



## Research Paper

<https://doi.org/10.5564/pib.v39i2.3328>

PROCEEDINGS OF  
**PIB**  
THE INSTITUTE OF BIOLOGY

## Habitat modeling and future trends for the outbreak of the Siberian moth (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.) in Mongolia

Davaadorj ENKHNASAN<sup>1,\*</sup> , Dorjsuren ALTANCHIMEG<sup>1</sup> , Galsandorj NARANBAATAR<sup>2</sup> ,  
Galbadrakh MAINJARGAL<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Laboratory of Ornithology and Entomology, Institute of Biology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia

<sup>2</sup>Laboratory of Mammalian Ecology, Institute of Biology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia

\*Corresponding author: enkhnasand@mas.ac.mn, <https://orcid.org/0000-0001-7918-8621>

**Abstract.** The Siberian moth, *Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov, 1908 (Family Lasiocampidae), is recognized as the most destructive defoliator of Mongolia's conifer forests. Our study was conducted at 14 locations within the Khentii mountain range, a known hotspot for moth outbreaks. Here, we measured various body sections of the caterpillars and calculated their population density. To model the habitat and potential outbreak tendency of this species, we utilized local weather data, global climate variables (Bio19), and other environmental layers. Our findings reveal a significant correlation between the distribution and outbreak of this species in Mongolia and several climatic factors: total precipitation, average temperature ( $p < 0.001$ ), winter precipitation ( $p < 0.016$ ), and spring precipitation ( $p < 0.0002$ ). Future projections suggest that outbreaks may occur biennially or triennially, with 7-8-year intervals, specifically in the periods 2024-2026 and 2032-2034. Additionally, we estimate the potential changes in the distribution range of the Siberian moth in under scenarios of temperature increases by 2.5°C and 4.50°C.

**Keywords:** trends, outbreak, Siberian moth, and forest pest

Received 9 October 2023; received in revised form 25 December 2023; accepted 27 December 2023

© 2023 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

When the primary photosynthetic components of trees, such as leaves and needles, are disrupted by phyllophagous insects, the trees suffer not only from direct nutrient depletion, but also from the resultant favorable conditions for wood-borers. The economy and ecosystem suffer greatly as a result of the technical harm inflicted on deteriorating trees [1]. Recent increases in forest areas affected by pests have been linked to global climate change, amplifying the the scope and detrimental impacts of certain insect outbreaks [2]. Climate data between 1940 and 2005 show temperature changes during winter [3], with a notable warming and drying trend of 2.14°C from 1960 to the present [4]. The Siberian moth prevalent in Siberia is a major pest of conifers in Russia, Northern Kazakhstan, Mongolia, and China [5]. The rapid surge in its population is attributed to a combination of various factors [6]. Landscape damage, particularly in the early stages of an outbreak, has been

observed to coincide with the destruction of plantings [7]. Although native to Russia and not present in Norway or other European countries, except Russia. The Norwegian Scientific Committee for A Pest Risk Assessment of *D. sibiricus* was released by Food and Environment in 2018 [8]. In the last 30 years, Norway has not imported any live trees from Russia, and currently does not import any coniferous wood products containing bark from regions where *D. sibiricus* is prevalent [9].

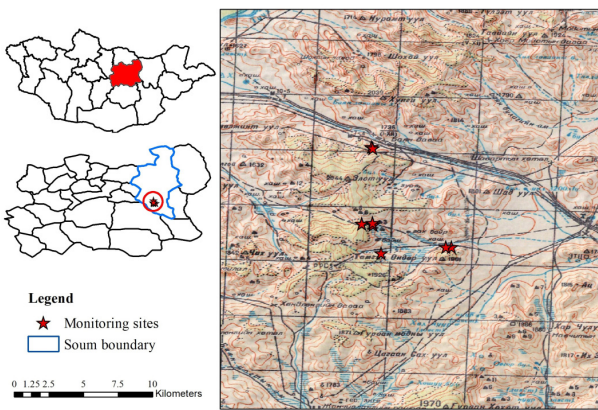
Compared to other phyllophagous species, Siberian moth outbreaks put a lot of strain on forest wood, often persisting in one location for three to four years, leading to irreversible forest desiccation. The caterpillars, due to a warm and extended fall, were mostly able to begin winter at the fifth instar, extending their feeding time. After a protracted period of heat, the return of extreme cold and subsequent snowstorms led to significant population losses, as caterpillars that failed to descend to the litter perished in the crowns or on trunks [10].

These observations underscore the significant influence of environmental factors on the growth and spread of this moth as noted in various research publications.

A comprehensive surveillance investigation was carried out in the densely populated regions of the Khentii mountain range. The primary aim of this study was to determine the factors contributing to favorable living conditions, in line with the prevailing climatic parameters. Additionally, the research focused on modeling the future trends of population growth in these areas.

**Study area**

The Siberian moth has been observed in dense populations in 14 selected plots in Erdene sum, Central Province (Fig. 1).



**Fig. 1.** Designated study and monitoring areas for the Siberian moth

These plots located within the Khentii Mountains.

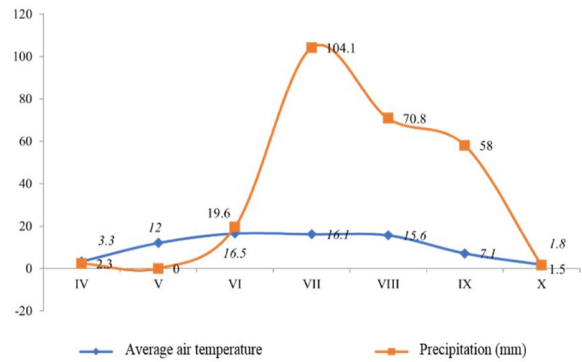
Erdene Sum of Central Province, our study encompassed an area of 4,000 hectares including locations such as Tamgyn Ondor, Ar Janchivlan, Seruun Bulag, Mukhar, Deliin Am, Kharh, Baruun Bayan, Nuramt, Ulaanchuluut, Zamt, Hushingiin Ovoonii ar, Hoyor mod, Modon davaa, Ondor uul, Khokh davaa, Elstei, Bayantsogt, and Bayankhangai. However, the region experienced Siberian moth outbreaks affecting an expanded area of 6,000 hectares.

The weather data for this study, specifically the average air temperature and the total amount of precipitation, were recorded for the IV–X months of 2019 in the Erdene Sum area of the Central Province (Fig. 2).

