

МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ
ШИНЖЛЭХ УХААНЫ СУРГУУЛЬ

МУИС-ийн Эрдэм шинжилгээний бичиг

ФИЗИК

№28 (510)

2019 он

Редакцийн зөвлөл:

Зөвлөлийн дарга:

Др, Проф. Ж.Даваасамбуу
Монгол Улсын Их Сургууль

Гишүүд:

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1. Док. Проф. Б.Бурмаа | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 2. Док. Проф. Н.Цогбадрах | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 3. Док. Проф. П.Энхбаяр | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 4. Док. Дэд проф. Ж.Ванчинхүү | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 5. Док. Дэд проф. Д.Улам-Оргих | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 6. Док. Дэд проф. Ц.Баатарчулуун | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 7. Док. Ц.Энхбат | Шинжлэх Ухааны Академи |
| 8. Док. Ч.Содбилэг | Шинжлэх Ухааны Академи |
| 9. Док. Дэд проф. П.Мөнхбаатар | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 10. Док. Дэд проф. С.Мөнхцэцэг | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 11. Док. Дэд проф. Н.Төвжаргал | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 12. Док. Дэд проф. Б.Мөнхбат | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 13. Док. Дэд проф. С.Одмаа | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 14. Док. Дэд проф. Х.Тэгшжаргал | Монгол Улсын Их Сургууль |
| 15. Док. Ч.Алдармаа | Шинжлэх Ухаан Технологийн
Их Сургууль |

Дугаарыг эмхтгэсэн:

Редакцын зөвлөлийн нарийн бичгийн дарга

Док. Дэд проф. Г.Эрдэнэ-Очир Монгол Улсын Их Сургууль

МУИС-ийн ШУС-ийн Физикийн тэнхим,
© Монгол улсын их сургууль,
Их сургуулийн гудамж-1, Сүхбаатар дүүрэг,
Улаанбаатар – 210646, Монгол улс, 2019

ISSN 2311-1097

ГАРЧИГ

1.	Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe₂O₄ нэгдлийн гарган авах арга ба түүний соронзон шинж чанарт үзүүлэх нөлөө Chun Feng, Н.Цогбадрах, О.Төгс, Хашчулуун, Д.Сангаа	1
2.	Nd₂Fe₁₄B соронзон материал гарган авах судалгаа Н.Төвжаргал, М.Отгонбаатар, Ж.Даваасамбуу, О.Төгс	6
3.	Альфа-альфа системийн резонанс төлөвүүдийг комплекс хувиргалтын арга ашиглан тодорхойлох нь Б.Өсөхбаяр, Г.Хүүхэнхүү, С.Даваа, А.Сарсембаева, К.Като, М.Одсүрэн	11
4.	Кварц агуулсан чулуулаг дээжний даралтын нөлөөн дэх кристалл бүтцийн өөрчлөлт болон үлдэгдэл микро деформацийн судалгаа А.Бадмаараг, К.Шеффцюк, Д.Сангаа, И.Хишигдэмбэрэл, Л.Энхтөр	15
5.	Цахилгаан статик орон дахь устөрөгчийн атомын туннелийн иончлол Ч.Алдармаа, Л.Хэнмэдэх, Г.Зоригт	21
6.	Газрын гадаргуугийн хэлбэр бүрэлдэхэд гранитын биетүүдийн оролцоо Н.Арвисбаатар, Ц.Баатарчулуун, Б.Бат, Б.Жавзандолгор, Б.Даариймаа, Т.Нарангарав	27
7.	Хөрсөн дэх зэсийн бохирдлыг электрокинетикийн нөхөн сэргээлтийн аргаар бууруулах судалгаа Ё.Жажинжав, Б.Очирхуяг, О.Болормаа	32
8.	Fabrication and evaluation of Ti-V-Cr hydrogen storage alloy P.Dashdemberel, N.Tuvjargal, A.Kamegawa and T.Kimura	38
9.	Салхины явцад ажиглагдах хуйн параметруудийг тодорхойлох нь Ж.Ванчинхүү, Г.Амгалан, Э.Баянжаргал	41
10.	Ургамлын лейцин баялаг давталт агуулсан уургийн 3₁₀-хеликс – β-эргэлтээс бүрдэх супер хоёрдогч бүтэц ба домеин бүтцийн тодорхойлолт Д.Батхишиг, Н.Мацушима, П.Энхбаяр	48
11.	Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлыг илэрхийлэгч зарим оптик параметруудийн жилийн явцын судалгаа (2015-2018) Ц.Баатарчулуун, Г.Батсүх, Б.Даариймаа, Б.Жавзандолгор, Т.Нарангарав, Н.Түгжсүрэн	56
12.	Агаарын PM_{2.5} тоосонцрын морфологи, химийн найрлагын судалгааны зарим үр дүнгээс Л.Энхцэцэг, Н.Төвжаргал, П.Зузаан, Д.Шагжжамба, Ц.Амартайван	62

13. ДНХ-ийн мэдээллийн үндэсний сан, “MonDIS” програм
А.Баярбаатар, П.Энхбаяр, Б.Барсболд, Г.Махгал, Ш.Пүрэвдулам,
Б.Тэнүүн, Б.Гантуяа, С.Ганболд 67
14. InGaAs/InAlAs quantum well дэх цахиурын атомын хольцын
нөлөө
О.Оюун-Эрдэнэ, Ж.Биазиол, Г.Тамираа 73
15. Төвийн бүс нутгийн хөрсөн дэх ^{137}Cs -ийн хуримтлал
Ц.Сайнсанаа, Н.Норов 76

Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe₂O₄ нэгдлийн гарган авах арга ба түүний соронзон шинж чанарт үзүүлэх нөлөө

Chun Feng^{1,2}, Н. Цогбадрах^{1,*}, О. Төгс², Хашчулуун², Д. Сангаа³

¹ Монгол Улс, Улаанбаатар – 14201, Монгол Улсын Их Сургууль, Физикийн тэнхим.

² БНХАУ, Хөх хот-010022, Өвөр Монголын Багшийн Их Сургууль, Функционал материалын физик, химийн төв лаборатори.

³ Монгол Улс, Улаанбаатар – 13330, ШУА, Физик технологийн хүрээлэн.

Хатуу төлөвийн урвалын аргаар Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe₂O₄ феррит материалыг гарган авч, түүний бүтэц, цэвэршилтийг рентген дифракцын аргаар, соронзон шинж чанарыг магнетометр ашиглан судлав. Түүнчлэн хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр дээжээс ялгарах дулааны хэмжээг дээж гарган авах горим, дулааны боловсруулалтаас хамааруулан тодорхойлов. Дээж гарган авах туршилтаас харахад 8 цаг тээрэмдэж, огцом хөргөх замаар гарган авсан дээж дан куб шпинел бүтэцтэй, кристаллын мөхлөгийн хэмжээ харьцангуй том, ханалтын соронзон момент ба хувьсах соронзон оронд дулаан ялгаруулах чанар нь цэвэр магни феррит (MgFe₂O₄) нэгдэлээс илүү болохыг үзүүлэв. Энд 8 цаг тээрэмдсэн дээжийг огцом хөргөхөд ханалтын соронзон момент M_s нь 14.22 -аас 25.70 Ам²/кг болж, үлдэгдэл соронзон момент M_r нь 7.68–аас 10.16 Ам²/кг болж нэмэгдэж байна. Соронзон албадлага H_c нь дээжийг хөргөх горимоос хамаарахгүй 192 Ое байна. Хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр дээжийн ялгаруулах дулааныг хэмжихэд $\Delta t=50^\circ\text{C}$ температурын өөрчлөлт үүсгэх хугацаа аяндаа хөргөхөд 122.4 секунд байсан бол огцом хөргөхөд 106.4 секунд болж өөрчлөгдөж байна. Энэ нь дээж гарган авах дулааны боловсруулалтын горимыг өөрчлөх замаар соронзон чанарыг сайжруулж, хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр ялгарах дулааны шинж чанарыг нэмэгдүүлж болохыг харуулж байна.

PACS numbers: 75.47.Lx, 75.60.Ej, 75.60.Lr

I. ОРШИЛ

Хавдрын халуун эмчилгээнд зориулж, хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр дулаан ялгаруулах чадвар өндөр материалыг судлах ажил эрчимтэй явагдаж байна [1]. Иймд ойрын жилүүдэд судлаачид феррит төрлийн соронзон материал MgFe₂O₄-ийг хавдрын халуун эмчилгээнд хэрэглэх боломжтойг судлан тогтоосон байдаг [1-3]. Хавдрын эс нь хүний биеийн эрүүл эстэй харьцуулахад халуунд тэсвэргүй байдаг бөгөөд хавдартай хэсгийг 42-46°C хүртэл халаах замаар хавдрын эсийн бойжилтыг саатуулах буюу үхжүүлж болдог бөгөөд үүнийг хавдрын халуун эмчилгээ гэдэг [4-5]. Иймээс феррит төрлийн соронзон материалыг биеийн хавдартай хэсэгт тариурын тусламжтай оруулж, өвчтэй хэсгийг хувьсах соронзонд оруулахад тэнд дулаан ялгарч, температур 42-46°C хүрэхэд хавдрын эсийн өсөлт зогсож, үхжин эмчилгээний зорилгот хүрнэ. Ийм эмчилгээ нь хүний биед үзүүлэх сөрөг нөлөө бага, жигд халах, бас гаднын соронзон орны тусламжаар соронзон орны

урсгалын чиглэл, орон зайг оновчтой удирдах болон өвчтэй хэсгийн хэмжээгээр хязгаарлагдахгүй зэрэг олон давуу талуудтай. Иймээс энэ төрлийн эмчилгээний материал өдрөөс өдөрт маш олон судлаачдын анхаарлыг татаж байна.

Соронзон мөхлөгийн дулаан ялгаруулах механизм: соронзон мөхлөгийг гаднын хувьсах соронзон оронд оруулахад дулаан ялгарах шалтгаан нь голдуу доорх хэдэн төрөл байна. Үүнд,

- Диаметр нь 1мм –с дээш хэмжээтэй соронзон мөхлөгт цахилгаан эсэргүүцэл харьцангуй бага байж, ихэвчлэн шилжилтийн гүйдэл, соронзон хожимдлоос болж дулаан ялгаруулна [4].
- Диаметр нь микрометрийн түвшнээс доош хэмжээтэй соронзон мөхлөгүүд голдуу соронзон хожимдлоос болж дулаан ялгаруулна.
- Ниелийн ба Броуны хөдөлгөөний тэнцвэржилтээс дулаан ялгарна.

Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe₂O₄ феррит материалын гаднын соронзон орны үйлчлэлээр ялгаруулах дулааны

* Electronic address: tsogbadrakh@num.edu.mn

хэмжээ нь түүний мөхлөгийн хэмжээ болон кристалл бүтэцтэй нягт холбоотой[4-7]. Мэдээж соронзон зууч бодисын дулааны үйлчлэл сайжрах тусам үйлчлэх хугацааг багасгах болон соронзон орны хүч, давтамжийг багасгах боломжтой бөгөөд бодит хэрэглээнд үзүүлэх нөлөө илэрхий байдаг [8-9]. Тухайлбал, материалын дулаан ялгаралтыг сайжруулах нь эмчилгээний үр дүнг сайжрах, өвчинтэй хэсэгт оруулах соронзон материалын хэмжээг багасгаж, хүний биед үзүүлэх сөрөг нөлөөг багасгах болон гаднаас өгөх соронзон орны хүч ба давтамжийг багасгах боломжтой болно. Иймээс тус судалгаанд феррит төрлийн соронзон материалын хувьсах соронзон орны үйлчлэлээр ялгарах дулааны хэмжээг нэмэгдүүлэх ажлыг хийж гүйцэтгэв.

Тус ажлын зорилго нь $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$ феррит материалыг хатуу төлөвийн урвалын аргаар хольж тээрэмдэх (ball milling) аргаар гарган авч, түүний кристалл бүтэц, соронзон шинж чанар болон хувьсах соронзон орон дахь дулаан ялгаруулах чадварыг тодорхойлох явдал юм.

II. ТУРШИЛТЫН АРГА ЗҮЙ

Дээж гарган авах

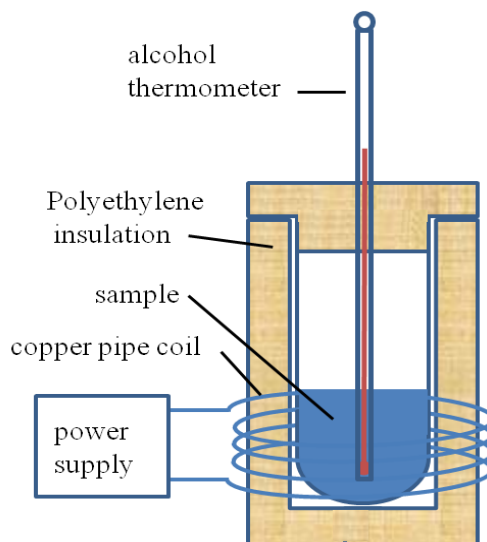
Хатуу төлөвийн урвалын аргаар $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$ феррит материалыг гарган авахдаа цэвэр Fe_2O_3 (цэвэршилт > 99.5%), MgO (цэвэршилт > 99%), CaO (цэвэршилт > 99%) нунтаг дээжийг нарийн хэмжиж, тодорхой молийн харьцаагаар хольж янз бүрийн хугацаа (4, 8, 12 цаг)-аар тээрэмдэж гарган авна. Эдгээр дээжээс хамгийн сайн чанар үзүүлсэн горимыг сонгон гарган авсан дээжийг $1100^{\circ}C$ -т 2 цаг шатааж дулааны боловсруулалтад оруулаад аяндаа хөргөх болон хүйтэн усанд дүрж шууд хөргөж тасалгааны температурт хүргэх зэрэг горимуудаар гаран авч харьцуулан судлав.

Хэмжилт

Дээрх янз бүрийн горимоор гарган авсан $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$ дээжүүдийн кристалл бүтэц, цэвэршилтийг Philips PW-1700 рентген дифрактометрээр, соронзон шинж чанарыг Lake shore 7407 магнетометр ашиглан тус тус хэмжив. Дээжийг хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр ялгаруулах дулааныг хэмжихдээ өөрсдийг

загварыг гаргаж бүтээсэн багажаар хэмжсэн бөгөөд төхөөрөмжийг зураг.1-т үзүүлэв.

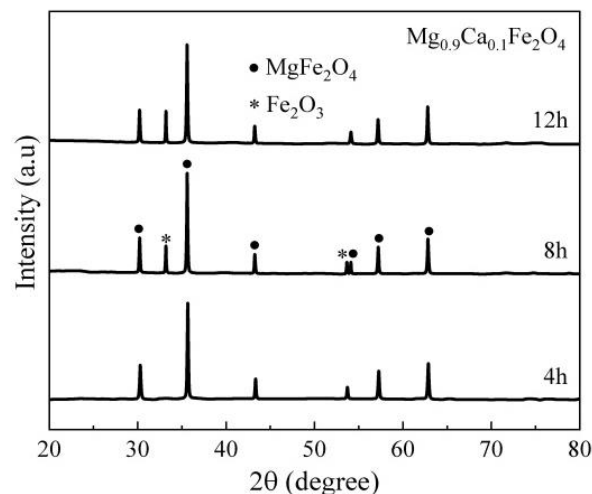
Тус төхөөрөмжийн 100Вт чадалтай, 25кГц давтамжтай хүчдэлийн үүсгүүрт, 6мм диаметртэй зэс утсаар хийсэн ороомгийг хувьсах цахилгаан хүчдэлд холбож хувьсах соронзон орон үүсгэнэ. Колориметрт 2мл нэрмэл усанд 1гр $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$ бодисыг хийж ороомгийн дунд хэсэгт байрлуулан, хүчдэл залгаж хугацаа болон холимогын температурын өөрчлөлтийг хэмжиж авах болно.



Зураг 1. Хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр дээжээс ялгарах дулааныг хэмжих төхөөрөмж.

III. ҮР ДҮН БОЛОН ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

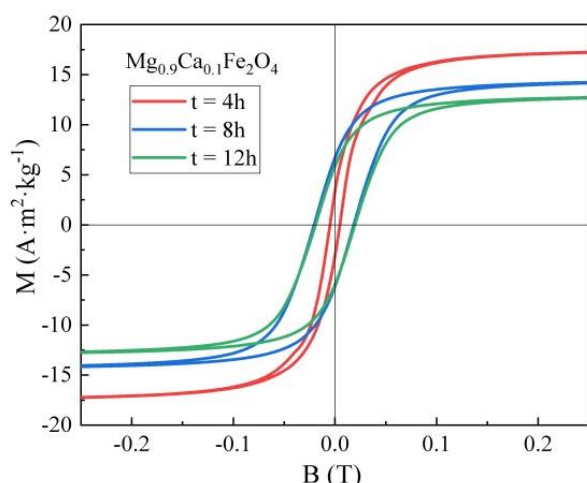
Зураг.2-д $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$ нэгдлийг янз бүрийн хугацаа (4, 8, 12 цаг)-д тээрэмдэж гарган авсан дээжийн тасалгааны температур дахь рентген дифракцын спектрийг үзүүлэв.



Зураг 2. 4, 8, 12 цаг тээрэмдэж гарган авсан $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$ дээжийн рентген дифракцын спектр.

Рентген дифракцын спектрийн боловсруулалтаас үзэхэд бүх дээжид MgFe_2O_4 төрлийн (огторгуйн групп нь Fd-3m) кристалл бүтэцтэй байгааг тодорхойлов. Түүнчлэн 8 болон 12 цаг тээрэмдэж гарган авсан дээжүүдэд туршилтын эх бодис Fe_2O_3 бага зэрэг агуулагдаж байгаа пик илэрсэн байна.

Зураг.3-д $\text{Mg}_{0.9}\text{Ca}_{0.1}\text{Fe}_2\text{O}_4$ нэгдлийн тасалгааны температур дэх соронзон гистерозисын муруйг үзүүлэв. Эндээс үзэхэд 4 цаг тээрэмдсэн дээжийн ханалтын соронзон момент нь өндөр боловч үлдэгдэл соронзон момент ба соронзон албадлага нь 8 цаг тээрэмдсэн дээжийн хувьд илүү үр дүнтэй байна.



Зураг 3. 4, 8, 12 цаг тээрэмдэж гарган авсан $\text{Mg}_{0.9}\text{Ca}_{0.1}\text{Fe}_2\text{O}_4$ дээжийн тасалгааны температур дэх соронзон гистерозисын муруй.

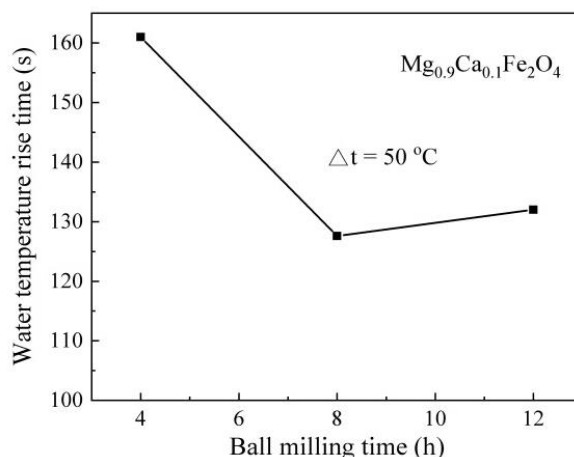
Хүснэгт.1-д янз бүрийн хугацаанд тээрэмдэж гарган авсан дээж тус бүрийн соронзон шинж чанарын хэмжилтийн утгыг үзүүлэв.

Хүснэгт 1. 4, 8, 12 цаг тээрэмдэж гарган авсан $\text{Mg}_{0.9}\text{Ca}_{0.1}\text{Fe}_2\text{O}_4$ дээжийн нэгдлийн соронзон хэмжилтийн утгууд.

Хугацаа (цаг)	4	8	12
M_s (Am^2/kg)	17.24	14.24	12.68
M_r (Am^2/kg)	6.2	7.68	6.85
H_c (Oe)	43	192	192

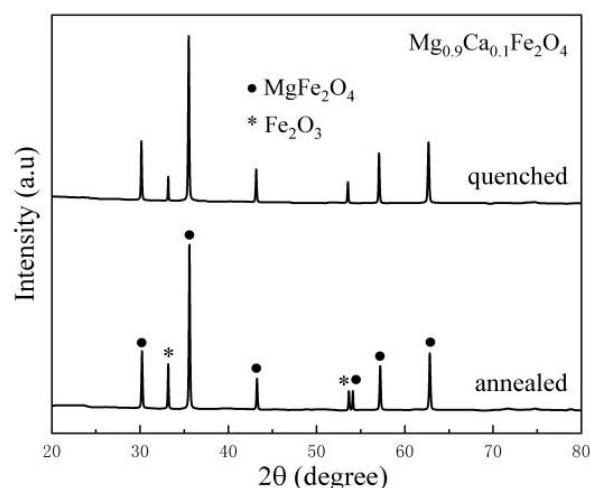
Эндээс 8 цаг тээрэмдэж гарган авсан $\text{Mg}_{0.9}\text{Ca}_{0.1}\text{Fe}_2\text{O}_4$ дээж хамгийн сайн соронзон шинж чанар үзүүлж байна гэж үзсэн болно.

Зураг.4-д 4, 8, 12 цаг тээрэмдэж гарган авсан $\text{Mg}_{0.9}\text{Ca}_{0.1}\text{Fe}_2\text{O}_4$ дээжийг хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр ялгаруулах дулааныг хэмжсэн хэмжилтийн үр дүнг харуулав.



Зураг 4. 4, 8, 12 цаг тээрэмдэж гарган авсан $\text{Mg}_{0.9}\text{Ca}_{0.1}\text{Fe}_2\text{O}_4$ дээжийг хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр үүсэх 50°C температурын өөрчлөлт, хугацааны хамаарал.

Ингэхдээ тус хэмжилтэд зураг.1-д үзүүлсэн төхөөрөмжийг ашиглан, колориметрт 2мл ус ба янз бүрийн тээрэмдэж гарган авсан 1гр $\text{Mg}_{0.9}\text{Ca}_{0.1}\text{Fe}_2\text{O}_4$ дээжийг тус бүр хольж хийн ороомгийн дунд хэсэгт байрлуулан, хувьсах хүчдэл залган хугацаа болон холимогын температурын өөрчлөлтийг тэмдэглэж авна. Зурагт гаднын хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр дээж дулаан ялгарч, усны температур 30°C - 80°C болоход зарцуулсан хугацаа Δt -ээр дулаан ялгарах шинж чанарыг харьцуулан үзүүлэв. Эндээс үзэхэд 8 цаг тээрэмдсэн дээжийн дулаан ялгаруулах чанар хамгийн сайн буюу $\Delta T = 50^\circ\text{C}$ үед зарцуулах хугацаа хамгийн богино $\Delta t = 127.6$ с байна.



Зураг 5. 1100°C -ээс аяндаа болон огцом хөргөж гарган авсан $\text{Mg}_{0.9}\text{Ca}_{0.1}\text{Fe}_2\text{O}_4$ дээжийн рентген дифракцын спектр.

Соронзон хэмжилтийн үр дүн болон хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр ялгаруулах чанар

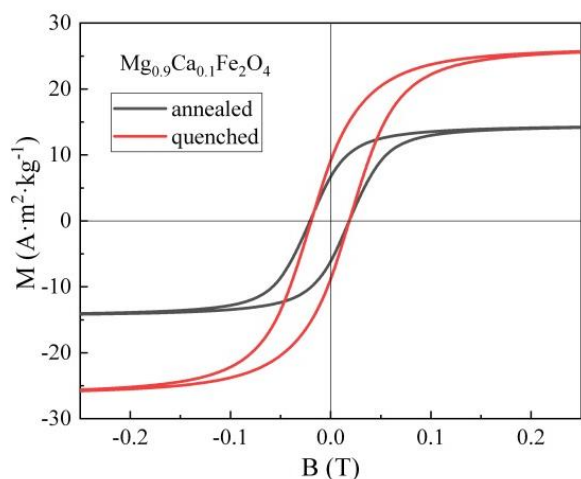
зэргийг үндэслэн 8 цаг тээрэмдэж гарган авах горимыг $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$ дээжийг гарган авах хамгийн горим гэж үзэн дараагийн туршилтад ашиглах дээжүүдийг энэ горимоор гарган авч дулааны боловсруулалтаас хамааруулан судалсан болно.

Зураг.5-д $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$ дээжийг $1100^{\circ}C$ шатаан боловсруулж аяндаа болон огцом хөргөж гарган авсан дээжийн рентген дифракцын спектрийг үзүүлэв.

Тус зургаас үзэхэд огцом хөргөсөн дээжийн хувьд аяндаа хөрсөн дээжтэй харьцуулахад үндсэн бүтэц хувиралтгүй, харин Fe_2O_3 -ийн нөлөө пикийн эрчим суларсан байна. Үүний гол шалтгаан нь өндөр температурт үндсэн фаз нэмэгдсэнээс болж байна.

Хүснэгт 2. $1100^{\circ}C$ -ээс аяндаа болон огцом хөргөж гарган авсан $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$ дээжийн нэгдлийн соронзон хэмжилтийн утгууд.

$Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$	Аяндаа хөргөсөн	Огцом хөргөсөн
M_s (Am^2/kg)	14.22	25.70
M_r (Am^2/kg)	7.68	10.16
H_c (Oe)	192	192

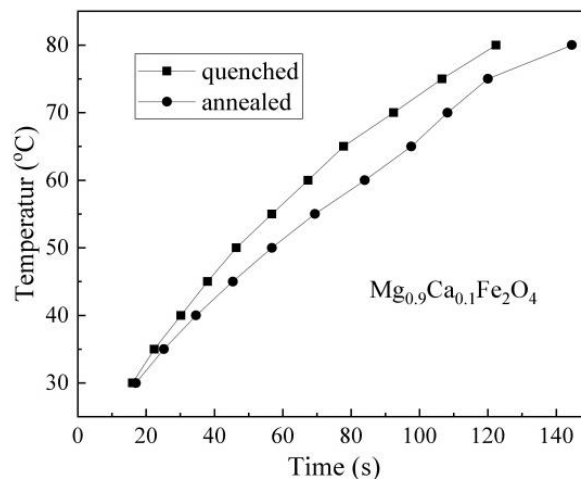


Зураг 6. $1100^{\circ}C$ -ээс аяндаа болон огцом хөргөж гарган авсан $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$ дээжийн тасалгааны температур дэх соронзон гистарозисын муруй.

Зураг 6-д $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$ нэгдлийн аяндаа ба огцом хөргөлтийн дараах соронзон гистарозисын муруйг үзүүлэв. Туршилтын үр дүнгээс үзэхэд огцом хөргөлтөөр гарган авсан дээжийн ханалтын соронзон момент ба үлдэгдэл соронзон момент хамгийн өндөр буюу $M_s = 25.7$ Am^2/kg , $M_r = 10.16$ Am^2/kg байна. Энэ нь өндөр температурт шатаасны үр дүнд дээжийн

кристалл тор нь томорч, Mg^{2+} ба Ca^{2+} нь шпинелийн А байранд сууж, Fe^{3+} нь В байранд сууснаас болсон гэж үзэж байна. Хүснэгт.2-д аяндаа болон огцом хөргөж гарган авсан дээжүүдийн соронзон шинж чанарын хэмжилтийн утгыг үзүүлэв.

Зураг.7-д аяндаа болон огцом хөргөх замаар гарган авсан $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$ дээжийн хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр ялгаруулах дулааны шинж чанарыг үзүүлэв.



Зураг 7. Аяндаа болон огцом хөргөх замаар гарган авсан $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$ дээжийн хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр үүсэх температур, хугацааны хамаарал.

Энд хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр ялгарах дулааны шинж чанарыг дээж усны холимогын температурын өөрчлөлт, хугацааны хамаарлаар илэрхийлэв. Эндээс үзэхэд холимогын температурыг $30^{\circ}C - 80^{\circ}C$ болоход огцом хөргөх замаар гарган авсан дээжийн хувьд 106.4 секунд байгаа бол аяндаа хөргөх замаар гарган авсан дээжийн хувьд 122.4 секунд байна. Тодорхой температурын өөрчлөлтөд хүрэх хугацаа богино байх тусам түүний дулаан ялгаруулах чадал өндөр байна гэсэн үг юм. Үүний гол шалтгаан нь ханалтын соронзон момент ба үлдэгдэл соронзон моментын хэмжээтэй холбоотой. Энэ нь дээжийн ханалтын соронзон момент ба үлдэгдэл соронзон моментын хэмжээ нэмэгдэх тусан хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр ялгаруулах дулааны хэмжээ нэмэгдэх болохыг харуулж байна. Дээж дэх соронзон мөхлөгүүдийн диаметр нь микрометрийн түвшинд байвал хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр ялгаруулах дулаан нь соронзон

гистерозисын муруй шугамын хүрээлсэн талбайтай шууд хамааралтай байна.

IV. ДҮГНЭЛТ

1. Хатуу төлөвийн урвалын аргаар $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$ дээжийг гарган авахад бөмбөгөн тээрэмд 8 цаг тээрэмдэх нь соронзон шинж чанарын хувьд хамгийн сайн үр дүнтэй байгааг үзүүлэв.
2. 8 цаг тээрэмдэх гарган авсан $Mg_{0.9}Ca_{0.1}Fe_2O_4$ дээжийг $1100^{\circ}C$ -д шатаан боловсруулж хүйтэн усанд дүрж огцом хөргөх нь түүний соронзон шинж чанарыг сайжруулж, хувьсах соронзон орны нөлөөгөөр ялгаруулах дулааны шинж чанарыг сайжруулж байгааг үзүүлэв.

ТАЛАРХАЛ

Дээж бэлтгэх болон бүх хэмжилт туршилт нөхцөлөөр хангасан Өвөр Монголын Багшийн Их Сургуулийн функционал материалын, физик-химийн төв лабораторийн хамт олонд талархал илэрхийлж байна. МУИС-ийн санхүүжилттэй P2018-3612 тоот өндөр түвшиний судалгааны төслийн хүрээнд гүйцэтгэв.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] D. Sangaa, B. Khongorzul, E. Uyanga, N. Jargalan, N. Tsogbadrakh, H. Hirazawa, Solid State Phenomena, 271 (2018) 51.
- [2] H. Hirazawa, Y. Ito, D. Sangaa, N. Tsogbadrakh, H. Aono, T. Naohara, AIP Conference Proceedings, 1763, (2016) 020009.
- [3] S. Nomura, S. Mukasa, T. Miyoshi, N. Okabe, T. Maehara, H. Aono, H. Kikkawa, K. Satou, S. Yumi and Y. Watanabe, Journal of Mater Science. 41 (2006) 2989.
- [4] E. Uyanga, D. Sangaa, H. Hirazawa, N. Tsogbadrakh, N. Jargalan, I. A. Bobrikov, A. M. Balagurov, Journal of Molecular Structure, 1160 (2018) 447.
- [5] M. Ma, Y. Wu, J. Zhou, *et al.*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 268(1) (2004) 33.
- [6] I. Shinfuku Nomura, Shinobu Mukasa, Hiroshi Yamasaki, *et al.*, Heat Transfer Engineering, 28(12) (2007) 1017.
- [7] Y. X. Yang, Y. C. Liu, M. Zhao, H. M. Yuan, P. P. Yao, Y. Huang, C. Y. Nie, Chemical

Journal of Chinese Universities, 38 (2017) 1709.

- [8] H. Aono, H. Hirazawa, T. Ochi, T. Naohara, K. Mori, Y. Hattori, T. Maehara, H. Kikkawa and Y. Watanabe, Chemistry Letters, 34 (2005) 482.
- [9] H. Hirazawa, S. Kusamoto, H. Aono, T. Naohara, K. Mori, Y. Hattori, T. Maehara and Y. Watanabe, Journal of Alloys and Compounds, 461 (2008) 467.
- [10] Hirazawa H, Kusamoto S, Aono H, Naohara T, Mori K, Hattori Y, Maehara T, Watanabe Y. Journal of Alloys and Compounds, 2008, 461(1-2):0-473.

Nd₂Fe₁₄B соронзон материал гарган авах судалгаа

Н.Төвжаргал¹, М.Отгонбаатар¹, Ж.Даваасамбуу^{1*}, О.Төгс²

¹Монгол Улсын Их Сургууль, Шинжлэх ухааны сургуулийн

Физикийн тэнхим, Улаанбаатар хот 210646, Монгол улс

²Функционал материалын физик, химийн төв лаборатори,

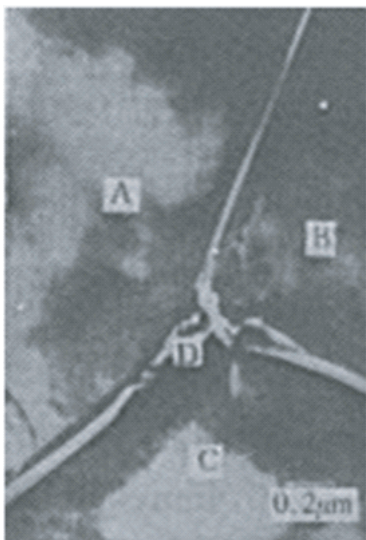
Өвөр Монголын багшийн их сургууль, Хөх хот, БНХАУ

Бид энэ ажлаар Nd₂Fe₁₄B соронзон материалыг төмөр (Fe), неодум (Nd), бор (B) -ийн цэвэр нунтаг дээжийг 2:14:1 атомын харьцаатайгаар шууд холих замаар өндөр температурт хайлуулж нэгтгээд дулааны боловсруулалтад оруулж, огцом хөргөх арга ашиглан гарган авах ажлыг хийж гүйцэтгэв. Туршилтын үр дүнгээс үзэхэд эхлээд хольж хайлуулсан хайлш нь дээж бэлтгэл болон боловсруулалтын явцад агаар, орчны нөлөөгөөр исэлдэж неодим оксид (Nd₂O₃) давамгайлсан фазууд үүссэн байна. Үүнийг инертийн хийн орчинд битүүмжилж дулааны боловсруулалтад оруулж, огцом хөргөсний дараа Nd₂Fe₁₄B -ийн хайлш болж байгаа нь рентген бүтцийн анализын үр дүнгээс харагдаж байна. Цаашид Nd₂Fe₁₄B-ийн хайлшийг цэврээр кристаллжилт сайтай гарган авах болон хүчтэй соронзон ашиглаж соронзжуулах ажлыг хийж гүйцэтгэх шаардлагатай.

PACS numbers: 75.47.Np, 75.50.Ww, 71.20.Eh

I. Удиртгал

1984 онд NdFeB соронзонг нээснээс хойш янз бүрийн салбар дахь түүний хэрэглээ эрчимтэйгээр нэмэгдэж байна. Nd₂Fe₁₄B нь газрын ховор элемент агуулсан 3 –р үеийн чухал ферросоронзон материалын нэг төрөл бөгөөд өндөр соронзон шинж чанаруудыг үзүүлдэг[1, 2].



Зураг 1: NdFeB соронзны микробүтэц: A, B, C нь Nd₂Fe₁₄B, D нь Nd –ээр баялаг фаз, нарийн гэрэлтэй муж[1]

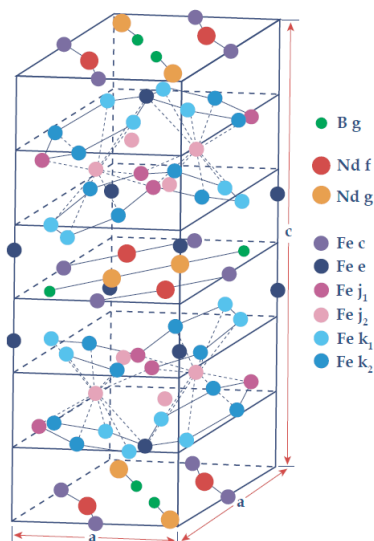
Nd₂Fe₁₄B соронзонг цахилгаан мотор, автомашин, электроник болон цахилгаан генератор зэрэг олон үйлдвэрлэлийн салбарт хэрэглэж байна[3, 4]. Nd₂Fe₁₄B нэгдлийг төмөр (Fe), неодум (Nd), бор (B) -ийн металл нунтаг дээжийг хольж урвалд оруулах замаар гарган авдаг. Түүнийг гарган авах технологийн процесс нь ихэвчлэн азот болон аргон зэрэг инертийн хийн орчинд тусгаарлаж, өндөр температурт (1700 - 1800°C) хайлуулах замаар гүйцэтгэдэг[6, 7]. NdFeB соронзон материалууд нь нанометр, микрометрийн хэмжээтэй Nd₂Fe₁₄B мөхлөгүүд болон түүнийг тойрон хүрээлсэн Nd –аар баялаг соронзон биш фазуудаас тогтоно (зураг.1). Nd₂Fe₁₄B –ын мөхлөгийн хэмжээ нь ихэвчлэн 5-20 мкм бөгөөд нэг домайны 200нм критик утгаас олон дахин том байдаг. Гэхдээ тэр нь гарган авч буй аргуудаас хамааран өөр өөр бөгөөд огцом хөргөлтийн аргын хувьд 30-100нм байна.

Түүний гол фаз нь Nd₂Fe₁₄B юм. Nd₂Fe₁₄B –ын кристалл бүтэц нь тетрагонал, огторгуйн групп нь P42/mnm, торын параметр нь $a = 8.80\text{\AA}$, $c = 12.19\text{\AA}$, нягт нь 7.55г/см^3 байдаг. Зураг.2 –т Nd₂Fe₁₄B –н кристалл бүтцийг үзүүлэв[8]. NdFeB –ын гарган авах хэд хэдэн арга байдаг бөгөөд эдгээр аргуудын хувьд дээжний соронзон шинж чанар нь өөр өөр байна. NdFeB –ыг гарган авах түгээмэл аргуудын нэг бол вакуумд Nd₂Fe₁₄B –ын хайлшийг индукцээр хайлуулах замаар гарган авах арга юм.

Энэ аргад Nd-аар баялаг фаз болон α -Fe фазын хэмжээг их болгохгүйн үүднээс дээж гаргах процессийг хурдан хийх шаардлагатай бай-

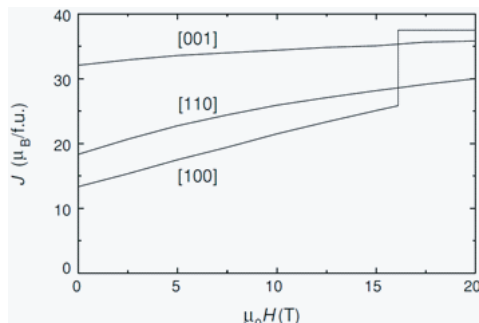
*E-mail: davaasambu@num.edu.mn

даг. Эхлээд холимог дээжийг нухаж том ширхэгтэй нунтаг дээжийг бэлтгэж дараа нь инертийн хийн орчинд $\sim 5\text{мкм}$ хэмжээтэй болтол нь тээрэмддэг. Энд ихэнх ширхгүүд нь монокристалл байна. Дараагийн шат нь 1-2Т хүчтэй соронзон оронд оруулж соронзжуулан с тэнхлэгийн дагуу шахна. Хайлшийн дотоод хүчдэлийг багасгах зорилгоор 1100°C -т 1-2 цаг байлгасны дараа 600°C -т 1 цаг байлгадаг[5].



Зураг 2: $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ -ийн кристалл бүтэц

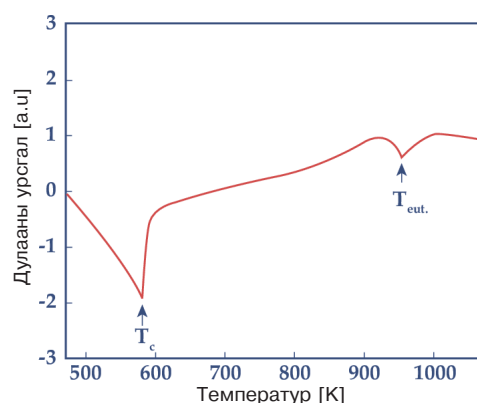
Соронзжилтыг хэмжихийн тулд дээжийг эхлээд парасоронзон төлөвөөс хөргөх замаар соронзон биш болгодог. Энэ аргаар жигд түгсэн домайн бүхий идеал соронзон биш төлөвийг гарган авч болно. Энэ аргаар гарган авсан домайны түгэлт нь дулаан боловсруулалтын аргаар гарган авсанаас чанарын хувьд муу боловч ялгаа нь бага байна.



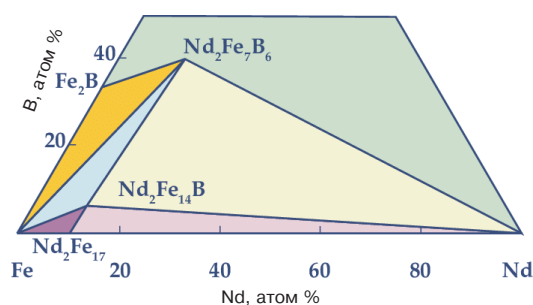
Зураг 3: $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ -ийн янз бүрийн чиглэл дэх соронзжилтын муруй

Статик соронзжилтын муруйг хэмжихдээ өгч байгаа соронзон орныг маш удаан, эсвэл алхам алхамаар ихэсгэх замаар нэмэгдүүлж хэмждэг. Ингэснээр соронзжилт нь соронзон орны утга бүрт тэнцвэрт байдалд ордог. $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ кристаллын соронзжилт нь чиглэлээс хамаарах бөгөөд зураг.3-т [100], [110] ба [001] тэнхлэгийн дагуух соронзжилтын муруйг харуулав.

Түүнчлэн дифференциал сканин калориметр (DSC) -ийн арга ашиглан $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ -ын соронзон фазын шилжилтийн судалгааг хийж Кюри температурын утгыг $T_c = 585\text{K}$, холимог фаз болон Nd-ээр баялаг фазуудын хоорондох засварын температурыг $T_{eut} = 950\text{K}$ гэж тогтоосон байдаг бөгөөд хэмжилтийг зураг.4-т үзүүлэв.



Зураг 4: $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ -ын DSC-ийн хэмжилт: Дулааны урсгал, температурын хамаарал.



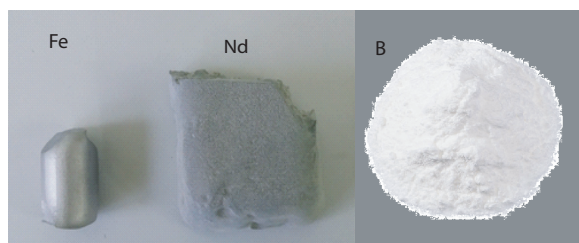
Зураг 5: $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ -ын фазын диаграмм.

Дифференциал сканин калориметрийн судалгааны үр дүнд тулгуурлан түүний фазын диаграммыг таамагласан байдаг. Фазын диаграммыг зураг.5-д үзүүлэв[9]. Эндээс харахад 920K -ээс дээш Nd-Fe-B -ын гурвалсан холимог шингэн фаз үүснэ.

Бид энэ ажлаар монгол орны төмрийн хүдэр, газрын ховор элементийн ордны түүхий эдэд суурилсан соронзон материал гарган авах боломжийг судлах, энэ төрлийн соронзон материал гарган авах зорилгоор неодим (Nd) болон төмөр (Fe) агуулсан соронзон материал $Nd_2Fe_{14}B$ -ыг гарган авах судалгааг хийж эхлүүлээд байна.

II. Туршилт

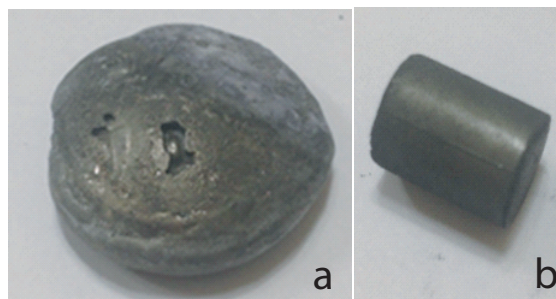
$Nd_2Fe_{14}B$ -ийг гарган авахдаа масс хадгалагдах хуулийн дагуу Nd:Fe:B дээжүүдийг 26.6837%: 72.3164%:0.9998% массын харьцаатайгаар хольж өндөр температур, даралтын нуман ниргэлгийн зуух (FZ-T12000)-д хайлуулж бэлтгэсэн. Туршилтад хэрэглэх төмөр (Fe), неодим (Nd), бор (B) -ийн дээжүүдийг зураг.6 -д үзүүлэв.



Зураг 6: Төмөр (Fe), Неодим (Nd), Бор (B) -ийн цэвэр дээжүүд.

Ингэхдээ бид 99.9%-ийн цэвэршилтэй бор (B) -оос 0.1069 грамм, 99.9% -ийн цэвэршилтэй төмөр (Fe)-өөс 7.2318 грамм, 99.5%-ийн цэвэршилтэй неодим (Nd)-аас 2.6713 грамм таслан авч дараах үйл явцын дагуу бэлтгэсэн. Үүнд: Бор нь нунтаг, бургисан дээж учраас онолын утгаас өндөр процентоор бэлтгэсэн ба цилиндр хэлбэртэй ган хэвэнд байрлуулж 5кПа даралтаар 15-20 минут шахаж дагтаршуулсан. Төмрийн дээжийг молибден утсан таслагчаар тасалж жижиглэсэн бөгөөд зэврэлт зэрэг бохирдлыг элс үлээгч болон хэт авиа (ultrasonic)-ны цэвэрлэгчээр давхар цэвэрлэсэн. Неодим нь хэврэг бутрамтгай чанартай хайлш бөгөөд төмөр таслагчаар жижиг хэсгийг тасалж аван агаарт исэлдэхээс хамгаалж трансформаторын тосонд хадгалсан. Неодимыг спирттэй хэт авианы цэвэрлэгчээр цэвэрлэсэн ба үргэлжлүүлэн спирттэй саванд хийж исэлдэхээс хамгаална. Бэлдсэн дээжүүдээ вакуум нуман ниргэлэгт зуухны жижиг тогоонд бор, неодим, төмөр гэсэн дарааллаар дээр дээрээс нь давхарлаж тавина. FZ-T12000 нуман ниргэлгийн зуух нь $\sim 10^{-3}$ Па эрэмбээс эхлэн 10^{-6} Па эрэмбэ хүртэл 99.999% цэвэршилтэй аргон хий бүхий вакуум орчин үүсгэх хүчин чадалтай бөгөөд аргон нь инерт хий учир, ниргэлгийн явцад ямар нэгэн исэлдэл, зэврэлт үүсгэхгүй юм. Зууханд байршуулсан дээжээ

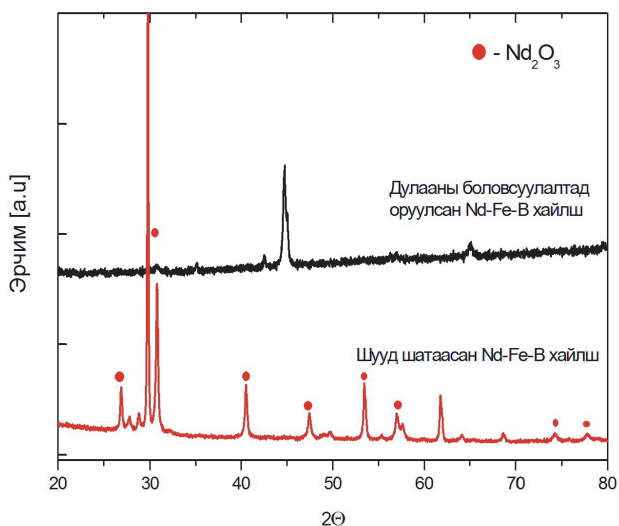
100А цахилгаан гүйдэл бүхий нуман ниргэлгээр 2-3 удаа бүх талаас нь тус бүр 5 минутын хугацаатайгаар хайлуулсан. Эндээс гаргаж авсан хайлшаа агаартай исэлдэхээс сэргийлж спирттэй саванд хийж хадгална. Хайлуулж бэлтгэсэн Nd-Fe-B-ийн хайлшийг зураг.7а-д үзүүлэв.



Зураг 7: а) Хайлуулж бэлтгэсэн Nd-Fe-B-ийн хайлш, б) хайлшийг нунтаглаад цилиндр хэвэнд шахаж дагтаршуулсан байдал

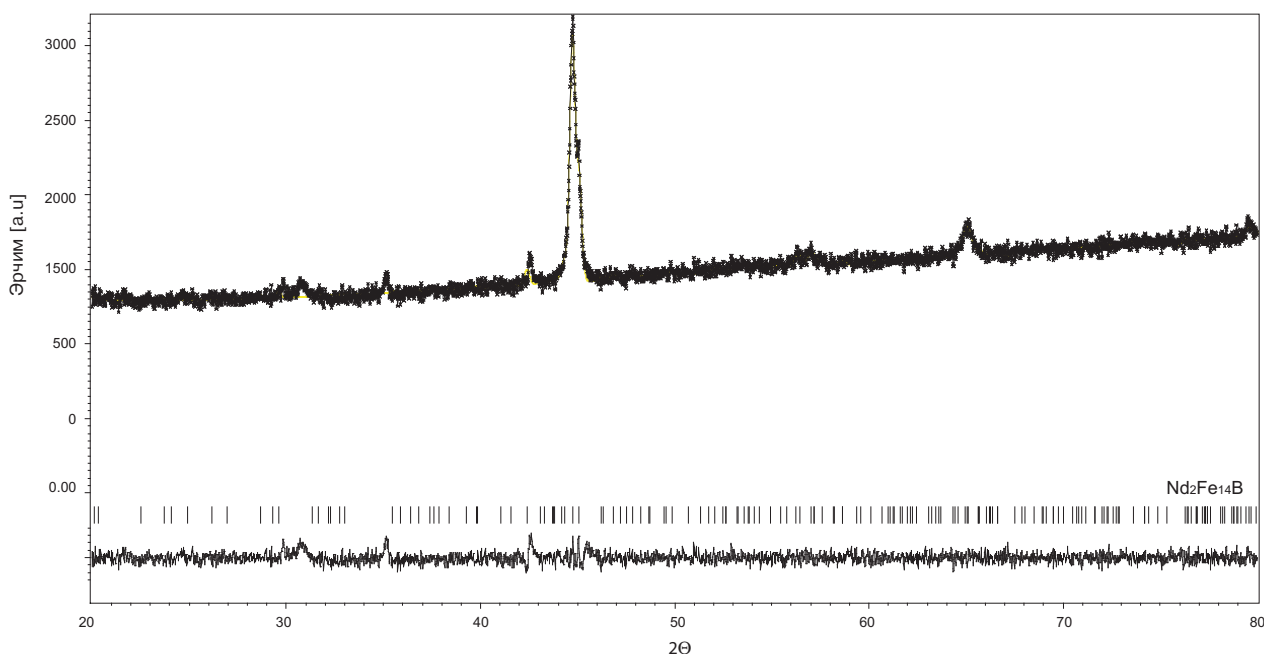
Хайлшийн гадаргууд нь солонгорсон нимгэн давхарга тогтсон байгаа нь тодорхой хэмжээгээр бохирдолт орсон байж болзошгүйг харуулж байна. Гарган авсан хайлшийг дараагийн боловсруулалт, хэмжилт туршилтад ашиглахын тулд нунтаглаж бэлтгэнэ. Нунтаглаж бэлтгэсэн хайлшийн нэг хэсгийг ~ 10 мм диаметр бүхий ган цилиндр хэвэнд хийж 8кПа даралтаар ~ 15 минут шахаж цилиндр хэлбэрт оруулж дагтаршуулав (зураг.7б). Дагтаршуулж шахсан дээжээ өндөр температурт тэсвэртэй кварцан хоолойд хийж нэг талаас нь битүүмжлээд нөгөө талыг нь вакуум насостой холбож дээж бүхий хоолойн агаарыг соруулаад дараа нь аргоны хийгээр дүүргэх замаар ~ 0.7 атм даралттай болтол аргон хий оруулж битүүмжилж бэлтгэнэ. Ингэж инерт хийн орчинд битүүмжилж бэлдсэн хайлшаа огцом хөргөлт хийх боломжтой усан ванн бүхий шатаах зууханд 6 цаг 30 минутын турш тасалгааны температураас 1100°C температур хүртэл шугаман өсгөлтөөр халааж, дараа нь 2 цаг 30 минутын турш 1100°C температурт тогтмол барьж байх горимоор хайлшаа дулааны боловсруулалтад оруулж улмаар дээжээ усан ваннд хийх замаар огцом хөргөв.

