



Research Paper

<https://doi.org/10.5564/pib.v38i1.2534>

PROCEEDINGS OF
PIB
THE INSTITUTE OF BIOLOGY

Identifying the habitat connectivity of Wapiti (*Cervus canadensis*) in Mongolia

Yunden ALTANBAGANA , Galsandorj NARANBAATAR* 

Laboratory of Mammalian Ecology, Institute of Biology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia

*Corresponding author: naranbaatar@mas.ac.mn, <https://orcid.org/0000-0003-2412-5011>

Abstract. Habitat loss and fragmentation are serious threats to biodiversity worldwide. In the different mountain ranges of Mongolia, we evaluated the habitat connectivity of Wapiti, aiming to provide insights for support to population conservation. By using Wapiti occurrence data and seven variables related to climatic, geographic, and anthropogenic factors (human disturbance index), we modeled the habitat suitability using the Maximum Entropy Model (MaxEnt). The corridor design model (Linkage Mapper) was used to identify and evaluate the linkages between core habitats. The MaxEnt models suggest that human disturbance and latitudinal effects associated with climatic variables played the most important and complex role in Wapiti spatial distribution. The ecological corridors of Wapiti were composed of 130 core habitats (CHs) and 386 linkages or least-cost paths (LCPs). The shortest LCPs connecting the core habitats were mapped in the Khentii and Khuvsgul mountain ranges, which was probably due to the higher habitat suitability. In contrast, the longest LCPs were in the Altai and Khangai mountain ranges, where CHs were more fragmented and had the lowest habitat suitability based on MaxEnt modeling. Our study suggests the priority areas for protecting Wapiti and the key locations where the wildlife road crossing structures or animal guidance measures are needed.

Keywords: core habitat, least-cost path, centrality, Wapiti

Received 9 October 2022; received in revised form 25 December 2022; accepted 27 December 2022

© 2022 Author(s). This is an open access article under the [CC BY-NC 4.0 license](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Introduction

In Mongolia, the Wapiti *Cervus canadensis* (formerly known as Red Deer *Cervus elaphus*) is widely distributed across Khuvsgul, Khangai, Khentii, and Altai mountain ranges [1], [2]. According to a 1986 government assessment, the population to consist of 130,000 individuals [3]. The Wapiti population estimation in 2004 showed that there were about 8,000-10,000 individuals, decreased by 77% in comparison to the study result done with a same method 20 years ago. [4]. Illegal hunting for traditional medicines is main threat to the Wapiti population. Human disturbance resulting from resource extraction (mining) and infrastructure development [5],

leading to further habitat fragmentation throughout their range.

The species is listed globally as “Least Concern” on the IUCN Red List. Red Deer is listed in the Law on Fauna as “rare”, which restricts hunting to “special” (or sport) purposes only [5]. Approximately 33% of the Wapiti range in Mongolia is covered by national protected areas.

For threatened and endangered species, the distribution of landscape characteristics can be used as a basis for understanding how animals move between resource patches [6], and identifying corridors and movements through them can provide an important tool for conservation planning at multiple spatial scales [7]. In this paper, using Wapiti occurrence data, we combine the

MaxEnt model, the least-cost corridor model, and circuit theory to aim at 1) what is the key factor affecting the spatial distribution; and 2) evaluating linkage features, including the importance of core habitats and linkages.

Study area

The study area spans an area of 789,291 km² that is covered two major geographical divisions, namely the Altai-Sayan and Khangai-Khentii mountainous region. The Altai-Sayan region is divided into the Altai and Khuvsgul mountain ranges, while the Khangai-Khentii mountainous region consists of two separate mountain ranges, the Khangai and Khentii (**Fig. 1**). The Altai Mountains is the highest and the longest which stretches across the western and southwestern regions of the country [8]. These ranges can be divided into 3 main regions a humid region with very cold summer; humid with cold summer; a semi-humid region with warm summers according to the Köppen cli-

mate classification [9], [10].

The entire region is inhabited by about 1,765,510 people (Western: 416,849; Khangai: 605,315; Central: 517,112 and Eastern: 226,234 people; National Statistical Office 2022). Based on information from National Statistical Office (2022), the number of herders has been increasing slightly since 2012 throughout the region. By 2021, there were about 66.9 million heads of livestock across the entire area (sheep 50.8%, goats 31.5%, horses 8.9%, cattle 8.8%, and camel 0.2%; **Fig. 2**).

Methods

Wapiti occurrence data and predictor variables

To produce better prediction maps for Wapiti distribution across study area we compiled Wapiti occurrence data from various sources such as BIOSAN database,

Table 1. Environmental and human associated variables used for habitat modeling of Wapiti

Name	Resolution	Source
Altitude	15 s (ca. 425 m), re-projected the data to Transverse Mercator (UTM zone 49 N)	NASA/JPL (2005); Lehner <i>et al.</i> (2008), cited from Heinar <i>et al.</i> [12]
Slope	DEM, ESRI ArcGIS Slope	The Nature Conservancy Mongolia Program, Heinar <i>et al.</i> [12]
Ruggedness	DEM, ESRI ArcGIS Vrm	Sappington <i>et al.</i> (2007) cited from Heinar <i>et al.</i> [12]
Human disturbance index	15 s (ca. 425 m), re-projected the data to Transverse Mercator (UTM zone 49 N)	The Nature Conservancy Mongolia Program, Heinar <i>et al.</i> [12]
Bioclimatic variables	15 s (ca. 425 m), re-projected the data to Transverse Mercator (UTM zone 49 N).	paleoclim.org (the period 1970–2013)

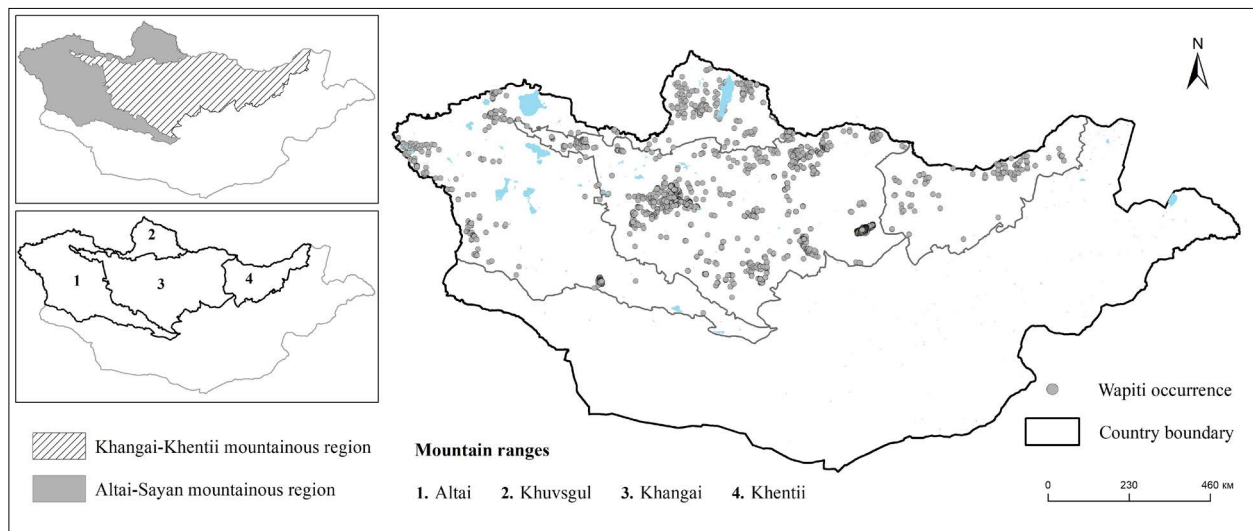


Fig. 1. Study area

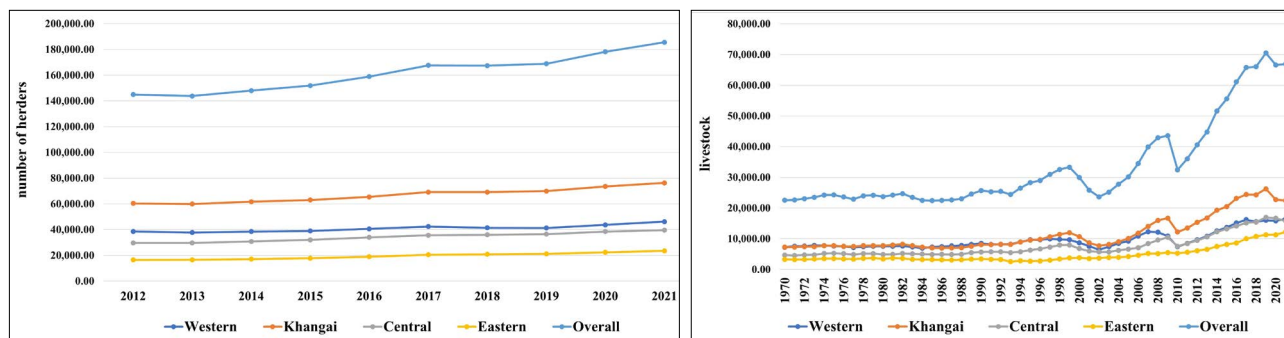


Fig. 2. Trends in herders and livestock numbers in entire studied region during 1970-2021.

and population assessments conducted at national and regional level between 2015 and 2021. A total of 2,536 locations for Mongolia was gathered and we applied the Maximum Entropy Modeling approaches (MaxEnt) to the data to model their distribution [11]. To minimize data redundancy and enhance spatial independence among Wapiti occurrences, 83 duplicated records were deleted. Finally, a total of 2,453 Wapiti occurrence points were used to construct the distribution model.

To model spatial distribution of Wapiti, we used 19 bioclimatic variables over the period during 1950–2013 (<http://www.paleoclim.org/>). In addition, elevation, slope, ruggedness, and human disturbance index layers with a 30 s (ca. 1 km) spatial resolution [12] were included in the model (**Table 1**). The latter four variables were re-projected same dimensions and resolutions with the bioclimatic variables using SDM toolbox in ArcGIS 10.6.

Modeling habitat suitability

We used the MaxEnt approaches to model the distribution of Wapiti [13]. To reduce multi-collinearity among the 19 bioclimatic variables, highly correlated variables ($r \geq 0.75$ Pearson correlation coefficient) were eliminated from further models [14]. This reduction of the predictor variables was resulted in the inclusion of three variables for the model development, including mean diurnal temperature range (Bio2), isothermality (BIO2/BIO7) ($\times 100$), and precipitation seasonality (Bio15). We run ENMEvaluate (part of the ENMEval package in R) to find a model with the lowest delta for the model setting to run MaxEnt. In our models, we selected 75% data for model training and 25% for model testing [15], keeping other values as default. We used a cross-validation method with 10 model

folds due to the sample size being more than 50 points. The area under the receiver-operating characteristic curve (AUC) was examined for additional precision analyses, in which the values ranged from 0.5 (for random probability) to 1 (for perfectly predicting presence), and the jackknife test was used to assess the relative importance of the variables. For display and further analysis, we imported the results of the MaxEnt models predicting the presence of the target species (0–1 range) into ArcGIS 10.6. To compare values of habitat suitability between CHs and LCPs natural breakpoint method was used to divide the habitat suitability index into five grades (**Fig. 3**): low (0–0.2), medium-low (0.2–0.5), medium (0.5–0.7), medium-high (0.7–0.8), and high (0.8–1).

Mapping habitat connectivity and corridors

To map existing connectivity between core habitats (CHs) in the landscape, we used recently developed tools integrating least-cost paths (LCPs) approaches with circuit theory. We used the program Linkage Mapper [16] to map corridors and LCPs between pairs of adjacent CHs. The linkage mapper identifies adjacent core areas, creates a network of core areas using adjacency and distance data, calculates cost-weighted distances (CWD) and least-cost paths, and combines least-cost corridors into a single map.

Evaluating corridors and habitat connectivity

Importance analysis: Centrality metrics were calculated to identify the importance of individual CHs and LCPs to maintain connectivity in the landscape [16], [17]. The centrality metrics were calculated by Centrality Mapper, which used circuit theory by calling the program Circuitscape (version 4.0.5; <https://circuitscape.org/downloads/>).