For numerous temperate moth species, the minimum temperature threshold required for embryo development is 100C [11].

In the Erdene Sum area, which was included in our monitoring study, this critical temperature limit began to

be reached during the second ten-day period of May this year.



**Fig. 2.** Average climatic variables in Erdene Sum for the year 2019

**Materials and methods**

In our study, we focused on measuring the key indicators such as the body length and occipital width of the 8500 caterpillars collected from 14 monitoring plots. To gain insights into the intense growth and developmental stage of the Siberian moth, we counted the caterpillars and pupae by shaking the tree, a method used to effectively assess their population density.

Methodology for Distribution Modeling. To identify the seasonal factors affecting moth distribution, we utilized various environmental information sources, including the IPCC official database. This database provided highly accurate climate data for elevations between 800-1000 m encompassing 19 variables. These variables were based on information such as precipitation (Prec), maximum temperature (Tmax), and minimum temperature (Tmin) spanning the years 1956 to 2000 also referred to as BIO-19 (Bio 19). This region’s elevation and precipitation images were employed as a filter in addition to climate data. A total of 180 models were created using various combinations of these environmental variables [12], [13]. The program used for our research was called MaxEnt, which stands for Maximum entropy modeling of species geographic distribution. Scenarios of future climate change have been selected.

**Results and Discussion**

The Siberian moth’s morphology, as well as its growth and development.

Morphology, growth, and development of the Siberian moth. The findings from spring and autumn surveys, detailing the characteristics of the Siberian moth, are density presented in Table 1.

**Table 1.** Siberian moth density across monitoring sites

#	Location	Coordinates		Altitude	Larval density			Pupae
					Number per branch	50 x50 sm	Number per tree	
1	Tamgan Ondor	47.70483	107.7059	1677	65L <sub>2-4</sub> 30L <sub>5-6</sub>	-	~ 4800	62
2	Tamgan Ondor	47.70481	107.7022	1683	1 L <sub>5-6</sub> 1L <sub>2-3</sub> 1L <sub>4-5</sub>	-	-	-
3	Antenn Uul	47.70072	107.6603	1724	3L <sub>3-5</sub> 1L <sub>3-4</sub>	-	-	-
4	Front side Moogon Ondor	47.72033	107.6546	1814	1L <sub>4-5</sub> 14L <sub>2-3</sub>	-	~ 720	1
5	Front side Moogon Ondor	47.72033	107.6546	1814	24L <sub>2-3</sub> 15L <sub>3-4</sub> 2L <sub>4-5</sub>	-	-	11
6	Front side Moogon Ondor	47.72033	107.6546	1814	6L <sub>2-3</sub> 2L <sub>4-5</sub>	-	-	1
7	Front side Moogon Ondor	47.71908	107.655	1797	2L <sub>2-3</sub> 2L <sub>4-5</sub>	-	-	-
8	Front side Moogon Ondor	47.71983	107.6477	1901		-	-	31
9	Front side Moogon Ondor	47.71983	107.6477	1901	2L <sub>2-3</sub>	-	-	13
10	Front side Moogon Ondor	47.71983	107.6477	1901	150L <sub>2-3</sub> 2L <sub>5-6</sub>	-	-	176
11	Bayandavaa	47.76953	107.654	1768	13L <sub>3-4</sub> 2L <sub>5-6</sub>	-	-	10
12	Bayandavaa	47.76886	107.6548	1789	35L <sub>2-3</sub> 6L <sub>5-6</sub>	-	~ 3000	14
13	Bayandavaa	47.76886	107.6548	1789	27L <sub>2-4</sub> 11L <sub>5-6</sub>	-	-	170
14	Back side of Moogon Ondor	47.72042	107.6547	1819		1L <sub>3-4</sub>	-	-
Total					418	1	8520	490

Throughout the study period, caterpillars at various instar stages were observed, with a notable intensification of pupation occurring at the beginning of July. Basic body measurements of the caterpillars are detailed in **Table 2**. According to Table 2, the body weight of the caterpillars varies by 3.0-5.7 times, while the body length increases

by 1.4-1.9 times across different instars. During the entire molting period there is a dramatic increase in body weight, up to 1530 times, and the body length increases by 12.5 times. It's noted that one-year-old larvae grow relatively quickly, with their body weight increased by 5.7% after approximately 10 days. Consequently, the body weight

**Table 2.** Body measurements of different larval instars of the Siberian moth

Instar	Weight, mg			Body length, mm			Occiput width, mm		
	Average assessment	Max.	Min.	Average assessment	Max.	Min.	Average assessment	Max.	Min.
I	2.8	3.1	2.4	5.9	7	5	1.1	1.2	0.9
II	16	20	13	11	14	8	1.5	1.56	1.3
III	66.6	100	50.2	19	22.5	17	2.0	2.1	1.8
IV	264	380	140	29.2	34	26	2.9	3.2	2.4
V	781	1790	410	39.8	51	35	3.95	4.2	3.9
VI	4286	6930	1470	74	88	62	5.8	6.3	5.2

of two-year-old larvae also increases significantly. Furthermore, the timing of the first molt among these larvae varies depending on their geographical location.

During the study, the age of the caterpillars (Fig. 3) and the weather parameters were compared. The spring monitoring survey revealed that two-year-old larvae made up 87.2% of all caterpillars. Figure 3, depicting their growth and development shows 95% of 2-year-old larvae had an average air temperature of 19.6°C and a total rainfall of 16.5 mm on June 10-15 and subsequently leading to their molting.

have the biggest impact on the caterpillars' growth and development. These observations corroborate previous findings, highlighting the significant influence of local climate and environmental factors on the growth and development of the caterpillars.

