

ISSN 2312-8534

**ГАЗАРЗҮЙН АСУУДЛУУД**  
**JOURNAL OF GEOGRAPHIC**  
**ISSUES**

2019 (2) ДУГААР 19

Улаанбаатар хот  
2019 он

**Дугаарын хариуцлагатай редактор:**

Доктор, дэд профессор Д.Амартүвшин  
Монгол Улсын Их Сургуулийн Шинжлэх Ухааны Сургууль, Байгалийн Ухааны  
Салбар, Газарзүйн Тэнхим.  
Цахим шуудан: a.dorjsuren@num.edu.mn

**Сэтгүүлийн техник редактор:**

Магистр Д.Ганпүрэв  
Монгол Улсын Их Сургуулийн Шинжлэх Ухааны Сургууль, Байгалийн Ухааны  
Салбар, Газарзүйн Тэнхим.  
Цахим шуудан: ganpurev@num.edu.mn

**Редакцын зөвлөлийн гишүүд:**

Доктор, профессор В.Батцэнгэл  
Монгол Улсын Их Сургууль

Доктор, профессор Ж.Л.В.Жендерен  
Дэлхий Судлал, Гео-мэдээлэлзүйн Олон Улсын Сургууль, Нидерланд

Доктор, профессор П.Мягмарцэрэн  
Монгол Улсын Их Сургууль

Доктор, профессор Д.Даш  
Монгол Улсын Багшийн Их Сургууль

Монгол Улсын Гавьяат багш, доктор, МУИС-ийн зөвлөх профессор М.Баянтөр  
Монгол Улсын Их Сургууль

Доктор, профессор Йорг Янцен  
Берлины Чөлөөт Их Сургууль, ХБНГУ

Доктор, МУИС-ийн зөвлөх профессор Б.Чинбат  
Монгол Улсын Их Сургууль

Доктор О.Батхишиг  
Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэн

Доктор, профессор С.Эрдэнэсүх  
Монгол Улсын Их Сургууль

Доктор, профессор Е.Батчулуун  
Монгол Улсын Багшийн Их Сургууль

Доктор П.Гомболүүдэв  
Ус Цаг Уур Орчны Шинжилгээний Хүрээлэн

## **ГАРЧИГ**

### **ДАРЬГАНГЫН ЛААВЫН ТАВЦАН ДАХЬ ШИЛИЙН БОГД ГАЛТ УУЛЫН ГЕОМОРФОЛОГИЙН ХЭЛБЭР**

*Э.Алтанболд, Х.Уламбадрах, Г.Бямбабаяр, Д.Санчир*..... 4

### **ӨГИЙ НУУРЫН ХОТГОРЫН МОРФОЛОГИЙН ГАРАЛ ҮҮСЭЛ: ФЛЮВИАЛЬ ПРОЦЕСС БА ТЕКТНИК ХАГАРЛЫН ХОЛБОО**

*Э.Алтанболд, Я.Гансүх, Э.Амаасүрэн* ..... 22

### **ХОТ ТӨЛӨВЛӨЛТИЙН ҮЗЭЛ БАРИМТЛАЛУУДЫН ХОТЫН ТЭЛЭЛТИЙГ БАГАСГАХАД ҮЗҮҮЛЭХ НӨЛӨӨЛЛИЙГ ОРОН ЗАЙН ЗАРИМ ҮЗҮҮЛЭЛТҮҮДИЙГ АШИГЛАН ТООЦОХ НЬ**

*Б.Болормаа, Фүрст.К, М.Буяндэлгэр* ..... 42

### **ГАНДУУ БҮСИЙН УРГАМЛЫН ОРОН ЗАЙН ТАРХАЛТ: ТЮРИНГИЙН ХЭЛБЭРШИЛ УС ГАЧИГ НӨХЦӨЛД ИЛРЭХ НЬ**

*Кэйтиа Шима, Бухо Хошино, Инь Тянь, Э.Золжаргал, Б.Сайшаалт,  
Наянтай, И.Мягмаржав, П.Мягмарцэрэн, Б.Төрөмч* ..... 62

## ГАНДУУ БҮСИЙН УРГАМЛЫН ОРОН ЗАЙН ТАРХАЛТ: ТЮРИНГИЙН ХЭЛБЭРШИЛ УС ГАЧИГ НӨХЦӨЛД ИЛРЭХ НЬ

*Кэйта Шима<sup>1</sup>, Бухо Хошино<sup>1</sup>, Инь Тянь<sup>1</sup>, Э.Золжаргал<sup>2</sup>, Б.Сайшаалт<sup>3</sup>,  
Наянтай<sup>4</sup>, И.Мягмаржав<sup>5</sup>, П.Мягмарцэрэн<sup>6</sup>, Б.Төрөмч<sup>6</sup>*

<sup>1</sup>Байгаль орчны зайнаас тандан судалгааны лаборатори, Ракуно Гакуэн Их  
Сургууль, Эбецу, Япон

<sup>2</sup>Ус, цаг уур, орчны шинжилгээний газар, Сайншанд хот, Монгол улс

<sup>3</sup>Газарзүйн сургууль, Өвөр Монголын Багшийн Их Сургууль, Хөх хот, БНХАУ

<sup>4</sup>Өвөр Монголын Санхүү, Эдийн Засгийн Дээд Сургууль, Хөх хот, БНХАУ

<sup>5</sup>Газрын менежментийн тэнхим, Агроэкологийн сургууль, Хөдөө Аж Ахуйн Их  
Сургууль, Улаанбаатар хот, Монгол улс

<sup>6</sup>Газарзүйн тэнхим, Шинжлэх ухааны сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль,  
Улаанбаатар хот, Монгол улс

Харилцагч зохиогч: land\_management@num.edu.mn

### ХУРААНГУЙ

*Говь цөлийн ургамалшил нь асар уудам газар дээр алаг цоог мөртлөө тачир сийрэг тархдаг тул хиймэл дагуулаас нарийвчлан ажиглахад хүндрэлтэй байдгийн гол шалтгаан нь зайнаас тандсан мэдээнд хуурай нүцгэн хөрсний маш өндөр гэрлийн ойлтын нөлөөгөөр тачир сийрэг ургамлын сул ойлт, шингээлт нь дарагдаж илэрдэггүй байдал юм. Үүний үр дүнд цөлийн ургамлын хиймэл дагуулын зураг дээрх индексийн утга нь газрын гадаргуу дээр шууд хийсэн хэмжилтээс бага утгыг харуулж байдаг. Энэхүү судалгаанд бид хиймэл дагуулын мэдээг спектр үл холих аргыг ашиглан боловсруулж, говийн ургамалшил Тюрингийн хэлбэршлийн дагуу тархаж байгаа зүй тогтлыг батлав. Спектр үл холих аргаар тогтоосон ургамлан бүрхэвчийн зайнаас тандсан мэдээ нь газрын бодит хэмжилтийн утгатай харьцангуй сайн хамааралтай (Ландсат-8-д  $R2 = 0.51$ , Сентинел 2-т  $R2 = 0.41$ ) байна.*