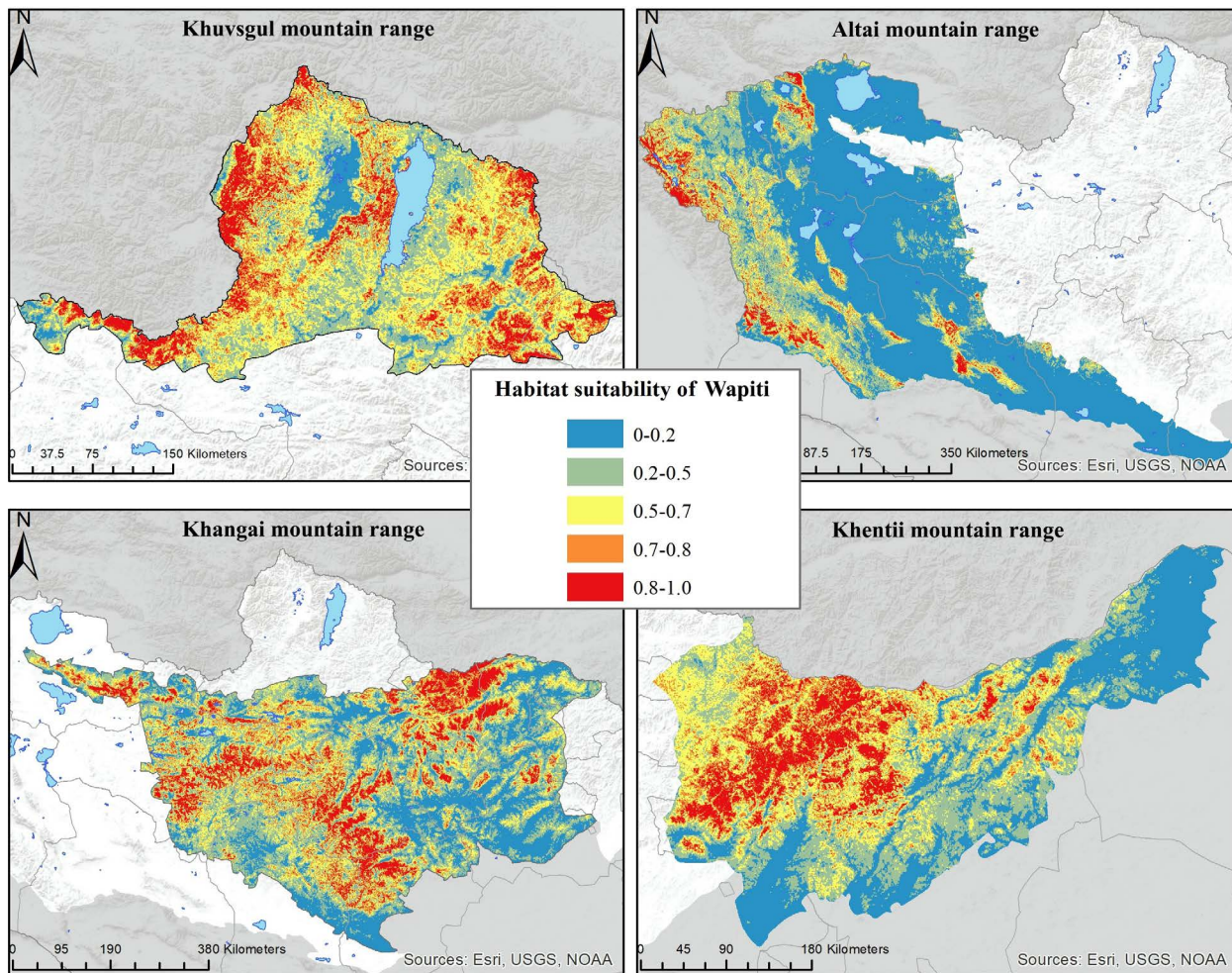


Fig. 3. Potential habitat suitability of Wapiti in Mongolia

Linkage quality: We used two metrics to describe the quality of each linkage, namely the ratio of cost-weighted distance to Euclidean distance (CWD: EucD) and the ratio of cost-weighted distance to the length of the least-cost path (CWD: LCP) [18, 19]. The first metric indicated how difficult it is to move between core habitats relative to how close they are. The second metric provided the average resistance encountered along the optimal path between core habitats.

Barrier Mapper quantifies the importance of “barriers” that affect the quality and/or location of the corridors. The term “barriers” is used in a general way and includes portions of a landscape that are difficult to pass through for wildlife but are not barriers in the formal sense of the term [20]. In essence, they identify areas for restoration and mitigation.

Results

The MaxEnt model identified 130 core habitats with a total area of 181,419 km², which represents about 22.9% of the entire study area. An average size of CHs was 1,664 km² (SD = 6,614). There is a considerable variation in their area, the largest being identified in Khentii mountain ranges (50,225 km²), followed by CHs in the Khangai mountain (34,256 km²; **Fig. 3**).

According to the classification of centrality values for core habitats, the Khangai-Khentii mountainous region contain the largest top-ranked CHs (118,595 km² or 76.6%), followed by the Altai-Sayan Mountain ranges (11,700 km² or 14.5%). The result shows that primary ranges of the Khangai-Khentii mountainous region and the western parts of the Khuvsgul mountain ranges are es-

sential to keep the landscape connectivity (**Fig. 4, Table 2**).

The corresponding centrality flows of the LCPs illustrate the importance of the central regions in Mongolia.

The linkage metrics varied among the mountain ranges (**Table 3**). The lowest ratio of CWD: to EucD (Mean \pm SD = 89.3 ± 33.5) had in Khuvsgul (indicating the highest quality of core habitats), and the highest in Khangai (overall mean: 180.4; SD: 28.8). In Khuvsgul, the ratio of CWD: to LCP (overall mean: 66.1, SD: 18.6) was lower, indicating low resistance to Wapiti movement along the path, and the highest (indicating high resistance along the path) in Khentii (**Fig. 5, Table 3**).

Factors affecting the habitat connectivity and occurrence of Wapiti

One-way ANOVA showed significant differences in the Wapiti occurrence ($F = 5.76$, $P = 0.0002$), slope and human disturbance index also differed among the

mountain ranges. The overall potential habitat and LCPs length are greater in the Khangai mountain ranges than in other mountain ranges. The potential area and LCPs of Wapiti differed not only in the gradient of habitat suitability but as well as in various mountainous ranges. The most of studied mountain ranges (491,744 km² or 63.3%) includes the I and II gradients and 285,083 km² (36.7%) in the between III and V gradients. However, only 16.6% of the potential habitat of Wapiti include in the highest and higher (medium-high) suitability class, but most LCPs (54.2% of overall length LCPs) occurs there (**Table 4**).

The ratio length of LCPs compared to habitat suitability gradients reveals that the length of LCPs (3,947 km² or 43.8%) is highest in the Khangai, and the lowest (only 1.7 km² or 0.02%) in the Khentii mountain ranges. The area of habitat suitability showed a decreasing trend with the increase in altitude; the highest habitat

Table 2. Current centrality for the CHs of Wapiti. The CHs are ranked

Importance	CF_Central value	Number	Mean \pm SD	95%CI	Size of CHs, sq.km / percent
Khangai-Khentii mountain ranges					
1	478 – 842	3	526 \pm 25.3	508.8 – 555.1	118,595 / 76.6%
2	320 – 477	1	362.8 \pm 0.0	–	11,219 / 7.2%
3	215 – 319	3	273.6 \pm 27.1	255.9 – 304.8	5,198 / 3.4%
4	138 – 214	14	162.1 \pm 20.6	141.2 – 213.9	11,614 / 7.5%
5	64 – 137	26	96.1 \pm 19.7	64.3 – 133.2	8,147 / 5.3%
Altai Sayan mountain ranges					
1	478 – 842	5	631.5 \pm 169.0	495.6 – 842.2	11,701 / 43.9%
2	320 – 477	15	390.1 \pm 52.3	328.9 – 477.3	6,865 / 25.8%
3	215 – 319	14	265.0 \pm 29.5	222.2 – 318.6	2,642 / 9.9%
4	138 – 214	23	184.6 \pm 18.1	151.9 – 212.5	4,762 / 17.9%
5	64 – 137	26	96.1 \pm 19.7	64.3 – 133.2	676 / 2.5%
Total		130			181,419

Table 3. Characteristics of the linkages between the core habitats

Mountain ranges	Linkage	LCP/km	EucD/km	CWD/km	CWD: EucD	CWD:LCP	Centrality
Khuvsgul	73	52 \pm 63	38.3 \pm 47.0	3,390.5 \pm 4,052.6	89.3 \pm 33.5	66.1 \pm 18.6	84.7 \pm 68.7
Altai	180	106.3 \pm 147.5	71.4 \pm 90.1	7227.9 \pm 9,928.1	92.6 \pm 35.7	67.0 \pm 26.2	87.3 \pm 58.3
Khangai	107	71.1 \pm 124.7	50.1 \pm 79.3	5583.1 \pm 6,990.7	132.1 \pm 54.2	101.3 \pm 50.9	65.5 \pm 52.8
Khentii	26	26.8 \pm 25.0	24.0 \pm 23.0	4340.0 \pm 4,218.3	180.4 \pm 28.8	158.6 \pm 31.9	45.5 \pm 34.5

Table 4. Potential area and LCPs of Wapiti in a different gradient of habitat suitability obtained from MaxEnt

Variables	Altai	Khangai	Khuvsgul	Khentii
Human disturbance	4.5 ± 1.8	3.3 ± 1.1	4.1 ± 1.9	3.9 ± 1.5
Altitude	2,353 ± 200	1,705 ± 292	1,903 ± 367	1,217 ± 300
Slope	6.9 ± 3.4	5.6 ± 2.5	7.3 ± 5.7	4.1 ± 2.9
Total area, km²	267,175	328,812	69,855	110,984
Low (I)	168,067	79,145	4,854	31,501
Medium-low (II)	54,871	104,772	18,420	30,112
Medium (III)	26,812	70,765	24,985	25,290
Medium-High (IV)	9,468	38,389	13,259	12,955
High (V)	7,957	35,738	8,335	11,125
Overall LCPs, km	10,310	9,404	6,178	697.8
Low (I)	869	442.1	42.8	207.0
Medium-low (II)	1,607	1,562	417.2	385.8
Medium (III)	2,725	1,789	2,047	94.9
Medium-High (IV)	2,121	1,662	1,596	8.4
High (V)	2,988	3,947	2,075	1.7