Шууд хольж шатаасан болон дулааны боловсруулалтанд оруулж огцом хөргөсөн NdFeB-ийн хайлшуудаа $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=1.5406\text{\AA}$) анод, Ni фильтр бүхий PW1830 рентген дифрактометр дээр $2\theta = 20 - 80^{\circ}$ мужид, 0.02° өнцгийн алхамтайгаар тасалгааны температурт хэмжиж, хэмжилтийн үр дүнг Jана2006 программ ашиглан боловсруулав. Хоёр дээжийн рентген дифракцын хэмжилтийн харьцуулсан үр дүнг зураг.8-д үзүүлэв.



Зураг 8: Шууд шатаасан болон дулааны боловсруулалтад оруулсан Nd-Fe-B хайлшны рентген дифракцын спектр

Рентген бүтцийн анализын шинжилгээний дүнгээс үзэхэд шууд Nd, Fe, B-ийг зохих харьцаагаар нь холиод нуман ниргэлгийн аргаар шууд шатаасан хайлш хувьд кристаллжилт сайтай боловч неодимаар баялаг неодим оксид (Nd_2O_3) давамгайлсан хүчтэй пикүүд илэрч байгаа нь дээж бэлтгэл болон боловсруулалтын явцад сайн холилдож нэгдээгүй, исэлдлийн бохирдол их байгаатай холбоотой. Харин дулааны боловсруулалтад оруулж огцом хөргөсөн NdFeB-ийн хайлш кристаллжилт муутай ч гэсэн $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ -ийн пикүүд илэрч байна. Иймээс бид Jana2006 программ ашиглан Ритвельдийн аргаар $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ нунтаг дифракцийн өгөгдлийн сан (PDF)-ийн мэдээлэлтэй харьцуулан боловсруулалт хийсэн үр дүнг зураг.9 –т үзүүлэв. Ритвельдийн аргаар боловсруулалт хийж рентген дифракцын эрчмийн муруйтай тохируулга хийхэд $R_p=1.63$, $wR_p=2.13$, $G_oF=0.82$ утгатайгаар таарч байна. Гарган авсан $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ хайлшийн кристалл систем нь: тетрагонал, огторгуйн групп нь $P42_1/mnm$, торын параметр нь $a = 8.7226\text{\AA}$, $c = 12.0921\text{\AA}$ байгаа нь бусад ажлын үр дүнтэй сайн тохирч байна[8, 11].



Зураг 9: Дулааны боловсруулалтад оруулж, огцом хөргөсөн NdFeB хайлшийн $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ -н өгөгдлийн сангийн мэдээлэлтэй харьцуулан боловсруулалт хийсэн рентген дифракцын спектр

Бидний гарган авсан $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ материал нь микро хэмжээ бүхий мөхлөгүүдээс тогтох нунтаг дээж бөгөөд тэдгээр соронзон мөхлөгүүд эмх замбараагүй байрласан байх тул нийт соронзжилт

нь тэг байна. Иймээс үүнийг соронзжуулахын тулд гаднын хүчтэй соронзон оронд оруулж боловсруулалт хийх шаардлагатай. Иймээс өндөр температурт шатаагаад дулааны боловсруулал-

тад оруулж огцом хөргөн амжилттай гарган авсан $Nd_2Fe_{14}B$ хайлшийг 1.5Т хүчтэй соронзон оронд оруулж соронзжуулахыг зорьсон боловч дээжид соронзон туйлшралын анхдагч шинж чанарууд ажиглагдсангүй. Үүнийг хайлшийн кристаллжилт болон соронзжуулах гаднын соронзон орны үүсгүүрийн чадал хангалтгүй байсан гэх хоёр шалтгаантай гэж үзэж байна. Бид $Nd_2Fe_{14}B$ дээжийг гарган авах туршилтын ажлыг үргэлжлүүлэн хийж өмнөх боловсруулалтын зарим параметр болон хэмжээнүүдийг өөрчлөх замаар хангалттай соронзон шинж чанар бүхий дээж гарган авах ажлыг үргэлжлүүлэн гүйцэтгэж байна.

III. Дүгнэлт

Бид $Nd_2Fe_{14}B$ соронзон материалыг төмөр (Fe), неодум (Nd), бор (B)-ийн цэвэр нунтаг дээжийг 2:14:1 атомын харьцаатайгаар шууд холих замаар өндөр температурт нуман ниргэлгийн аргаар хайлуулж нэгтгээд, дараа нь 1100°C -т дулааны боловсруулалтад оруулж, огцом хөргөх арга ашиг-

лан гарган авах ажлыг амжилттай хийж гүйцэтгэв. Туршилтын үр дүнгээс үзэхэд эхлээд шууд хольж хайлуулсан хайлш нь дээж бэлтгэл болон боловсруулалтын явцад агаар, орчны нөлөөгөөр исэлдэж неодим оксид (Nd_2O_3) давамгайлсан фазууд үүссэн байна. Түүнийг инертийн хийн орчинд битүүмжилж дулааны боловсруулалтад оруулж, огцом хөргөсний дараа $Nd_2Fe_{14}B$ -ийн хайлш болж байгаа нь рентген бүтцийн анализын үр дүнгээс харагдаж байна. Цаашид $Nd_2Fe_{14}B$ -ийн хайлшийг цэврээр кристаллжилт сайтай гарган авах болон хүчтэй соронзон ашиглаж соронзжуулах ажлыг үргэлжлүүлэн гүйцэтгэж байна.

Талархал

Энэхүү судалгааны ажлыг хийж гүйцэтгэхэд санхүүгийн дэмжлэг үзүүлж "Газрын ховор элемент агуулсан соронзон материалын судалгаа"сэдэвт төслийг санхүүжүүлсэн Азийн судалгааны төв (ARC) –д талархал илэрхийлье.

-
- [1] Lucas, Jacques; Lucas, Pierre; Le Mercier, Thierry; et al. Rare Earths: Science, Technology, Production and Use. Elsevier. pp. 224–225, 2014
 - [2] Shah IA, Abbas T, Ullah Z, Najam ul Hassan, Rauf A, Ullah K, and Naseem S, Armenian Journal of Physics, Vol. 8, issue 4, pp. 185-190, 2015
 - [3] Liarr H, Gang S, and Erder W, Trans. Nonferrous Met. Soc. Vol 13(5), pp.1070-1075, 2003
 - [4] Haavisto M, Tuominen S, Santa-Nokki T, Kankaanpää H, Paju M, and Ruuskanen P, Advances in Materials Science and Engineering, Article ID 760584, 2014
 - [5] Terunobu Miyazaki, Hanmin Jin.; "The Physics of Ferromagnetism"Springer, Berlin, Heidelberg, 2012
 - [6] Collocott SJ, Dunlop JB, Lovatt HC and. Ramsden VS, Rare-Earth Permanent Magnets: New Magnet Materials And Applications, CSIRO Division of Telecommunications and Industrial Physics, Lindfield,NSW, Australia, 2007
 - [7] Brown D, Bao-Min M, and Chen Z, J.MMM, 248, pp.432–440, 2002
 - [8] Jan F. Herbst, John J. Croat, and Frederick E. Pinkerton, Physical Review B, Volume 29, Number 7, 1984
 - [9] Masato Sagawa, Setsuo Fujimura, Hitoshi Yamamoto, and Yutaka Matsuura, IEEE Transactions on Magnetism, Volume 20, Issue 5, pp. 1584-1589 1984
 - [10] Sagawa.M, Fujimura.S, Togawa.N, Yamamoto.H and Matsuura.Y., Journal of Applied Physics, Vol. 55, No. 6, 2083-2087,1984
 - [11] Croat J.J., Herbst J.F., Lee R.W., Pinkerton F.E. 1984. High energy product NdFeB permanent magnets. Appl. Phys. Lett. 44, 148.

Альфа-альфа системийн резонанс төлөвүүдийг комплекс хувиргалтын арга ашиглан тодорхойлох нь

Б. Өсөхбаяр^{1,*}, Г. Хүүхэнхүү¹, С. Даваа¹, А. Сарсембаева², К. Като³, М. Одсүрэн¹

¹ Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан Инженерчлэлийн Их Сургууль болон Цөмийн Физик Судалгааны төв, МУИС, Улаанбаатар, Монгол.

² Аль-Фарабийн нэрэмжит Казахстанын Үндэсний их сургууль, Алмата, Казахстан.

³ Цөмийн урвалын өгөгдөлзүйн төв, Шинжлэх ухааны факультет, Хоккайдо Их сургууль Саппоро, Япон.

Комплекс хувиргалтын аргад тулгуурлан ^8Be цөмийг $\alpha + \alpha$ бөөмөөс тогтсон хоёр кластерийн систем гэж загварчлан, тухайн системийн бага өдөөгдсөн 2^+ , 4^+ төлөвүүдийг Шмид-Вильдермутын потенциал болон гармоник хэлбэлзлийн суурь функцийг ашиглан онолоор тооцоолов.

ОРШИЛ

Цөмийн бүтэц, шинж чанарыг микро ертөнцийн зүй тогтлыг тайлбарладаг квант онолоор илэрхийлдэг. Цөмийг бүрдүүлэгч нуклонуудын хоорондох харилцан үйлчлэлийн зүй тогтлыг тайлбарлах бүрэн гүйцэд цогц онол өнөөг хүртэл гараагүй байна. Иймд цөмийн бүтцийг загварчилж хялбар хэлбэрт авч үздэг. Тухайлбал цөмийг бүрдүүлэгч нуклонуудыг хамтад нь нэг нийлмэл систем болгож үздэг хамтын загвар, нуклон тус бүрийн хөдөлгөөнийг авч үздэг нэг бөөмийн загвар, энэ хоёр санааг нэгтгэсэн ерөнхийлсөн загварыг ихэвчлэн ашигладаг. Гэвч энэ гурван загвараар бүрэн тайлбарлагдахгүй үзэгдэл зүй тогтол цөөнгүй байдаг.

Нөгөө талаас, цөм нь олон нуклоноос тогтдог учир квант онолоор тайлбарлахын тулд олон биеийн бодлогыг бодох болдог. Жишээ нь, 100 нуклоноос тогтсон бэсрэг масстай цөмийн нуклон бүр x , y , z гэсэн 3 координат буюу хувьсагчаас хамаарна гэвэл 300 хувьсагчтай 100 бөөмийн бодлого болно. Уг бодлогыг бодох нь ихээхэн хүндрэлтэй байдаг. Иймд олон биеийн системийг цөөн биеийн систем болгон хялбарчлахад чиглэсэн кластер загвар үүссэн. Кластер гэдэг нь цөмийг бүрэлдүүлэгч нуклонууд нь хэсэг хэсгээрээ бүлэгрэн бие даасан дэд системүүдийг үүсгэж буй явдал юм. Зарим цөмийн бүтэц, урвалын туршлагын судалгааны үр дүн ч тухайн цөм кластеруудаас тогтсон болохыг баталдаг.

1936 онд АНУ-ын эрдэмтэд Г. Бете, Р. Бахер, 1938 онд Л. Хафштадтер, Э. Теллер нар зарим цөм кластер бүтэцтэй байж болох таамаглалыг

дэвшүүлсэн бөгөөд 1968 онд Японы эрдэмтэн К. Икеда уг санааг өргөжүүлж хөнгөн цөмөөс бэсрэг масстай цөм хүртэлх массын өргөн мужид цөмийн кластер бүтцийн диаграммыг байгуулсан [1]. 2006 онд нейтрон илүүдэлтэй цөмүүдийг оруулан кластерын диаграммыг өргөтгөсөн.

Бид энэ ажилд кластер загварыг ашиглан ^8Be цөмийг 2 альфа бөөмөөс тогтсон гэж үзээд 8 нуклоны буюу 8 биеийн бодлогыг 2 кластерын буюу 2 биеийн бодлого болгон авч үзнэ.

^8Be цөм нь хэт богино настай ($T_{1/2} = 6.7(17) \times 10^{-17}$ сек) тогтворгүй цөм юм. Од нарны төвд хоёр альфа бөөмийн мөргөлдөөний дүнд богино хугацаанд ^8Be цөм болж өдөөгдсөн төлөвтөө үүсээд буцан хоёр альфа бөөм болон задарч байдаг. ^8Be цөм цаашлаад бусад бөөм цөмүүдтэй нэгдэх урвалд орж илүү хүнд цөм үүсгэх бөгөөд уг үзэгдлийг хүнд цөмүүдийн эхлэлийн цэг гэж үздэг. Иймд ^8Be цөмийн бүтцийн судалгаа нь ертөнц дэх элементийн үүсэл болон хоёр биеийн системийн онолын хувьд маш чухал асуудал юм.

Өмнө дурдсанчлан бид энэ судалгаагаараа ^8Be цөмийг альфа-альфа кластераас тогтсон систем гэж үзээд бага өдөөгдсөн $J^\pi = 2^+$, $J^\pi = 4^+$ төлөвүүдийн резонансын энерги, тухайн энергид харгалзах түвш хэмжээсний ний өргөнийг Комплекс хувиргалтын арга (КХА), Шмид-Вильдермутын цөмийн потенциал, гармоник хэлбэлзлийн суурь функц зэргийг ашиглан тодорхойлов. Гарган авсан онолын үр дүнгүүдээ бусад эрдэмтэн судлаачдын онолын

* Electronic address: Usuhbayar_Batsaihan@yahoo.com

болон туршлагын утгатай харьцуулан анализ хийв.

КОМПЛЕКС ХУВИРГАЛТЫН АРГА БА АЛЬФА-АЛЬФА КЛАСТЕРЫН СИСТЕМ

1971 онд Францын эрдэмтэд Ж. Агулиар, Э. Балслев Ж. Комбес нар комплекс хувьсагчийн функцийн онолд байдаг конформ хувиргалттай төстэй аргыг ашиглан КХА-ын үндсийн математик загварчлал гаргасан [2]. Үүний дараа Б. Саймон цөмийн физикт уг аргыг оруулж ирсэн [3].

^8Be цөмийг альфа-альфа гэсэн хоёр кластераас тогтсон систем гэж загварчлаад КХА ашиглан тухайн системийн өдөөгдсөн төлөвүүдийн энерги болон тухайн энергид харгалзах түвшиний өргөнийг тодорхойлно.

КХА-р r координат болон k моментыг θ өнцгөөр хувиргалт хийхэд

$$\begin{aligned} U(\theta)rU^{-1}(\theta) &= re^{i\theta}; \\ U(\theta)kU^{-1}(\theta) &= ke^{i\theta}, \end{aligned} \quad (1)$$

дээрх хэлбэртэй болно.

Энд $U(\theta)U^{-1}(\theta) = 1$ (Нэгж матриц) нормчлолын нөхцөл болно. Шредингерийн тэгшитгэлийг шийдэхэд нормчлол хийх шаардлагатай байдаг.

Шредингерийн тэгшитгэлийг бичвэл

$$\hat{H}|\Psi\rangle = E|\Psi\rangle, \quad (2)$$

харин (1) илэрхийллийг ашиглан хувиргалт хийн дахин бичвэл

$$\hat{H}(\theta)|\Psi^\theta\rangle = E(\theta)|\Psi^\theta\rangle, \quad (3)$$

болно. Үүнд $\hat{H}(\theta)$ комплекс хувиргалт хийгдсэн Гамильтониан болон Ψ^θ долгион функц байна. Хоёр альфа кластераас тогтсон системийн хувьд Гамильтонианыг дараах хэлбэртэй бичнэ [4]:

$$\hat{H} = \sum_{i=1}^2 \hat{T}_i - \hat{T}_{c.m} + V_{\alpha\alpha}^{Nuc}(r) + V_{\alpha\alpha}^{Coul}(r). \quad (4)$$

Энд: $\sum_{i=1}^2 \hat{T}_i - \hat{T}_{c.m}$ – Кинетик энергийн потенциал;

$V_{\alpha\alpha}^{Nuc}$ – Цөмийн потенциал;

$V_{\alpha\alpha}^{Coul}(r)$ – Кулоны потенциал байна.

Долгион функц нь

$$\Psi = \sum_{i=1} c_i u_i \quad (5)$$

байх ба c_i коэффициент, u_i суурь функц байна.

Гаусс, гармоник хэлбэлзлийн суурь функцүүдийг судалгааны зорилго, гарган авах үр дүнгээс хамааран сонгож авдаг. Энэ ажилд суурь функцээр гармоник хэлбэлзлийн суурь

функцийг ашиглав. Гармоник хэлбэлзлийн суурь функцийг бичвэл:

$$u_{nl}(r) = N_l^n \left(\frac{r}{b_F}\right)^l L_n^{l+\frac{1}{2}}\left(\left(\frac{r}{b_F}\right)^2\right) \exp\left(-\frac{1}{2b_F^2}r^2\right) Y_{lm}(r). \quad (6)$$

Үүнд $L_n^{l+\frac{1}{2}}$ орбитал моментын Лагерийн цуваа, $N_l^n \left(\frac{r}{b_F}\right)^l$ нормчлолын коэффициент бөгөөд

$$N_l^n \left(\frac{r}{b_F}\right)^l = \left\{ \frac{2\Gamma(n+1)}{b_F^3 \Gamma(l+n+\frac{3}{2})} \right\}^{1/2} \text{ байна. Энэ ажилд бид}$$

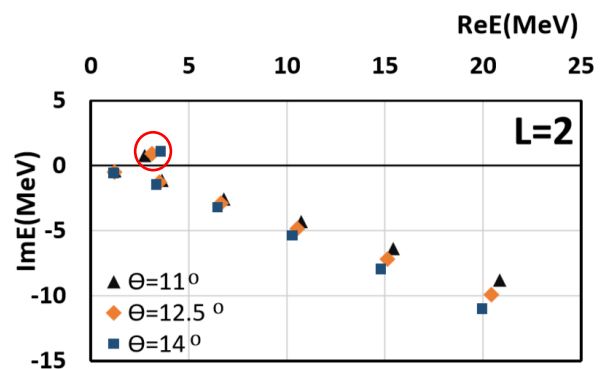
$b_F = 0.967$ фм (фемтометр) гэж авав. b_F нь гармоник хэлбэлзлийн суурь функцийн өргөний хэмжээсийг илэрхийлдэг параметр юм.

Комплекс хувиргалт хийгдсэн (3) илэрхийллийн шийд $E(\theta) = E_r - i\Gamma/2$ (MeV) гэж олдоно. Энд E_r төлөвийн резонансын энерги, Γ тухайн энергид харгалзах түвшиний өргөн байна. (6) илэрхийлэл дэх n нь матрицын хэмжээсийг илэрхийлэх бөгөөд манай тохиолдолд төгсгөлөг байна.

ҮР ДҮН

Энэ ажлаар ^8Be цөмийг хоёр альфа кластераас тогтсон систем гэж үзээд бага өдөөгдсөн $J^\pi = 2^+$, $J^\pi = 4^+$ төлөвүүдийн энерги болон тухайн энергид харгалзах түвшиний өргөнийг Шмид-Вильдермутын потенциал болон гармоник хэлбэлзлийн суурь функцийг ашиглан тооцоолов.

^8Be цөмийн $J^\pi = 2^+$ төлөвийн резонансын энерги болон энергид харгалзах түвшиний өргөнийг хувиргалтын параметрийн $\theta = 11^\circ, 12.5^\circ, 14^\circ$ гэсэн гурван өөр утганд олов. (3) илэрхийллээр тооцоологдсон бүх утгуудыг комплекс энергийн хавтгайд буулган 1-р зурагт харуулав.

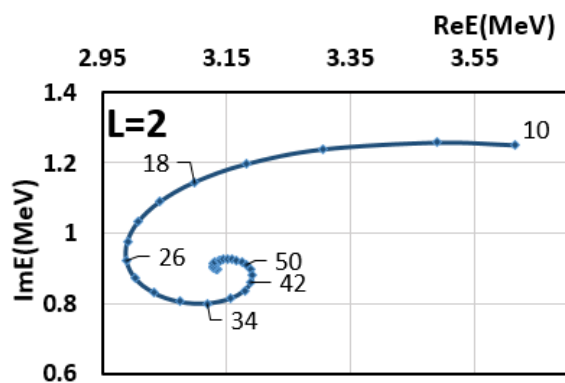


1-р зураг. $J^\pi=2^+$ төлөвийн $\theta = 11^\circ$ (хар гурвалжин), 12.5° (шар ромбо), 14° (хөх дөрвөлжин)-ийн гурван өөр утганд

онолоор тооцоологдсон энергийн утгыг комплекс энергийн хавтгайд буулгасан нь.

1-р зурагт резонансын энергийн болон тасралтгүй төлөвүүдийн утга нэгэн хавтгайд хамт дүрслэгдсэн байна. Эндээс харахад θ хувиргалтын параметрийн гурван өөр утганд олдож буй утгууд нь улаан дугуй дотор орших резонансын энергийн утгууд нь $E_r(11^\circ) = 2.75 \text{ MeV}$, $E_r(12.5^\circ) = 3.57 \text{ MeV}$, $E_r(14^\circ) = 3.13 \text{ MeV}$ гэж олдох ба тасралтгүй төлөвөөс ялгаран тусдаа олдоно.

Дээрх зургаас харахад резонанс энергийн утгууд θ хувиргалтын параметрээс хамааран өөр хоорондоо ялимгүй зөрөөтэй байна. Бид резонанс энергийн нарийвчилсан утгыг θ хувиргалтын параметр болон $n_{\max}$ матрицын хэмжээсний параметрийг өөрчлөн траекторын буюу мөрийн аргыг ашиглан олно. $J^\pi = 2^+$ төлөвийн резонансын энергийн нарийвчилсан утгыг олохдоо $\theta = 12.5^\circ$ үед $n_{\max} = n + k$ илэрхийллээр 2 алхамтайгаар нийт 36 тооцоог хийж $n_{\max}$ утга бүрд олдсон утгаар муруй байгуулан тогтворжилтын цэгийг 2-р зурагт харуулав. Энд $n = 9$, $k = 0, 2, 4, \dots 50$ гэж авав.

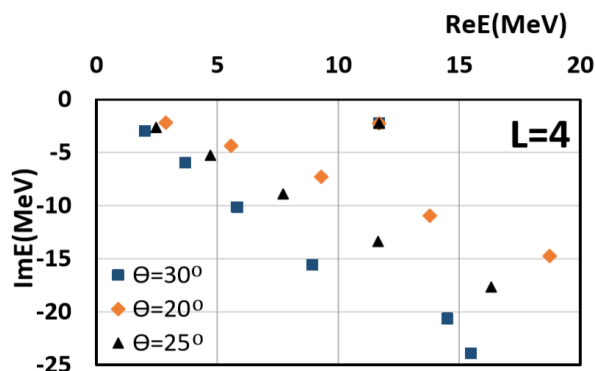


2-р зураг. $J^\pi = 2^+$ төлөвийн резонанс энергийн нарийвчилсан утгыг $n_{\max}$ – траекторын буюу мөрийн аргыг ашиглан олсон нь.

Дээрх графикаас үзэхэд $J^\pi = 2^+$ төлөвийн резонансын энерги $E_r = 3.14 \text{ MeV}$, тухайн энергид харгалзах түвшиний өргөн $\Gamma = 1.79 \text{ MeV}$ гэж олдов. $J^\pi = 2^+$ төлөвийн резонансын энергийн нарийвчилсан утгыг олоход θ -мөрийн арга хэрэглэгдсэн бөгөөд $n_{\max}$ матрицын хэмжээсний өөр хоорондоо ялгаатай 5 утганд хувиргалтын параметрийг $\theta = 10^\circ + \theta_0$ илэрхийллээр 0.5° алхамтайгаар тооцооллыг хийсэн. Энд $\theta_0 = 0^\circ, 0.5^\circ \dots 5^\circ$ гэж авав. θ -мөрийн аргаар бодогдсон утгуудыг 2-р зурагт

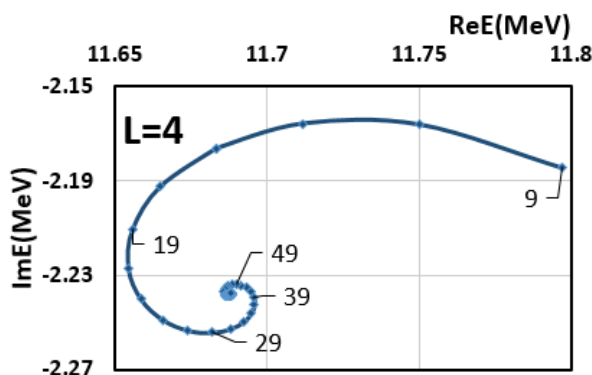
оруулаагүй ч [4] ажилд дүрслэгдсэн муруйнууд бидний тооцооллын үед ч мөн олдсон.

^8Be цөмийн $J^\pi = 4^+$ төлөвийн резонансын энерги болон энергид харгалзах түвшиний өргөнийг хувиргалтын параметрийн $\theta = 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ гэсэн гурван өөр утганд бодож, комплекс энергийн хавтгайд буулган 3-р зурагт харуулав.



3-р зураг. $J^\pi = 4^+$ төлөвийн $\theta = 25^\circ$ (хар гурвалжин), 20° (шар ромбо), 30° (хөх дөрвөлжин)-ийн гурван өөр утганд онолоор тооцоологдсон энергийн утгыг комплекс энергийн хавтгайд буулгасан нь.

Дээрх резонансын энергийн утгууд нь $E_r(25^\circ) = 11.69 \text{ MeV}$; $E_r(20^\circ) = 11.69 \text{ MeV}$; $E_r(30^\circ) = 11.68 \text{ MeV}$ байна. $J^\pi = 4^+$ төлөвийн резонансын энергийн нарийвчилсан утгыг олохдоо $\theta = 25^\circ$ үед $n_{\max} = n + k$ илэрхийллээр 2 алхамтайгаар нийт 26 тооцоог хийж $n_{\max}$ утга бүрд олдсон утгаар муруй байгуулан тогтворжилтын цэгийг 4-р зурагт харуулав. Энд $n = 9$, $k = 0, 2, 4, \dots 50$ гэж авав.



4-р зураг. $J^\pi = 4^+$ төлөвийн резонанс энергийн нарийвчилсан утгыг $n_{\max}$ – траекторын буюу мөрийн аргыг ашиглан олсон нь.

Дээрх графикаас үзэхэд $J^\pi = 4^+$ төлөвийн резонансын энерги $E = 11.69 \text{ MeV}$, тухайн энергид харгалзах түвшиний өргөн $\Gamma = 4.47 \text{ MeV}$ гэж олдов. Мөн $J^\pi = 4^+$ төлөвийн

резонансын энергийн нарийвчилсан утгыг олохдоо θ - мөрийн аргыг n_{max} матрицын хэмжээсний өөр хоорондоо ялгаатай 5 утганд хувиргалтын параметрийг $\theta = 5^\circ + \theta_0$ илэрхийллээр 5° -н алхамтайгаар тооцооллыг хийж олсон. Энд $\theta_0 = 0^\circ, 5^\circ \dots 30^\circ$ гэж авав.

$J^\pi = 2^+$, $J^\pi = 4^+$ төлөвүүдийн бидний тооцоолсон энерги болон тухайн энергид харгалзах түвшиний өргөнийг бусад судлаачдын ижил арга ашиглан онолоор тооцоолсон болон туршлагын үр дүнтэй харьцуулах шаардлагатай. 1-р хүснэгтэд 2 болон 4-р зургуудаас олдсон нарийвчилсан утгуудыг бусад эрдэмтдийн туршлагын болон ижил арга ашиглан гарган авсан онолын утгуудтай өгөв. Мөн хүснэгтэд (4) илэрхийллийн потенциалын параметруудийг өгөв.

1-р хүснэгт. ^8Be цөмийн бага өдөөгдсөн төлөвийн энерги болон түвшний өргөний харьцуулалт.

Төлөв	Туршлагын утга [5]		Гармоник осцилляторын суурь функц			
			Бусад судлаачид [6]		Энэ ажил	
	$E_r(\text{MeV})$	$\Gamma_r(\text{MeV})$	$E_r(\text{MeV})$	$\Gamma_r(\text{MeV})$	$E_r(\text{MeV})$	$\Gamma_r(\text{MeV})$
2^+	2.94	1.51	2.9	1.4	3.14	1.79
4^+	11.35	≈ 3.5	11.7	4.4	11.69	4.47
Потенциалын параметрууд(4)			Шмид-Вильдермутын потенциал [7]			
$V_0(\text{MeV})$	-	-	106.09			
$\beta(\text{fm}^{-2})$	-	-	0.2009			
$\alpha(\text{fm}^{-1})$	-	-	0.5972			

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажлаар ^8Be цөмийг хоёр альфа кластераас тогтсон систем гэж үзээд $J^\pi = 2^+$, $J^\pi = 4^+$ төлөвт харгалзах резонансын энерги болон тухайн энергид харгалзах түвшиний өргөнийг гармоник хэлбэлзлийн суурь функц, Шмид-Вильдермутын потенциал болон КХА ашиглан онолын тооцоолол хийсэн. ^8Be цөмийн бага өдөөгдсөн төлөвүүдийн резонансын энерги болон түүнд харгалзах түвшиний өргөнийг бүрэн тооцоолж харьцуулалт хийсэн. $J^\pi = 4^+$ төлөвийн энергийн утгууд өмнө хийгдсэн туршлагын утга болон онолын үр дүнтэй маш сайн тохирсон. Харин $J^\pi = 2^+$ төлөвийн энергийн утгууд өмнө хийгдсэн туршлагын утга болон онолын үр дүнгээс бага зэрэг зөрөөтэй байна. Үүнийг нягтлан авч үзэх хэрэгтэй. Энэ нь матрицын

Энэ ажлаар ^8Be цөмийн бага өдөөгдсөн $J^\pi = 2^+$ төлөвийн резонансын энерги $E_r = 3.14 \text{ MeV}$, тухайн энергид харгалзах түвшиний өргөн $\Gamma = 1.79 \text{ MeV}$, $J^\pi = 4^+$ төлөвийн резонанс энерги $E = 11.69 \text{ MeV}$, тухайн энергид харгалзах түвшиний өргөн $\Gamma = 4.47 \text{ MeV}$ гэж олдов. Бусад судлаачдын ажилд ижил потенциал ашигласан боловч суурь функцийн хэлбэр нь биднийхээс өөр байдаг. хэдийгээр өөр өөр суурь функц ашиглан резонанс энерги, түвшиний өргөнийг тооцоолж байгаа хэдий ч олох утга ижил байх ёстой. 1-р хүснэгтээс харахад онолоор тооцоолон олсон ^8Be цөмийн бага өдөөгдсөн $J^\pi = 2^+$, $J^\pi = 4^+$ төлөвийн энергийн утгууд нь өмнө хийгдсэн туршлагын утга [5] болон онолын үр дүнтэй [6] тохирсон болно.

хэмжээсний сонголт болон тооцооллын кодын нарийвчлалаас хамаарсан байж мэдэх юм.

НОМ ЗҮЙ

- [1] K. Ikeda, N. Takigawa, H. Horiuchi, Prog. Theor. Phys. Suppl. Volume E68, No. Pages 464-475 (1968).
- [2] J. Aguilar, J. M. Combes, Commun. Math. Phys. Volume 22, Pages 269-279 (1971). E. Balslev, J. M. Combes Commun. Math. Phys. Volume 22, Pages 280-294 (1971).
- [3] B. Simon, Commun. Math. Phys. Volume 27, Pages 1-9 (1972).
- [4] A. T. Kruppa, K. Kato, Prog. Theor. Phys. Volume 84, Pages 1145-1159 (1990).
- [5] D. R. Tilley et al., Nucl. Phys. Volume A 708, Pages 3-163 (2002).
- [6] M. Odsuren, K. Katō, M. Aikawa Nuclear Data Sheets 120, Pages 126-128, (2014).
- [7] E. W. Schmid and K. Wildermuth, Nucl. Phys. Volume A 26, Pages 463-468 (1961).

Кварц агуулсан чулуулаг дээжний даралтын нөлөөн дэх кристалл бүтцийн өөрчлөлт болон үлдэгдэл микро деформацийн судалгаа

А. Бадмаараг^{a,b,*}, К. Шеффцюк^{b,c}, Д. Сангаа^a, И. Хишигдэмбэрэл^a, Л. Энхтөр^d

^a ШУА, Физик технологийн хүрээлэн, Материал судлал нанотехнологийн салбар, Монгол.

^b Нейтроны физикийн лаборатори, ЦШНИ, Дубна, ОХУ.

^c Карсруэ-гийн технологийн хүрээлэн, Карсруэ, Герман.

^d Монгол Улсын Их Сургууль, Шинжлэн Ухааны Сургууль, Физикийн тэнхим, Улаанбаатар, Монгол.

Уг судалгааны ажлаар Монгол-Алтайн нурууны Онгон-Улаан уулны (43°28'30.9"N 99°18'40.8"E) кварц агуулсан поликристалл чулуун дээжний кристалл бүтцийг даралтаас хамааруулан судалсан. Монгол орны өмнөд хэсгээр хүчтэй тектоник мөргөлдөөний нөлөөнд орсон бөгөөд одоог хүртэл газар хөдлөлийн идэвхитэй бүс нутагт хамаардаг байна [1]. Иймээс уг судалгааны дээж нь кристалл бүтцийн хувьд хүчтэй деформацид орсон юм. Дээжний кристалл бүтцийн судалгааг рентген бүтцийн анализийн үр дүнд цахиурын давхар исэл (quartz-SiO₂), төмөр, магни, хөнгөн цагааны силикатын гидроксид (clinochlore 1-(Mg,Fe)₆(Si,Al)₄O₁₀(OH)₈), кали хөнгөн цагааны силикатын гидроксид (illite 2-(K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂), натри, кальц, хөнгөн цагааны силикат (anorthite-(Na_{0.45}Ca_{0.55})(Al_{10.55}Si_{2.45}O₈)) хэмээн тодорхойлсон.

Судалгааны ажлын зорилго нь кристалл бүтцийн эгэл торд үүсч буй деформаци болон үлдэгдэл деформацийн судалгааг нейтрон сарнилын аргаар судлах бөгөөд энэ нь том ширхэглэг бүхий бүтэцтэй геологийн дээжний бүтэц дэх деформацийн хэмжээг тодорхойлоход үр дүнтэй, хүчтэй хэрэгсэл болж өгдөг байна [2]. Иймээс уг хэмжилтийг нисэлтийн хугацааны нейтрон сарнилын тусламжтайгаар өндөр нарийвчлалтай хэмждэг ба энэ нь нейтроны материалын гүнд нэвтрэх чадвар өндөртэйгөөс шалтгаалдаг. Кристалл бүтцийн эгэл торын хавтгай хоорондын зайн өөрчлөлт нь Брэггийн пикийн байрлалын шилжилтээр тодорхойлогддог [3, 4, 5].

Хэмжилтийг ОХУ-ын Дубна хот дахь Цөмийн Шинжилгээний Нэгдсэн Институтын Нейтроны Физикийн Лабораторын ИБР-2М импульс реакторын тусламжтайгаар ЭПСИЛОН нейтрон сарнилын дифрактометрээр гүйцэтгэсэн.

Чулуун дээжний (Ø=31 мм, l=60 мм) деформацийн хэмжилтэнд уг дифрактометрийн даралтын төхөөрөмжийг ашигласан бөгөөд дээжнийг нэг тэнхлэгийн дагуу 5, 10, 15, 25, 35 болон 45 МПа даралтын нөлөөнд оруулан кристалл бүтцийн деформацийн хэмжилтийг гүйцэтгэсэн бөгөөд даралтын нөлөө тус бүрийн дараах үлдэгдэл деформацийг дифракцын хэмжилтийг үр дүнгээр тодорхойлсон. Ритвельдийн анализаар [6, 7, 8] дифракцын үр дүнг боловсруулан, эгэл тор дахь даралтын нөлөөн дэх болон үлдэгдэл деформацийн хэмжээг кварц фазын кристаллографын таван өөр хавтгайн хувьд ((020), (101), (211), (131) болон (112)) тооцоолон гаргасан.

Түлхүүр үгс: Нейтрон дифракц, нисэлтийн хугацааны арга, үлдэгдэл деформаци, Ритвельд анализ.

1. ОРШИЛ

Материал болон уулын чулуулагуудын физик болон механик шинж чанарыг тодорхойлоход дифракцын арга зүйг өргөнөөр ашигладаг бөгөөд энэ арга нь маш өндөр үр дүнтэй байдаг. Газар хөдлөлийн хүчний нөлөөнөөс үүсч буй даралтын түгэлт нь газрын бүтэц, уулын чулуулаг болон чулуун давхрагын кристалл болон механик шинж чанараас хамаардаг [1, 2]. Кварц буюу кварц агуулсан чулуулаг нь газрын чулуулаг бүтцийн ихэнх буюу ойролцоогоор 60 хүртэлх хувийг бүрдүүлдэг учраас кварц болон кварц агуулсан эрдсийн кристалл бүтэц болон бүтцийн

өөрчлөлтийн судалгаа нь газар хөдлөлийн зарим үр нөлөөг тайлбарлахад чухал ач холбогдолтой байдаг [2]. Нейтрон нь рентген цацрагтай харьцуулахад масстай, нэвтрэх чадвар өндөр, тухайн бодисын атомын цөмөөс сарнидаг, дулааны нейтроны энергийн түгэлт нь тасралтгүй (Максвелл түгэлттэй) шинж чанартай зэрэг давуу талуудтай учир шинэ материал, геологийн дээжний гүн дэх кристалл бүтцийн мэдээлэлийг судалж болох өндөр ач холбогдолтой байдаг. Иймээс дулааны нейтроны өндөр нэвтрэх чадварын тусламжтайгаар тухайн материал болон геологийн дээжний нэгж эгэл тор дахь кристалл бүтцийн деформаци болон

* Electronic address: badmaarag@jinr.ru

учруулсан даралтын нөлөөний дараах үлдэгдэл деформацийн тархалтыг судалдаг [3].

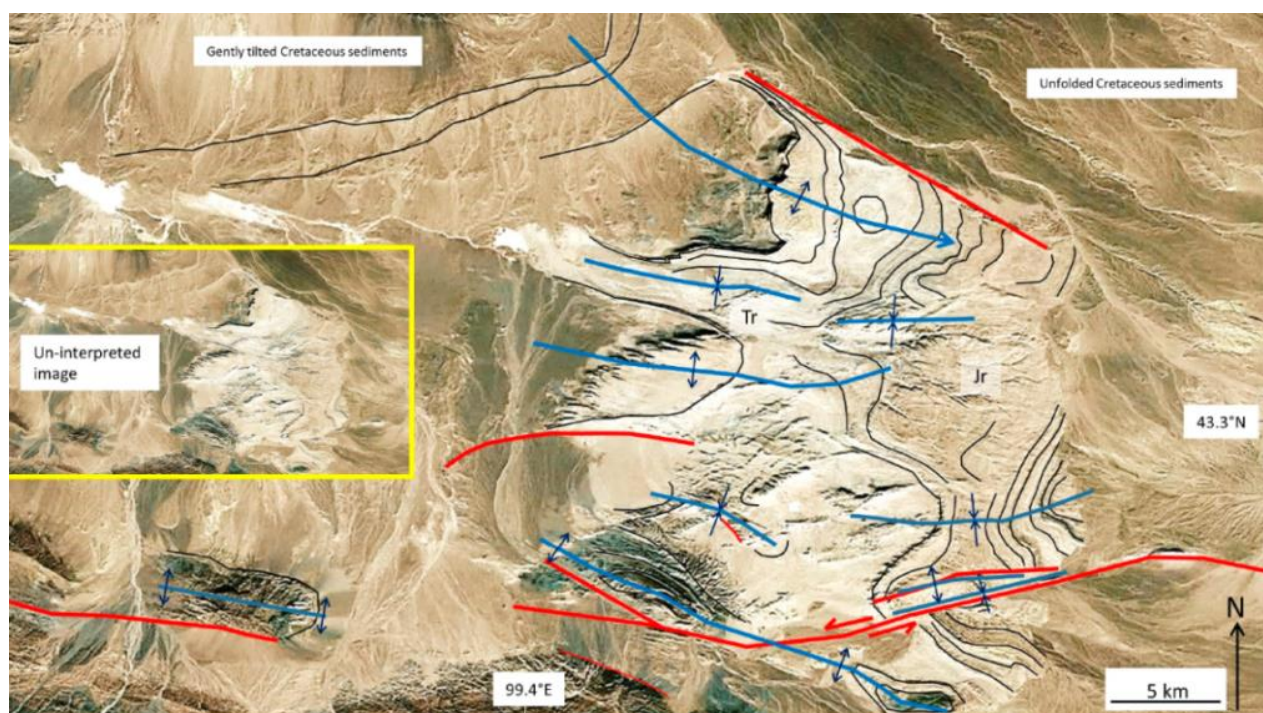
Газрын чулуулгийн механик болон кристалл бүтцийн өөрчлөлтийн түгэлт нь газрын тектоник хүчлэгийн түгэлттэй хамааралтай байдаг учир кристаллын фазын физик шинж чанарыг даралт, температур буюу термодинамик нөхцөлөөс хамааруулсан судалгаа нь ихээхэн ач холбогдолтой юм. Энэ ажлаар Онгон-Улаан уул ($43^{\circ}28'30.9''\text{N}$ $99^{\circ}18'40.8''\text{E}$) – аас 600 метрийн гүнээс өрөмдлөгийн аргаар гарган авсан кварц агуулсан чулуулаг дээжний кристалл бүтцэд механик даралтын нөлөөгөөр үүссэн микродеформац болон даралтын нөлөөнөөс үүссэн үлдэгдэл микродеформацийг ОХУ-ын Дубна хот дахь ЦШНИ-ийн ИБР - 2М импульст

реакторын ЭПСИЛОН нейтрон дифрактометр ашиглан тодорхойлов [4].

2. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

2.1. Дээж бэлтгэх

Монгол улсын өмнөд хэсгийн газрын бүтэц нь Юрийн галавын үеийн тектоникийн хүчтэй мөргөлдөөний үр нөлөөний улмаас өөрчлөгдсөн болох нь зарим судалгааны ажлуудаас [1, 2] болон хиймэл дагуулын зурагнаас ажиглагддаг бөгөөд одоог хүртэл газар хөдлөлийн идэвхитэй бүс нутагт хамаарагддаг байна. Өмнөговь аймаг, Говь - Алтай зэрэг аймгуудын нутагт орших Ноён уул [8], Онгон - Улаан уулнууд орчмын газрын гадаргын бүтэц нь энэ төрх байдлыг илтгэдэг (Зураг 1).



Зураг 1. Говь – Алтай аймаг, Онгон – Улаан уул орчмын газрын бүтэц. (хөх шугам – үелсэн давхрагууд, хар шугам – гол нугалаа буюу атираа, улаан шугам – хагарлууд).

Газар хөдлөлийн даралтын нөлөөний улмаас тухайн бодисын кристалл бүтэц ямар нэгэн байдлаар деформацид ордог бөгөөд эдгээр үйлчлэлүүдийн нөлөө буурах буюу зогссоны дараагаар кристалл бүтцийн атомуудын торын параметруудийн утга эргэж анхны төлөвтөө ордоггүй байна. Уг анхны утгаас хазайсан утгыг тухайн кристалл бүтцэд үүссэн үлдэгдэл деформаци гэдэг [3]. Дээрх координат (Монгол Алтайн нуруу, Онгон - Улаан уул- $43^{\circ}28'30.9''\text{N}$ $99^{\circ}18'40.8''\text{E}$) – аас сонгосон тригональ кристалл

системтэй (огторгуйн групп нь $P3_1 2 1$ (№ 152)), кристалл бүтцийн эгэл тор нь $a, b = 4.9155 \text{ \AA}$; $c = 5.4126 \text{ \AA}$; $\alpha, \beta = 90^{\circ}$, $\gamma = 120^{\circ}$ параметрууд бүхий кварц агуулсан чулуулаг дээжийг нэмэлтээр даралт болон температурын нөлөө үүсгэлгүйгээр өрөмдлөгөөний аргаар цилиндр хэлбэртэйгээр (60 мм х 31 мм) хэмжилтэнд бэлтгэв (зураг 2).

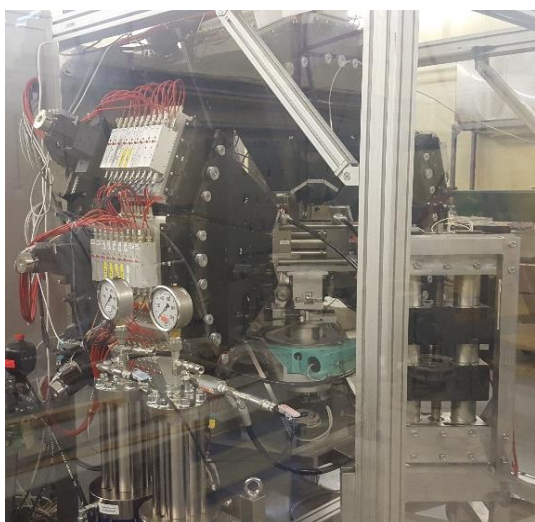


Зураг 2. Цилиндр хэлбэрт оруулан хэмжилтэнд бэлтгэсэн кварц агуулсан чулуулаг дээж.

2.2. Нейтрон дифракцын хэмжилтийн арга зүй

ЭПСИЛОН дифрактометрийн даралтын нөлөөн дэх хэмжилтийн үед дээж нь z тэнхлэгээрээ тусч буй нейтронтой 45° – ын өнцөг үүсгэн байрлах бөгөөд Брэггийн өнцөг тогтмол байна. Мөн дифрактометр нь нейтроны үүсгүүрээс тодорхой зайнд байрлах бөгөөд нейтрон нь тодорхой зайг тодорхой хугацаанд туулан, дээжнээс сарнин бүртгэгчид бүртгэгддэг. Иймээс кристаллын хавтгай хоорондын зайг Де-Бройллийн тэгшитгэлийг Вульф-Брэггийн тэгшитгэлд тооцоолон тодорхойлбол:

$$(d_{hkl})_i = \frac{h}{2m_n L \sin \theta} t_i = \frac{h}{2m_n (l_1 + l_2) \sin \theta} t_i. \quad (1)$$



Зураг 3. ЭПСИЛОН нейтрон дифрактометр болон кварц агуулсан чулуулаг дээжийг хэмжсэн хэмжилтийн бүдүүвч зураг.

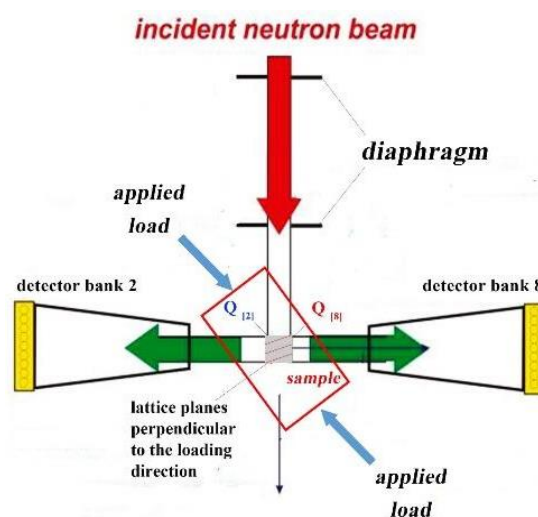
3. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

Уулын чулуулгууд ихэнхдээ поликристаллыг бүрдүүлэгч монокристалл үрлэн ширхэгүүдээс тогтдог учир кристалл бүтцийн микродеформацийг эдгээр монокристалл ширхгүүдээс хамаарч нэгэн төрлийн бус гэж үзэж болно. Энэ нэгэн төрлийн

Энд:

- L – нисэлтийн нийт зай (м), l_1 – үүсгүүрээс дээж хүртэлх зай, l_2 – дээжнээс детектор хүртэлх зай: 107,03 м;
- t – нисэлтийн хугацаа (сек);
- сарнилын өнцөг: $2\theta = 90^\circ$;
- ЭПСИЛОН дифрактометрийн хугацааны анализаторын хугацааны сувгийн өргөн: $\Delta t = 32$ мксек, 6144 хугацааны суваг [4], [5].

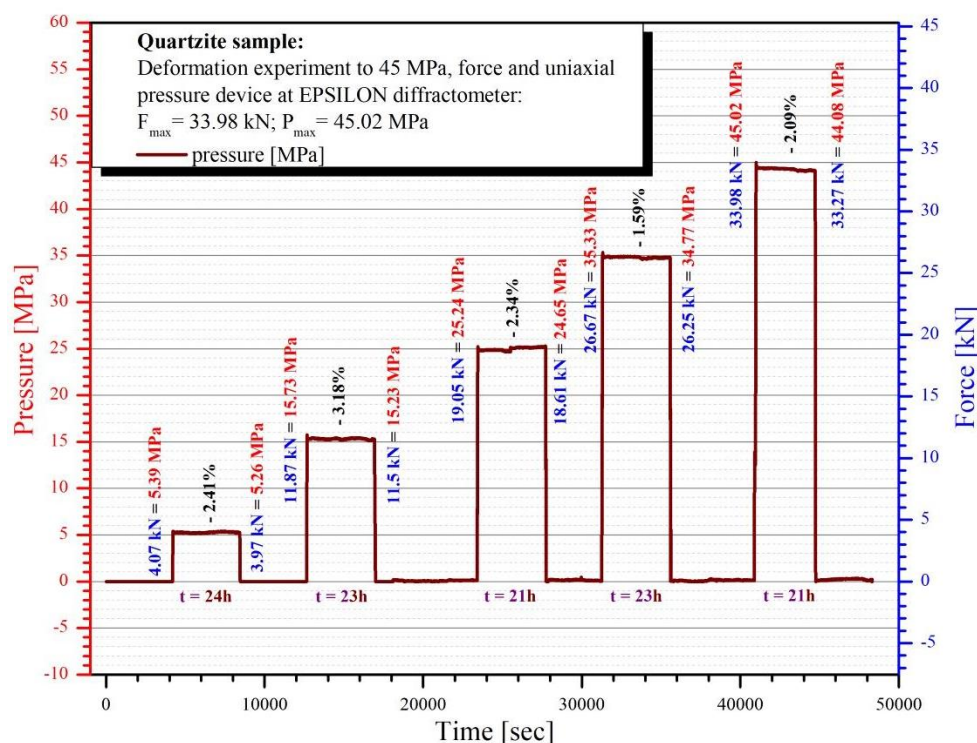
Дээрх тэгшитгэл нь тухайн нейтрон дифрактометрийн хувьд кристаллын хавтгай хоорондын зай нейтроны нисэлтийн хугацаанаас хамаарах хамаарлыг үзүүлэх ба дифрактометрийн ялгах чадварыг илэрхийлнэ. Тусч буй нейтроны хөндлөн огтлолын талбайг тусгай диафрагмын тусламжтайгаар 50 мм x 15 мм – ийн хэмжээтэй болгон өөрчилж, хэмжилтийг гүйцэтгэсэн бөгөөд даралтын нөлөөн дэх болон үлдэгдэл микродеформацийн хэмжилтийг ЭПСИЛОН нейтрон дифрактометрийн бүдүүвч зурган дээрх 2 болон 8 дугаар блок детекторын хэмжилтийн утгыг ашиглан тодорхойлов (Зураг 3).



бус микродеформац нь тухайн монокристалл ширхэгийн уян харимхай шинж чанар буюу Юнгийн модулаас (E) хамаарах ба нейтрон дифракцын пикийн хэлбэр дүрсийн өөрчлөлт, өргөсөлт, пикийн хамгийн их эрчмийн байрлалын шилжилт зэргээр тодорхойлогддог [7], [8].