**Түлхүүр үгс:** *Спектр үл холих арга, Говь цөлийн ургамлын бүрхэц, Ландсат-8, Сентинел-2 хиймэл дагуул, Тюрингийн хэлбэршил, ургамлын өөрчлөлтийн нормчилсон индекс (NDVI).*

### ABSTRACT

*Since the plants in the Gobi desert region are sparsely distributed on a vast bare field, it is extremely difficult to accurately observe from the satellite. For this reason, the reflectance of dry soil is very high and the reflectance of slightly distributed plants is eliminated by soil reflection. As a result, the pixel's Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) value of desert plants shows a smaller value than the ground measurement. In this study, we succeeded to analyze the Turing (1952) pattern of vegetation abundance using the method of spectral un-mixing for satellite data of the Gobi plants. It is shown that the fraction of the vegetation endmember after pixel un-mixing has a remarkably high correlation ( $R2=0.51$  in Landsat-8 and  $R2=0.41$  in Sentinel-2) with the ground truth value of vegetation coverage.*

## ОРШИЛ

Гандуу, гандуувтар бүс нутаг нь дэлхийн хуурай газрын 41.3%-ийг эзэлдэг. Мөн түүнчлэн хуурай газрын гандуу, гандуувтар бүс нь өнөөдөр дэлхийн гурван хүн тутмын нэгнийх нь өлгий нутаг буюу нийт 2,1 тэрбум хүн ам амьдарч байгаа бүс нутаг билээ. НҮБ-ийн Хабитат байгууллагын мэдээлснээр “*гандуу бүс нутагт хүн амын жилийн дундаж өсөлт 18.5% байгаа нь бусад бүс нутгуудаас хавьгүй илүү хурдан өсөлт юм ...*” гэжээ (World Resources Institute, 2005; GEF-STAP, 2010).

Цөлжилтийг ихээхэн товчоор ерөнхийлөн тайлбарлавал: гандуу, гандуувтар бүс нутагт цаг уурын өөрчлөлт, хүний үйл ажиллагаа зэрэг янз бүрийн хүчин зүйлээс үүдэлтэй хөрсний доройтол гэж үзэж байна. Дэлхийн хуурай гандуу газар нутагт газрын доройтол тохиолдвол энэ нь ихэвчлэн цөлтэй төстэй газарзүйн нөхцөлийг бүрдүүлдэг. Дэлхийн хэмжээнд өнөөдрийн байдлаар газар нутгийн 24% нь талхлагдсан байна. 1.5 тэрбум орчим хүний амьжиргаа эдгээр доройтсон газруудаас шууд хамаардаг. Дэлхийн доройтсон газрын 20 орчим хувийг тариалангийн талбай, 20-25% нь бэлчээр нутаг эзэлж байна. Энэ талхлагдсан бэлчээр газрын нэг нь тал нутгийн нүүдэлчдийн амьжиргааны гол эх үүсвэр болсон Монголын тэгш өндөрлөгийн жинхэнэ үетэнт хээр тал юм (GEF-STAP, 2010; Sofue *et al.*, 2017a).

Гандуу бүс нутагт ургамлын бүрхэвч хомс тачир байдаг. Гэсэн хэдий ч дэлхийд нэн ховор ургамлын төрөл зүйлүүд Монголын Говьд ургаж байна. Говь цөлийн бүс дэх ургамлан нөмрөг нь асар уудам нутагт алаг цоог мөртлөө тачир сийрэг тархсан тул хиймэл дагуулаас нарийвчлан судлахад төвөгтэй судлагдахууны нэг байдаг. Цөлийн бүс дэх ургамлын орон зайн болон газарзүйн шинж чанарыг зайнаас тандсан аргаар нарийвчлан судалж үзэх нь унаган буюу эндемик болон үлдвэр буюу реликт зүйлүүдийн байршлыг тогтоох, хадгалан хамгаалах, гандуу газар нутагт цөлжилтийн эсрэг ойжуулах арга хэмжээ авах, түүний үр ашгийг дээшлүүлэх чухал ач холбогдолтой юм (Sofue *et al.*, 2017a; Demura *et al.*, 2017). Мөн түүнчлэн зайнаас тандсан мэдээгээр говийн ургамлын дунд, жижиг масштабын зураглал хийхэд гарч болох хүндрэлийг багасгахад хувь нэмэр оруулж буй ач холбогдолтой ажил хэмээн үзэж байна.

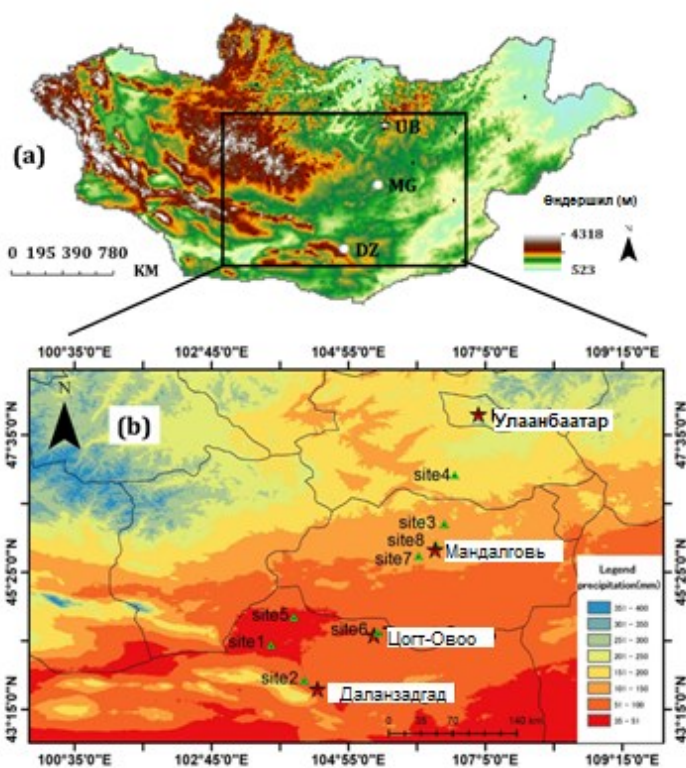
Судалгааны гол зорилго бол хэлбэршил буюу матери өөрөө хэлбэр хээнд орох үйл явцыг томъёолсон бүтээлээс санаа авч гандуу нутаг буюу Говь цөлийн бүсэд ургамлан бүрхэвчийн орон зайн тархалтын хэлбэр нь Тюрингийн хэлбэршлийн дагуу үүсэн тогтож байгааг хиймэл дагуулын мэдээнд тулгуурлан тогтоож газрын бодит хэмжилтийн мэдээгээр шалгаж батлах юм (Turing, 1952). Уг судалгаанд анх удаа шугаман спектрийн үл холих аргыг ургамлын арви, ханац болон тохиолдол багатай нөхцөлд олон сувгийн хиймэл дагуулын мэдээгээр гандуу бүс нутагт ургамлын мэдээ боловсруулахад ашигласан туршилт хийлээ. Энэхүү арга зүйн суурь нь битүү ургамалтай пиксел, ургамалгүй нүцгэн хөрстэй пиксел, гадаргын усны пикселүүдийн спектрийн ялгаатай шинж чанарууд дээр үндэслэн олон сувгийн хиймэл