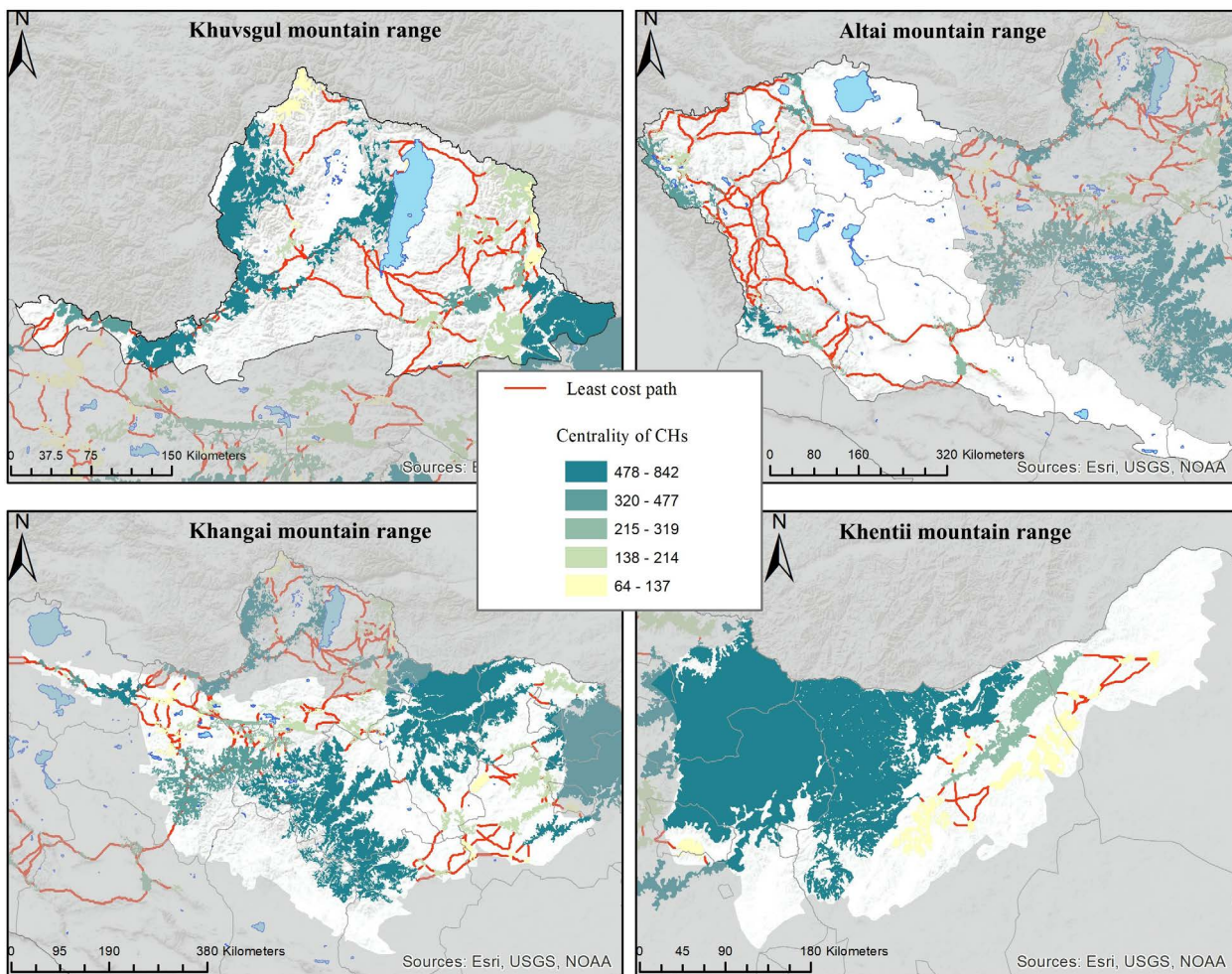


Fig. 4. Current centrality for the Wapiti CHs

suitability mostly occurred in the gentle slope zone. Generally, we may conclude that with the moderate terrain and altitude, the changing area of habitat suitability showed an increasing trend (Table 4).

Discussion

We used Wapiti occurrence data to guarantee that the MaxEnt model would provide correct predictions. In total, 2453 occurrence points were large enough to meet the statistical requirement and match with the environmental variables at a spatiotemporal scale [21], [22]. Tian *et al.* [23] concluded that the difference in temperature and precipitation along altitudes, the different light intensity at different aspects, and the different slope gradients may cause uneven spatial distribution of wildlife. Our results reveal that climatic and human-induced factors were more important for the spatial distribution and connectedness of Wapiti than geographic drivers in Mongolia. Further-

more, a combination of climatic associated with different geographical locations might be slightly significant for the presence of Wapiti. The Wapiti is a habitat generalist, the precipitation and temperature regime may have a significant impact on the wide distribution of Wapiti in Mongolia, according to the results by Vollstädt *et al.* [24], climatic variables had indirect effects on the wildlife population, mediated by the vegetation community. Like animals, plant communities require certain climate conditions, therefore they could affect a direct impact on the spatial distribution of Wapiti.

Habitat fragmentation is the second major impact of human activities [25], [26]. Increasingly land use with changes in human activities in recent years might be the main reason for reducing the effective area of habitat, and the status of connectivity within and between habitats [27].

Our result supports that in areas with a lower human disturbance index increasing trend not only the probability of occurrence but also the size of CHs and linkages. The

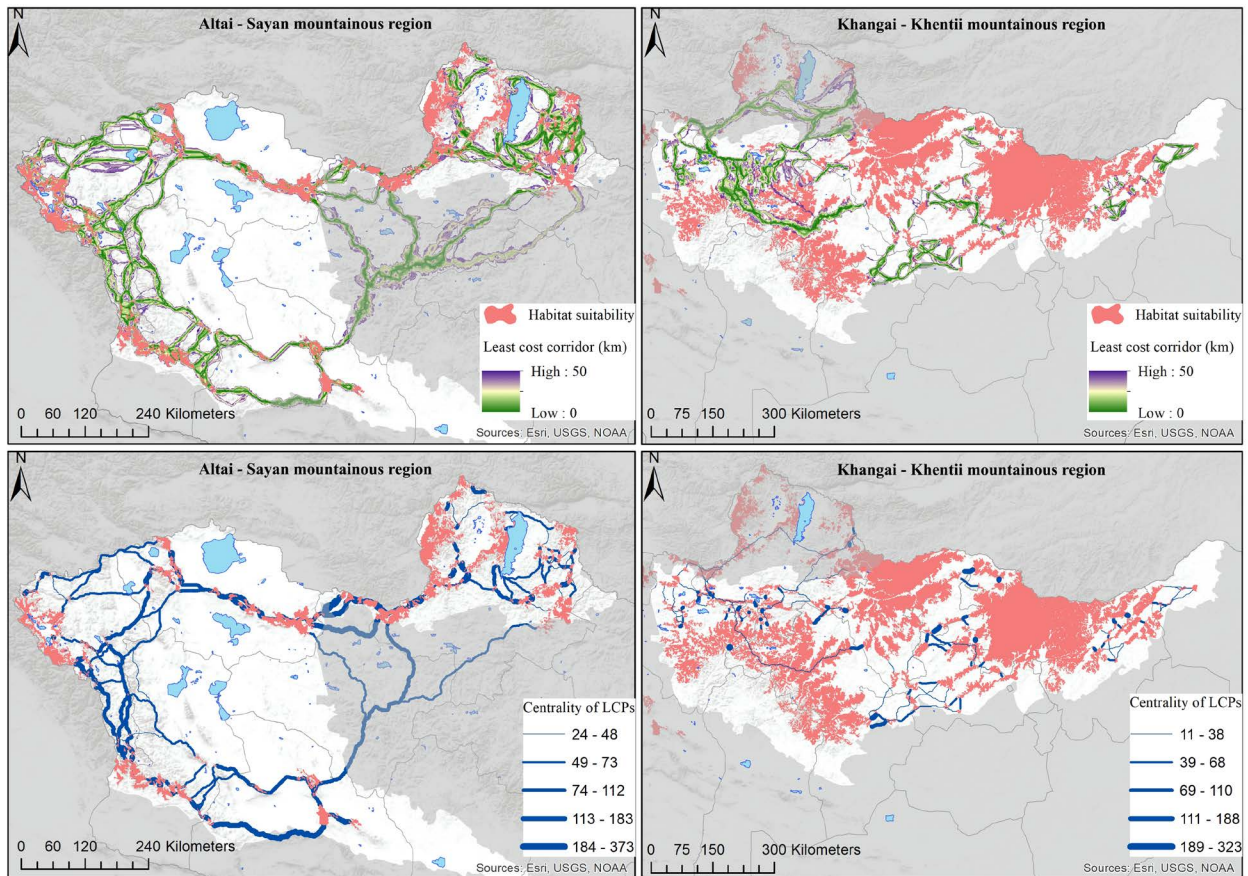


Fig. 5. The ecological corridors for Wapiti (upper) and the centrality values

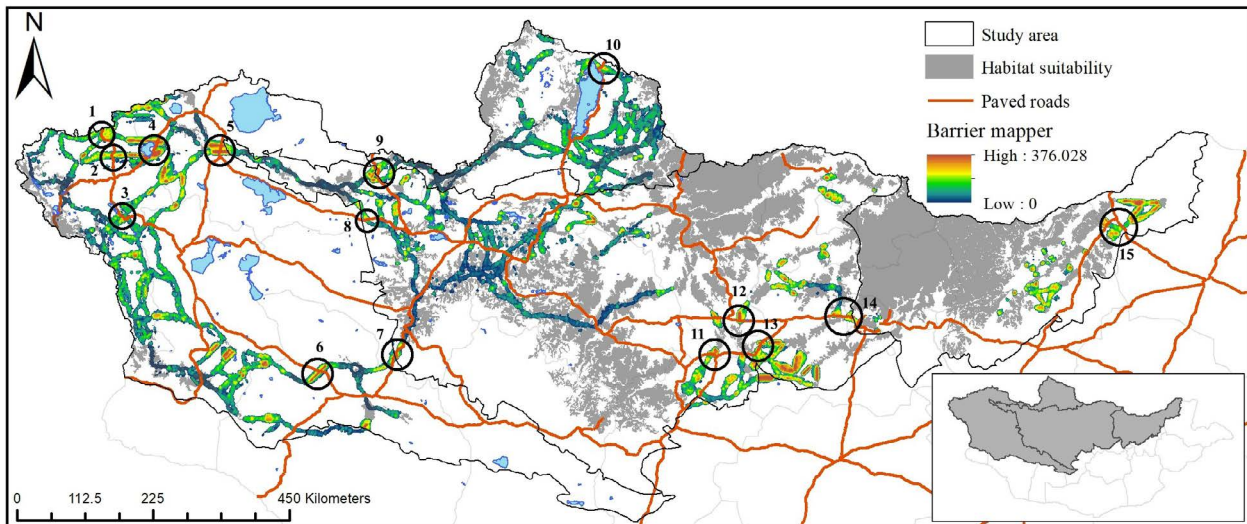


Fig. 6. Barriers for the linkages between CHs identified by Barrier Mapper analyses

most-suitable habitats first must be selected based on the potential core habitats and habitat suitability of Wapiti to provide a reference for protection priority management. Understanding factors influencing the degree of connectivity in landscapes is critical to implementing successful management of species and communities [28].

Most barriers to the linkages between CHs were identified throughout the northwestern part of Mongolia (**Fig. 6**). Spatial distribution of the barriers mostly due to the major paved, and improved dirt roads for transportation that connect provincial centers, mines, and border crossings were evident. This is particularly true for the paved and improved dirt roads between Uliastai – Ulaan-gom (See Fig. 6; 8), Altai – Ulgii (6), Erdenesant – Arvaikheer (12), Norovlin – Bayan-Uul (15), and Tsagaan Nuur – Ulaan Baishint (1 and 2); Khatgal – Khankh (10) and Bayantes – Artssuuri (9) border crossings (**Fig. 6**). Additionally, our study aims to identify the linkages of Wapiti and reveal the relationship between linkages and the major road with high traffic volume, suggesting that wildlife road-crossing structures and guiding measures should be constructed to facilitate animal migration and dispersal.

Conclusion

Combining the MaxEnt model and the least-cost model with circuit theory, we identified an ecological corridor, which includes 130 CHs and 386 LCPs, for

Wapiti in Mongolia. We used 2,453 Wapiti occurrences and seven variables grouped into three types of factors, namely climatic, geographic, and human disturbance factors, to ensure that the simulation results would be reliable. Among the three factors, human disturbance has the greatest influence on habitat connectivity or length of LCPs. The area of habitat suitability showed a decreasing trend with the increase in altitude; a majority of the highest habitat suitability occurred in the gentle slope zone. As we summarized, in areas with moderate terrain and altitude, the changing area of habitat suitability showed an increasing trend. Mitigation actions should be required to increase habitat permeability and facilitate movements, where core habitats and linkages intersect or overlap with existing linear infrastructures.

Acknowledgments

Sincere gratitude goes out to the Protected Areas Management Department of the Ministry of Environment and Tourism as well as the WWF Mongolia for taking the initiative to establish the Biosan database for the monitoring of biological diversity in protected areas and for providing management and organization. We are appreciative of all the conservationists and experts who worked in the protected areas and took part in the monitoring research to develop the fundamental knowledge about the range and habitat of the Mongolian Wapiti.