Modeling of Siberian Moth Habitat. The Siberian moth has two distinct life cycles. In the southern part of its distribution area, the populations are univoltine, completing one generation per year. However in high mountain forests, single generation may span up to three years. Temperature is extremely important in populations

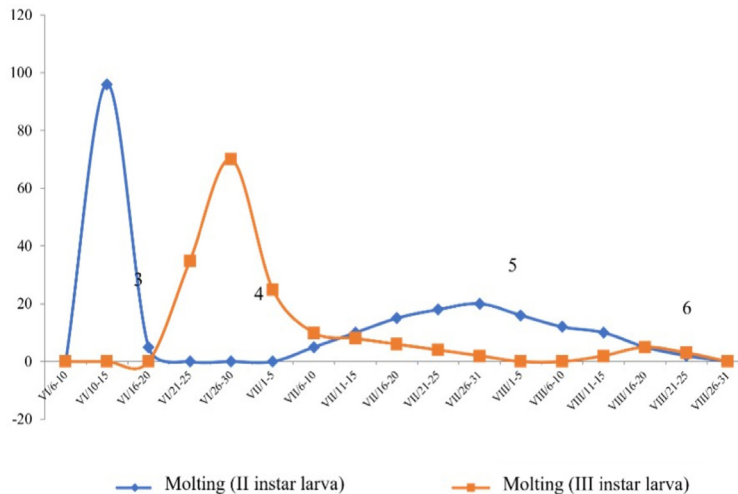


Fig. 3. Developmental stages of Caterpillars: 3rd to 6th instars

However, according to Fig. 3, the peak period for molting of larvae from the third instar into the fourth and fifth instar typically occurs in the mid-June, while the peak period for transferring larvae from the fourth to the fifth instar predominantly occurs towards the end of July (average air temperature: 16.1°C, total precipitation: 104.1 mm). At the end of August, the peak molting period for larvae in the sixth instar occurred, with an average air temperature of 15.6°C and a total precipitation of 104.1 mm.

where one generation lasts one or two years [14]. Specifically, when the total annual temperature is 2100°-2200°C, the moths complete their cycles in two years. At lower temperatures (1800°-1900°C), populations may exhibit mixed generation types [14]. A 2-year generation was also discovered during a 3-year study of Siberian moth outbreak populations in the Nukhet, Bogdkhan Mountain [15]. Numerous studies' findings demonstrate that this species is not only activated following droughts and in years of low rainfall, but also that other factors are contribute to the outbreak. Similar observations were made in Russia, were an examination of the weather

It validates the findings of earlier studies, which showed that the local climate and environmental factors

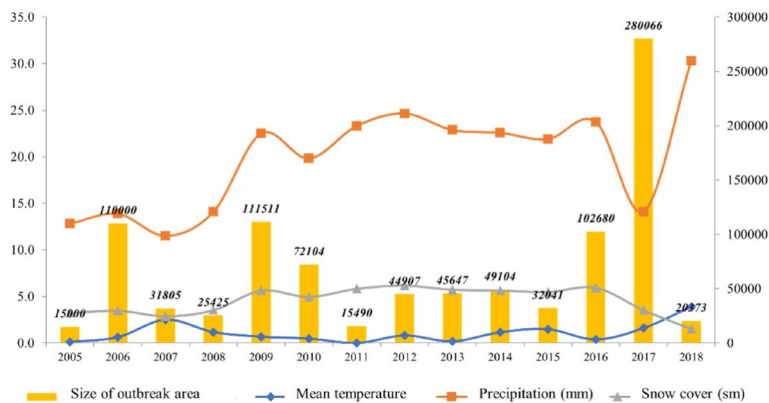


Fig. 4. Illustrating the relationship between climatic variables and the area affected by Siberian moth outbreaks (year/hectare). Source: Forest Agency report, 2018.



in May 2015 showed, a notable deficit in moisture availability and temperatures exceeding the long-term average [10]. Additionally, the Siberian moth avoids extremely wet (sphagnum and swamp) [16] habitats due to the high mortality rates of wintering larvae in conditions of excessive soil moisture [17]. We have contrasted a few climate variables with the size of the Siberian moth outbreak area, which was investigated by researchers from the Ministry of Nature and Environment and the Forest Agency (Fig. 4).

Fig. 4 shows that between 2009 and 2017, even though the distribution area was small, the presence of abundant precipitation and snow cover contributed to a largely stable population density. In comparison to the previous years, the area affected by the Siberian moth has grown significantly larger since 2016. During that time,

the average temperature has risen and the amount of snow cover has dropped significantly. This indicates that the periods of relative stability in moth population, lasting up to eight years, or continuous rainfall, are associated with comparatively consistent winter and summer rainfall. In 2016, during spring censuses in Russia, the Siberian moth caterpillars' absolute population density in forest stands ranged from 42-448 individuals per tree [10] as well. Furthermore, in the plain section of the Yenisei forest region, the outbreak of *D. sibiricus* occurred in 2014-2017 [17], and a timeframe that coincides with in Mongolia. Between 2005 and 2018, the main focus and its size changed year by year in Mongolia's forested areas, when comparing point data of distribution and outbreak areas in chronological order (Fig. 5).