дагуулын тоон зурган мэдээгээр ургамлын харьцангуй ханац, бүрхэц зэргийг тодорхойлох арга зүй юм. Мөн түүнчлэн харилцан өөр хэмжээтэй хур тунадас унадаг, газарзүйн өөр байршил бүхий 4 нутгийн 40 талбарыг сонгон хээрийн хэмжилт судалгааг газар дээр нь хийж Говь цөлийн бүсийн ургамлын бүрхэвч, ургамлын өндөр, спектрийн тусгалыг бүх талбар бүрд хэмжив. Бид хээрийн судалгаагаар тогтоосон газрын бодит өгөгдлөө спектр үл холих аргаар зайнаас тандсан мэдээнийхээ үр дүнтэй харьцуулж шалгахад эдгээр мэдээнүүд хоорондоо дунд зэргийн хамааралтай буюу үнэмшил сайтай үр дүн гарч байна.

## СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

### Судалгааны талбар

Энэхүү судалгаанд харилцан адилгүй жилийн нийлбэр хур тунадас бүхий 4 газрыг ( $250 \text{ м}^2$  хэмжээтэй) судалгаа хийх түлхүүр (төлөөлөл) талбай болгон сонгосон бөгөөд  $10 \text{ м}^2$  хэмжээтэй 10 хэмжилтийн талбаруудыг 4 газар болгонд байрлуулсан (Зураг 1, Зураг 2). Эдгээр талбайнууд нь Цаг уур, орчны шинжилгээний газрын маршрутын хэмжилтэд ашиглагддаг талбаруудын нэг хэсэг бөгөөд Улаанбаатараас Даланзадгад хүртэл тууш трансект үүсгэн хур тунадас газарзүйн байрлалын хувьд хойноос урагш жигд буурах зүй тогтлын дагуу сонгосон.

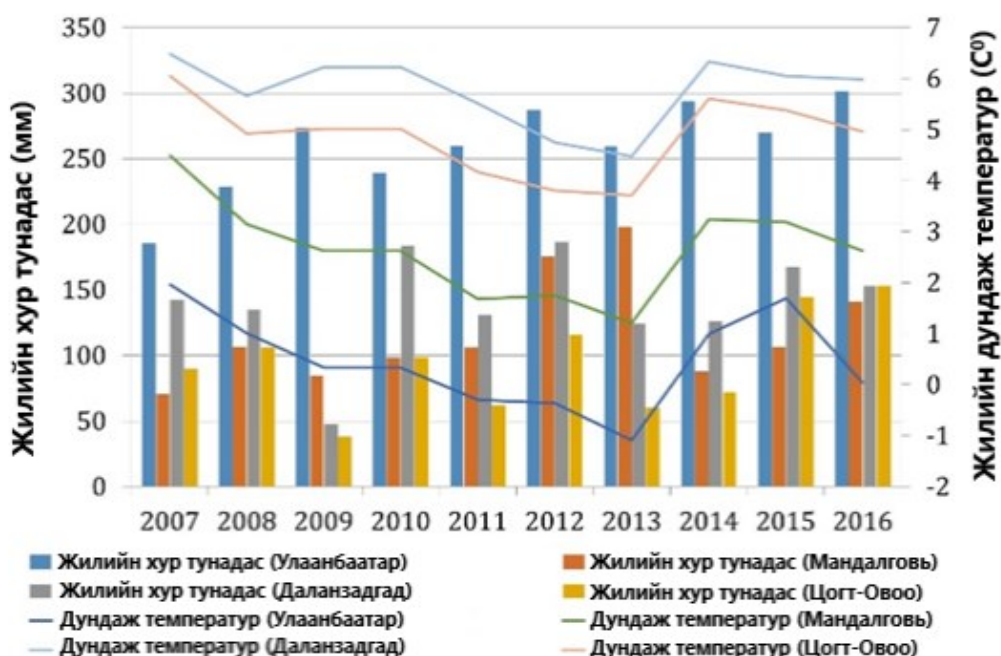


Зураг 1 (а) Монгол орны гадаргын өндөршлийн зураг;

1(б) Жилийн нийлбэр хур тунадасны зураг (хур тунадасны хэмжээ бага байх тусам улаан өнгө тод байна). Эх сурвалж: Aosier *et al.*, 2007

UB-Улаанбаатар хот (4-р талбай); MG-Мандалговь (3-р талбай); DZ-Даланзадгад (2-р талбай); TO-Цогт-Овоо (1-р талбай).

Улаанбаатар орчимд байрлах хамгийн хойд талбай нь гандуувтар бүсийн жилийн хур тунадас 300 мм ордог нутаг бол хамгийн өмнөд хэсгийн Говь цөлийн талбайнууд нь хэт гандуу бүс нутгийг төлөөлж жилийн хур тунадасны хэмжээ 40 мм ба түүнээс бага байх талбайнуудыг сонгосон.



Зураг 2. Судалгааны талбайн жилийн дундаж температур, жилийн нийлбэр хур тунадас.

Судалгааны талбайнуудаас хамгийн их хур тунадас Улаанбаатар хот орчимд 301 мм, хамгийн бага хур тунадас 38 мм Цогт-Овоод орсон байна.

### **Мэдээ боловсруулалт**

*Ургамал ургалтын хугацаа тодорхойлолт (GP)*

3-р сараас 5-р сарын хоорондох хугацааг соёололтын улирал (СУ), 6-р сараас 9-р сар хүртэлх хугацааг ургалтын улирал (УУ) гэж үзсэн.

### *Газрын бодит хэмжилт*

Бид навчны талбайн спектрийн тусгал (навчны фотосинтетик идэвхжил), ургамлын эзлэхүүн (ургамлын өндөр болон бүрхцийн хэмжээ, м<sup>3</sup>), талбайн хөрсний чийгийг 2015 оноос 2018 он хүртэл хавар, зуны улиралд хэмжсэн.

