

Developing a multivariate approach to estimate aboveground biomass for larch (*Larix sibirica lbd*)

Tsolmon Altanchimeg^{1,*}, Amarsaikhan Damdinsuren¹, Tsolmon Renchin²

¹*Division of Geographic Information System and Remote Sensing, Institute of Geography and Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia*

²*Department of Physics, National University of Mongolia, Ulaanbaatar, Mongolia*

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

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

ABSTRACT

Forest biomass plays an important role in the global carbon stock and climate change. Information on the forest volume, coverage, and biomass is important to the global perspective on CO₂ concentration changes. Stem volumes produced by woody plant species and the biomass equation are required to determine the biomass. This study aimed to develop a multivariate approach to estimate the aboveground biomass of Siberian larch (*Larix sibirica lbd*). To meet the aim of the study, the goal was set to determine α, β, γ , and δ coefficients for the determination of aboveground biomass. Khangal soum of Bulgan province was selected as the study area. We developed the aboveground biomass estimation approach using ground-measured datasets including diameter at breast height (DBH), height, and soil moisture. Within the framework of the study, α, β, γ , and δ coefficients for the determination of the aboveground biomass were determined. The multivariate approach developed for estimating the aboveground biomass was applicable to the larch forest region in northern Mongolia.

Keywords: *Larix sibirica lbd*, Allometric equation, Biomass estimation method, Aboveground biomass

Шинэсэн ойн газрын дээрх биомассыг тооцох олон хувьсагчтай тэгшитгэлийг боловсруулах нь

Цолмон Алтанчимэг^{1,*}, Амарсайхан Дамдинсүрэн¹, Цолмон Рэнчин²

¹Газарзүйн Мэдээллийн Систем, Зайнаас Тандан Судлалын Салбар, Газарзүй, Геоэкологийн Хүрээлэн, Шинжлэх Ухааны Академи, Улаанбаатар, Монгол

²Сансар Судлал Ба Зайнаас Тандан Судлал Лаборатори, Физикийн Тэнхим, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар, Монгол

*Холбоо барих зохиогчийн цахим хаяг: tsolmon_a@mas.ac.mn

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

ХУРААНГУЙ

Ойн биомасс нь дэлхийн нүүрстөрөгчийн нөөц, уур амьсгалын өөрчлөлтөд чухал үүрэг гүйцэтгэдэг. CO₂-н агууламжийн өөрчлөлтийн дэлхийн хэтийн төлөвт ойн нөөц, талбай болон биомассын мэдээлэл нь чухал ач холбогдолтой. Биомассыг тодорхойлоход модлог ургамлын зүйлээр гаргасан ишний эзлэхүүн, биомассын тэгшитгэл шаардлагатай. Судалгааны зорилго нь Сибирь шинэс мод (*Larix sibirica lbd*)-ны газрын дээд биомассыг тооцох олон хувьсагчтай тэгшитгэлийг боловсруулахад оршино. Судалгааны зорилгын хүрээнд газрын дээд биомасс тодорхойлох үнэлгээний $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ коэффициентуудыг тодорхойлох зорилгыг тавьсан. Судалгааны талбайгаар Булган аймгийн Хангал сумыг сонгон авлаа. Бид газрын хэмжилтээр цуглуулсан модны цээжний өндрийн тойрог, өндөр, хөрсний чийг зэрэг мэдээг ашиглан газрын дээд биомассыг тооцоолох загварыг боловсруулсан. Судалгааны хүрээнд газрын дээд биомасс тодорхойлох үнэлгээний $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ коэффициентуудыг тодорхойлсон. Үр дүнд боловсруулсан газрын дээд биомассын олон хувьсагчтай загварыг Монгол орны хойд хэсгийн сибирь шинэсэн ойн бүсэд ашиглахад тохиромжтой байсан.

Түлхүүр үгс: Сибирь шинэс, Аллометрийн тэгшитгэл, Биомассын загвар, Газрын дээд биомас

1. ОРШИЛ

Ойн биомасс нь дэлхийн хуурай газрын экосистем дэх нүүрстөрөгчийн эргэлт, уур амьсгалын өөрчлөлтийг судлахад чухал үүрэг гүйцэтгэдэг [1]. Дэлхийн нийт хүлэмжийн хийн ялгарлын 17.4% нь ойн хомсдол, доройтлоос үүдэлтэй [2]. Сүүлийн үеийн зарим судалгаанаас харахад, хүний хүчин зүйлсээс шалтгаалсан ойн хомсдол, доройтлоос үүдэлтэй нүүрсхүчлийн хийн (CO₂) ялгарал нь уур амьсгалын өөрчлөлтөд ихээхэн нөлөө үзүүлж байна [3]. Ойн экосистем нь агаар мандлаас нүүрсхүчлийн хийг шингээн, их хэмжээний биомасс хуримтлуулж, нүүрстөрөгчийн гол нөөцлөгч болохоос гадна, хүлэмжийн хийн ялгаруулалтыг зохицуулах, дэлхийн агаар мандлын CO₂-ын тэнцвэрийг хадгалах үүрэг гүйцэтгэдэг [4].

