



NATIONAL UNIVERSITY OF MONGOLIA  
SCHOOL OF ARTS AND SCIENCES  
DEPARTMENT OF GEOGRAPHY

## *Geographical Issues*

---

## *Газарзүйн Асуудлууд*

*Volume 25 (01)*

*ISSN: 2312-8534*

*2025*

*Ulaanbaatar*

# Changes in Net Primary Productivity (NPP) of vegetation in the northern foot of the Yinshan Mountains and its correlation with major climatic factors

Quansheng Hai<sup>1,2,\*</sup>, Zhixin Li<sup>2</sup>, Battsengel Vandansambuu<sup>1</sup>, Byambakhuu Gantumur<sup>1</sup>, Munkhzul Munkhbat<sup>3</sup>, Muqier<sup>1</sup>, Narantsetseg Chantsal<sup>1</sup>, Sainbuyan Bayarsaikhan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Geography, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 210646, Mongolia

<sup>2</sup>Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou Teachers College, Baotou 014030, China

<sup>3</sup>Division of GIS and Cartography, Institute of Geography and Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 15170, Mongolia

\*Corresponding author: [66063@bttc.edu.cn](mailto:66063@bttc.edu.cn)

Received: 2024.12.05

Revised: 2025.04.11

Accepted: 2025.04.21

## Abstract

*The northern foothills of the Yinshan Mountains lie at the intersection of arid and semi-arid regions, where vegetation is predominantly composed of desert steppes. The ecological environment in this area is highly fragile, and vegetation dynamics serve as sensitive indicators of regional climate change. This study analyzes changes in vegetation net primary productivity (NPP) and its response to climatic factors from 2001 to 2020, employing Theil-Sen trend analysis and statistical methods to assess spatial and temporal patterns. Additionally, it investigates the relationship between NPP variability and climate variables. The results indicate the following: (1) The 20-year average NPP in the region is 152.3 gC/(m<sup>2</sup>·a), with interannual variation ranging from 103.9 to 194.7 gC/(m<sup>2</sup>·a). The spatial trend of NPP generally shows an upward trajectory, with slopes between 1 and 3. (2) There is a strong positive correlation between annual precipitation and annual NPP across 95.62% of the area, while no significant correlation is observed between annual NPP and annual mean temperature. Seasonally, spring temperature shows a significant positive correlation with annual NPP over 28.93% of the area. In contrast, summer temperature exhibits a significant negative correlation with NPP in 20.57% of the region, while autumn temperature shows no notable relationship. Regarding precipitation, spring precipitation has little influence, with only 0.5% of the area showing a significant positive correlation with annual NPP. Summer precipitation, however, displays a strong positive correlation across 95.66% of the region. Autumn precipitation has limited influence, with a significant positive correlation found in just 2.86% of the area.*

**Keywords:** Foothills of the Yinshan Mountains, Net Primary Productivity (NPP), Climate factor, Theil-Sen trend analysis

## Иншань нурууны хойд хэсгийн ургамлын цэвэр анхдагч бүтээгдэхүүний өөрчлөлт болон уур амьсгалын хүчин зүйлсийн харилцан хамаарал

©Quansheng Hai<sup>1,2,\*</sup>, Zhixin Li<sup>2</sup>, Вандансамбуу Батцэнгэл<sup>1</sup>, Гантөмөр Бямбахүү<sup>1</sup>, Мөнхбат Мөнхзул<sup>3</sup>, Мөчир<sup>1</sup>, Чанцал Наранцэцэг<sup>1</sup>, Баярсайхан Сайнбуян<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Газарзүйн тэнхим, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар 210646, Монгол Улс

<sup>2</sup>Өвөр Монголын Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Бугатын Багийн дээд сургууль, Бугат, 014030, Хятад

<sup>3</sup>Газарзүйн Мэдээллийн систем-Зурагзүйн салбар, Газарзүй-Геоэкологийн Хүрээлэн, Шинжлэх Ухааны Академи, Улаанбаатар 15170, Монгол Улс

\*Харилцагч зохиогч: [66063@btcc.edu.cn](mailto:66063@btcc.edu.cn)

Хүлээн авсан: 2024.12.05

Засварласан: 2025.04.11

Зөвшөөрөгдсөн: 2025.04.21

### Хураангуй

Иншань нурууны хойд хэсэг нь хээрийн болон хуурай хээрийн бүсийн заагт орших, цөл, цөлөрхөг хээрийн ургамалтай, экосистемийн хувьд эмзэг бүс нутаг юм. Энэ бүс нутгийн бэлчээрийн ургамлын төлөв байдал нь уур амьсгалын өөрчлөлтөд мэдрэмтгий байдаг. Энэхүү судалгаанд 2001-2020 оны хоорондох ургамлын цэвэр анхдагч бүтээгдэхүүн (УЦАБ)-ий орон зай, цаг хугацааны өөрчлөлтийг Тейл-Сены чиг хандлагын болон статистик шинжилгээний аргуудыг ашиглан УЦАБ-д уур амьсгалын хүчин зүйлсийн нөлөөллийг тодорхойлсон. Судалгааны үр дүнгээс харахад: (1) Иншань нурууны хойд хэсгийн 20 жилийн дундаж УЦАБ нь  $152.3\text{gC}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$  байна. Улирал хоорондын өөрчлөлт нь  $103.9\text{--}194.7\text{gC}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$  хооронд хэлбэлзэх ба УЦАБ-ий орон зайн чиг хандлага нь ерөнхийдөө өсөж байв. (2) Жил бүрийн хур тунадас болон УЦАБ хооронд эерэг хамааралтай талбай 95.62%-ийг эзэлж байв. Харин жилийн дундаж температур ба УЦАБ хооронд тодорхой хамаарал илрээгүй. Улирлын температур болон УЦАБ хоорондын хамаарлын хувьд: Хаврын температур болон жилийн УЦАБ-тэй эерэг хамааралтай бөгөөд эерэг хамаарал бүхий талбайн эзлэх хувь 28.93%; Зуны температур нь жилийн УЦАБ-тэй сөрөг хамааралтай бөгөөд сөрөг хамаарал бүхий талбайн эзлэх хувь 20.57%; Хаврын хур тунадас ба жилийн УЦАБ хооронд тодорхой хамаарал ажиглагдаагүй. Зуны хур тунадас нь УЦАБ-тэй эерэг хамааралтай ба талбайн эзлэх хувь 95.66% байв. Намрын хур тунадас нь жилийн УЦАБ-тэй сул хамааралтай талбайн эзлэх хувь 2.86% байна. Энэ судалгааны үр дүнгүүд нь уур амьсгалын өөрчлөлтөд эмзэг хуурай гандуу бүс нутгийн экосистемийн өөрчлөлтийг ойлгоход чухал ач холбогдолтой юм.

**Түлхүүр үгс:** : Иншань нурууны хойд хэсэг, Ургамлын цэвэр анхдагч бүтээгдэхүүн (УЦАБ), Уур амьсгалын хүчин зүйл, Тейл-Сены чиг хандлагын шинжилгээ

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: Quansheng Hai, Б.Сайнбуян: Эх бичвэр, аргазүй боловсруулалт, өгөгдлийн дүн шинжилгээ, хээрийн судалгаа, Zhixin Li, В.Батцэнгэл, Г.Бямбахүү: Онолын үндэслэл, үндсэн бичвэрийн үр дүнгийн хяналт, Quansheng Hai, Б.Сайнбуян, Ч.Наранцэцэг, М.Мөнхзул: Өгөгдөл боловсруулалт, бичвэрийн үндсэн засвар, Мөчир: үр дүнгийн хяналт.