As part of the commissioned work "Determining the range, resources, appropriate use of Wapiti, and determining their conservation status (ShuUz 2019/09 (IIIyYз 2019/09))" funded by the Mongolian Foundation for Science and Technology, we would like to thank the scientists and researchers of the Department of Biology of the National University of Mongolia who lead the work of updating the information related to the distribution, habitat, and population of the Wapiti in Mongolia.

References

- [1] A. G. Bannikov, "Mammals of the People's Republic of Mongolia (V. G. Heptner, ed.)," 1954.
- [2] N. Batsaikhan, S. Shar, D. Lkhagvasuren, S. R. B. King, and R. Samiya, *A field guide to the mammals of Mongolia*, 3 ed. 2022.
- [3] S. Dulamtseren, "Ungulate ecology and hunting value in Hentii and Hangai Mountain Range. In: *Mammals of Mongolia*," p. 160, 1989.
- [4] J. Wingard *et al.*, "Silent steppe: the illegal wild life trade crisis," Zoological Society of London, Washington D.C, 2006.
- [5] E. L. Clark *et al.*, "Mongolian red list of mammals," vol. 1, 2006. [Online]. Available: <https://www.nationalredlist.org/files/2012/08/Mongolia-Red-List-of-Mammals-2006-Mongolian-.pdf>.
- [6] J. A. Wiens, N. C. Stenseth, B. V. Horne, and R. A. Ims, "Ecological Mechanisms and Landscape Ecology," *Oikos*, vol. 66, no. 3, p. 369, 1993, <https://doi.org/10.2307/3544931>.
- [7] K. R. Crooks and M. A. Sanjayan, "Connectivity Conservation: Maintaining Connections for Nature," pp. 1-20, 2006.
- [8] A. M. Savada and R. L. Worden, *Mongolia: a country study*, 2 ed. Washington, D.C: Federal Research Division, 1991, p. 320.
- [9] H. E. Beck, N. E. Zimmermann, T. R. McVicar, N. Vergopolan, A. Berg, and E. F. Wood, "Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution," *Sci Data*, vol. 5, no. 180214, 2018, <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>.
- [10] M. Kottek, J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel, "World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated," *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 15, no. 3, pp. 259-263, 2006, <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>.
- [11] J. Elith, S. J. Phillips, T. Hastie, M. Dudik, Y. E. Chee, and C. J. Yates, "A statistical explanation of MaxEnt for ecologists," *Diversity and Distributions*, vol. 17, pp. 43-57, 2011.
- [12] M. Heiner *et al.*, "Modeling habitat connectivity of a nomadic migrant facing rapid infrastructure development: Khulan habitat connectivity in the Southeast Gobi Region, Mongolia," *The Nature Conservancy*, Ulaanbaatar, 2016.
- [13] S. J. Phillips, R. P. Anderson, and R. E. Schapire, "Maximum entropy modeling of species geographic distributions," *Ecological Modelling*, vol. 190, no. 3-4, pp. 231-259, 2006, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- [14] M. H. Graham, "Confronting multicollinearity in ecological multiple regression," *Ecology*, vol. 84, no. 11, pp. 2809-2815, 2003, <https://doi.org/10.1890/02-3114>
- [15] S. J. Phillips, "Transferability, sample selection bias and background data in presence-only modelling: a response to Peterson *et al.* (2007)," *Ecography*, vol. 31, no. 2, pp. 272-278, 2008, <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5378.x>
- [16] B. H. McRae and D. M. Kavanagh, "Linkage mapper user guide," 2011. [Online]. Available: <http://www.circuitscape.org>.
- [17] C. Carrol, B. McRae, and A. Brooks, "Use of Linkage Mapping and Centrality Analysis Across Habitat Gradients to Conserve Connectivity of Gray Wolf Populations in Western North America," *Conservation Biology*, vol. 26, pp. 78-87, 2012, <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01753.x>.
- [18] T. Dutta, S. Sharma, B. McRae, P. S. Roy, and R. DeFries, "Connecting the dots: mapping habitat connectivity for tigers in central India," *Regional Environmental Change*, vol. 16, no. S1, pp. 53-67, 2016, <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0877-z>.
- [19] C. Qiangqiang *et al.*, "Identification of potential ecological corridors for Marco Polo sheep in Taxkorgan Wildlife Nature Reserve, Xinjiang, China," *Biodiversity Science*, vol. 27, no. 2, pp. 186-199, 2019, <https://doi.org/10.17520/biods.2018264>.
- [20] B. H. McRae. *Barrier Mapper Connectivity Analysis Software*. [Online] Available: Available from <https://linkagemapper.org>
- [21] M. Heiner *et al.*, "Identifying Conservation Priorities in the Face of Future Development: Applying Development by Design in the Mongolian Gobi," *The Nature Conservancy*, Ulaanbaatar, 2017.
- [22] K. P. Burnham and D. R. Anderson, "Model Selection and

- Inference*," 1998, <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2917-7>.
- [23] C. Tian *et al.*, "Impacts of livestock grazing, topography and vegetation on distribution of wildlife in Wanglang National Nature Reserve, China," *Global Ecology and Conservation*, vol. 20, p. e00726, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00726>.
- [24] M. G. R. Vollstädt *et al.*, "Direct and indirect effects of climate, human disturbance and plant traits on avian functional diversity," *Global Ecology and Biogeography* vol. 26, no. 8, pp. 1-10, 2017, <https://doi.org/10.1111/geb.12606>.
- [25] R. M. Ewers and R. K. Didham, "Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation," *Biological Reviews*, vol. 81, no. 1, pp. 17-42, 2005, <https://doi.org/10.1017/S1464793105006949>.
- [26] A. Henrik., "Effects of Habitat Fragmentation on Birds and Mammals in Landscapes with Different Proportions of Suitable Habitat: A Review," *Oikos*, vol. 71, no. 3, p. 355, 12 1994, <https://doi.org/10.2307/3545823>.
- [27] M. Panahandeh, A. R. Yavari, E. Salehi, and B. Malek-mohammadi, "Analyses of habitat changes of Caspian red deer (*Cervus elaphus maral* Gray, 1850) based on temporal changes of effective area and functional connectivity – A case study of Lisar protected area," *Applied Ecology and Environmental Research*, vol. 14, no. 4, pp. 71-83, 2016, https://doi.org/10.15666/aecr/1404_071083.
- [28] Y. van der Hoek, B. Zuckerberg, and L. L. Manne, "Application of habitat thresholds in conservation: Considerations, limitations, and future directions," *Global Ecology and Conservation*, vol. 3, pp. 736-743, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.03.010>.



Монгол орны халиун буга (*Cervus canadensis*)-ын амьдрах орчны холбоос нутгийн судалгаа

Юндэн АЛТАНБАГАНА , Галсандорж НАРАНБААТАР* 

Шинжлэх ухааны академи, Биологийн хүрээлэн, Хөхтний экологийн лаборатори, Улаанбаатар, Монгол Улс

*Холбоо барих зохиогч: naranbaatar@mas.ac.mn, <https://orcid.org/0000-0003-2412-5011>

Хураангуй. Амьдрах орчны доройтол, хуваагдал нь дэлхийн биологийн олон янз байдалд ноцтой аюул учруулсаар байгаа билээ. Монгол орны өргөн тархацтай амьтны нэг болох Халиун бугын амьдрах орчны холбогдох байдлыг уулсын мужлалаар үнэлэн популяцийн хамгаалалд санал зөвлөмж өгөх зорилгоор энэхүү ажлыг хийж гүйцэтгэв. Халиун бугын тохиолдоц болон уур амьсгал, газарзүйн болон хүний нөлөөллийн индекс зэрэг 7 хувьсагч үзүүлэлтэд тулгуурлан Максент (MaxEnt - Maximum Entropy Model) ашиглан тохиромжит амьдрах орчныг загварчилж, цөм амьдрах орчны холбогдох байдлыг гаргахдаа Linkage Mapper программ хангамж ашиглав. Хүний нөлөөллийн индекс болон өргөргийн дагуу өөрчлөгдөн хувьсах уур амьсгалын үзүүлэлтүүд нь халиун бугын орон зайн байршилд чухал нөлөөтэй болохыг харуулж байна. Судалгаанд хамрагдсан бүс нутгийн хэмжээнд Халиун бугын 130 цөм амьдрах орчин (ЦАО), тэдгээрийг холбосон 386 боломжит холбоос нутаг (хамгийн бага өртөг бүхий зам) байна. Хэнтий болон Хөвсгөлийн уулсын мужлал дахь Халиун бугын холбоос нутгийн урт харьцангуй богино байгаа нь тус уулсын мужид амьдрах орчны тохиромжит байдал бусад нутгаас харьцангуй илүү байгааг илтгэн харуулна. Харин Алтай болон Хангайн уулархаг нутагт тохиромжит амьдрах орчны хэмжээ бага байхаас гадна цөм амьдрах орчин илүү тасархайтсан, илүү урт холбоос нутагтай болох нь загварчлалын үр дүнд тогтоогдов. Энэхүү судалгааны үр дүнд халиун бугын холбоос нутагтай огтлолцож буй шугаман дэд бүтэц бүхий нутгийг тодорхойлон гаргав.

Түлхүүр үгс: цөм амьдрах орчин, хамгийн бага өртөг бүхий зам, ач холбогдлын эрэмбэ, халиун буга

Хүлээн авсан 2022.10.09; хянан тохиолдуулсан 2022.12.25; зөвшөөрсөн 2022.12.27

© 2022 Зохиогчид. [CC BY-NC 4.0 лиценз](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Оршил

Халиун буга буюу *Cervus canadensis* (өмнөх нэршил нь *Cervus elaphus* гэх) нь манай орны Хөвсгөл, Хангай, Хэнтий болон Алтайн уулархаг бүс нутагт өргөн тархана [1], [2]. Монгол орны Халиун бугын тоо толгой 1980-аад оны дунд үед тоо толгой 130,000 [3] хүрч байсан бол ижил арга зүйгээр хийгдсэн судалгааны үр дүнгээр 2004 онд 8,000 – 10,000 болж 77%-иар буурчээ [4]. Дорно дахины уламжлалт анагаах ухаанд эд эрхтнийг ашиглах зорилгоор хууль бусаар агнах, уул уурхай, дэд бүтцийн хөгжил,

түүнийг дагасан бүтээн байгуулалт нь популяцид нөлөөлөх, амьдрах орчны хуваагдалд хүргэх үндсэн хүчин зүйл юм [5]. Халиун буга нь Дэлхийн байгаль хамгаалах холбооны (ДБХХ) зүйлийн ховордлыг үнэлэх ангиллаар олон улсад анхааралд өртөхөөргүй гэж үнэлэгдсэн, Монгол улсын Амьтны тухай хуульд “ховор” ангилалд багтах тусгай зориулалтаар олзворлодог амьтдын нэг юм [5]. Монгол орны Халиун бугын тархац нутгийн 33% нь улсын тусгай хамгаалалттай газар нутгийн сүлжээнд хамрагдсан.

Аливаа ховор болон ховордсон зүйлийн газарзүйн тархалт нь тухайн амьтны амьдрах орчны хоорондох

шилжилт хөдөлгөөний холбоос нутгийг тодорхойлох үндэс суурь болохоос [6] гадна ландшафтын олон түвшинд хамгааллын арга хэмжээг төлөвлөхөд чухал ач холбогдолтой юм [7].

Бид Халиун бугын тохиолдцын мэдээлэлд үндэслэн тохиромжит амьдрах орчин болон цахилгаан хэлхээний онолд суурилсан холбоос нутгийн загварчлалыг нэгтгэн: нэгдүгээрт) Халиун бугын орон зайн байршил нөлөөлөх хүчин зүйлсийг тодорхойлох; хоёрдугаарт) цөм амьдрах орчин, тэдгээрийн хоорондох холбоос нутгийг үнэлэхийг зорив.