Ойд температур болон ялзралын түвшин бага төдийгүй, хөрсний үе давхаргад нь нүүрстөрөгч их хэмжээгээр агуулагдаж байдаг тул сэрүүн бүсийн ой нь нүүрстөрөгчийг хуримтлуулахад чухал ач холбогдолтой [5]. Газрын доорх биомасс, хөрсөнд агуулагдах нүүрстөрөгч нь ойн нийт нүүрстөрөгчийн хэмжээнд багагүй хувийг эзэлдэг ба газрын экосистемийн нүүрстөрөгчийг шингээх чадвар нь хөрсний чийгээс хамааралтай байдаг [6]. Хөрсний чийг нь газрын гадаргын экосистемийн эрүүл байдал болон стрессийг тодорхойлох үзүүлэлтүүдийн нэг юм [7].

Монгол орны ой нь үндсэн 2 бүлэгт хуваагдах бөгөөд нутгийн хойд хэсэгт сэрүүн бүсийн ой (84.8%), өмнөд хэсэгт заган ой (15.2%) тархан ургана [3]. Манай орны навчит, шилмүүст ой мод нь Хангай, Хэнтий, Хөвсгөл, Монгол Алтайн уул нуруудыг дагаж ургадаг [8]. Сэрүүн бүсийн ой нь сэрүүн уур амьсгалтай, органик бодисын задралын хурд багатай байдаг тул хэдэн мянган жилийн туршид их хэмжээний нүүрстөрөгчийг хуримтлуулсан байдаг. Сэрүүн бүсийн ойд ихэвчлэн Сибирь шинэс (*Larix sibirica*), нарс (*Pinus sylvestris*), хуш (*Pinus sibirica*) зэрэг шилмүүст төрлийн мод зонхилон ургадаг. Навчит модны төрлөөс голчлон хус (*Betula plathyphylla*), улиангар (*Populus tremula*), улиас (*Populus laurifolia*) байна [2].

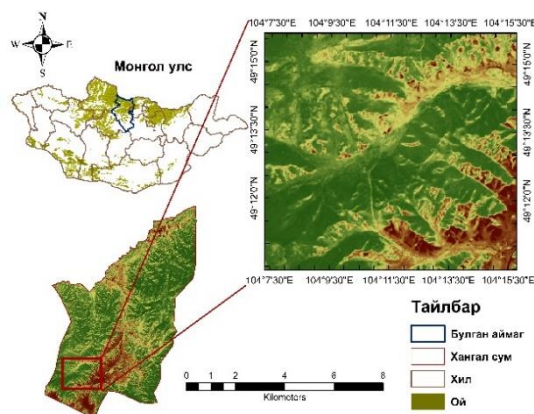
Ойн нөөц болон ойн биомасс, агуулагдах нүүрстөрөгч зэрэг нь хоорондоо шууд харилцан хамааралтай [9]. Иймд ойн биомассыг бодитоор тодорхойлох нь ойн нөөцийг зохистой ашиглах, экосистемийн тэнцвэрт байдлыг хангах, хүлэмжийн хийг бууруулахад чухал үр нөлөөтэй.

Монгол орны хувьд зарим судлаачид аллометрийн тэгшитгэлийг ашиглан модны биомассын судалгааг хийсэн байдаг бөгөөд П.Баттулга нар [10] Монгол Алтайн нурууны байгалийн шинэс модны газрын дээрх биомассыг, Ч.Дуламсүрэн ба бусад [11] Монгол орны ойт хээрийн нүүрстөрөгчийн нөөцийг, М.Тунгалаг нар [12] Монгол орны нарс модны биомассын тооцох, Б.Алтанзагас нар [13] Монгол орны Хангайн бүсийн таван төрлийн модны биомассыг аллометрийн тэгшитгэлээр тооцох талаар тус тус судалгаа хийсэн байна.