## Оршил

Ургамлын фенологийн үе шат болон ургамлын цэвэр анхдагч бүтээгдэхүүн (УЦАБ)-ийг уламжлалт аргаар голчлон хээрийн хэмжилтэд үндэслэн тодорхойлдог бөгөөд энэ нь олон улсын жишигт өргөн хэрэглэгддэг арга юм (Wu et al., 2021). Гэвч энэхүү арга зүйн хувьд хүний нөөц, цаг хугацаа болон материаллаг зардал их шаарддаг, тогтвортой ажиглалтын цэгүүдийн тоо хязгаарлагдмал байдаг, мөн өргөн уудам газар нутгийг хамарсан урт хугацааны мониторинг хийхэд хүндрэлтэй зэрэг хязгаарлагдмал байдаг (Kezhen, 1973; Liu, Fan, 2005). Иймээс томоохон нутаг дэвсгэрт УЦАБ-ийг үнэлэх, динамик өөрчлөлтийг судлах зорилгоор зайнаас тандан судлалын технологиудыг өргөн ашиглах болсон нь орон зай, цаг хугацааны өндөр нарийвчлал бүхий өгөгдөлд тулгуурлан бүс нутгийн болон дэлхийн хэмжээний ургамлын бүтээмжийн судалгааг илүү үр дүнтэй хийх боломжийг бүрдүүлж байна (Schwartz et al., 2002; Cao, Wu, 2008; Dong et al., 2020; Basuki et al., 2021; Chen et al., 2023; Mattei et al., 2024; Kooistra et al., 2024).

Дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлт нь ургамлын ургалтын нөхцөлд шууд нөлөөлж, улмаар ургамлын бүлгэмдлийн бүтэц, зүйлийн бүрдэл болон анхдагч бүтээмжид мэдэгдэхүйц өөрчлөлт авчрах болсон (Kezhen, 1999). Сүүлийн жилүүдэд дэлхийн бөмбөрцгийн хойд хагасын УЦАБ болон дэлхийн уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн хоорондын харилцан хамаарлыг судлах судалгаанууд эрчимжиж, олон улсын шинжлэх ухаанд чухал ахиц дэвшлийг бий болгож байна (Cramer et al., 1999; Imhoff et al., 2004; Kooistra et al., 2024). Эдгээр судалгаанууд нь уур амьсгалын өөрчлөлтөөс үүдэлтэй ногоон масс, ургамлын бүтээмжийн динамикийг илүү нарийвчлан ойлгох, улмаар экосистемийн өөрчлөлтийг урьдчилан таамаглахад чухал суурь мэдлэг болж өгч байна.

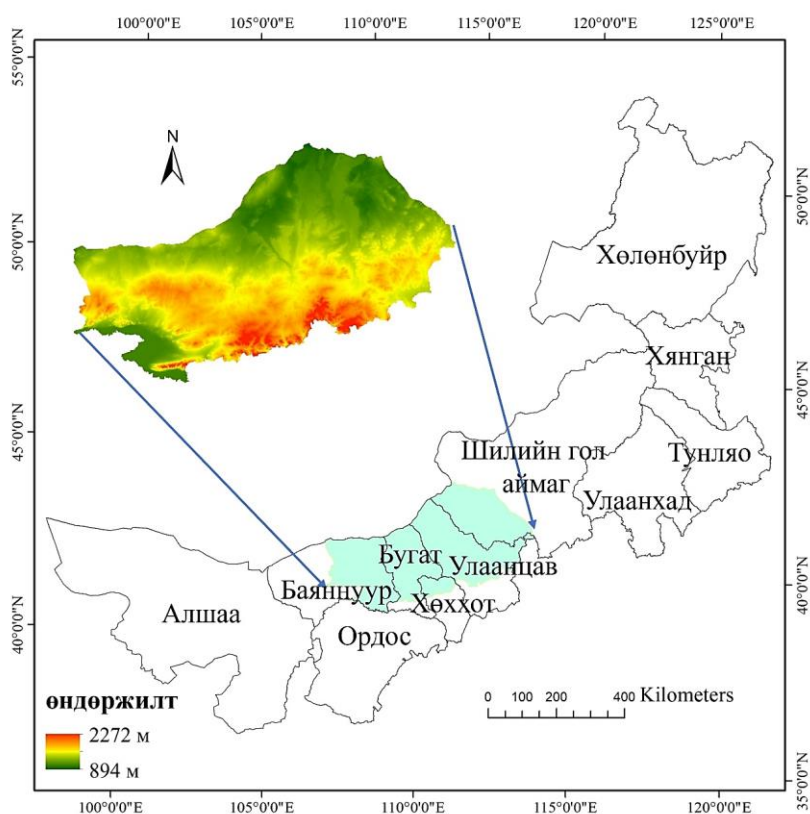
Харин бүс нутгийн хэмжээнд Бээжин, Цилян уулс болон Лауссын өндөрлөгүүдэд УЦАБ-ний оронзай, цаг хугацааны өөрчлөлтийн судалгаанууд хийгджээ (Basuki et al., 2021; Chen et al., 2023; Mattei et al., 2024). Түүнчлэн 2000-2017 оны MODIS хиймэл дагуулын NDVI-н мэдээг ашиглан фенологи болон УЦАБ-г тооцоолж, УЦАБ болон уур амьсгал хоорондын хамаарлын дүн шинжилгээг Өвөр Монголын цөлөрхөг хээрийн бүс нутагт хийжээ (Dong et al., 2020). Энэ судалгаанд 2000-2017 оны Өвөр Монголын цөлөрхөг хээрийн бүс нутгийн олон жилийн дундаж УЦАБ зүүнээс баруун тийш аажмаар буурах хандлагатайг тогтоосон. УЦАБ хавар (III-V сар) болон зуны (VI-VIII) улиралд нэмэгдэх хандлагатай бол намрын (IX-XI) улиралд буурах хандлага ажиглагджээ (Dong et al., 2020). УЦАБ-ны жилийн өөрчлөлт нь бүс нутгийн хэмжээнд бага зэрэг нэмэгдсэн ба ургамал ургах үеийн хур тунадасны өөрчлөлт нь УЦАБ-д нөлөөлөх гол хүчин зүйл болохыг тодорхойлсон байна. Хавар болон зуны улиралд хур тунадас нэмэгдэх нь Өвөр Монголын цөлөрхөг хээрийн бүсийн УЦАБ нэмэгдэх тохиромжтой нөхцлийг бүрдүүлдэг онцлогтой. Гэсэн хэдий ч цөлөрхөг хээрийн янз бүрийн бүс нутгуудын ялгаатай газрын гадарга, уур амьсгал болон ургамлын нөхцөл байдал нь УЦАБ-ний өөрчлөлт болон уур амьсгалд үзүүлэх хариу үйлдлийг өөрчилдөг зүй тогтолтой юм.