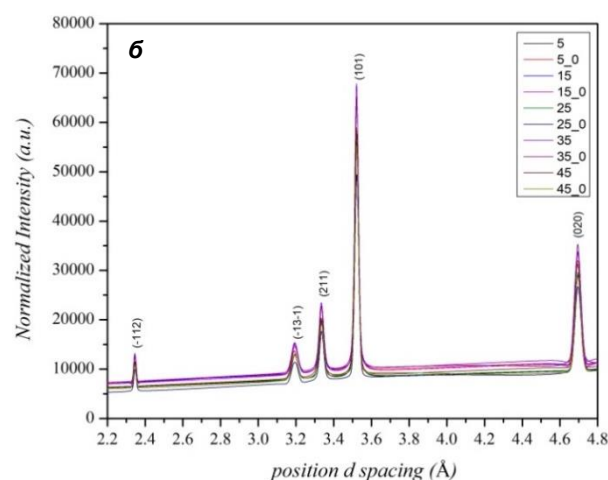
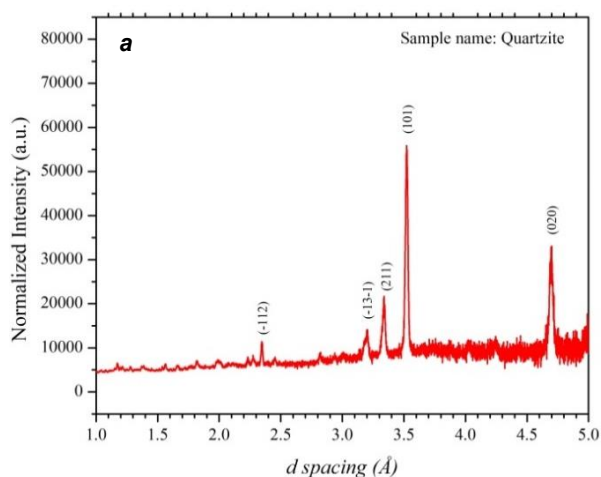
Судалгааны дээж болох 60 мм х 31 мм – ын харьцаатайгаар цилиндр хэлбэрт оруулан бэлтгэсэн кварц агуулсан чулуулаг дээжний кристалл бүтэц дэх микродеформацийн хэмжилтийг тусч буй нейтронтой детекторын үүсгэх өнцөг тогтмол $2\theta = 90^\circ$ байх байрлалд тасалгааны температурт болон даралтын төхөөрөмж ашиглан 5, 15, 25, 35 болон 45 МПа хүртлэх янз бүрийн утга бүхий даралтаар

үйлчилж (зураг 4), тухайн цэг тус бүрт нисэлтийн хугацааны нейтрон сарнилын хэмжилтийг гүйцэтгэв. Мөн тухайн даралтын утгын тус бүрийн дараах кристалл бүтцэд үүссэн үлдэгдэл микродеформацийн нисэлтийн хугацааны нейтрон сарнилын хэмжилтийг гүйцэтгэн, профайл анализийн үр дүнгээр пикуудын шилжилтийг тодорхойлов (зураг 5б болон зураг 6).



Зураг 4. Кварц агуулсан чулуулаг дээжний кристалл бүтцэд учруулсан механик даралтын утгууд.

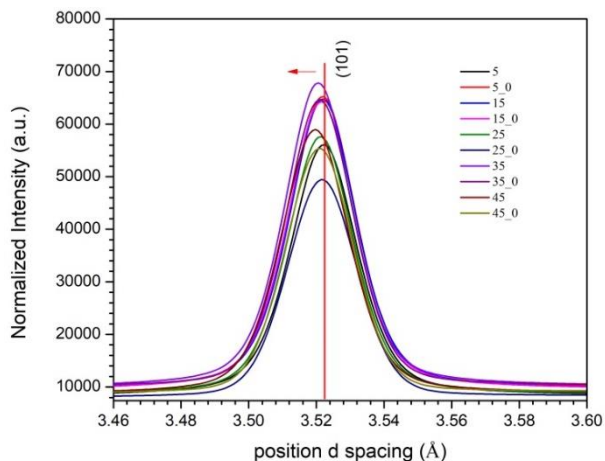
Кристалл бүтцийн эгэл торд учруулсан шахах үеийн даралтын нөлөөгөөр тухайн кристаллографын хавтгайгаас дифракцлагдаж байгаа пикийн Брэггийн байрлалууд болон эрчмийн өөрчлөлтөөр (зураг 6) эгэл торын деформацийн хэмжээг тооцоолон гаргасан.



Зураг 5. Кварц агуулсан чулуулаг дээжний нисэлтийн хугацааны нейтрон дифракцын зураг. а) Даралтын тэг утга дахь дифракцын зураг, б) Даралтын нөлөөн дэх болон даралтын дараах үлдэгдэл деформацийн үеийн боловсруулсан нейтрон дифракцын зураг.

Судалгааны кварц агуулсан чулуулаг дээжний үндсэн фазаас (кварц) дифракцлагдсан

буюу кристаллын эгэл торын хавтгай хоорондын зай $d = 3,52 \text{ \AA}$ бүхий кварцын пикийн хамгийн их эрчимтэй (101) рефлексийн эрчмийн утга болон байрлал нь даралтын өөр өөр утганаас хамаарч кристаллын эгэл торын хавтгай хоорондын зайн бага утгаруу шилжиж байв (Зураг 6.)



Зураг 6. Кварц агуулсан чулуулаг дээжний хавтгай хоорондын зай $d = 3.52 \text{ \AA}$ бүхий рефлексийн эрчим болон Брэггийн байрлалын шилжилт.

Иймээс үлдэгдэл микродеформацыг тодорхойлохын тулд кристаллын хавтгай хоорондын зайн анхны утга буюу d_0^{hkl} – ийг нунтаг кристалл дээжний хэмжилтийн үр дүнгээр, деформацид орсон үеийн буюу шилжилттэй гарсан хэмжилтийн үр дүнгээр d^{hkl} – ийг тус бүрт нь томъёо (1) – ийн тусламжтайгаар тодорхойлсоноор томъёо (2) – ыг ашиглан кристалл бүтцийн эгэл тор дахь микродеформацыг тооцоолон боддог.

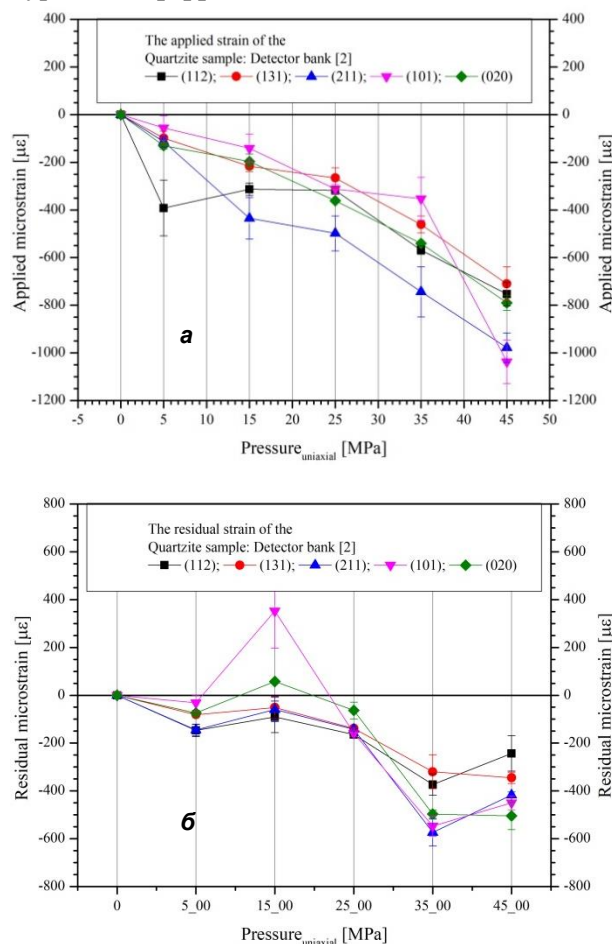
$$\varepsilon^{hkl} = \frac{d^{hkl} - d_0^{hkl}}{d_0^{hkl}}. \quad (2)$$

Энд:

- ε^{hkl} – эгэл торын деформаци;
- d^{hkl} – кристалл хавтгай хоорондын өөрчлөгдсөн зай;
- d_0^{hkl} – кристалл хавтгай хоорондын зайн анхны утга (нунтаг дээжний).

Уг кристаллын пикүүдийн шилжилтээр илэрхийлэгдэж байгаа хавтгай хоорондын зайн өөрчлөлт нь эгэл торын микродеформацыг илтгэж байгаа бөгөөд эдгээрийг кристаллографын эгэл торын (020), (101), (211),

(131) болон (112) хавтгайнуудад томъёо (2) – ын тусламжтайгаар тооцоолон тодорхойлсоныг Зураг 7 – д үзүүлэв.



Зураг 7. Кварц агуулсан чулуулаг дээжний даралтын нөлөөнөөс хамааран кристалл бүтцэд үүссэн микродеформац болон даралтын нөлөөний дараах үлдэгдэл микродеформацыг кристаллографын таван өөр хавтгайн ((020), (101), (211), (131) болон (112)) хувьд тооцоолсон үр дүн. а) даралтын нөлөөний үед дэх микродеформац, б) үлдэгдэл микродеформац.

Дээрх кристалл бүтцийн эгэл торын микродеформацыг тодорхойлсон үр дүнгээс (зураг 7) нэмэлтээр 45 МПа хүртэл даралтын нөлөөнд оруулан шахахад:

- (112): $-313 \leq \mu\varepsilon \leq -753$;
- (131): $-98 \leq \mu\varepsilon \leq -710$;
- (211): $-112 \leq \mu\varepsilon \leq -978$;
- (101): $-56 \leq \mu\varepsilon \leq -1037$;
- (020): $-130 \leq \mu\varepsilon \leq -790$;

хүртэл хэмжээтэйгээр шахагдаж, деформацилагдсан бол эдгээрийн тус бүрийн дараах үлдэгдэл шахалтын микродеформац нь

- (112): $-90 \leq \mu\varepsilon \leq -373$;
- (131): $-51 \leq \mu\varepsilon \leq -345$;
- (211): $-59 \leq \mu\varepsilon \leq -573$;

- (101): $-31 \leq \mu\epsilon \leq -547$;
- (020): $-63 \leq \mu\epsilon \leq -504$;

хэмжээтэйгээр үүссэн байгаа бөгөөд үлдэгдэл суналтын микродеформац нь

- (101): $352,8 \mu\epsilon$;
- (020): $57,53 \mu\epsilon$

хэмжээтэй үүссэн байна.

ДҮГНЭЛТ

- Говь-Алтай аймгийн Онгон-Улаан уулны поликристалл бүхий кварц агуулсан чулуулаг дээжийг 5 МПа – аас 45МПа – ын завсарт 10МПа – ын алхамтайгаар даралтын нөлөөнд оруулан шахаж, тухайн даралтын утгын үйлчлэл тус бүрт нь нисэлтийн хугацааны нейтрон дифракцын хэмжилтийг хийж, Ритвельд болон профайл анализыг гүйцэтгэв.
- Нейтрон дифракцын хэмжилтийн үр дүнгээс Ритвельд болон профайл анализын тусламжтайгаар кристаллографын таван өөр хавтгайд ((020), (101), (211), (131) болон (112)) нэмэлтээр шахах үеийн даралт учруулахад (101) хавтгайн хувьд хамгийн их буюу $-1037 \mu\epsilon$ хүртэл деформацид орсон бол үлдэгдэл микродеформац нь суналтын мужид хамгийн ихдээ (101) хавтгайд $352 \mu\epsilon$, шахалтын мужид хамгийн ихдээ (211) хавтгайд $-573 \mu\epsilon$ хүртэл үүссэн байна.
- Кристалл бүтцийн даралтын нөлөөн дэх деформацийн хэмжээ, тэдгээрийн нөлөөнөөс үүссэн үлдэгдэл деформацийг тодорхойлсоноор тухайн чулуулагийн оршин буй координатын хувьд газар хөдлөл, температурын өөрчлөлт зэргээс хамааран үүссэн нөлөөлөлүүдийг тайлбарлахын тулд урьдчилан таамаглал дэвшүүлэхэд чухал ач холбогдолтой байдаг байна.

ТАЛАРХАЛ

Дээж бэлтгэхэд туслалцаа үзүүлсэн Ж.Одбаяр (Геологийн төв Лаборатори), судалгааны ажлыг дэмжсэн Нейтроны Физикийн Лаборатори болон ШУА-ийн Физик технологийн хүрээлэнгийн Материал судлалын салбар, МУИС-ийн Физикийн тэнхимийн хамт олондоо талархал илэрхийлье.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] Cunningham D. (2017), *Geosciences*. **7(1)**, 2; [doi:10.3390/geosciences7010002]
- [2] Genyao W. (2013) *J. Palaeogeography*. **2(3)**, 306-317. [doi:10.3724/SP.J.1261.2013.00033]
- [3] Taran Y.V., Balagurov A. M., Sabirov B., Davydov V. and Venter A. (2014), *Materials Science Forum*. **768-769**, 697-704
- [4] Scheffzük Ch., Müller B.I.R., Breuer S., Altangerel B. and Schilling F.R. (2016), *Mongolian Journal of Physics*. **2**, 433-441.
- [5] Scheffzuek Ch., Hempel H., Frischbutter A., Walther K., and Schilling F. R. (2012) *J. Phys. Conf. Ser.* **340** 012038 [doi:10.1088/1742-6596/340/1/012038]
- [6] Rietveld H.M., (1967), *Acta Cryst.***22**. 151.
- [7] Scheffzük Ch., Walther K. and Frischbutter A. (2014) *Materials Science Forum*. **777**, 136-141.
- [8] Badmaarag A., Scheffzük Ch., Sangaa D. (2016), *Mongolian Journal of Physics*. **2**, 442-448.

Цахилгаан статик орон дахь устөрөгчийн атомын туннелийн иончлол

Ч.Алдармаа*, Л.Хэнмэдэх, Г.Зоригт

Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Хэрэглээний Шинжлэх Ухааны Сургууль, Физикийн тэнхим

Энэ ажилд устөрөгчийн атомыг цахилгаан статик орноор үйлчлэх процессын динамикийг судлан туннелийн иончлолын магадлалыг хугацаанаас хамааруулан тооцоолсон. Тооцоололд цахилгаан статик оронд устөрөгчийн электрон үндсэн төлвөөсөө хэрхэн хувьсалд орж байгааг долгион функцийн огторгуйн дискрет торын зангилаан дээрх утгуудаар нь илэрхийлэв. Кулон функцийн дискрет хувьсагчийн төлөөлөлийн аргаар иончлолын магадлал хугацааны хамаарал, энергийн спектр, өнцгийн түгэлт, моментыг түгэлтийг тус гаргаж бусад онолын тооцооллын үр дүнтэй харьцууллаа.

PACS numbers: Gs67.63.Gh, 67.80.Fh, 67.25.dt, 42.60.Rn, 31.55.ee

ОРШИЛ

Бид цахилгаан статик орноор устөрөгчийн атомын иончлох процессыг дискрет хувьсагчийн төлөөлөлийн аргаар тооцоолсон. Дискрет хувьсагчийн төлөөлөлд псевдоспектр бааз байгуулан тооцоолол хийх арга 50 гаруй жилийн өмнөөс хөгжиж ирсэн бөгөөд лазер атомын харилцан үйлчлэл, цэнэгт бөөм атом, молекултай харилцан үйлчлэх процессийг судлахад ашиглаж байна. Дискрет хувьсагчийн төлөөлөлийн аргыг анх Harris нар 1965 онд [1], Dickinson, Certain нар 1968 онд [2], Lill, Light нар 1982 онд [3], Light нар 1985 онд [4] олон судлаачид хөгжүүлж ирсэн байна. Дискрет хувьсагчийн төлөөлөлд ихэнхдээ ортогональ олон гишүүнт, эсвэл тригнометрийг функцүүдээр торын зангиануудын хувьд квадратурын дүрмийг ашиглан вариацийн бүрэн баазыг тодорхойлсон байна. Кулоны функцийн дискрет хувьсагчийн ойролцоололд потенциал энергийн матриц нь диагональчлагдах ба диагоналын утга нь торын зангилаан дээрх потенциалын утгаар илэрхийлэгдэнэ. Кинетик энергийн матрицыг вариацийн баазын төлөөлөлд илэрхийлээд дискрет хувьсагчийн төлөөлөлд хувиргана. Атомын физикт Кулоны потенциалыг илэрхийлэхэд хүндрэлтэй учраас тийм ч олон ажил гараагүй байна. Өргөтгөсөн Лагеррийн торонд суурилсан дискрет хувьсагчийн төлөөлөлийн аргаар (DVR) аргыг Baye ба Heenen нар 1986 онд [5] томъёолон гаргасан. Baye, Heenen нар энэ аргаар өргөтгөсөн Лагеррийн олон гишүүнтийн

язгууруудаар тор үүсгэн олон төрлийн потенциал, Кулоны потенциалыг ойролцоолох устөрөгчийн холбоост төлвүүдийн энергийг тооцоолоход ашигласан. Цахилгаан статик оронд байгаа устөрөгчийн атомын нэг хэмжээст үед Rodney Loudon нар 1959 онд [6], Q.Su, J.H. Eberly нар 1991 онд [7] хувийн утгын бодлого, A.N. Gordeye, S.C.Chhajlany нар 1997 онд [8] Лапласын трансформ ойролцооллын аргаар, A.M. Ishkhanyan, V.P. Krainov нар 2019 онд [9] Whittaker (WKB) ойролцооллын аргаар тооцоолж холбоост төлвүүдийн энерги ба долгион функцүүдийг тооцоолсон. Гурван хэмжээст үед Sydney Geltman нар 2000 онд [10] хүчтэй холбоосын аргаар, Ph.Durand, I.Paidarova 2003 онд [11] Гриний функц ашиглан тооцоолж иончлолын магадлал хугацаанаас хамаарах хамаарлыг цахилгаан орны хэмжээнээс хамааруулан тооцоолж байна. Энэхүү өгүүлэлд томъёолол ба үр дүнд атом нэгжийн системийг ашигласан болно.

ОНОЛ

Устөрөгчийн атомыг цахилгаан статик орноор үйлчлэх процессыг хугацаанаас хамаарсан Шредингерийн тэгшитгэлийг бодох замаар гүйцэтгэв. Электроны төлвийн өөрчлөлтийн динамикийг ашиглан иончлолын магадлалыг тооцооллоо. Гадны оронд байгаа устөрөгчийн атомын электроны хувьд Шредингерийн тэгшитгэлийг бичвэл [12]

$$i \frac{\partial \Psi(\vec{r}, t)}{\partial t} = (\hat{H}_0 + \hat{V}(\vec{r}, t)) \Psi(\vec{r}, t) \quad (1)$$

* Electronic address: aldarmaa@must.edu.mn

Энд: $\Psi(\vec{r}, t)$ - электроны долгион функц, $\hat{H}_0$ - устөрөгчийн атомын гамильтонионы оператор, $\hat{V}(\vec{r}, t)$ - гадны орны харилцан үйлчлэлийн оператор.

$$\hat{V}(\vec{r}, t) = \vec{r} \cdot \vec{E}(t) \quad (2)$$

Шредингерийн тэгшитгэлээс хугацааны t эгшинээс $t + \Delta t$ эгшин дэх долгион функцийг олбол [13]:

$$\psi(r, t + \Delta t) = e^{-i(\hat{H}_0 + \hat{V}(\vec{r}, t)\Delta t)} \psi(\vec{r}, t) \quad (3)$$

Энэхүү итерацийн алхмуудаар долгион функцийг хугацааны хамаарал тодорхойлогдоно. Тухайн алхмыг гүйцэтгэхэд Δt хугацааны алхам бага үед хугацааг хуваах Странгийн аргыг хэрэглэх боломжтой юм. Хугацааг хуваах аргыг ашиглан хугацаанаас хамаарсан ба хамаараагүй операторуудыг салган, бөмбөлөг координатын системд долгион функцийг тодорхойлбол [13]:

$$\begin{aligned} \psi(r, \theta, \varphi, t + \Delta t) \cong & \exp(-i\hat{V}(r, \theta, \varphi, t + \\ & \Delta t) \frac{\Delta t}{2}) \times \exp(i\hat{H}_0 \Delta t) \times \\ & \exp(-i\hat{V}(r, \theta, \varphi, t) \frac{\Delta t}{2}) \psi(r, \theta, \varphi, t) \end{aligned} \quad (4)$$

Дээрх хугацааны итерацийн алхамд гадны орны харилцан үйлчлэл ба атомын гамильтонианыг үйлчлэлийг ээлжлэн тооцоолж байна. Долгион функцийг бөмбөлөг координатын системд сфер гармоник функцээр задлан бичвэл:

$$\begin{aligned} \psi(r_i, \theta_j, \varphi_k, t) = \\ \sum_{l=0}^{l_{max}} \sum_{m=-l}^l R_{l,m}(r_i, t) Y_{l,m}(\varphi_k, \theta_j) \end{aligned} \quad (5)$$

$Y_{l,m}(\varphi_k, \theta_j)$ сфер гармоник, $R(r_i, t)$ радиал функц. Энд радиал функц нь хугацаанаас хамааран тодорхойлогдоно. Дээрх долгион функцыг (1) тэгшитгэлд орлуулбал өнцгийн ба радиал тэгшитгэлүүд болгон задалж болно. Өнцгийн тэгшитгэлийн хувьд $\hat{L}^2$ операторын хувийн функцүүд нь $Y_{l,m}(\varphi, \theta)$ сфер гармоник ба хувийн утгууд нь $l(l+1)$ болно [14]. Радиал тэгшитгэл нь хугацаанаас хамаарах радиал функцийг тодорхойлно. Долгион функцийг сфер функцээр задалсан задаргааны коэффициент (5) болох радиал функцийг өнцгийн интегралаар тооцоолон гаргах ба энд интегралыг квадратур ашиглан бичвэл:

$$R_{l,m}(r_i, t) = \sum_{k=1}^{k_{max}} \sum_{j=1}^{j_{max}} \psi(r_i, \theta_j, \varphi_k, t) Y_{l,m}^*(\varphi_k, \theta_j) w_k w_j \quad (6)$$

w_k, w_j эдгээр нь Симпсоны ба Гаусс-Лежандрын жингүүд j_{max} θ өнцгийн зангилааны тоо, k_{max} φ өнцгийн зангилааны тоо болно. Кулоны функцыг $F(r)$ түүний уламжлалыг $F'(r)$ гээд $\frac{R_{l,m}(r_i, t)}{F'(r)} = \phi_{k,j}$ гэвэл атомын гамильтонионтой стационар тэгшитгэлээс дараах шугаман тэгшитгэлийн системийг гаргаж болно [15].

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N \left[-\frac{1}{2} D_{i,j} + V_l(r_j) \delta_{i,j} \right] \phi_{k,j} = \varepsilon_k \phi_{k,i} \\ i = 1 \dots N \end{aligned} \quad (7)$$

Энд $\phi_{k,i}$ хувийн функцийг (k -р спектрийн j -р) утга, ε_k хувийн утга (k -р спектрийн энерги) $D_{i,j}$ координатын 2-р эрэмбийн уламжлалыг тодорхойлох матриц

$$D_{i,j} = \frac{1}{3} \left(E + \frac{Z1}{r_i} \right) \delta_{i,j} + (1 - \delta_{i,j}) \frac{1}{(r_i - r_j)^2} \quad (8)$$

E электроны энерги, $Z1$ кулоны функцийг цэнэг, $V_l(r_j)$ координатаас хамаарсан потенциал.

$$V_l(r_j) = \frac{l(l+1)}{2r_j^2} - \frac{1}{r_j}, \quad l - \text{орбитын квант тоо.} \quad (7) \text{ нь}$$

шугаман тэгшитгэлийн систем үүсгэх учир l -н утга бүрд харгалзах тэгшитгэлийн системийг бодож, радиал зангилааны тоотой тэнцүү тооны хувийн утга ба хувийн векторуудыг олно.

Энэхүү хувийн векторууд нь псевдоспектрүүд болох ба бүрэн бааз үүсгэнэ. Хугацаанаас хамаарсан долгион функцийг радиал функцийг координатын төлөөллөөс энэхүү псевдоспектрал бааз дээр задлах буюу энергийн төлөөлөлд шилжүүлээд $\hat{H}_0$ оператороор үйлчлэхэд задаргааны гишүүн бүрийн хувьд харгалзах хувийн утга үржигдэн гарах ба буцааж координатын төлөөлөлд шилжих үйлдэл нь тогтмол утгатай хувьслын матрицаар үйлчилсэнтэй адил болно. Иймд (5) тэгшитгэлийн $\hat{H}_0$ операторын үйлчлэлийг тооцоолохдоо долгион функцээс (6) илэрхийллээр радиал функцийг утгуудыг тодорхойлон (9) илэрхийлэлээр гүйцэтгэх ба энд $S_{ij}(l)$ хувийн утгуудаар тодорхойлогдох хувьсалын матриц болно.

$$[\exp(-iH_l^0 \Delta t) R_{l,m}(r_j, t)]_i = \sum_{j=1}^N S_{ij}(l) R_{l,m}(r_j, t), \quad (9)$$

Хувьсалын матриц нь:

$$S_{ij}(l) = \sum_k \phi_{k,j}(l) \phi_{k,i}(l) \exp(-i\varepsilon_k(l) \Delta t) \quad (10)$$

χ_{ki} хувийн функцын (k-р спектрийн j-р) утга, ε_k хувийн утга (k-р спектрийн энерги).

ҮР ДҮН

Устөрөгчийн атомыг цахилгаан статик орноор үйлчлэх процессыг 1D ба 3D хэмжээст үед тооцоолон электроны төлвийн өөрчлөлтийн динамикийг судлан иончлолын магадлалыг тооцоолсон билээ.

A. Нэг хэмжээст Кулоны потенциал

$$\left[-\frac{1}{2} \frac{d^2}{dx^2} - \frac{1}{\sqrt{1+x^2}} \right] \Psi_n(x) = E_n \Psi_n(x)$$

N	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅
32	-0.564586	-0.319294	-0.130891	-0.101911	-0.056388
64	-0.660567	-0.278808	-0.149597	-0.093656	-0.062592
128	-0.669731	-0.274908	-0.151446	-0.092674	-0.063175
256	-0.669977	-0.274891	-0.151455	-0.092670	-0.063178
FD	-0.669856	-0.274978	-0.151515	-0.092708	-0.063204
Ref [7]	-0.669818	-0.274937	-0.151486	-0.092699	-0.063539

B. Диполийн матрицын элемент

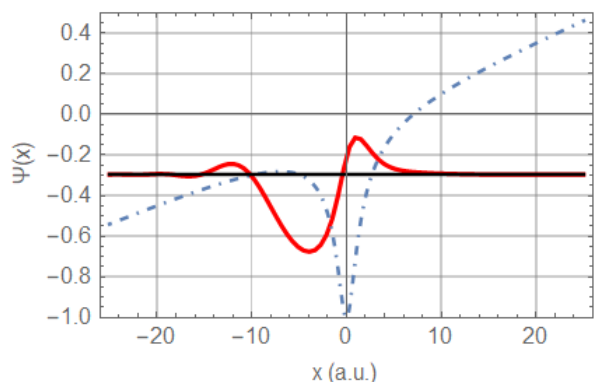
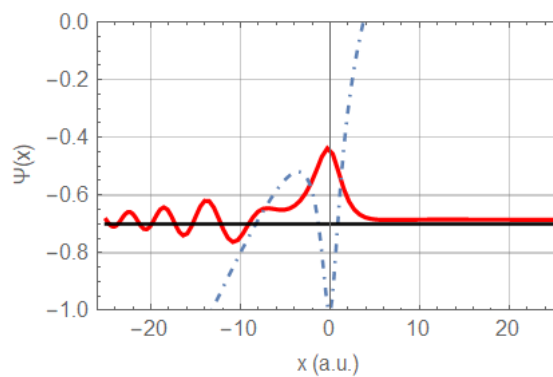
$$x_{kn} = \langle k|x|n \rangle = \int dx \Psi_k^*(x) x \Psi_n(x)$$

N	x ₁	x ₁₂	x ₁₄	x ₂₃	x ₂₅
32	0	0.789548	-0.140933	2.565172	0.216795
64	0	1.026825	0.177563	2.526002	-0.387776
128	0	1.048363	-0.192922	2.602971	-0.430297
256	0	1.047098	-0.192048	2.598478	-0.427863
FD	0	1.047930	-0.192725	2.602116	-0.429594
Ref [7]	0	1.047806	-0.192732	2.602690	-0.422240

C. Туннелын иончлол

$$\left[-\frac{1}{2} \frac{d^2}{dx^2} - \frac{1}{\sqrt{1+x^2}} + Fx \right] \Psi_n(x) = E_n \Psi_n(x)$$

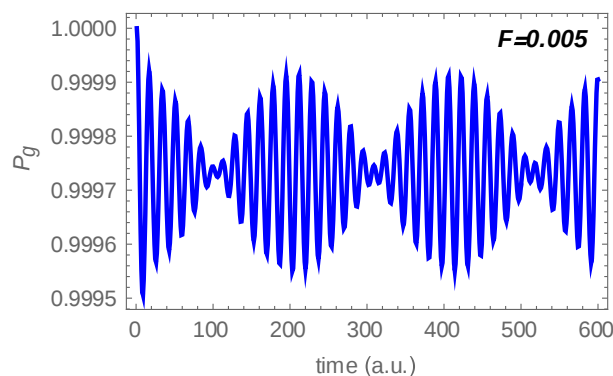
Цахилгаан статик орон хүчтэй болоход саадын өндөр багасаж электрон сугаран гарах магадлал ихэснэ.

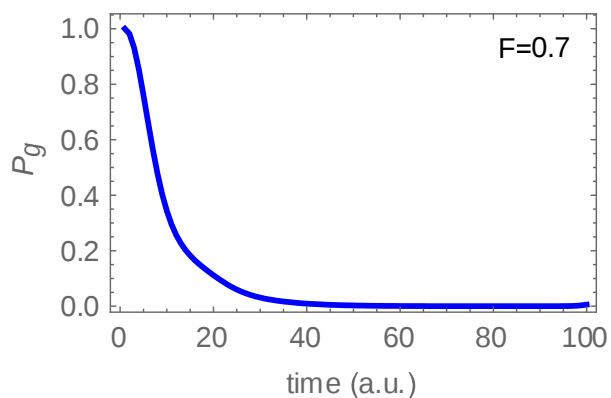
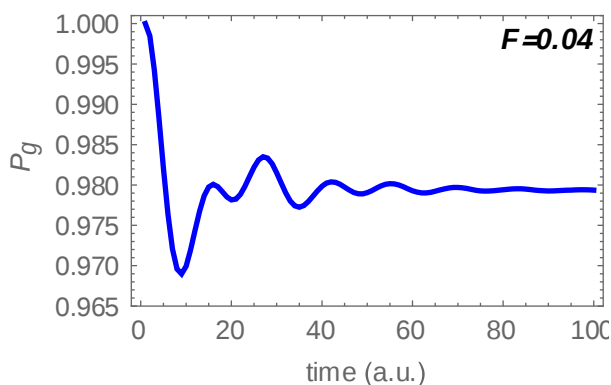


Зураг 1. Туннелээр нэвтрэн гарах долгион (A). $n = 1$ төлөвөөр $F = 0.07$ a.u., $E_1 = -0.685419$ a.u. (B) $n = 2$ төлөвөөр $F = 0.02$ a.u., $E_1 = -0.295937$ a.u.

D. Үндсэн төлөвтөө үлдэх иончлолын магадлал хугацааны хамаарал (3D)

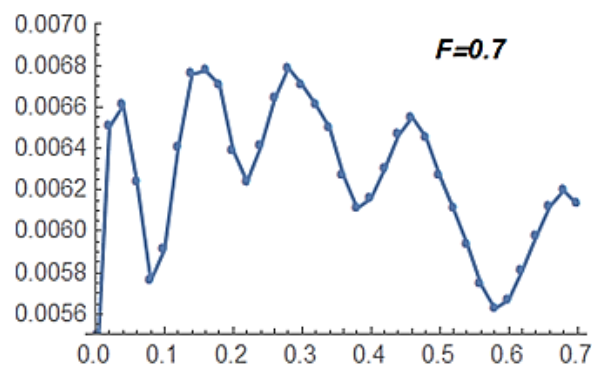
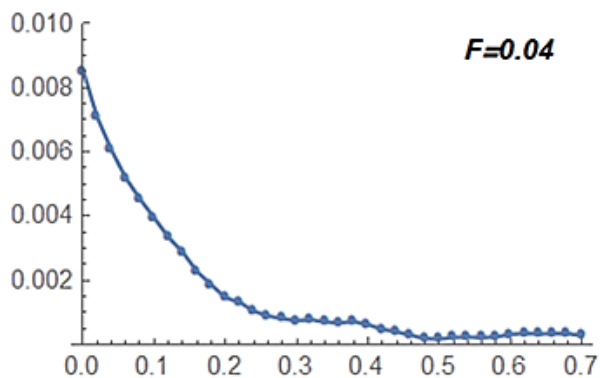
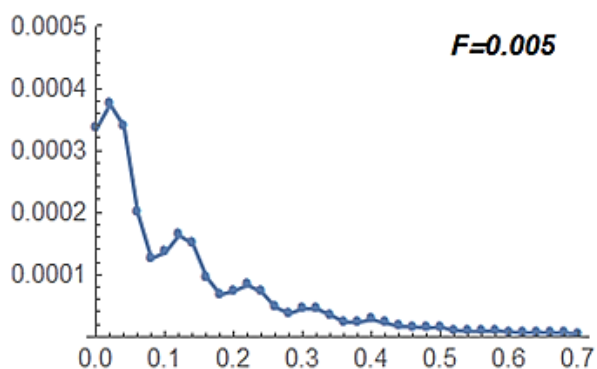
Тооцоололд Кулоны долгион функцын цэнэгийг 120, долгион тоог 4a.n утгатай авч, радиал зангилааны тоог 20 -гаар сонгон авахад радиусын максимум $r_{max} = 153.95$ a.n зайд тооцоололыг хийлээ.





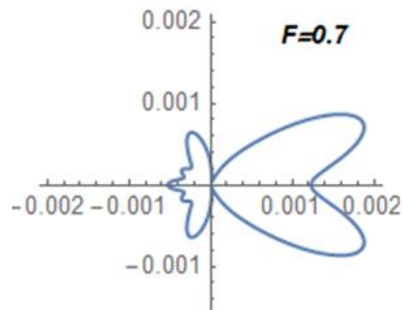
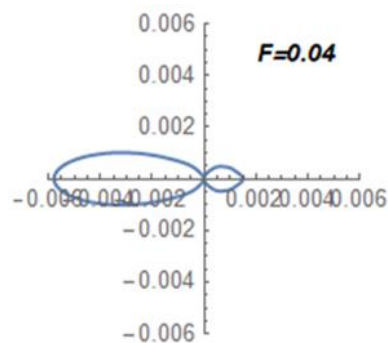
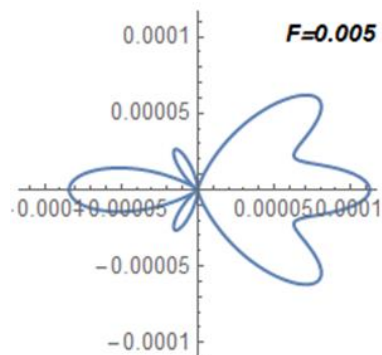
Зураг 2. Үндсэн төлөвтөө үлдэх иончлолын магадлал хамаарах хамаарал. (Цахилгаан орны хэмжээ $F=0.005$, $F=0.04$, $F=0.7$).

Иончлолын магадлал энергиэс хамаарах хамааралыг дүрслэвэл:



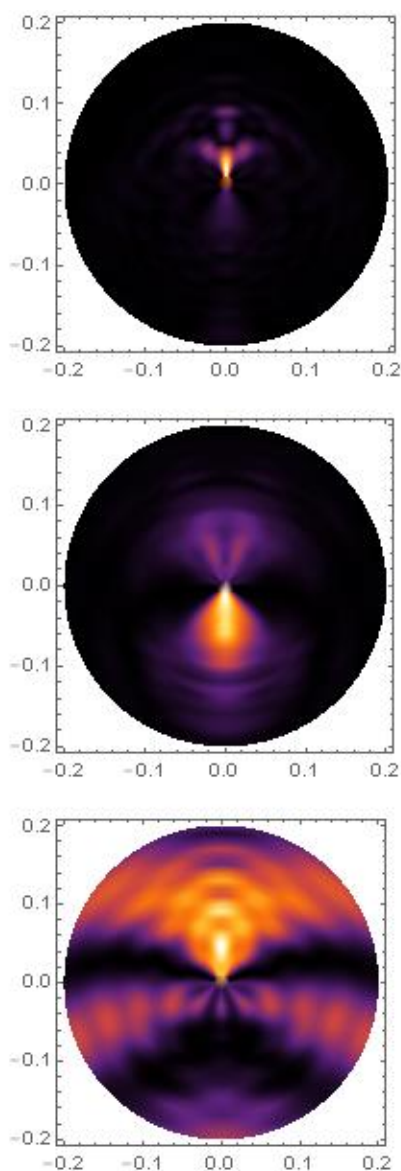
Зураг 3. Иончлол магадлалын энергиэс хамаарах хамаарал.

Туйлшралын хавтгай дээрх сугарсан электроны өнцгийн түгэлтийг цахилгаан орныг тогтмол байлгаж электроны кинетик энергийг өөрчлөх замаар судлав.



Зураг 4. Өнцгийн түгэлт.

Иончлолын дүнд сугарч гарсан электроны өнцгийн түгэлт нь эцсийн төлөвийн энергиэс хамаарна. Өнцгийн ба энергийн түгэлтийг нэгтгэн импульсийн түгэлтийг тооцоолсон.



Зураг 5. Импульсын түгэлт.

ДҮГНЭЛТ

Устөрөгчийн цахилгаан статик орноор атомын иончлох процессыг Кулоны функцийн дискрет хувьсагчийн аргаар тооцооллоо. Кулон функцын дискрет хувьсагчийн аргаар иончлолын магадлал хугацааны хамаарал, энергийн спектр, өнцгийн түгэлт, моментын түгэлтийг тус гаргаж бусад онолын тооцооллын үр дүнтэй харьцууллаа. Цахилгаан орны хэмжээ нэмэгдэх тусам, олон фотоны шингээлтийн пикийн өндөр ихсэж, иончлолын магадлал өсөж байгааг тодорцууллаа. Иончлолын энергиэс бага энергитэй фотон тусгахад туннелын иончлол үзэгдэл ажиглагдаж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] D. O. Harris, G. G. Engerholm, and W. D. Gwinn, J. Chem. Phys. 43, 151 (1965).
- [2] Dickinson and Certain Lebedev discrete variable representation (DVR) (J. Chem. Phys. 49 4209, 1968
- [3] Lill.J.V, Parker G.A, Light.J.C Discrete variable representations and sudden models in quantum scattering theory, Chemical Physics Letters, Volume 89, Issue 6, p. 483-489.1982
- [4] J. C. Light, I. P. Hamilton, and J. V. Lill Light Generalized discrete variable approximation in quantum mechanics, J. Chem. Phys. **82**, 1400 (1985)
- [5] Baye D and Heenen Generalised meshes for quantum mechanical problems, 1986 J.Phys A.Math Gen 19 2041
- [6] Loudon R. 1959 One dimensional hydrogen atom, Am. J.Phys 27, 649-655 (doi:10.119/1.1934950)
- [7] Q.Su, J.H. Eberly Model atom for multiphoton physics, Phys Rev A ,Vol 44, (9) 1991
- [8] A.N. Gordeye, S.C.Chhajlany One-dimensional hydrogen atom: a singular potential in quantum mechanics J.Phys.A.Math.Gen. 30 (1997) 6893-6909
- [9] A.M. Ishkhanyan, V.P Krainov WKB-approach for the 1D hydrogen, Results in Physics 12 (2019) 1490-1491
- [10] Sydney Geltman Short-time dynamics of static field excitation and ionization J.Phys, B: At.Mol.Opt. Phys 33(2000) 4769-4777
- [11] Ph.Durand, I.Paidarova Ionization of the hydrogen atom: from weak to strong static electric fields, Eur.Phys.J. D 26, 253-259 (2003)
- [12] Landau LD, Lifshitz EM 1977 Quantum mechanics. Oxford, UK, Pergamon Press
- [13] D. A. Telnov and S. I. Chu, "Theoretical study of the energy spectra of multiphoton above-threshold dissociation of H_2^+ in intense laser fields", *Chem. Phys. Lett.* **255**, 223–231 (1996)
- [14] Peng, Liang-You and Starace, Anthony F., " of Coulomb wave function DVR: Application to atomic systems in strong laser fields, 2008. arXiv:physics/0604181v1/
- [15] Xiao- Min, Shih I Chu "Theoretical study of multiple high-order harmonic generation by intense ultrashort pulsed laser fields: A new

generalized pseudospectral time dependent method ” Chemical Physics 217 (1997) 119-130

- [16] Peng, Liang-You and Starace, Anthony F., Application of Coulomb wave function

discrete variable representation to atomic systems in strong laser fields, 2006. Anthony F. Starace Publications. Paper 99.

Газрын гадаргуугийн хэлбэр бүрэлдэхэд гранитын биетүүдийн оролцоо

Н.Арвисбаатар, Ц.Баатарчулуун, Б.Бат, Б.Жавзандолгор*, Б.Даариймаа, Т.Нарангарав

Монгол Улсын Их Сургууль, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Геологи, геофизикийн тэнхим

Гадаргуугийн эерэг хэлбэр үүсгэн, интрузивийн царцсаны дараа агуулагч чулуулгийг нэвтлэх гранитын цулдалын хөөрөлтийн динамикийг судлав. Гранитын талсжилтын дараа түүгээр тогтсон томоохон биетүүд Архимедийн хүчний үйлчлэлээр дээшлэх хөдөлгөөнөө үргэлжлүүлэх болно. Тухайн хөдөлгөөний хурд интрузивийн оройн хэсгийн өсөлтөөр экспоненциал хуулиар буурах авч удаан хугацаагаар тэрээр хатуу урсацын хэмжээгээр үнэлэгдэх денудацийн хурдаас илүү хэвээр үлдэнэ. Үүгээр гранитын цулдал дээрх гадаргуугийн эерэг бүтцийн хэлбэрийн оршил тайлбарлагдах болно.

PACS numbers 91.10.Kg, 91.10.Op, 91.32.De

ОРШИЛ

Гранитын биетүүдэд гадаргуугийн эерэг хэлбэрүүд ихэнхдээ харгалзаж байдаг байна[1-8]. Ийм төсөөтэй зүй тогтол АНУ-ын Хадан уулс, Төв Ази, Казакстан, Урал, Дорнод Сибирь, Алс Дорнод зэрэг нутгуудад харагдана [9-11]. Гранит чулуулгаас тогтсон уулархаг нутгийн гарал үүслийг тайлбарласан үндсэндээ хоёр санаа бодол байдаг. Судлаачдын нэг хэсэг нь гранитаас тогтсон өндөрлөг газар селективийн денудацийн үзэгдэлтэй холбогдох буюу өөрийн бат бэхийн хүчээр хадгалагдан үлдсэн чулуулгаас тогтох өргөгдөл юм гэж үздэг ба тэдний бодлоор уулархаг нутгийн үүсэл ба хөгжилд интрузивийн экзо заагийн хуяг чухал үүрэг гүйцэтгэдэг бололтой [12,13]. Нөгөө хэсгийн үзэл бодлоор гадаргуугийн иймэрхүү хэлбэрийн үүсэлд гранитын биетүүдийн түрэлт ба царцалт хөрөлтийн дараа үргэлжлэх дээш хөөрөх түрэлт шахалт гол холбогдолтой байдаг аж [14,15]. Тухайн хөдөлгөөний учир шалтгааныг янз бүрээр таамагладаг.Заримдаа тангенциал хөдөлгөөний үйлчлэлээр ан цаваар хялбархан гулсах учир интрузив биетийн шаантаг хэлбэр их үүрэгтэй гэж үзэх нь бий [9,11]. Интрузивийн дээш хөөрөлт дэлхийн царцдасын дотор 8-14 км-т байрлах харьцангуй сийрэгжсэн бүсийн гүний бүс оршлоор тайлбарлагдах талтай [16, 17]. Мөн чанартаа, энэ тохиолдолд гүн дэх гранитын массыг ихэсгэхэд хүргэж буй гранитжих явцын үргэлжлэлийг өгүүлж байгаа юм. Үүний улмаас өмнө нь царцсан гранитын түгжрэлийг түлхэх үр дагавартай. Зарим судлаачид гранитын биетийн

дээр илрэх гадаргуугийн эерэг хэлбэрийн (өргөгдөл) үүслийг изостатикийн хөөрөлтөөр тайлбарладаг [1].

АРГАЧЛАЛ

Гранитын бөөгнөрлийн дээр гадаргуугийн өргөгдөл үүсэх шалтгааныг гранитын интрузивийн бүрдэлт ба дээшлэх динамиктай холбон авч үзэх боломжтой. Өөрөөр хэлбэл плутон биет тархсан бүс нутагт буй хэдийн царцсан интрузивийн биетийн изостатикийн хөөрөлт нь гадаргуугийн дүр төрхийг тодорхойлно. Бидний үзэж байгаагаар тухайн механизм нь дараах шалтгаанаар хамгийн магадлалтай юм. Нэгдүгээрт, гадаргуугийн хэлбэр үүсгэх хүчин зүйлийн хувьд селективийн денудац бага нөлөөтэй. Учир нь хэрэв зарим цул эрдсийн ультрабазалт (жишээлбэл пироксенит мэтийн) зэргийг хасвал бараг бүх талсжсан мөхлөгт интрузивийн чулуулгууд их гүнд нилээд хурднаар тэдгээрийг хүрээлэх эффузив чулуулаг ба талсжсан занарыг бодвол денудацид өртдөг байна [10, 11]. Хоёрдугаарт “шахагдан түрэх” таамаглал нь заавал интрузивийн шаантаг хэлбэрийг шаардах бөгөөд гравиметрийн өгөгдлөөр судлагдсан бүс нутгийн гранитын биетүүдэд тийм зүйл ажиглагддаггүй, гуравдугаарт, өнөө цаг үед мезозойн идэвхжлийн бүс нутагт 8-14 км гүнд гранитжих үзэгдэл үргэлжилж буй гэж үзэх магадлал бага юм. Изостатик хөөрөлтийн таамаглалын гол дутагдал бол Архимедийн хүч хамгийн түгээмэл тохиолдох бага хэлбэрийн гранитын гадаргуугийн 500-800м уулсын өргөгдлийг бий

* Electronic address: javzandolgor@num.edu.mn

болгох чадваргүй гэж үздэгт оршино. Тухайн өргөгдлийг газрын гадаргууд ил гарсан гранитын интрузийн бүхий л талбайд нийтлэг бус хамгийн өндөрлөг оройгоор үнэлсэн байдаг. Чухамдаа энд гадаргуугийн хэлбэр элэгдлээр их эвдэгддэг билээ. Хэрэв талсжилтын дараа гранитын цулдалын өргөгдлийг нэгдмэл биетийн хөдөлгөөн гэж үзвэл түүний орчны нутаг дэвсгэрээс гадаргуугийн өндөршлийг өргөгдсөн ба хотойсон хэсэгт харьцангуйгаар дундаж хэмжээгээр тооцоолох ёстой гэж үзэж байна. Тийм дундажийн тооцоог өндрийн жигд геометрийн сүлжээг ашиглан хийх тохиромжтой бөгөөд иймэрхүү хандлага нь хүрээлэх орчны чулуулгаас интрузийн биетийн өндөршил нилээд бага байх болно. Жишээ болгон Авдар уулын гранитын цулдалын илэрцийн талбайн дундаж өндрийг интрузийн өргөгдлийн бүсэд үл хамаарах эргэн тойрны дундаж өндөртэй жишсэн юм [16]. Авдар уулын (Төв аймаг, Сэргэлэн сумын нутаг) гранитын цулдалын илэрцийн талбай 80км² орчим бол түүнийг хүрээлэх сонгосон талбай мөн ойролцоо хэмжээтэй байв. Гадаргуугийн дундаж өндрийг гранитын илэрцийн хувьд 45 ба зэргэлдээх хүрээлэх талбайд 65 цэгт тооцоолов. Энэ гранитын цулдалын ойр орчмын гадаргуугаас өргөгдсөн дундаж өндөршил нь 270м бөгөөд хамгийн өндөр цэг нь 500 метрт хүрнэ. Одоо агуулагч чулуулгаас дээш тухайн цулдалын изостатикийн өргөгдлийн боломжит өндрийн хязгаарыг үнэлж болох ба

$$h = \frac{\Delta\rho}{\rho} H \quad (1)$$

гэсэн харьцаагаар тодорхойлогдоно. Дээрх илэрхийлэлд h - тодорхойлох өндөр, H - интруз чулуулгийн зузаан, ρ - агуулагч чулуулгийн нягт, $\Delta\rho$ - интруз ба агуулагч чулуулгийн нягтын зөрүү. Авдар уулын гранитын цулдалын талбайд хийсэн гравиметрийн судалгаагаар $H = 10^6$ см, $\rho = 2.67$ г/см³, $\Delta\rho = 0.1$ г/см³ тул түүний орчны талбайгаас Архимедийн хүчний үйлчлэлээр өргөгдөх хамгийн боломжит өргөгдлийн хэмжээ дээрх томъёогоор $h = 374$ м болж байна. Уул хэмжээг цулдалын дундаж өндөршилтэй харьцуулбаас хамгийн их байх боломжит хэмжээнээс давахгүй байна. Иймд судалгааны талбай дахь гранитын гадаргуугийн хэлбэрийн

ажиглагдах өндөршил изостазийн төсөөлөлд зөрчилдөхгүй байх бөгөөд Архимедийн хүчний үйлчлэлээр хатуулаг интрузийн биетийн хөөрөлт газрын гадаргуугийн хэлбэр төрхийг үүсгэгч гол хүчин зүйл болох нь илт байна. Үүнийг гравиметрийн өгөгдөл ба чулуулгийн физик шинж чанараар тогтоогдсон интрузийн хэмжээг тооцон гранитын хотгор, гүдгэрийн “өсөлтийн” өөрчлөлтийг тоон хувьд үнэлэхийг оролдож үзье. Үүний тулд интрузийн чулуулгийг зууралданги шингэн мэт агуулагч чулуулгийн доторхи хөөрч буй босоо хатуулаг цилиндр биетээр загварчилна. Солбилцолын тэгш өнцөгт тогтолцоонд газрын гадаргууг эх болгон Z тэнхлэгийг эгц доош чиглүүлнэ.

Хөөрөх биет (босоо цилиндр) түүнд үйлчлэх бүх хүчний нийлбэр тэнцүү нөхцөлд статик тэнцвэрийн байдалд орших болно. Энэ хувилбарт биетийн жин P ба шингэний хэвийн статик нөлөөлөл ($F_{\text{түлхэх}}$),

$$F_{\text{түл}} = -\rho_{\text{ш}} \cdot g \cdot S \cdot \xi \quad (2)$$

Үүнд $\rho_{\text{ш}}$ - шингэний нягт, g - хүндийн хүчний хурдатгал, S - биетийн хөндлөн огтлолын талбай, ξ - живсэн хэсгийн гүн.

Цилиндрийн статик тэнцвэрийн нөхцөл доорхи байдлаар бичигдэнэ:

$$P - \rho_{\text{ш}} \cdot g \cdot S \cdot \xi = 0 \quad (3)$$

Зөвхөн газрын гадаргууд төвөн өргөгдөл үүсгэхгүйгээр гранитын цулдал хөөрөн царцсан хугацааны эгшин дэх тохиолдлыг авч үзье. Хугацааны энэ агшинд биет босоо тэнхлэгээр Z хэмжээнд статик тэнцвэрт байрлалд хүрч очоогүй байх ба тэрээр дээшээ чиглэсэн $V_D = -\dot{Z}$ хурдтай байна. Өгөгдсөн тохиолдолд биетийн хөдөлгөөнийг доорхи хэлбэрийн дифференциал тэгшитгэлээр бичиж болно:

$$M\ddot{Z} = \rho_{\text{ш}} \cdot g \cdot S \cdot (\xi + Z) - \alpha\dot{Z} \quad (4)$$

Үүнд $\alpha\dot{Z} = 6\pi\eta R\dot{Z}$ зууралданги үрэлтийн хүч, харин $\rho_{\text{ш}} \cdot g \cdot S \cdot (\xi + Z) = \rho_{\text{ш}} \cdot g \cdot V$ бол шингэний хэвийн статик үйлчлэл, M - биетийн масс, R - түүний радиус, η - шингэний зууралданги шинж. (2)-ыг тооцон дээрх тэгшитгэлийг $\ddot{Z} + 2n\dot{Z} + K^2Z = 0$ (5) хэлбэрт

оруулах нь тохиромжтой байна. Үүнд $n = \frac{\alpha}{2M}$;

$$K = \sqrt{\frac{\rho_m \cdot g \cdot S}{M}} \text{ байна.}$$

Тухайн тэгшитгэлийн шийдэл нь түүнд харгалзах төсөөтэй тэгшитгэлийн язгуурууд байх $\lambda^2 + 2n\lambda + K^2 = 0$ бөгөөд

$$\lambda_{1,2} = -n \pm \sqrt{n^2 - K^2} \quad (5)$$

хоёрдугаар эрэмбийн шугаман дифференциал тэгшитгэлийн характеристик тэгшитгэлийн язгуур нь (5) болно.