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд, Сибирь шинэс модны газрын дээрх биомассыг тооцох олон хувьсагчтай тэгшитгэлийг боловсруулахыг зорьсон. Судалгааны зорилгын дагуу газрын дээд биомасс тодорхойлох тэгшитгэлийн $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ коэффициентуудыг тодорхойлох зорилтыг тавьсан болно.

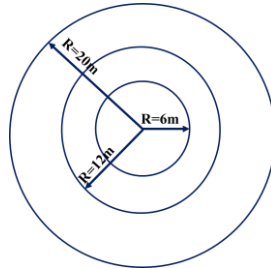
2. СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ

Судалгааны талбай болох Булган аймгийн Хангал сум нь аймгийн төвөөс 103 км зайд оршино. Нийт 1600 km² талбайтай, далайн түвшнээс дээш (д.т.д) 1260м-1570м өргөгдсөн, эх газрын эрс тэс уур амьсгалтай. Агаарын температур нь зундаа +38°C хүртэл, өвлийн улиралд -49°C хүртэл хэлбэлздэг. Жилийн дундаж температур -2.4°C бөгөөд хур тунадас нь 200мм -350мм байдаг. Судалгааны талбайд шилмүүст модноос Сибирь шинэс (*L. sibirica*) голлон ургах бөгөөд энэ нь нас гүйцсэн үедээ 24-26м дундаж өндөртэй, 40м хүртэл өндөр ургадаг [14]. Шилмүүсний урт 13-45мм, өргөн 1-2мм, цайвар ногоон өнгөтэй бөгөөд богиносон найлзуур дээр шилмүүс нь 25-50 ширхгээр багц үүсгэнэ. Сибирь шинэс (*L. sibirica*) нь -50°C болон түүнээс дээш хүйтнийг тэсвэрлэх ба янз бүрийн орчинд дасан зохицох чадвар сайтай байдаг [15].



Зураг 1. Судалгааны талбай: Булган аймгийн Хангал сумын нутаг

Судалгааны талбайд дээж сонгон авах 30 талбайг тодорхойлж, модны цээжний өндрийн диаметр (ЦӨД) буюу (D)-г газраас дээш 1.3 м өндөрт хэмжсэн. Модны өндөр (H)-ийг vertex багажаар хэмжих ба хөрсний зүсэлтийг дээж талбай бүрийн 6м-ийн радиустай тойрогт хөрсний дээж авдаг өрмөөр хийнэ (Зураг 2). 2018 оны 8 дугаар сарын Ландсат дагуулын мэдээн дээр дүрслэгдсэн судалгааны талбайн хэсгийг Зураг 1-д харуулав.



Зураг 2. Судалгааны талбай

Модны биомассын судалгаанд аллометрийн [10, 11, 12, 13] (1-3)-д үзүүлсэн тэгшитгэлүүдийг өргөн хэрэглэдэг.

$$\hat{Y} = aD^b \quad (1)$$

$$\hat{Y} = a(D^2H)^b \quad (2)$$

$$\hat{Y} = aD^2H^c \quad (3)$$

Үүнд: \hat{Y} —хэмжсэн эзлэхүүн (m^3), эсвэл түүний тодорхой хэсгүүдийн биомасс (кг),

D - цээжний өндөр буюу газраас дээш 1.3м өндөрт хэмжсэн диаметр (см),

H - модны өндөр (м),

a,b,c—аллометрийн тэгшитгэлийн коэффициентууд.

Алломертийн тэгшитгэлийн коэффициент бүр модны төрөл зүйлээс хамаарч өөр өөр байна.

Судалгааны хүрээнд, ойн газрын дээрх биомассыг тооцоолоход олон хувьсагч бүхий дараах загварыг боловсруулав.

$$\hat{Y} = \alpha D^\beta H^\gamma M^\delta \quad (4)$$

$\hat{Y} = \alpha D^\beta H^\gamma M^\delta$ үүнд: $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ -аллометрийн тэгшитгэлийн коэффициентууд.

Биомассын судалгааны үед, хэмжилтийн арифметик нэгжээр илэрхийлсэн үзүүлэлт ихэнх тохиолдолд [16] тооцооллын алдаатай гарах магадлал өндөр байдаг [17]. Иймд, үндсэн тэгшитгэлийг логарифмд шилжүүлж, дараах хэлбэртэй болгон өөрчилсөн болно.

$$\ln \hat{Y} = \ln \alpha + \beta \ln D + \gamma \ln H + \delta \ln M \quad (5)$$

Үүнд: $\ln \hat{Y} = \tilde{Y}$, $\ln \alpha = \tilde{\alpha}$, $\ln D = \tilde{D}$, $\ln H = \tilde{H}$, $\ln M = \tilde{M}$, буюу $\tilde{Y}_i = \ln \hat{Y}_i$; $\tilde{\alpha}_i = \ln \alpha$; $\tilde{D}_i = \ln D_i$; $\tilde{H}_i = \ln H_i$.