Preceding studies have demonstrated that the

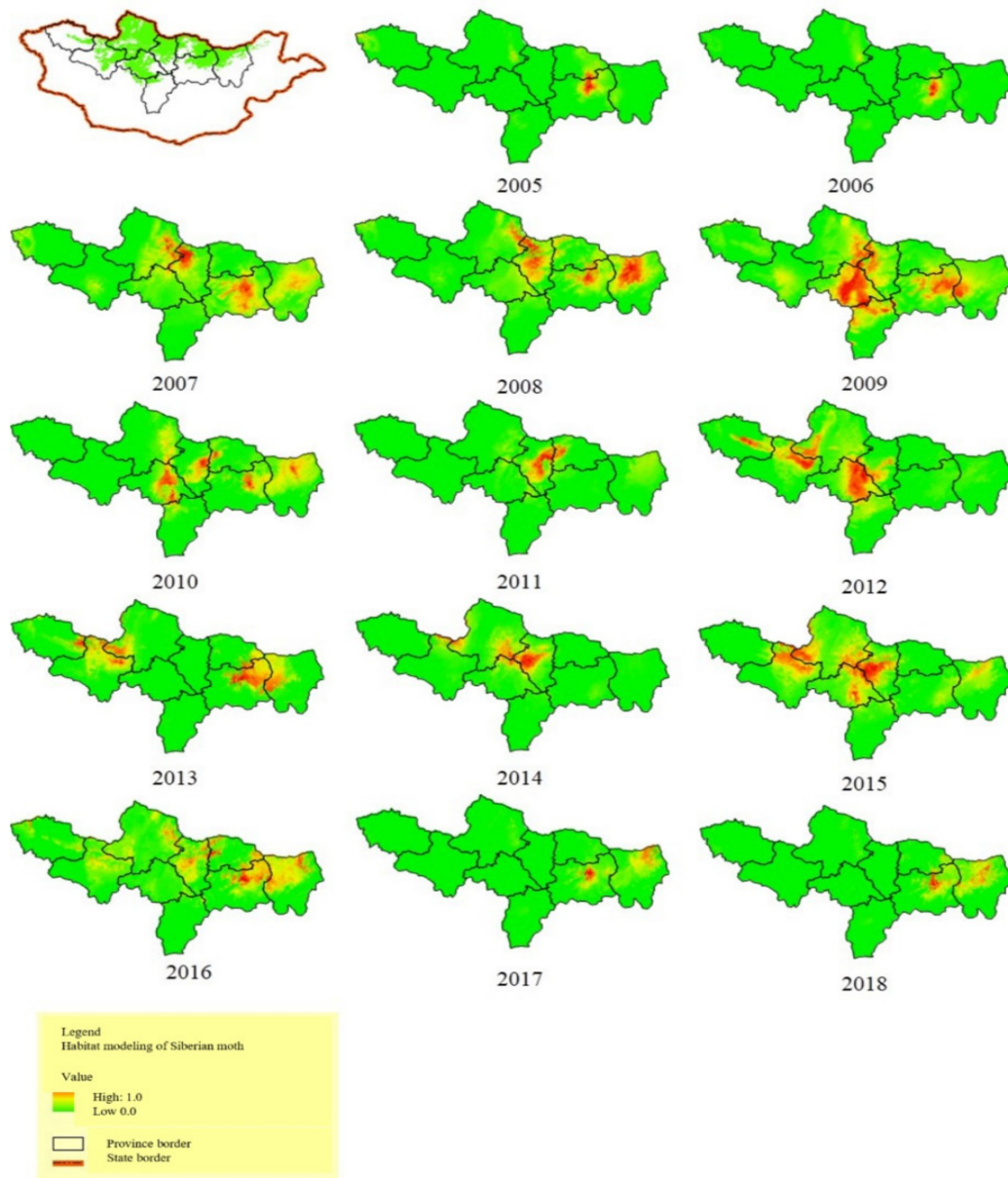


Fig. 5. The Siberian moth's distribution and areas of outbreak from 2005 to 2018.

Siberian moth's dynamic pattern is unstable, and that this is strongly influenced by climatic conditions. A comparison is made between the point data of the outbreak locations and the distribution of the Siberian moth in various parts of Mongolia between 2005 and 2018, as well as certain regional climatic characteristics such as annual precipitation, minimum, maximum, and average temperatures. In the years that followed the low-rainfall years of 2007, 2008, 2014, and 2015, for instance, the distribution and outbreak area grew. We inferred the association between the climatic factors, with temperature having the most influence, based on the distribution, point data of the outbreak, and the extent of the affected region. The data clearly indicate that minimal rainfall, high levels of dryness, and drought conditions in a given year significantly impact the development of eggs, caterpillars, and pupae of Siberian moth, resulting in favorable conditions that encourage excessive reproduction. For instance, in 2006, the summer rainfall and average temperature had a substantial impact on the growth in population density and the expansion of the outbreak region ( $p < 0.005$ ). Furthermore, springtime dryness and rainfall have a significant impact on this moth species' range and population outbreak. The size and density of the region inhabited by this moth in 2006 and 2008 were significantly influenced by the total amount of spring precipitation ( $p < 0.04$  and  $p < 0.02$ ). This trend persisted into 2009. The warm season or summer average temperature ( $p < 0.001$ ), fall average temperature ( $p < 0.008$ ), and spring precipitation ( $p < 0.007$ ) all had a substantial impact on this pattern. Key factors impacting this trend included the average temperature during the warm season or summer ( $p < 0.001$ ), the average temperature in the fall ( $p < 0.008$ ), and the amount of spring precipitation ( $p < 0.007$ ).

To model the climatic parameters most affecting reproduction, the model with a combination of wet season temperature, wet season precipitation, elevation, and frost is most suitable (**Table 3**).

The annual temperature and precipitation are the key factors in the most appropriate model for this species' population growth, according to the findings of preceding studies [14], [15], [18], and [19]. A significant correlation exists between the average temperature and total precipitation in 2011 ( $p < 0.001$ ) and the spread and population growth of the Siberian moth from 2005 to 2018. The distribution of this moth is highly correlated with winter precipitation ( $p < 0.016$ ) and spring precipitation ( $p < 0.0002$ ), in addition to the previously listed parameters. The parallel findings were observed in Germany during the *Dendrolimus pini* outbreak. There, during the flight period in July of an outbreak year, the average temperature was noted to be higher than in a non-outbreak year. Additionally, for the developmental stages from the first to third instar (August–October,  $P < 0.05$ ) and from the third to seventh instar period (March–June,  $P < 0.001$ ), temperatures were elevated in the pre-outbreak years [22].

Distribution and Trends of Outbreaks for the Siberian Moth. We calculated how the distribution and hotspot of the Siberian moth might shift with an increase in the temperature of 2.50°C and 4.50°C, respectively, from the current level, based on the distribution, hotspot, and other data from 2006 to 2018 (**Fig. 6**).

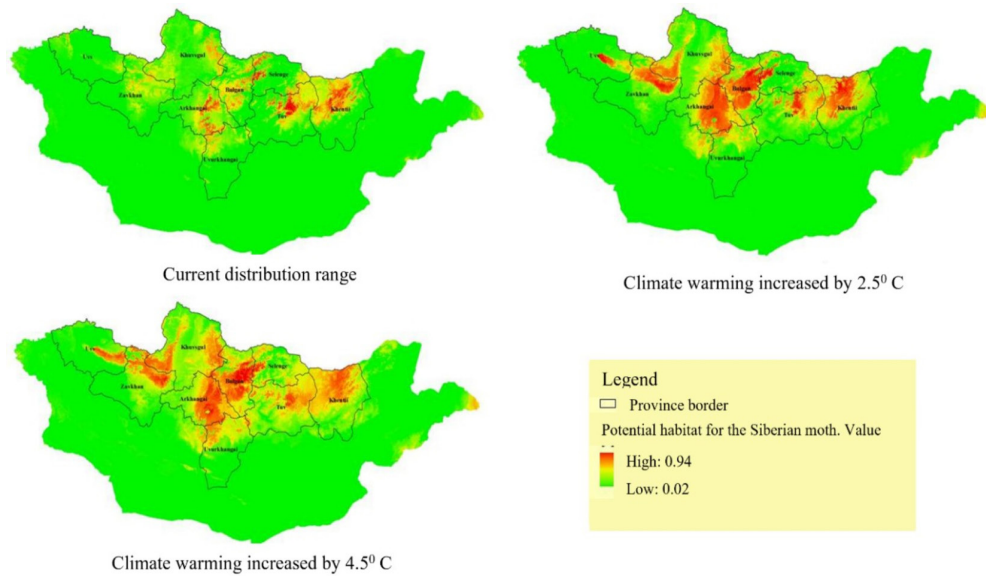
In our analysis, we discussed the range of the present distribution and predicted how a temperature rise might shift this range. According to modeling data, a temperature rises of 2.5°C, the Siberian moth's current distribution is expected to expand into the Hyangan Mountains and the mountain ranges of Khuvsgul, Khangai, and Khenti. The best indicator of distribution and range-shifting is the average annual temperature. Thus, the modeling technique demonstrates that the distribution and reproduction rates of Siberian moths are influenced by temperature and precipitation (**Fig. 6**).