Энэхүү тохиолдолд үрэлт маш их байх тул $n > K$ ба λ_1, λ_2 язгуурууд бодит агаад сөрөг утгатай, харин биетийн хөдөлгөөний тэгшитгэл доорхи байдлаар бичигдэнэ:

$$Z = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} \quad (6)$$

$t = 0$ үед $Z = Z_0$ ба $\dot{Z} = \dot{Z}_0$ гэвэл тухайн тэгшитгэлээс биетийн хөдөлгөөний тэгшитгэлийг

$$Z = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} [(\lambda_1 Z_0 - \dot{Z}_0) e^{\lambda_2 t} - (\lambda_2 Z_0 - \dot{Z}_0) e^{\lambda_1 t}] \quad (7)$$

хэлбэрт гарган авна. Энэ тэгшитгэлийн язгуурыг авч үзье. λ_2 их сөрөг хэмжигдэхүүн бөгөөд экспонентийн зэрэг багтдаг “С” -рүү тэмүүлнэ. Эсрэгээр λ_1 - хэмжигдэхүүн маш өчүүхэн болно. Иймд түүнийг тооцоолохын тулд (5) дахь язгуурын доорхи илэрхийллийг доорхи хэлбэрт буюу Ньютоны биномаль цуваанд задлах нь чухал.

$$n \cdot \left[1 - \frac{K^2}{n^2} \right]^{\frac{1}{2}} = n - \frac{1}{2} \cdot \frac{n \cdot K^2}{n^2} = n - \frac{K^2}{2n}; \quad (8)$$

Ингэхдээ $n > K$ нөхцлөөр тэдгээрийн дараагийн гишүүд харьцангуй бага утгатайн улмаас эхний хоёр гишүүнээр хязгаарлана. Эндээс

$$\lambda_2 = -\frac{1}{2} \frac{K^2}{n} \quad (9)$$

гэж олдоно. (7) тэгшитгэлийн язгуурын хувьд дээр өгүүлснийг тооцон $\dot{Z}_0$ -ын бага хэмжээг анхааран

$$Z \approx Z_0 e^{\lambda_2 t} \quad (10)$$

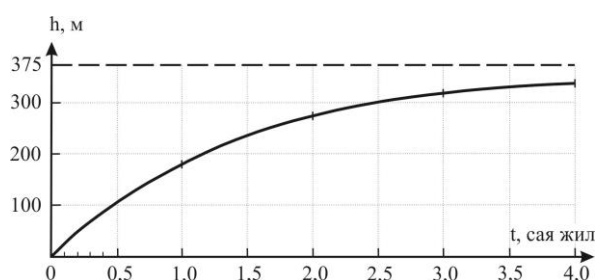
гэж биетийн хөдөлгөөний тэгшитгэлийг бичнэ.

Энэ бол хүрээлэх орчноосоо өргөгдсөн интрузивийн өсөлтийн улмаас саарах Архимедийн хүчний үйлчлэлээр явагдах хөдөлгөөний тэгшитгэл юм.

ҮР ДҮН

Дээрх тэгшитгэлийг ашиглан Авдар уулын гранитын ижил зузаан бүхий биетийн өргөгдлийн онолын өндрийг 0-ээс 4 сая жилийн хугацааны явцад тооцоолов. Хэрэв гранитын гадаргуу бүрэлдэх нутагт агуулагч хурдсын зууралданги шинж 10^{22} П (СГС) байвал $3 \cdot 10^6$ жилийн хугацаанд интруз Архимедийн хүчний үйлчлэлээр боломжит изостазын 90 хувьд хүрэх өндөрт өргөгдөх чадвартай байна (Зураг 1).

Өгөгдсөн тохиолдолд, хөдөлгөөн явагдаж байгаа хагарлын бүсээр интруз түрэгдэх ба хожуу мезозойн эринд эндоген явц дууссаны дараа дулааны урсгал багасан царцдасын идэвхтэй зууралданги шинж хэвийн хэмжээнд хүртэл өсөх зэрэгтэй уялдан царцдасын нөлөөлөх зууралданги шинжийн дундаж утгыг хэрэглэсэн болно. Дурдсан тооцоонд интрузийн хөдөлгөөний явцад зууралданги үрэлтийн хүч тогтмол байх хязгаарын нөхцлийг авч үзсэн. Гэвч газрын гадаргуу дээр гранитын биет дээшилсний дүнд уг хүч багасах учиртай ба энэ нь интрузийн хөдөлгөөний хурд ихэсгэхэд хүргэнэ.



Зураг 1. Авдар уулын гранитын цулдалын зузаантай ижил интрузийн гадаргуугийн дээрх хэсгийн өсөлтийн хурдны график.

Интрузийн өргөгдсөн хэсэгт түүний өндрийг бууруулах элэгдэл үйлчлэх ёстой. Зарчмын хувьд гадаргуугийн элэгдлийн хурд түүний эерэг хэлбэрийн хөгжилд мэдэгдэхүйц нөлөөлөх учиртай.

Денудацийн хурдыг хатуу биетийн урсацын хэмжээгээр үнэлдэг бөгөөд Төв Монголын хувьд 0.01-0.02мм/жил байдаг. Денудацийн хурдын энэ утгыг тооцоонд авсан болно.

Интрүз удаанаар дээшлэх тул тодорхой хугацааны дараа түүний хөдөлгөөний хурд денудацийн хурдтай тэнцэх болно. Иймд уг хугацааг үнэлэх нь сонирхолтой юм. (6) тэгшитгэлийг дифференциалчилж цулдалын өргөгдлийн хурдыг олно.

$$\dot{Z} = -Z_0 \lambda_2 e^{\lambda_2 t} \quad (11)$$

Денудацийн хурд V_D -ыг тогтмол гэж үзвэл тодорхойлох хэмжигдэхүүнийг доорхи тэнцэтгэлээс олж болно.

$$V_D = -Z_0 \lambda_2 e^{\lambda_2 t} \quad (12)$$

эндээс

$$t = \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{V_D}{Z_0 \lambda_2} \quad (13)$$

болно.

Хөөрөлтийн хурд $2 \cdot 10^7$ жилийн дараа денудацийн хурдтай тэнцүү болдог байна. Энэ тооцоонд агуулагч чулуулгийн дээр гранитын цулдалын цухуйгдлын бууралтаар тайлбарлагдах денудацийн дүнд интрүзийн массын нийт багасалтыг тооцоогүй. Денудацийн процессийн улмаас цулдалын статик тэнцвэр алдагдан түүний нэмэлт өргөгдөл явагдсаны улмаас инрүзивийн хөөрөх хэсэг хорогдох болно. Үүний дүнд хязгаарын хэмжээнд хүрсний дараа гранитын биетийн өргөгдөл (өндөршил) буурна. Гэвч энэ явц маш удаан явагдах бөгөөд учир нь интрүзивийн нийт зузаан ба (1)-өөр үнэлсэн түүний цухуйгдлын өндрийн хоорондох харьцаа ойролцоогоор 30 байна. Өөрөөр хэлбэл изостатикийн хөөрөлтийг тооцон интрүзивийн дээрх гадаргуугийн өндрийн намсалтын хурд 0.001 мм/жил буюу 1 м/сая жил байх болно. Биетийн оршлын бүхий л хугацаанд (130-150 сая жил) түүний нийт өндөршил 130-150м буурсан гэсэн үг бөгөөд харин босоо зузаан нь 4-4.5 км байх юм. Дээр өгүүлсэн нь гадаргуугийн эерэг хэлбэр үүсгэн мезозойн эриний эцэст хэдий нь денудацийн явцад өртсөн гранитын биетүүдэд хамааралтай.

Заагийн хувирмал чулуулгаас тогтсон бүрхээс (купол) Авдар уулын гранитын биетүүдийн денудациар ил гарсан зэргээс гажсан массын хомсдолын эхлэл нь хугацааны илүү хожуу үед болсон байх магадлалтай. Хэрэв төвөн бүрхээс магмын талсжилтын эцэст байсан

бол түүнд харгалзах гадаргуугийн эерэг хэлбэр нь гранитын биетийн хөөрөлт ба денудацийн улмаас илүү урт удаан хугацаанд хадгалагдах болно гэдгийг төсөөлөхөд хэцүү биш юм. Төвөн бүрхээсийн өндөр маш удаанаар шугаман денудацийн хурдаас 30 дахин бага хурдаар багасах болно.

Энд дурдагдсан бүх тооцоо изостатик харьцаагаар (1) тодорхойлогдох хамгийн их өндөр хүртэл ямар нэгэн саад үгүйгээр гранитын биет хөөрөх онолын тохиолдолд хамаарч байна. Бодит байдалд чулуулгийн эцсийн бат бэх чанараас улбаалан хэзээ ч энэхүү туйлын өндөрт хүрч чадахгүй юм. Үнэхээр Авдар уулын гранитын цулдалын дундаж өндөршил, дээр дурдсанаар онолын хамгийн их утгаас 104 метрээр бага болно. Хэрэв энэ ялгааг царцдасын урт хугацааны эцсийн бат бөхийн байдлаар тайлбарлагдана гэж үзвэл:

$$\sigma = \Delta h \cdot \rho' \cdot g \quad (14)$$

гэсэн томъёогоор царцдасын удаан хугацааны бат бөхийн чанарын хэмжээг үнэлж болно. Үүнд Δh -гранитын цулдалын дундаж ба онолын хувьд тооцоолсон өндөршлийн зөрүү (104м). ρ' -гранитын нягт (2.57 г/см^3), g - хүндийн хүчний хурдатгал (1000 см/с^2). Иймд тухайн цулдалын бүс нутагт дэлхийн царцдасын бат бөхийн чанар 27 кг/см^2 болно.

Хэдий энэ хэмжээсийг царцдасын тодорхой хэсэгт тодорхойлсон боловч [18,20] нарын изостатикийн гажлын утгуудаар томоохон бүс нутагт тооцоолсон литосферийн урт хугацааны бат бөхийн хэмжээтэй эрэмбээрээ давхцаж байна.

ДҮГНЭЛТ

Хүрээлэх газар нутгаас дээшлэх гранитын цулдлын хамгийн томоохонд ч, цулдлын ул хэсгийн төвшинд гүйцэт изобарын хэрэгжилтийг шаардагдах дундаж өндөршил ихэд бага байна. Үүнээс царцсан интрүзийн чөлөөт хөөрөлтийг зогсоох дэлхийн царцдасын дээд хэсгийн бат бөхийн дээд хязгаар байдаг гэж дүгнэж болно. Энэ хязгаарын хэмжээ $27-35 \text{ кг/см}^2$ -аар үнэлэгдэх ба эрэмбээрээ томоохон бүс нутагт изостатикийн гажлаар тооцоолсон литосферийн урт хугацааны бат бөхийн чанартай жишигдэх юм.

Геологийн өгөгдөл ба чулуулгийн физик шинж чанарын тодорхойлолтыг гравитацийн орны шинжилгээтэй нэгтгэн дэлхийн царцдасын дээд хэсгийн тоймлосон гурван хэмжээст загварыг бүрдүүлэх боломжтой байна. Улмаар гранитын биетүүдийн газрын гадаргуу дээрх проекцийн талбайд буюу денудацаар ил гараагүй хэсэгт гянт болд, цагаан тугалга ба бусад ховор элементийн эрлийн том масштабын ажил, цахилгаан хайгуулын үр ашигтай аргуудтай хавсран хийхийг зөвлөмж болгож байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] Худяков Г.И. О происхождении горных хребтов в южной части Дальнего Востока - В кн: Вопросы геоморфологи и морфотектоники южной части Дальнего Востока. Владивосток, 1965. с. 144-150.
- [2] Худяков Г.И. О происхождении горных хребтов в южной части Дальнего Востока - В кн: Вопросы геоморфологи и морфотектоники южной части Дальнего Востока. Владивосток, 1965. с. 144-150.
- [3] Лишнеvский Э.Н. Об активной роли гранитных интрузии в процессе горообразования - Геотектоника, 1965. №3. с.77-83.
- [4] Лишнеvский Э.Н., Шевченко В.К., Бронгулеев В.В. Геологические признаки и проблемы постмагматического поднятия гранитов – “Геотектоника”, 1976. №5. с. 93-101.
- [5] Соловьев В.В. Морфоструктуры центрального типа в горных странах и их классификация -В кн: Структурная геоморфология горных стран. М. Наука. 1975 -с. 42-46.
- [6] Овандер М.Г. Анализ локальных морфоструктур Верхоянских гор - В кн. Структурная геоморфология горных стран М.Наука 1975. - с.212-218.
- [7] Bankwitz P. Magmentektoloche Aspekte der Intrusion des Erzgebirgeplutons – “Geolog. und Geophys. Verof. Union” 1966. 47. № 1. p 192.
- [8] Лапердин В.К, Тржцинский Ю.Б. Экзогенные геологические процессы и сели Восточного Саяна. Новосибирск. Наука. 1977. 10.
- [9] Том В.Т. Поднятие клиньев и их тектоническое значение - В кн. Земная кора М.ИЛ 1957. с.370-386.
- [10] Ананьев Г.С., Каревская И.А. Роль выветривания и селективной денудации в формировании гранитных массивов. Зап. Байкальск. фил. Геогр. об-ва СССР, Чита. 1970 вып. 13 с. 15-22
- [11] Сварическая З.А. Горы их образования и классификация - В кн. Структурная геоморфология горных стран. М. Недра. 1975. -с. 20-25.
- [12] Минина Е.А, Борисов Б.А. Кольцевые и купольные морфоструктуры . В кн: Структурная геоморфология горных стран. М. Наука. 1965. с. 47-51.
- [13] Милановский Е.Е. Новейший вулканизм и типы вулканических ландшафтов Кавказа - В кн. Рельеф горных стран. М.Мысль 1968 - с. 67-81.
- [14] Marchand D.E. Rates and modes of denudation, White Mountains, Eastern California – Amer.J.Mineral 1995. Vol. 7. P 861-881.
- [15] Pitcher W.S. On the rate of emplacement of batholiths – “J. Geol.Soc.Lond” 1975 №6. Pp. 587-591.
- [16] Бороздин Б.Г, Семакин В.П, Об избирательном поднятии гранитных массивов Казахстана и Алтая - В кн. Земная кора складчатых областей юга Сибири, Новосибирск, Наука. 1969 - с. 251-261.
- [17] Летников Ф.А, Балышев С.О, Лашкевич В.В. Взаимосвязь процессов гранитизации, метаморфизма и тектоники. - Геотектоника, 2000 №1 -с. 3-22.
- [18] Артюшков Е.В, Об установлении изостатического равновесия земной коры – “Изв. АН СССР, сер. Физика Земли” 1967. №1-с. 3-16.
- [19] Ушаков С.А, Красс М.С. Сила тяжести и вопросы механики недр Земли. М. Недра. 1972. 155с.

Хөрсөн дэх зэсийн бохирдлыг электрокинектикийн нөхөн сэргээлтийн аргаар бууруулах судалгаа

Ё.Жажинжав¹, Б.Очирхуяг¹, О.Болормаа^{2*}

¹ МУИС, ХШУИС, Хими, биологийн инженерчлэлийн тэнхим

² МУИС, ШУС, Байгалийн ухааны салбар, Химийн тэнхим

Сүүлийн жилүүдэд хүний үйл ажиллагаанаас үүдэлтэйгээр хөрсний бохирдол ихээр үүсч байна. Иймд хөрсний бохирдлыг бууруулах судалгааг зайлшгүй хийх шаардлагатай бөгөөд энэ нь экологийн тэнцвэрт байдалд чухал ач холбогдолтой. Хөрсний бохирдлыг физик, хими, биологийн хэд хэдэн аргуудаар бууруулдаг ба эдгээрээс электрокинетик (ЕК)-ийн нөхөн сэргээлтийн арга нь хөрсөн дэх органик, органик биш бохирдлыг бууруулах боломжтой, технологийн хувьд хялбар, өртөг багатай, цаг хугацаа бага зарцуулдаг зэрэг давуу талтай. Энэхүү судалгааны ажлын гол зорилго нь зэсээр бохирдсон хөрсний бохирдлыг электрокинектикийн нөхөн сэргээлтийн аргаар бууруулахад оршино. Судалгааны ажлын хүрээнд “Эрдэнэт үйлдвэр” ХХК-ны үйлдвэрийн бүсийн хөрснөөс 0-100 см гүний зүсэлт хийж, үе бүрээс хөрсний дээж авч бохирдлын үнэлгээ хийсэн. Элементийн анализаар өнгөн (0-20 см) хөрсөн дэх Cu, As-ийн агуулга тус бүр 7619, 85.13 мг/кг байгаа нь Монгол улсын хөрсний чанарын стандарт (MNS5850:2008)-ын хортой агууламжаас Cu-15, As-3 дахин өндөр агуулгатай байсан. Харин 21-100 см-ийн гүний хөрсөн дэх хүнд элементийн агуулга тус стандартын зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээнээс бага агуулгатай илэрсэн. Хөрсөн дэх Cu-ийн агуулгыг ЕК-ийн нөхөн сэргээлтийн аргаар бууруулах судалгааг хийхдээ 10 В тогтмол хүчдэлийн үед, хоёр ялгаатай электродын байршил бүхий реакторт, H₂O болон 0.1M NaCl-ийн электролит уусмалуудыг ашиглан электролизыг явуулсан. Туршилтаар хөрсний хоёр талд электродын үүртэй, 0.1 M NaCl-н электролит уусмал бүхий реакторын хөрсөн дэх Cu-ийн агуулга анод орчимд 48 %-иар, As, Mo-ны агуулга катод орчимд тус бүр 64, 60 хүртэл хувиар буурсан үзүүлэлттэй гарсан. Иймд хөрсөн дэх Cu-ийн бохирдлыг электрокинектикийн нөхөн сэргээлтийн аргаар бууруулах бүрэн боломжтойг харуулж байна.

Түлхүүр үг - хөрсний бохирдол, электрокинетик, нөхөн сэргээлт, хүнд металл, зэс, үйлдвэрийн бүс.

ОРШИЛ

Хөрс нь экологийн тэнцвэрт байдлын үндэс бөгөөд амьдралын үндсэн суурь материал болдог. Хөрсний бохирдлыг шинж чанараар нь физик, хими, биологийн бохирдол гэж ангилдаг ба хөрсний физик бохирдлын дүнд гадны нөлөөгөөр тухайн хөрсний байгалийн үндсэн бүтэц, физик шинж чанар өөрчлөгддөг. Харин химийн гаралтай бохирдолт нь пестицид, хүнд металлууд, радиоидэвхит элементүүд, нефть, эрдэс бордоо зэрэг химийн нэгдлээс үүсдэг [1]. Биологийн бохирдолт нь микробиологийн үйлдвэрлэлийн уураг, витаминь концентраци, ойн хортон шавьжтай тэмцэхэд хэрэглэдэг бактериудаас үүсэлтэй [1]. Түүнчлэн хөрсний бохирдлыг гарал үүслээр нь газар тариалан, уул уурхайн, үйлдвэржилт, хотжилтын, цэрэг, зам, оршуулгын газраас үүдэлтэй гэж ангилдаг [2]. Дэлхий нийтээр хөрсний бохирдлыг шинж чанараас нь хамааруулан хэд хэдэн аргаар бууруулах, нөхөн сэргээх судалгааг маш нарийн

түвшинд хийж, практикт амжилттай нэвтрүүлсэн. Гэвч манай улсад хөрсний бохирдлыг бууруулах, нөхөн сэргээх судалгаа өнөөг хүртэл нарийн хийгдээгүй байна. Хөрсний бохирдлыг бууруулах, нөхөн сэргээх аргуудыг физик, хими, биологийн гэж гурван бүлэгт авч үздэг [3]. Физикийн нөхөн сэргээлтийн аргуудад бохирдсон хөрсийг цэвэр хөрсөөр орлуулах, холих, сэлбэх гэх мэт механик аргууд багтах бол химийн нөхөн сэргээлтийн арга нь химийн урвалж, процессыг ашиглан угаах, уусгах, өтгөрүүлэх, электрокинектикийн, пирометаллургийн гэх мэт аргуудыг ашигладаг. Харин биологийн нөхөн сэргээлтийн арга нь ургамал, амьтан, бактерийн нөлөөгөөр хөрсөн дэх бохирдлыг бууруулахад оршино [4]. Хөрсийг нөхөн сэргээх, бохирдлыг бууруулах эдгээр аргуудаас электрокинектикийн нөхөн сэргээлтийн арга нь технологийн хувьд хялбар, өртөг бага, бохирдлыг бууруулах зэрэг ихтэй, хугацаа бага зарцуулдаг зэрэг давуу талтай [5]. Электрокинектикийн арга нь органик

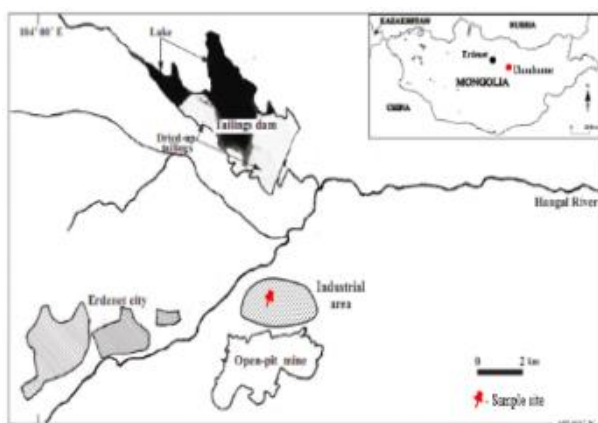
* Electronic address: bolormaa@num.edu.mn

бус, органик аль аль бохирдлыг бууруулах боломжтой [6], усан орчинд хөрсийг цахилгаан гүйдлийн нөлөөгөөр идэвхижүүлэн бохирдлыг арилгах, бууруулах шинж чанар дээр үндэслэгддэг [7]. Электролизийн явцад электро-осмос (electro-osmos), электро-шилжилт (electromigration), электро-форез (electrophoresis) гэсэн гурван процессын нөлөөгөөр хөрсөн дэх бохирдлыг бууруулдаг.

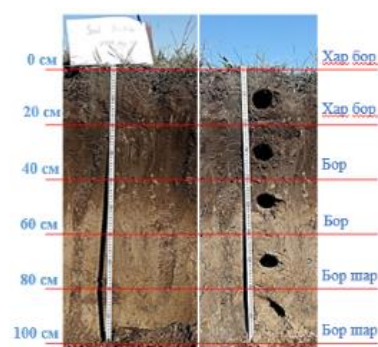
Судалгааны объектоор “Эрдэнэт үйлдвэр” ХХК-ны үйлдвэрийн бүсийн хөрсийг сонгон авсан. Судалгааны баг 2013 онд Эрдэнэт хот, Эрдэнэт үйлдвэрийн ойр орчмын өнгөн хөрсний бохирдлын үнэлгээ хийсэн ба судалгаагаар үйлдвэрийн бүсийн өнгөн хөрсөн дэх Cu, As-ийн агуулга дөрвөн улирлын туршид 1443-4866, 12-52 мг/кг тус тус байгааг тогтоосон [8]. Иймд уг судалгааны ажлаар зэсийн агуулга ихтэй нэг цэгээс зүсэлт хийн хөрсний дээж авч электрокинектийн нөхөн сэргээлтийн аргаар бохирдлыг бууруулах судалгааг хийсэн.

МАТЕРИАЛ, АРГА АРГАЧЛАЛ

“Эрдэнэт үйлдвэр” ХХК-ны үйлдвэрийн бүс (N: 49°02'35.9", E: 104°08'38.9")-ээс 0-100 см хүртэл гүнрүү зүсэлт хийж, холимог 1 дээж, 20 см-ийн үечлэлтэйгээр 5 дээж, нийт 6 хөрсний дээж авсан. Хөрсний дээж авсан цэгийн байршил, хөрсний зүсэлтийг Зураг 1, 2-т харуулсан болно.



Зураг 1. Судалгааны объект.



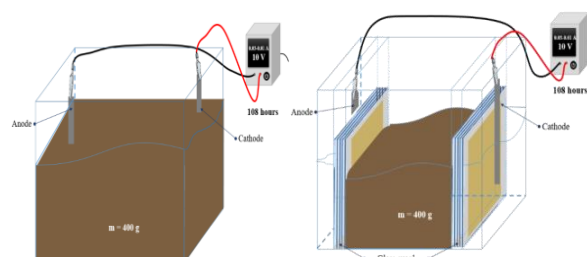
Зураг 2. Хөрсний зүсэлт.

Хөрсний дээжийг тасалгааны температурт хатааж, pH, цахилгаан дамжуулах чанар (EC), чийг, шатаахад гарах алдагдал (ШГА), ялзмаг зэрэг физик-химийн үзүүлэлтүүдийг тодорхойлсон [9].

Хөрсөн дэх хүнд элементийн агуулгыг рентген флуоресценци (XRF)-ийн аргаар, эрдсийн анализыг рентген дифрактометр (XRD)-ийн аргаар тодорхойлсон. Электрокинектийн аргаар хөрсөн дэх зэсийн агуулгыг бууруулах судалгааг хийхдээ 400 гр хөрсний дээж авч бал чулуун электрод, 10В хүчдэлд H_2O , 0.1 М NaCl-ийн электролит уусмалууд ашиглан 108 цагийн турш электролиз явуулсан. Электрокинетик нөхөн сэргээлтийн технологийн схемийг Хүснэгт 1, Зураг 3-т харуулсан болно.

Хүснэгт 1. ЕК-ийн туршилтын схем.

Реактор	Электролит уусмал	Электродын байрлал
I	H_2O	Хөрсөндөө шууд байрлуулсан (Зураг 3.a)
II	NaCl	
III	H_2O	Хөрсний 2 талд үүртэй (Зураг 3.b)
IV	NaCl	



Зураг 3. ЕК-ийн туршилтын схем.

ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ**1. Хөрсний физик-химийн үзүүлэлтүүд**

Эрдэнэт үйлдвэрийн ойр орчмоос авсан хөрсний дээжний физик-химийн үзүүлэлтүүдийг Хүснэгт 2-т харуулсан болно.

Хүснэгт 2. Хөрсний физик-химийн үзүүлэлтүүд.

Дээж	Чийг %	ШГА %	pH	ЕС мкСм/см	
Холимог хөрс	2.5	15.4	7.6	290	
Зүсэлт	0-20	3.1	15.5	7.2	330
	21-40	2.6	8.7	7.6	350
	41-60	1.6	14.3	8.1	250
	61-80	1.3	12.4	8.2	220
	81-100	1.5	11	8.1	230

Хөрсний зүсэлт (Зураг 2)-ээс харахад, зүсэлтийн дагуу 0-100 см хүртэл хөрсний өнгө хар бороос бор шар болж өөрчлөгдсөн. Хөрсний чийгийн агуулга, нийт органик нэгдлийн агуулга өнгөн хэсгээс гүнрүүгээ буурч байгаа нь хөрсний элсэрхэг бүтэцтэй холбоотой байна. Хөрсний орчин 7.2–8.2 буюу сул шүлтлэг орчинтой бөгөөд өнгөн хөрс харьцангуй саармаг байна. Хөрсний орчин саармаг байх нь амьтан амьдрах, ургамал ургахад тохиромжтой юм. Харин үечлэл ихсэхэд хөрсний орчин өссөн үзүүлэлттэй гарсан нь хөрсөн дэх шүлтийн болон газрын шүлтийн металлууд, хялбар уусдаг ионы агуулга ихсэж байгааг илтгэж байна.

Үечлэн авсан хөрсний цахилгаан дамжуулах чанар 220-350 мкКл/см хооронд байсан.

Хүснэгт 3. Хөрсний дээжин дэх микроэлементийн агуулга.

Profile	Elements, ppm								
	As	Cu	Cr	Ga	Mo	Ni	Pb	V	Zn
0-20 см	85.13	7619	58.47	-	21.92	16.91	22.72	42.3	183.7
21-40 см	27.83	130.8	57.12	17.14	3.477	27.2	17.92	48.14	82.48
41-60 см	12.14	22.93	22.03	21.89	2.016	5.098	9.955	6.277	72.52
61-80 см	12.14	36.01	43.79	20.02	3.52	4.333	9.602	38.12	71.49
81-100 см	2.62	40.69	29.3	15.65	4.371	12.93	12.14	22.89	75.49
Холимог хөрс	40.1	3263	43.6	9.7	7.9	29.6	20.9	33.57	94
MNS 5850:2008*	30	500	400	-	20	1000	500	600	600

4. Электрокинетикийн нөхөн сэргээлтийн дараах хөрсний шинж чанар

Электрокинетикийн нөхөн сэргээлтийн аргаар хөрсөн дэх зэсийн бохирдлыг бууруулах туршилтыг явуулсны дараа хөрсийг анодын бүс (Ан), катодын бүс (Кат) болгон тэнцүү хоёр

Цахилгаан дамжуулах нь нийт уусдаг ионуудын агуулгыг илэрхийлдэг.

2. Хөрсөн дэх микроэлементийн анализ

Хөрсний дээжин дэх зарим микроэлементийн агуулгыг хүснэгт 3-т харууллаа. Судалгааны үр дүнгээс харахад 0-20 см-ийн өнгөн хөрсөн дэх Cu, As, Mo-ны агуулга тус бүр 7619, 85.13, 21.92 мг/кг, 0-100 см-ийн холимог хөрсний дээжинд Cu, As тус бүр 3263, 40.1 мг/кг байсан. Харин 21-100 см хүртэл буюу бусад үеүүдээс авсан хөрсөн дэх Cu, As, Mo-ны агуулга Монгол улсын хөрсний стандарт (MNS5850:2008)-ын зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээнээс бага агуулгатай илэрсэн. Өнгөн хөрсөн (0-20 см) дэх зэсийн агуулга өндөр байгаа нь үйлдвэрийн үйл ажиллагаанаас шууд хамраалтай болохыг харуулж байна.

Харин As, Mo нь Cu-ийн эрдсүүдийг даган оршдог металлууд тул өндөр агуулгатай илэрсэн.

3. Хөрсөн дэх эрдсийн анализ (XRD)

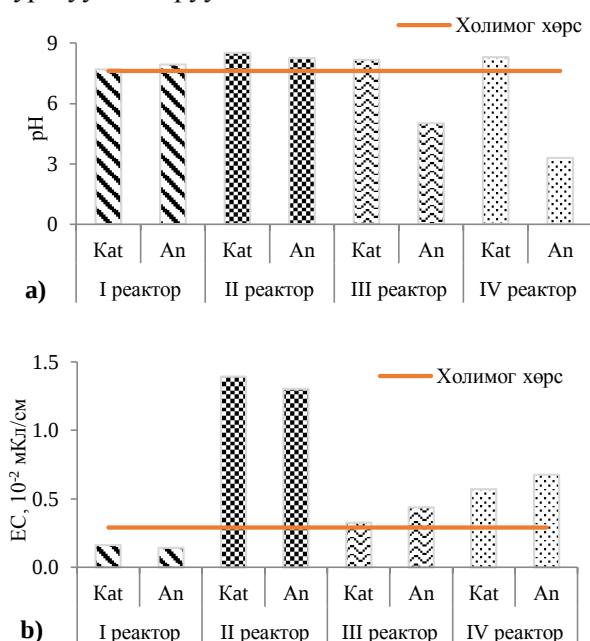
Өнгөн хөрс буюу 0-20 см хөрсний дээжинд рентген дифрактометрийн анализ хийхэд кварц (SiO₂), албит (Na(AlSi₃O₈)), анортит (CaAl₂Si₂O₈), магнетит (Fe₃O₄), хематит (Fe₂O₃) зэрэг цахиур, төмөрт эрдсүүд зонхилж байсан ба мөн халькопирит (CuFeS₂)-ийн эрдэс илэрсэн нь тухайн хөрсөн дэх зэс эрдэс байдлаар оршиж байгааг илтгэж байна.

хувааж, физик химийн үзүүлэлтүүд болон Cu, As, Mo-ны агуулгыг тодорхойлж, холимог хөрстэй харьцуулан үр дүнг боловсруулсан.

4.1 Хөрсний физик-химийн үзүүлэлтүүд

Электрокинетикийн нөхөн сэргээлтийн дараах хөрсний физик-химийн үзүүлэлтүүд болох pH,

ЕС, чийг, ШГА, ялзмагийн үр дүнг дараах зурагуудад харуулсан.

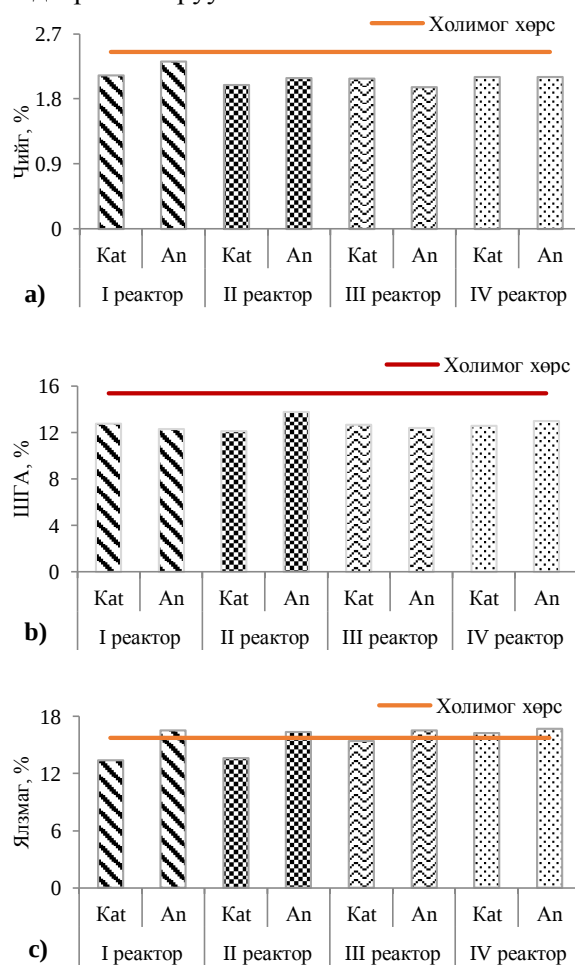


Зураг 4. Хөрсний а) pH; б) ЕС.

Зураг 3.а-аас харахад электродыг хөрсөнд шууд байршуулсан I, II реакторын хөрсний орчин анод, катодын бүсэд саармаг буюу дунджаар 7.7 байсан. Харин III, IV реактор буюу электродын үүртэй реакторын анодын бүсийн хөрс хүчиллэг, катодын бүсийн хөрс шүлтлэг орчинтой байсан. Дээрх үр дүнгээс харахад электродын байрлалаас хамаарч катод, анодын бүсийн хөрсний орчин өөр өөр байна. Анод, катодын ойролцоох хөрсний pH-ийн зөрүү их байгаа нь усны диссоциацаар үүссэн OH^- , H^+ ион болон хөрсөн дэх нэгдлүүд электролизын нөлөөгөөр задарч анион, катион үүсгэсэнтэй холбоотой байна [9]. Электролизээр pH-ийн зөрүү ихсэх тусам электролизын үр ашгийг нэмэгдүүлдэг [10]. Хөрсний цахилгаан дамжуулах чанар (Зураг 4.б)-ын хувьд холимог хөрстэй харьцуулахад 0.1M NaCl электролит уусмал ашигласан II, IV реакторын ЕС өндөр утгатай байсан ба NaCl нь ион шилжилтийг эрчимжүүлж байгаа нь илт харагдаж байна. Ялангуяа, II реактор буюу хөрсөндөө электродоо шууд байршуулсан схемийн ЕС хамгийн өндөр буюу катодын бүсэд 1.39, анодын бүсэд 1.30 мКл/см байсан. Энэ нь электродын байрлалаас хамаарч хөрсөн дэх цахилгаан дамжуулах чадвартай катион, анионууд ихээр үүссэнтэй холбоотой. Харин 2 талдаа электродын үүртэй реактор (III, IV)-уудын ЕС катод орчимд бага, анод орчимд

их байгаа нь хөрсөн дэх цахилгаан дамжуулах чадвартай жижиг хэсгүүд электро-форрезын нөлөөгөөр анодруу шилжсэнийг харуулж байна. Хөрсний чийг, ШГА, ялзмагийн агуулгыг Зураг 5.а,б,с-д тус тус харуулсан. Электрокинетик нөхөн сэргээлт явуулсны дараах хөрсний чийгийн хэмжээ (Зураг 5.а) холимог хөрснөөс буурсан үзүүлэлттэй гарсан. Энэ нь электролизын үед хөрсний нүх, сүвэрхэг байдал, жижиг хэсгийн ширхэгийн хэмжээ өөрчлөгдсөнийг харуулж байна.

Харин хөрсний шатаахад гарах алдагдал 12.11-13.74% агуулагдаж байсан ба туршилтын өмнөх холимог хөрс (15.35%) –өөс буурсан үзүүлэлттэй гарсан. Энэ нь электрокинектикийн нөхөн сэргээлт нь зөвхөн хүнд металлын бохирдлыг бууруулаад зогсохгүй мөн хөрсөн дэх органик нэгдлийн агуулгыг бууруулах чадвартайг харуулсан.



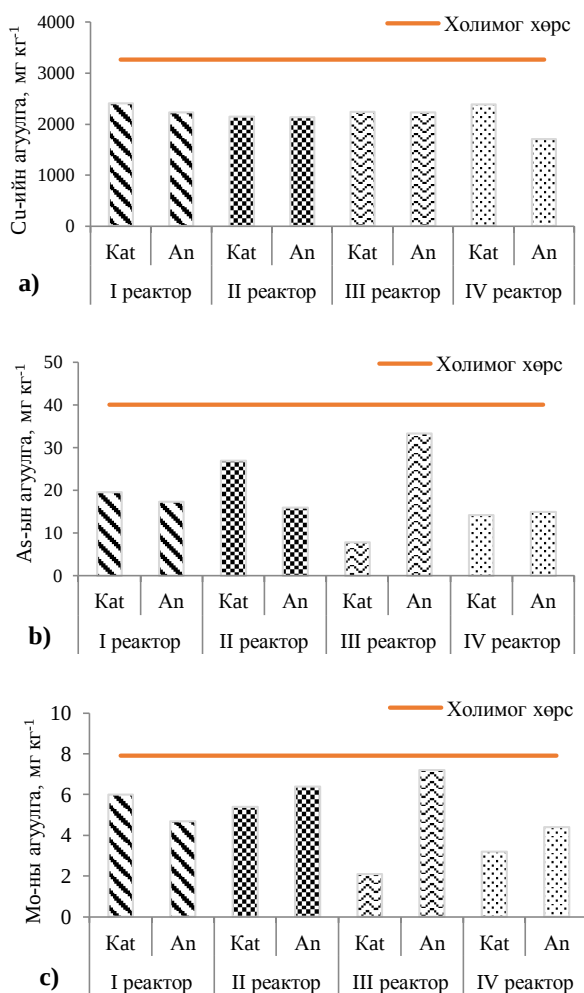
Зураг 5. Хөрсний а) чийг; б) ШГА; в) ялзмагийн агуулга.

Хөрсөн дэх ялзмагийн агууламж (Зураг 5.с) холимог хөрсөнд 15.73% агуулагдаж байсан. Электролизын дараа I, II, III реакторын катод орчмын хөрсний ялзмагийн хэмжээ 13.4-15.42%

болж буурч, анод орчимд 16.35-16.52% болж бага зэрэг өссөн. Хөрсний ялзмагийн агуулга буурч байгаа нь тухайн хөрсний бордоорхог шинж чанар буурна. Харин IV реакторын хөрсний ялзмагийн хэмжээ катод (16.25%), анод (16.70%) аль алинд нь өссөн. Ялангуяа анод орчмын хөрсний ялзмаг ихсэж байгаа нь электролизын нөлөөгөөр анод орчимд макро-шим тэжээлт бордоо болох сөрөг цэнэгтэй NO_3^- , PO_4^{3-} ионууд хуримтлагдсаныг харуулж байна.

4.2 Хөрсөн дэх элементийн агуулга

Электролизын дараах хөрсөн дэх микроэлементүүд болох Cu, As, Mo-ны агуулгыг Зураг 6.а,б,с-д харууллаа.



Зураг 6. Хөрсөн дэх а) Cu; б) As; в) Mo-ны агуулга.

Электролизын дараах хөрсөн дэх зэсийн агуулга 0.1 M NaCl-ийн электролит уусмал ашигласан, хөрсний хоёр талд электродын үүртэй IV реакторын анодын бүсэд хамгийн бага агуулгатай буюу 1709 мг/кг байсан. Энэ нь цахилгаан гүйдлийн нөлөөгөөр хөрсөн дэх Cu^{1+} , Cu^{2+} ионууд электро-форрез процессын дагуу

анодын бүсэд шилжсэнтэй холбоотойгоор 48% буурсан. Бусад реакторуудын хувьд Cu-ийн агуулга дунджаар 30 орчим хувиар буурсан. Хөрсөн дэх As, Mo-ны агуулга мөн IV реакторын катод, анодын аль алинд нь 63-64%, 44-60% буурсан. Харин электролит уусмалаар H_2O -ийг ашиглан, электродын үүртэй III реакторын катод, анодын бүсэд Cu-ийн агуулга ойролцоо утгатай, As, Mo-ны хувьд катодын бүсэд бага, анодын бүсэд өндөр байсан

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгаагаар “Эрдэнэт үйлдвэр” ХХК-ны үйлдвэрийн бүсийн хөрснөөс 0-100 см гүнд зүсэлт хийн дээж авч электрокинетик аргаар хөрсний зэсийн бохирдлыг бууруулах туршилт гүйцэтгэж дараах дүгнэлтэд хүрлээ:

1. Хөрсөн дэх элементийн анализаар өнгөн хөрс буюу 0-20 см-ийн гүний хөрсөн дэх Cu, As, Mo-ны агуулга 7619, 85.13, 21.92 мг/кг, 0-100 см-ийн холимог хөрсний дээжинд Cu, As тус бүр 3263, 40.1 мг/кг тус тус агуулагдаж байгаа нь Монгол Улсын Хөрсний чанарын стандарт (MNS5850:2008)-тай харьцуулахад хортой агууламжаас өндөр байсан.
2. Электрокинетикийн нөхөн сэргээлтийн туршилтыг явуулахдаа электролит уусмалаар H_2O болон 0.1 M NaCl-н усан уусмал авч харьцуулан судлахад 0.1 M NaCl-н усан уусмал нь зэсийн бууралтыг илүү нэмэгдүүлж байсан.
3. Хөрсний хоёр талд электродын үүртэй хийсэн реакторын зэсийн агуулга анодын бүсэд 48 %-иар буурсан.

Иймд хөрсөн дэх Cu-ийн бохирдлыг электрокинетикийн нөхөн сэргээлтийн аргаар бууруулах бүрэн боломжтойг харуулж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] L. Simeonov and V. Sargsyan, Soil Chemical Pollution, Risk, Netherlands: Springer, 2008.
- [2] P. Charzynski, P. Hulisz and R. Bednarek, Technogenic soils of Poland, Torun: Polish society of soil science, 2013.
- [3] Z. Yao, J. Lib, H. Xie and C. Yu, "Review on remediation technologies of soil contaminated by," Procedia Environmental Sciences, vol. 16, pp. 722-729, 2012.

- [4] C. Cameselle, S. Gouveia, D. E. Akretche and B. Belhadj, Advances in Electrokinetic remediation for the removal of organic and inorganic contaminants in soils, World's largest Science, technology and medicine open access book.
- [5] R.T.Gilla, M.J.Harbottleb, J.W.N.Smithca and S.F.Thorntona, "Electrokinetic-enhanced bioremediation of organic contaminants. A review of processes and environmental applications," Chemospher, pp. 31-42, 2014.
- [6] G. Maini, A. Sharman, C. Knowles, G. Sunderland and S. Jackman, "Electrokinetic remediation of metals and organics from historically contaminated soil," J Chem Technol Biotechnol, pp. 657-664, 2000.
- [7] K. Reddy and C. Cameselle, Overview of electrochemical remediation technologies, Electrochemical remediation technologies for polluted soils, sediments and groundwater book, 2009.
- [8] J. Yondonjamts, B. Oyuntsetseg, O. Bayanjargal, M. Watanabe, L. Prathumratana and K.-W. Kim, "Geochemical source and dispersion of copper, arsenic, lead, and zinc in topsoil in the vicinity of the Erdenet mining area, Mongolia," Geochemistry, Exploration, Environment, Analysis, p. accepted, 2019.
- [9] Jurate Virkutyte, M. S. P. L., Electrokinetic soil remediation - critical overview. The science of the Total environment, pp. 92-121, 2002.
- [10] R. Prashanth, R. Mark Buchireddy, B. David Gent., Electrokinetic remediation of wood preservative contaminated soil containing copper, chromium, and arsenic. Journal of Hazardous Materials, pp. 490-497, 2009.

Fabrication and evaluation of Ti-V-Cr hydrogen storage alloy

P.Dashdemberel^{1,*}, N.Tuvjargal², A.Kamegawa³ and T.Kimura³

¹ Mongol Kosen College of Technology, Ulaanbaatar 14201, Mongolia

² Department of Physics, School of Arts and Science, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 14201, Mongolia

³ Research center for Environmentally Friendly Materials Engineering, Muroran Institute of Technology, Hokkaido, 050-8585, JAPAN

Ti-V-Cr alloys are known to absorb (desorb) nearly 2.6wt% of hydrogen. The hydrogen storage properties of (30-36%)Ti-(30%)V-(34-40%)Cr compositions were studied in this paper. The plateau pressure of Ti-30V-(40-x)Cr (x=0, 3, 6) alloys increased with increasing Cr content. The properties of the Ti-35V-40Cr alloy were already studied with heat treatment was annealing 1173-1623K for 1 hour, and quenched into iced water. The alloy of 33Ti-30V-37Cr exhibits an effective hydrogen capacity of 2.1wt% at 373K.

Keywords: hydrogen storage alloy, titanium-vanadium-chromium, body centered cubic phase, face centered cubic phase, low hydrogen pressure region.

I. INTRODUCTION

Hydrogen is considered by many analysts to be the most promising energy carrier in the long term and its pollution-free conversion into energy by fuel cells is a very attractive feature. Hydrogen absorption alloys, such as LaNi₅, Mg₂Ni, MmNi₅ etc., have been widely used as secondary electric batteries.

Vanadium based solution with a BCC structure known to good absorb of hydrogen. Iba *et al.* reported that a Ti-40V-35Cr alloy could desorb about 2.4wt% hydrogen [1]. And Tominaga *et al.* also reported Ti-35V-40Cr alloy could 2.6wt% effective hydrogen capacity [2].

Therefore, the purpose of this study is to explain the hydrogen absorption-desorption of Ti-30V-Cr alloys under the heat-treatment conditions.

II. EXPERIMENTAL DETAIL

In this study, the Ti-V-Cr alloy was chosen as starting composition. The purities of raw materials, including titanium, vanadium, chromium in this study 99.6%, 99.9%, 99.9% respectively.

Alloys	Compositions	Ti/Cr
A	30Ti-V-40Cr	0.75
B	33Ti-V-37Cr	0.89
C	36Ti-V-34Cr	1.05

The alloys will be prepared from raw materials by arc- melting on a water-cooled copper hearth under pure argon atmosphere. Melting time is about 40 seconds 3 times each compounds. The samples

heated to 1573K, annealed for 1 hour, and quenched into iced-water.

Crystal structure was studied by X-ray diffractometer (XRD) using Cu-K α radiation by Rigaku SmartLab. The Pressure-composition-temperature (PCT) curves from 0.01MPa to 10MPa were measured for three cycles each at 373K, 383K, 393K and 403K using a Sieverts-type apparatus. the samples were examined by thermal desorption mass spectroscopy (TDMS) (Rigaku MIGT11-002) combined with thermogravimetry (TG) upon heating up to 500°C with a heating rate of 5°C/min.

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

Figure 1 shows PCT curves (absorption and desorption) at 373K from 0.01MPa to 9.8MPa for A, B, C alloys.

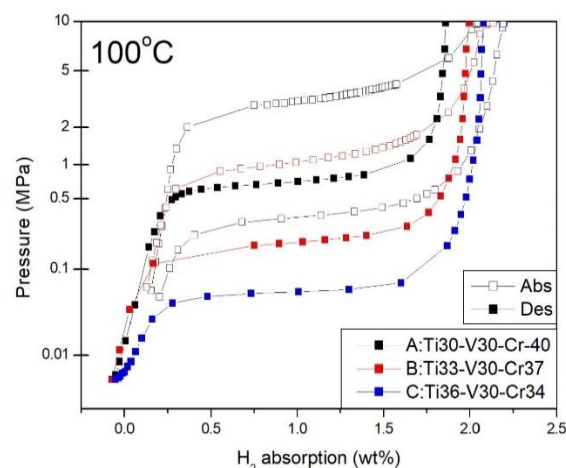


Fig 1. PCT curves (absorption and desorption) at 373K for A, B, C alloys.

* Electronic address: pdashdemberel@gmail.com

The high state pressure of this compounds were observed to decrease with Cr amount is decreasing. Therefore, we observe all compounds hydrogen capacities of nearly 2.1 wt%.

We can also measure Hydrogen storage properties (from above) and enthalpy and entropy value of compound. Figure 2 shows Van't Hoff plot at 373K, 383K, 393K and 403K for to find enthalpy and entropy. The B alloy (33Ti-V-37Cr) have entropy is equal to 138 J/K, enthalpy is equal to 49 kJ/mol.

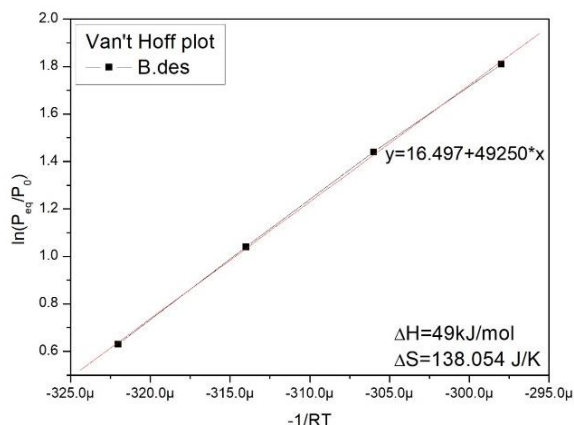


Fig 2. Van't Hoff plot at 373K, 383K, 393K and 403K.

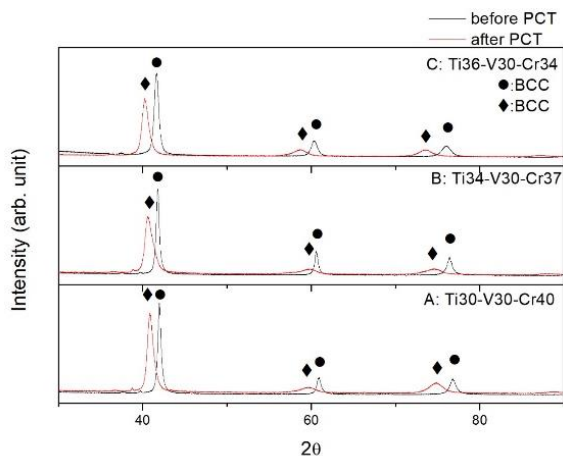


Fig 3. XRD pattern about compare between before PCT and after PCT for C alloy.