Энэ суудалгаанд хамрагдсан Иншань нурууны хойд хэсэг нь хээрийн болон хуурай хээрийн бүс нутгийн заагт оршдог. Цөлөрхөг хээрийн ургамалтай, экологийн орчин туйлын эмзэг нутаг юм. Тухайн бүс нутгийн уур амьсгал болон ургамалжлын өөрчлөлт хоорондын хамаарал нь өөрийн гэсэн онцлогтой бөгөөд Иншань нурууны хойд хэсгийн уур амьсгалын хүчин зүйлс УЦАБ хоорондын хамаарлыг судалсан судалгаа цөөн байна. Энэ судалгаа нь Өвөр Монголын цөл, цөлөрхөг хээрийн бэлчээр болох Иншань нурууны хойд хэсэгт улирлын чанартай уур амьсгалын хүчин зүйлс болон жилийн УЦАБ хоорондын хамаарлыг судлах зорилготой юм.

## Судалгааны талбай

Иншань нурууны хойд хэсэг нь Өвөр Монголын Өөртөө Засах орны төв хэсэгт байрладаг. Зүүн талаараа Хуншандэхэ цөл, өмнө талаараа Иншаний нуруу, баруун талаараа Урадын цөл, Хойд талаараа Монгол орны цөлийн ургамалтай хиллэдэг (Inoue, 2015) Судалгааны талбайд засаг захиргааны хувьд ӨМӨЗО-ны нийт 13 хошуу (Шилийн гол аймгийн Хөвөөд Шар хошуу, Сөнөд

баруун хошуу, Эрээн хот; Улаанцав Аймгийн Дөрвөд хошуу, Цахар Баруун гарын дунд хошуу, Цахар Баруун гарын хойд хошуу, Шанд хошуу, Хуадэ хошууд; Бугат аймгийн Гуянь хошуу, Дархан Муумянган холбоот хошуу; Хөх хотын Үчуань хошуу; Баяннуур аймгийн Урадын дундад хошуу, Урадын өмнөд хошуу) хамрагддаг (Зураг 1). Энэ бүс нутаг нь Монголын тэгш өндөрлөгийн урд хэсэгт байрлах ба өндөр тэгш өндөрлөг, нам толгод болон сав газруудтайгаараа онцлог бөгөөд хойноос урагшлах тусам газрын гадарга өндөрсдөг (Chen et al., 2005). Хөрс нь гол төлөв карбонатлаг улаан хүрэн болон карбонатлаг бор хөрс тархсан. Ургамалжлын хувьд цөл, цөлөрхөг хээрийн ургамлууд зонхилдог. Усны эх үүсвэр хомс, гадаргын ус нь улирлын шинжтэй өөрчлөгддөг. Энэ бүс нь хуурай болон хагас хуурай тивийн муссоны уур амьсгалтай бөгөөд жилийн дундаж хур тунадас 200-400 мм, жилийн дундаж температур 1.3-1.8°C орчим, зонхилох салхины чиглэл зүүн хойноос зонхилдог. Энэ нутгийн уур амьсгал нь эрс тэс, хуурай нөхцөл нь бүс нутгийн гол онцлог юм (Wu et al., 2022). Иншань уулсын хойд хэсэг нь хөдөө аж ахуй, мал аж ахуй болон ойн аж ахуйн салбарууд давамгайлдаг ба байгаль газарзүйн хүчин зүйлээс хамааран эдийн засгийн хөгжил нь бусад бүс нутгаас харьцангуй хоцрогдмол байдаг (Wu et al., 2016).



Зураг 1. ӨМӨЗО-ы Иншань нурууны хойд хэсгийн судалгааны талбайн газарзүйн байршил

### Судалгааны материал, аргазүй

Энэхүү судалгаанд MODIS хиймэл дагуулын 500 метрийн орон зайн нарийвчлалтай 2001-2020 оны MOD17A3 бүтээгдэхүүн “Net Primary Productivity (NPP)”-ийг ашигласан (Han, 2020; Yang, 2015). Өгөгдлөө “ArcGIS” программ хангамж ашиглан геометр засал болон проекц хөрвүүлэх зэрэг боловсруулалтыг хийсэн. Агаарын температур болон хур тунадасны мэдээг Төвөдийн өндөрлөгийн үндэсний мэдээллийн сан <https://ikcest-drr.data.ac.cn/data/9c15a> (National Tibetan Plateau Data Center)-аас авсан. Иншань нурууны хойд хэсгийн сарын дундаж температур болон хур тунадасны мэдээллийг вектор хил ашиглан гарган авч ашиглав.

**Чиг хандлагын шинжилгээ:** УЦАБ-ий өгөгдлийн цуваанд гарсан өөрчлөлтийг тооцохдоо “Theil-Sen Median” налуугийн аргыг ашигласан. Энэ арга нь тооцооллын хувьд өндөр үр дүнтэй, хэмжилтийн алдаа болон салангид өгөгдөлд мэдрэмтгий байдаггүй бөгөөд урт хугацааны цуврал мэдээллүүдийн чиг хандалтын дүн шинжилгээнд түгээмэл хэрэглэгддэг (Huang, 2023; Nian, 2015). Тооцооллын арга нь дараах байдалтай байна. Үүнд:

$$\beta = \text{Median} \left( \frac{NPP_j - NPP_i}{j - i} \right), 2000 \leq i < j \leq 2020 \quad (1)$$

Энд,  $\beta$  нь бүх өгөгдлийн өөрчлөлтийн чиг хандалга. Хэрэв  $\beta > 0$  бол УЦАБ өөрчлөлт өсөх хандлагатай,  $\beta < 0$  бол УЦАБ өөрчлөлт буурах хандлагатай байна.  $NPP_i$  ба  $NPP_j$  нь  $i$  ба  $j$  хугацааны үеийн “NPP” хувьсагчийн утга бөгөөд дундаж утгыг илэрхийлнэ.

Иншань нурууны хойд хэсгийн цөлжилт болон ургамлын сийрэгжилтийн улмаас жил бүрийн фенологийн үеийг олон пикселээс гаргаж авах боломжгүй тул энэхүү судалгаанд фенологийн үе, УЦАБ болон уур амьсгалын хүчин зүйлсийн өөрчлөлтийг тодорхойлохын тулд регрессийн шинжилгээ хийсэн. Энд:

$$y = ax + b \quad (2)$$

Энд:  $a > 0$  нэмэгдэх чиг хандлагыг харуулна,  $a < 0$  Буурах чиг хандлагыг харуулна.

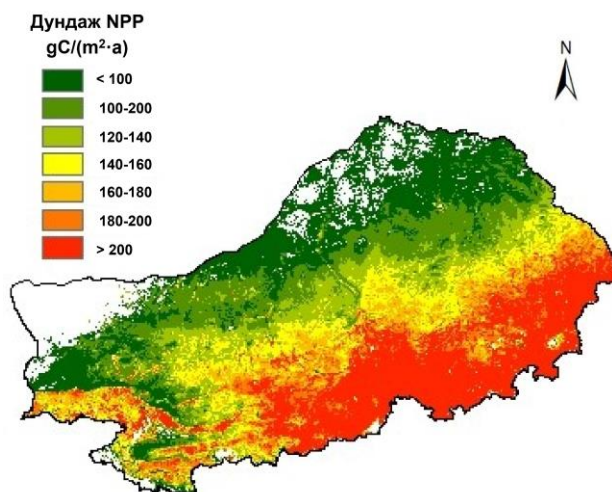
**Корреляцийн шинжилгээ:** Энэ судалгаанд ургамлын фенологи, УЦАБ болон уур амьсгал хоорондын хамаарлыг пирсоны корреляцийн шинжилгээний аргыг ашигласан. Үүнд  $r$  утга нь корреляцийн коэффициент бөгөөд үнэмлэхүй утга нь их байх тусам хувьсагч хооронд хүчтэй хамааралтай, харин хоорондоо сул болон ямар нэгэн хамааралгүй бол үнэмлэхүй утга бага байдаг (Guo Nao, 2023).  $r$ -ийн тооцооллын томьёо дараах байдалтай байна. Үүнд:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

$r$ -ийн утга -1-ээс 1-ийн хооронд байна. 0-ээс их бол хувьсагч хооронд эерэг хамааралтайг илэрхийлэх ба эсрэгээрээ сөрөг хамаарлыг илэрхийлнэ.