Судалгаанд хамрагдсан нутаг

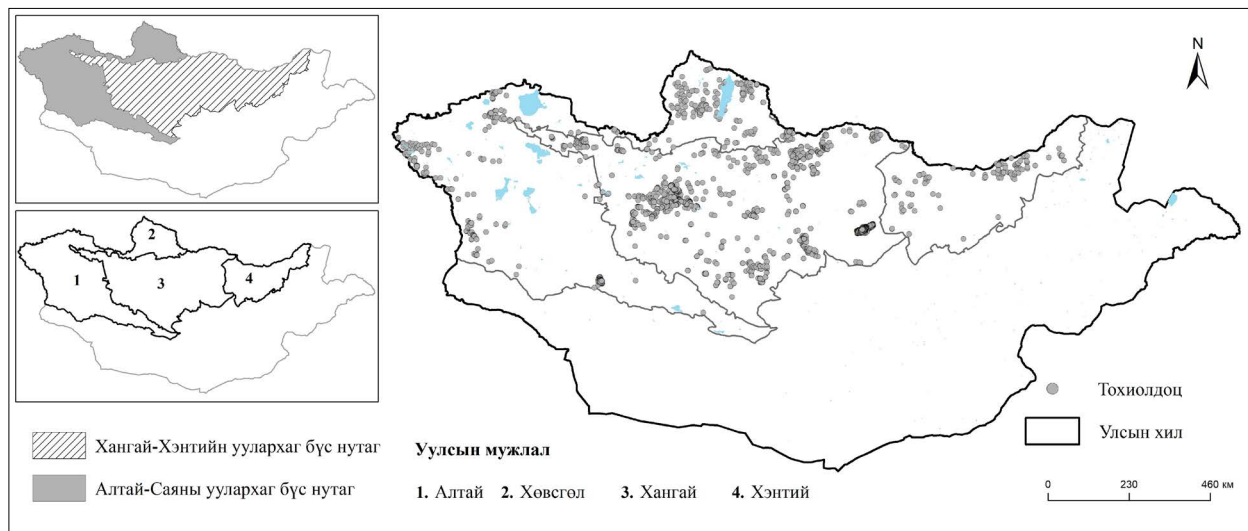
Судалгааны талбайн нийт хэмжээ нь 789,291 км² бөгөөд Алтай-Саян, Хангай-Хэнтийн гэх үндсэн 2

уулархаг бүс нутгийг хамарна. Алтай-Саяны бүс нутаг нь Алтайн болон Хөвсгөлийн уулсын; харин Хангай-Хэнтийн уулархаг их муж нь Хангайн болон Хэнтийн нуруу гэх дэд мужуудад хуваагдана (**1-р зураг**). Манай орны баруун болон баруун өмнөд хэсгээр сунан тогтсон Алтайн нуруу нь хамгийн өндөр, хамгийн урт үргэлжилсэн нуруунд тооцогдоно [8]. Судалгаанд хамрагдсан бүс нутгийг Коппенийн уур амьсгалын ангиллаар дулаан зунтай, хагас чийглэг; хүйтэн зунтай, чийглэг; маш хүйтэн зунтай, чийглэг гэх үндсэн 3 бүсэд хуваан үзэж болно [9], [10].

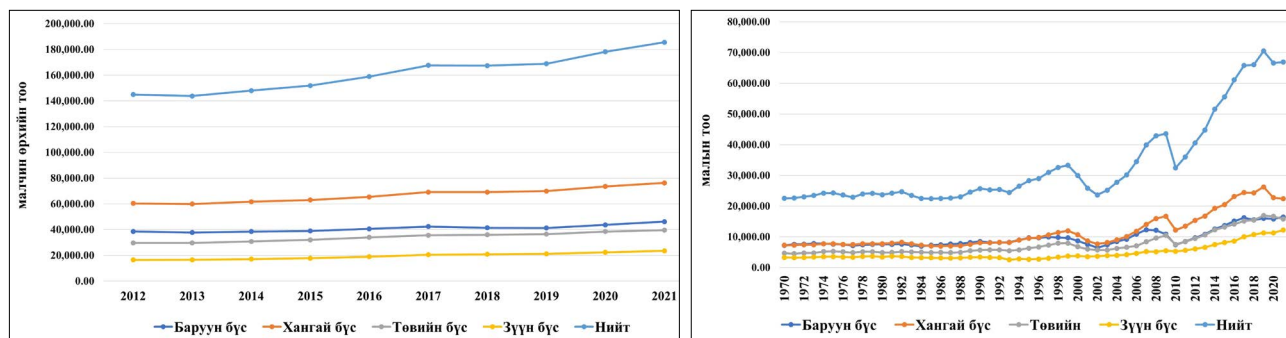
Судалгаанд хамрагдсан бүс нутаг нь 1,765,510 хүн амтай (үүнээс баруун бүс: 416,849; хангайн бүс: 605,315; төвийн бүс: 517,112; зүүн бүс: 226,234). Бүс нутгийн хэмжээнд малчдын тоо 2012 оноос хойш

1-р хүснэгт. Амьдрах орчны загварчлалд ашигласан хүрээлэн буй орчны хувьсагч

Нэр	Нарийвчлал	Эх сурвалж
Өндрийн тоон загвар (DEM)	15 арк-секундийн нарийвчлалтай SRTM-ийн орон зайн мэдээтэй тохирох 425м-ийн нарийвчлалтай, UTM 48N тусгагтай.	NASA/JPL (2005); Lehner <i>et al.</i> (2008), нарын бүтээлийг Heinar <i>et al.</i> [12]
Налуу	DEM, ESRI ArcGIS Slope-ээс үүсгэсэн	The Nature Conservancy Mongolia Program, Heinar <i>et al.</i> [12]
Гадаргын атираат хэлбэршил	DEM-ээс үүсгэсэн	Sappington <i>et al.</i> (2007) нарын бүтээлийг Heinar <i>et al.</i> [12]
Хүний нөлөөллийн индекс	15 арк-секундийн нарийвчлалтай SRTM-ийн орон зайн мэдээтэй тохирох 425м-ийн нарийвчлалтай, UTM 48N тусгагтай.	The Nature Conservancy Mongolia Program, Heinar <i>et al.</i> [12]
Био 19 уур амьсгалын үзүүлэлт	15 арк-секундийн нарийвчлалтай SRTM-ийн орон зайн мэдээтэй тохирох 425м-ийн нарийвчлалтай, UTM 48N тусгагтай.	paleoclim.org (Одоогийн уур амьсгалын Био 19 хувьсагч (Bioclimatic variables) нь 1970-2013 оны хоорондох дундаж утгаар илэрхийлэгдэнэ.)



1-р зураг. Судалгаанд хамрагдсан нутаг



2-р зураг. Судалгаанд хамрагдсан бүс нутгийн малчин өрх, малын тоо толгой

өссөн байх ба 2021 онд 66,9 сая толгой мал (хонь 50.8%, ямаа 31.5%, адуу 8.9%, үхэр 8.8%, тэмээ 0.2%) тоологджээ (2-р зураг; Үндэсний статистикийн газар, 2022).

Арга зүй

Халиун бугын тохиолдоц, боловсруулалтанд ашигласан хүрээлэн буй орчны хувьсагчид

Халиун бугын боломжит амьдрах орчны загварчлах зорилгоор “Биосан” мэдээллийн сан, үндэсний болон бүс нутгийн хэмжээнд хийгдсэн тооллогын үр дүнгээс шүүлт хийн 2015–2021 онд хамаарах 2,536 мэдээллийг нэгтгэв. Цэгэн мэдээллийн давхцалыг багасгах, мэдээллийн чанарыг сайжруулах зорилгоор 83 давхардсан цэгэн мэдээллийг боловсруулалтаас хасаж, нийт 2,453 Халиун бугын тохиолдцын мэдээг ArcGIS 10.6 хувилбарын тусламжтайгаар MaxEnt программд оруулан тохиромжит амьдрах орчныг загварчлахад ашигласан [11].

Халиун бугын тархалтыг тодорхойлох хүрээлэн буй орчны хүчин зүйлийг сонгохын тулд 1950–2013 оны хооронд хамаарах 19 хувьсагч үзүүлэлт бүхий 1 км² нарийвчлалтай уур амьсгалын мэдээ буюу Био-19 давхаргыг (<http://www.paleoclim.org/>) ашигласнаас гадна өндөршил, налуу, газрын гадаргын атираажилт болон хүний нөлөөллийн индекс [12] гэсэн дөрвөн үзүүлэлтийг нэмэлт шүүлтүүр болгосон (1-р хүснэгт). Эдгээр давхаргуудыг ArcGIS 10.6 программын SDM хэрэглүүрийг ашиглан ижил хэмжээ болон нарийвчлалтай болгон хувиргав.