Судалгааны бодлогын тавил нь хамгийн бага буюу минимум утгыг олоход оршино. Өөрөөр хэлбэл, хамгийн бага квадратын аргын үндсэн санаа нь доорх квадратуудын нийлбэр хамгийн бага байхаар параметруудийг сонгон авахад оршино.

Хамгийн бага функцийн орших зайлшгүй нөхцөл бол үл мэдэгдэх хувьсагчдын хувьд хэсэгчилсэн деривативын тэгтэй тэнцүү байх явдал юм. Үүний үр дүнд тэгшитгэлүүд (7)-д үзүүлсэн хэлбэрээр илэрхийлэгдэнэ.

$$F(\tilde{\alpha}, \beta, \gamma, \delta) = \sum_{i=1}^n [\tilde{\alpha} + \beta \tilde{D}_i + \gamma \tilde{H}_i + \delta \tilde{M}_i - \tilde{Y}_i]^2 \rightarrow \min \quad (6)$$

$$\frac{dF}{d\tilde{\alpha}} = 2 \sum_{i=1}^n [\tilde{\alpha} + \beta \tilde{D}_i + \gamma \tilde{H}_i + \delta \tilde{M}_i - \tilde{Y}_i] = 0$$

$$\begin{aligned}\frac{dF}{d\beta} &= 2 \sum_{i=1}^n \tilde{R}_i [\tilde{\alpha} + \beta \tilde{R}_i + \gamma \tilde{H}_i + \delta \tilde{M}_i - \tilde{Y}_i] = 0 \\ \frac{dF}{d\delta} &= 2 \sum_{i=1}^n \tilde{M}_i [\tilde{\alpha} + \beta \tilde{R}_i + \gamma \tilde{H}_i + \delta \tilde{M}_i - \tilde{Y}_i] = 0 \\ \frac{dF}{d\gamma} &= 2 \sum_{i=1}^n \tilde{H}_i [\tilde{\alpha} + \beta \tilde{R}_i + \gamma \tilde{H}_i + \delta \tilde{M}_i - \tilde{Y}_i] = 0 \quad (7)\end{aligned}$$

Хэрэв бид (7) тэгшитгэлийг хялбарчилбал манай загвар дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ (8).

$$\begin{aligned}n * \tilde{\alpha} + \beta \sum_{i=1}^n \tilde{D}_i + \gamma \sum_{i=1}^n \tilde{H}_i + \delta \sum_{i=1}^n \tilde{M}_i &= \sum_{i=1}^n \tilde{Y}_i \\ \tilde{\alpha} \sum_{i=1}^n \tilde{D}_i + \beta \sum_{i=1}^n \tilde{D}_i^2 + \gamma \sum_{i=1}^n \tilde{D}_i \tilde{H}_i + \delta \sum_{i=1}^n \tilde{D}_i \tilde{M}_i &= \sum_{i=1}^n \tilde{D}_i \tilde{Y}_i \\ \tilde{\alpha} \sum_{i=1}^n \tilde{M}_i + \beta \sum_{i=1}^n \tilde{M}_i \tilde{D}_i + \gamma \sum_{i=1}^n \tilde{M}_i \tilde{H}_i + \delta \sum_{i=1}^n \tilde{M}_i^2 &= \sum_{i=1}^n \tilde{M}_i \tilde{Y}_i \\ \tilde{\alpha} \sum_{i=1}^n \tilde{H}_i + \beta \sum_{i=1}^n \tilde{H}_i \tilde{D}_i + \gamma \sum_{i=1}^n \tilde{H}_i^2 + \delta \sum_{i=1}^n \tilde{H}_i \tilde{M}_i &= \sum_{i=1}^n \tilde{H}_i \tilde{Y}_i \quad (8)\end{aligned}$$

Хамгийн бага квадратын аргаар тодорхойлсон үнэлэлтүүд нь шугаман үнэлэлтийн ангид хамгийн бага дисперстэй байдгаараа давуу талтай.

Регрессийн тэгшитгэлийн шинжилгээ, биомассын загварын үнэмшлийн үнэлгээнд дараах үзүүлэлтүүдийг ашиглав.