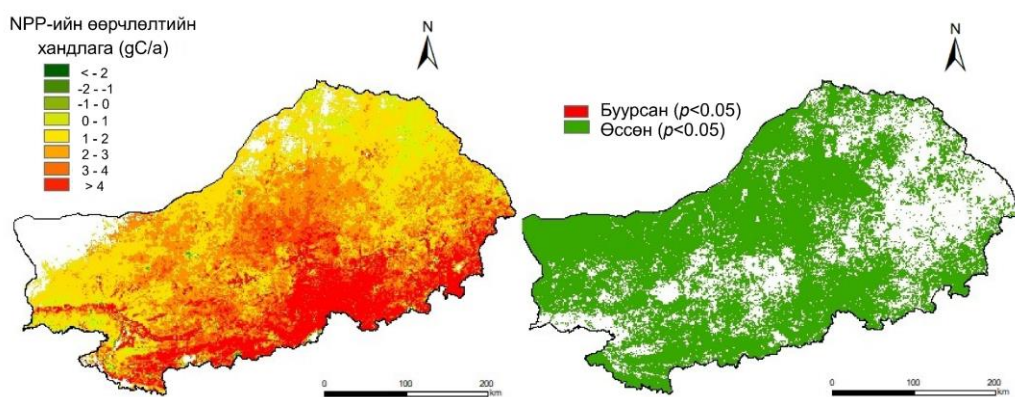
### Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг

**Олон жилийн дундаж УЦАБ-ний оронзайн тархалт:** Иншань нурууны хойд хэсгийн олон жилийн дундаж УЦАБ-ний орон зайн тархалтаас үзэхэд ихээхэн ялгаатай байдал ажиглагдсан. Судалгаанд хамрагдсан 20 жилийн хугацаанд судалгааны талбайн олон жилийн дундаж 152.3 gC/(m<sup>2</sup>·a) байна. Судалгааны өмнөд бүсэд УЦАБ-ний олон жилийн дундаж утгын хамгийн өндөр утга нь 498.4 gC/(m<sup>2</sup>·a) хүрч байна. Эндээс Иншань нурууны хойд хэсгийн өмнөд хэсэг нь УЦАБ-г давамгайлах гол бүс болж байна. Энд УЦАБ-ийн гол эх үүсвэр болох нарны цацрагийн хувиарлалт, хур тунадасны хэмжээ харьцангуй их байдгаас хамаарч байна (Зураг 2).



Зураг 2. 2001-2020 оны Иншань нурууны хойд хэсгийн дундаж УЦАБ-ний орон зайн тархалт

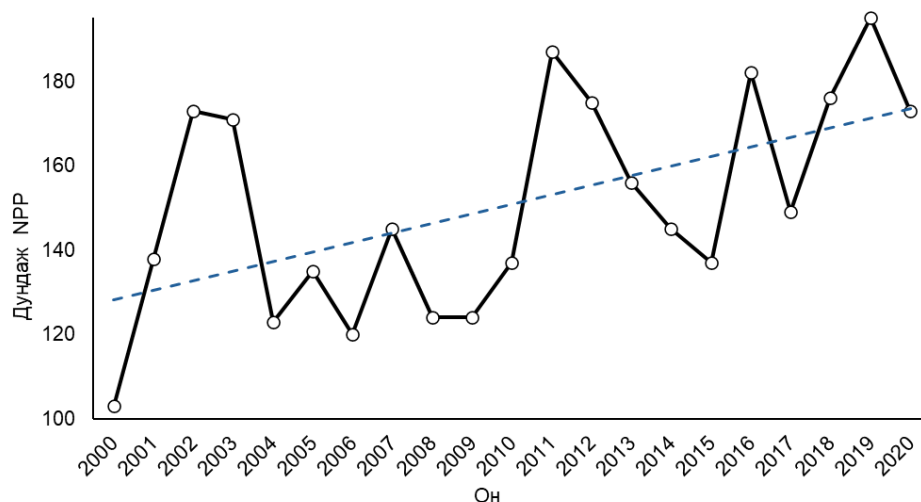
**УЦАБ-ний оронзайн тархалтын өөрчлөлтийн чиг хандлага:** Иншань нурууны хойд хэсгийн УЦАБ-ний жил хоорондын өөрчлөлтийн налуугийн орон зайн тархалтаас харахад жил хоорондын УЦАБ-ний өөрчлөлт голчлон 1-3  $\text{gC/a}$  хооронд хэлбэлзэж, олон жилийн дундаж хэмжээ 2.6  $\text{gC/a}$  байна. Судалгааны талбайн нийт 84.47 хувийг УЦАБ өндөр өсөлттэй бүс эзэлж байгаагаас үзэхэд ургамлын сэргэх амьд биомасс ерөнхийдөө өсөн нэмэгдэх хандлагатай байгааг илтгэж байна. Ялангуяа судалгааны талбайн өмнөд хэсэгт УЦАБ-ний өөрчлөлт хойд хэсэгтэй харьцуулахад илүү тод илэрч байгаа нь тухайн бүс нутагт хур тунадасны хангамж харьцангуй сайн, чийгийн нөөц илүү байгаатай холбоотой. Энэ нь ургамлын ургалтад таатай нөхцөл бүрдүүлж, хөдөө аж ахуйн үйл ажиллагаанд эерэг нөлөө үзүүлдэг. Харин судалгааны талбайн хойд хэсэгт хур тунадасны хэмжээ харьцангуй бага байдаг тул хөрсний чийг хомс, ургамлын өсөлтөд сөргөөр нөлөөлөх байгалийн таагүй нөхцөл бүрдэж, улмаар УЦАБ аажмаар буурах хандлагатай байна (Зураг 3).