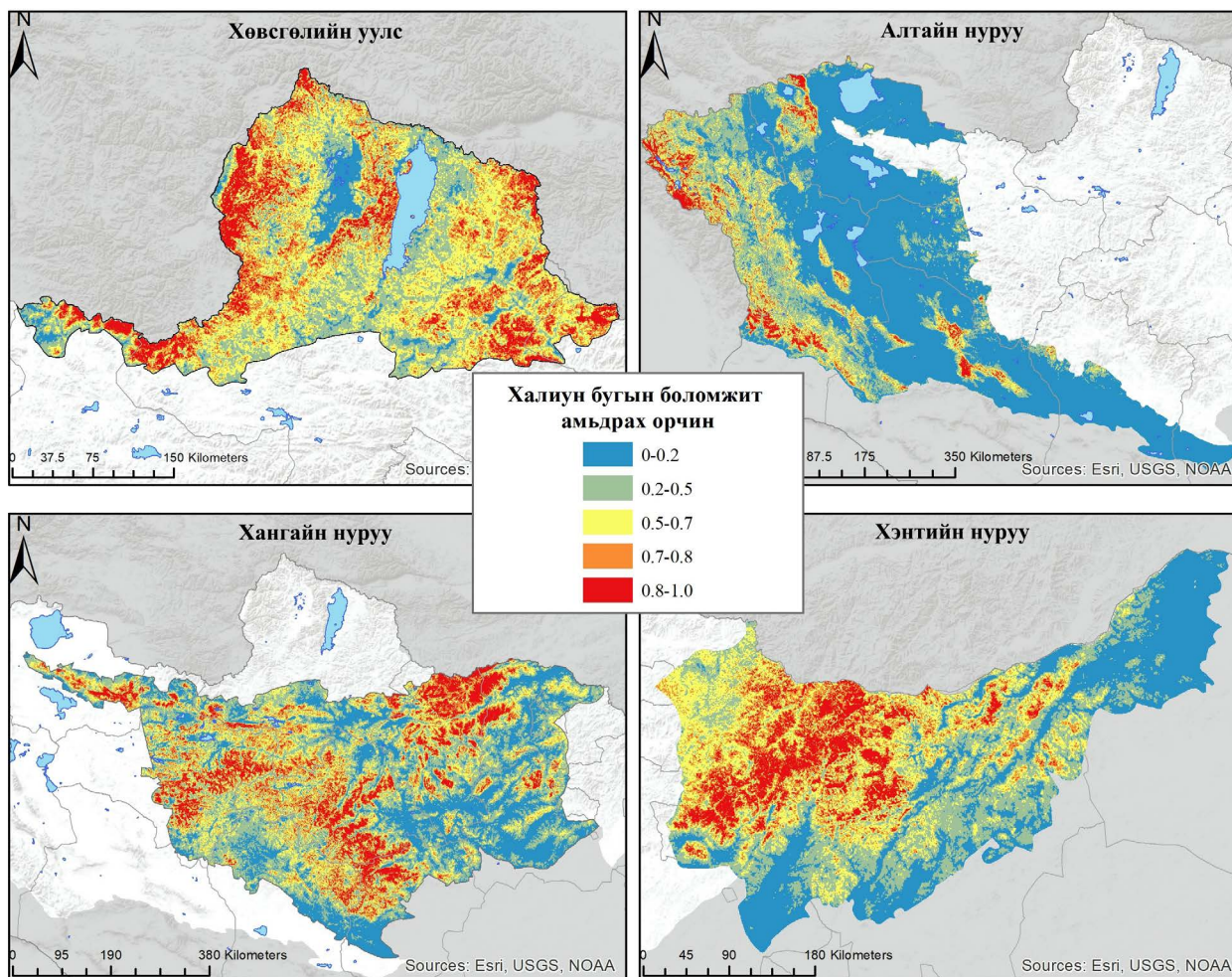
Тохиромжит амьдрах орчны загварчлал

Тохиромжит амьдрах орчны загварчлалыг MaxEnt программ [13] ашиглан гүйцэтгэв. Хүчин зүйлүүдийн хоорондох корреляци хамаарлыг Пиерсоны шалгуураар үнэлэн 0.75-аас их хамааралтай хувьсагч утгуудыг хассан [14]. Эцсийн тооцоололд өдрийн дундаж температур (Bio2), изотермал (Bio2/Bio7) ($\times 100$) болон хур тунадас улирлын хамаарал (Bio15) гэсэн 3 хувьсагчийг ашиглав. Загварчлалын оновчтой хувилбарыг R программын ENMeval өргөтгөл ашиглан тодорхойлсон бөгөөд нийт мэдээллийн 75%-ийг model training, 25%-ийг загварыг шалгах [15] тохиргоог хийн Максент загварыг уншуулав. Судалгаанд ашигласан цэгэн мэдээллийн тоо 50-иас их байгаа учир харгалзах загварыг 10 удаагийн давталттайгаар уншуулан стандарт хазайлт бүхий дундаж утгыг нэгтгэсэн. Максент программ дээр уншуулсан загваруудыг 0-ээс 1 хүртэл утга авах муруйг (AUC) ашиглан үнэлж, амьдрах орчны загварт аль хүчин зүйл илүү нөлөөлж байгааг Жекнайф тестээр (Jackknife test) тодруулав.

Амьдрах орчны растер зургийг (0-1 хүртэлх ангилал бүхий) ArcGIS 10.6 программ ашиглан боловсруулалт хийж тохиромжтой бүс амьдрах орчин (0–0.2 буюу I); бага зэрэг тохиромжтой (0.2–0.5 буюу II); дунд (0.5–0.7 буюу III); сайн (0.7–0.8 буюу IV); маш сайн (0.8–1.0 буюу V) гэсэн 5 ангилалд хуваан үзэв (3-р зураг).

Холбоос нутгийг зурагласан байдал

Цөм амьдрах орчны хоорондох холбоос нутгийг (least-cost path) тодорхойлохдоо цахилгаан хэлхээний онолтой нэгтгэсэн арга зүйн дагуу Linkage Mapper



3-р зураг. Монгол орны халиун бугын тохиромжит амьдрах орчин (уулсын мужлалаар)

[16] программ ашиглан зураглав. Энэхүү программ нь орон зайн өгөгдөлд үндэслэн амьдрах орчин хоорондын холбогдох байдлын зураглалыг үүсгэж, зардлын жигнэсэн зай (cost weighed distance) ба боломжит холбоос нутгийг тооцоолж, тэдгээрийг нэгтгэн зурагладаг.

Холбоос нутгийн үнэлгээ

Ач холбогдлын үнэлгээ: Амьдрах орны холбогдох байдалд цөм амьдрах орчин болон холбоос нутаг хэр зэрэг чухал болохыг Circuitscape программд суурилсан Centrality mapper хэрэглүүр ашиглан тодорхойлов [16], [17].

Холбоос нутгийн чанарын үнэлгээ: Холбоос нутаг тус бүрийн чанарыг цөм амьдрах орчин хоорондын Эвклидийн зайд (CWD: EucD) хуваасан зардлын жигнэсэн зай; зардлын жигнэсэн зайг боломжит

холбоос нутгийн урттай харьцуулсан харьцаа (CWD: LCP) гэсэн хоёр хэмжигдэхүүнээр тооцсон [18, 19]. Эхний хэмжүүр нь цөм амьдрах орчин хоорондоо ойрхон байгаагаас үл хамааран тэдгээрийн хооронд шилжихэд хэдий хэр хүндрэлтэй болохыг илтгэх бол хоёрдох хэмжүүр нь цөм амьдрах орчны хоорондох зам дагуу эсвэл дунд таарч буй дундаж эсэргүүцлийг тооцдог.

Саад тотгорын үнэлгээ

Barrier Mapper нь коридорын байршил эсвэл чанарт нөлөөлж буй “саад тотгор”-ыг үнэлдэг. “Саад тотгор буюу эсэргүүцэл” гэсэн томъёололд зэрлэг амьтан дамжин өнгөрөхөд хэцүү, хүндрэлтэй байх ландшафтын хэсгийг багтаан ойлгож болно [20]. Үндсэндээ тэд нөхөн сэргээх, эсвэл саад тотгорыг бууруулах шаардлагатай газруудыг тодорхойлно.

Үр дүн

Максенгзагварчлалаар 181,419 км² талбайг хамарсан 130 цөм амьдрах орчин (ЦАО) тодорхойлогдсон нь судалгааны талбайн 22.9%-тай тэнцэнэ. Халиун бугын тархац байршил бүхий амьдрах орчны талбайн дундаж утга нь 1,664 км² (SD = 6,614) байв. Хэнтийн нуруу (50,225 км²) нь Халиун бугын хамгийн том талбайтай цөм амьдрах орчин байх бол Хангайн нуруу (34,256 км²; **3-р зураг**) удаална.

Халиун бугын тархац нутагт үзүүлэх ач холбогдол, талбайн хэмжээгээрээ Хангай-Хэнтийн (118,595.0 км² буюу 76.6%) уулархаг нутаг тэргүүлэх бол Алтай-Саяны (11,700.6 км² буюу 14.5%) бүс удаална. Хангайн, Хэнтийн гол нурууд болон Хөвсгөлийн уулсын баруун хэсэг нь амьдрах орчны холбогдох байдал чухал ач холбогдолтой болохыг харуулна (**4-р зураг, 2-р хүснэгт**).

Шилжилт хөдөлгөөний холбоос нутгийн ач

холбогдлын эрэмбээр Монгол орны төвийн хэсэг чухал ач холбогдолтойд тооцогдоно. Холбоос нутгийн үнэлгээ нь судалгаанд хамрагдсан 4 уулсын мужлалаар харилцан адилгүй байв (**3-р хүснэгт**). Амьдрах орчны холбогдох байдал, нэгдмэл чанарыг илтгэх холбоос нутгийн үзүүлэлтээс харвал Хөвсгөлийн уулсад (CWD: to EucD = 89.3 ± 33.5) амьдрах орчны тохиромжит байдал өндөр, хил залган орших Хангайн нуруунд (Mean ± SD = 180.4 ± 28.8) бага байна. Харин холбоос нутгийн хоорондох саад тогторыг илэрхийлэх тоон үзүүлэлт Хөвсгөлийн уулсад (CWD: to LCP; Mean ± SD = 66.1 ± 18.6) хамгийн бага, Хэнтийн нуруунд хамгийн их байна (**5-р зураг, 3-р хүснэгт**).

Халиун бугын тохиолдоц, амьдрах орчны холбогдох байдалд нөлөөлж буй хүчин зүйлс

Нэг хүчин зүйлт ANOVA дүн шинжилгээгээр судалгаанд хамрагдсан нийт нутагт Халиун бугын

2-р хүснэгт. Халиун бугын цөм амьдрах орчны (ЦАО) ач холбогдлын үнэлгээ.

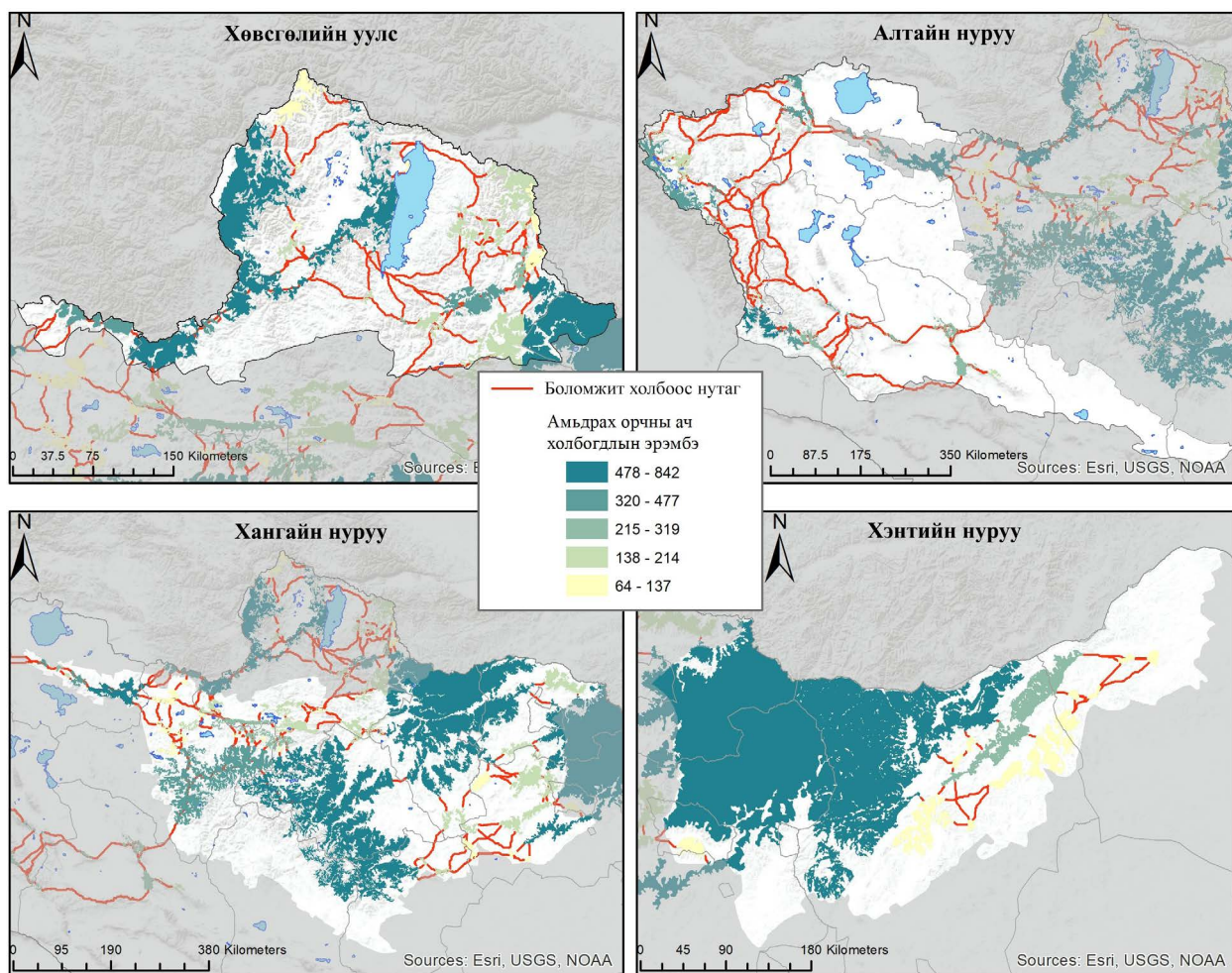
Эрэмбэ	Ач холбогдлын утга	Тоо	Дундаж ± SD	95% CI	ЦАО-ны талбай/ хувь
Хангай-Хэнтийн уулархаг муж					
1	478 – 842	3	526 ± 25.3	508.8-555.1	118,595 / 76.6%
2	320 – 477	1	362.8 ± 0.0	–	11,219 / 7.2%
3	215 – 319	3	273.6 ± 27.1	255.9-304.8	5,198 / 3.4%
4	138 – 214	14	162.1 ± 20.6	141.2-213.9	11,614 / 7.5%
5	64 – 137	26	96.1 ± 19.7	64.3-133.2	8,147 / 5.3%
Алтай-Саяны уулархаг муж					
1	478 – 842	5	631.5 ± 169.0	495.6 – 842.2	11,701 / 43.9%
2	320 – 477	15	390.1 ± 52.3	328.9 – 477.3	6,865 / 25.8%
3	215 – 319	14	265.0 ± 29.5	222.2 – 318.6	2,642 / 9.9%
4	138 – 214	23	184.6 ± 18.1	151.9 – 212.5	4,762 / 17.9%
5	64 – 137	26	96.1 ± 19.7	64.3 – 133.2	676 / 2.5%
Нийт		130			181,419