Үнэмлэхүй дундаж алдаа:

$$MAB = \frac{\sum_{i=1}^n |A_i - F_i|}{N} \quad (9)$$

Дундаж квадрат алдаа:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - F_i)^2}{N}} \quad (10)$$

Детерминацийн коэффициент:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (A_i - F_i)^2}{\sum (A_i - \hat{F}_i)^2} \quad (11)$$

3. ҮР ДҮН

Хөрсний зузаан болон механик бүрэлдэхүүн нь хөрсний ус, чийгийг хадгалахаас гадна, модны өсөлтөд чухал нөлөөтэй байдаг. Биомассын судалгаа нь цаг хугацаа их шаарддаг, хүнд ажил тул судлаачид хөрвүүлэлтийн математик тэгшитгэлийн тусламжтай ойн биомассын хэмжээг тодорхойлон гаргадаг. Ингэж хөрвүүлэхдээ модны төрөл зүйл тус бүр дээр гаргасан модны хэлбэрийн тогтмол коэффициентуудыг ихэвчлэн ашигладаг.

Бид хэмжилт хийсэн талбайн моддын диаметр, өндрийн үзүүлэлтүүд болон модны ишний дундаж эзлэхүүнийг тооцлоо (1-р хүснэгт). Мөн модны газрын дээд нийт дундаж үнэмлэхүй биомассыг бодож загвар модны стандарт алдаа болон далайцыг бодож гаргалаа (Хүснэгт 1). Судалгааны зорилгын дагуу загвар талбайд зонхилох Сибирь шинэс (*L. sibirica*) модны газрын дээд биомассыг тооцох олон

хувьсагчтай загварыг боловсруулснаас гадна, зонхилох модны биомассын загварын коэффициентуудыг тодорхойлов (Хүснэгт 2). Ингэхдээ дээр дурдсан 30 дээж талбайд хийсэн хэмжилтээс гадна, нэмэлтээр хөрсний чийгийг хэмжин загварын нэг хувьсагчаар сонгон авч, (Хүснэгт 3) нийт ($\alpha, \beta, \gamma, \delta$) коэффициентуудыг хамгийн бага квадратуудын аргыг ашиглан тодорхойлсон болно.

Хүснэгт 1. Сибирь шинэс (*L. sibirica*) модны статистик үзүүлэлтүүд

Үзүүлэлт	Дундаж±SE	Далайц
Диаметр (см)	15±1.5	2.18-23.7
Өндөр (м)	21±0.58	1.5-35
Ишний эзлэхүүн (м ³)	0.3270±0.1630	0.0003-0.994
Иш (кг)	123.15±0.952	0.209-148.992
Мөчир (кг)	5.8±0.739	0.129-53.992
Навч (кг)	29±0.131	0.196-275.51
Нийт биомасс (кг)	157.95±165.43	0.405-313.34

(SE – Загвар модны стандарт алдаа, далайц – хамгийн их, хамгийн бага үзүүлэлт)

Дэвшүүлсэн загвараа ашиглан сонгосон талбайн Сибирь шинэс (*L. sibirica*) модны биомассыг үнэлэхэд, ажиглалтын мэдээний хэмжилтийн утгаар модны эзлэхүүн, шинэс модны иш, навч, мөчир, нийт газрын дээрх биомасс тус бүрийг аллометрийн 3 тэгшитгэлээр (1-3) бодсон. Тэгшитгэл тус бүрийг бодоходоо ШУА-ийн Ботаникийн хүрээлэнгээс 2012 онд модны төрөл зүйл тус бүрээр гаргасан аллометрийн тэгшитгэлийн биомассын тогтмол коэффициентуудыг ашигласан ба регрессийн шинжилгээг Excel программ ашиглан хийв.

Регрессийн шинжилгээг хийхэд дитерминацийн коэффициентээс гадна гарсан үр дүнд итгэж болох эсэх, статистикийн хувьд ач холбогдолтой эсэхийг хэмжих өөр хэмжүүр шаардлагатай бөгөөд энэ зорилгоор р-утгыг ашиглаж болно. Энэхүү судалгаанд бид р-утгыг Бреуш-Паганы (Breuch Pagant test) шалгуурын хүрээнд сонгосон ба хэрэв $p \leq 0.05$ байвал үлдэгдлийн хэлбэлзэл жигд биш (heteroscedasticity) байна.