### Хиймэл дагуулын зургийн боловсруулалт

Ургамлын бүрхэвчийн өөрчлөлт хандлагыг тодруулахын тулд бид Ландсат-5, Ландсат-8 (30 м шийдтэй) болон Сентинел-2 (10 м шийдтэй) хиймэл дагуулуудын өгөгдлийг ашиглан NDVI-ийн хамгийн их утга болон нийлбэр хур тунадасны хамаарлыг 2007 оноос 2016 он хүртэлх ургамал соёлолтын болон ургамал ургалтын улиралд тооцоолсон. Мөн тухайн үеийн хамгийн их ургамлын өөрчлөлтийн нормчилсон индекс (tNDVImax) ба тухайн үеийн нийлбэр хур тунадасны хэмжээ ( $\sum$  Хур тунадас\_ (3-р сараас 5-р сар)  $\wedge$  (6-р сараас 9-р сар) хоорондох хамаарлыг тооцсоны үндсэн дээр ургамал нөмрөг хур тунадасны хоорондох харилцан үйлчлэлийг тодорхойлов.

### Ургамлын борог үлдэгдлийн харьцааг тооцоолох

Хэлбэршил буюу матери өөрөө хэлбэлзэлт урвалаар зохион байгуулагдаж хэлбэр хээнд орох үйл явцыг анх удаа математик аргаар томъёолсон бүтээлээс санаа авч биологи, хими, хэрэглээний инженерийн олон загвар, томъёоллууд гарсан байдаг (Turing, 1952). Бидний дэвшүүлж буй гол санаа нь гандуу нутаг буюу Говь цөлийн бүсэд ургамлан бүрхэвчийн орон зайн тархалтын хэлбэр нь Тюрингийн хэлбэршлийн дагуу үүсэн тогтож байгааг хиймэл дагуулын мэдээнд тулгуурлан тогтоож газрын бодит хэмжилтийн мэдээгээр шалгаж батлах юм.

Ус гачигдалтай экосистемд ургамал алаг цоог толбо, бут бүхий орон зайн тархалтаар хэлбэрших загварыг боловсруулсан (Rietkerk *et al.*, 2004; Hardenberg *et al.*, 2001; Kéfi *et al.*, 2007) .

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{\gamma\omega}{1+\sigma\omega}n - n^2 - \mu n + \nabla^2 n \quad (\text{I})$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = P - (1 - \rho n)\omega - \omega^2 n + \delta \nabla^2 (\omega - \beta n) - \nu \frac{\partial(\omega - \alpha n)}{\partial x} \quad (\text{II})$$

Загварт биомассын бүрхэвч (нягтралын)-ийн  $n(x, t)$  тэгшитгэл нь (1-р тэгшитгэл) ургамлын масс ( $n$ ) хөрсний чийгтэй ( $\omega$ ) хамааралтайгаар тооцсон. Ургамлан бүрхэвчийн нягтрал нь ургамлын ургалтаас ( $\frac{\gamma\omega}{1+\sigma\omega}n$ ) хагдарсан өвс ба өвс тэжээлийн хэрэглээний ( $-\mu n$ ) хэмжээ, тэжээлийн дутагдлаас ханасан агууламж ( $n^2$ )-ийг хасаж үр болон ургалт үржлийг ( $\nabla^2 n$ ) нэмж тогтоогдоно. Тэгшитгэл 1-д агуулагдах хөрсний чийг хуримтлал  $\omega$ -г 2-р тэгшитгэлээр бодно. Үүнд: хөрсний чийг  $w(x, t)$  хуримтлалыг (Харденберг нарынхаар (2001) газрын доорх усны нөөц нягтрал) хур тунадас (P)-аас ууршилт ( $-(1 - \rho n)\omega$ ), үндсээр сорогдох ус ( $-\beta n$ ), ургамлын эрхтнээр уурших буюу транспирацийн хэмжээ ( $-\omega^2 n$ ),



гадаргуугийн урсац  $(-v \frac{\partial(\omega-\alpha n)}{\partial x})$  зэргийг хасаж олно.  $\beta, \delta, \alpha, \rho, \gamma$  нь ургамлын биомасс болон хөрсний чийг хоорондын эерэг харьцааг илэрхийлэх итгэлцүүрүүд юм. Транспирацийг ургамал сүүдэрлэлт ба хөрсний хөвхийн хэмжээ ( $\rho n$ ) багасгах нөлөөтэй байна. Ландшафтын хувьд тэгш тал газарт  $P=800$  мм,  $n=1,25$  кг/м<sup>2</sup> байх хязгаарын нөхцөлд  $\beta=3$ ;  $\delta=100$ ;  $\alpha=3$ ;  $\rho=1.5$ ;  $\gamma=1.6$ ;  $\mu=0.2$ ;  $\sigma=1.6$  байхаар ургамлын биомасс болон хөрсний чийг хоорондын харьцааг илэрхийлэх итгэлцүүрүүдийг тогтоосон байдаг (Hardenberg *et al.*, 2001). 2015 оноос 2018 оны хооронд судалгааны талбаруудад дээрх тэгшитгэлийг турших хөрсний чийгийн ба ургамлын бүрхэц, навчны талбайн спектр хэмжилтүүдийг хийсэн. Үр дүнгийн хэсгийн зураг 7-д жилийн хур тунадас нь 150 мм ба түүнээс доош ордог нутагт (цөл, заримдаг цөлийн бүсэд) газрын гадаргуугийн ургамалжилт нь олон наст өвслөг амьдралын хэлбэртэй бүрхцээс илүүтэйгээр олон наст бут сөөг, олон наст модлог ургамал давамгайлах хэлбэртэй бүрхэц ажиглагдсан. Энэ судалгаагаар зун ургасан ургамлын биомасс намраас өвлийг дамжин хаврын улиралд хэр удаан хадгалагдаж үлдэхийг тооцоолсон. Дараах томъёог ашиглан ургамлын борог үлдэгдлийн харьцааг зайнаас тандсан мэдээгээр тооцоолсон (Sofue *et al.*, 2017б).

Борог үлдэгдлийн харьцаа:

$$(NDVI) = NDVI_{\text{хавар}} / NDVI_{\text{урьдзун}} \quad (III)$$

Үр дүнгийн хэсгийн 3.2-т газрын бодит хэмжилтийн үр дүн (Томьёо 1) болон зайнаас тандсан мэдээ (Томьёо 3)-г харьцуулан гол үр дүн болох Тюрингийн хэлбэршлийг 7-р зурагт харууллаа.