We used a continuous series of data on the hotspot areas and the CCCMA A2A model of the IPCC's Fourth Report until 2040 to anticipate the future distribution and

**Table 3.** Combinations of bioclimatic factors influencing Mongolia's Siberian moth outbreak

Model name	AIC value	$\Delta AICc$	k	Loglike	-Loglike
°(mean temperature of wettest season + precipitation of wettest quarter) + (altitude+permafrost)	70983.92	0	5	-35487	70973.92
°(mean temperature of warmest quarter + precipitation of wettest season) + (altitude+permafrost)	70984.73	0.81	5	-35487.4	70974.73
°(mean temperature of wettest quarter + precipitation of wettest months) + (altitude+permafrost)	70984.99	1.07	5	-35487.5	70974.99

Explanation: k\* - number of parameters

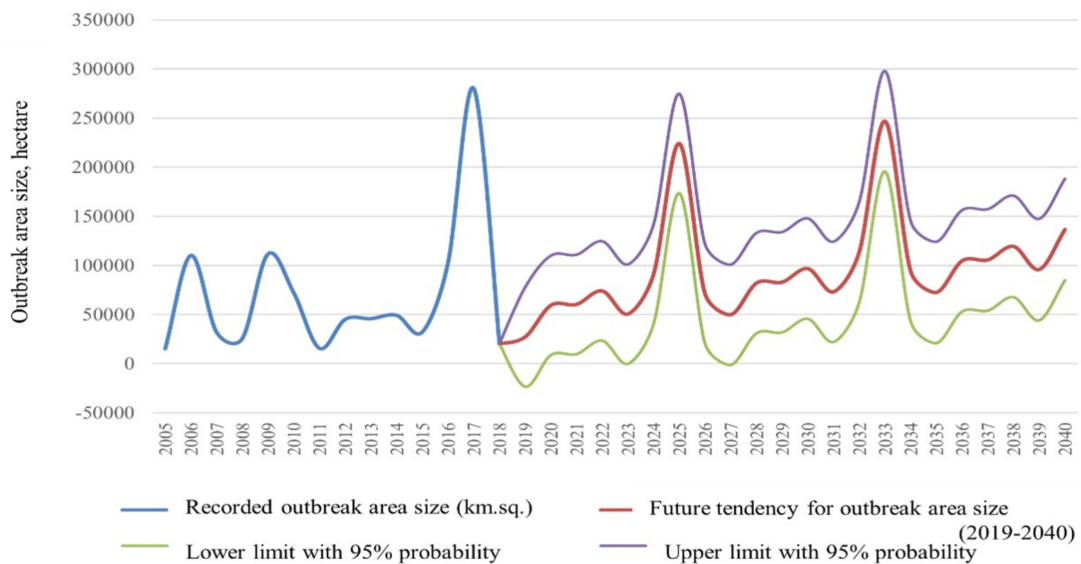


**Fig. 6.** Trends for the future of Siberian moth geographical range

outbreak range of the Siberian moth. Future trends for the Siberian moth are predicted using data on the moth’s distribution and outbreak range from 2005 to 2018 in Mongolia (**Fig. 7**).

The Siberian moth population dynamics and tendencies are depicted in Fig. 7. It is expected to peak in 2024–2026 and 2032–2034. Consistent with the findings of earlier studies, these outbreaks are expected

necessary for trustworthy simulations. While certain weather variables play main role to the overpopulation of Siberian moths, other factors also play a part, including the food, populations of parasites and predators as well as the moths’ capacity to flight from the outbreak location to other areas. The pest moves from damaged stands, which are most favorable for its development, both during an outbreak peak and collapse of the population [17]. The



**Fig. 7.** Projected shifts in Siberian moth outbreak areas from 2019 to 2040

to last for two to three years, with 7–8-year intervals in between. Since Siberian moth outbreaks are cyclical, these findings may help with early damage prevention management strategies. Based on 14 years of data, these parameters had a significant impact on the Siberian moth outbreak, indicating that these parameters are

outbreaks won’t start without mating. The Siberian moth displays high migratory activity (about 100 km) [19]. The rate of the spread also depends on the duration, location and number of arrivals.