3-р хүснэгт. Холбоос нутгийн ач холбогдлын үзүүлэлт

Бүс нутаг	Холбоос нутгийн тоо	Боломжит холбоос нутгийн урт (LCP) / км	Эвклидийн зай (EucD) / км	Зардлын жигнэсэн зай (CWD) / км	CWD: EucD	CWD:LCP	Ач холбогдол
Хөвсгөл	73	52 ± 63	38.3 ± 47.0	3,390.5 ± 4,052.6	89.3 ± 33.5	66.1 ± 18.6	84.7 ± 68.7
Алтай	180	106.3 ± 147.5	71.4 ± 90.1	7,227.9 ± 9,928.1	92.6 ± 35.7	67.0 ± 26.2	87.3 ± 58.3
Хангай	107	71.1 ± 124.7	50.1 ± 79.3	5,583.1 ± 6,990.7	132.1 ± 54.2	101.3 ± 50.9	65.5 ± 52.8
Хэнтий	26	26.8 ± 25.0	24.0 ± 23.0	4,340.0 ± 4,218.3	180.4 ± 28.8	158.6 ± 31.9	45.5 ± 34.5

4-р хүснэгт. Максент загварчлалаар тодорхойлогдсон амьдрах орчны градиентын дагуух халиун бугын тархац, боломжит холбоос нутгийн урт

Үзүүлэлт/ангилал	Алтай	Хангай	Хөвсгөл	Хэнтий
Хүний нөлөөллийн индекс	4.5 ± 1.8	3.3 ± 1.1	4.1 ± 1.9	3.9 ± 1.5
Өндөршил	2,353 ± 200	1,705 ± 292	1,903 ± 367	1,217 ± 300
Налуу	6.9 ± 3.4	5.6 ± 2.5	7.3 ± 5.7	4.1 ± 2.9
Талбайн хэмжээ, км²	267,175	328,812	69,855	110,984
Тохиромжтой бус (I)	168,067	79,145	4,854	31,501
Бага зэрэг тохиромжтой (II)	54,871	104,772	18,420	30,112
Дунд (III)	26,812	70,765	24,985	25,290
Сайн (IV)	9,468	38,389	13,259	12,955
Маш сайн (V)	7,957	35,738	8,335	11,125
Бага өртөг бүхий холбоос нутгийн урт, км	10,310	9,404	6,178	697.8
Тохиромжтой бус (I)	869	442.1	42.8	207.0
Бага зэрэг тохиромжтой (II)	1,607	1,562	417.2	385.8
Дунд (III)	2,725	1,789	2,047	94.9
Сайн (IV)	2,121	1,662	1,596	8.4
Маш сайн (V)	2,988	3,947	2,075	1.7



4-р зураг. Халиун бугын цөм амьдрах орчны ач холбогдлын үнэлгээ

тохиолдоц ($F_{(3, 2453)} = 5.76, P = 0.0002$), налуу, хүний нөлөөллийн индекс харилцан адилгүй байна. Хангайн нуруунд Халиун буга тархан байрших боломжит талбай болон боломжит холбоос нутгийн урт бусад нутгаас илүү их байна. Тархац нутгийн дийлэнх хэсэг 491,744 км² буюу 63.3% нь тохиромжит амьдрах орчны I болон II ангилалд, үлдсэн 285,083 км² буюу 36.7% нь III-V ангилалд хамрагдана. Халиун бугын амьдрах орчны сайн, маш сайн гэсэн ангилалд тархац нутгийн ердөө 16.6%, харин боломжит холбоос нутгийн дийлэнх хэсэг нь буюу 54.2% нь хамрагдаж байна (**4-р хүснэгт**).

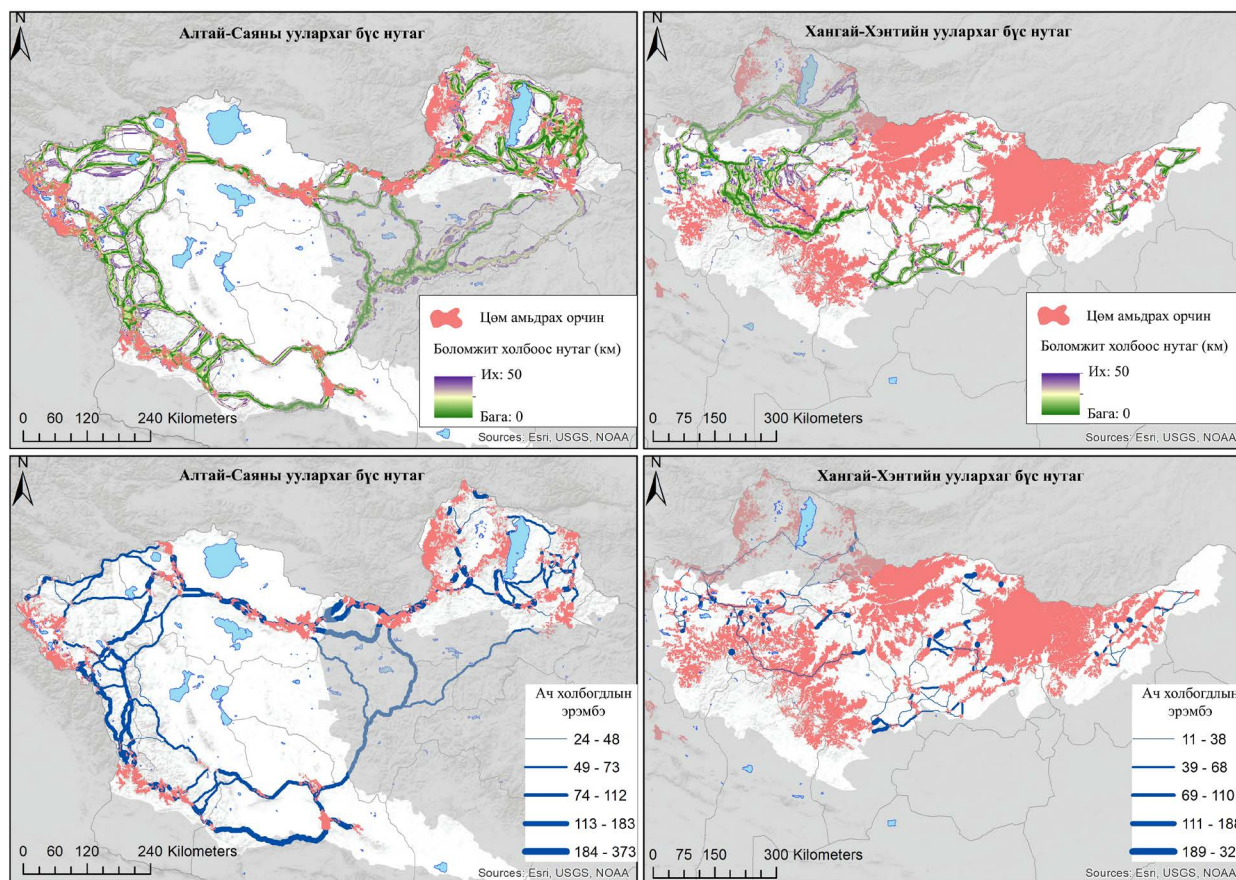
Хамгийн сайн буюу тавдугаар ангилалд хамрагдсан амьдрах орчин дахь холбоос нутаг нь Хангайн нуруунд (3,947 км² буюу 43.8%) хамгийн өндөр, Хэнтий нуруунд (ердөө 1.7 км² буюу 0.02%) хамгийн бага байна. Тохиромжит амьдрах орчин нь өндөршил нэмэгдэхийн хирээр буурах хандлагатай байна. Дундаж өндөршил бүхий нутагт Халиун

бугын тохиромжит амьдрах орчин, тэдгээрийн талбайн хэмжээ нэмэгдэнэ гэж дүгнэж болно (**4-р хүснэгт**).

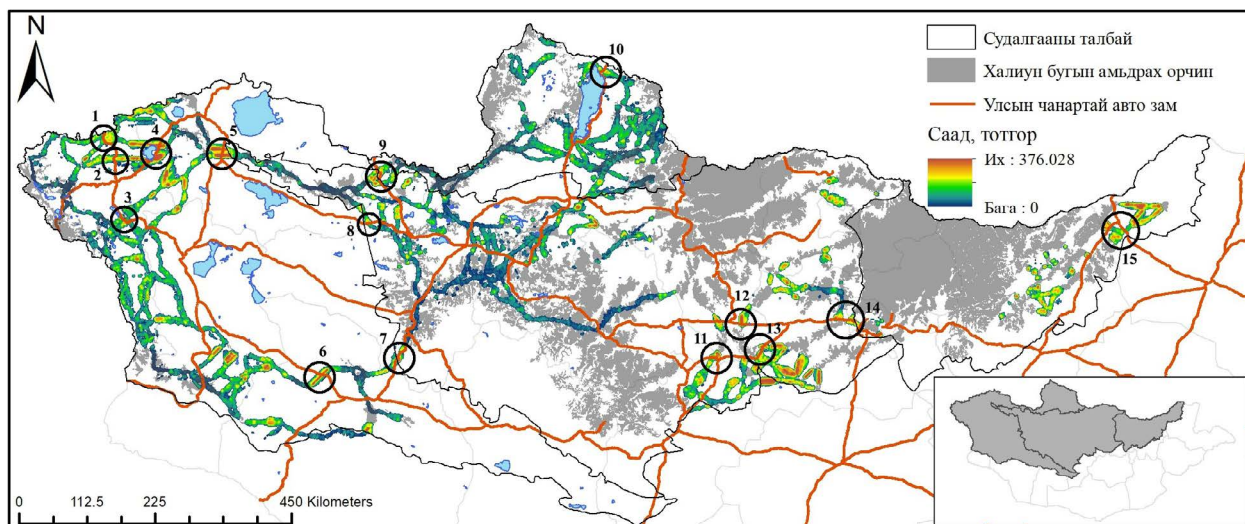
Хэлэлцүүлэг

Амьдрах орчны загварчлалыг гаргахад нийт 2,453 цэгийг ашигласан нь статистик шаардлагад нийцэхүйц хангалттай [21], [22] бөгөөд цаг хугацааны хувьд ч гэсэн хүрээлэн буй орчны хувьсагч утгуудтай нийцэж байна. Тиан нар [23] өндөршлийн дагуух температур, гэрэлтүүлэг болон налуугийн ялгарал нь зэрлэг амьтдын орон зайн жигд бус тархалтыг үүсгэж болзошгүй гэж дүгнэжээ. Монгол орны Халиун бугын орон зайн тархалт, амьдрах орчны холбогдох байдалд цаг уурын болон хүний хүчин зүйл чухал нөлөөтэй болохыг бидний үр дүн илтгэнэ.

Vollstädt нарын [24] цаг уурын хүчин зүйлүүд нь



5-р зураг. Халиун бугын цөм амьдрах орчныг холбосон холбоос нутаг (дээд) болон боломжит холбоос нутгийн ач холбогдлын эрэмбэлэлт (доод).



6-р зураг. Barrier Mapper дүн шинжилгээгээр тодорхойлсон холбоос нутгийн саад тотгорын үнэлгээ

ургамлын бүлгэмдлээр дамжуулан зэрлэг ан амьтдын популяцид шууд бус нөлөө үзүүлдэг болохыг тодорхойлсон судалгааны үр дүн бий. Халиун буга нь амьдрах орчны олон хэлбэрт амьдрах учир тэдгээрийн тархалтад хур тунадас, температурын горим чухал нөлөөтэй байж болзошгүй. Өөрөөр хэлбэл, ургамлын тодорхой бүлгэмдэл бүрэлдэн бий болоход цаг уурын тодорхой нөхцөл шаарддаг тул Халиун бугын орон зайн тархалтад шууд нөлөөлж болох юм.