### *Шугаман спектр үл холих арга*

Зургийн пиксел тус бүрийн тусгал нь пиксел дотор байгаа материал бүрийн (эсвэл эндмемберийн) тусгалын шугаман хослол гэж үздэг. Хиймэл дагуулын олон сувгийн мэдээний хольцод газар дээрх зөвхөн ганц объект, материалыг агуулсан пикселийг ялган эндмембер / төгсгөлийн гишүүн гэж тогтооход бидний судалгааны хувьд дан ус тусгасан, битүү ургамал тусгасан, дан нүцгэн хөрс тусгасан гэх мэтээр тогтоосон болно. Шугаман спектр үл холих аргын тооцооллын үндэс нь хэмжсэн спектрийг ( $M(\lambda)$ ) хувь ( $P$ ) болгон хуваах тохиолдолд спектрийн дүрсний пиксел бүрийг эндмембер гишүүний дохионы холимог эрчмийг төлөөлүүлэн бодит хувь спектр ( $R(\lambda)$ ) бүрийн утгуудыг тооцоолох үйлдэл юм. Тиймээс эндмемберийн газрын бодит спектр бүрийг  $R_i(\lambda)$   $i = 1, 2, 3 \dots$  гэж дугаарлан тайлбарлавал  $N$  нь эндмемберийн индексийг ( $P_i$ ) илэрхийлнэ. Тодорхой тооны эндмемберийн ( $n$ ) хувьд энэ харилцааг дараах байдлаар илэрхийлж болно (Gagini *et al.*, 2006). Үүнд:

$$M(\lambda) = \sum_{i=1}^N (P_i \cdot R_i(\lambda)) \quad (IV)$$

Энд:  $M(\lambda)$  холимог пикселийн идэвхтэй тусгал ;  $P_i$  бол  $i$  дугаар материалаар бүрхэгдсэн орон зайн фракц;  $R_i(\lambda)$   $i$  дугаар эндмемберийн тусгал;  $N$  пиксел дэх материалын тоо;  $\lambda$  нь суваг (эсвэл долгионы урт) юм.

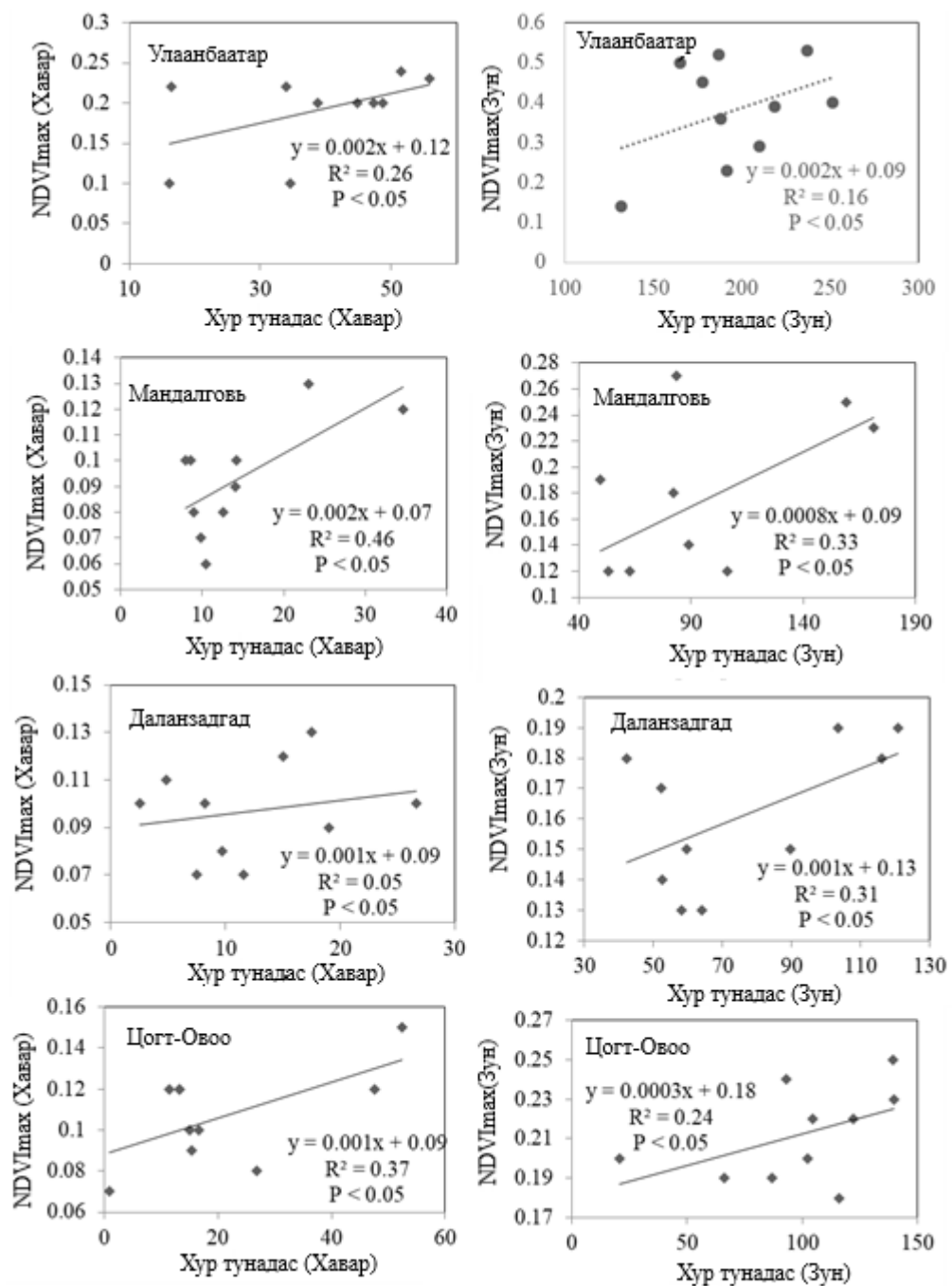
Эндмемберийн спектрийг харгалзсан шугаман спектр үл холих арга нь пиксел бүрийн хувьд агуулаагүй эндмемберүүдийн утгыг тогтоодог. Эндмемберүүд буюу төгсгөлийн гишүүдийн тоо нь спектрийн сувгуудын тооноос бага байх ёстой бөгөөд сансрын зураг дээрх бүх эндмемберүүдийг ашиглах ёстой. Спектр үл холих аргын үр дүн нь мэдээ боловсруулалтад оруулсан эндмемберүүдээс ихээхэн хамааралтай байдаг буюу эндмемберийн тоог өөрчилбөл үр дүн дагаж өөрчлөгддөг.