## References

- [1] J. Puntsagdulam, D. Altanchimeg, D. Enkhnasan, B. Ganzorig. "Forest insects of Mongolia". Admon Print LLC. Ulaanbaatar. 316p. 2020.
- [2] Ch. Dugarjav. "Larch Forest of Mongolia". Bembu Foundation. Ulaanbaatar. 318p. 2006.
- [3] D. Dagvadorj, L. Natsagdorj, J. Dorjpurev, and B. Namkhainyam. Mongolia: Assessment Report on Climate Change. MNET, Ulaanbaatar, Mongolia. 2009.
- [4] B. Boldgiv. Some issues of climate change and human development in Mongolia. Report on Human development of Mongolia. 2011.
- [5] EPPO. Data sheets on quarantine pests: *Dendrolimus sibiricus* and *Dendrolimus superans*. EPPO Bull 35:390–395. 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.2005.00878.x>
- [6] Pal'nikova, E.N., Meteleva, M.K., and Sukhovol'skii, V.G., Influence of modifying factors on population dynamics of forest insects and mass reproduction bursts, *Lesovedenie*, 2006, no. 5, pp. 29-35.
- [7] Kharuk, V.I., Ranson, K.J., and Fedotova, E.V., Spatial pattern of Siberian silkmoth outbreak and taiga mortality, *Scand. J. For. Res.*, 2007, vol. 22, no. 6, pp. 531–536.
- [8] T. Rafoss, D. Flø D, Sundheim L, Wendell M, Brodal G, Ergon Å, Magnusson C, Sletten A, Solheim H, Tronsmo AM. Pest risk assessment of *Dendrolimus sibiricus* and *Dendrolimus superans*. In: Opinion of the Panel on Plant Health of the Norwegian Scientific Committee for Food and Environment, p 68 VKM report 2018:08, ISBN: 978–82–8259-305-2, ISSN: 2535–4019.
- [9] F. Daniel, T. Rafoss, M. Wendell, L. Sundheim. "The Siberian moth (*Dendrolimus sibiricus*), a pest risk assessment for Norway". *Forest Ecosystems* 7:48. 2020. <https://doi.org/10.1186/s40663-020-00258-9>.
- [10] I. N. Pavlov, Y. A. Litovka, D. V. Golubeva, S. A. Astapenko, P. V. Chromogin. New Outbreak of *Dendrolimus sibiricus* Tschetv. in Siberia (2012–2017): Monitoring, Modeling and Biological Control. ISSN 1995-4255, *Contemporary Problems of Ecology*, 2018, Vol. 11, No. 4, pp. 406–419. © Pleiades Publishing, Ltd., 2018.
- [11] I. V. Kozhanchikov. *Orgyidae*. Leningrad: Acad. Sciences of the USSR, ill.; 25 cm. Fauna of the USSR. No. 42. Lepidoptera / Ed. acad. E. N. Pavlovsky; T. 12: 581.1950.
- [12] J. Steven Phillips, P. Robert P. Anderson, and E. Robert Schapire. "Maximum entropy modeling of species geographic distributions". *Ecological Modelling*. Vol. 190. 231–259. 2006.
- [13] E. Jane, J. Steven Phillips, H. Trevor, D. Miroslav, E. Yung Chee, and J. Colin Yates. "A statistical explanation of MaxEnt for ecologists". *Diversity Distrib.* 17, 43–57. Nov. 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- [14] V.P. Grechkin. "The main harmful insects of the forests of Mongolia." In the book: Interuniversity conference. for forest protection. V.(2):20-23. Moscow. 1958.
- [15] D. Enkhnasan, D. Altanchimeg, Ts. Byambasuren, Ts. Erdenechimeg, Ch. Bat-Olziy. "Study of harmful insects of Khentii mountain range". Proceedings of the seminar on the multidisciplinary study of the eco-environment. pp. 50-63. Department of Meteorological and Environmental Analysis. Ulaanbaatar. 2013.
- [16] L.P. Rysin. *Siberian Stone Pine Forests of Russia*; KMK Publishing: Moskow, Russia, 2011. ISBN 978-5-87317-771-4.
- [17] D.A. Demidko, A.A.Goroshko, O.A. Slinkina, P.V. Mikhaylov, S.M. Sultson. The Role of Forest Stands Characteristics on Formation of Exterior Migratory Outbreak Spots by the Siberian Silk Moth *Dendrolimus sibiricus* (Tschetv.) during Population Collapse. *Forests*, 14. 1078. 2023. <https://doi.org/10.3390/f14061078>
- [18] A.I. Vorontsov. "Forest entomology". Moscow. 383p. 1982.
- [19] A.S. Rozhkov "Siberian moth". Publishing house of the USSR Academy of Sciences. Moscow. 175p. 1965.
- [20] Y. N. Baranchikov, M.E. Montgomery. Chapter XXXVI. In: *Siberian Moth, the use of classical biological control to preserve forests in North America*, pp 383–391. 2014.
- [21] D. Enkhnasan, D. Altanchimeg. "Review of forest pest study of Mongolia and climate influence on their outbreak". In the publication dedicated to the 30th anniversary of the Ministry of Education and Culture. Volume III: 45-55. 2017.5
- [22] D. Ray, A. Peace, R. Moore, M. Petr, Y. Grieve, C. Convery, T. Ziesche. Improved prediction of the climate-driven outbreaks of *Dendrolimus pini* in *Pinus sylvestris* forests. *Forestry*, 2016. 0:1 –15, <https://doi.org/10.1093/forestry/cpw007>





## Сибирийн хүр эрвээхэйн (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.) амьдрах орчны загварчлал, олшролын цаашдын чиг хандлага

Даваадорж Энхнасан<sup>1,\*</sup> , Доржсүрэн Алтанчимэг<sup>1</sup> , Галсандорж Наранбаатар<sup>2</sup> ,  
 Галбадрах Майнжаргал<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Монгол Улс, Улаанбаатар, Шинжлэх ухааны академи, Биологийн хүрээлэн, Шувуу, шавж судлалын лаборатори

<sup>2</sup>Монгол Улс, Улаанбаатар, Шинжлэх ухааны академи, Биологийн хүрээлэн, Хөхтний экологийн лаборатори

\*Холбоо барих зохиогч: enkhnasand@mas.ac.mn, <https://orcid.org/0000-0001-7918-8621>

**Хураангуй.** Монгол орны шилмүүст ойд ноцтой хөнөөл учруулдаг сибирийн хүр эрвээхэйн судалгааг Хэнтийн нуруунд голомт үүсгэсэн 14 талбайг сонгож хийв. Нийт талбайгаас хүрэнцрийн морфологи хэмжилтийг хийж, нягтшилыг тооцов. Мониторинг хийсэн нутгийн цаг агаарын мэдээ, дэлхийн уур амьсгалын Био-19 үзүүлэлт, хүрээлэн буй орчны давхарга бүхий бусад үзүүлэлтийг ашиглан сибирийн хүр эрвээхэйн амьдрах орчин болон ирээдүйн хэт олшролыг загварчлав. Сибирийн хүр эрвээхэйн тархалт, голомтод хур тунадасны нийлбэр хэмжээ, дундаж температурын үзүүлэлт ( $p < 0.001$ ), өвлийн хур тунадас ( $p < 0.016$ ), хаврын хур тунадас ( $p < 0.0002$ ) бодитой хамааралтай болохыг үр дүн харуулж байна. 2024-2026, 2032-2034 онд сибирийн хүр эрвээхэйн голомт үүсэх хандлагаас харахад хэт олшрол нь 7-8 жилийн хугацаатай, 2-3 жил үргэлжлэх прогноз батлагдав. Мөн агаарын температур  $2.5^{\circ}\text{C}$  ба  $4.5^{\circ}\text{C}$ -аар дулаарвал сибирийн хүр эрвээхэйн голомт нутагт хэрхэн өөрчлөгдөхийг загварчлав.

