-11) Дахин дамжуулах хуваарьлах байгууламжаас шахаж буй ус	3.8	0.6	2.2	<0.4	3.0
Илрүүлэх доод хязгаар (1л эзэлхүүнтэй, 1цаг хэмжих үед)		0.3	0.5	0.4	0.4	0.4

ДҮГНЭЛТ

1. Зүүнбаянгийн орд орчмын хөрсний дээжинд ^{226}Ra -хувийн идэвх нь дэлхийн дундаж орчим 25 Бк/кг, Тосон-Уулын орд орчмын хөрсний дээжинд 21 Бк/кг буюу дэлхийн дунджаас бага, Зүүнбаянгийн орд орчмын хөрсний дээжинд ^{232}Th -хувийн идэвх дэлхийн дундаж орчим 23 Бк/кг, Тосон-Уулын орд орчмын хөрсний хувьд 18 Бк/кг буюу дэлхийн дунджаас 1.3 дахин бага, ^{40}K -хувийн идэвх Зүүнбаянгийн орд орчмын хөрсний дээжинд дэлхийн дунджаас 2.6 дахин их буюу 964 Бк/кг, Тосон-Уулын ордын хөрсний хувьд 985 Бк/кг буюу дэлхийн дунджаас 2.1 дахин их, үүсмэл ^{137}Cs изотопын хувийн идэвх Зүүнбаянгийн орд орчмын хөрсний дээжинд дэлхийн дунджаас 1.5 дахин их буюу 17 Бк/кг, Тосон-Уулын ордын хөрсний хувьд 5 Бк/кг буюу дэлхийн дунджаас 1.8 дахин бага байна. Үүсмэл ^{137}Cs изотоп дэлхийн дунджаас бага гарсан нь хөрс эвдрэлд орсныг харуулж байна.
2. Газрын тос агуулагч чулуулаг нь элс ба элсэн чулуу, шаварлаг занар, карбонатын чулуулаг бөгөөд эдгээр чулуулагт ^{238}U хувийн идэвх 10-44 Бк/кг буюу дунджаар 25.75 Бк/кг, ^{232}Th хувийн идэвх 7-48 Бк/кг буюу дунджаар 25 Бк/кг, ^{40}K хувийн идэвх 90-700 Бк/кг байдаг байна. Газрын тосны орд газар орчмын цацрагийн дэвсгэр түвшин нь газрын тос агуулагч чулуулгийн төрлөөс хамаарч байгаа ба энэ нь шаралтын тун өгөх нөхцлийг бүрдүүлж байж болох юм.
3. Цацраг идэвхт изотопуудын хувийн идэвхээс хамааруулан газрын гадаргаас 1метр өндөрт хүний амьсгалах түвшинд цацрагийн шингэсэн тунгийн чадлыг тооцоолон үзэхэд Зүүнбаянгийн орд орчимд 66 нГр/цаг, Тосон-уулын орд орчимд 52.8 нГр/цаг байгаа нь дэлхийн дунджаас харгалзан 1.5 ба 1.2 дахин их байна.
4. XIX-р талбайн усны дээжинд хийсэн туршилтын хоруу чанарын дүнгээс харахад

байгалийн цацраг идэвхт элемент болох уран илэрсэн газар хүнд хортой элемент болох хүнцэл, селен дагалдан илэрсэн байна. Усны дээжүүдэд ураны агуулга өндөр гарсан нь газрын гүний ус буюу формацын ус ашиглаж байгаатай холбоотой гэж үзэж байна. Мөн ашигт малтмалын орд байгаа газар макроэлементүүдийн тархалт ерөнхий аномальтай байдагтай холбоотой гэж үзэж байна.

5. Тамсагбулагийн XIX-213 цооногийн газрын тосны усанд Al, XIX-40 цооногийн газрын тосны усанд Sr, XIX-21 цооногийн газрын тосны усанд Na, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Mg, Ba, K, XIX-25-50 цооногийн газрын тосны усанд Fe, As, Mn, Ag зэрэг элементүүд их илэрсэн. Эндээс харахад хойд Тосон-Уулын XIX-21 цооногийн газрын тосны ус нь өмнөд Тосон-Уулын XIX 213, 40, 25-50 цооногийн газрын тосны устай харьцуулахад эрдэсжилт ихтэй байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] [1] Sources, Effects and Ricks of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the effects of the Atomic Radiation, Report of the General Assembly. New York, 1993
- [2] [2] Арбузов С.И., Рихванов Л.П. Геохимия радиоактивных элементов, 2010. 34-55с
- [3] [3] Н.Норов, С.Даваа, Н.Ганбаатар Байгалийн цацраг идэвхийг судлах гамма спектрометрийн нэгэн
- [4] арга, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №6(147), УБ, 1999, 162-169-р тал
- [5] [4] Erdenetuya.M, Norov.N, Erkhembayar.Ts., (2013), Radioactive Background of Petroleum Exploration Field Around Zuunbayan Town of Dornogobi Province in Mongolia, proceedings of the 5th international conference on contemporary physics, ICCP-V, Mongolia, p.242-245.