Figure 3 shows XRD pattern for C alloy. It was found by XRD that all studied alloy had a BCC single phase. Ti amount is increasing that relating to lattice parameter. And we can see that after the PCT measurement, XRD peaks are shifting left side. That means cells are expanding as effects of hydrogen.

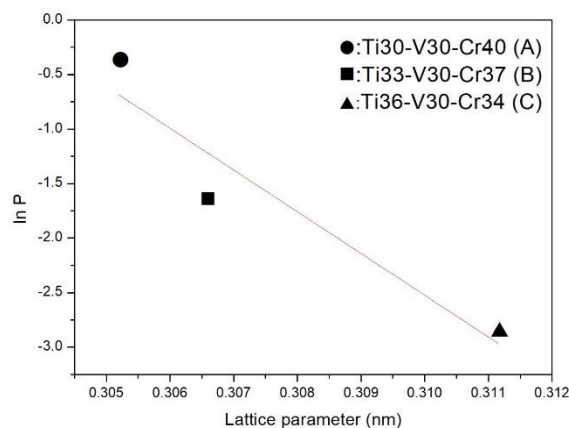


Fig 4. Lattice parameter for A, B, C alloys.

Figure 4 shows lattice parameter relation pressure linear. We consider relation between lattice parameter and equilibrium pressure. It do not seems to be linear. We expected equilibrium pressure is linear proportion with lattice parameter. We change composition amount. So this figure is effect of equilibrium pressure related by composition amount.

We wants to analyze more closely about absorption and desorption effect. Figure 3 shows first absorption and desorption with three main point by using TGMS and XRD apparatus.

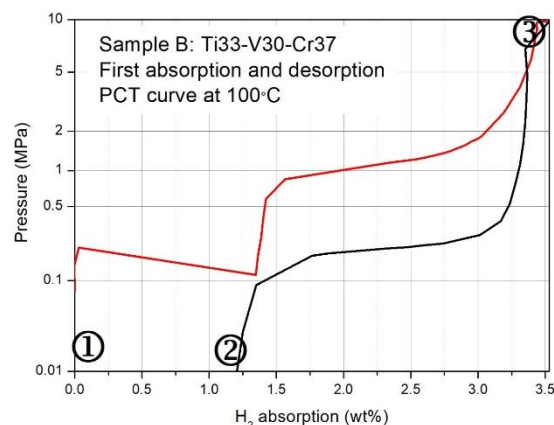


Fig 5. Figure of first absorption and desorption with three main points.

Figure 6 shows XRD pattern for three main points. That three points gradually increase hydrogenation. The sample before hydrogenation has BCC single phase. The samples of two different BCC phases. These results show that the sample situated in the second plateau regions transforming BCC phase to FCC single phase.

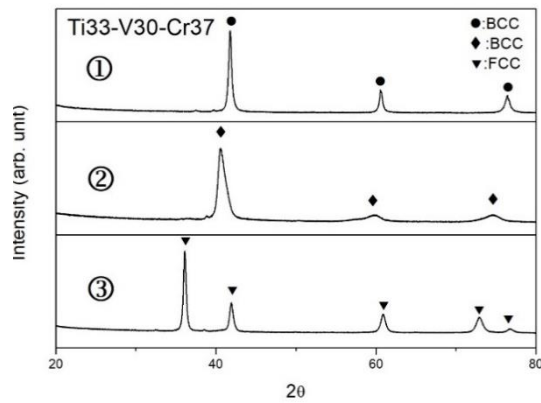


Fig 6. XRD pattern for three main points.

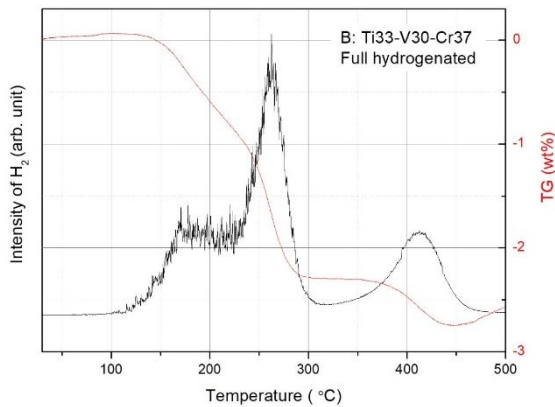


Fig 7. TG-MS of hydrogen for 33Ti-30V-37Cr of full hydrogenated state.

Figure 7 shows TG-MS of hydrogen (H_2) gas for B type sample (Ti33-V30-Cr37) of full hydrogenated state. It equals 2.74% mass of hydrogen. It is different from previous value of PCT graph. While we were sealing full hydrogenated sample under acetone atmosphere, lose a small hydrogen to atmosphere.

IV. CONCLUSION

Hydrogen storage properties of Ti-V-Cr alloys were studied. In this alloys contains constantly 30wt% V, change value $Ti/Cr=x$ ($x=0.75, 0.89, 1.05$), were investigate this conclusions.

1. The equilibrium pressure of $(30+x)Ti - 30V - (40-x)Cr$ ($x=0, 3, 6$) compounds increased, resulting from increasing Cr contents.
2. We tried to measure enthalpy of one of samples. It is $\Delta H = 48 kJ$. And this alloys ability of hydrogen capacities of about 2.1wt% (H_2).
3. Ti-V-Cr alloys with BCC structure processes for hydrogenation. That process was lattice parameter becomes getting larger while

starting hydrogenation. Finally it transformed to FCC structure at the full hydrogenated state. From TG-MS apparatus, we observe two different peaks. It means Ti-V-Cr alloys have two sites for hydrogen storage.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by Muroran Institute of Technology Research Promotion Grant 2018. We specially thank Prof. Masatsugu Ono, who provided us with the opportunity of this collaborative research by inter-university partnership promotion grant.

REFERENCES

- [1] H. Iba, T. Mouri, M. Shionoya, E. Akiba – *Materia Japan*, **36** (1997), 640-642.
- [2] Y. Tominaga, S. Nishimura, T. Amemiya, T. Fuda, A. Kamegawa, M. Okada., “*Protium absorption-desorption properties of Ti-V-Cr alloys with a BCC structure*” *Materials Transactions, JIM* **40**(1999), 871 –874
- [3] Y. Yan, Y. Chen, H. Liang, Ch. Wu, M. Tao., “*Hydrogen storage properties of V30-Ti-Cr-Fe alloys*” *Journal of Alloys and Compounds* **427** (2007), 110-114
- [4] M. V. Lototsky, V. A. Yartys, I. Yu. Zavaliiy., “*Vanadium based BCC alloys: Phase-structural characteristics and hydrogen sorption properties*” *Journal of Alloys and Compounds* **404-406** (2005), 421-426
- [5] T. Tamura, A. Kamegawa, H. Takamura, M. Osaka., “*Protium absorption properties of Ti-Cr-V alloys in low hydrogen pressure regions*” *Materials Transactions*, **42**(2001), 1862-1865.

Салхины явцад ажиглагдах хуйн параметруудийг тодорхойлох нь

Ж.Ванчинхүү^{1*}, Г.Амгалан², Э.Баянжаргал³

¹ Физикийн тэнхим, ШУС, МУИС

² Цаг уур, орчны шинжилгээний газар, БОАЖЯ

³ Аналитик лаборатори, Материал судлалын салбар, ФТХ-ШУА

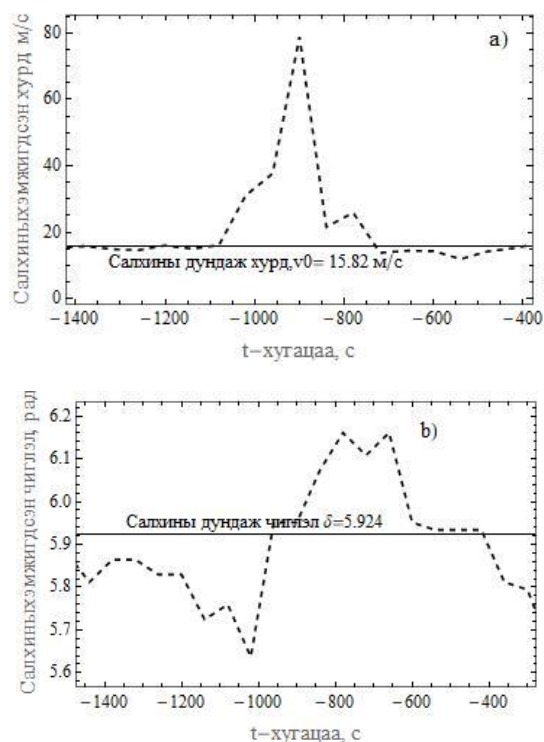
Салхины явцад хуй ажиглагдах тохиолдолд бүртгэгдэх хурд ба чиглэлийн өгөгдлийг байгуулж түүнийг дундажлан салхины хэмжигдэх хурд ба чиглэлийг гаргах асуудлыг судлав. Хэмжигдсэн хурдыг байгуулсан өгөгдлөөс гаргахын тулд хуйн тангенциал хурдыг Ранкины загвараар өгөгдөнө гэж үзсэн бөгөөд хуйн хэмжээг захын тойргийн тангенциаль хурд нь салхины хурдтай тэнцүү байна гэсэн нөхцөлөөр хязгаарлав. Хэмжигдсэн хурд ба чиглэлийн өгөгдлийг байгуулахдаа хугацааны эгшин бүр дээр хэмжигдэх хурд ба чиглэлийг нэг минутын интервалаар дундажлав. Хэмжигдэх хурд ба чиглэлийг байгуулснаар салхины дотор ажиглагдах хуйн радиус, хамгийн их хурд зэрэг гол хэмжигдэхүүнүүдийг тодорхойлов.

PACS number: 93.30.Db, 93.85.Bc

УДИРТГАЛ

Хуй нь агаарын дотор үүсэж буй хийн эргэлдэх процесс бөгөөд газрын гадаргуу орчмын агаар мандалын доторхи температур болон даралтын огцом өөрчлөлтөөс болж үүсдэг [1,2]. Энэ нь агаар дотор боссон тоосон багана мэт харагддаг бөгөөд хэлбэрийн хувьд суурьтай нь параллелиэр огтолсон конусыг хөрвүүлэн байрлуулсантай ойролцоо (юүлүүр) хэлбэртэй гэж загварчлан авч үздэг [3,4,5]. Хуйн онцлог, чанарыг тогтоосон судалгааны үр дүнгүүдээс үзэхэд энэ процесс нартай үеэр ямагт өдрийн цагаар, олонхи тохиолдолд өдрийн үдээс хойш ажиглагддаг бөгөөд үргэлжлэх хугацаа нь (хэдхэн секундээс хэдэн арван минут) харилцан адилгүй байдаг. Зарим тохиолдолд их өндөртэй хуй хэдэн цагаар үргэлжлэн ажиглагдаж болно [2,4]. Хуйн хэмжээг түүний өндөр болон газар орчмын суурийн диаметрээр нь үнэлдэг. Диаметр нь хэдэн арван сантиметрээс хэдэн зуун метр, өндөр нь хэдэн зуун метр, заримдаа хэдэн мянган метр хүрдэг [2,6]. Хуйн эргэлтийн тэнхлэг дагуу агаарын даралт өөрчлөгддөг. Үүний зэрэгцээ босоо тэнхлэгийн дагууд эргэлтийн тангенсиал хурд нь өөрчлөгддөг [3,7]. Хуйн эргэлтийн чиглэл цагийн зүүний дагуу эсвэл эсрэг байх ба туршлагын баримтууд эдгээр нь бараг адил тоотой үүсдэг болохыг харуулдаг [4]. Хуйн үүсэлд газрын гадаргуу орчмын агаарын параметруудээс гадна тоосны

ширхэгүүдийн цахилгаанжилт ч нөлөө үзүүлж болдог [7]. Харин хуй нь агаарын доторхи температур ба даралтын ялгаанаас болж хэвтээ тэнхлэгийн дагууд шилждэг. Энэ нь салхины дотор ажиглагдах хуйн тохиолдол юм. Хуйн хэвтээ хавтгай дээрх эргэлтийн тангенциал хурд нь ихэвчлэн Ранкины загвараар илэрхийлэгддэг [3].



Зураг 1. Салхины хэмжигдсэн хурд (a) ба чиглэлийн (b) хугацааны хувьсал.

* Electronic address: jvanchinkhuu@yahoo.com

Салхины хурдыг тухайн нэг цэг дээр хэмжсэн мэдээллийн сангийн өгөгдлийг ашиглан салхины чиглэл ба хурдны хугацааны түгэлтийг (time series) байгуулж үзэхэд тухайн цэг дээр хэдийд ямар хурдтай, аль зүгээс ирсэн салхи ажиглагдсан нь тодорхой харагддаг. Ийм өгөгдлийг үндэслэн байгуулсан салхины хэмжигдсэн хурдны утга ба чиглэлийн [8] хугацааны хувьсалыг Зураг 1-т үзүүлэв.

Салхины хурд ба чиглэлийн хэмжигдсэн утгын энэ өгөгдөл дотор гарч ирж буй өндөр утгууд нь салхины доторхи хуйлралтай холбоотой юм. Салхины дотор хуйлрал байхгүй бол салхины хурдны утга ба чиглэл нь хэвтээ тэнхлэгтэй бараг параллель шулуун байх ёстой.

Бид өмнөх өгүүлэлдээ Зураг 1а-д үзүүлсэн мэдээллийг үндэслэн ажиглагдаж байгаа хэт өндөр хурдны утгууд үнэн эсэх, ер нь ийм өндөр хурд ажиглагдаж болох эсэхийг судалж салхины дотор хуй ажиглагдах үед хэт өндөр хурдууд бүртгэгдэж болох бөгөөд салхины хурд болон чиглэлийн хугацааны хувьсал нь хуйн хэлбэр, хэмжээнээс хамаарахыг үзүүлсэн [9]. Үүний зэрэгцээ өгөгдлийг ашиглан хуйн параметруудийг тодорхойлох боломжийг тогтоож дүгнэлт гаргасан. Энэ өгүүлэлд бид хэмжигдсэн утгуудыг онолын хувьд байгуулж хуйн параметруудийг тогтоох асуудлыг авч үзэв.

БОДЛОГЫН ТАВИЛТ, ЗАГВАР

Салхины ажиглалтын автомат станцын бүртгэсэн салхины хурд ба чиглэлийн тухай мэдээллээс гарган авсан дээрх түгэлт нь нэг минутын дотор бүртгэгдсэн утгуудыг дундажлах замаар тогтоосон өгөгдлүүдээр дүрслэгддэг. Үүний зэрэгцээ эдгээр нь зөвхөн хуйн суурь орчмын хэвтээ хавтгай дээрх (2м орчим өндөрт) утгууд учраас хуйн босоо тэнхлэгийн дагуух мэдээллийг огт агуулдаггүй. Ийм учраас энэ өгөгдлүүд зөвхөн хуйн суурь орчмын хэвтээ хавтгай дээрх хурд ба чиглэлийн тухай мэдээллийг бидэнд өгдөг. Үүний зэрэгцээ энэ нь хугацаагаар дундажлагдсан утгууд учраас хуйг тодорхойлогч хэмжигдэхүүнүүдийг нарийвчлан тодорхойлоход төдийлэн тохиромжтой биш өгөгдлүүд бөгөөд хэрэв энэ өгөгдөлд тулгуурлан салхийг тодорхойлох хэмжигдэхүүнүүдийг тодорхойлбол эдгээр нь нэлээд ойролцоологдсон байх нь зүйн хэрэг.

Харин энэ өгөгдөл секунд буюу түүнээс бага интервалд бүртгэгдсэн байсан бол эндээс салхи болон түүний дотор ажиглагдах хуйн талаар нарийвчилсан мэдээллүүдийг гарган авах боломжтой юм.

Хэмжигдэхүүний дундаж утгыг тодорхойлох

Салхины хэмжигдсэн өгөгдлөөс салхины өөрийг нь тодорхойлогч хэмжигдэхүүнүүдийг тодорхойлох тухай энэ асуудлыг эсрэг талаас нь авч үзье. Хэрэв хугацааны нарийвчилсан хэмжилтийн зохиомол өгөгдлөөс хэмжилтээр гарч ирсэн өгөгдлийг үүсгэн тохируулга хийх замаар тэмдэглэгдсэн өгөгдлийн анхны дундажлагдаагүй өгөгдлийг байгуулж чадвал заавал нарийвчилсан хэмжилт шаардлагагүйгээр салхи болон хуйн талаар нарийвчилсан утгуудыг гарган авах боломжтой юм. Тэгвэл манай бодлого хиймэл өгөгдөл байгуулж дараа нь энэ өгөгдлөөс хугацаагаар дундажласан өгөгдлүүдийг байгуулах бодлого болно. Дундажлах замаар гарган авсан энэ өгөгдлийг бид хэмжилтийн үр дүнтэй жишин түүнтэй тохирч байгаа эсэхийг шалган анхны өгөгдлөө дахин засварлаж дундажласан өгөгдөл хэмжилтийн өгөгдөлтэй тохирох хүртэл үргэлжлүүлэх юм. Үүний хамт бид салхины чиглэлийн өгөгдлийг давхар авч үзэн хийж буй тооцоогоо шалгах болно. Энэ бодлогыг нөгөө талаас нь хэлбэл дундажлаж гаргасан (энэ нь хэмжилтийн өгөгдөл юм) өгөгдөлд суурилан хугацааны эгшин бүрд хэмжигдсэн утгуудыг байгуулна гэсэн үг юм. Энэ асуудлыг шийдэхийн тулд шийдэлтэй холбоотойгоор гарч ирэх тооцооны зарим онцлог болон дөхөлтүүдийг авч үзье. Функцийн дундаж утгыг олохдоо

$$\bar{f} = \frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx \quad (1)$$

ерөнхий илэрхийллийг ашигладаг. Бид энд салхины хэмжигдсэн хурд болон чиглэлийн тухайн эгшин дэх утгыг гаргахдаа хугацааны эгшин бүр дээр байгуулсан хурд болон өнцгийн утгыг өгөгдсөн интервалын хувьд дээрх томъёогоор дундажлан гаргаж авах болно. Хэмжилтийн утга 1 минут алхамтайгаар өгөгддөг учраас бид тооцоондоо дундажлах интервалыг $t_{int} = 60$ сек утгатайгаар авав.

Харин энэ хэмжилтийг авсан автомат станцийн заавраас үзэхэд хурд ба чиглэлийн утгыг 3 секунд бүр дундажлан 1 секундын интервалтайгаар бүртгэдэг бөгөөд өгөгдлийг хэрэглэгчийн шаардлагын дагуу дундажлан гаргадаг.

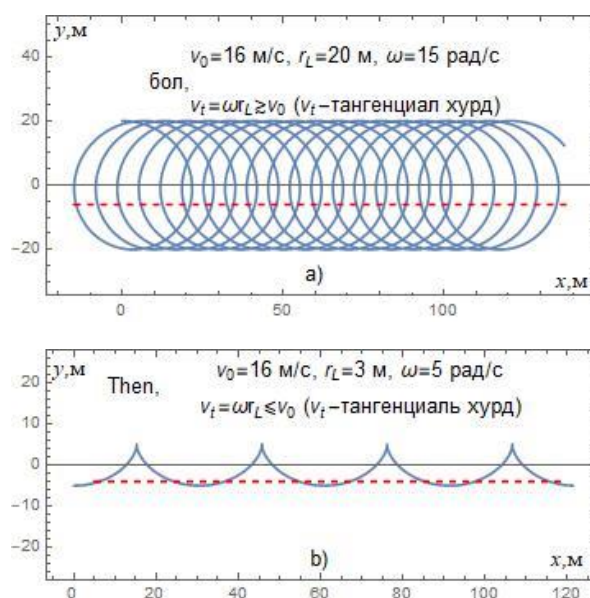
Төгсгөлөг хэмжээтэй хуйн загвар

Хуй нь радиусаасаа хамаарч өөр өөр тангенциал хурдтайгаар эргэлдэж байгаа агаарын урсгал юм. Хуйн хувьд хэрэглэгддэг хамгийн энгийн, түгээмэл загвар нь Ранкины хуй юм. Ранкины загварт хуйн эргэлтийн тангенциал хурд дараах хуулиар өгөгддөг:

$$v = \begin{cases} \frac{V_R}{R} r & \text{хэрэв } 0 \leq |r| \leq R, \\ \frac{V_R R}{r} & \text{хэрэв } R \leq |r|, \end{cases} \quad (2)$$

энд: R -хуйн хамгийн их хурдтай эргэх тойргийн радиус, V_R -хуйн хамгийн их хурдтай тойрогт харгалзах тангенциал хурд. Энд буй r нь хуйн төвөөс эхлэн тоологдоно. Энэ илэрхийлэл түүнийг хязгааргүй их радиустай гэсэн санааг агуулж байдаг. Гэтэл амьдрал дээр ийм хуй байх боломжгүй нь ойлгомжтой. Үүний зэрэгцээ ийм хязгааргүй хэмжээтэй хуйн загварыг төгсгөлөг процессийг загварчлах математик тооцоололд хэрэглэхэд ч төвөгтэй. Ранкины хуйн хурдыг энэ функцээр төлөөлүүлэн түүнийг хязгааргүй хэмжээтэй гэсэн төсөөллөө хадгалан тооцоог хийж салхины хэмжигдсэн хурд ба чиглэлийг тооцоолон гаргахад эдгээр нь захын нөхцөл зөв тооцогдоогүйн улмаас хэмжигдсэн утгад эс багтах утгуудыг авч байхад хүрдэг. Ийм учраас Ранкины хуйг зайлшгүй хязгаарлах шаардлагатай, өөрөөр хэлбэл тооцоондоо хуй тодорхой хэмжээтэй болохыг тусгаж өгөх шаардлагатай болдог. Ранкины хуйн дээд хэмжээг тогтоох асуудлыг авч үзье. Хэрэв хэмжих багажийг хуй дайран өнгөрвөл уг багаж салхины шилжилтийн хурд болон хуйн тангенциал хурдны вектор нийлбэрийг хэмжиж үүнийгээ салхины хурд болгон тэмдэглэх нь ойлгомжтой. Тодорхой хурдтай салхины дотор түүнээс их тангенциал хурдтай хуй байвал хуй Зураг 2а-д үзүүлсэн байдалтай дүрслэгдэнэ (Хуй хэмжих багажийг дайран гарах шугам зурагт тасархай улаан шугамаар дүрслэгдсэн бөгөөд

үүнтэй параллель орших аль ч шугам дээр хэмжих багаж орших боломжтой юм).

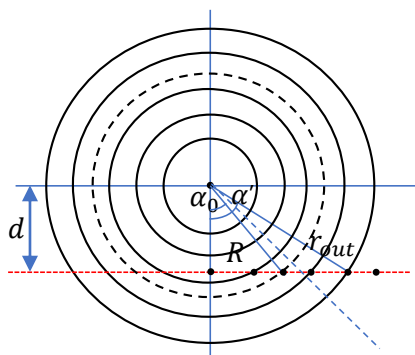


Зураг 2. Хуйн шилжилт (Хуй хэмжих багажийг дайран гарах шугамыг тасархай улаан шугамаар дүрслэв.)

Харин хуйн тангенциал хурд нь салхины хурдаас бага байвал хуй багажийг дайран гарах үедээ бүтэн эргэж чадахгүй, иймээс багаж зөвхөн чиглэл нь өөрчлөгдсөн салхийг хэмжих болно. Ийм салхины доторхи хуй Зураг 2б-д үзүүлсэнтэй адил дүрслэгдэнэ. Эдгээрээс харахад хуйн тангенциал хурд салхины шилжилтийн хурдаас их байвал хуй багажийг дайран өнгөрөхдөө бүрэн нэг эргэж чадна, харин бага байвал эргэж чадахгүй. Иймээс хуй бүрнээрээ бүртгэгдэж байхын тулд хуйн захын тойргийн тангенциал хурд нь хамгийн багадаа салхины шилжилтийн хурдтай тэнцүү байх ёстой болж таарч байна. Энэ нөхцөлөөс бид хуйн хамгийн захын тойрог буюу тангенциал хурд нь салхины хурдтай тэнцүү байх тойргийн радиусыг олж болно. Хамгийн их хурдтай тойргоос энэхүү гадаад тойрог хүртэл тангенциал хурд $v = V_R R / r$ (R - хамгийн их хурдтай тойргийн радиус) хуулиар өөрчлөгдөнө (буурна). Энд буй r гадаад тойргийн радиус r_{out} -тай тэнцүү болоход энэ тойрогт харгалзах тангенциал хурд нь салхины хурдтай тэнцүү болох учраас энэ тойргийн радиус

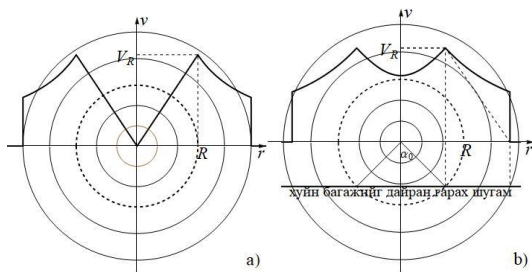
$$r = V_R R / v_0 \equiv r_{out} \quad (3)$$

гэж тодорхойлогдоно. Энэ тохиолдолд харгалзах хуйг Зураг 3-т дүрслэв.



Зураг 3. Хуйн хэвтээ хавтгай дээрх эргэлт. Хамгийн их хурдтай тойргийг тод тасархай шугамаар дүрслэв. Тасархай шулуун хэмжилт явагдах шугамыг заана.

Ранкины хуйн хувьд тойргийн төвөөс хамгийн их хурдтай тойрог хүртэл тангенциал хурд нь тэг утгаас эхлэн $v = \frac{V_R}{R} r$ шугаман хуулиар өсөж V_R болох ба харин энэ тойргоос цааш тангенциал хурдны утга V_R -ээс эхлэн буурч салхины шилжилтийн хурдтай тэнцүү болтолоо



Зураг 4 Хуйн тангенциал хурдны түгэлт: а) диаметрийн шугамын дагуух түгэлт б) нэг хөвчийн дагуух түгэлт.

үргэлжилнэ. Иймд хамгийн захын үргэлжилсэн шугамаар дүрслэгдэх тойрог нь салхины шилжилтийн хурдтай эргэх тойрог юм. Тэгвэл бид ийм төгсгөлөг хэмжээтэй Ранкины хуйн тангенциал хурд дараах хуулиар илэрхийлэгдэхийг тогтоож болно:

$$v = \begin{cases} \frac{r}{R} V_R & \text{хэрэв } 0 \leq |r| \leq R, \\ \frac{V_R R}{r} & \text{хэрэв } R \leq |r| \leq r_{out}, \\ 0 & \text{хэрэв } r_{out} \leq |r|, \end{cases} \quad (4)$$

Энэ хуйн тангенциал хурдны диаметрийн дагуух түгэлтийн ерөнхий хэлбэр ямар байхыг Зураг 4а-д дүрслэн үзүүлэв.

Хуйн характеристикиудыг тодорхойлох

Хэрэв хуйн хамгийн их хурдтай тойргийн радиус эсвэл гадаад тойргийн радиус мэдэгдэж байвал (4) томъёог ашиглан тэдгээрийн нэгийг нөгөөгөөр нь илэрхийлж болно (Зураг 3). Үүний

зэрэгцээ α_0 (хуйн хамгийн их хурдтай тойрог ба хэмжих багажийг дайрч байгаа шулууны огтлолын цэгүүдийг холбоход үүссэн, салхины чиглэл дагуух хөвчийн төвийн өнцгийн хагас) ба α' -ийн (захын тойргийг багаж дайран гарах хөвчийн төвийн өнцөг) аль нэг өгөгдсөн бол нөгөөг бас олж болно. Тухайн хөвчийн хувьд тойргийн төвөөс хөвчийн хагас хүртлэх d зай нь салхи шилжих явцад хэвээр хадгалагдана:

$$d = R \cos \alpha_0. \quad (5)$$

Хуйн хамгийн гадаад тойргийн радиусыг энэ хэмжигдэхүүнээр илэрхийлбэл

$$r_{out} = \frac{d}{\cos \alpha'}, \quad (6)$$

энд: α' -гадаад тойргийн хөвчид харгалзах төвийн өнцөг. Эдгээрээс R ба r_{out} болон α_0 ба α' хоорондоо дараах харьцаагаар холбогдоно:

$$r_{out} \cos \alpha' = R \cos \alpha_0. \quad (7)$$

Хуй хэмжих багажийг аль хөвчөөрөө дайран өнгөрч байгаагаас хамааран түүний тангенциал хурд ямар байхыг олъё. Ийм төгсгөлөг хэмжээтэй Ранкины хуй хэмжих багажийг диаметрээрээ дайран өнгөрч байхад түүний тангенциал хурд дээр өгөгдсөн (4) хуулиар өөрчлөгдөнө. Харин төгсгөлөг хэмжээтэй Ранкины хуй хэвтээ хавтгайн дагуу v_0 хурдтайгаар хэмжих багажийг салхины чиглэл дагуух аль нэг хөвчөөрөө дайран өнгөрч байхад түүний тангенциал хурд дараах хуулиар өөрчлөгдөнө:

$$v = \begin{cases} \frac{r}{R} V_R & \text{хэрэв } 0 \leq |r| \leq R \sin \alpha_0, \\ \frac{V_R R}{r} & \text{хэрэв } R \sin \alpha_0 \leq |r| \leq r_{out} \sin \alpha', \\ 0 & \text{хэрэв } r_{out} \sin \alpha' \leq |r|, \end{cases} \quad (8)$$

энд: α_0 -хамгийн их хурдтай тойргийн нумд харгалзах төвийн өнцөг, r багажийн дайран өнгөрч байгаа хөвчийн төвөөс эхлэн хөвчийн дагуу тоологдох ба тухайн тойргийн хувьд $r = R \sin \alpha$ байна, α -хуйн тухайн тойрогт харгалзах хөвчийн төвийн өнцөг бөгөөд хөвчийн хагасаас хамгийн их хурдтай тойрог хүртэл $\{0, \alpha_0\}$, харин их хурдтай тойргоос захын тойрог хүртэл $\{\alpha_0, \alpha'\}$ утга авдаг. Энэ хурдны хөвчийн дагуух түгэлтийн ерөнхий төрхийг Зураг 4б-д үзүүлэв. Энэ хуйн онцлог нь хуйн төвөөс холдох тусам

тангенциал хурд нь ихэссээр радиусын тодорхой нэг R утган дээр хамгийн их утга авч цааш зайнаас хамаарч урвуу хуулиар буурсаар хуйн захын тойрог дээр салхины хурдтай тэнцүү утгатай болдог.

Салхины хэмжигдэх хурдыг тооцоолох нь

Одоо салхин дотор Ранкины хуй ажиглагдаж байх тохиолдолд салхины хурд ямар зүй тогтолын дагуу өөрчлөгдөхийг авч үзье. Хуй нь салхиар зөөгдөх учраас хуйн шилжих хурд нь салхины хэвтээ тэнхлэгийн дагуух шилжилтийн хурд v_0 -тэй тэнцүү байх нь тодорхой. Энэ тохиолдолд хэмжих багажид бүртгэгдэх салхины хурд ямар байхыг олж болно [9]. Салхи нь салхины хурдыг хэмжих E багажийг хамгийн их хурдтай тойргийнхоо $2\alpha_0$ төвийн өнцөгтэй хөвчөөр дайран гардаг гээ (Зураг 5). Тэгвэл салхины хурдыг хэмжигч багаж хуйн эргэлтийн тангенциал хурд v ба салхины шилжих хөдөлгөөний хурдны вектор v_0 -ийн вектор нийлбэр $u = v_0 + v$ -ийн модулийг хэмжинэ. Энэ векторын модуль буюу хэмжигдэх хурдны утга

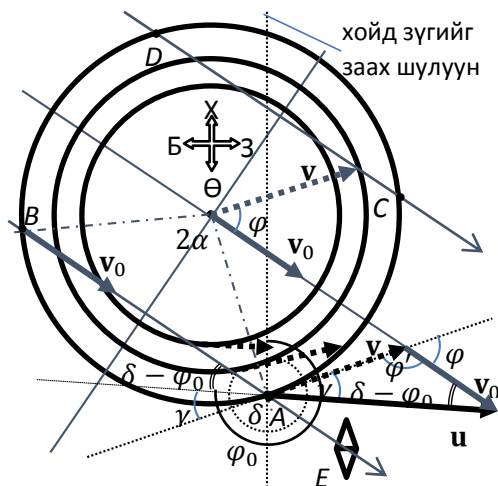
$$u = \sqrt{v_0^2 + v^2 + 2v_0v \cos \varphi}, \quad (9)$$

энд: φ -салхины шилжилтийн хурд ба хуйн эргэлтийн хурдны (тангенциал хурд) хоорондох өнцөг. Хэмжих багаж хуйн салхины чиглэлд хандсан тангенциал хурдтай байх хагаст (Зураг 5-ын A ба B цэгүүд тэмдэглэгдсэн хэсэг буюу доод хагас) орших хөвчийн дагууд шилжиж байгаа бол φ өнцгийн утга хөвчийн төвийн өнцөгтэй үргэлж тэнцүү $\varphi = \alpha$ байна. Харин хуй хэмжих багажийг салхины эсрэг чиглэлд хандсан тангенциал хурдтай байх хагасаараа

$$v = \begin{cases} \frac{V_R}{R} \sqrt{R^2 \cos^2 \alpha_0 + (v_0 t)^2} & \text{хэрэв } 0 \leq |t| \leq \left(\frac{R}{v_0}\right) \sin \alpha_0, \\ V_R R / \sqrt{R^2 \cos^2 \alpha_0 + (v_0 t)^2} & \text{хэрэв } (R/v_0) \sin \alpha_0 \leq |t| \leq (r_{out}/v_0) \sin \alpha', \\ 0 & \text{хэрэв } (r_{out}/v_0) \sin \alpha' \leq |t|. \end{cases} \quad (10)$$

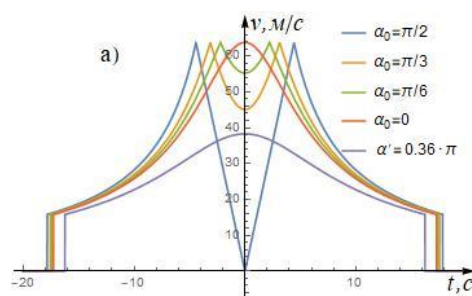
Хуйн төвтэй холбоотой тооллын системд хэмжигдэх хурд зөвхөн хуйн тангенциал хурдаар тодорхойлогдоно (Зураг 6а). Хуй хэмжих багажийг дайран өнгөрөх үед багажид хэмжигдэх хурдны утга янз бүрийн төвийн өнцөгтэй хөвчийн хувьд хугацаанаас хамаарч ямар байхыг тооцоолж Зураг 6б-д үзүүлэв.

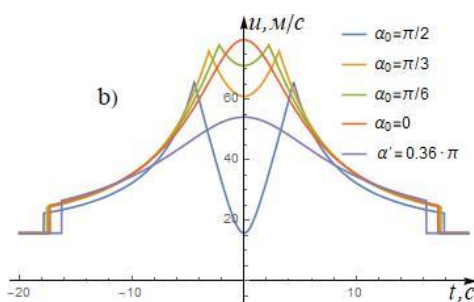
(дээд хагас) дайран гарч байх үед $\varphi + \alpha = \pi$ нөхцөл хангагддаг. Эндээс үзэхэд салхины хэмжигдсэн хурдны утга нь хэмжих багаж хуйн аль хөвчийн дагуу шилжиж байгаагаас хамаарч өөр өөр утгатай тодорхойлогдоно.



Зураг 5. Салхин дотор ажиглагдах хуйн ерөнхий дүрслэл (Энэ зурагт салхины хурдыг хэмжих багажийг E -ээр, салхины шилжилтийг сумтай шулуунаар, хуйг тойргуудаар дүрслэв. Салхины шилжилтийн явцад хуй нь хурд хэмжих багажийг α төвийн өнцөгтэй хөвчийн дагууд дайрна. Ерөнцийн зүг чигийг зургийн төвд тэмдэглэв).

Хурдны хэмжилт хугацаанаас хамаарч тодорхойлогддог учраас хэмжигдэх хурдны түгэлтийг бид хугацаанаас хамааруулан байгуулах асуудлыг авч үзье. Хуйн тангенциал хурдыг илэрхийлэх (8) илэрхийлэл нь хурдыг хуйн төвөөс тоолсон r зайнаас хамааруулан илэрхийлдэг. Үүнийг хугацаагаар илэрхийлэхийн тулд r -ийг хугацаа ба салхины хурдаар $r = v_0 t$ гэж илэрхийлж болно. Үүнийг (8)-д тооцвол хуйн тангенциал хурд хугацаагаар дараах хэлбэртэй илэрхийлэгдэнэ:





Зураг 6. Хуйн өөр өөр төвийн өнцөгтэй хөвчийн дагуух салхины хэмжигдэх хурдны түгэлт

а) Хуйтай холбоотой тооллын систем,

б) Газартай холбоотой тооллын системд

Салхины хэмжигдэх чиглэл

Салхины чиглэлийг хойд зүгийг заах шулуунаас эхлэн цагийн зүүний дагуу тоолдог (Зураг 5). Хэмжигдэж байгаа салхины чиглэлийг зурагт φ_0 -оор тэмдэглэв (хойд зүгтэй харьцангуй). Багажид бүртгэгдэх салхины хурд нь хуйн тангенциал хурд ба салхины шилжилтийн хурдны вектор нийлбэр учраас салхины чиглэл энэ векторын чиглэлээр тодорхойлогдоно. Хуйн тангенциал хурдны чиглэл ба хэмжээ хугацаанаас хамаарч өөрчлөгдөх учраас нийлбэр векторын чиглэл хуйн хөвчийн дагууд шилжихэд үргэлж өөрчлөгдөнө. Иймээс салхины дотор хуй ирэх тохиолдолд салхины хурдны хэмжигдэх чиглэл нь хугацаанаас хамаарч тодорхой зүй тогтолын дагуу өөрчлөгдөнө. Энэ зүй тогтол хөвчийн дагууд ямар төрхтэй байхыг Зураг 5-ыг ашиглан олъё. Энэ зурагт бид жигд салхины чиглэлийг δ , хуйн тангенциал хурд ба салхины хэмжигдэх хурны хоорондох өнцгийг γ гэж тэмдэглэв.

А цэгийн хувьд (хуйн салхины чигт хандсан тангенциал хурдтай байх хагаст төвийн өнцгийг хоёр тэнцүү хуваах шулуунаас өмнө хэмжих багаж байрлаж байх тохиолдол) салхины хэмжигдэх чиглэл

$$\varphi_0 = \delta + \gamma - \alpha.$$

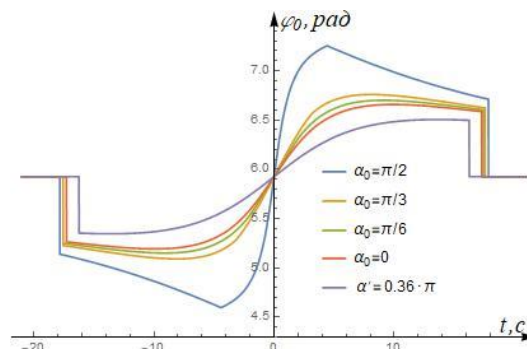
В цэгийн хувьд (хуйн салхины чигт хандсан тангенциал хурдтай байх хагаст төвийн өнцгийг хоёр тэнцүү хуваах шулуунаас хойно хэмжих багаж байрлаж байх тохиолдол) салхины хэмжигдэх чиглэл

$$\varphi_0 = \delta + \alpha - \gamma.$$

Эдгээрээс

$$\varphi_0 = \delta \pm |\alpha - \gamma|$$

байна гэсэн дүгнэлт гарч байна. Эдгээрээс үзэхэд хэмжигдэх чиглэл нь хэмжилт явагдаж байгаа цэг дээрх векторуудын харилцан байршлаас хамаарах нь харагдаж байна. Хуй хэмжих багажийг салхины чиглэлд хандсан тангенциал хурдтай байх хагасаараа (Зураг 5-ын



Зураг 7. Төвийн өнцгийн янз бүрийн утганд харгалзах хэмжигдэх чиглэл.

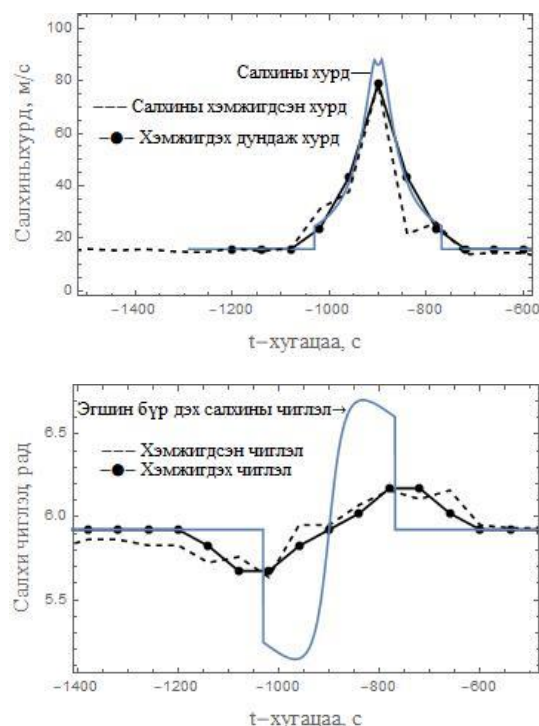
А ба В цэгүүд тэмдэглэгдсэн хэсэг буюу доод хагас) дайран гарч байх тохиолдолд хэмжигдэх өнцгийн утга өөр өөр төвийн өнцөгтэй хөвчийн дагууд хугацаанаас хамаарч ямар байхыг Зураг 7-д үзүүлэв.

Энэ загварыг ашиглан хуйн тангенциал хурд ба салхины хэмжигдэх хурдын хоорондох өнцөг γ болон хэмжигдэх хурд ба салхины чиглэлийн хоорондох өнцөг φ -г мөн хялбархан тооцоололон гаргаж болно. Эдгээр өнцгийн утгууд хэмжилтээр өгөгддөггүй. Гэхдээ бид салхины чиглэл φ_0 болон хэмжигдсэн хурдны утгыг ашиглан эдгээр өнцгүүдийг байгуулж болно.

ҮР ДҮН, ДҮГНЭЛТ

Өмнөх загварын хүрээнд салхины хурд, хуйн радиус болон хамгийн их тангенциал хурдны утгуудыг өгч салхины хурд ба чиглэлийн хугацааны эгшин бүр дэх өгөгдлийн санг байгуулж болно. Энэ өгөгдлөөс хугацааны тодорхой интервалаар дундажласан өгөгдлийг мөн байгуулж болох бөгөөд дундажлах интервал 1 минут бол энэ дундажлагдсан өгөгдөл яг салхины хэмжигдсэн хурд ба чиглэлийг өгнө. Ийм учраас салхины хурд, хуйн радиус, хөвчийн төвийн өнцөг болон хамгийн их тангенциал хурдны утгуудыг өөрчлөн өмнөх байдлаар дундажлан хэмжигдэх өгөгдлийг байгуулан түүнийг хэмжигдсэн өгөгдөлтэй жишин тохируулах замаар хурдны хэмжигдсэн

өгөгдлүүдийг байгуулж болно. Дундажлан байгуулсан энэ өгөгдөл салхины хэмжигдсэн өгөгдөлтэй тохирох хүртэл үүнийг үргэлжлүүлэн гүйцэтгэнэ.



Зураг 8. Салхины дотор хуй црэх үеийн салхины хурд ба чиглэлийн тооцоологдсон ба хэмжигдсэн утгын хугацааны хувьсал ($v_0 = 73.2 \text{ м/с}$, $\alpha_0 = \pi/12$, $R = 460 \text{ м}$, $\delta = 339.42^\circ$).

Хэмжсэн хурдны өгөгдөлтэй тохирч байгаа байгуулсан өгөгдлийн хувьд анх сонгон авсан салхины хурд, хуйн радиус, дайран гарч буй төвийн өнцөг болон хамгийн их тангенциал хурд нь бидний олох ёстой салхины жинхэнэ хэмжигдэхүүнүүд юм. Ийм замаар байгуулсан өгөгдлүүд болон хэмжигдсэн өгөгдлийг нэг хавтгай дээр байгуулсныг Зураг 8-д үзүүлэв. Эндээс 15.82 м/с хурдтай салхины дотор 2119 м радиустай, хамгийн их тангенциал хурд нь 72.9 м/с утгатай хуй ажиглагдсан бөгөөд энэ нь хэмжих багажийг $\pi/12$ төвийн өнцөгтэй хөвчөөрөө дайран гарсан гэж дүгнэж болно. Эх газарт ийм хүчтэй хуй бараг ажиглагддаггүй гэж үздэг. Гэхдээ ийм хүчтэй хуй бүртгэгдсэн хэд хэдэн тохиолдлыг бид хэмжилтийн өгөгдлөөс илрүүлсэн болно. Энэ асуудлыг бид одоогийн загварыг арай нарийвчлан дараагийн судалгаанд тодруулан авч үзэх юм. Ингэснээр одоогоор тооцоолон гаргаж байгаа утгуудыг ч бас зарим талаар нарийвчлан тодорхойлогдох боломжтой болох юм. Энэ тооцооллын явцад ашиглагдах

салхины хурд ба чиглэлийг хэмжигдсэн өгөгдлөөс шууд тооцоолон авах илүү тохиромжтой байдаг. Энэ загварыг цагийн зүүний эсрэг эргэж буй хуйн хувьд мөн хэрэглэж болно.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] Horton et. al, J. Geophys. Res. Atmos., 121, 7197, 2016.
- [2] Sinclair P.C, Journal of atmospheric sciences, 30, 1599, 1973. Sinclair P.C, Journal of applied meteorology, 8, 32, 1968.
- [3] Renno N.O et al., Journal of the atmospheric sciences, 55, 3244, 1998.
- [4] Cooley, J. R 'Dust devil meteorology'. NOAA Tech. Memo. NWS CR-42, National Weather Service, Silver Spring MD, USA, 1971.
- [5] N.A. Hawkes et al, 20th Australasian Fluid Mechanics Conference Perth, Australia 5-8 December 2016
- [6] Kanak, K. M, Q. J. R. Meteorol. Soc. 131, 1271, 2005.
- [7] O. Onishchenko et al. Ann. Geophys., 33, 1343–1347, 2015; Climate, 7, 12, 2019
- [8] Дундговь аймгийн Мандалговь станц (2009 оноос, MAWS)
- [9] Ж.Ванчинхүү нар, МУИС, ЭШБ, Физик, № 25 (478), 195, 2017.

Ургамлын лейцин баялаг давталт агуулсан уургийн 3_{10} -хеликс – β -эргэлтээс бүрдэх супер хоёрдогч бүтэц ба домен бүтцийн тодорхойлолт

Дашдаваа Батхишиг^{1,2}, Норио Мацushima^{3,4}, Пүрэвжав Энхбаяр^{2,*}

¹ Монгол улсын боловсролын их сургууль, Математик, байгалийн ухааны сургууль, Физикийн тэнхим,

² МУИС, ХШУИС, Мэдээлэл, компьютерын ухааны тэнхим, Биоинформатик ба систем биологийн лаборатори,

³ Тандем давталтын хүрээлэн

⁴ Саппорогийн анагаах ухааны их сургууль

Эукариот, бактери, архей болон вирусээс тодорхойлсон 430,000 гаруй уураг Лейцин Баялаг Давталт (ЛБД) агуулж байгаа нь тогтоогдоод байна. ЛБД-ууд нь 20-30 амин хүчлийн урттай бөгөөд зэрэгцсэн дараалалд тохиолддог. ЛБД агуулсан уураг нь тах, супер хеликс, эсвэл призм хэлбэрийн бүтэцтэй байх ба дотоод хүнхэр гадаргуудаа параллель β -утаслаг, гадаад гүдгэр гадаргуудаа ихэвчлэн хеликс бүтэц агуулна. Тухайн нэг ЛБД нь $LxxLxLxxNxL$ консенсус дараалалтай сайн хадгалагдсан хэсэг (СХХ) болон хувьсах хэсэг (ХХ)-ээс бүрдэнэ. ЛБД-ын найман анги байна. Ургамлын ЛБД-ын хувьсах хэсэг нь 3_{10} -хеликс болон β -эргэлтээр тодорхойлогдох ба консенсус дараалал нь 13 амин хүчлийн урттай ($xGxLPxxLxxLxx$) байна. Ургамлын дархлааны системийн болон сигнал дамжуулах уургуудад ЛБД агуулагддаг. Ургамлын ЛБД агуулсан уургийн бүтцийн онцлогийг ойлгохын тулд бид DSSP-PPII, XTLSSTR ба STRIDE гэсэн гурван программ ашиглан хоёрдогч бүтцийн онолт хийсэн. Уургийн 3D бүтэц дэх альфа-нүүрстөрөгч (C α) атомын координатыг ашиглан HELFIT программаар хеликсийн (алхам P , радиус r , нэг эргэлтэд оногдох амин хүчлийн тоо n , эргэлтийн чиглэл, тэнхлэгийн нэгж вектор) параметруудийг тодорхойлсон. ЛБД-ын хувьсах хэсэг нь N-терминал талдаа 5-аас 7 амин хүчлийн урттай баруун эргэлттэй 3_{10} -хеликс, C-терминал талдаа I төрлийн бета-эргэлтээс бүрдэж байна. Иймд ургамлын ЛБД-ын хувьсах хэсэг нь 3_{10} -хеликс болон β -эргэлт агуулсан супер хоёрдогч бүтцээр тодорхойлогдож байна. HELFIT-ийн үр дүнгээс харвал I төрлийн β -эргэлт нь баруун (+1) эргэлттэй хеликс байна. HELFIT программаар 3_{10} -хеликс (G), β -эргэлт (B), ЛБД домен (A) тус бүрийн хеликс тэнхлэгийн нэгж векторыг тодорхойлсон. Эдгээр гурван нэгж вектороор тодорхойлогдох Ω_1 , Ω_2 , ба Ω_3 бүтцийн параметр супер хоёрдогч бүтэц болон ЛБД домены бүтцийн онцлогийг тодорхойлж байна.

Түлхүүр үг: ургамлын лейцин баялаг давталт, 3_{10} -хеликс, I төрлийн β -эргэлт, супер хоёрдогч бүтэц, бүтцийн параметр.

I. ОРШИЛ

Лейцин Баялаг Давталт (ЛБД)-ууд нь 20-30 амин хүчлийн урттай бөгөөд зэрэгцсэн дараалалд тохиолддог. ЛБД-ийн тоо 2-оос 97 хүртэл байдаг. InterPro өгөгдлийн санд давхардсан тоогоор 430,000 гаруй ЛБД агуулсан уураг бүртгэгдсэн ба вирусээс эукариот хүртлэх бүх организмуудад илэрсэн [1]. Тухайн ЛБД нь сайн хадгалагдсан хэсэг (СХХ) болон хувьсах хэсэгт (ХХ)-ээс бүрдэнэ. ЛБД-ын найман анги байх ба Мацushima нар саяхан ЛБД-ын 23 төрлийг санал болгосон [2]. Энэ ангилал нь ЛБД-ын хувьсах хэсгийн хоёрдогч бүтцийн ялгаатай байдалд үндэслэгдсэн. Найман анги нь рибонуклеазе ингибитор төст (RI-like), цистейн агуулсан (ЦА), SDS22-төст, IRREKO,

бактерийн, ургамлын, ердийн, трепонемо ЛБД юм. СХХ нь 11 эсвэл 12 амин хүчлийн урттай бөгөөд $LxxLxLxx(N/C)(x/-)L$ үүнд “L” нь лейцин, изолейцин, валин, эсвэл фенилаланиныг, “N” нь аспарагин, треонин, серин, эсвэл цистеинийг, “C” нь цистеин, серин эсвэл аспарагиныг, “x” нь ямар нэгэн амин хүчлийг тэмдэглэх ба “-” нь тухайн байрлал дээр амин хүчил арчигдсаныг заана. Богино β -утаслаг бүтэц нь консенсус дарааллын доогуур зураастай 3-5 байрлал дахь амин хүчлүүдээс тогтдог. ЛБД агуулсан уургууд нь ерөнхийдөө морины тах, баруун (+1) эсвэл зүүн (-1) гарын эргэлттэй супер хеликс, эсвэл призм хэлбэртэй байдаг. ЛБД уурагт агуулагдах лейцин, валин, изолейцин, фенилаланин, гэх мэт гидрофоб амин

* Electronic address: enkhbayar.p@seas.num.edu.mn

хүчлүүд уургийн гидрофоб цөмийг үүсгэнэ. ЛБД уургийн N ба C терминал (төгсгөл)-ыг гидрофоб амин хүчлүүд агуулсан дарааллууд тагладаг [3-6].