**Түлхүүр үгс:** Ойн хөнөөлт шавж, сибирийн хүр эрвээхэй, голомт, чиг хандлага

Хүлээн авсан 2023.10.31; хянан тохиолдуулсан 2023.12.13; зөвшөөрсөн 2023.12.25

© 2023 Зохиогчид. [CC BY-NC 4.0 лиценз](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

### Оршил

Навч, шилмүүсээр хооллогчид буюу филлофаг шавж нь модны фотосинтезийн гол эрхтний үйл ажиллагааг алдагдуулан, шим тэжээлт бодисын дутагдалт оруулснаар модыг сульдахад шууд нөлөө, улмаар доройтсон модонд техникийн хөнөөл үзүүлдэг модлог идэшт шавж амьдрах боломжийг бүрдүүлэхэд дам нөлөө үзүүлж, экологи, эдийн засагт ихээхэн хохирол учруулдаг [1]. Сүүлийн үед дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлттэй холбоотой ойн хөнөөлт шавжийн тархалтын хүрээ, хор хөнөөл үзүүлэх ойн сангийн талбай ихсэх хандлагатай байна [2]. Монгол орны уур амьсгалын дундаж төлөвт гарсан өөрчлөлтийг 1940-2005 оны хооронд гаргаж үзэхэд өвлийн температур багасч дулаарсан дүнтэй байна [3].

Дулаарч, хуурайших хандлага 1960 оноос хойш  $2.14^{\circ}\text{C}$  хэмээр нэмэгдсэн байна [4].

Сибирийн хүр эрвээхэй нь ОХУ, Казахстаны хойд хэсэг, Монгол, Хятадын шилмүүст ойд хамгийн

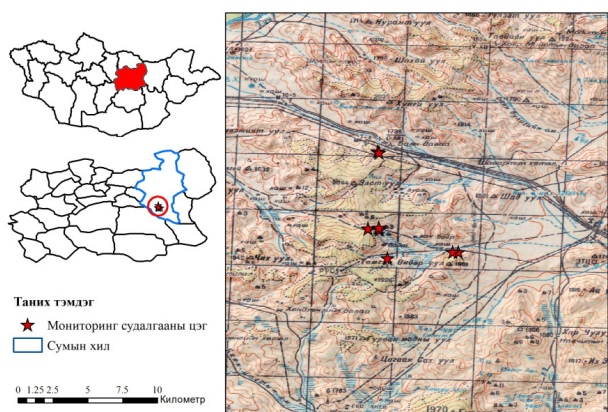
ноцтой хөнөөл учруулдаг зүйл юм [5]. Богино хугацаанд тоо огцом нэмэгдэж байгаа нь олон хүчин зүйлийн нийлбэрээр тодорхойлогддог [6]. Орчны эвдрэл доройтол ялангуяа хэт олшрол болох эхний үетэй давхцаж байгаа нь тогтоогдсон [7]. Энэ зүйл нь ОХУ-ын унаган зүйл бөгөөд Норвеги болон бусад Европын орнуудад байдаггүй. Норвегийн Хүнс, хүрээлэн буй орчны шинжлэх ухааны хорооноос 2018 онд энэ зүйл эрвээхэйн эрсдэлийн үнэлгээг нийтэлсэн [8]. Сүүлийн 30 гаруй жилийн хугацаанд Оросоос Норвегид амьд мод импортолж байгаагүй бөгөөд сибирийн хүр эрвээхэй тархсан бүс нутгаас холтос агуулсан шилмүүст модны түүхий эд одоогоор импортлоогүй байна [9]. Сибирийн хүр эрвээхэй бусад филлофаг зүйлийг бодоход нэг газраа 3-4 жил тасралтгүй голомт үүсгэн ой модонд дарамт үүсгэснээс тухайн хэсгийн ой дахин сэргэхгүйгээр хатаж хуурайших тохиолдол маш элбэг. Иймд энэ зүйл эрвээхэйн хөгжилд хүрээлэн буй орчны үзүүлэлтүүд чухал нөлөөтэйг судлаачид бүтээлдээ дурдсан байдаг. Сибирийн хүр эрвээхэйн ихэнхдээ

5 гуужилттай хүрэнцэр урт, дулаан намрын улиралд хангалттай хугацаанд хооллож өвөлждөг. Удаан үргэлжилсэн дулаан улирлын дараа хүйтний эрч эрс чангарч, улмаар цасан шуурга шуурсны улмаас доош хөрс рүү бууж амжаагүй хүрэнцрүүд модны титэм, мөчир дээр нэлээд хэсэг нь үхдэг [10].

Бид Хэнтийн нуруунд хамаарах нутгийн нягтшил өндөртэй газарт мониторинг судалгаа хийж уур амьсгалын үзүүлэлтүүдтэй уялдуулан амьдрах таатай орчныг нөхцөлдүүлэгч хүчин зүйлийг тодорхойлж, хэт олшролын цаашдын чиг хандлагыг загварчлахыг зорилоо.

### Судалгаа хийсэн газар нутаг

Хэнтий нуруунд хамаарах Төв аймгийн Эрдэнэ суманд мониторинг судалгааны 14 цэгийг сонгон авав (1-р зураг).

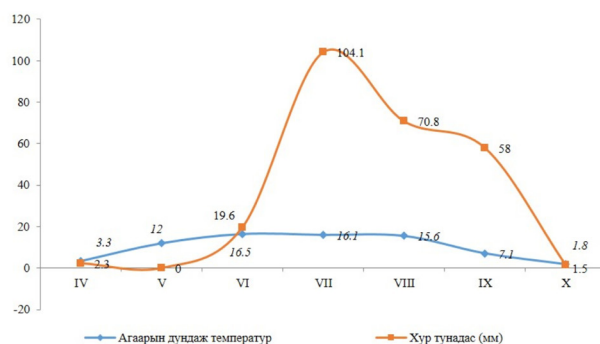


1-р зураг. Судалгаа хийсэн талбай

Төв аймгийн Эрдэнэ сум. Тус нутаг нь 2018 оны судалгаагаар Баян даваа, Тамгын өндөр, Ар жанчивлан, Сэрүүн булаг, Мухар, Дэлийн ам, Харх, Баруун баян, Нурамт, Улаанчулуут, Мухар, Замт, Хушингийн овооны ар, Хоёр мод, Модон даваа, Өндөр уул, Хөх даваа, Элстэй, Баянцогт, Баянхангай зэрэг газруудыг хамарсан нийт 4000 га газарт тархалттай, харин 6000 га-д сибирин хүр эрвээхэйн голомт үүсч байв.