Дэвшүүлсэн олон хувьсагчтай загвараас гарсан үр дүн болон аллометрийн (1-3) тэгшитгэлээр тооцсон Сибирь шинэс (*L. sibirica*) модны газрын дээд биомассын ажиглалтын дүнтэй харьцуулж загварыг баталгаажуулав. Бид дэвшүүлсэн загвар $\hat{Y} = \alpha D^{\beta} H^{\gamma} M^{\delta}$ болон аллометрийн 1-3 тэгшитгэлээр тооцсон утгуудад регрессийн шинжилгээг хийхэд тэгшитгэл $\hat{Y} = aD^b$ (1) болон $\hat{Y} = aD^2H^c$ (3) тэгшитгэлийн детерминацийн коэффициент $R^2=0.90$, харин $\hat{Y} = a(D^2H)^b$ (2) тэгшитгэлийн хувьд $R^2=0.92$ байв. Дэвшүүлсэн загвараас гарсан үр дүн болон аллометрийн тэгшитгэл 2-оор тооцсон навч, мөчир болон нийт биомассын хооронд хамааралгүй байна. Судалгаанд үнэмлэхүй дундаж алдаа (MAE), дундаж квадрат алдаа (RMSE), болон детерминацийн коэффициент (R2) зэрэг алдааны статистикуудыг ашиглан дэвшүүлсэн загвар болон ажиглалтын үр дүнгүүдийг харьцууллаа. Мөн статистик магадлалыг шалгах зорилготой хосолсон р-тест болох Бреуш-Паганы (Breuch Pagant test) шалгуураар шалгав. Квадрат дундаж алдаа (RMSE) нь загвар ашиглан таамагласан утга болон тооцоологдсон бодит ажиглалтын утгын зөрүүний хэмжүүр, харин дундаж квадрат алдаа нь загвар болон загварчилж байгаа үзэгдлийн зорилгоос хамаарсан үнэн зөв болон хүлээн зөвшөөрөгдсөн утгыг хэмжих чухал арга юм.

Хүснэгт 2. Сибирь шинэс (*L. sibirica*) модны хувьд боловсруулсан олон хувьсагчтай загварын коэффициентууд.

Төрөл	α	β	γ	δ	Томьёо
Сибир шинэс	0.18	1.74	1.05	0.25	$\hat{Y} = 0.18D^{1.74}H^{1.05}M^{0.25}$

Хүснэгт 3. Биомассын аллометрийн загварын үнэмшлийн үзүүлэлт

	Биомасс томьёо	MAE	RMSE	R ²
Иш	$\hat{Y} = aD^b$	0.1	0.36	0.99
	$\hat{Y} = a(D^2H)^b$	0.07	0.08	0.92
	$\hat{Y} = aD^2H^c$	0.05	0.06	0.93
Навч	$\hat{Y} = aD^b$	0.11	0.11	0.99
	$\hat{Y} = a(D^2H)^b$	1.13	3.46	-202
	$\hat{Y} = aD^2H^c$	0.11	0.11	1
Мөчир	$\hat{Y} = aD^b$	0.11	0.11	0.99
	$\hat{Y} = a(D^2H)^b$	1.62	5.35	-488
	$\hat{Y} = aD^2H^c$	0.11	0.11	1
Нийт Биомасс	$\hat{Y} = aD^b$	0.1	0.10	0.99
	$\hat{Y} = a(D^2H)^b$	0.18	0.33	-0.79
	$\hat{Y} = aD^2H^c$	0.09	0.09	0.99

(MAE-Үнэмлэхүй дундаж алдаа, RMSE -Дундаж квадрат алдаа, R² -Детерминацийн коэффициент).

4. ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Монгол орны ой нь эмзэг, бүтээмж болон өсөлт багатай, экологийн тэнцвэрт байдлаа амархан алддаг. Үүний гол хүчин зүйл нь хүний болон байгалийн хүчин зүйлсийн хавсарсан нөлөөлөл байдаг. Энэ нь ойн зохисгүй менежменттэй нийлж ойн эмзэг байдлыг нэмэгдүүлдэг. Ойн нөөцийг зохистой ашиглах, экосистемийн тэнцвэрт байдлыг хангах, хүлэмжийн хийг бууруулахад ойн биомассын тооцоо, мэдээ чухал нөлөөтэй. Ойн биомассыг тодорхойлоход тухайн бүс, нутгийн нөхцөлд тохирсон модны зүйл бүрээр гаргасан биомассын тэгшитгэл боловсруулагдсан байх шаардлагатай.

Судалгааны үр дүнгээс харахад, олон хувьсагчтай загвар болох $\hat{Y} = \alpha D^\beta H^\gamma M^\delta$ тэгшитгэлийг ашиглан Сибирь шинэс (*L. sibirica*) модны газрын дээд биомассыг тодорхойлж болох нь харагдаж байна.