Зураг 3. 2001-2020 оны Иншань нурууны хойд хэсгийн УЦАБ-ний орон зайн чиг хандлага

**УЦАБ-ний жил хоорондын өөрчлөлтийн шинж чанар:** 2001-2020 оны Иншань нурууны хойд хэсгийн УЦАБ-ний олон жилийн дундаж өөрчлөлтийн чиг хандлага энэ бүс нутагт жил бүр дунджаар УЦАБ 103.9-аас 194.7  $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , олон жилийн дундаж 152.3  $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  байна. УЦАБ-ний дээд хэмжээ 2012 онд 189.4  $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ -д хүрсэн ба энэ нь дунджаас 37.1  $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  өндөр байна. УЦАБ-ний хамгийн бага хэмжээ 2001 онд 103.9  $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  байсан ба энэ нь дунджаас 48.4  $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ -аар бага байна. 2001-2020 онд УЦАБ-ний дундаж утгын 32% хэлбэлзэж байсан бөгөөд үүнд 2001-2003, 2005-2006 он, 2007-2008 он, 2010-2012 он, 2015-2016 он болон 2017-2019

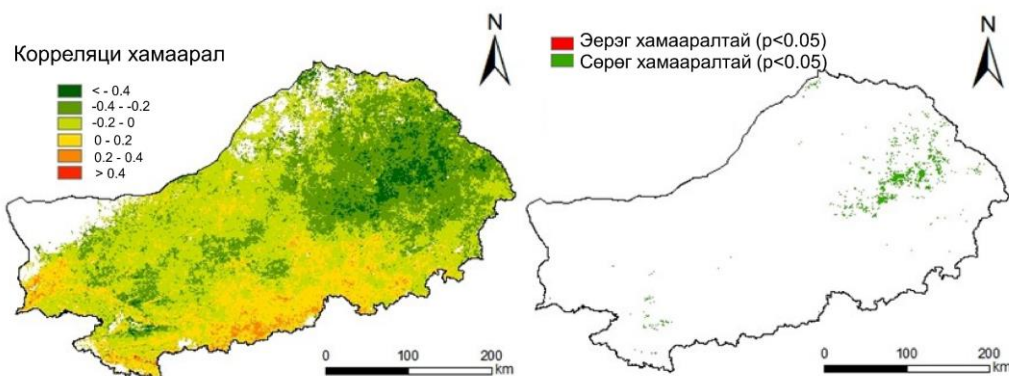
онуудад нэмэгдэх хандлагатай, харин 2011-2012 онд хамгийн их өсөлттэй байсан бөгөөд нийт УЦАБ  $47.7\text{gC}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ -аар өссөн байна. Нөгөөтгээгүүр УЦАБ-ны дундаж утга 2004-2005 он, 2006-2007 он, 2008-2010 он, 2012-2015 он, 2016-2017 он, 2019-2020 онуудад буурсан үзүүлэлттэй байсан бол 2004-2005 онд хамгийн их бууралттай байсан бөгөөд нийт УЦАБ нь  $47.2\text{gC}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ -аар буурсан байна. Ерөнхийдөө Иншань нурууны хойд хэсгийн олон жилийн дундаж УЦАБ сүүлийн 20 жилд мэдэгдэхүйц өсөх хандлагатай байна (Зураг 4).



Зураг 4. 2001-2020 оны Иншань нурууны хойд хэсгийн УЦАБ-ний чиг хандлага

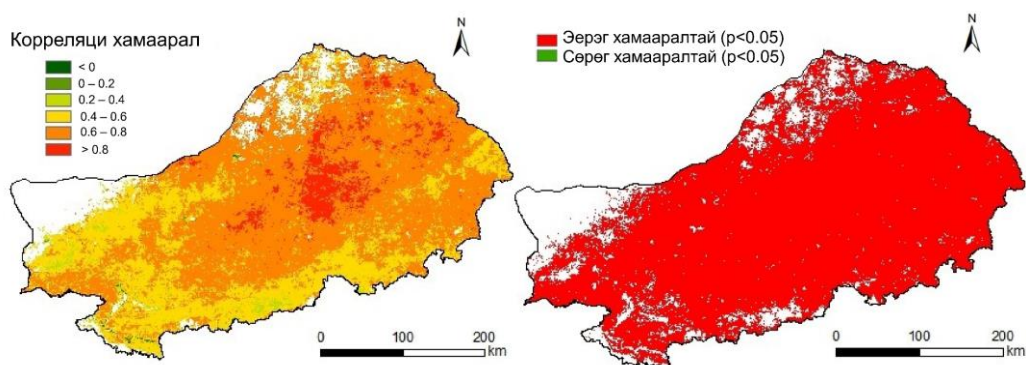
**Уур амьсгалын хүчин зүйлс болон жилийн нийт УЦАБ хоорондын хамаарал:** УЦАБ болон уур амьсгалын хүчин зүйлс хоорондын хамаарлын шинжилгээний үр дүнгээс үзвэл Иншань нурууны хойд хэсгийн УЦАБ-д жилийн нийт хур тунадас нь температурыг бодвол их хүчтэй нөлөөлдөг болохыг харуулж байна. Жилийн нийт хур тунадас болон УЦАБ хооронд нийт нутгийн 99.93%-д эерэг хамаарал илэрсэн бөгөөд үүнээс хүчтэй эерэг хамаарал бүхий талбай нийт нутгийн 95.62%-ийг эзэлж, бараг бүхэлдээ судалгааны талбайд тархан оршиж байна.

Харин жилийн дундаж температур болон УЦАБ хоорондын хамаарлыг авч үзэхэд, нийт судалгааны бүс нутгийн 79.13 хувьд сөрөг хамаарал илэрсэн нь температурын өсөлт нь УЦАБ-нд сөрөг нөлөө үзүүлж байгааг харуулж байна. Ялангуяа судалгааны талбайн зүүн хэсэгт хүчтэй сөрөг хамаарал ажиглагдсан бөгөөд энэ бүс нийт судалгааны нутгийн ердөө 1.91 хувийг эзэлж байгаа нь орон зайгаар харилцан адилгүй нөлөөлөл байгааг илтгэж байна (Зураг 5). Энэхүү бүс нутгийн онцлог нь температурын өсөлттэй зэрэгцэн хөрсний чийгийн дутагдал нэмэгдэх нөхцөл бүрдэж болзошгүйг илэрхийлж байж болох юм.



Зураг 5. 2001-2020 оны Иншань нурууны хойд хэсгийн жилийн нийлбэр УЦАБ болон жилийн дундаж температур хоорондын оронзайн хамаарал