Амьдрах орчны хуваагдал нь хүний үйл ажиллагаанаас үүдсэн хоёр дахь том нөлөөлөл [25], [26] бөгөөд сүүлийн жилүүдэд хүний үйл ажиллагаанаас улбаалсан газар ашиглалт улам бүр нэмэгдэж байгаа нь амьдрах орчны үр ашигтай талбай, амьдрах орчны доторх болон тэдгээрийн хоорондох холбоос нутгийг бууруулах гол шалтгаан юм [27].

Судалгааны үр дүн нь хүний нөлөөлөл багатай газарт Халиун бугын тохиолдоц, цөм амьдрах орчны талбай болон холбоос нутгийн хэмжээ нэмэгдсэн байгааг илтгэн харуулж байна. Хамгааллын үр дүнтэй арга хэмжээг хэрэгжүүлэхийн тулд эхлээд Халиун бугын амьдрах орчны загварчлалд үндэслэн хамгийн тохиромжтой амьдрах орчныг сонгон авах хэрэгтэй. Ландшафтын түвшинд амьдрах орчны холбогдох байдалд нөлөөлж буй хүчин зүйлүүдийг эхний ээлжинд тодорхойлох нь тухайн зүйлийн хамгааллын менежмент амжилттай хэрэгжихэд

чухал нөлөөтэй [28].

Халиун бугын амьдрах орчны холбогдох байдалд нөлөөлж буй саад тотгорын дийлэнх нь Монгол орны баруун хойд хэсэгт тодорхойлогдсон (**6-р зураг**). Халиун бугын амьдрах орчны холбогдох байдалд аймгийн төв, уурхай, хилийн боомтыг холбосон томоохон хатуу хучилттай болон сайжруулсан зам ихээхэн нөлөөтэй. Тухайлбал, Улиастай-Улаангом (8); Алтай-Өлгий (6), Эрдэнэсант-Арвайхээр (12), Норовлин-Баян-Уул (15), Цагаан нуур-Улаан байшинт (1, 2); Хатгал – Ханх (10) болон Баянтэс-Арц суурь (9) хилийн боомтыг чиглэсэн хатуухучилттай болон сайжруулсан шороон замууд хамгийн их нөлөөтэйд тооцогдоно (**6-р зураг**). Бидний судалгаа нь халиун бугын амьдрах орчны холбоос нутгийг тодорхойлохын зэрэгцээ ачаалал ихтэй төв замуудтай хэрхэн огтолцож буйг тодруулах явдал байсан бөгөөд зэрлэг ан амьтдын шилжилт хөдөлгөөн, орон зайн тархалтыг хангах зорилгоор нөлөөл ихтэй шугаман дэд бүтцийн зарим хэсэгт гарц гарам байгуулах шаардлагатайг харуулж байна.

Дүгнэлт

Амьдрах орчны MaxEnt загвар болон холбоос нутгийн загварчлалыг хослуулан Монгол орны халиун бугын хувьд 130 цөм амьдрах орчин, 386 холбоос нутгийг тодорхойлов. Судалгаанд халиун

бугын 2,453 тохиолдоц болон уур амьсгал, газарзүйн болон хүний хүчин зүйл зэрэг гурван төрлийн хүчин зүйлд бүлэглэсэн 7 хувьсагч үзүүлэлтийг ашигласан. Эдгээр хүчин зүйлүүдээс халиун бугын амьдрах орчны холбогдох байдал болон холбоос нутгийн уртад хүний хүчин зүйл хамгийн их нөлөөтэй байна. Тохиромжтой амьдрах орчны талбайн хэмжээ өндөршил нэмэгдэхийн хэрээр буурах бол дундаж өндөрлөг уулсад нэмэгдэх хандлагатай байна. Халиун бугын цөм амьдрах орчин болон холбоос нутгууд нь хатуу хучилттай авто замтай огтолцож байна. Тиймээс амьдрах орчны нэгдмэл байдлыг тогтвортой хадгалах үүднээс нөлөөллийг бууруулах арга хэмжээг авах шаардлагатай.

Талархал

Тусгай хамгаалалттай газар нутгийн биологийн төрөл зүйлийн мониторинг судалгааны Биосан мэдээллийн санг бүрдүүлэх ажлыг санаачлан эхлүүлж, удирдлага, зохион байгуулалтаар ханган ажилласан Дэлхийн байгаль хамгаалах сангийн Монгол дахь хөтөлбөрийн газар, БОАЖЯ-ны Тусгай хамгаалалттай газар нутгийн удирдлагын газрын хамт олонд гүн талархал илэрхийлье. Монгол орны халиун бугын тархац, амьдрах орчинтой холбоотой суурь мэдээллийг бүрдүүлэх мониторинг судалгаанд оролцож буй нийт тусгай хамгаалалттай газар нутгийн байгаль хамгаалагч нар, мэргэжилтэн нарт талархаж байна.

Шинжлэх ухаан, технологийн сангаас санхүүжүүлсэн “Халиун бугын тархац, нөөц, зохистой ашиглах хэмжээг тогтоох, хамгааллын статусыг тодорхойлох (ШуУз 2019/09)” захиалгат ажлын хүрээнд Монгол орны халиун бугын тархац, байшил, тоо толгойтой холбогдох мэдээллийг шинэчлэн боловсруулах ажлыг удирдан гүйцэтгэсэн МУИС-ийн Биологийн тэнхимийн эрдэмтэн, судлаач нарт талархал илэрхийлж байна.

Ашигласан бүтээл

[1] А. Г. Банников, *Млекопитающие Монгольской Народной Республики* (Труды Монгольской комиссии,

вып. 53). Москва: Академия наук СССР, 1954, p. 669.

- [2] С. Дуламцэрэн, *Монгол орны хөхтөн амьтад: Хангай, Хэнтий нурууны туруутан амьтдын экологи, агнуурын ач холбогдол*. 1989, p. 160.
- [3] Н. Батсайхан, С. Шар, Д. Лхагвасүрэн, S. R. B. King, and P. Самьяа, *Монгол орны хөхтөн амьтан таних гарын авлага*, 3 ed. 2022.
- [4] Ж. Р. Вингард *et al.*, *Зэлүүд тал: Зэрлэг амьтны хууль бус худалдааны хямрал*. Лондон: Лондонгийн амьтан судлалын нийгэмлэг, 2006.
- [5] E. L. Clark нар, Монгол орны хөхтөн амьтдын улаан данс. Адмон, 2006. [Online]. Available: <https://archive.nationalredlist.org/files/2012/08/Mongolia-Red-List-of-Mammals-2006-Mongolian-.pdf>.
- [6] J. A. Wiens, N. C. Stenseth, B. V. Horne, and R. A. Ims, "Ecological Mechanisms and Landscape Ecology," *Oikos*, vol. 66, no. 3, p. 369, 1993, <https://doi.org/10.2307/3544931>.
- [7] K. R. Crooks and M. A. Sanjayan, "Connectivity Conservation: Maintaining Connections for Nature," pp. 1-20, 2006.
- [8] A. M. Savada and R. L. Worden, *Mongolia: a country study*, 2 ed. Washington, D.C: Federal Research Division, 1991, p. 320.
- [9] H. E. Beck, N. E. Zimmermann, T. R. McVicar, N. Vergopolan, A. Berg, and E. F. Wood, "Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution," *Sci. Data*, vol. 5, no. 180214, 2018, <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>.
- [10] M. Kottek, J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel, "World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated," *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 15, no. 3, pp. 259-263, 2006, <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- [11] J. Elith, S. J. Phillips, T. Hastie, M. Dudik, Y. E. Chee, and C. J. Yates, "A statistical explanation of MaxEnt for ecologists," *Diversity and Distributions*, vol. 17, pp. 43-57, 2011.
- [12] M. Heiner *et al.*, "Modeling habitat connectivity of a nomadic migrant facing rapid infrastructure development: Khulan habitat connectivity in the Southeast Gobi Region, Mongolia," *The Nature Conservancy, Ulaanbaatar*, 2016.
- [13] S. J. Phillips, R. P. Anderson, and R. E. Schapire, "Maximum entropy modeling of species geographic distributions," *Ecological Modelling*, vol. 190, no. 3-4, pp. 231-259, 2006, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>.
- [14] M. H. Graham, "Confronting multicollinearity in ecological multiple regression," *Ecology*, vol. 84, no. 11,

- pp. 2809-2815, 2003, <https://doi.org/10.1890/02-3114>.
- [15] S. J. Phillips, "Transferability, sample selection bias and background data in presence-only modelling: a response to Peterson *et al.* (2007)," *Ecography*, vol. 31, no. 2, pp. 272-278, 2008, <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5378.x>.
- [16] B. H. McRae and D. M. Kavanagh, "*Linkage mapper user guide*," 2011. [Online]. Available: <http://www.circuitscape.org>.
- [17] C. Carrol, B. McRae, and A. Brooks, "Use of Linkage Mapping and Centrality Analysis Across Habitat Gradients to Conserve Connectivity of Gray Wolf Populations in Western North America," *Conservation Biology*, vol. 26, pp. 78-87, 2 2012, <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01753.x>.
- [18] T. Dutta, S. Sharma, B. McRae, P. S. Roy, and R. DeFries, "Connecting the dots: mapping habitat connectivity for tigers in central India," *Regional Environmental Change*, vol. 16, no. S1, pp. 53-67, 2016, <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0877-z>.
- [19] C. Qiangqiang *et al.*, "Identification of potential ecological corridors for Marco Polo sheep in Taxkorgan Wildlife Nature Reserve, Xinjiang, China," *Biodiversity Science*, vol. 27, no. 2, pp. 186-199, 2019, <https://doi.org/10.17520/biods.2018264>.
- [20] B. H. McRae. *Barrier Mapper Connectivity Analysis Software*. [Online] Available: Available from <https://linkagemapper.org>
- [21] M. Heiner *et al.*, "Identifying Conservation Priorities in the Face of Future Development: Applying Development by Design in the Mongolian Gobi," *The Nature Conservancy*, Ulaanbaatar, 2017.
- [22] K. P. Burnham and D. R. Anderson, "*Model Selection and Inference*," 1998, <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2917-7>
- [23] C. Tian *et al.*, "Impacts of livestock grazing, topography and vegetation on distribution of wildlife in Wanglang National Nature Reserve, China," *Global Ecology and Conservation*, vol. 20, p. e00726, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00726>.
- [24] M. G. R. Vollstädt *et al.*, "Direct and indirect effects of climate, human disturbance and plant traits on avian functional diversity," *Global Ecology and Biogeography* vol. 26, no. 8, pp. 1-10, 2017, <https://doi.org/10.1111/geb.12606>.
- [25] R. M. Ewers and R. K. Didham, "Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation," *Biological Reviews*, vol. 81, no. 1, pp. 17-42, 2005, <https://doi.org/10.1017/S1464793105006949>.
- [26] A. Henrik., "Effects of Habitat Fragmentation on Birds and Mammals in Landscapes with Different Proportions of Suitable Habitat: A Review," *Oikos*, vol. 71, no. 3, p. 355, 12 1994, <https://doi.org/10.2307/3545823>.
- [27] M. Panahandeh, A. R. Yavari, E. Salehi, and B. Malek Mohammadi, "Analyses of habitat changes of Caspian Red Deer (*Cervus elaphus maral* Gray, 1850) based on temporal changes of effective area and functional connectivity – A case study of Lisar protected area," *Applied Ecology and Environmental Research*, vol. 14, no. 4, pp. 71-83, 2016, https://doi.org/10.15666/aecer/1404_071083.
- [28] Y. van der Hoek, B. Zuckerberg, and L. L. Manne, "Application of habitat thresholds in conservation: Considerations, limitations, and future directions," *Global Ecology and Conservation*, vol. 3, pp. 736-743, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.03.010>.