Дэвшүүлсэн загвар болон аллометрийн 1 ба 3 дугаар тэгшитгэлээр тооцсон биомассын загваруудын хамаарал харьцангуй сайн байна. Аллометрийн 2 дугаар тэгшитгэлээр тооцсон ишний биомасс дэвшүүлсэн загвартай өндөр хамааралтай байсан бол бусад навч, мөчир, нийт биомасс хоорондоо хамааралгүй байлаа. Хээрийн хэмжилт бүрд хөрсний чийгийг давхар хэмжих нь ажиллагаа өндөр, цаг хугацаа, хөрөнгө зарсан их ажил юм. Иймээс агаар, сансрын түвшнээс авсан мэдээн дээрээс хөрсний чийгийг тодорхойлох, ойн болон бэлчээрийн ургамлын биомассыг тодорхойлоход ашиглах аргагүйг боловсруулах шаардлага урган гарч байна.

Ер нь олон цаг хугацааны сансрын мэдээнүүд нь өнгөрсөн болон одоо, ирээдүйн цаг хугацааны таамаглалыг дэвшүүлэх, судалгаа шинжилгээ хийх өргөн боломж олгодог давуу талтай тул уг мэдээнүүдийг ашиглан ойн биомассын загварыг боловсруулах нь өнөө цагийн нөр их хөдөлмөрийг хөнгөвчлөхөөс гадна, ойн бусад параметруудийг таамаглан тооцоолоход чухал үүрэгтэй юм.

5. ДҮГНЭЛТ

Ойн биомассыг үнэлж гаргаснаар ойн нөөцийг үнэн, зөв тодорхойлох, зохистой ашиглах, нүүрстөрөгчийг тооцох, хүлэмжийн хийг бууруулахад нөлөө үзүүлэх, ой зохион байгуулалтын ажлыг өндөр түвшинд хийх зэрэг олон талын ач холбогдолтой юм. Энэхүү судалгааны хүрээнд, аллометрийн олон хувьсагчтай тэгшитгэлийг боловсруулан, улмаар Булган аймгийн Хангал сумын нутгийг загвар талбай болгон сонгон авч, Сибирь шинэс модны газрын дээд биомассыг загварчлан, үнэлж болохыг харуулсан. Ингэхдээ Сибирь шинэс модны газрын дээрх биомассыг тооцох олон хувьсагчтай тэгшитгэлийг боловсруулж, газрын дээд биомасс тодорхойлох тэгшитгэлийн $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ коэффициентуудыг тодорхойлов. Биомассын үнэлгээнд, диаметр (D), модны өндөр (H) зэрэг уламжлалт параметруудээс гадна, хөрсний чийг (M) гэсэн үзүүлэлтийг ашигласан нь судалгааны ажлын шинэлэг тал болно.

ТАЛАРХАЛ

Тус судалгааны ажлыг хийхэд туслалцаа үзүүлж зөвлөгөө өгсөн Сансар судлал ба зайнаас тандан судлал лабораторийн хамт олон болон МУИС-Хэрэглээний Шинжлэх Ухааны Сургуулийн багш, профессор Ц.Батчулуунд талархсанаа илэрхийлье.