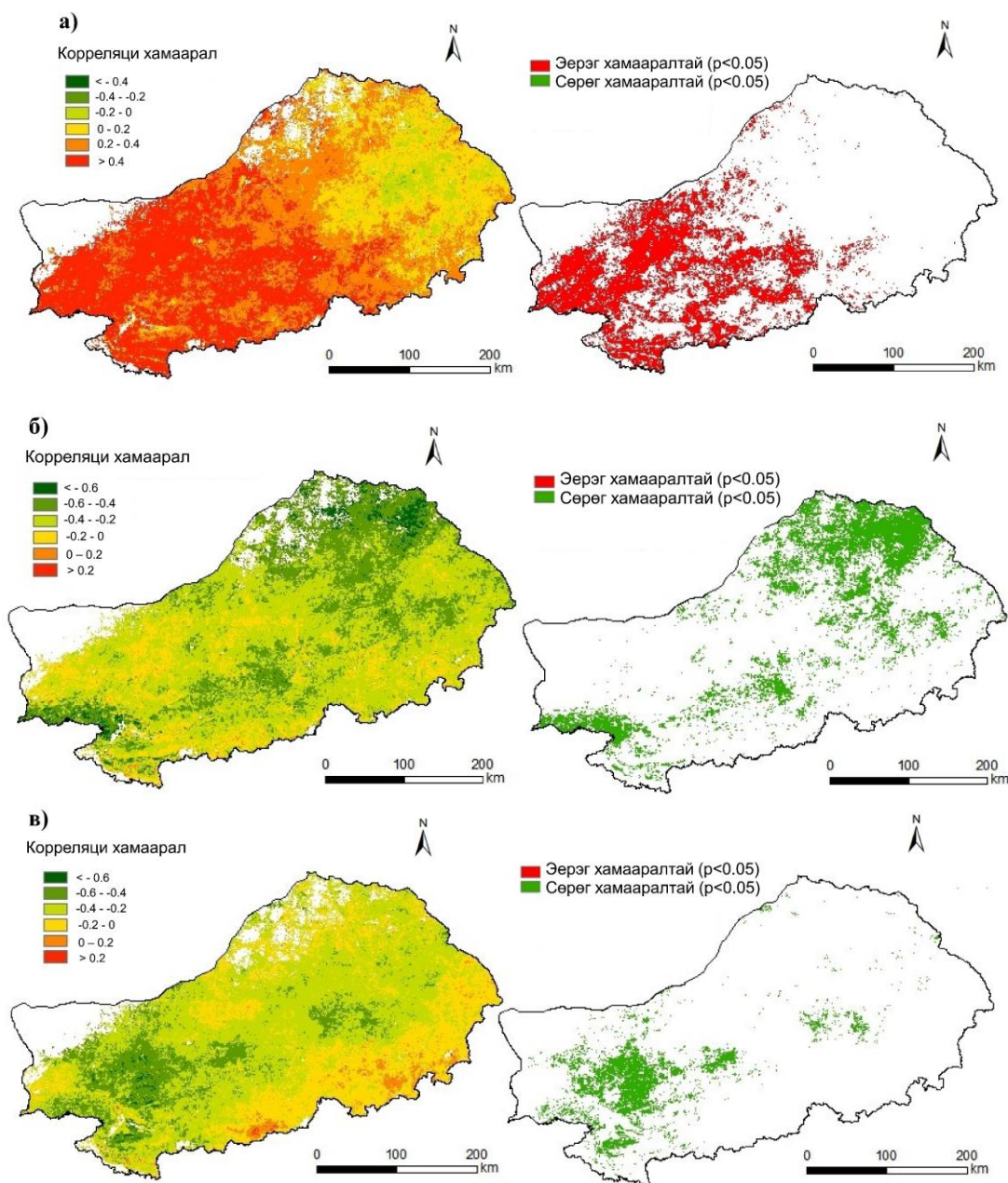
Эдгээр үр дүн нь чийг буюу хур тунадас нь тус бүс нутгийн ургамлын өсөлтөд хамгийн чухал нөлөөлөгч хүчин зүйл болохыг харуулж, харин температурын өөрчлөлтийн нөлөө харьцангуй бага байгааг илтгэж байна. Иймд Иншань нурууны хойд хэсгийн УЦАБ-ний өөрчлөлтөд хур тунадас голлон нөлөөлж байв (Зураг 6).



Зураг 6. 2001-2020 оны Иншань нурууны хойд хэсгийн жилийн нийлбэр УЦАБ болон жилийн нийлбэр хур тунадас хоорондын орон зайн хамаарал

Хур тунадас нь бэлчээрийн УЦАБ-ийн өсөлтийг хязгаарлах үндсэн хүчин зүйл юм. Өвөр Монголын УЦАБ-ийн өөрчлөлтийн хөдөлгөгч хүчин зүйлсийн талаарх дүгнэлт судлаачдын дунд харилцан адилгүй байна. Өвөр Монголын ихэнх бэлчээрийн бүс нутагт УЦАБ нь жилийн хур тунадастай мэдэгдэхүйц эерэг хамааралтай боловч жилийн дундаж температуртай мэдэгдэхүйц хамааралгүй (Li et al., 2007; Zhang et al., 2008; Yin et al., 2011; Gang et al., 2014; Chen et al., 2017; Pan et al., 2017; Gao et al., 2020) гэж үзсэн байдаг. Энэ нь судалгааны бүсэд өндөр температуртай, хур тунадас багатай дулаан, хуурай уур амьсгалтай учир хур тунадас нь УЦАБ-ийн өсөлтийг хязгаарлах гол хүчин зүйл болдог. Өвөр Монголын бэлчээрийн бүс нутагт УЦАБ-ийн өсөлтийн гол хөдөлгөгч хүчин зүйл нь агаарын температурын өсөлт (Yan, 2009), хур тунадас, температурын УЦАБ-д үзүүлэх нөлөөлөл нь янз бүрийн бэлчээрийн төрлүүдэд ихээхэн ялгаатай байдаг. Хур тунадас ихтэй нугын бэлчээрийн хувьд температур нь үндсэн хязгаарлах хүчин зүйл болдог (Mu, 2013) бол хуурай болон хагас хуурай газар нутагтай бэлчээр болон цөлийн бэлчээрийн хувьд гол хязгаарлалт болдог.

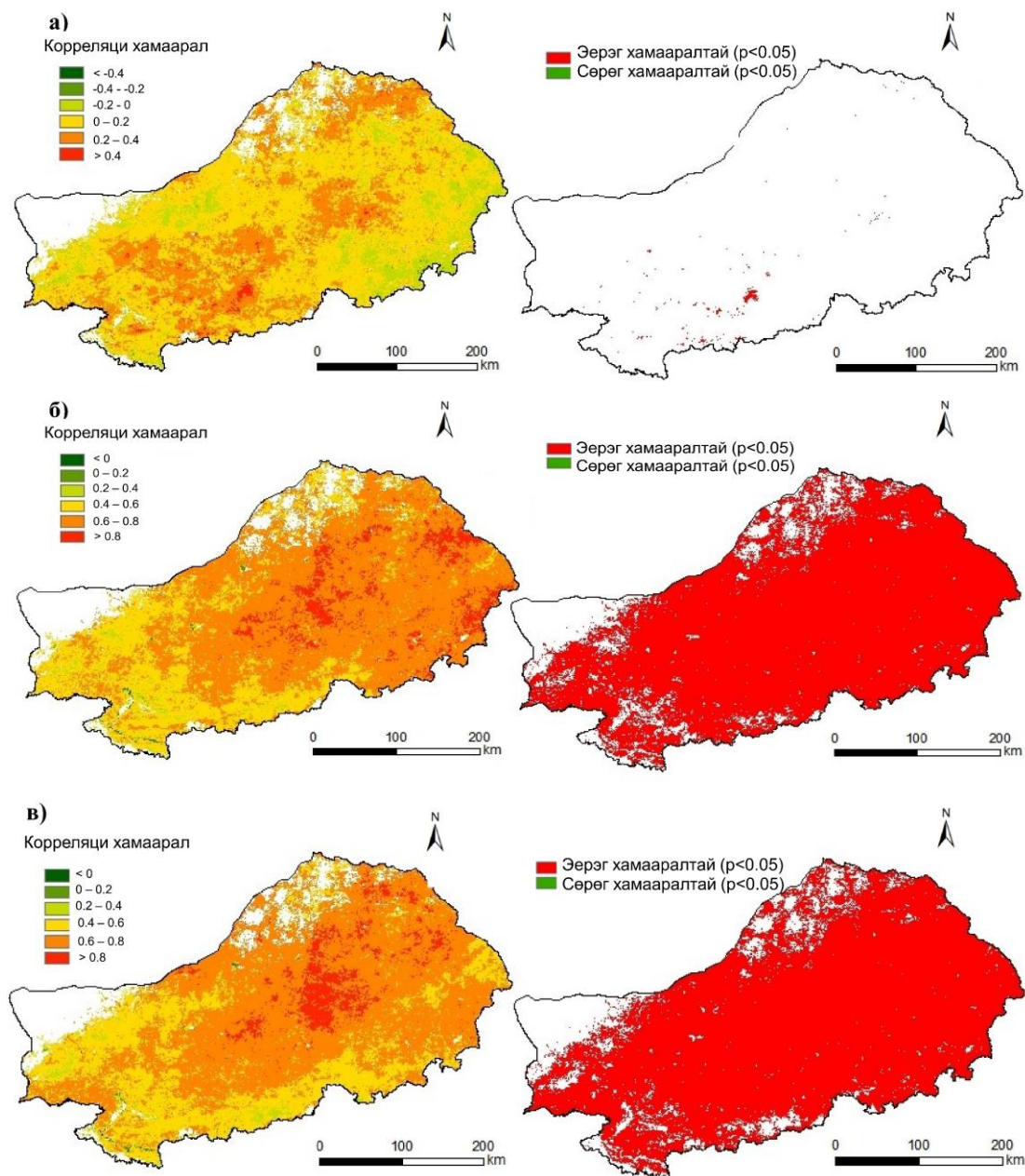
**УЦАБ болон уур амьсгалын хүчин зүйлсийн улирлын хамаарал:** Иншань нурууны хойд хэсгийн УЦАБ-нд уур амьсгалын хүчин зүйлс болох температур, хур тунадасны улирлын өөрчлөлт нөлөөлж байна (Зураг 7-8). Хавар энэ бүс нутагт УЦАБ температур болон хур тунадасны аль алинтай нь эерэг хамааралтай бөгөөд тус бүр 94.21%, 87.41%, харин хүчтэй эерэг хамаарал тус бүр 28.93% болон 0.5% байна. Температурын хамаарал нь хур тунадастай харьцуулахад илүү өндөр байна (Зураг 7А). Учир нь хаврын дундаж температурын өсөлт нь ургамлын өсөлтийг дэмждэг бол хур тунадас нь УЦАБ-ний өсөлтөд бага нөлөө үзүүлдэг. Хэрэв температур буурвал ургамлын ургалтад сөргөөр нөлөөлнө. Тиймээс хаврын температур нь хур тунадаснаас илүү ургамлын УЦАБ-д нөлөөлжээ.