ЛБД-ын ангиуд нь хувьсах хэсгийн α -хеликс, 3_{10} -хеликс, РРП-хеликс ба дараалсан хоёр эсвэл гурван β -эргэлт гэсэн хоёрдогч бүтцээрээ ялгаатай байдаг [2,7]. Эдгээр ЛБД агуулсан уургийн гүдгэр талын хоёрдогч бүтцүүд нь хүнхэр тал дахь β -ялтас бүтэцтэй хоёр гогцоогоор холбогдоно. Нэг гогцоо нь СХХ-ийн С-терминалыг ХХ-ийн N-терминалтай холбох бөгөөд түүнийг “өгсөх гогцоо” гэдэг. Нөгөө нь ХХ-ийн С-терминалыг дараагийн ЛБД-ийн СХХ-ийн N-терминалтай холбох бөгөөд үүнийг “уруудах гогцоо” гэнэ [2]. ЛБД домейн бүр нь хоорондоо эсрэг гүдгэр ба хүнхэр гадарга, өгсөх ба уруудах гадарга агуулдаг. ЛБД домейн нь уураг, даавар эсвэл лигандтай (нуклеин хүчил, липид, липополисахарид, ургамлын стероид гормон гэх мэт) шууд харилцан үйлчлэлд ордог. ЛБД домейнууд нь бүтцийн хувьд олон төрлийн уургуудтай эсвэл өөр өөр лигандуудтай холбогдох боломжтой байдаг. Учир нь ЛБД агуулсан уургийн нэг амин хүчилд харгалзах гадаргын талбай өндөр буюу глобулар-биш уураг юм [8].

ЛБД агуулсан уургууд нь ургамлын дархлааны хариу үйлдэл болон хөхтөн амьтдын дархлааны төрөлхийн хариу үйлдэл оролцдог. Түүнчлэн тэдгээр нь олон эст организмын эсийн програмчлагдсан үхэл, эсийн доторх биомолекулыг задлах систем, сигнал дамжуулал, мРНХ-ийн тээвэрлэлт, мэдрэлийн эсийн хөгжил гэх мэт олон төрлийн процессод оролцдог. Ургамлын ЛБД агуулсан уургуудын ихэнх нь катализатор буюу фермент, бусад нь рецептор төст уургууд байдаг ба эсийн гэмтлийн дохио өсгөгчийн үүрэг гүйцэтгэхээс гадна амьд организмуудын симбиоз харилцаа болон хөгжлийн процессуудад оролцдог [9-11].

Уургийн дараалал ба бүтцийн хоорондох хамаарал нь уургийн бүтцийн зарчмыг ойлгоход чухал ач холбогдолтой [3,12].

Бид өмнөх ажлаараа Бактерийн ЛБД-ын хувьсах хэсэгт РРП-хеликс ба I төрлийн β -эргэлтээс бүрдэх супер хоёрдогч бүтэц байгааг тогтоосон [9]. Бактерийн ЛБД бүтцийн хувьд РРП-хеликс (**P**), β -эргэлт (**B**) ба ЛБД домейны

үүсгэн супер хеликс (**A**) тэнхлэгүүд болох гурван нэгж векторыг тодорхойлсон бөгөөд эдгээрээр тодорхойлогдох гурван бүтцийн параметрийг дэвшүүлсэн [13].

Энэ судалгааны зорилго нь Ургамлын ЛБД агуулсан бүтцийн онцлогийг тодорхойлох явдал юм. Бид хоёрдогч бүтцийн оноолт гүйцэтгэхэд түгээмэл хэрэглэгддэг DSSP-PPH, XTLSSTR ба STRIDE программ болон HELFIT программыг хослуулан хэрэглэсэн.

Бидний дэвшүүлсэн бүтцийн гурван параметр нь 3_{10} -хеликс болон β -эргэлтийн тэнхлэг хоорондох өнцөг (Ω_1), 3_{10} -хеликс болон ЛБД домейны тэнхлэг хоорондох өнцөг (Ω_2), ЛБД домейн болон $\mathbf{G} \times \mathbf{B}$ векторын хоорондох өнцөг (Ω_3) юм. Эдгээр гурван өнцөг нь супер хоёрдогч бүтэц болон ЛБД домейны бүтцийн онцлогийг тодорхойлж чадаж байна.

II. ӨГӨГДӨЛ БА АРГА ЗҮЙ

A. Ургамлын ЛБД уураг

Уургийн бүтцийн өгөгдлийн сангаас (PDB) ургамлын ЛБД агуулсан бүх уургийн 3-хэмжээст бүтцийн өгөгдлүүдийг судалгаанд хэрэглэсэн. Тэдгээр уургийн өгөгдлүүдэд SIAS онлайн түүл ашиглан амин хүчлийн дарааллын харьцуулалт хийсэн [14]. Дараалал нь 100 хувь адил байх тохиолдолд хамгийн өндөр нарийвчлалтай тодорхойлогдсон бүтцийн өгөгдлийг тооцоололдоо ашигласан. 18 уургийн 3D бүтцийн нарийвчлал ≤ 3.06 Å байсан ба эдгээрийн 19 гинжний дарааллын ялгааны хувь нь 76.96 хувиас бага, дарааллууд дунджаар 93.18 %-ийн ялгаатай байсан.

Эдгээр уургийн амин хүчлийн дараалалд LRRpred алгоритмаар лейцин баялаг давталтыг тогтоож консенсус дараалалд үндэслэн Ургамлын ЛБД-ыг илүү найдвартай таамагласан [15]. Иймд ургамалд PXY z/TDR, RGFR1, AtPSKR, PEPR1, HAESA, BRI1, BRL1, ERL1, DcPSKR1, BIR2, AtSERK1, AtSERK2, AtSERK3, AtPRK3, AtPRK6RR, OsSERK2, PGIP, AtTMK1 гэсэн ЛБД агуулсан уургууд байна (Хүснэгт 1) [16-29].

B. Хоёрдогч бүтцийн оноолт

Хоёрдогч бүтцийн оноолтыг PolyprOnline вэб интерфэйсийн DSSP-PPH ба XTLSSTR [30] болон STRIDE-ийн вэб интерфэйсийг [31] ашиглан гүйцэтгэсэн. α -хеликс, 3_{10} -хеликс, β -

эргэлтийн хоёрдогч бүтцийн оноолтыг DSSP-PPII [32,33], XTLSSTR [34] ба STRIDE [35] програмуудаар хийв.

DSSP-PPII программын оноолт нь устөрөгчийн холбоосын энерги ба давталтыг үндэслэн хоёрдогч бүтцийг тодорхойлдог. STRIDE нь устөрөгчийн холбоосын энерги болон φ, ψ өнцгийн шалгуурыг хослуулан хоёрдогч бүтцийг оноодог [33]. Тус хоёр программын хувьд 3₁₀-хеликсийн хамгийн бага урт нь дараалсан хоёр устөрөгчийн холбоосоор ($i \leftarrow i+3$)

тодорхойлогддог. 3₁₀-хеликс нь хамгийн багадаа 3 дүрмээр 5 амин хүчлийн урттай бөгөөд эхний амин хүчлийн C=O бүлэг болон сүүлийн амин хүчлийн N-H бүлэг устөрөгчийн холбоост оролцдог [36]. XTLSSTR нь хоёр өнцөг ($\text{dison3}=\text{O}(i)\text{N}(i+3)$, $\text{dison4}=\text{O}(i)\text{N}(i+4)$, $\text{discn3}=\text{C}(i)\text{N}(i+3)$) хоёрдогч бүтцийг оноодог [34]. Иймд 3₁₀-хеликс нь хамгийн багадаа хоёр амин хүчлийн урттай байна.

Хүснэгт 1. Ургамлын ЛБД агуулсан уургуудын тодорхойлогдсон буй бүтцүүд.

№	Уураг	PDBid_гинж	Нарийвчлал (Å)	LRR (XX)	XX=13 а.х	Супер хоёрдогч бүтцийн тоо		
						DSSP-PPII	STRIDE	XTLSSTR
1	PXY/TDR	5JFK_A	2.65	22	21	18	18	13
2	RGFR1	5HZ0_B	2.56	25	21	23	23	16
3	AtPSKR	4Z63_A	2.51	21	16	14	14	10
4	PEPR1	5GR8_A	2.59	27	25	20	20	19
5	HAESA	5IXO_A	1.74	22	17	15	14	11
6	BRI1	3RGZ	2.28	25	13	13	13	15
7	BRL1	4J0M_A	2.50	24	12	14	14	13
8	FLS2	4MN8_A	3.06	30	27	24	25	22
9	ERL1	5XJO_A	2.63	20	19	16	19	12
10	DcPSKR1	4Z5W_A	2.20	21	16	13	12	11
11	AtSERK1	6FG8_A	1.25	5	5	4	4	4
12	BIR2	6FG7_A	1.90	5	4	4	4	3
13	AtSERK2	6G3W_A	2.20	5	5	4	4	4
14	AtPRK6PR	5Y9W_A	1.85	6	3	4	4	3
15	AtSERK3	4MN8_B	3.06	5	5	4	4	4
16	AtPRK3	5WLS_A	2.50	7	2	2	3	2
17	PsSERK2	4Q3I_A	2.35	6	5	4	4	7
18	PGIP	1OGQ	1.70	9	6	7	7	5
19	AtTMK1	4HQ1_A	1.55	14	5	7	7	5
				299	227	210	213	179

DSSP-PPII, STRIDE, XTLSSTR гурван программын β-эргэлтийн тодорхойлолт нь хоорондоо ялгаатай байдаг. DSSP нь хамгийн бага урттай 3₁₀-хеликсийн дараалсан хоёр устөрөгчийн холбоосын хоёр дахь устөрөгчийн холбоосыг хасаж дөрвөн амин хүчлийн урттай (i -ээс $i+3$ хүртэл) β-эргэлтийг оноодог [33]. STRIDE нь β-эргэлтийн $i+1$ болон $i+2$ дугаар амин хүчлийн φ, ψ өнцгийн утгаар тодорхойлдог [35]. Харин XTLSSTR нь $\text{O}(i)$ -өөс $\text{N}(i+3)$ хүртэлх зай 3.5 Å-ээс бага бол устөрөгчийн холбоостой β-эргэлт (T), $\text{dison3} < 4.7$ Å бол устөрөгчийн холбоосгүй β-эргэлт (N) гэж онооно [34].

С. Хеликсийн параметр

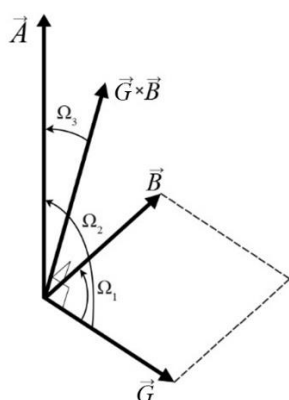
Бид өгөгдлийн цэгүүдэд хамгийн бага квадратын аргаар хеликсийн фиттинг гүйцэтгэдэг HELFIT программаар хеликсийн (ЛБД домеин, 3₁₀-хеликс, β-эргэлт) параметруудийг тодорхойлсон. Үүнд: хеликсийн алхам (P), нэг эргэлтэнд харгалзах амин хүчлийн тоо (n), радиус (R), эргэлтийн чиглэл (Handedness), тэнхлэгийн нэгж вектор (i, j, k), нэг амин хүчилд харгалзах хеликсийн тэнхлэгийн дагуух шилжилт ($\Delta z = P/N$) ба Вороной эзлэхүүнийг $V_c = \pi R^2 \Delta z$ бодно. Түүнчлэн HELFIT нь RMSD бодох бөгөөд d_i нь өгөгдлийн цэгээс хеликсийн мурий хүртэлх хамгийн бага зай.

$$\text{RMSD} = \left[\frac{(\text{the minimum of } \sum d_i)}{n} \right]^{1/2} \quad (1)$$

Энд $p = \text{RMSD}/(n-1)^{1/2}$ өгөгдлийн цэгийн тоо эсвэл хеликсийн уртаас хамааралгүй хеликсийн бүтцийн төлөвийг тогтооно [37]. Зөв буюу алдаа багатай 3_{10} -хеликсийн хувьд шалгуур $p \leq 0.10 \text{ \AA}$ байна [38]. HELFIT нь хамгийн багадаа өгөгдлийн дөрвөн цэг шаардлагатай бөгөөд цэг нь амин хүчил бүрийн α -нүүрстөрөгч атомын ($\text{C}\alpha$) координат байна [39]. ЛБД домейны хеликсийн параметруудийг тодорхойлохдоо СХХ бүрийн β -утаслагийн 4-р байрлал дахь лейцин эсвэл изолейцин амин хүчлийн $\text{C}\alpha$ координатыг хэрэглэсэн. Тухайн ЛБД домейны давталтын тоо нь параллель β -яласт оролцож буй β -утаслагийн тоогоор тодорхойлно [40]. Энэ тодорхойлолт ёсоор зарим тохиолдолд эхний ЛБД-ад малгай бүтэц орж болно. β -эргэлт нь 4 амин хүчлээс бүрдэх ба түүний амин хүчил бүрийн $\text{C}\alpha$ координатаар хеликсийн параметруудийг тооцоолсон.

D. Бүтцийн параметр

Бид ургамлын ЛБД домейн ($\mathbf{A}$), 3_{10} -хеликс ($\mathbf{G}$) болон β -эргэлт ($\mathbf{B}$) тус бүрийн хеликс тэнхлэгийн нэгж векторыг HELFIT-ээр тодорхойлж дараах гурван бүтцийн параметрийг дэвшүүлсэн (Зураг 1).



Зураг 1. Ω_1 , Ω_2 , ба Ω_3 өнцгийн тодорхойлолт.

Ω_1 нь 3_{10} -хеликс ($\mathbf{G}$) болон β -эргэлтийн ($\mathbf{B}$) хеликсийн тэнхлэгийн нэгж векторын хоорондох өнцөг (томъёо 2). Ω_2 нь 3_{10} -хеликс($\mathbf{G}$) ба ЛБД домейны ($\mathbf{A}$) хеликсийн нэгж тэнхлэг хоорондох өнцөг (томъёо 3). Ω_3 нь нормаль вектор ($\mathbf{G} \times \mathbf{B}$) ба ЛБД домейны хеликсийн тэнхлэгийн нэгж ($\mathbf{A}$) векторын хоорондох өнцөг

(томъёо 4). Эдгээр Ω_1 , Ω_2 , ба Ω_3 гурван өнцгүүд дараах томъёогоор илэрхийлэгдэнэ.

$$\mathbf{G} \cdot \mathbf{B} = |\mathbf{G}| |\mathbf{B}| \cos \Omega_1 \quad (2)$$

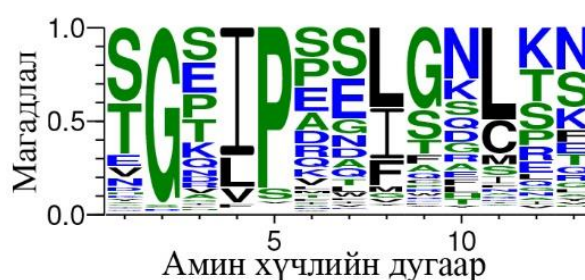
$$\mathbf{G} \cdot \mathbf{A} = |\mathbf{G}| |\mathbf{A}| \cos \Omega_2 \quad (3)$$

$$(\mathbf{G} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{A} = |\mathbf{G} \times \mathbf{B}| |\mathbf{A}| \cos \Omega_3 \quad (4)$$

III. ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

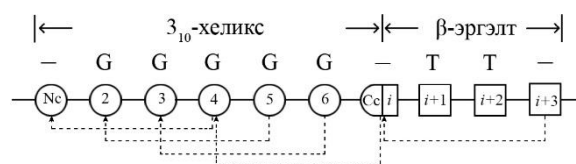
A. Ургамлын ЛБД-ын хувьсах хэсэг

Бид 3D бүтэц нь тодорхойлогдсон 18 уургийн өгөгдлөөс 299 ургамлын ЛБД-ийг тодорхойлсон. Эдгээр давталт нь 24 амин хүчлийн урттай бөгөөд СХХ-ийн урт 11 (LxxLxLxxNxL) бол ХХ-ийн урт нь 13 амин хүчлээс тогтох (xGxLPxxLxxLxx) ЛБД 227 байна (Хүснэгт 1). Ургамлын ЛБД-ын 13 амин хүчлийн урттай ХХ хэсгүүдийн байрлал бүр дэх амин хүчлийн тохиолдох магадлалыг WebLogo онлайн түүл ашиглан тооцоолсон (Зураг 2) [41]. $(\text{S/T})\text{Gx}(\text{I/L/V})\text{Pxx}(\text{L/I/F})(\text{G/S/T/F})\text{x}(\text{L/C/M})\text{xx}$ консенсус дарааллын хаалтанд болон тэмдэглэсэн амин хүчлүүдийн тохиолдох магадлал 0.7-оос дээш байна.



Зураг 2. Ургамлын ЛБД-ын ХХ-ийн консенсус дарааллын тухайн байрлалд амин хүчил тохиолдох магадлал.

Хоёрдогч бүтцийн оноолтоос харвал нийт ургамлын ЛБД-ын 202-т нь төвийн мужид долоон амин хүчлийн урттай 3_{10} -хеликс, С-терминал талд β -эргэлт, зарим тохиолдолд 3_{10} -хеликс нь тав эсвэл зургаан амин хүчлийн урттай байна. Иймд ургамлын ЛБД-ын ХХ хэсгүүд нь 3_{10} -хеликс болон β -эргэлтээс бүрдэх супер хоёрдогч бүтцээр тодорхойлогдсон (Зураг 3).

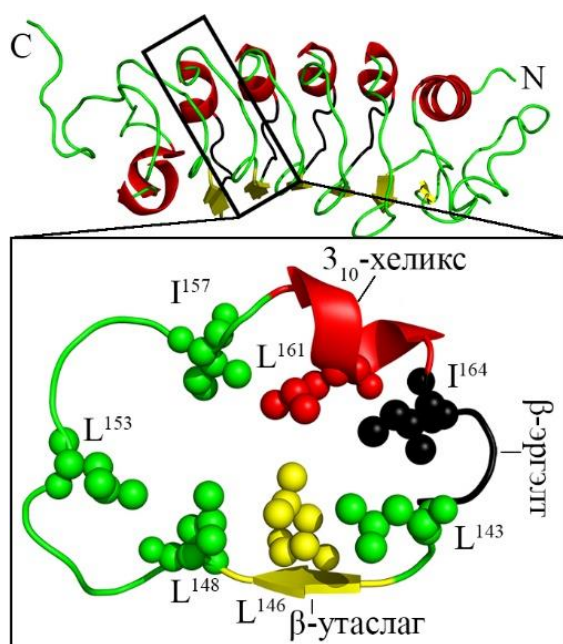


Зураг 3. Ургамлын ЛБД-д тодорхойлогдсон 3_{10} -хеликс ба β -эргэлтээс бүрдсэн супер хоёрдогч бүтцийн бүдүүвч. 3_{10} -

хеликс (G) нь долоон амин хүчлийн урттай ба β-эргэлтийн (T) 4 амин хүчил (i , $i+1$, $i+2$, $i+3$). Устөрөгчийн холбоосыг тасархай шулуунаар үзүүлэв.

В. XX-ийн хоёрдогч бүтцийн оноолт

Уургийн хоёрдогч бүтцийн сегментийн захын амин хүчлийг хоёрдмол утгагүй шийдвэрлэхэд бэрхшээлтэй байдаг [42]. Бид β-эргэлийн сонгодог тодорхойлолтыг үндэслэн түүний i дүгээр амин хүчил нь DSSP-PPII-ийн “TT” оноолтын өмнөх N-терминалд ба STRIDE болон XTLSSTR-ын “TTT” эсвэл “NNN” оноолтын N-терминалд байгааг тогтоосон [43]. XX-ийн C-терминалын дараалсан хоёр β-эргэлтийг DSSP-PPII “-TT-TT-” гэж оноосон бол STRIDE болон XTLSSTR-ийн оноолт ижилхэн “TTTTTT” байна.



Зураг 4. AtSERK1 (6FG8) уургийн A гинжний 4 дэх ЛБД. Тус давталтын XX-т 3₁₀-хеликс болон устөрөгчийн холбоосгүй I төрлийн β-эргэлтээс бүрдэх супер хоёрдогч бүтэц. Сферээр лейцин болон изолейцин амин хүчлийн хажуугийн гинжний (радикалын бүлэг) атомууд.

Жишээ нь, бидний өгөгдлөөс хамгийн өндөр нарийвчлалтай 3D бүтэц нь тодорхойлогдсон AtSERK1 (6FG8) уургийн A гинжний 4 дүгээр ЛБД-ын XX-ийн “TGSIPMSLTNIIT” хоёрдогч бүтцийн оноолт “EPPPGGGGG-TT” (DSSP-PPII), “CCCCCGGGGGTTT” (STRIDE), ба “p-PPpGGGGgNNN” (XTLSSTR) байна. Үүнд PMSLTNI дараалал нь 7 амин хүчлийн урттай 3₁₀-хеликс бол C-терминалын ITTL нь β-эргэлт болно. 3₁₀-хеликсийн C-малгай амин хүчил болон β-эргэлтийн i дүгээр амин хүчил нь

изолейцин I бөгөөд түүний сүүлийн лейцин “L” амин хүчил нь дараагийн ЛБД-ын CXX-ийн эхний амин хүчил юм (Зураг 4). Ургамлын ЛБД дахь XX-ийн N-терминалын эхний 5 амин хүчлийн хоёрдогч бүтцийн оноолт гурван программ бүр хоорондоо ялгаатай байна.

С. 3₁₀-хеликс ба β-эргэлтийн хеликсийн параметр

Бид ургамлын ЛБД агуулсан уургуудын 19 гинжийг DSSP-PPII, XTLSSTR ба STRIDE програмуудаар хоёрдогч бүтцийн оноолт хийсэн (Хүснэгт 1). DSSP-PPII программаар 5-аас 11 амин хүчлийн урттай 210, XTLSSTR-ээр 4-өөс 10 урттай 179 ба STRIDE-аар 5-аас 11 амин хүчлийн урттай 213 3₁₀-хеликсийг илрүүлсэн. Гурван программ тус бүрийн оноосон 3₁₀-хеликс ба β-эргэлтийн хеликсийн параметруудийг HELFIT программаар тооцоолж олсон (Хүснэгт 2). Харин хүснэгтэнд оруулаагүй хеликсийн эргэлтийн чиглэл параметрийн утга β-эргэлт болон 3₁₀-хеликс бүгд +1 буюу баруун байсан. 1987 онд Барлов, Торнтон нар 57 глобулар уургийн кристалл бүтцээс нийт 71 3₁₀-хеликсийг илрүүлсэн [44] бол Перутз (1951), Паулинг нар (1951) каноник 3₁₀-хеликсийн параметруудийг тодорхойлсон байдаг [45,46]. Мөн Энхбаяр нар 3₁₀-хеликсүүдийн параметрийг HELFIT программаар тодорхойлсон [38,47]. Харин ургамлын ЛБД-ын XX-т бидний илрүүлсэн 3₁₀-хеликсийн бүх параметрууд дээрх 3₁₀-хеликсүүдийнхээс их гарсан.

ЛБД агуулсан уураг нь глобулар бус бөгөөд түүний молекулын масст харгалзах усан орчинтой харилцан үйлчлэлцэх гадаргын талбай, холбоосын хэсгийн гадаргын талбай, цэнгийн гадарга нягт зэрэг хэмжигдэхүүний дундаж утга глобулар уургуудаас их байдаг [48,49].

Д. Супер хоёрдогч бүтэц ба ЛБД домеины бүтцийн параметр

Бид өмнөх ажлаараа бактерийн ЛБД-д уургийн XX-ийн PPII-хеликс ба β-эргэлт агуулсан супер хоёрдогч бүтэц ба ЛБД домеин бүтцийн параметруудийг тодорхойлсон (Зураг 1). Энэ удаад DSSP-PPII, XTLSSTR ба STRIDE программаар тодорхойлсон 3₁₀-хеликс ба β-эргэлтээс бүрдэх супер хоёрдогч бүтэц болон

ЛБД домейны гурван бүтцийн параметрийг тодорхойлсон утгыг 2-р хүснэгтэд үзүүлэв.

DSSP-PPII программын оноолтыг үндэслэн тодорхойлсон супер хоёрдогч бүтцийн Ω_1

өнцгийн утга 38.80° -аас 110.99° хооронд байхад дундаж утга 75.61° байна. Ургамлын ЛБД домейн бүтцийн Ω_2 болон Ω_3 өнцгийн дундаж 139.39° ба 85.34° утгатай байна (Хүснэгт 3).

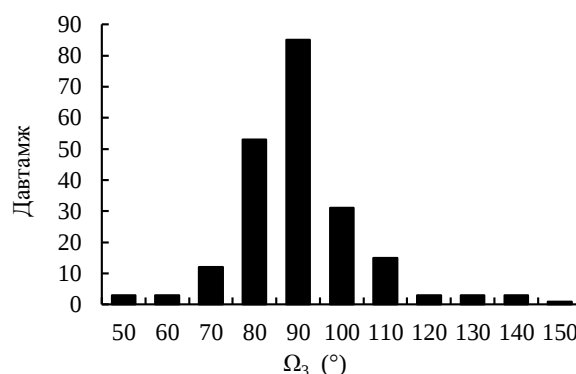
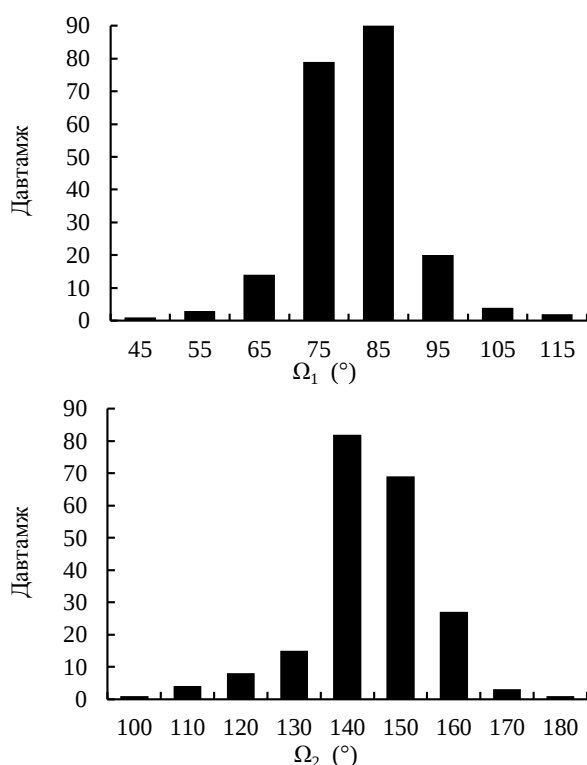
Хүснэгт 2. 3_{10} -хеликс ба β -эргэлийн хеликсийн параметруудийн дундаж. Хаалтанд стандарт хазайлт.

Программ	3_{10} -хеликс						
	N	$P, \text{\AA}$	n	$R, \text{\AA}$	$p, \text{\AA}$	$\Delta z, \text{\AA}$	$V_c, \text{\AA}^3$
DSSP-PPII	6.74(0.79)	6.08(0.16)	3.24(0.10)	2.02(0.07)	0.09(0.04)	1.88(0.07)	24.01(0.99)
XTLSSTR	5.24(0.77)	6.00(0.22)	3.20(0.16)	1.99(0.10)	0.06(0.04)	1.88(0.12)	23.33(0.90)
STRIDE	6.57(0.84)	6.05(0.15)	3.24(0.09)	2.02(0.06)	0.08(0.03)	1.87(0.07)	23.96(0.83)
Программ	β -эргэлт						
	N	$P, \text{\AA}$	n	$R, \text{\AA}$	$p, \text{\AA}$	$\Delta z, \text{\AA}$	$V_c, \text{\AA}^3$
DSSP-PPII	4	6.09(0.75)	3.74(0.39)	2.29(0.30)	0.03(0.04)	1.66(0.36)	26.45(3.35)
XTLSSTR	4	6.08(0.77)	3.78(0.29)	2.32(0.22)	0.03(0.04)	1.63(0.29)	26.88(2.70)
STRIDE	4	6.09(0.78)	3.76(0.36)	2.30(0.27)	0.03(0.04)	1.65(0.33)	26.66(3.01)

Хүснэгт 3. Ургамлын ЛБД агуулсан уургийн бүтцийн параметр.

Программ	Дундаж ($^\circ$)	MAX ($^\circ$)	MIN ($^\circ$)
DSSP-PPII	75.61 $\pm$ 9.20	110.99	38.80
Ω_1 XTLSSTR	75.39 $\pm$ 10.85	123.04	37.39
STRIDE	74.43 $\pm$ 11.89	121.39	29.42
DSSP-PPII	139.39 $\pm$ 11.18	174.99	99.48
Ω_2 XTLSSTR	138.72 $\pm$ 10.96	172.95	102.40
STRIDE	139.48 $\pm$ 10.64	174.99	101.60
DSSP-PPII	85.34 $\pm$ 14.83	149.01	46.93
Ω_3 XTLSSTR	83.97 $\pm$ 16.72	147.95	41.62
STRIDE	85.90 $\pm$ 16.73	154.82	46.50

DSSP-PPII программаар тус гурван өнцгийн давтамжийн түгэлтийг 5-р зурагт үзүүлэв.



Зураг 5. Ω_1 , Ω_2 , ба Ω_3 өнцгийн давтамжийн түгэлт (DSSP-PPII).

IV. ДҮГНЭЛТ

Бид уургийн хоёрдогч бүтцийн оноолтын гурван программаар ургамлын ЛБД-ын ХХ нь 3_{10} -хеликс болон β -эргэлтээс бүрдэх супер хоёрдогч бүтэцтэй болохыг тогтоосон. Мөн түүний консенсус дараалал 13 амин хүчлийн урттай (xGxLPxxLxxLxx) ба “L” нь лейцин, изолейцин, валин, фенилаланин, цистеин, метионин зэрэг гидрофобик амин хүчлүүд байна. HELFIT программаар 3_{10} -хеликс (**G**), β -эргэлт (**B**), ЛБД домейн (**A**) тус бүрийн хеликсийн тэнхлэгийн нэгж векторыг тодорхойлсон. Эдгээр нэгж вектороор тодорхойлогдох Ω_1 , Ω_2 , ба Ω_3 бүтцийн параметр нь супер хоёрдогч бүтэц ба ЛБД домейн бүтцийн онцлогийг тодорхойлж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] R. D. Finn, T. K. Attwood, P. C. Babbitt, A. Bateman, P. Bork, Z. Dosztányi, S. El-Gebali,

- and M. Fraser, *Nucleic acids research* **45**, D190 (2016).
- [2] N. Matsushima and R. Kretsinger, Saarbrücken: LAMBERT Academic Publishing, 1 (2016).
- [3] B. Kobe and A. V. Kajava, *Current opinion in structural biology* **11**, 725 (2001).
- [4] N. Matsushima, H. Miyashita, T. Mikami, and Y. Kuroki, *BMC microbiology* **10**, 235 (2010).
- [5] N. Matsushima, S. Takatsuka, H. Miyashita, and R. H. Kretsinger, *Protein and peptide letters* **26**, 108 (2019).
- [6] I. Miras, F. Saul, M. Nowakowski, P. Weber, A. Haouz, W. Shepard, and M. Picardeau, *Acta Crystallographica Section D: Biological Crystallography* **71**, 1351 (2015).
- [7] A. A. Adzhubei, M. J. Sternberg, and A. A. Makarov, *Journal of molecular biology* **425**, 2100 (2013).
- [8] B. Kobe and J. Deisenhofer, *Current opinion in structural biology* **5**, 409 (1995).
- [9] I. P. Calil and E. P. B. Fontes, *Annals of botany* **119**, 711 (2017).
- [10] K. Toth and G. Stacey, *Frontiers in plant science* **6**, 401 (2015).
- [11] L. McHale, X. Tan, P. Koehl, and R. W. Michels, *Genome biology* **7**, 212 (2006).
- [12] C. Bystroff, Y. Shao, and X. Yuan, *Applied bioinformatics* **3**, 97 (2004).
- [13] D. Batkhishig, K. Bilguun, P. Enkhbayar, H. Miyashita, R. H. Kretsinger, and N. Matsushima, *The protein journal* **37**, 223 (2018).
- [14] D. Kanduc, *Journal of peptide science: an official publication of the European Peptide Society* **18**, 487 (2012).
- [15] N. Matsushima and H. Miyashita, *Biomolecules* **2**, 288 (2012).
- [16] Z. Li, S. Chakraborty, and G. Xu, *PLoS One* **12**, e0175317 (2017).
- [17] W. Song, L. Liu, J. Wang, Z. Wu, W. Li, Z. Han, H. Guo, and J. Chai, *Cell Res* **26**, 674 (2016).
- [18] J. Wang, H. Li, Z. Han, H. Zhang, T. Wang, G. Lin, J. Chang, W. Yang, and J. Chai, *Nature* **525**, 265 (2015).
- [19] J. Tang, Z. Han, Y. Sun, H. Zhang, X. Gong, and J. Chai, *Cell research* **25**, 110 (2015).
- [20] J. Santiago, B. Brandt, M. Wildhagen, U. Hohmann, L. A. Hothorn, M. A. Butenko, and M. Hothorn, *eLife* **5**, e15075 (2016).
- [21] J. She, Z. Han, T.-W. Kim, J. Wang, W. Cheng, J. Chang, and J. Chai, *Nature* **474**, 472 (2011).
- [22] J. She, Z. Han, B. Zhou, and J. Chai, *Protein & cell* **4**, 475 (2013).
- [23] Y. Sun, L. Li, A. P. Macho, Z. Han, Z. Hu, C. Zipfel, J. M. Zhou, and J. Chai, *Science* **342**, 624 (2013).
- [24] U. Hohmann, J. Nicolet, A. Moretti, L. A. Hothorn, and M. Hothorn, *Nature plants* **4**, 345 (2018).
- [25] X. Zhang, W. Liu, T. T. Nagae, H. Takeuchi, H. Zhang, Z. Han, T. Higashiyama, and J. Chai, *Nature communications* **8**, 1331 (2017).
- [26] R. McAndrew, R. N. Pruitt, S. G. Kamita, J. H. Pereira, D. Majumdar, B. D. Hammock, P. D. Adams, and P. C. Ronald, *Acta crystallographica. Section D, Biological crystallography* **70**, 3080 (2014).
- [27] A. Di Matteo, L. Federici, B. Mattei, G. Salvi, K. A. Johnson, C. Savino, G. De Lorenzo, D. Tsernoglou, and F. Cervone, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **100**, 10124 (2003).
- [28] P. Liu, Z. Hu, B. Zhou, S. Liu, and J. Chai, *Cell Res* **23**, 303 (2013).
- [29] G. Lin, L. Zhang, Z. Han, X. Yang, W. Liu, E. Li, J. Chang, and J. Chai, *Genes & development* **31**, 927 (2017).
- [30] R. Chebrek, S. Leonard, A. G. de Brevern, and J. C. Gelly, *Database : the journal of biological databases and curation* **2014** (2014).
- [31] M. Heinig and D. Frishman, *Nucleic acids research* **32**, W500 (2004).
- [32] Y. Mansiaux, A. P. Joseph, J. C. Gelly, and A. G. de Brevern, *PLoS One* **6**, e18401 (2011).
- [33] W. Kabsch and C. Sander, *Biopolymers* **22**, 2577 (1983).
- [34] S. M. King and W. C. Johnson, *Proteins* **35**, 313 (1999).
- [35] D. Frishman and P. Argos, *Proteins* **23**, 566 (1995).
- [36] *The Biochemical journal* **121**, 577 (1971).
- [37] P. Enkhbayar, S. Damdinsuren, M. Osaki, and N. Matsushima, *Computational biology and chemistry* **32**, 307 (2008).

- [38] P. Enkhbayar, K. Hikichi, M. Osaki, R. H. Kretsinger, and N. Matsushima, *Proteins* **64**, 691 (2006).
- [39] P. Enkhbayar, S. Damdinsuren, M. Osaki, and N. Matsushima, *Computational biology and chemistry* **32**, 307 (2008).
- [40] N. Matsushima, H. Miyashita, P. Enkhbayar, and R. H. Kretsinger, *Biomolecules* **5**, 1955 (2015).
- [41] G. E. Crooks, G. Hon, J. M. Chandonia, and S. E. Brenner, *Genome research* **14**, 1188 (2004).
- [42] J. Martin, G. Letellier, A. Marin, J. F. Taly, A. G. de Brevern, and J. F. Gibrat, *BMC structural biology* **5**, 17 (2005).
- [43] E. G. Hutchinson and J. M. Thornton, *Protein Science* **5**, 212 (1996).
- [44] D. J. Barlow and J. M. Thornton, *Journal of molecular biology* **201**, 601 (1988).
- [45] L. Pauling, R. B. Corey, and H. R. Branson, *Proceedings of the National Academy of Sciences* **37**, 205 (1951).
- [46] M. Perutz, *Nature* **167**, 1053 (1951).
- [47] P. Enkhbayar and N. Matsushima, *AIP Conference Proceedings* **1479**, 1942 (2012).
- [48] Q. R. Fan and W. A. Hendrickson, *Proteins* **72**, 393 (2008).
- [49] U. Hohmann, J. Santiago, J. Nicolet, V. Olsson, F. M. Spiga, L. A. Hothorn, M. A. Butenko, and M. Hothorn, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **115**, 3488 (2018).

Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлыг илэрхийлэгч зарим оптик параметруудийн жилийн явцын судалгаа (2015-2018)

Ц.Баатарчулуун^{1,*}, Г.Батсүх¹, Б.Даариймаа¹, Б.Жавзандолгор¹, Т.Нарангарав¹, Н.Түгжсүрэн²

¹ МУИС, ШУС, Геологи, Геофизикийн тэнхим

² ШУТИС, Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан Инженерчлэлийн Сургууль

Улаанбаатар хотод 2015-2018 онд хийгдсэн нарны шулуун цацрагийн болон альмункантратын хэмжилтийн өгөгдлөөр агаарын бохирдлыг илэрхийлэгч гол оптик параметрууд болох аэрозолын спектраль оптик зузаан $\tau_{a,\lambda}$ болон аэрозолын хэмжээгээр түгэх түгэлтийг тодорхойлж, тэдгээрийн жилийн явцыг судлаж, өөрчлөлт хувьслын зүй тогтлыг байгаль, цаг уур, нийгмийн хүчин зүйлстэй холбон тайлбарлах оролдлого хийлээ.

PACS number: 92.60.Mt

Түлхүүр үг: Агаарын бохирдол, Аэрозол, Оптик зузаан, Аэрозолын хэмжээгээр түгэх түгэлт.

I. ОРШИЛ

Нийслэл Улаанбаатар хотын хувьд нэн тулгамдаж буй асуудлын нэг нь агаарын бохирдол болоод байна. Үүнтэй уялдуулан агаар мандлын бохирдлыг илэрхийлэгч оптик параметруудийн өөрчлөлт хувьслын зүй тогтлыг Улаанбаатар хот орчимд хэмжин тодорхойлох, үнэлэх нь шинжлэх ухааны болон практикийн чухал ач холбогдолтой юм. Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд 2015-2018 оны хооронд буюу сүүлийн 4 жилийн хугацаанд Улаанбаатар станцад ($\varphi=47.923N$, $\lambda=106.921E$, $h=1334.0m$) Скайрадиометр POM-01 багаж ашиглан 10 минут тутамд хийсэн нарны шулуун цацрагийн болон альмункантратын хэмжилтийн өгөгдлөөр агаарын бохирдлыг илэрхийлэгч гол оптик параметрууд болох аэрозолын спектраль оптик зузаан $\tau_{a,\lambda}$ болон аэрозолын эзэлхүүний түгэлтийг тодорхойлж, тэдгээрийн жилийн явцыг судлаж, өөрчлөлт хувьслын зүй тогтлыг байгаль, цаг уур, нийгмийн хүчин зүйлстэй холбон тайлбарлах зорилт тавин ажиллаа.

II. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Агаар мандлыг бүрдүүлэгч хийн молекулууд дээрх Релейн сарнил, агаар мандал дахь усны уур, озоны давхарга болон бусад хийн шингээлт, аэрозол дээрх гэрэл сарних, шингэх процессуудын дүнд газрын гадаргад ирж буй нарны цацрагийн эрчим сулрахаас гадна

цацрагийн спектр бүтэц өөрчлөгддөг. Спектрийн янз бүрийн муж дахь нарны цацрагийн сулралын хэмжээг тодорхойлох нь агаар мандалд орших төрөл бүрийн гарал үүсэл бүхий аэрозол буюу агаарын бохирдлыг үнэлэх боломжийг олгодог.

Бүс нутгийн болон дэлхийн уур амьсгалд үзүүлж буй аэрозолын нөлөөллийг судлах зорилгоор хэмжилтийн станцуудыг дэлхий даяар байгуулан хэмжилт, судалгааг гүйцэтгэж байна. 1997 оноос аэрозол болон нарны цацрагийн хэмжилт хийх боломжтой газрын станцуудын SKYNET сүлжээг (<http://atmos.cr.chiba-u.ac.jp/aerosol/skyNET>) Ази тивийн хэд хэдэн хотод байгуулан судалгааны ажлыг системтэйгээр явуулж эхэлсэн юм. МУИС-ийн Геологи, Геофизикийн тэнхимийн судлаачид энэхүү олон улсын сүлжээнд хамрагдан, агаар мандлын оптик төлвийн хэмжилтийн иж бүрэн станцыг МУИС-д байгуулж, 2013 оноос эхлэн хэмжилт, судалгааны ажлыг тасралтгүй хийж байна.

Судалгааны ажилд Голланд улсын Kipp&Zonen фирмд үйлдвэрлэсэн POM-1 скайрадиометр багажийг (Зураг 1) ашигласан ба уг багаж нь нарны шулуун цацрагийг $\lambda=315$ нм, 400 нм, 500 нм, 675 нм, 870 нм, 940 нм, 1020 нм гэсэн долгионы уртын утгуудад хэмжих боломжтой юм. Мөн тэнгэрийн мандлаас сарнисан гэрлийн эрчмийг сонгосон сарнилын

* Electronic address: baataarchuluun@num.edu.mn

өнцгийн утгуудад хэмжиж (альмункантратын хэмжилт) сарнилын индикатрисийг тодорхойлсноор агаар мандал дахь аэрозолын оптик үзүүлэлтүүд болох Ангстрёмийн экспонент, аэрозолын хугарлын илтгэгч ($m_i - im_i$), нэг сарнилын алbedo (ω), аэрозолын эзэлхүүний түгэлт (VSD), ассиметрийн параметр (g) зэргийг үнэлэх боломжийг олгодог [1].



Зураг 1. Скайрадиометр POM-01 багаж.

Агаар мандлын бохирдлын оптик параметруудийн онолын үндэс болон бусад дэлгэрэнгүй ойлголтуудыг өмнө хэвлэгдсэн бүтээлүүдээс авах боломжтой [1-4].

III. ХЭМЖИЛТИЙН ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

A. Аэрозолын спектрал оптик зузаан

Дэлхийн агаар мандлыг нэвтлэн ирж буй нарны шулуун цацрагийн эрчим агаар мандал дахь аэрозолын улмаас сулрах хэмжээг аэрозолын оптик зузаан (АОЗ) илэрхийлнэ. АОЗ нь гэрлийн долгионы уртаас хамаарах ба спектрийн тухайн мужид тодорхойлсон утгыг аэрозолын спектраль оптик зузаан хэмээн нэрлэдэг. АОЗ-ы утга нь орон зай болон цаг хугацааны хувьд өөрчлөгдөн хувьсаж байдаг хэмжигдэхүүн бөгөөд агаар мандал дахь байгалийн болон хүний үйл ажиллагааны гаралтай аэрозолын хэмжээг үнэлэх гол параметр юм.

Агаар мандал дахь нарны цацрагийн эрчмийн сулралын хууль буюу Буге-Ламбертийн хуулиас агаар мандлын ерөнхий оптик зузааныг илэрхийлж бичвэл:

$$\tau_{\lambda} = -\frac{1}{m(\theta)} \ln \left(\frac{I_{\lambda}}{I_{\lambda 0}} \right) = \frac{1}{m(\theta)} \ln \left(\frac{I_{\lambda 0}}{I_{\lambda}} \right) \quad (1)$$

Энд: $I_{\lambda 0}$ - спектрийн тухайн мужид агаар мандлын гадна хил дээр ирж байгаа нарны шулуун цацрагийн эрчмийн утга

I_{λ} - спектрийн тухайн муж дахь нарны шулуун цацрагийн эрчмийн газрын гадаргууд хэмжигдсэн утга

$m(\theta)$ - агаар мандлын оптик масс

Агаар мандлын ерөнхий оптик зузааныг дараах хэлбэрээр буюу оптик зузаануудын нийлбэр байдлаар илэрхийлж болно.

$$\tau_{\lambda} = \tau_a(\lambda) + \tau_R(\lambda) + \tau_{O_3}(\lambda) + \tau_{mg}(\lambda) + \tau_{PW}(\lambda) \quad (2)$$

Үүнд $\tau_a(\lambda)$ -аэрозолын, $\tau_R(\lambda)$ -релейн сарнилын, $\tau_{O_3}(\lambda)$ -озоны, $\tau_{mg}(\lambda)$ -холимог хийн, $\tau_{PW}(\lambda)$ -усны уурын оптик зузаан тус тус болно.

(1) болон (2) томъёоноос аэрозолын оптик зузааныг тодорхойлбол дараах хэлбэртэй олдоно [2,3].

$$\tau_a(\lambda) = \frac{1}{m(\theta)} \left(\ln I_{\lambda 0} - \ln I_{\lambda} \right) - \left(\tau_R(\lambda) + \tau_{O_3}(\lambda) + \tau_{mg}(\lambda) + \tau_{PW}(\lambda) \right) \quad (3)$$

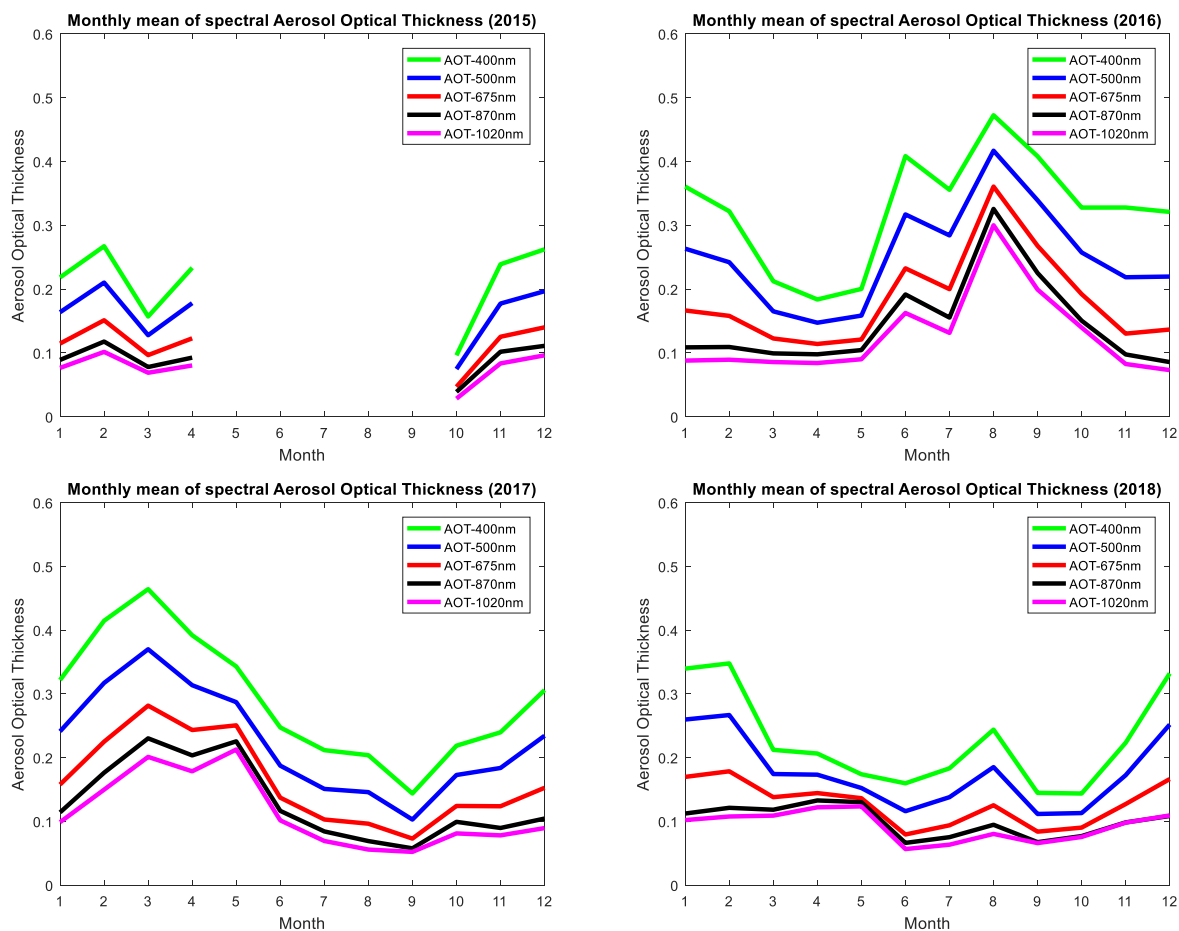
Туршилтанд ашигласан POM-01 скайрадиометр багаж нь нарны шулуун цацрагийн эрчмийг $\lambda=400$ нм, 500 нм, 675 нм, 870 нм, 1020 нм гэсэн долгионы уртын утгуудад, 1 минут тутамд хэмжих ба (3) томъёог ашиглан АОЗ-ы утгыг тодорхойлдог.

Судалгааны ажлын хүрээнд Улаанбаатар станцад 2015-2018 онд хийгдсэн хэмжилтийн үр дүнгээр спектраль АОЗ-ы сарын дунджийн утгыг тооцоолон, жилийн явцыг тодорхойлж Зураг 2 болон Хүснэгт 1-д үзүүллээ.

Монгол орны хаврын улиралд үүсэх хуурайшлын улмаас агаарт дэгдэх тоос, тоосонцорын хэмжээ нэмэгддэг ба энэхүү хатуу хэлбэрийн аэрозолын концентрацын өсөлтийн улмаас АОЗ харьцангуй өндөр утгатай тодорхойлогддог байна. 2017 оны III-V сард АОЗ-ы утга харьцангуй өндөр байгаа нь тухайн жил Улаанбаатар хот орчимд салхины дундаж хурд олон жилийн дунджаас өндөр, шороон шуургатай өдрийн тоо олон байсантай холбогдон тайлбарлагдана.

2015 оны V-аас IX сарын хооронд хэмжилт хийгдээгүй болно. 2016 оны VI-VIII саруудад АОЗ-ы утга харьцангуй өндөр байгаа нь тухайн жил ОХУ-ын Сибирь болон Монгол улсын нутаг дэвсгэрийг хамран удаан хугацаанд дэгдсэн ой хээрийн түймрийн улмаас үүсэн утаа, униар Улаанбаатар станц орчимд хэмжигдсэнтэй холбогдон тайлбарлагдана [4]. Мөн зуны улиралд агаар мандал дахь усны уурын хэмжээ нэмэгддэг нь АОЗ-ы өсөлтөнд тодорхой хэмжээгээр нөлөөлнө.