АШИГЛАСАН НОМ, ХЭВЛЭЛ

- [1] L. Yingchang, L. Mingyang ба L. Zhenzhen , “Forest aboveground biomass estimation using Landsat 8 and Sentinel-1A data with machine learning algorithms,” *Scientific Reports*, б. 10, %1-ийн д.д9952, pp. 2-12, 2020. Available: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67024-3>
- [2] П. Хишигсүрэн , Ч. Бат-Өлзий, Э. Билгүүн ба . b. Johann, “Монгол улсын олон зорилтот үндэсний ойн тооллого 2014-2016,” Байгаль орчин аялал жуулчлалын яам, Улаанбаатар, 2016.
- [3] З. Нарангэрэл, Г. Нандинэрдэнэ, Л. . Д. Хавир, В. Симонсон, М. Гут ба Х. Шарлот , Монгол улсад REDD+ - ээс хүртэх олон талт үр ашгийг судлахад орон зайн дүн шинжилгээг ашиглах нь, Улаанбаатар: Ус цаг уур, орчны судалгаа мэдээллийн хүрээлэн (УЦУОСМХ), НҮБ-ын Байгаль орчны газрын Дэлхийн Байгаль хамгаалах мониторингийн төв (ДБХМТ) ба Монгол орны UN-REDD Үндэсний хөтөлбөр хэрэгжүүлэх нэгжийн хамтарсан тайлан, 2017.
- [4] Ч. Доржсүрэн, Н. Долгор, З. Цогт, М. Ундармаа, Б. Алтанзагас, Ө. Балжинням ба Б. Алтансүх, “Монгол орны зүүн хойт хангайн лавр навчитулиасны (*Populus laurifolia* ldb.) газрын дээрх биомассыг тодорхойлох аллометрийн тэгшитгэл,” *Эрдэм шинжилгээний бүтээл*, pp. 140-150, 2018.
- [5] K. Trumper, M. Bertzky , B. Dickson ба H. . d. van, The natural fix? The role of ecosystems in climate mitigation, Cambridge, UK: A UNEP rapid response as-sessment. United Nations Environment Programme, UNEP-WCMC,, 2009.
- [6] L. Liu, L. Gudmundsson, M. Hauser, D. Qin, S. Li ба S. I. Seneviratne, “Soil moisture dominates dryness stress on ecosystem production globally,” б. 11, %1-ийн д.д4892, pp. 1-9, 2020. Available: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18631-1>
- [7] S. Unninayar ба L. M. Olsen, “Monitoring, Observations, and Remote Sensing – Global Dimensions,” *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, pp. 2425-2446, 2015. Available: <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00749-7>
- [8] Ч. Доржсүрэн, Ч. Дугаржав, З. Цогт, Цэдэндаш Г ба Г. Чулуун, Монгол орны ойн таксацын лавлах, Улаанбаатар: Шинжлэх ухааны академи Ботаникийн хүрээлэн, 2012.
- [9] Ц. Хонгор, З. Цогт ба Л. Чинсү, “Монгол орны зүүн Хэнтэйн шинэс, хус болон шинэс хусан ойн газрын дээд хэсгийн фитомасс, нүүрстөрөгчийн хэмжээ,” *Монгол орны геоэкологийн асуудал*, pp. 133-140, 2012.
- [10] B. Purevragchaa , T. Jamsran , D. Choimaa ба H. Markus, “Equations for estimating the above-ground biomass of *Larix sibirica* in the forest-steppe of Mongolia,” *Journal of Forestry Research*, б. 24, %1-ийн д.д3, pp. 431-437, 2013. Available: <https://doi.org/10.1007/s11676-013-0375-4>
- [11] D. Choimaa, K. Michael , D. Jan, K. Mookhor, C. Tselmeg , B.-e. Banzragch, Y. Yolk , S. Davaadorj , G. Kherlenchimeg, T. Jamsran , L. Christoph ба H. Markus, “Carbon pool densities and a first estimate of the total carbon pool in the Mongolian forest-steppe,” *Global Change Biology* , %1-ийн д.д2, p. 830–844, 2016. Available: <https://doi.org/10.1111/gcb.13127>
- [12] T. Majig , . A. Batbaatar , G. Sukhbaatar ба D. Chimidnyam , “Tree-Level Above-Ground Biomass Equations for *Pinus sylvestris* L. in Mongolia,” *Mongolian Journal of Biological Sciences*, б. 18(1), pp. 13-

21, 2020. Available: <https://doi.org/10.1111/gcb.13127>

- [13] A. Batbaatar, L. Yongkai , A. Batbaatar , D. Chimidnyam, F. Jingyun ба Н. Huifeng , “Allometric Equations for Estimating the Above-Ground Biomass of Five Forest Tree Species in Khangai, Mongolia,” б. 10, %1-ийн д.д8, pp. 1-17, 2019. Available: <https://doi.org/10.3390/f10080661>
- [14] Э. В. Цэрэндэжид Л, “Сибирь шинэс (*larix sibirica ledeb*)-ний бичил ургамлыг гаргах, бойжуулахад өсөлт in vitro орчинд идэвхжүүлэгчийн нөлөө,” *ХАА-н шинжлэх ухаан сэтгүүл*, б. 26, %1-ийн д.д1, pp. 108-116, 2019.
- [15] Ойн салбар, “Газарзүй, Геоэкологийн хүрээлэн,” ШУА, 20 3 2022. [Холбогдсон]. Available: <https://igg.ac.mn/>.
- [16] G. L. Baskerville , “Use of Logarithmic Regression in the Estimation of Plant Biomass,” *Canadian Journal of Forest Research*, pp. 49-53, 1972. Available: <https://doi.org/10.1139/x72-009>
- [17] G. C. Packard , G. F. Birchard ба Т. J. Boardman, “Fitting statistical models in bivariate allometry,” *Biological Reviews*, б. 8, %1-ийн д.д3, pp. 549-563, 2011. Available: <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2010.00160.x>