Зураг 7. Судалгааны талбайн 2001-2020 оны хугацааны А. Хаврын улирлын УЦАБ болон дундаж температур, Б.Зуны улирлын УЦАБ болон дундаж температур, В. Намрын улирлын УЦАБ болон дундаж температур хоорондын оронзайн хамаарал

Зуны УЦАБ болон температур хооронд сөрөг хамааралтай байсан бөгөөд энэ нь тухайн бүс нутгийн 99.55%-г эзэлж байгаа бол үүнээс хүчтэй сөрөг хамаарлын хэмжээ 20.57% байна. УЦАБ болон хур тунадас хооронд эерэг хамааралтай байсан бөгөөд энэ нь тухайн бүс нутгийн 99.92%-г эзэлж байгаа бол үүнээс хүчтэй эерэг хамаарлын хэмжээ 95.66% байна (Зураг 7Б). Судалгааны үр дүнгээс харахад зуны улиралд температур болон хур тунадас нь УЦАБ хэмжээ өсөхөд нөлөөлдөг ч хур тунадасны нөлөө харьцангуй илүү давамгайлж байна. Зун нь ургамлын ургалтад хамгийн тохиромжтой цаг хугацаа хэдий ч хэт өндөр температур нь ургамлын физиологийн үйл ажиллагааг сааруулж, ууршилт нэмэгдэх замаар хөрсний чийгийн дутагдлыг үүсгэж болзошгүй юм. Үүний үр

дүнд зуны температур болон УЦАБ хооронд сөрөг хамаарал үүсэх хандлагатай байдаг. Учир нь ургамлын өсөлт хөгжил нь чийгийн хүртээмжтэй нөхцөлтэй шууд хамааралтай байдаг тул зуны улиралд тохиох ган гачиг нь экосистемийн бүтээмжийг бууруулах нэгэн гол хүчин зүйл болохыг уг судалгаа харуулж байна.



Зураг 8. Судалгааны талбайн 2001-2020 оны хугацааны А. Хаврын улирлын УЦАБ болон хур тунадас, Б. Зуны улирлын УЦАБ болон хур тунадас, В. Намрын улирлын УЦАБ болон хур тунадас хоорондын оронзайн хамаарал

Намрын УЦАБ болон температур хооронд сөрөг хамааралтай байсан бөгөөд энэ нь тухайн бүс нутгийн 97.49%-ийг эзэлж, үүнээс хүчтэй сөрөг хамаарал бүхий талбай 8.7% байна. Харин хур тунадастай нийт бүс нутгийн 97.49% нь эерэг хамааралтай байгаагаас 2.86%-д хүчтэй эерэг хамааралтай байна. Намрын улиралд агаарын температур буурах нь ургамлын ургалтыг

бууруулах ба жилийн дундаж температур болон жилийн УЦАБ хооронд сөрөг хамааралтай байна. Гэхдээ намрын температур, хур тунадас ба УЦАБ хоорондын хамаарлын ач холбогдол бага байна.

Энэ судалгаа нь цөлийн бэлчээрт хавар, намрын улиралд УЦАБ-ий хуримтлал харьцангуй бага байдаг. Иймд энэ бүсийн улирал бүрийн ургамалжилтын УЦАБ-ийг зөв гаргаж авахын тулд MODIS-ийн загварчлалыг хээрийн судалгаагаар баталгаажуулах шаардлагатай. Судалгааны талбайд олон төрлийн ургамлын зүйлийн тархалтад УЦАБ болон уур амьсгалын хүчин зүйлс хоорондын хамаарал нь ургамлын зүйлээс хамаарч өөр өөр байна. Цаашдын судалгаанд энэ бүс нутгийн ургамлын төрөл, зүйлийн бүрэлдэхүүн, тэдгээрийн тархалтын онцлог болон тэдгээрт нөлөөлж буй уур амьсгалын хүчин зүйлсийн хоорондын уялдаа холбоог нарийвчлан судлах шаардлагатай бөгөөд ингэснээр тухайн бүсийн экосистемийн үйл ажиллагаа, уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийг илүү гүнзгий ойлгох боломжтой юм.

## Дүгнэлт

Энэ судалгаанд Өвөр Монголын цөл, цөлөрхөг бэлчээр болох Иньшань нурууны хойд хэсэгт улирлын чанартай уур амьсгалын хүчин зүйлс болон жилийн УЦАБ хоорондын хамаарлыг 2001-2020 оны хоорондох шинжилгээг хийв.

Уур амьсгал болон УЦАБ хоорондын хамаарлыг статистик шинжилгээгээр 20 жилийн хугацаанд Иншань нурууны хойд хэсгийн жилийн дундаж УЦАБ  $152.3\text{gC}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$  байна. Жилийн өөрчлөлт  $103.9\text{--}194.7\text{gC}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$  хооронд, УЦАБ-ний орон зайн өөрчлөлтийн чиг хандлага голчлон  $1\text{--}3\text{gC}/\text{a}$  хооронд хэлбэлзэж дундажаар  $2.6\text{gC}/\text{a}$  байна. Судалгааны талбайн  $84.47\%$ -д нь УЦАБ өсөх хандлага ажиглагдсан.