Өвлийн улирал буюу XII, I, II сард АОЗ харьцангуй өндөр утгатай тодорхойлогдож байна. Ялангуяа харьцангуй богино долгионы урт буюу 400 нм, 500 нм-ын утганд харгалзах АОЗ өндөр утгатай байгаа нь халаалтын зорилгоор биомасс шатаасны улмаас үүсэх утаа буюу харьцангуй бага хэмжээтэй, антропоген гаралтай аэрозол агаар мандалд ихээр дэгдсэнтэй холбогдоно (Зураг 2).



Зураг 2. 400 нм, 500 нм, 675 нм, 870 нм, 1020 нм долгионы уртын утга дахь аэрозолийн оптик зузааны жилийн явц (Улаанбаатар хот, 2015-2018 он).

Хүснэгт 1. Аэрозолийн оптик зузааны сарын дундаж утга (2015-2018 он).

	Аэрозолийн оптик зузаан (400 нм)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2015	0.218	0.267	0.157	0.233						0.096	0.239	0.262
2016	0.361	0.322	0.212	0.184	0.200	0.408	0.356	0.472	0.408	0.328	0.328	0.321
2017	0.322	0.415	0.464	0.392	0.343	0.247	0.212	0.204	0.144	0.219	0.240	0.306
2018	0.340	0.348	0.212	0.206	0.174	0.160	0.183	0.244	0.145	0.144	0.223	0.332
	Аэрозолийн оптик зузаан (500 нм)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2015	0.164	0.210	0.128	0.178						0.075	0.177	0.197
2016	0.263	0.242	0.165	0.147	0.159	0.317	0.284	0.417	0.339	0.257	0.219	0.220
2017	0.241	0.317	0.370	0.314	0.287	0.187	0.151	0.146	0.103	0.173	0.184	0.234
2018	0.260	0.267	0.174	0.173	0.152	0.116	0.138	0.185	0.112	0.113	0.172	0.252

Аэрозолын оптик зузаан (675 нм)												
2015	0.115	0.151	0.097	0.123						0.047	0.125	0.140
2016	0.167	0.158	0.123	0.114	0.121	0.233	0.200	0.361	0.268	0.192	0.130	0.137
2017	0.158	0.225	0.282	0.243	0.251	0.137	0.103	0.096	0.073	0.124	0.124	0.153
2018	0.170	0.179	0.138	0.144	0.136	0.079	0.094	0.125	0.084	0.090	0.127	0.166
Аэрозолын оптик зузаан (870 нм)												
2015	0.089	0.118	0.078	0.093						0.039	0.102	0.111
2016	0.109	0.109	0.099	0.098	0.104	0.192	0.155	0.326	0.225	0.151	0.098	0.086
2017	0.114	0.176	0.230	0.204	0.226	0.116	0.084	0.069	0.058	0.099	0.090	0.104
2018	0.112	0.121	0.118	0.133	0.130	0.066	0.075	0.095	0.067	0.077	0.098	0.108
Аэрозолын оптик зузаан (1020 нм)												
2015	0.077	0.102	0.069	0.080						0.028	0.084	0.096
2016	0.088	0.089	0.086	0.084	0.090	0.163	0.131	0.300	0.199	0.140	0.083	0.073
2017	0.099	0.150	0.201	0.179	0.213	0.102	0.069	0.056	0.052	0.081	0.078	0.089
2018	0.102	0.108	0.109	0.122	0.123	0.057	0.063	0.080	0.066	0.076	0.098	0.109

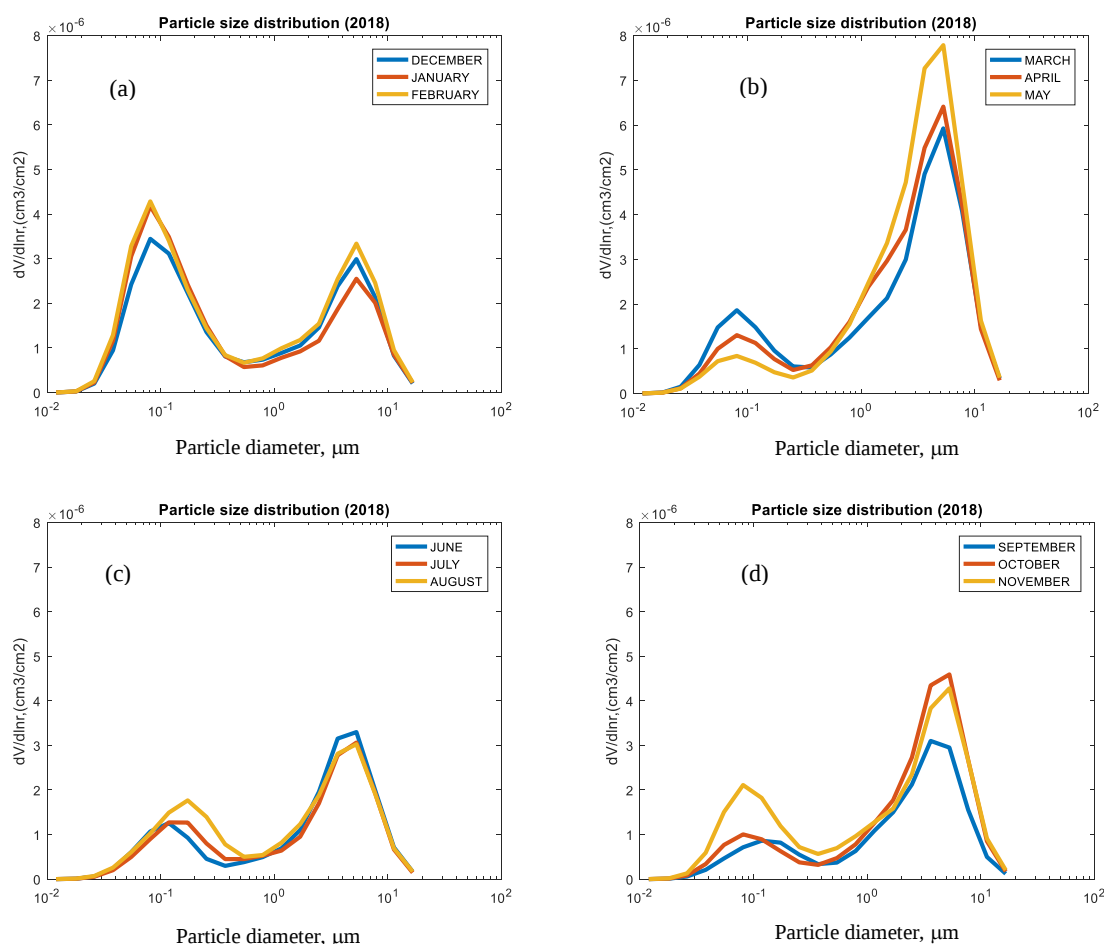
Б. Аэрозолын хэмжээгээр түгэх түгэлт

Агаар мандал дахь аэрозолын диаметр маш өргөн мужид өөрчлөгдөх хэдхэн нанометрээс 100 μm хүртэл хэмжээтэй байдаг. Олон улсын стандартаар аэрозолын диаметр $d < 2.5\mu\text{m}$ бол нарийн ширхэгт, $d \geq 2.5\mu\text{m}$ бол том ширхэгт аэрозол хэмээн нэрлэдэг [5].

Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлын гол үүсгэгчид болох биомасс шатаасны улмаас үүсэх утаа нь нарийн ширхэгт аэрозолын бүлэгт

хамаарна. Харин хаврын улиралд дэгдэх хүчтэй шороон шуурганаас үүсэх тоосонцор, зуны улиралд агаар мандалд үүсэх усан дуслууд нь том ширхэгт аэрозолын бүлэгт ангилагддаг.

Аэрозолын хэмжээний түгэлтийг $dV/d\ln(r)$ параметрээр үнэлэх ба энэ нь тухайн нэгж эзэлхүүнд орших $\ln(r)$ –ээс $\ln(r + dr)$ хүртэлх радиустай аэрозолын нийт эзэлхүүнээр илэрхийлэгдэнэ [6].



Зураг 3. Аэрозолын хэмжээгээр түгэх түгэлт (Улаанбаатар станц, 2018 он).

Судалгааны ажлын хүрээнд РОМ-01 скайрадиометр ашиглан 10 минут тутамд гүйцэтгэсэн альмункантратын хэмжилтийн үр дүнгээр аэрозолын хэмжээгээр түгэх түгэлтийг тодорхойллоо. Жишээ болгон 2018 оны хэмжилтийн үр дүнг ашиглан аэрозолын хэмжээгээр түгэх түгэлтийн сарын дунжийг тооцоолон Зураг 3-д үзүүлээ.

Өвлийн улирал буюу XII, I, II сард нарийн ширхэгт буюу ойролцоогоор 0.1 μm диаметртэй аэрозолын концентраци харьцангуй өндөр утгатай байна (Зураг 3.a). Энэхүү онцлог нь гэр хорооллын халаалтаас үүссэн утаа, агаарын бохирдолтой холбон тайлбарлагдах боломжтой. Энэ улиралд агаар мандал дахь том ширхэгт аэрозолын концентраци бусад улирлынхаас харьцангуй бага хэмжээтэй байгаа нь газрын гадаргуу цасан бүрхүүлээр хучигдсан байдагтай холбогдоно.

Хаврын улирал (III, IV, V сар)-д нарийн ширхэгт аэрозолын дундаж концентраци багасч байгаа бол том ширхэгт буюу 10 μm орчим диаметртэй аэрозолын хувь хэмжээ огцом нэмэгдсэн байна (Зураг 3.b). Хаврын улиралд давтамж нь нэмэгддэг хүчтэй салхи, шороон шуурга нь том ширхэгт аэрозолын концентраци нэмэгдэх үндсэн шалтгаан болж байна. Зун болон намрын улиралд агаар мандал дахь нарийн ширхэгт аэрозолын концентраци өвлийн улирлынхаас бага, харин том ширхэгт аэрозолын концентраци хаврын улирлынхаас бага хэмжээтэй байна (Зураг 3.c, 3.d)

IV. ДҮГНЭЛТ

Судалгааны ажлын хүрээнд 2015-2018 онд Улаанбаатар станцад хийгдсэн агаар мандлын оптик хэмжилтийн үр дүнг боловсруулж, агаарын бохирдлын гол илтгэгчид болох аэрозолын спектрал оптик зузаан болон аэрозолын эзэлхүүн түгэлтийн сарын дунджуудыг тодорхойлж, өөрчлөлт хувьслын зүй тогтлыг үнэлсний дүнд дараахь ерөнхий дүгнэлтүүдийг хийж байна. Үүнд:

- АОЗ-ы жилийн явц нь тухайн жилд тохиолдсон, агаар мандлын оптик төлөвт нөлөөлөхүйц, байгалийн онцлог үзэгдлүүдийн зүй тогтлыг үнэлэх боломж олгож байна. 1020 нм-ийн долгионы уртад тодорхойлогдсон АОЗ нь жилийн туршид

харьцангуйгаар өөрчлөлт багатай байгаа бол богино долгионы урт буюу 400 нм, 500 нм-т харгалзах АОЗ-ууд агаарын бохирдол үүсгэгч байгалийн болон нийгмийн гаралтай хүчин зүйлсийн өөрчлөлт хувьслыг илэрхийлэх гол параметрээр ашиглагдах боломжтой. Судалгааны ажлын хамрах хугацаанд тодорхойлсон АОЗ-ы сарын дундаж утга нь (Хүснэгт 1) агаарын бохирдол, уур амьсгалын өөрчлөлтийн судалгааны тулгуур мэдээлэл болох боломжтой.

- Сар тус бүрд тооцоолон гаргасан аэрозолын хэмжээгээр түгэх түгэлтийн зүй тогтол улирлын онцлогийг сайн тусган харуулж байна. Өвлийн улирал буюу XII, I, II сард гэр хорооллын халаалтаас үүссэн утаа, агаарын бохирдлоос шалтгаалан нарийн ширхэгт аэрозолын концентраци харьцангуй өндөр утгатай тодорхойлогдож байна. Хаврын улиралд том ширхэгт аэрозолын концентраци огцом нэмэгдэж байгаа нь Монгол орны цаг уурын онцлог байдалтай нягт уялдаж байна.

ТАЛАРХАЛ

МУИС-ийн Геологи, Геофизикийн тэнхимд 2015-2017 онд ШУТСангийн санхүүжилттэй хэрэгжсэн “Улаанбаатар хотын агаар мандал дахь аэрозолын оптик үзүүлэлтийн судалгаа” сэдэвт, SSI_012/2015 дугаартай суурь судалгааны төслийн хүрээнд хийгдсэн болно.

НОМ ЗҮЙ

- [1] T.Takamura, P.Khatri, B.J.Sohn, N.Tugsuren, B.Thana, M.Campanelli and G.Padithurai, “Aerosol optical properties and aerosol direct effect over typical sites of SKYNET network”, ICCASR 2013.
- [2] R.M.Goody, Y.L.Yung, Atmospheric Radiation, 2nd ed., Oxford Univ. Press, 1989
- [3] John M.Wallace, Peter V.Hobbs, Atmospheric science, 2nd ed., Elsevier, 2006
- [4] Б.Ганбат, Ц.Баатарчулуун, Т.Нарангарав, Б.Даариймаа, Улаанбаатар хот орчмын агаар мандлын бохирдлын оптик параметруудийг өвлийн улиралд болон түймрийн утаатай байх хугацаанд харьцуулан судалсан дүн, Физик сэтгүүл 24 (468), 2017

- [5] Deepak, A. Atmospheric Aerosols, Spectrum Press, Hampton, 1982
- [6] K.Willeke, K. T. Whitby, Atmospheric Aerosols: Size Distribution Interpretation, Journal of the Air Pollution Control Association, 25:5, 529-534, (1975)
DOI: [10.1080/00022470.1975.10470110](https://doi.org/10.1080/00022470.1975.10470110)

Агаарын $PM_{2.5}$ тоосонцрын морфологи, химийн найрлагын судалгааны зарим үр дүнгээс

Л.Энхцэцэг¹, Н.Төвжаргал^{2*}, П.Зузаан¹, Д.Шагжжамба¹, Ц.Амартайван^{1,2}

¹ Цөмийн физикийн судалгааны төв, Монгол Улсын Их Сургууль,

Энхтайвны өргөн чөлөө-122, Улаанбаатар хот, Монгол улс

² Монгол Улсын Их Сургууль, Шинжлэх ухааны сургуулийн

Физикийн тэнхим, Улаанбаатар хот 210646, Монгол улс

Бид энэ ажлаар Улаанбаатар хотын агаарын $PM_{2.5}$ тоосонцрын бохирдлын морфологи, химийн найрлагыг SEM-EDX-ийн аргаар судлав. Судалгааг зуны 15, өвлийн 10 өдрийн агаарын тоосонцрын дээжийг авч 5000X өсгөлттэй электрон микроскопын зургийг ашиглан $PM_{2.5}$ тоосонцрын морфологийн анализ хийсэн бол тухайн хэлбэр, хэмжээ бүхий тоосонцрын 639 ширхэгт элементийн анализ хийв. Тоосонцрын хэмжээний түгэлтийг тодорхойлсон дүнгээр нийт тоологдсон дүрсийн 80% хувийг 0.5 мкм хүртэлх хэмжээтэй тоосонцор эзэлж байгаа дүн гарсан бөгөөд энэ нь агаарын хатуу бодисын бохирдлын хүний эрүүл мэндэд хамгийн хортой фракц юм. Тус хэмжээтэй тоосонцор өвлийн улиралд 92% хүртэл нэмэгдэж дийлэнх нь тодорхойгүй хэлбэртэй тодорхойлогдсон нь шаталтын дүнд үүсэх $PM_{2.5}$ тоосонцрын бохирдол нь хэт нарийн ширхэгтэй, тодорхойгүй хэлбэр дүрс бүхий байгааг илтгэж байна. Мөн тоосонцрын ширхэгийн химийн найрлагыг судласан үр дүнг үзүүлэв.

PACS numbers: 68.37.-d, 81.10.Aj, 78.70.En

I. УДИРТГАЛ

Янз бүрийн үүсгүүрээс агаарт хаягдах бохирдуулагч бодисууд нь дангаараа болон нэгдэл үүсгэж хүрээлэн буй орчин, хүний эрүүл мэндэд сөргөөр нөлөөлдөг. Зураг 1-т агаарын бохирд-

*E-mail: tuvjargal@num.edu.mn

лын хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх хор, нөлөөллийг үзүүлэв. Агаар дахь хатуу бодис (Particulate Matter) буюу тоосонцрын бохирдол тэр дундаа $PM_{2.5}$ нарийн ширхэглэгт тоосонцор нь бүх эрхтэн тогтолцооны өвчлөлийн шалтгаан болж байна [1].

АМЬСГАЛЫН ТОГТОЛЦОО

(NO_2 , SO_2 , $PM_{2.5}$)

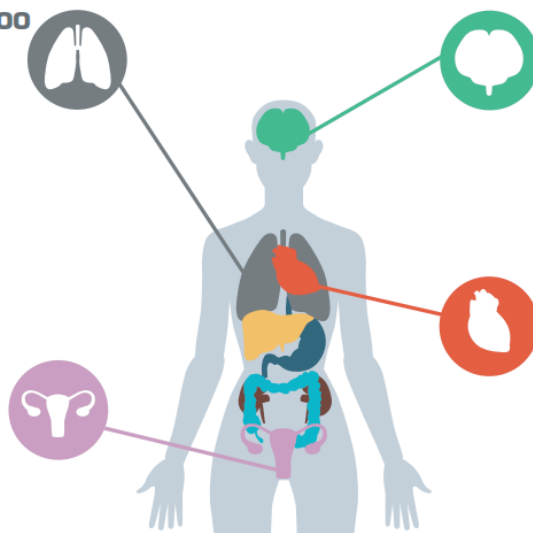
Амьсгалын замын хурц болон архаг өвчнүүд хамаарна

- Ханиах, найтаах
- Хоолой сэрвэгнэх
- Уушги гэмтэх
- Уушгины хавдар
- Бронхит
- Багтраа

НӨХӨН ҮРЖИХҮЙН ТОГТОЛЦОО

(SO_2 , $PM_{2.5}$, PM_{10} , CO)

- Төрөлхийн гажиг
- Дутуу төрөлт
- Бага жинтэй төрөлт
- Үргүйдэл



МЭДРЭЛИЙН ТОГТОЛЦОО

($PM_{2.5}$, CO_2 , SO_2)

- Толгой өвдөх
- Ядрах
- Уурлах, бухимдах
- Тархины цусан хангамжийн дутагдал

ЗҮРХ СУДАСНЫ ТОГТОЛЦОО

($PM_{2.5}$, PM_{10} , SO_2)

- Зүрх судасны үйл ажиллагааны алдагдал
- Зүрх судасны өвчин
- Зүрхний шигдээс

Зураг 1: Агаарын бохирдлын хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх хор, нөлөө[1]

$PM_{2.5}$ тоосонцор хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөлөл нь түүний химийн найрлага, хэлбэр, хэмжээнээс хамаардаг [2–4]. Тухайлбал, 7 мкм-ээс бага хэмжээтэй тоосонцрууд амьсгалын замаар нэвтэрч астма, бронхит, силикоз, эмпием зэрэг амьсгалын замын архаг өвчлөлүүдийг үүсгэн хүндрүүлж эсийн түвшинд үйл ажиллагааны болон доод бүтцийн доголдлыг үүсгэн хорт хавдар үүсэх шалтгаан болдог ба 0.5 мкм-ээс бага хэмжээтэй нь төрөл бүрийн хавдар, түүний шалтгаан болон судасны хананд нэвчин цусанд орж судасны бөглөрөл үүсгэн, цусны эргэлтийн тогтолцоогоор дамжин зүрхэнд тусч даралт ихсэх нь даамжирснаар яваандаа зүрхний шигдээс үүсгэдэг байна [5]. Зураг 2 -т тоосонцор хүний биед нэвтрэх хэмжээ, үзүүлэх нөлөөг харуулав.



Зураг 2: Тоосонцор хүний биед нэвтрэх хэмжээ, үзүүлэх нөлөө [5]



Зураг 3: $PM_{2.5}$ болон PM_{10} тоосонцрын хэмжээний харьцуулалт [6]

Түүнчлэн тоосонцрын хэлбэр гэдэг нь түүний морфологийг тодорхойлох нэг чухал параметр бөгөөд энэ нь тоосонцрын бохирдлын эх үүсвэртэй

хэрхэн холбогдож байгааг авч үзэх болно. Аэрозол судлаачид тоосонцрын бохирдлыг диаметр хэмжээгээр нь 2.5-10 мкм хэмжээтэй $PM_{10-2.5}$; 2.5 мкм-ээс бага хэмжээтэй $PM_{2.5}$ хоёр фракцаар ялган судладаг [7]. Зураг 3 -т тоосонцрын хэмжээний харьцуулалтыг үзүүлэв.

Манай улсад цаг уур, орчны шинжилгээний газар агаарын чанарын ерөнхий шаардлага MNS4585:2016 -ын дагуу дээрх 2 фракцаар тоосонцрын мониторингийн мэдээ гаргадаг хэдий ч Улаанбаатар хотын агаарын чанарыг үнэлэх, тэр дундаа тоосонцрын хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөлөл, өвчлөлийн эрсдэлийг тооцоолоход шаардлагатай үзүүлэлт болохуйц судалгааны үр дүн дутмаг хэвээр байгаа юм [8].

Эрүүл мэндийн яамны мэдээгээр Монгол улсын хэмжээнд 2018 онд бүртгэгдсэн өвчлөлийн тохиолдол (давхардсан тоогоор) 3.0 саяд хүрч, 2008 оныхоос 2.0 дахин өсжээ. Бүртгэгдсэн өвчлөлийн тохиолдлын хандлагыг байршлаар авч үзвэл, 2008-2018 оны хооронд Улаанбаатар хотод 2013 оноос өссөн, аймгуудын хувьд буурсан хандлагатай байна. Үндэсний статистикийн хорооноос гаргасан "Улаанбаатар хотын гадаад орчны агаарын бохирдол ба эрүүл мэнд" тайлангаас үзэхэд хүн амын амьсгалын тогтолцооны, хүүхдийн хатгалгаа, уушгины архаг бөглөрөл зэрэг олон тооны өвчин агаарын тоосонцрын хэмжээний өөрчлөлтийн давтамжаас хамаарч байгааг харуулсан байдаг [9]. Улаанбаатар хотын агаар дахь $PM_{2.5}$ тоосонцрын дундаж агууламж жил ирэх бүр нэмэгдэж байна. Тухайлбал 2019 оны хоёрдугаар сард өмнөх оны мөн үеэс 15%-аар өсөж 160 мкг/м³ болсон байдаг [9].

Иймээс агаар дахь $PM_{2.5}$ тоосонцрын морфологийн параметр түүний химийн найрлагыг судлах нь хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөг тогтоох, агаарын бохирдлыг бууруулахад чухал ач холбогдолтой. Сүүлийн жилүүдэд судлаачид агаар дахь тоосонцрын бохирдлыг энергиэр ялгах рентгенфлуоресценцийн детектор бүхий электрон микроскоп (SEM-EDX)-ийн аргаар судалж тоосонцрын хэлбэр хэмжээ, химийн найрлагыг тодорхойлох ажил хийж байна [10–12]. Энэ нь аэрозолийн тоосонцрын хэлбэр, хэмжээ, химийн найрлагыг зэрэг тодорхойлох сүүлийн үеийн арга юм.

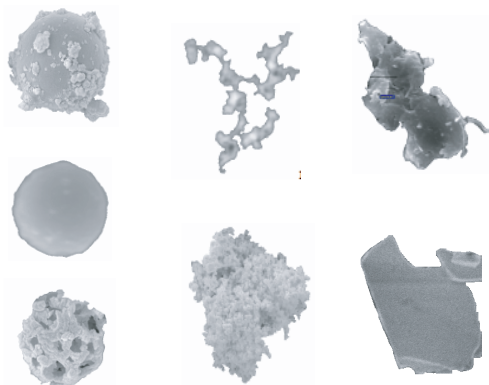
Иймээс бид Улаанбаатар хотын агаар дахь $PM_{2.5}$ тоосонцрын дээжийг тусгай шүүлтүүр ашиглан ялган авч тэдгээрийн хэлбэр, ширхэгийн хэмжээний түгэлт болон химийн найрлагыг SEM-EDX-ийн аргаар тодорхойлоход энэ ажлын зорилго оршино.

II. ТҮРШИЛТ

Улаанбаатар хотын агаар дахь тоосонцрын бохирдлын мониторингийн судалгааны цэг болох Баянзүрх дүүргийн 13 хороонд байрлах МУИС-

ийн Цөмийн физикийн судалгааны төвийн Gent агаарын дээж авагч төхөөрөмж ашиглан тоосонцрын дээжийг аэродинамик диаметрээр нь $PM_{2.5}$ болон PM_{10} 2 фракцаар ялган авсан. Улаанбаатар хотын энэ бүс нь хөрс болон шаталтын процессоос үүсэлтэй агаарын бохирдол өндөртэй бүс юм. Агаарын дээжийг авахдаа эхлээд $PM_{10-2.5}$ фракцын тоосонцрыг шүүх 8 мкм нүх бүхий шүүлтүүрээр, дараа нь $PM_{2.5}$ фракцын тоосонцрын дээжийг 0.4 мкм нүхтэй шүүлтүүрээр шүүж авна. Дээж авах шүүлтүүр поликарбонат материалтай, 47 мм диаметр хэмжээтэй. Агаарын $PM_{2.5}$ тоосонцрын морфологийн анализыг зуны 6, 7, 8-р саруудын 15 өдрийн дээж, өвлийн 11, 12, 1-р саруудын 10 өдрийн дээжинд санамсаргүй сонголтоор сонгон авч хийсэн. Ингэхдээ Hitachi, SU-8010 сканнин электрон микроскоп (SEM) ашиглан тоосонцрын ширхэгийн хэмжээ, хэлбэрийг судлах зураг, IXRF системийн SDD энергиэр ялгах рентген флуоресценцийн детектор (EDX)-аар химийн найрлагыг тогтоох хэмжилтүүдийг хийж гүйцэтгэсэн [13]. Нийт 25 дээж тус бүрээс 15 цэгийн зүслэг авч зүслэг бүр дээр бодит хэмжээнээс 5к дахин өсгөлттэй 3 удаагийн SEM зураг авч ашигласан. SEM зургийг боловсруулахад “Image J” зургийн программ ашиглан тоосонцрын хэлбэр, хэмжээний параметруудийг тодорхойлсон. Тоосонцрыг хэлбэрээр ангилахад судлаачид бөөрөнхий, өнцөгтэй, призм гэх мэт маш олон төрлийн геометр дүрсийг авч ашигладаг бол бид хамгийн ерөнхий байдлаар бөөрөнхий, өнцөгтэй ба үлдсэн геометрийн зөв биш хэлбэртэйг нь тодорхойгүй гэсэн 3 ангилалд хувааж авч үзлээ. SEM зурагт илэрсэн тоосонцрын хэлбэрийг дээрх 3 ангилалд хэрхэн хувааж авч үзсэнийг зураг 4-т үзүүлэв.

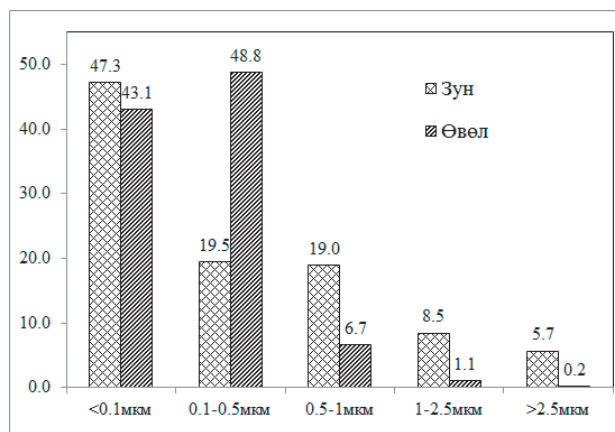
Бөөрөнхий Тодорхойгүй Өнцөгтэй



Зураг 4: SEM зурагт илэрсэн тоосонцруудын хэлбэрийн ангилал

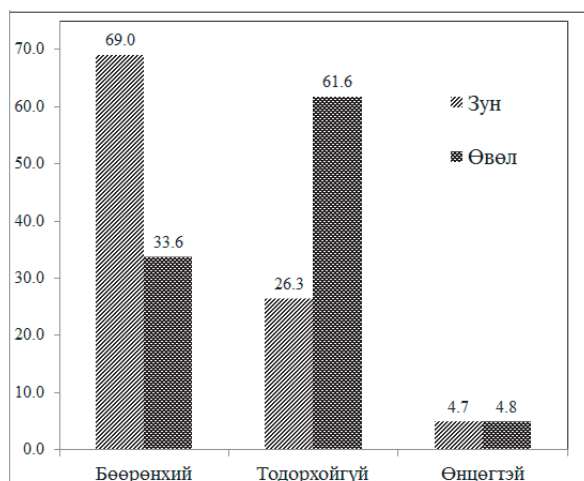
III. ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Бидний энэхүү судалгаанд ашигласан зуны 15 дээж авсан өдрийн $PM_{2.5}$ тоосонцрын агаар дахь дундаж агуулга ~ 52.96 мкг/м³ байсан бол өвлийн улирлын 10 дээжийн хувьд ~ 101.29 мкг/м³ байсан. Манай улсын $PM_{2.5}$ тоосонцрын зөвшөөрөгдөх дундаж агуулга буюу стандарт нь 50 мкг/м³ байдаг [8]. Эдгээр дээжүүдээс авсан электрон микроскоп (SEM)-ийн 480 зургийг боловсруулж 10 сая гаруй тоосонцорын хэлбэр хэмжээний түгэлтийг гаргав. Тоосонцрын хэмжээний түгэлтийг өвөл, зуны хувьд харьцуулан гаргасан үр дүнг зураг 5-т үзүүлэв. Тоосонцрын хэмжээг ангилж түгэлтийг гаргахдаа ДЭМБ-аас гаргасан тоосонцрын бохирдол хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөлөлд үндэслэсэн болно [5]. $PM_{2.5}$ тоосонцрын хэмжээний түгэлтээс үзэхэд зуны улирлын дээжийн 66.8%-ийг, өвлийн улирлын дээжийн 91.9%-ийг 0.5 мкм хүртэлх хэмжээтэй тоосонцор эзэлж байна.

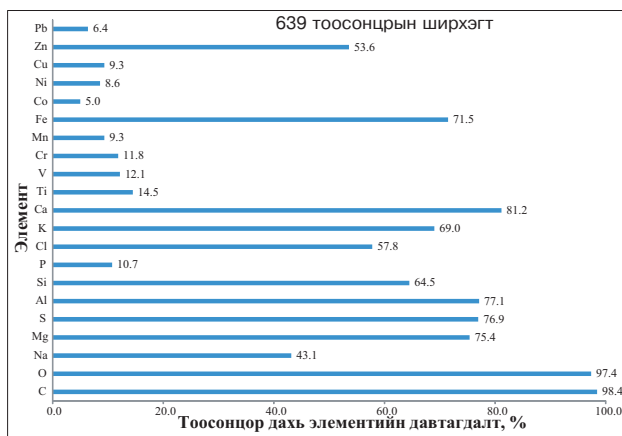


Зураг 5: $PM_{2.5}$ тоосонцрын хэмжээний түгэлт

Эндээс үзэхэд < 0.1 мкм хэмжээтэй тоосонцрын хэмжээ улирлаас хамаарсан өөрчлөлт ажиглагдахгүй байгаа бол $0.1 - 0.5$ мкм хэмжээтэй тоосонцрын хэмжээ зун $\sim 20\%$ байсан бол өвөл $\sim 50\%$ болж өссөн байна. Харин 0.5 мкм дээш хэмжээтэй тоосонцрын хэмжээ зун их өвөл бага байна. Энэ нь шаталтын бүтээгдэхүүн болох утаа тортгоос гаралтай тоосонцрын хэмжээ ихэвчлэн $0.1 - 0.5$ мкм хэмжээтэй, хөрсний гаралтай тоосонцрын хэмжээ ихэвчлэн 0.5 мкм дээш хэмжээтэй байж болохыг илтгэж байна. $PM_{2.5}$ тоосонцрын хэлбэрийн түгэлтийг өвөл, зуны хувьд харьцуулсан үр дүнг зураг 6-т үзүүлэв. Түгэлтээс харахад бөөрөнхий хэлбэртэй тоосонцрын хэмжээ өвөл 2 дахин буурсан бол тодорхойгүй хэлбэртэй тоосонцрын хэмжээ 2.3 дахин ихэссэн үр дүнг үзүүлж байна.

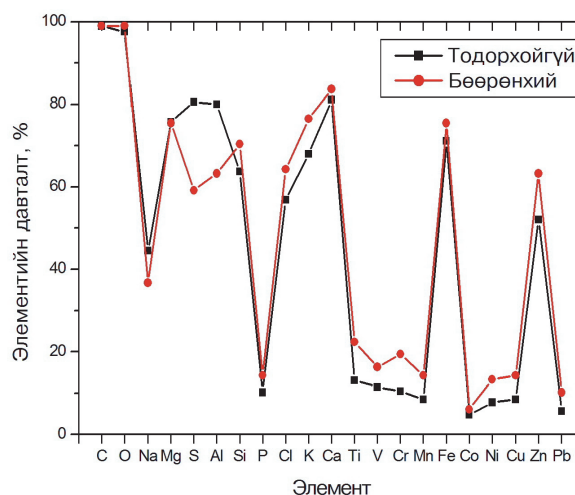
Зураг 6: $PM_{2.5}$ тоосонцрын хэлбэрийн түгэлт

Харин өнцөгтэй хэлбэрийн тоосонцрын хувьд мэдэгдэхүйц өөрчлөлт ажиглагдахгүй байна. Байгалийн хүчин зүйлс болон хүний үйл ажиллагаанаас үүсэлтэй агаарт дэгдэх хатуу бодис нь шууд зөв бөөрөнхий хэлбэртэй хаягдах бараг боломжгүй ялангуяа шаталтаас үүсэх тоосонцор нь арзгар, хэлбэрийн ангилалд оруулахад төвөгтэй байдаг бол хөрснөөс дэгдэх тоосонцор нь агаарын урсгалд орж өөр хоорондоо мөргөлдөх, салхинд үрэгдэх замаар бөөрөнхий хэлбэрийг олдог байна[6]. Бид тоосонцрын элементийн агуулгыг тодорхойлох зорилгоор зуны 15 дээжээс авсан 522 ширхэг тоосонцорт, өвлийн 10 дээжээс авсан 117 ширхэг нийт 639 тоосонцорт EDX аргаар $PM_{2.5}$ тоосонцрын элементийн агуулгын тодорхойлсон үр дүнг зураг 7-т үзүүлэв.

Зураг 7: $PM_{2.5}$ тоосонцор дахь химийн элементийн агуулга, түгний давтагдалтын хувь

Эндээс үзэхэд C болон O-ийн агуулга бүх тоосонцорт улирлаас хамаарахгүй илэрсэн нь эдгээр

элемент нь агаарын бүрэлдэхүүн хэсэг төдийгүй дээж авсан шүүлтүүрийн материал поликарбонат байсантай холбоотой. Mg, S, Al, Si, Ca, Fe зэрэг элементүүд 50%-аас дээш хувийн давтагдалтайгаар илэрсэн байна. Тоосонцор дахь химийн элементийн агуулгыг хэмжсэн үр дүнгээс үзэхэд зарим элементүүд тоосонцрын хэлбэрээс хамааран харилцан адилгүй агуулгатай бүртгэгдсэн байсан. Иймд нийт элементийн агуулга тоосонцрын хэлбэрээс хэрхэн хамаарч байгааг зураг 8-т үзүүлэв.

Зураг 8: $PM_{2.5}$ тоосонцрын элементийн агуулга, хэлбэрийн хамаарал

Эндээс үзэхэд тодорхойгүй хэлбэртэй тоосонцорт S, Al элементүүд их агуулагдаж байгаа бол бөөрөнхий хэлбэртэй тоосонцорт Si, Ti, V, Cr, Mn, Zn зэрэг элементүүд илүү агуулагдаж байна. Энэ нь тоосонцрын гарал үүсэлтэй холбоотой байж болох юм.

IV. ДҮГНЭЛТ

Бид Улаанбаатар хотын агаарын бохирдол дахь тоосонцрын морфологи болон химийн найрлагыг SEM-EDX -ийн арга ашиглан судлав. Судалгааг зуны 15, өвлийн 10 филтр дээрээс санамсаргүй сонголтоор сонгож авсан 480 зурагт буусан тоосонцруудад хэлбэр хэмжээний буюу морфологийн анализ хийсэн бол 639 тоосонцорт элементийн анализ хийв. Судалгааны дүнгээс үзэхэд хүний эрүүл мэндэд хамгийн хортой буюу 0.5 мкм-ээс бага хэмжээтэй тоосонцор ~85 хувийг бүрдүүлж байна. Өвлийн улиралд 0.5 мкм хүртэлх хэмжээтэй тоосонцор зуныхаас 25%-аар нэмэгдэж байгаа бол харин тодорхойгүй хэлбэртэй тоосонцрын хэмжээ 2 дахин нэмэгдэж байна. Эндээс шаталтын дүнд үүсэх $PM_{2.5}$

тоосонцор < 0.5 мкм хэмжээтэй, тодорхойгүй хэлбэртэй байж болох нь харагдаж байна. Мөн зуны улиралд хөрс шорооны гаралтай тоосонцор давамгайлж байгаа бол өвөл шаталтын бүтээгдэхүүнээс гаралтай тоосонцор давамгайлж байгааг харуулж байна.

$PM_{2.5}$ тоосонцрын элементийн агуулгын давтагдлын хувийг, тоосонцрын хэлбэрээс хамаарах хамаарлыг үзүүлж, зарим элементийн агуулгаар тоосонцрын гарал үүслийг тодорхойлж болохыг үзүүлэв. Энэ үр дүнг цаашид агаар дахь тоосонцрын бохирдол үүсгэгч эх үүсвэрүүдтэй уялдуулан гарал үүсэл, хэлбэр хэмжээний түгэлттэй холбон нарийвчлан судалж, тайлбарлах шаардлагатай. Тоосонцрын хэмжээ, хэлбэрийн түгэлт түүний химийн элементийн найрлагыг тодорхойлох судалгааны дүн нь агаарын $PM_{2.5}$ тоосонцрын хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөллийг үнэлэх, өвчлөлийн эрсдэлийг тогтоох, урьдчилан сэргийлэх арга хэмжээ авч хэрэгжүүлэх зэрэгт ач холбогдолтой.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааг МУИС-ийн ЦФСТ-ийн "Хүрээлэн буй орчин, биологийн объектыг шинжлэх цөмийн физикийн арга зүйн судалгаа" сэдэвт ажлын хүрээнд гүйцэтгэсэн бөгөөд ОУАЭА, Ази, Номхон далайн бүсийн хэлэлцээрийн байгууллагын шугамаар "Хотын тоосонцрын бохирдлын агаарын чанарт үзүүлэх нөлөөг үнэлэх" RAS7029 судалгааны төслийг хэрэгжүүлж буй хамт олон, судалгааны хэмжилтийг хийх тоног төхөөрөмжөөр тусалсан БНХАУ-ийн ӨМӨЗО-ны Багшийн их сургуулийн функционал материалын физик-химийн лабораторийн хамт олонд талархал илэрхийлье.

- [1] Эрүүл мэндийн яам, Нийгмийн эрүүл мэндийн үндэсний төв, Баримтын цомог: Агаарын бохирдол хүний эрүүл мэндэд, 2018 он
- [2] Schwartz, J. (1994) Air Pollution and Daily Mortality: A Review and Meta-Analysis. *Environmental Research*, 64, 36-52.
- [3] Brüning, Thomas et al. Assessment of the Health Effects of Toner Particles on People in the Workplace. BG Research Institute for Occupational Medicine. 2006, pp. 14 et seq
- [4] Dockery, D.W. and Pope, Acute Respiratory Effects of Particulate Air Pollution. *Annual Review of Public Health*, 1994, 15, 107-132, C.A.
- [5] <https://www.who.int/airpollution/en/>
- [6] <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
- [7] National Research Council. 1998. Research Priorities for Airborne Particulate Matter: I. Immediate Priorities and a Long-Range Research Portfolio. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/6131>.
- [8] Стандартчилал хэмжилзүйн газар, Агаарын чанар, Техникийн ерөнхий шаардлага-Монгол Улсын стандарт MNS 4585:2016, 2016 он
- [9] Монгол Улсын үндэсний статистикийн хороо, Улаанбаатар хотын гадаад орчны агаарын бохирдол ба эрүүл мэнд, 2019 он
- [10] Roberto Ramirez-Leal, Maryanna Valle-Martinez, Martin Cruz-Campas, 'Chemical and Morphological Study of PM_{10} analysed by SEM-EDS, 2014, 3, 121-129, Mexico
- [11] Bob Hafner, Energy Dispersive Spectroscopy on the SEM, Chapter 1, Characterization Facility, University of Minnesota-Twin cities, 2009
- [12] Ramirez-Leal, R., Valle-Martinez, M. and Cruz-Campas, M. (2014) Chemical and Morphological Study of PM_{10} Analysed by SEM-EDS. Open

Journal of Air Pollution, 3, 121-129

- [13] Л.Энхцэцэг, Н.Төвжаргал, Д.Шагжжамба, П.Зузаан., МУИС-ийн эрдэм шинжилгээний бичиг 478, ФИЗИК сэтгүүл (25), х133, 2017

ДНХ-ийн мэдээллийн үндэсний сан, “MonDIS” програм

А.Баярбаатар¹, П.Энхбаяр¹, Б.Барсболд^{1*}, Г.Махгал¹, Ш.Пүрэвдулам², Б.Тэнүүн², Б.Гантуяа², С.Ганболд²

¹ МУИС, Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан Инженерчлэлийн Сургууль,

² ШШҮХ, ДНХ-ийн Шинжилгээний Лаборатори

Сүүлийн жилүүдэд ШШҮХ-нд ялтны ДНХ-ийн 7000 гаруй биологийн дээж биетээр ба цаасан баримтаар хуримтлагдсан. Энэхүү судалгааны хүрээнд бид MonDIS нэртэй үндэсний хэмжээний анхны ДНХ-ийн мэдээллийн сан, хайлтын системийг үүсгэн байгуулсан ажлын үр дүнг тайлагнана. Мөн энэ чиглэлийн судалгаатай холбоотой хуримтлуулсан туршлага, цаашид гүйцэтгэх ажлыг танилцуулна.

Түлхүүр үг: ДНХ-ийн биологийн дээж, ДНХ-ийн мэдээллийн сан, микросателлит, өгөгдлийн сан, хайлтын систем, мэдээллийн аюулгүй байдал.

УДИРТГАЛ

Генетик маркеруудийг ашиглан бодгалиудыг харьцуулах боломжтой бөгөөд тэдгээрийн биологийн сорьцонд шинжилгээ хийж бүрдүүлсэн өгөгдлүүдийг бүртгэсэн цахим сан бүрдүүлэх, энэхүү сан дээр байгаа мэдээллийг ашиглан гэмт хэргийн эзэн холбогдогчийг хайж олох, холбогдогч гарцаагүй мөн эсэхийг цаг алдалгүй нотлох нь шүүхийн шинжилгээний өдөр тутмын үйл ажиллагаанд олон шинэ боломжийг олгодог.

Энэхүү судалгааны хүрээнд бид ДНХ-ийн мэдээллийн цахим санг бүрдүүлж, түүн дээр хайлт хийх программ хангамж MonDIS-ийг бүтээж шүүхийн шинжилгээний хүрээлэнгийн өдөр тутмын үйл ажиллагаанд нэвтрүүлээд байна. MonDIS нь бодгалиудыг хооронд нь харьцуулахад (D3S1358, TH01, D21S11, D18S51, Penta_E, D5S818, D13S317, D7S820, D16S539, CSF1PO, Penta_D, AMEL, vWA, D8S1179, TPOX, FGA) 16 локусын аллелиар генотипийг нь тогтоосон мэдээллүүд дээр үүсгэсэн үндэсний мэдээллийн цахим санг агуулах бөгөөд ДНХ-ийн шинжилгээг улам боловсронгуй болгох шинээр нээгдсэн микросателлит локусаар баяжуулах боломжтойгоос гадна, энэхүү санд бусад шаардлагатай нарийвчилсан мэдээллийг нэгтгэн өргөжүүлэх боломжтойгоор бүтээгдсэн болно.

СУДАЛГААНЫ ҮНДЭСЛЭЛ

ДНХ-ийн өгөгдлийн цахим санг бүрдүүлж ашигласнаар шүүхийн шинжилгээний өдөр

тутмын ажилд тодорхой ахиц дэвшил гарч, гэмт хэргийг эцэслэн шийдвэрлэх, бууруулах, хэрэгтнийг илрүүлэх, гэм буруугүйг цагаатгах гэх мэт үйл ажиллагаанд баримт, нотолгоо бүрдүүлэхэд цаг хугацааг хэмнээд зогсохгүй, цаашлаад гэмт хэргийн улмаас гарах зардал хэмнэх зэрэг давуу талуудтай.

Зарим статистик мэдээллээр хүнд болон онц хүнд гэмт хэрэг үйлдэж буй гэмт хэрэгтний олонх нь урьд нь хөнгөн хэргээр шийтгэгдэж байсан түүхтэй байдаг. Иймээс өмнө нь хөнгөн хэргээр яллагдаж өгөгдлийн санд бүртгэгдсэн байвал энэ мэдээлэл дээр үндэслэн хүнд хэргийг шуурхай илрүүлэх боломж олгох магадлалтай байдаг учраас хөнгөн хэргийг ч мэдээллийн санд оруулж өргөтгөх нь илүүдэхгүй гэж холбогдох мэргэжилтнүүд үздэг [7].

Мөн гэмт хэрэг хийсэн нь бүрэн тогтоогдоогүй байгаа хүмүүсээс ДНХ-ийн сорьц авснаар хэрэгтнийг тогтоохоос гадна мөрдөж байгаа хүний генийн материал нь өөр цаг хугацаа, орон зайд үйлдэгдээд, илрээгүй гэмт хэргийн эзэн холбогдогчдын ДНХ-ийн мэдээлэлтэй тохирох эсэхийг тогтоох, өөр хэргүүдийн уялдаа холбоо, цуврал маягаар үйлдэгдсэн хэргийг тогтооход чухал ач холбогдолтой.

Хэн болох тодорхойгүй цогцосыг таних, нэр хаягийг тогтооход ДНХ-ийн мэдээллийн сангийн хэрэгцээ гарч ирдэг бөгөөд цогцсыг хэнийх болохыг тогтоосноор уг хүний ДНХ-ийн мэдээллийг цаашид хэрэглэх шаардлага дахиж гарахгүй гэж үзэж болохгүй. Амьд байхдаа ямар нэг эсвэл хэд хэдэн илрээгүй гэмт хэрэгт

* Electronic address: barsbold@seas.num.edu.mn

холбоотой байгаад нас барсан хүний цогцос байж болох талтай. Иймд цогцосноос авсан дээжийг зөвхөн цогцосны хэн байсныг тогтоох хүртэлх хугацаанд хадгалах бус урт хугацаанд хадгалахаар хуульд тусгах шаардлагатай гэдэг нь бодит тохиолдол дээр батлагдсан байдаг [11].

ОЛОН УЛСЫН ПРАКТИКТ ДНХ-ИЙН МЭДЭЭЛЛИЙН САНГИЙН АШИГЛАЛТ

Анх 1996 онд АНУ-д хүний “ДНХ-ийн мэдээллийн сан” бүрдүүлж эхэлсэн ба одоогийн байдлаар АНУ-ын нийт 190 гаруй лабораторид Холбооны мөрдөх товчооны CODIS (Combined DNA Index System) буюу ДНХ-ийн мэдээллийн нэгдсэн тоон системийг ашиглан үйл ажиллагаагаа явуулж байгаа ба олон улсын хэмжээнд 52 улсад уг системийг ашиглаж байна [8]. Үүнээс Европын холбооны улсуудад EDNAP (European DNA Profiling Group) нь 9 микросателит локусаар, Олон улсын эрүүгийн цагдаагийн газар Интерпол ISSOL (Interpol Standart Set of Loci) буюу 7 микросателлит локусаар хүнийг адилтган харьцуулах ДНХ-ийн шинжилгээ хийж, мэдээллийн сан бий болгон гэмт хэрэгтэй тэмцэж байна.

Дараах улсууд өөр өөрийн “ДНХ мэдээллийн нэгдсэн сан”-г бүрдүүлж ашиглаж байна:

- Их Британи, National DNA Database (NDNAD),
- Америкийн нэгдсэн улс, Combined DNA Index System (CODIS),
- Австрали, National Criminal Investigation DNA Database (NCIDD),
- Канад, National DNA Data Bank (NDDB),
- Дубай, Dubai 10X,
- ХБНГУ, DNA database for the German Federal Police (BKA),
- Израйл, Israel Police DNA Index System (IPDIS),
- Франц, Fichier National Automatisé des Empreintes Genétiques (FNAEG)

CODIS системийг хэрэглэж буй улс орнууд ДНХ-ийн мэдээллийн сангийн бүртгэлийг дараах байдлаар ангилж үздэг:

- Хэргийн газраас илрүүлсэн биологийн гаралтай эд мөрийн баримтын
- Ял эдэлж буй ялтны дээжийн

- Баривчлагдсан хүмүүсийн дээжийн
- Сураггүй алга бологсод, тэдний садан төрлийн хүмүүсийн дээжийн
- Хэнийх нь тодорхойгүй хүний эд, эрхтний дээжийн гэх мэт.

Монгол улсын хууль сахиулах байгууллагын үйл ажиллагаанд гэмт хэргийг мөрдөх, илрүүлэхэд ашиглах үндэсний хэмжээний “ДНХ-ийн мэдээллийн сан”-г бий болох асуудлыг 2000 оноос эхлэн хөндөж, улмаар энэ чиглэлээр асуудал дэвшүүлсэн нийтлэл, судалгаа, шинжилгээний ажлыг хийж ирсэн юм [1-6].

- 2006 онд “Шүүх биологийн шинжилгээнд хэрэглэх 17 STR локусын аллелийн давтамжийн Монголын хүн ам дахь тархалт, генийн сан бий болгох нь”
- 2008 онд “Монгол хүний Y хромосомын генетик мэдээллийн сан”
- 2009 онд “Цэргийн албан хаагчдын генийн мэдээллийн сан бүрдүүлэх туршилт судалгаа”
- 2011 онд “Монгол хүний удамшлын мэдээллийн өгөгдлийн үндэсний сан бүрдүүлэх, түүнийг гэмт хэрэг илрүүлэхэд хэрэглэх судалгаа”
- 2016 онд “Ялтны генетик мэдээллийн сан” гэсэн төслүүдийг хэрэгжүүлж үр дүнг хүлээлгэн өгсөн байна.

“ДНХ-ийн мэдээллийн сан”-д хайлт хийх програм хангамжийг бүтээхэд гадаад улсуудын Шүүхийн шинжилгээний байгууллагаас шууд дэмжлэг авах нь хувийн мэдээллийн нууцлал, аюулгүй байдалтай холбоотой асуудал хөндөгдөх талтай. Иймээс бид 2017 оноос “Ялтны генетик мэдээллийн санг бүрдүүлэх” сэдэвт төсөл санаачлан хэрэгжүүлж эхэлсэн юм. Төслийн хүрээнд CODIS системийн зарчимд тулгуурлан ДНХ мэдээллийн сангийн хайлтын программын өгөгдлийн цахим санг бүрдүүлж энэхүү санг ашиглах програм хангамж “MonDIS”-ийг бүтээсэн.

Хайлтын програмыг энэхүү төслийн хэмжээнд боловсруулан туршиж ажлын горимд оруулж 6000 гаруй сорьцын мэдээлэл оруулах зорилготой ажиллаж байна. Энэхүү төсөл хэрэгжиж дууссанаар Монгол улс ДНХ-ийн мэдээллийн сан бүрдүүлж ашиглаж байгаа улс орнуудын тоонд орж Зураг 1. дээр өгөгдсөн

газрын зураг дээр ногоон өнгөтэй тэмдэглэгдэх юм [10].