Шугаман спектр үл холих аргыг тандан судалгааны програм хангамжаар тооцоолохдоо газрын бодит / лавлагаа спектрийн утгуудыг оруулж, хэмжсэн ба тооцоолсон спектруудийн хоорондох зөрүүг багасгадаг хамгийн бага урвуу квадрат зөрүүг холбох аргыг ашиглана. Шугаман спектр үл холих арга нь хязгаарлалтгүй эсвэл хэсэгчлэн хязгаарлагдсан гэсэн хоёр сонголттой байдаг. Хязгаарлалтгүй үл холих аргад эндмембергүй үед хасах утга авч нийт нийлбэрт багтах боломжтой байдаг. Энэхүү судалгаанд бид © ENVI програм хангамжийн шугаман үл холих аргачлалыг ашигласан. Хувьсагчийг жигнэх, нэгжийн нийлбэр хязгаарлах алгоритм агуулсан шугаман үл холих аргууд ENVI програм хангамжид төрөл бүрийн сонголттой байдаг. Жишээлбэл: нэгжийн нийт нийлбэрт жигнэсэн утгаар эндмембергүй фракцыг тогтоох хязгаарлалт сонгох, дундаж тэг утгатай сувгийн мэдээллийг үл холих шилжүүлэлт хийх боломжтой байдаг.

## СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

*Ус гачигдалтай нутаг дахь хур тунадас, ургамлын борог хагдны харилцан хамаарал*

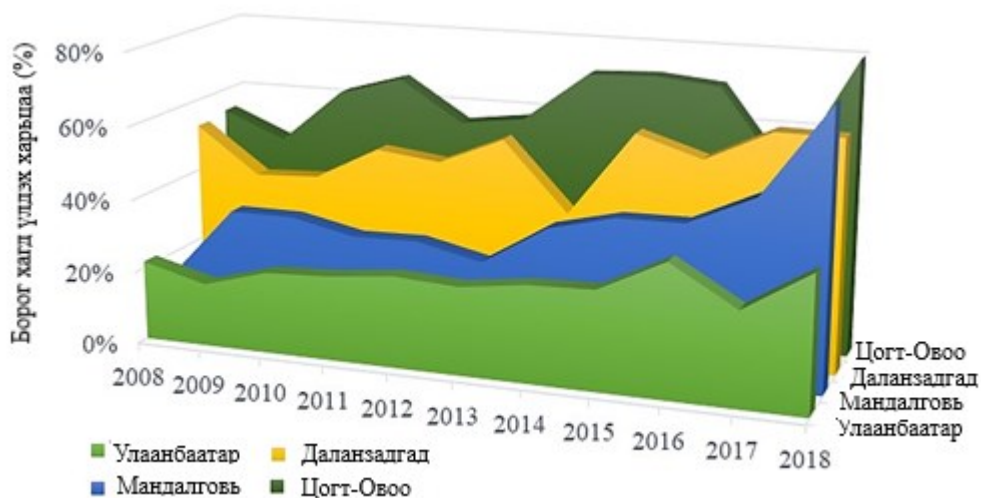
2007-2016 оны хавар, зуны улирал дахь хамгийн их ургамлын өөрчлөлтийн нормчилсон индекс болон хур тунадас хоорондын хамаарлыг Зураг 3-т харуулав. Зургаас харахад олон наст ургамал давамгайлж буй Мандалговь, Цогт-Овоогийн талбайнуудад хавар бусад нутагтай харьцуулахад дунд зэргийн хамаарал ( $R^2 = 0.26-0.37$ ) гарч байна. Дан өвслөг ургамалтай Улаанбаатарын талбайд бусад нутгаас их хэмжээний хур тунадас орсон боловч бэлчээрийн даац ихтэй болон нэг наст бүлэг давамгайлсан шалтгаанаас үүдэн хамаарал бага гарсан байх магадлалтай байна.



Зураг 3. 2007-2016 оны хоорондох хаврын улирлын (3-р сараас 5-р сар хүртэл) болон зуны улирлын (6-р сараас 9-р сар хүртэл) хамгийн их NDVI<sub>max</sub> ба хур тунадасны хоорондох хамаарал.

Хавар: SP ба MAM; зун: SM ба JJAS; Улаанбаатар: 4 -UB; Мандалговь: 3-MG; Даланзадгад 2-DZ; Цогт-Овоо: 1-TO;  $NDVI_{max}$  - хамгийн их ургамлын өөрчлөлтийн нормчилсон индекс,  $\Sigma$ Precipitation- нийлбэр хур тунадас.

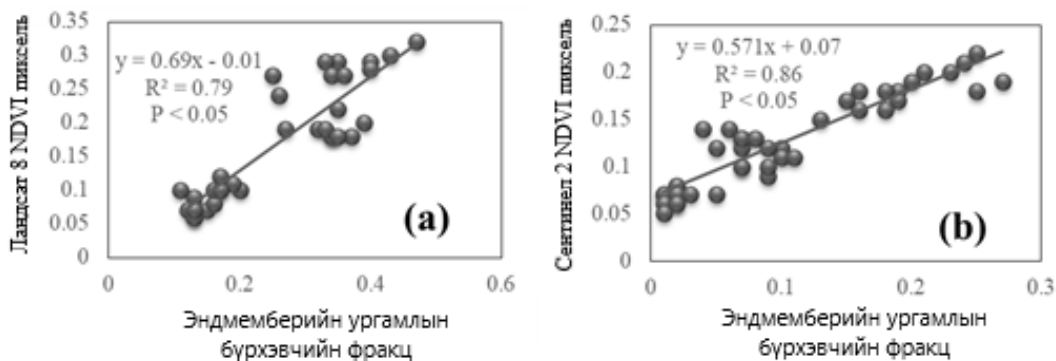
Газрын гадаргуугаас ургамал алдагдах нь юуны түрүүнд мал, ан амьтан идээшлэх, чийг алдагдах, салхинд хийсэх зэргээс үүдэлтэй. Зураг 4-т тэгшитгэл 3-аар тооцоолсон ургамлын борог хагд үлдэх харьцааг харуулав. Зурагт үзүүлснээр олон наст сөөг, бутлаг ургамал зонхилдог говь, цөлийн газруудад (ТО- Цогт-Овоо, DZ- Даланзадгад) борог хагдны үлдэгдэл тоо хэмжээ их байхад нэг наст ургамал давамгайлсан нутагт (UB- Улаанбаатар) борог хагд бага байгаа зүй тогтол ажиглагдлаа.



Зураг 4. Ургамлын борог хагд үлдэгдлийн түвшин (3-р тэгшитгэлээс тооцоолсон) буюу борог хагд үлдэх хувь (%).