Иньшань нурууны хойд хэсгийн судалгааны үр дүнгээс харахад тухайн бүс нутгийн жилийн нийлбэр хур тунадас болон УЦАБ хоорондын эерэг хамаарал бүхий талбай нийт судалгааны бүсийн  $95.62\%$  хувийг эзэлж байгаа нь хур тунадас нь ургамлын бүтээмжид голлон нөлөөлж буй чухал хүчин зүйл болохыг илтгэж байна. Харин жилийн дундаж температур болон УЦАБ хоорондын хамаарал харьцангуй сул байсан нь уг бүс нутагт температурын бус, харин чийгийн нөхцөл зонхилон нөлөөлдөг орчны онцлогийг илтгэж байна.

Судалгааны үр дүнгээс үзэхэд улирлын хур тунадас, температур болон УЦАБ хооронд тодорхой хамаарал ажиглагдаж байна. Тухайлбал, зуны хур тунадас нь жилийн УЦАБ-нд хамгийн их нөлөө үзүүлдэг чухал хүчин зүйл болох нь тогтоогдсон. Мөн хаврын температурыг нэмэгдсэн тохиолдолд ургамлын идэвхтэй өсөлтийн хугацаа уртасч, нийт биомасс нэмэгдэх хандлагатай байгааг харуулж байна. Харин намрын температур болон хур тунадас нь жилийн УЦАБ-нд харьцангуй бага нөлөөтэй болох нь энэхүү судалгаагаар илэрхий боллоо. Иймд улирлын уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн дунд хавар, зуны улирлын хүчин зүйлс нь экосистемийн бүтээмжид голлон нөлөөлж байгааг цаашдын судалгаанд анхааран авч үзэх шаардлагатай юм.

## Талархал

Энэ судалгааг ӨМӨЗО-ны их, дээд сургуулиудын хүмүүнлэг, нийгмийн шинжлэх ухааны судалгааны бааз, БНХАУ-ын Иншань соёлын судалгааны төвийн судалгааны төсөл (23YSYJ00014)-ийн хүрээнд гүйцэтгэв.

## Ном зүй

1. Basuki, I., Kauffman, J. B., Peterson, J. T., Anshari, G. Z., & Murdiyarso, D. (2021). Land Cover and Land Use Change Decreases Net Ecosystem Production in Tropical Peatlands of West Kalimantan, Indonesia. *Forests*, 12(11), 1587.
2. Cao Jieping, C. D., & Wu Liqiang. (2008). Application Research of Mann-Kendall Test Method in Precipitation Trend Analysis. *Agricultural Science and Technology & Equipment*, 5, 35–37.
3. Chen, X., Hu, B., & Yu, R. (2005). Spatial and temporal variation of phenological growing season and climate change impacts in temperate eastern China. *Global Change Biology*, 11(7), 1118–1130.

4. Chen, Z., Chen, J., Xu, G., Sha, Z., Yin, J., & Li, Z. (2023). Estimation and Climate Impact Analysis of Terrestrial Vegetation Net Primary Productivity in China from 2001 to 2020. *Land*, 12(6), 1223.
5. Cramer, W., Kicklighter, D. W., Bondeau, A., Iii, B. M., Churkina, G., Nemry, B., Ruimy, A., Schloss, A. L., & Intercomparison, ThE. P. Of. ThE. P. NpP. M. (1999). Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): Overview and key results. *Global Change Biology*, 5(1), 1.
6. Dong, X., Yao, H., Dai, J., & Zhu, M. (2020). Phenological changes of desert steppe vegetation and its effect on net primary productivity in Inner Mongolia from 2000 to 2017. *Progress in Geography*, 39(1), 24–35.
7. Guo Hao, Y. J., Wang Jingzhi, et al. (2023). Spatiotemporal Evolution of Vegetation Net Primary Productivity in the Beijing-Tianjin-Hebei Region Based on MOD17A3 *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 40(7), 66-72.
8. Han, H., Bai, J., Ma, G., & Yan, J. (2020). Vegetation Phenological Changes in Multiple Landforms and Responses to Climate Change. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(2), 111.
9. Huang Qifen, Z. N., & Chen Ze. (2023). Response of Vegetation NDVI to Climate Change and Human Activities in Guizhou Province from 2000 to 2018. *Guizhou Science*, 41(2), 48-53.
10. Imhoff, M. L., Bounoua, L., Ricketts, T., Loucks, C., Harriss, R., & Lawrence, W. T. (2004). Global patterns in human consumption of net primary production. *Nature*, 429, 870–873
11. Inoue, T., Nagai, S., Kobayashi, H., & Koizumi, H. (2015). Utilization of ground-based digital photography for the evaluation of seasonal changes in the aboveground green biomass and foliage phenology in a grassland ecosystem. *Ecological Informatics*, 25, 1–9
12. Kezhen, Z. (1999). *Phenology*. Beijing, China: Hunan Education Press.
13. Kezhen, Z. (1973). *Phenology*. Beijing, China.: Science Press.
14. Kooistra, L., K. Berger, B. Brede, L.V. Graf, H. Aasen, J. Roujean, et al. (2024). Reviews and syntheses: Remotely sensed optical time series for monitoring vegetation productivity. *Biogeosciences*, 21(2), 473-511.
15. Liu Yaling, P. Z., & Fan Jinlong. (2005). Spatial and Temporal Analysis of Vegetation Cover in the Northern Foot of the Yinshan Mountains. *Resources Science*, 27(4), 169–174.
16. Mattei, A., F. Huneau, E. Garel, S. Santoni, T. Leydier, & Y. Vystavna. (2024). Gross primary production of Mediterranean watersheds: Using isotope mass balance approach to improve estimations. *Ecohydrology*, 17(2),
17. Nian Yanyun, W. X., & Cai Dihua. (2015). Analysis of Climate and Ecological Environment Changes in the Ejina Delta of the Lower Reaches of Heihe River. *Arid Meteorology*, 33(1), 28-37.
18. Schwartz, M. D., Reed, B. C., & White, M. A. (2002). Assessing satellite-derived start-of-season measures in the conterminous USA. *International Journal of Climatology*, 22(14), 1793–1805.
19. Wu, C., Hou, X., Peng, D., Gonsamo, A., & Xu, S. (2016). Land surface phenology of China's temperate ecosystems over 1999–2013: Spatial–temporal patterns, interaction effects, covariation with climate and implications for productivity. *Agricultural and Forest Meteorology*, 216, 177–187
20. Wu, X., Fan, J., Sun, L., Zhang, H., Xu, Y., Yao, Y., Yan, X., Zhou, J., Jia, Y., & Chi, W. (2021). Wind erosion and its ecological effects on soil in the northern piedmont of the Yinshan Mountains. *Ecological Indicators*, 128, 107825.
21. Wu, X., Jiao, L., Du, D., Xue, R., Ding, X., Wei, M., & Zhang, P. (2022). Spatial–Temporal Pattern and Influencing Factors of Vegetation Phenology and Net Primary Productivity in the Qilian Mountains of Northwest China. *Sustainability*, 14(21), 14337.
22. Yang Baijuan, W. S., & Chang Qing. (2015). Response of Net Primary Productivity of Vegetation to Phenological Changes in the Qinghai-Tibet Plateau. *Geography and Geo-Information Science*, 331(5), 115–120.