Зураг 1. Газрын зурагт ногооноор тэмдэглэсэн улс орнууд ДНХ-ийн санг ашиглаж байна. Цагаан хэсэг нь ДНХ-ийн сан ашигладаггүй улс орнууд бөгөөд Монгол улс энэ хэсэгт багтана.

Дэлхийн бүх улс орнууд ДНХ мэдээллийн сангийн эрх зүйн орчинг бүрдүүлж, сан бүрдүүлэх ашиглах асуудлыг бие даасан болон хэсэгчилсэн хуулиар зохицуулдаг [9]. Монгол улсын хувьд 2012 онд ХЗДХС-ын тушаалаар баталсан “Генетик мэдээллийн нэгдсэн сан

бүрдүүлж, ашиглах журам”- аар ДНХ мэдээллийн сангийн эрх зүйн орчинг зохицуулсан бөгөөд цаашид бие даасан хуулиар зохицуулах олон улсын жишгийг дагах шаардлагатай байна.

ӨГӨГДӨЛ БҮРДҮҮЛЭЛТ

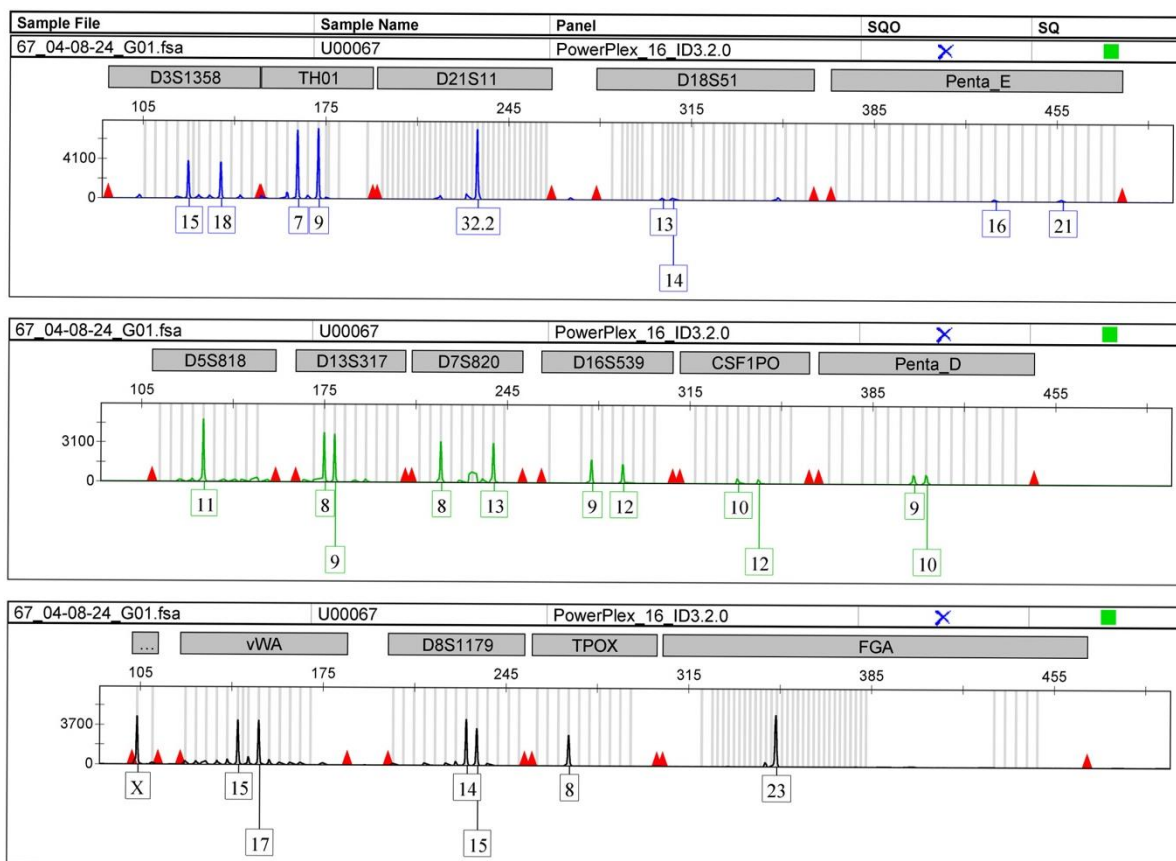
Монгол улсын ИШҮХ-ийн ДНХ-ийн лаборатори нь 2009 онд шинжлүүлэхээр ирсэн хүмүүс болон гэмт хэргийн газраас бэхжүүлсэн биологийн төрөл бүрийн ул мөрнөөс авсан сорьцод аутосомын хромосомын STR 16 локусыг PowerPlex-16, AmpFISTR® Identifiler ДНХ оношлуур, Y хромосомын STR 12-17 локусыг PowerPlex-Y, AmpFISTR® Y-filer ДНХ оношлуур хэрэглэн шинжлэн тогтоох арга, технологийг практикт нэвтрүүлж, олон улсад хүлээн зөвшөөрөдсөн баталгаатай үр дүн гаргадаг болсон.

Хүснэгт 1. Хүнийг адилтган харьцуулахад ашиглаж байгаа аутосомын STR 16 локусын үзүүлэлтүүд /PowerPlex16/.

	Микросателлит буюу STR локус	Хромосом дахь байрлал	Давтагдах нэгж	Аллелийн урт (bp)	Ген банканд бүртгэгдсэн аллелийн тоо	Дараалсан аллелийн дугаар
1	FGA	4q31.3	CTTT	322-444	21	12.2 - 51.2
2	TPOX	2p25.3	GAAT	262-290	11	4-16
3	D8S1179	8q24.13	[TCTA] [TCTG]	203-247	12	8-19
4	vWA	12p13.31	[TCTG] [TCTA]	123-171	14	11-24
5	D18S51	18q21.33	AGAA	290-366	23	7, 9-27
6	D21S11	21q21.1	[TCTA] [TCTG]	203-259	24	24-38
7	THO1	11p15.5	TCAT	156-195	10	4-13.3
8	D3S1358	3p21.31	[TCTG] [TCTA]	115-147	8	12-19
9	CSF1PO	5q33.1	TAGA	321-357	10	6-15
10	D16S539	16q24.1	GATA	264-304	9	5, 8-15
11	D7S820	7q21.11	GATA	215-247	10	6-15
12	D13S317	13q31.1	TATC	176-208	8	8-15
13	D5S818	5q23.2	AGAT	119-155	10	7-16
14	Penta E	15q	AAAGA	379-474	24	5-24
15	Penta D	21q	AAAGA	376-449	14	2.2, 3.2, 5, 7-17
16	Amelogenin	X, Y	-	112, 118	2	-

Олон улсын практикт одоогийн байдлаар хүний аутосом хромосомын микросателлит локусын аллель болон генотипийг тодорхойлох 10 гаруй нэр төрлийн иж бүрдэл үйлдвэрлэгдэж байгаа бөгөөд тухайн иж бүрдлүүд ихэнх локусаараа адилхан боловч, хоорондоо 2-4 локусаар өөр байдаг. Бид энэ төслийн ажлыг дэлхийн ихэнх улс орнуудын ДНХ-ийн судалгаа шинжилгээнд

өргөнөөр хэрэглэгдэж байгаа Promega фирмд үйлдвэрлэдэг PowerPlex-16HS ДНХ оношлуурыг сонгон авч хэрэглэсэн болно. Сонгон авсан шинжилгээний объектоос сорьц авч PowerPlex-16 ДНХ оношлуур иж бүрдэл хэрэглэн 1200 сорьцын ДНХ-ийн шинжилгээний үр дүнг гарган авсан бөгөөд жишээ болгож 1 сорьцын үр дүнг Зураг 2 дээр үзүүлэв.

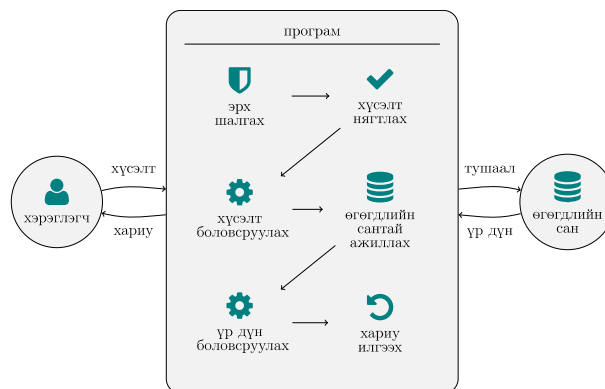


Зураг 2. U00067-т бүртгэгдсэн хүний “ДНХ-ийн мэдээллийн сан”-д оруулах өгөгдөл.

Энэхүү ДНХ-ийн шинжилгээний үр дүн нь [D3S1358(15/18), TH01(7/9), D21S11(32.2/32.2), D18S51 (13/14), Penta E (16/21), D5S818 (11/11), D13S317(8/9), D7S820 (8/13), D16S539 (9/12), CSF1PO (10/12), Penta D (9/10), vWA (15/17), D8S1179 (14/15), TPOX(8/8), FGA(23/23), (XX)] гэсэн эмэгтэй хүний генетик тогтоц бөгөөд энэ генотиптэй яг адилхан генотиптэй хүн /нэг өндгөн эсийн ихэр биш бол/ **3.74×10^{17}** тооны хүмүүс дотор “нэг” тохиолдох статистик магадлалтайг үйлдвэрлэгчээс тооцоолж гаргасан байдаг (Зураг 2).

MONDIS PROGRAM

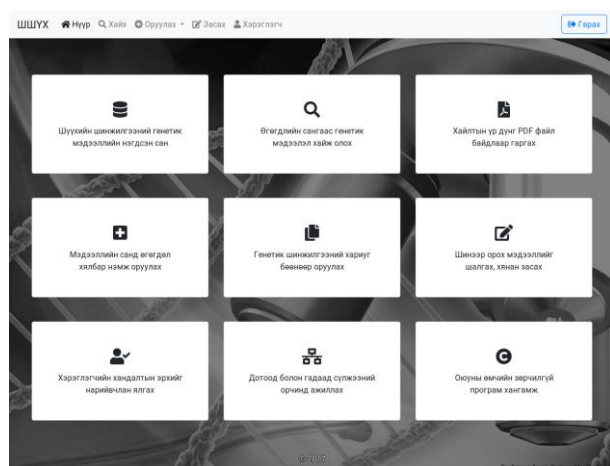
MonDIS програм нь ДНХ-ийн өгөгдлийн сан ба түүнтэй харьцаж ажиллах, хайлт хийх, хайлтийн үр дүнг хэвлэх, мэдээллийн санд мэдээлэл нэмж оруулах, дотоод болон гадаад сүлжээнд ажиллах гэсэн үндсэн хэсгүүдээс бүрдэнэ. MonDIS програмын ажиллах зарчмыг Зураг 3-аар схемчлэн харуулав.



Зураг 3. Програмын ажиллагааны ерөнхий зарчим.

Энэхүү програм нь програмчлалын технологийн шийдлийн хувьд нээлттэй эх бүхий дэлхий дахинд өргөн хэрэглэдэг, тогтвортой, үндэс суурь сайтай, аюулгүй байдлын шаардлага хангасан програм хангамжид суурилсаны зэрэгцээ тус програмыг урт хугацаанд ашиглах, хөгжүүлэхэд технологийн бэрхшээл болон санхүүгийн ачаалал гарахгүй байхыг анхаарсан. MonDIS нь байгууллагын дотоод сүлжээнд клиент-сервер байдлаар ажиллахын зэрэгцээ интернет орчинд байршуулж ажиллуулах бүрэн боломжтой (Зураг 4).

DNA мэдээллийн хэлбэрт тохируулан хүснэгт бүтэцтэй, сайтар хөгжсөн MySQL өгөгдлийн сан ашигласан. Програмчлалын хэлний хувьд серверийн орчинд өргөн хэрэглэдэг, өргөтгөх, өөрчлөх гэх мэтчилэн идэвхтэй хөгжүүлэлт хийхэд зохимжтой байх зэрэг шаардлагад үндэслэн интерпретед төрлийн хэл сонгох нь тохиромжтой гэж үзсэн. Бид вебэд суурилсан програм хөгжүүлэхэд зориулагдсан PHP хэлний сүүлийн үеийн 7.1 хувилбар ашигласан бөгөөд үүнээс дээших хувилбарт зохицож ажиллах боломжийг харгалзаж үзсэн.



Зураг 4. Програмын клиент хэсэг буюу хэрэглэгчийн веб хөтөч дээр үзэгдэх байдлыг харуулав.

DNA өгөгдлийн санд мэдээлэл оруулах, хайх зэрэг үйлдэлд веб хөтөч буюу клиентээс серверт хүсэлт илгээх, хариу хүлээн авах үйлдлийн заримд AJAX технологи, PHP хэлийг MySQL өгөгдлийн сантай холбоход PDO (PHP Data Objects)-ийг тус тус ашигласан. Мөн хайлтын үр дүнгийн тайланг PDF файл буюу шууд хэвлэхэд тохирох хэлбэртэй гаргахдаа хэвлэлийн эх бэлтгэхэд зориулсан L^AT_EX цогц систем ашигласан.

MONDIS ПРОГРАМЫН НУУЦЛАЛ, АЮУЛГҮЙ БАЙДАЛ

Клиент-серверээр ажиллах програмын хувьд хамгийн чухал асуудал бол нууцлал, аюулгүй байдал хангах явдал юм. Ашиглах технологи сонгох, суулгах, тохируулах болон програмын код бичих, хөгжүүлэх зэрэгт үүнийг харгалзаж үзсэн.

Програм хөгжүүлэгчийн хувьд дараах дэд хэсгүүдэд авч үзэх аюулгүй байдал, нууцлалын арга хэмжээнүүдээс кодын төвшин, клиент буюу

веб хөтчийн төвшин зэргийг хариуцна. Харин сүлжээ, үйлдлийн систем, сервер програм, галт хана, тэдгээрийн тохиргоо зэргийг системийн админ мэргэжилтэн хариуцан ажиллах шаардлагатай. Мөн хэрэглэгчид нууцлал, аюулгүй байдал хангахын тулд програмын хэрэглэгчийн нэр болон нууц үг зэргээ бусдад алдахгүй байхад анхаарах хэрэгтэй.

Серверт халдлага хийх олон янзын арга зам байдгаас кодын төвшинд SQL Injection (SQLi), Cross-Site Scripting (XSS), File Inclusion, HTTP Header, Session, Cookie зэргээс PDO буюу PHP Data Objects ашиглах, Regular Expression-ий тусламжтай өгөгдөл шүүх, програмд ачаалах файлын нэр болон замыг клиентээс ирсэн утгаар шууд авахгүй байх, HTTP Header болон Session, Cookie-ийг зохих ёсоор зааж тохируулах зэргээр урьдчилан сэргийлэх арга хэмжээ авсан. Мөн сүлжээний орчинд SSL (Secure Socket Layer) ашиглаж мэдээлэл шифрлэж дамжуулах боломжийг кодын төвшинд бүрэн хангаж өгсөн. Үүнээс гадна хэрэглэгч нэвтрэх, мэдээлэл оруулах, хайх, засах зэрэг модулууд дээр хэрэглэгчийн хандалтын түвшин, эрхийг нь шалгах, алдаатай, хуурамч, халдлагын шинжтэй хүсэлт илрүүлж зогсоох зэрэг нууцлал, аюулгүй байдал хангахад шаардлагатай арга хэмжээнүүдийг шат тухай бүрт нь тусган хэрэгжүүлсэн.

ДҮГНЭЛТ

Монгол Улсад ДНХ-ийн мэдээллийн санг үүсгэн байгуулж, түүний хяналт, удирдлагын “MonDIS” программыг практикт нэвтрүүлсэн. Энэ нь гэмт хэргийн эзэн холбогдогчийг богино хугацаанд үнэн зөв тогтоож үйлдэгдсэн гэмт хэргийг түргэн шуурхай илрүүлж, цаг хугацаа хэмнэхээс гадна давтан гэмт хэрэг үйлдэгдэхээс урьдчилан сэргийлэх чухал ач холбогдолтой. Мөн цаашид “MonDIS” программыг улам боловсронгуй болгох, сайжруулах, өргөтгөх үйл ажиллагааг байнга, тасралтгүй хийж гүйцэтгэх ажлын бат бэх суурийг тавьсан гэж үзэж байна. Дэлхийн улс орнууд 2010 оноос аутосомын микросателлит 15 локусын ДНХ-ээр адилтган харьцуулах шинжилгээг хийж байсан бол өнөөдөр “Global Filer™” 24, “AmpFLSTR™ Identifiler™ Plus” 21, “PowerPlex Fusion” 24 локусын аллелийг тодорхойлох оношлуурууд

үйлдвэрлэгдэн гарч шүүхийн шинжилгээнд нэвтрээд байна. Бид цаашид шинээр нээгдсэн локусаар өргөжүүлсэн оношлуураар ДНХ мэдээллийн сангаа өргөжүүлэх зорилт тавьж байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] Ганболд С., “Интерпол ба шүүх шинжилгээ, түүний хэрэглээ”, “Хууль дээдлэх ёс” сэтгүүл, 2009 он, №4, х 76-78.
- [2] Ганболд С., “Гэмт хэргийг илрүүлэхэд “Генетик мэдээллийн сан” бий болгож, ашиглах асуудалд”, “Хууль дээдлэх ёс” сэтгүүл, 2009 он, №1, х 68-70.
- [3] Ганболд С., Баярмаа Р., “Хэргийн газраас илрүүлсэн биологийн гаралтай ул мөрийн ДНХ-ийг “Генетик мэдээллийн сан”-д оруулах асуудалд”,- “Хууль дээдлэх ёс” сэтгүүл, 2009, № 3, х.75-77.
- [4] Ганболд, С, “Гэмт хэргийг илрүүлэхэд ДНХ технологийг ашиглах, түүнийг практик хэрэглээ болгох арга”- “Гэмт явдалтай тэмцэх төрийн бодлогын хэрэгжилт, чиг хандлага” Олон улсын эрдэм шинжилгээний хурлын эмхэтгэл-I, 2013, х-164-169.
- [5] Ганболд С., “Шүүх ДНХ-ийн шинжилгээний өнөөгийн байдал” - “Хууль сахиулахуйн инноваци” Олон улсын эрдэм шинжилгээний хурлын эмхэтгэл-I, 2014, х-209-212.
- [6] Живгаагүнсэл Д., Мөнхтунгалаг Ө., “Шүүхийн шинжилгээний практикт “Генийн мэдээллийн санг” ашиглаж гэмт хэргийг илрүүлж буй гадаадын зарим улс орны туршлага, эрх зүйн орчин” харьцуулсан судалгаа, код: СТ-13/241., 2013 он, УБ хот.
- [7] Чудинов О.С., Пименов., Абрамова А.Б., “Технико-экономическое обоснование внедрения ДНК-исследований в экспертно-криминалистическую деятельность и ее автоматизация”, “Эксперт криминалист”, 2006, №3.
- [8] <http://www.dnaresource.com/documents/HowtoobtainCODIS.pdf>
- [9] <http://www.dnaresource.com/documents/All%20Countries%20Most%20Recent%20DNA%20Legislation%20Aug%202018%20pdf.pdf>
- [10] <http://www.dnaresource.com/resources.html>
- [11] www.dnaresource.com/.../2018%20Hit%20of%20the%20Year/2018%20DNA%20Hit

InGaAs/InAlAs quantum well дэх цахиурын атомын хольцын нөлөө

О.Оюун-Эрдэнэ^{1,*}, Ж.Биазиол², Г.Тамираа¹

¹ Хими Биологийн Инженерчлэлийн Тэнхим, Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан, Инженерчлэлийн Сургууль, МУИС

² IOM CNR, TASC лаборатор, Шинжлэх Ухааны Парк, Триесте, Итали

Бид энэхүү ажлаар InGaAs/InAlAs quantum well (QW)-д дельта хэлбэрийн цахиурын атомын хольц хийсэн ба QW ба цахиурын атомын хольцын үе хоорондын зайг 5 – 45 нм хүртэл өөрчлөн цахиурын атомын хольцыг QW-н дээр, доор байрлуулан тооцоо хийж, хольцын концентрацийг өөрчлөн QW дахь цэнэгийн концентрацид хэрхэн нөлөөлөхийг судлав. Үүнээс цахиурын атомын хольцыг QW-с холдуулах тусам электроны концентраци буурч байсан ба QW-н дээр хольцыг байрлуулахад шугаман хамааралтай ба хольцын концентраци ихсэхэд QW дотор үүсэх цэнэгийн хэмжээ ихсэж байгааг харууллаа.

Түлхүүр үг: Quantum well, цахиурын атомын хольц, x-гау детектор.

ОРШИЛ

Сүүлийн жилүүдэд quantum well (QW) дээр суурилсан дэвшилтэт төхөөрөмжүүд нь лазерын хэрэглээнд болон фотоны бүртгэгчид ашиглах судалгаа ихээр хийгдэж байна. InP суурь дээр ургуулсан гетеро-бүтэцтэй InGaAs/InAlAs QW нь өндөр давтамжтай орны-эффект бүхий high-electron-mobility transistor (HEMT)-т ашиглагддаг [1,2]. Харин GaAs суурь дээр ургуулсан InGaAs/InAlAs QW-г ашиглан өргөн мужийн рентген цацрагийн байрлал тодорхойлох фотон бүртгэгчээр ашиглах боломжтой нь харагдсан [3-5]. QW төхөөрөмж нь бага хориотой бүсийн энергитэй, цэнэгийн хөдлөх чадвар өндөртэй шинж чанараараа X-гау мужид хурдан бөгөөд өндөр мэдрэмжтэй сенсор гэдэг нь дээрх судалгаануудад тогтоогджээ. Метаморфик шинжтэй QW төхөөрөмжийг хэт өндөр вакуумд (10^{-9} мбар) атомын түвшинд хянан нимгэн үеийг ургуулах арга буюу Molecular Beam Epitaxy (MBE)-аар GaAs суурь дээр үе үеэр нь ургуулж үүсгэдэг [6,7]. 2 талаасаа потенциал саадаар хашигдсан QW дотор 2 хэмжээст чөлөөт электрон хий (2ХЧЭХ)-г үүсгэсэн нь энэхүү төхөөрөмжийн гол давуу тал юм [8]. QW доторх цэнэг зөөгчүүд квант потенциалд хязгаарлагдан квантчилагдаж энергийн түвшнүүдэд хуваагдана. Хэдий тийм боловч потенциал нүх дотор үүссэн цэнэгийн популяци, түүний шинж чанарыг төдийлөн судлаагүй байна.

Бид өмнөх судалгаагаараа QW-н өргөнийг 5 – 45 нм хүртэл өөрчилж Шредингерийн тэгшитгэлийг 1 хэмжээст тохиолдолд бодон долгион функц, хувийн утга, электроны концентрацийг тооцоолсон [9]. QW-г өргөсгөх тусам электроны концентраци өсч байгаад тодорхой утгаас эхлэн тогтмолжиж эхэлсэн юм. Иймээс ажлын үр дүнд туршилтаар ургуулахад хамгийн тохиромжтой QW-н өргөнийг 20 – 30 нм гэж тогтоосон [9].

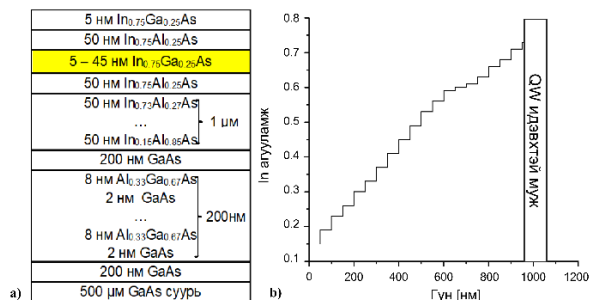
Дараагийн шатанд QW дэх цэнэгийн концентрацид цахиурын атомын хольц хэрхэн нөлөөлж буйг судаллаа. Цахиурын атомууд нь потенциал нүх рүү электроны хольцыг хийж цэнэгийн концентрацийг ихэсгээд зогсохгүй, хянах боломжийг олгож болох юм. Тиймээс, эхлээд QW-н дээр болон доор нь 5 – 45 нм зайтайгаар цахиурын атомын хольц нэмж, тохиромжтой байрлал болон зайг нь тооцоолсны дүнд цаашид цахиурын атомын хольцыг QW-н дээр байрлуулж тооцохоор сонголоо. Түүнчлэн бодит ургалтын нөхцөлд оруулсан цахиурын атомын концентрацийн утгуудыг авч тооцоолон харьцуулсан үр дүнг энэхүү судалгааны ажилдаа танилцуулж байна.

ТӨХӨӨРӨМЖИЙН БҮТЭЦ

MBE-д 500μм зузаантай GaAs дээр ургуулсан InGaAs/InAlAs QW төхөөрөмжийн үелсэн бүтцийг Зураг 1-д үзүүлэв. GaAs суурьд үүсэх эффектүүдийг багасгахын тулд дээр нь 200 нм AlGaAs/GaAs суперлаттис (SL)-ыг ургуулсан. Цаашлаад $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$ буфер үеийн In_x -н

* Electronic address: oyunerdene0927@gmail.com

агууламжийн x -г 0.15 – 0.75 хүртэл шатлалаар ихэсгэн ургуулсан нь торын параметрийн зөрүүнээс үүссэн харьцангуй суналтын энергийг арилгах зорилготой [10]. Дараагаар нь 25 нм өргөн InGaAs QW, 50 нм өргөн InAlAs хоёр үеийн дунд ургуулсан.



Зураг 1. а) Төхөөрөмжийн бүтэц б) буфер давхаргын In агууламжийн шаталсан бүтэц.

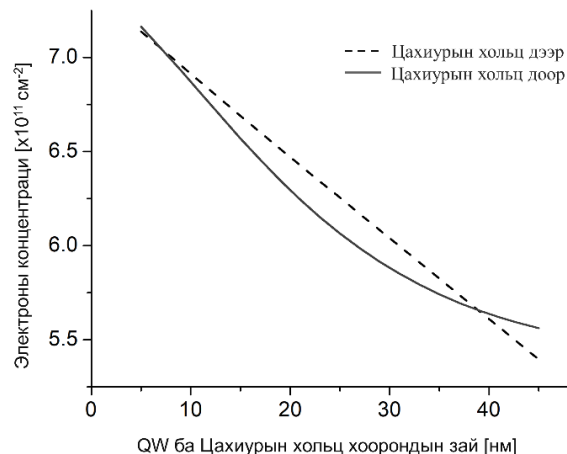
ТООЦООЛЛЫН ХЭСЭГ

Шинэ судлагдаж байгаа төхөөрөмжийн хувьд тохиромжтой горимыг тогтоох, шинж чанарыг судлахад загварчлал хийх нь хамгийн чухал процесс юм. Цахиурын атомын хольцын нөлөөллийг тодорхойлохын тулд 1D Poisson Schrodinger solver-г ашиглан квант механикийн тооцоог хийлээ [11]. QW-н дээр болон доор нь 5 – 45 нм зайтайгаар цахиурын атомын хольцыг байрлуулж, цэнэгийн концентрацийг тооцсон. Улмаар бодит ургалтын нөхцөлөөс цахиурын агууламжийг аван тооцооллыг гүйцэтгэв. Тооцооллын пакежид InGaAs, InAlAs материалыг шинээр нэмж оруулсан ба InGaAs-н электроны хөдлөх чадварыг туршилтын утгаас авч, бусад параметруудийг (электрон, нүхний масс, бүсийн оффсет (band offset) гэх мэт) потенциалд нэмсэн. Загварчлал хийхдээ QW төхөөрөмжийн давхаргыг туршилтаар MBE-д ургуулсантай ижил байхаар кодолсон. Бүх тооцооллыг тасалгааны температурт явуулав.

ҮР ДҮНГИЙН ХЭСЭГ

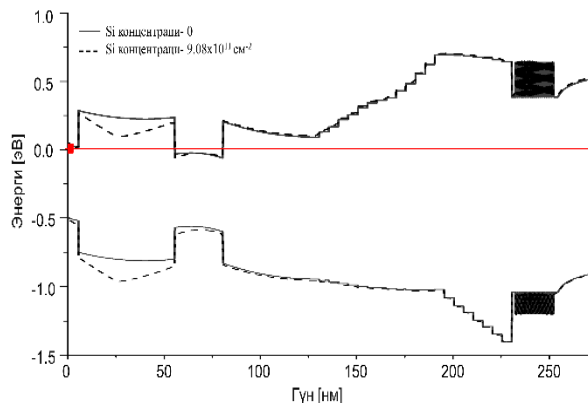
Бид эхлээд цахиурын атомын хольцын концентрацийг тогтмол хадгалж QW-н дээр, доор байрлуулсан. QW ба хольцын хоорондох зайг 5 – 45 нм хүртэл өөрчлөн тооцоолсон графикийг Зураг 2-т харуулав. Графикаас харахад цахиурын атомын хольцыг дээр нь өгч тооцоход цахиурын атомын хольцын үе нь QW-с холдох тусам түүнд үүсэх электроны

концентраци шугаман хамаарлаар буурч байгаа нь ажиглагдлаа. Харин доор байрлуулахад шугаман бус хамааралтай байна. Үүнээс бид цаашдын тооцоонд цахиурын атомын хольцыг зөвхөн QW-н дээр байрлуулж тооцохоор сонгосон.



Зураг 2. Цахиурын атомын хольцыг QW-н дээр болон доор байрлуулж мөн хоорондох зайг өөрчлөн тооцоолсныг харуулсан график.

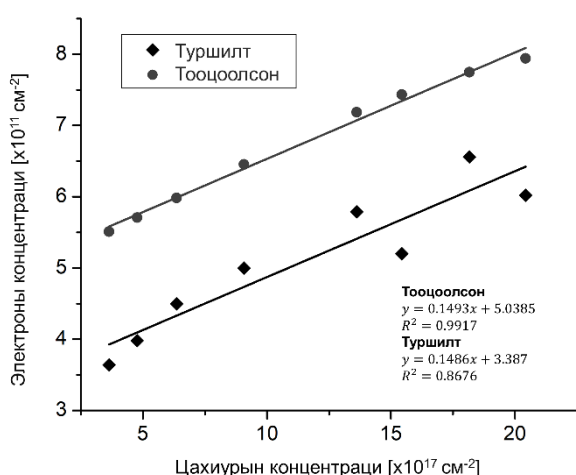
Цахиурын атомын хольцын концентрацийг өөрчлөн тооцсон QW-н бүсийн диаграммыг Зураг 3-т дүрслэв. Хольцын концентраци ихсэх тусам хотойж, валентын бүс болон дамжуулалтын бүс ферми түвшинтэй ойртож байгаа нь харагдаж байна. QW дотор үүсэх ёстой 2ХЧЭХ нь ферми түвшнээс доош орсон QW-н хэсэгт үүссэн нь харагдаж байна. Мөн In_xAl_{1-x}As давхаргын In-н шаталсан концентрацийн өөрчлөлт болон AlGaAs/GaAs-н суперлаттисын давхарга гарсан байна.



Зураг 3. Цахиурын атомын хольц QW-н бүсийн диаграммд нөлөөлөх нь.

Туршилтад ашигласан $0-1.02 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ утгын муж дахь цахиурын атомын хольцын концентрацийн утгыг авч тооцооллыг гүйцэтгэв.

Туршилтын ба тооцооллын үр дүнг харьцуулан Зураг 4-т харуулж байна. Цахиурын хольцийн концентраци ихсэхэд потенциал дотор үүсэх электроны концентраци өссөн үр дүн гарсан бөгөөд туршилтын утгуудтай ижил зүй тогтолтой байлаа. Цаашид туршилтаар ургуулах төхөөрөмжийн цэнэгийн концентрацийг цахиурын атомын хольцоор удирдан тохируулж боломтой байна. Түүнчлэн нарийн төвөгтэй ургалтын процесс бүхий өндөр өртөгтэй дээжүүдийн олон дахин ургуулалгүй тохирох хольцын концентрацид харгалзах цэнэг зөөгчийн утгыг урьчилан тооцоолж тохируулах болно.



Зураг 4. Цахиурын атомын хольцын концентраци ба QW доторх электроны концентрацийн хамаарлыг онолын тооцоолол ба туршилтын утгатай харьцуулсан график.

ДҮГНЭЛТ

QW-д цахиурын атомын хольцын концентрацийг тогтмол өгч хооронд дахь зайг өөрчлөн, QW-н дээр доор байрлуулан тооцоход, цахиурын атомын хольцыг дээр нь өгсөн нь шугаман хамаарлаар буурч байсан учраас цаашдын тооцоонд дээр нь байрлуулж байх нь тохиромжтой гэж үзэж байна. Цаашилбал туршилтад ашигласан цахиурын атомын хольцын концентрацийн утгыг авч тооцооллыг гүйцэтгэхэд бүсийн диаграмм нь хольцын концентраци нь ихсэх тусам хotoйж, ферми түвшинтэй ойртож байгаа нь харагдлаа. Туршилтын болон тооцооллын үр дүнг харьцуулан харахад хольцын концентрацийг ихэсгэх тусам QW доторх электроны концентраци өсөж байгаа нь туршилтаар ургуулах гэж буй QW-н электроны

концентрацийг урьдчилан тооцож тохируулах боломжтой болж байна.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү ажлыг гүйцэтгэхэд дэмжлэг үзүүлж P2017-1322 төслийг санхүүжүүлсэн Азийн Хөгжлийн Банканд талархал илэрхийлье.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] E. Y. Chang et al., Appl. Phys. Express 6, 034001 (2016).
- [2] J. A. del Alamo, Nature 479, 317 (2011).
- [3] M. Antonelli et al., Fast board-band photon detector based on quantum well devices and charge-integrating electronics for non-invasive FEL monitoring, AIP Conference Proceedings 1741, 030001 (2016).
- [4] S. Adachi et al., Properties of Semiconductors Alloys: Group-IV, III-V and II-VI Semiconductors (Wiley, New York, 2009).
- [5] T. Ganbold et al., Fast, multi-wavelength, efficiency-enhanced pixelated devices based on InGaAs/InAlAs quantum wells, J. Inst., 10, C03009 (2015).
- [6] T. Ganbold et al., Photon-sensitive multi-wavelength photon detectors based on epitaxial InGaAs/InAlAs quantum wells, J. Cryst. Growth 425, 341-345 (2015).
- [7] T. Ganbold et al., Position sensitive photon detectors using epitaxial InGaAs/InAlAs quantum wells, J. Inst., 9, C12043 (2014).
- [8] F. Capotondi et al., Two-dimensional electron gas formation in undoped in In_{0.75}Ga_{0.25}As/In_{0.75}Al_{0.25}As quantum wells, J. Vac. Sci. Technol. B 22, 702 (2004).
- [9] O. Oyun-Erdene et al., Quantum states of InGaAs/InAlAs quantum well detector for board-range photon detection, Mongolian J. Phys., Issue 4, 31-35 (2018).
- [10] F. Capotondi et al., Strain induced effects on the transport properties of metamorphic InAlAs/InGaAs quantum wells, Thin Sol. Films, 484, 400-407 (2005).
- [11] G. Snider, 1D Poisson, <http://www.nd.edu/~gsnider/>.

Төвийн бүс нутгийн хөрсөн дэх ^{137}Cs -ийн хуримтлал

Ц.Сайнсанаа¹, Н.Норов^{2,*}

¹ Хими, биологийн инженерчлэлийн тэнхим, Хэрэглээний шинжлэх ухаан, инженерчлэлийн сургууль, Монгол улсын их сургууль

² Цөмийн физикийн судалгааны төв, Монгол улсын их сургууль

Төвийн бүс нутгийн Дархан-Уул, Орхон, Сэлэнгэ, Төв, Өвөрхангай аймгуудын сумдын хөрсөнд үүсмэл цацраг идэвхт изотоп- ^{137}Cs -ийн хэмжээг гамма спектрометрийн аргаар тодорхойлсон дүнг харьцуулан судалж, түүний гамма цацрагаас судалгаанд хамрагдсан сумдын оршин суугчдын жилд авах гадаад шарлагын эффектив эквивалент тунг үнэлсэн болно.

1. ОРШИЛ

Манай улсын хүн ам ихтэй хот, аймгийн төв, сумдын цацрагийн дэвсгэр төвшинг тогтоох зорилгоор хүн ам суурьшсан газрын хөрсөнд агуулагдах үүсмэл цацраг идэвхт изотоп- ^{137}Cs -ийн хувийн идэвхийг тодорхойлж, улмаар өнгөн хөрсөн дэх хуримтлалыг тогтоох судалгааны ажил хийгдэж байна [1]. Энэ ажлын хүрээнд Дархан, Орхон, Сэлэнгэ, Булган, Төв, Өвөрхангай аймгуудын сумдын хөрсөн дэх ^{137}Cs -ийн хувийн идэвхийг гамма спектрометрийн аргаар тодорхойлсон дүнг харуулав. Хүрээлэн буй орчин дахь цацраг идэвхт элементүүдийг байгалийн болон үүсмэл гэж хоёр хуваана [2].

Байгалийн цацраг идэвх. Байгалийн цацраг идэвхт изотопууд нь дараалсан цацраг идэвхт задралд орж цацраг идэвхт бүлүүдийг үүсгэнэ. Байгалийн цацраг идэвхийн гурван бүл байдаг. Эдгээр бүлүүдийг анхны үүсгэгч элементээр нь уран, тори, актинийн бүл гэж нэрлэдэг. Гурван бүл аль аль нь хар тугалгын тогтвортой изотопууд төгсөнө.

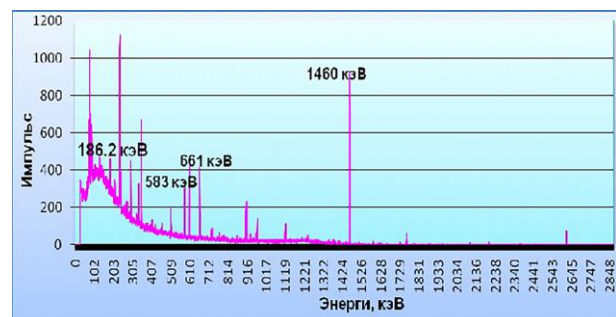
Үүсмэл цацраг идэвх. Уран, плутонийн хуваагдлын гинжин урвалын үр дүнд үүсмэл цацраг идэвхт изотопууд үүсэх бөгөөд 1960-аад онуудад цөмийн зэвсгийг газар дээр туршилт хийж байснаас үүдэн хөрсөнд урт настай үүсмэл цацраг идэвхт изотоп ^{137}Cs тархаж хуримтлагдсан байдаг. Жишээ Казахстан улсад 2500 ширхэг хөрсний дээжийн хэмжилтээр хөрсөн дэх ^{137}Cs -ийн хувийн идэвхийн түгэлтийг байгуулахад түүний дундаж утга 17 Бк/кг байжээ [3]. Москвагийн бүс нутгийн хагалсан хөрсний ^{137}Cs -ийн цацраг идэвхт бохирдолтыг

сонгон судалсан үр дүнгээр 2003 онд ^{137}Cs -ийн хөрсөн дэх хуримтлал (бохирдолтын дундаж нягт) 2.57 Бк/м^2 байжээ [4].

2. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Судалгааны талбайгаас газрын өнгөн хөрсний 5см гүн, 15смх15см талбайн хөрсний дээж авна. Хөрсний дээжээ детекторт углаж ордог 700 см^3 эзлэхүүнтэй Маринеллийн саванд хийж, түүнийг 1 цаг хэмжив. Хөрсний хэмжилтийн гамма спектрийг 1-р зурагт харуулав.

Хөрс нь экосистемийн солилцооны эхний хэсэг учир хөрсөн дэх ^{137}Cs -ийн судалгаа чухал ач холбогдолтой. Хөрсний дээжид цацраг идэвхт элементүүдийн хувийн идэвхийг тодорхойлох хэмжилтэд өндөр ялгах чадвартай цэвэр хагас дамжуулагч германи детектор, 4096 сувагтай анализатор бүхий гамма спектрометр ашигласан. Детекторын ажлын эзлэхүүн 52 см^3 гамма квантыг энергиэр ялгах чадвар 1333 кэВ энергитэй шугамын хувьд 2.0 кэВ байв.



Зураг 1. Хөрсөн дэх ^{137}Cs изотопын 661 КэВ энергитэй гамма шугам.

Гамма спектрометрт гаргаж авсан гамма спектрээс хөрсөн дэх ^{137}Cs изотопын хувийн

* Electronic address: norov@seas.num.edu.mn

идэвхийг түүний 661.66 кэВ энергитэй гамма цацрагийн бүрэн шингээлтийн пикийн талбайгаар олохдоо дараах томъёог ашигласан.

$$A = \frac{N(E_i)}{k \cdot \varepsilon_0(E) \cdot k_\gamma \cdot m \cdot t} \quad (1)$$

Үүнд: A- изотопын хувийн идэвх (Бк/кг); N(E)- гамма квантын бүрэн шингээлтийн пикийн талбай; k_γ - гамма квантын гаралт; $\varepsilon_0(E)$ - усны хувьд ($\rho=1\text{г/см}^3$) олсон детекторын үнэмлэхүй бүртгэх чадвар; k- дээжид гамма квантын сулралтыг тооцсон тогтмол (туршлагаар тодорхойлсон); m - дээжийн жин (кг); t - хэмжсэн хугацаа (с).

Судалгааны дээж авсан 5 см зузаан өнгөн хөрсний нэгж талбайд унасан ^{137}Cs -ийн хуримтлалыг тооцоход дараах илэрхийллийг ашиглана:

$$A_{\text{Cs}} = \frac{N \cdot m_{\text{ав}}}{0.851 \cdot k \cdot \varepsilon_0(661.7\text{кэВ}) \cdot 50 \cdot S \cdot t \cdot m_{\text{хэм}}}; \quad (2)$$

Үүнд: A_{Cs} - ^{137}Cs -ийн хөрсөн дэх хуримтлал (кБк/м^2); $50 - 1\text{ г/см}^3$ нягттай хөрсний дээж авсан 5см гүн, 10 см x 10см талбайн нэгжийг (м^2) жин (кг)-д шилжүүлэх тогтмол; $m_{\text{ав}}$ - авсан дээжийн нийт жин(кг); $m_{\text{хэм}}$ – гамма спектометрт хэмжсэн дээжийн жин (кг); S – дээж авсан талбайн хэмээ (м^2).

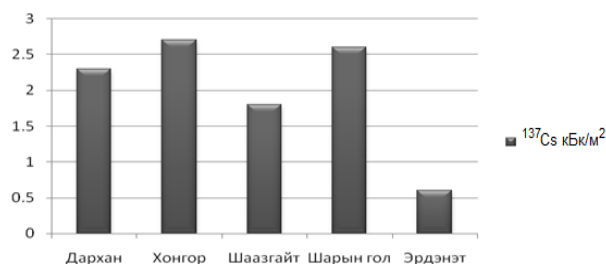
3. ҮР ДҮН. ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Дархан-Уул, Орхон аймгийн сумуудын хөрсөн дэх үүсмэл цацраг идэвхт ^{137}Cs изотопын хувийн идэвхийг (1) томъёогоор бодож олсон дүнг 1-р хүснэгт ба (2) томъёогоор олсон хөрсөн дэх хуримтлалыг 2-р зурагт харуулав.

Хүснэгт1. Дархан-Уул, Орхон аймгийн сумуудын хөрсөн дэх ^{137}Cs -ийн хувийн идэвх.

Аймаг	Сум	^{137}Cs -ийн хувийн идэвх, кБк/кг
Дархан-Уул	Дархан	11.9 ± 3.2
	Хонгор	14.0 ± 4.0
	Шаазгайт	9.3 ± 2.7
	Шарын гол	13.5 ± 3.9
	Дундаж	11.9 ± 3.2
Орхон	Эрдэнэт-Овоо	3.1 ± 1.0
Монголын нутагт ^{137}Cs -ийн хамгийн их магадлалтай хэмжээ		7.8

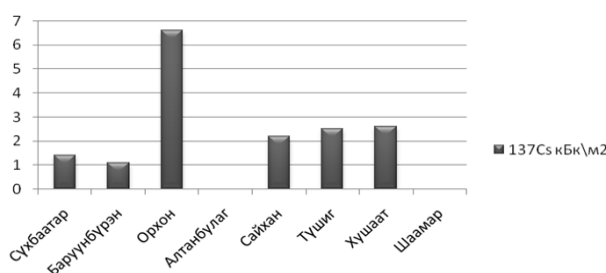
^{137}Cs -ийн хуримтлал



Зураг 2. Дархан Уул ба Орхон аймгийн сумуудын хөрсөн дэх ^{137}Cs -ийн хуримтлал.

Сэлэнгэ аймгийн сумуудын хөрсөн дэх ^{137}Cs -ийн хуримтлалыг 3-р зурагт харуулав.

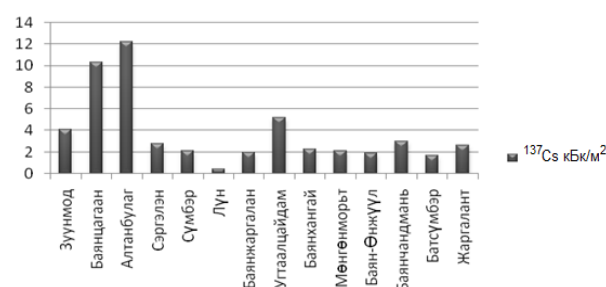
Cs-ийн хуримтлал



Зураг 3. Сэлэнгэ аймгийн сумуудын хөрсөн дэх ^{137}Cs -ийн хуримтлал.

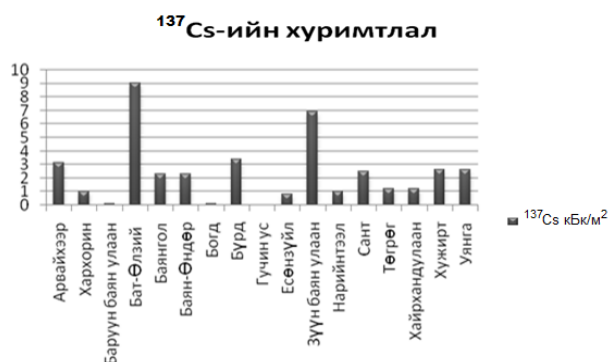
Алтанбулаг, Шаамар сумдын хөрсөнд ^{137}Cs илрээгүй нь эдгээр сумдын дээж авсан хэсэг хөрсний элэгдэл эвдрэлд өртсөнтэй холбоотой болно.

^{137}Cs -ийн хуримтлал



Зураг 4. Төв аймгийн сумуудын хөрсөн дэх ^{137}Cs -ийн хуримтлал.

Төв аймгийн сумдын хөрсөнд ерөнхийдөө ^{137}Cs -ийн хуримтлал багатай байгаа бөгөөд ялангуяа баруун аймгууд руу явахад дайрч өнгөрдөг Лүн сумын хөрсөнд бүр ч бага байгаа нь харагдаж байна.



Зураг 5. Өвөрхангай аймгийн сумуудын хөрсөн дэх ^{137}Cs -ийн хуримтлал.

Төвийн бүс нутгийн аймгуудын сумуудын хөрсөн дэх ^{137}Cs –ийн хувийн идэвхийн өөрчлөгдөх муж, дундаж хэмжээ, оршин суугчдын хөрсөн дэх үүсмэл цацраг идэвхт ^{137}Cs изотопын гамма цацрагаас жилд авах гадаад шарлагын дундаж эффектив эквивалент тунг 2-р хүснэгтэд үзүүлэв. Эффектив эквивалент тунг тооцоход ^{137}Cs үүсгүүрийн гамма тогтмол – $0,081 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2 \cdot \text{Зв} / \text{Бк}$, хүний задгай газар байх харьцангуй хугацаа – 0.2, эквивалент тунгийн чадал ба агаарт шингэсэн тунгийн чадлын харьцаа – 0.7 гэж авч үзсэн болно.

Хүснэгт 2. Хөрсний ^{137}Cs изотопоос оршин суугчдын жилд авах эффектив эквивалент тун (мЗв).

Төвийн бүс нутгийн аймаг	Цези-137		
	Хувийн идэвх, Бк/кг		Дундаж эффектив эквивалент тун, мкЗв
	Өөрчлөгдөх муж	Дундаж	
Дархан Уул	9.3 – 13.5	12	14.5
Орхон, Эрдэнэт		3.1	3.7
Сэлэнгэ	1.0- 6.5	2.7	3.3
Төв	0,2 - 12	3.6	4.3
Өвөрхангай	0.2- 9.0	2,4	2.9
Монголын хамгийн их магадлалтай утга	6.2 – 9,3	7.8	9.4

ЗХУ-ын нутаг дэвсгэр дээрх хөрсөн дэх ^{137}Cs -ийн хуримтлал ($\text{мКи}/\text{км}^2$)-ын картыг 1977 онд, Өмнөд Сибирийн бүс нутгийн хөрсөн дэх ^{137}Cs -ын хуримтлал ($\text{мКи}/\text{км}^2$)-ын картыг 2005 онд [5] гаргасан гэж үзэж ^{137}Cs -ийн цацраг идэвхийн задралыг тооцоолон, Монгол орны нутаг дэвсгэрийн хөрсөн дэх ^{137}Cs -ийн хуримтлалын хэмжээ 1,2-1,8 $\text{кБк}/\text{м}^2$ байх магадлалтай бөгөөд үүний дундаж утга 1,5 $\text{кБк}/\text{м}^2$ болно.

ДҮГНЭЛТ

- Орхон аймаг (Эрдэнэт), Сэлэнгэ, Төв, Өвөрхангай аймгийн сумуудын хөрсний дээж дэх үүсмэл цацраг идэвхт ^{137}Cs изотопын хувийн идэвхийн хэмжээ дунджаар 3.1 Бк/кг, 2.7 Бк/кг, 3.6 Бк/кг, 2.4 Бк/кг-тэй тэнцүү байгаа нь Монголын хөрсөнд байх хамгийн их магадлалтай утга 7.8 Бк/кг-аас харгалзан тус бүр нь 2,5; 2.9; 2.2; 3.3 дахин бага байна. Иймээс эдгээр аймгуудын сумдын өнгөн хөрс салхи, усны нөлөө болон хүний үйл ажиллагаатай холбоотой эвдэлд орсон болохыг ^{137}Cs изотопын хувийн идэвх бага байгаагаар

тайлбарлаж болох юм.

- Дархан-Уул аймгийн сумдын хөрсөн дэх ^{137}Cs -ийн хуримтлал бусад аймгийн сумдын хөрсөн дэх хуримтлалаас их Монголын хөрсөнд байх хамгийн их магадлалтай утгатай ойролцоо байна. Дархан хот орчмын хөрс ус, салхины эвдрэлд харьцангуй бага өртсөн болохыг харуулна.
- Сэлэнгэ аймгийн Алтанбулаг, Төв аймгийн Лүн, Өвөрхангай аймгийн Баруун баян улаан, Богд, Гучин-Ус зэрэг сумдын хөрсний дээж дэх ^{137}Cs -ийн хэмжээ илрээгүй байгаа нь эдгээр дээж авсан талбай хүний үйл ажиллагаатай холбоотой эвдрэлд өртсөн болохыг харуулж байна.
- Аймгийн сумдад оршин суугчдын ^{137}Cs -ийн изотопын гамма цацрагийн гадаад шарлагаар жилд авах эффектив эквивалент тун 2.9 -14.5 мкЗв байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- Ts.Erkhembayar, N.Norov, G.Khuukhenkhuu. Study on soil radioactivity around central region of Mongolia. “Nuclear physics and

- applications”. American Institute of Physics, AIP CONFERENCE PROCEEDING, VOLUME 1109, New York, Melville, 2009, 148-151
- [2] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly, UN New York. (2000).
- [3] TOPICAL ISSUES IN RADIOECOLOGY OF KAZAKHSTAN ISSUE 1. Semipalatinsk Test Site: Radioecological Situation of the Northern Lands. Pavlodar. Press House LLP. 2010.
- [4] Игнатов П.А., Верчеба А.А. Радиогеоэкология и проблемы радиационной безопасности: Учеб. для студ. высш. учеб. заведений. Волгоград: Издательский Дом. “Ин-Фолио”, 2010.
- [5] В.И.Медведев и др, Сибирский экологический журнал. 2005 №6 – с.1055-1071.