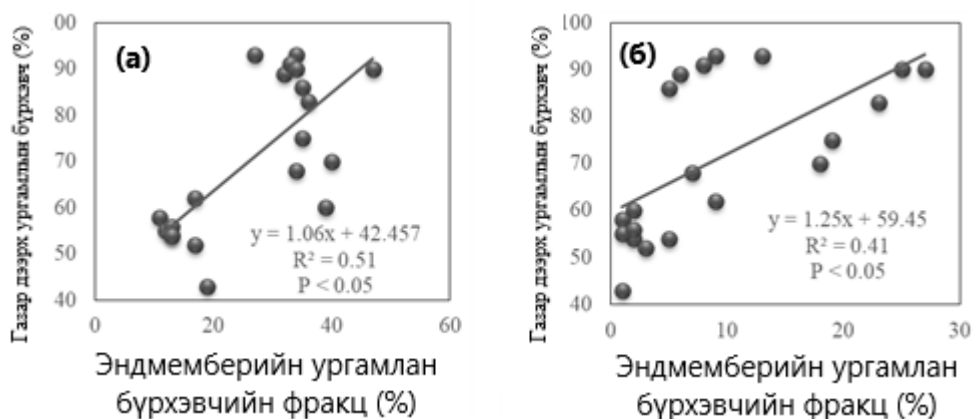
### ***Говийн ургамлын орон зай дахь бүрхэвчийн фракц***

Говийн цөлийн бүсэд өргөн уудам халцгай газарт тачир сийрэг ургамал алаг цоог тархан байрлана. Ийм газарт Ландсат эсвэл Сентинел-2 гэх мэт олон сувгийн хиймэл дагуулаас авсан тоон мэдээгээр ургамлын хэмжээг нарийвчлалтай тооцоолоход хүндрэлтэй байдаг. Энэхүү судалгаанд Ландсат-8 ба Сентинел-2 хиймэл дагуулын зураглалыг шинжилж, үр дүнг судалгааны 4 талбайд хээрийн хэмжилт хийн баталгаажуулсан болно. Зураг 5-т үзүүлсэн Ландсат-8 ба Сентинел-2 хиймэл дагуулын пикселийн NDVI-тай хэмжилтийг газрын бодит мэдээгээр засаж тохируулан (пикселийн тусгал) тооцоолсон мэдээтэй харьцуулж үзүүллээ. Сентинел-2 хиймэл дагуулын зураглал дахь спектр үл холих аргаар тогтоосон ургамалтай пикселүүд болон шууд тооцсон NDVI-ийн пикселийн хооронд өндөр ( $R^2=0.79-0.86$ ) хамаарал байгаа нь тандан судалгааны энэ аргачлал үнэмшил сайн, баталгаатай гэж үзэх үндэслэл болж байна.



Зураг 5. (а) Ландсат-8 болон (b) Сентинел-2 хиймэл дагуулаас авсан зураг дахь пикселийн NDVI ба мөн энэ пикселүүдийг үл холих аргаар тооцсон эндмемберийн ургамлын бүрхэвчийн фракцийг харьцуулсан үр дүн.

Ургамлан бүрхэвчийн фракц (VGT)-ыг дөрвөн нутгийн 40 талбайн бодит хэмжилтээр тогтоосон ургамлын бүрхэвчтэй харьцуулж үзэхэд Ландсат-8 хиймэл дагуулын зураг дээрх спектр үл холих аргаар тооцсон ургамлын пиксел болон талбайн хэмжилтийн бодит мэдээ хооронд дунд зэргийн ( $R^2=0.41-0.51$ ) хамаарал гарсан. Харин хээрийн судалгаагаар  $10 \text{ км}^2$  40 талбайд ургамлан бүрхэвч өндөр ( $40\% \leq n(x, t)$ ) үр дүн гарсан байсан боловч Сентинел-2 хиймэл дагуулын хэмжилтийн пикселийн ногоон бүрхүүлт фракцын утга хээрийн хэмжилтийн мэдээнээс бага гарч байв (Зураг 6). Пикселийг үл холих аргаар тогтоосон ургамлан бүрхэвчийн зайнаас тандсан мэдээ нь газрын бодит хэмжилтийн утгатай дунд зэрэг хамааралтай (Ландсат 8-д  $R^2 = 0.51$ , Сентинел-2-т  $R^2 = 0.41$ ) байна.



Зураг 6. (а) Ландсат-8 болон (b) Сентинел-2 хиймэл дагуулаас авсан зураг дахь пикселүүдийг үл холих аргаар тооцсон эндмемберийн ургамлан бүрхэвчийн фракц (VGT)-тай аргачлалын дагуу (Томьёо 1, 2) хээрийн хэмжилтээр тооцсон ургамлан бүрхэвчийг харьцуулсан үр дүн.

Эх сурвалж: Hardenberg *et al.*, 2001.

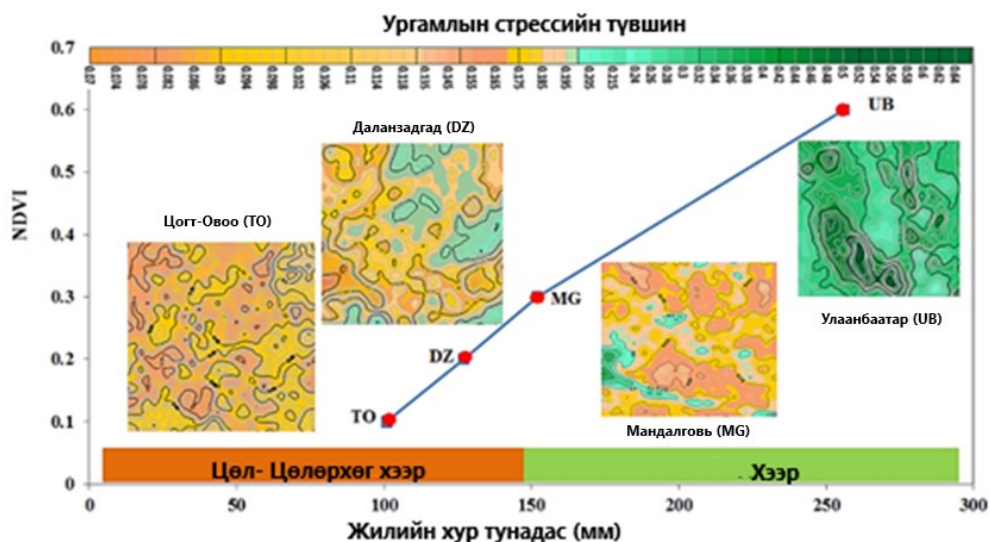
## ДҮГНЭЛТ

Говь цөлд ургамал халцгай газар ихээхэн таруу алаг цоог ургасан байдаг тул хиймэл дагуулын пикселийн утгад нүцгэн буурь хөрсний хүчтэй тусгал ихээхэн нөлөөлдөг (Aosier et al., 2007). Ургамлын өөрчлөлтийн нормчилсон индексийн улирлын чанартай өөрчлөлт нь нэг наст ургамлын бүлэг бүрхцэд дийлэнх болсон талбайд (Улаанбаатар, Мандалговь дахь талбарууд) их, олон наст ургамлын бүлэг давамгайлж ургасан талбайд (Цогт-Овоо, Даланзадгад дахь талбарууд) бага байгаа үр дүн ажиглагдлаа.

Ландсат 8 болон Сентинел-2 хиймэл дагуулаас авсан зураг дахь пикселийн NDVI ба мөн энэ пикселүүдийг үл холих аргаар тооцсон эндмемберийн ургамлын бүрхэвчийн фракц VGT-ийг судалгааны бүх талбаруудад харьцуулахад бүгд хүчтэй хамааралтай үр дүн гарлаа (Ландсат-8-д  $R^2 = 0.79$ , Сентинел-2-т  $R^2 = 0.86$ ).

Ургамлан бүрхэвч ( $n(x, t)$ ) хур тунадасны ( $P$ ) харилцан хамаарал нь нэг наст ургамал давамгайлж буй нутагт хүчтэй (Улаанбаатар, Мандалговь дахь талбарууд) байхад олон наст ургамлууд бүрхэвчид дийлэнх хувийг эзэлж буй газруудын (тухайлбал Цогт-Овоо, Даланзадгад дахь талбарууд) хамаарал үүнээс эрс ялгаатай байгаа бөгөөд хаврын улирал нь бага, зуны улирал нь их хамааралтай байгаа үр дүн гарлаа.

Говь газарт хур тунадас, хөрсний чийг хуримтлалаас гадна ургамлан бүрхэвч дэх ургамлын амьдралын хэлбэр, аж ахуйн болон экологийн бүлэг, бэлчээрийн талхагдал зэргээс хамаарч ургамлан бүрхэвчийн орон зайн тархалт, нягтрал ялгаатай хэлбэршдэг зүй тогтол ажиглагдлаа (Зураг 7).



Зураг 7. Гандуу нутаг дахь ургамлын орон зайн тархалт буюу Тюрингийн хэлбэршлийг хиймэл дагуулын мэдээгээр тодорхойлсон үр дүн.

Зурагт доод хэвтээ тэнхлэгт жилийн хур тунадсыг тал хээр, заримдаг цөл, цөлийн бүсээр, дээд хэвтээ тэнхлэгт эдгээр газарзүйн бүсүүдийн усны стресс түвшинг, босоо тэнхлэг нь Сентинел-2 хиймэл дагуулын зуны улирал дахь NDVI-ийг, дөрвөлжин нүдэнд 4 нутгийн 250 м2 хэмжээтэй судалгаа хийх түлхүүр талбайн нэгийг төлөөлөл болгон Тюрингийн хэлбэршлийг харууллаа.

Газарзүйн байрлалын хувьд хойноос урагшлах тусам хур тунадас жил бүр хэлбэлзэлтэй багасаж ус гачигдалтай болох тусам Тюрингийн хэлбэршлийг ургамлын орон зайд тархсан алаг цоог хээ бүхий бүрхэвчээс илүү тод харж болохоор байна.

## **Талархал**

Энэхүү ажлыг JSPS KAKENHI сангийн JP19H04362; JP26281003; JP16H02703 ба JP18H03608 дугаар тэтгэлгийн санхүүгийн дэмжлэгээр хийж гүйцэтгэв. Мөн түүнчлэн БНХАУ-ын Байгалийн шинжлэх ухааны үндэсний сангийн 41561009 дугаар төслийн болон МУИС-ийн судалгааны лабораторийн дэмжлэгийг ашигласан болно.

## **НОМ ЗҮЙ**

Aosier, B., Tsuchiya, K., Kaneko, M., Ohtaishi, N., and Halik, M. (2007) Land cover of oases and forest in XinJiang, China retrieved from ASTER data. *Advances in Space Research*, 39(1), pp.39-45.

Demura, Y., Hoshino, B., Baba, K., McCarthy, C., Sofue, Y., Kai, K., Purevsuren, T., Hagiwara, K., and Noda, J. (2017) Determining the frequency of dry lake bed formation in semi-arid Mongolia from satellite data. *Land*, 6(4), pp.88.

Garini, Y., Young, I.T., and McNamara, G. (2006) Spectral imaging: Principles and Applications. *Cytometry Part A*, 69(8), pp.735–747.

Global Environment Facility- the Scientific and Technical Advisory Panel (GEF-STAP), (2010) *Report of the Scientific and Technical Advisory Panel to the Fourth GEF Assembly*. UNEP, 25-26 May. Punta Del Este: Uruguay. Боломжтой: [https://www.thegef.org/sites/default/files/council-meeting-documents/GEF-A.4-3\\_-\\_Report\\_of\\_STAP\\_0\\_1.pdf](https://www.thegef.org/sites/default/files/council-meeting-documents/GEF-A.4-3_-_Report_of_STAP_0_1.pdf) (Нэвтэрсэн: 2019.02.20).

Hardenberg, J., Meron, E., Shachak, Moshe and Zarmi, Y. (2001) Diversity of vegetation patterns and desertification. *Physical Review Letters*, 87(19), pp. 198101-02.

Kéfi, S., Rietkerk, M., Alados, C. L., Pueyo, Y., Papanastasis, V.P., ElAich, A., and de Ruiter, P. C. (2007) Spatial vegetation patterns and imminent desertification in Mediterranean arid ecosystems, *Nature*, 449(7159), pp.213-217.

Rietkerk, M., C. Dekker, S. C., de Ruiter, P. C., van de Koppel, J. (2004) Self-Organized Patchiness and Catastrophic Shifts in Ecosystems, *Science*, 305 (5692), pp.1926-1929.

Sofue, Y., Hoshino, B., Demura, Y., Nduati, E., and Kondoh, A. (2017a) The interactions between precipitation, vegetation and dust emission over semi-arid Mongolia, *Atmospheric Chemistry and Physics*, Боломжтой: <https://www.atmos-chem-phys-discuss.net/acp-2017-83/acp-2017-83.pdf> (Нэвтэрсэн: 2019.02.20).

Sofue, Y., Hoshino, B., Nduati, E., Kondoh, A., Kai, K., Purevsuren, Ts., and Baba, K. (2017b) *Remote sensing methodology for detection of environment regime shifts in semi-arid region*, International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Боломжтой: DOI: 10.1109/IGARSS.2017.8128153 (Нэвтэрсэн: 2019.02.20).

Turing, A. M. (1952) The Chemical Basis of Morphogenesis, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 237(641): pp.37–72.

World Resources Institute. (2005) *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press. Боломжтой: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf> (Нэвтэрсэн: 2019.02.20).