Судалгаанд хамрагдсан Төв аймгийн Эрдэнэ сумын нутагт 2018 оны IV-X сарын хугацаанд цаг агаарын үзүүлэлтийг агаарын дундаж температур, хур тунадасны нийлбэр утгыг нэгтгэн харуулав (1-р график).

Олон зүйл эрвээхэйн хөврөлийн хөгжил эхлэх температурын доод хязгаар нь 10°C байх [11] ба тухайн жилийн хувьд мониторинг судалгаанд хамрагдсан Биндэр сумын нутагт агаарын температурын энэ хязгаар V сарын II арав хоногоос эхэлсэн байна.



1-р график. Эрдэнэ сумын цаг агаарын дундаж үзүүлэлт

### Материал, арга зүй

Сибирийн хүр эрвээхэйн хүрэнцрийн өсөлт, бойжилтын эрчимтэй үе шатыг тодруулах зорилгоор бид 14 цэгт мониторинг талбайг сонгон авч, модыг доргиох аргаар хүрэнцэр, хүүхэлдэйн тооллого хийн, цуглуулагдсан 8500 хүрэнцэрт хамгийн гол үзүүлэлт болох биеийн урт, дагзны өргөний хэмжилтүүдийг хийв.

Тархалтын загварчлалын арга зүй: Байгаль орчны янз бүрийн мэдээллийн эх сурвалжийг ашиглан эрвээхэйн тархалтад нөлөөлж буй улирлын шинж чанаруудыг тодорхойлох, энэ онцлогт тулгуурлан аль уур амьсгалын хүчин зүйл илүү нөлөөлж байгааг тодруулахын тулд 800-1000 м нарийвчлалтай уур амьсгалын мэдээг 19 хувьсагчтай мэдээлэлд үндэслэн боловсруулсан. Хур тунадас (Prec), хамгийн их температур (Tmax) ба хамгийн бага температур (Tmin) (1956 -2000) эсвэл BIO-19 (Bio 19) мэдээллийг IPCC-ийн албан ёсны мэдээллийн сангаас авч ашигласан. Уур амьсгалын мэдээллээс гадна энэ бүс нутгийн өндөрлөг, хур тунадасны дэвсгэр зургийг шүүлтүүр болгон ашигласан. Эдгээр хүчин зүйлсийн янз бүрийн хослолыг агуулсан нийт 180 загварыг ашиглан, тархалтын цэгэн мэдээнд үндэслэн тоймлон зураглаж загварчлах зорилготой Максент (MaxEnt-Maximum entropy modeling of species geographic distribution) программыг [12], [13] ашиглав.

Ойн хөнөөлт шавжийн хэт олшролын цаашдын чиг хандлагыг тогтоохдоо уур амьсгалын өөрчлөлтийн ирээдүйн төлөв байдлыг IPCC-н дөрөвдүгээр илтгэлийн CCCMA A2A загвараас сонгон авав. Мэдээллийг боловсруулахад газрын зургийн Arc-GIS 10.1, статистик боловсруулалтын Minitab® 16.1.1, R Studio, Statistica 7.0 программуудыг ашиглав.

### Үр дүн, хэлэлцүүлэг

Сибирийн хүр эрвээхэйн морфологи, өсөлт хөгжлийн онцлог.

Хавар, намрын судалгаагаар тоологдсон сибирь Эндрээс үзвэл хүрэнцрийн биеийн жин янз бүрийн хүр эрвээхэйн хүрэнцэр, хүүхэлдэйн тооллогын насанд харилцан адилгүй байдлаар 3.0-5.7 дахин, мэдээллийг нэгтгэн харуулав (**1-р хүснэгт**). харин биеийн урт 1.4-1.9 дахин нэмэгдэх бөгөөд **1-р хүснэгт**. Мониторинг цэгт хийгдсэн сибирийн хүр эрвээхэйн тооллогын үр дүн

#	Газрын нэр	Солбилцол		Өндөр	Тоологдсон тоо			Хүүхэлдэй
					Нэг мөчирт	50x50 см	Нэг модонд	
1	Тамган өндөр	47.70483	107.7059	1677	65L <sub>2-4</sub> 30L <sub>5-6</sub>	-	~ 4800	62
2	Тамган өндөр	47.70481	107.7022	1683	1L <sub>5-6</sub> 1L <sub>2-3</sub> 1L <sub>4-5</sub>	-	-	-
3	Антеннтай уул	47.70072	107.6603	1724	3L <sub>3-5</sub> 1L <sub>3-4</sub>	-	-	-
4	Мөөгөн өндрийн өвөр	47.72033	107.6546	1814	1L <sub>4-5</sub> 14L <sub>2-3</sub>	-	~ 720	1
5	Мөөгөн өндрийн өвөр	47.72033	107.6546	1814	24L <sub>2-3</sub> 15L <sub>3-4</sub> 2L <sub>4-5</sub>	-	-	11
6	Мөөгөн өндрийн өвөр	47.72033	107.6546	1814	6L <sub>2-3</sub> 2L <sub>4-5</sub>	-	-	1
7	Мөөгөн өндрийн өвөр	47.71908	107.655	1797	2L <sub>2-3</sub> 2L <sub>4-5</sub>	-	-	-
8	Мөөгөн өндрийн өвөр	47.71983	107.6477	1901		-	-	31
9	Мөөгөн өндрийн өвөр	47.71983	107.6477	1901	2L <sub>2-3</sub>	-	-	13
10	Мөөгөн өндрийн өвөр	47.71983	107.6477	1901	150L <sub>2-3</sub> 2L <sub>5-6</sub>	-	-	176
11	Баяндавааны ар	47.76953	107.654	1768	13L <sub>3-4</sub> 2L <sub>5-6</sub>	-	-	10
12	Баяндавааны ар	47.76886	107.6548	1789	35L <sub>2-3</sub> 6L <sub>5-6</sub>	-	~ 3000	14
13	Баяндавааны ар	47.76886	107.6548	1789	27L <sub>2-4</sub> 11L <sub>5-6</sub>	-	-	170
14	Мөөгөн өндрийн ар	47.72042	107.6547	1819		1L <sub>3-4</sub>	-	-
Нийт					418	1	8520	490

Судалгааны хугацаанд бүх насны хүрэнцэр тохиолдож байсан бөгөөд 7 сарын эхээр хүүхэлдэйлэлт эрчимтэй явагдаж байлаа. Хүрэнцрийн биеийн үндсэн хэмжилтүүдийг хийн 2-р хүснэгтэд үзүүлэв.

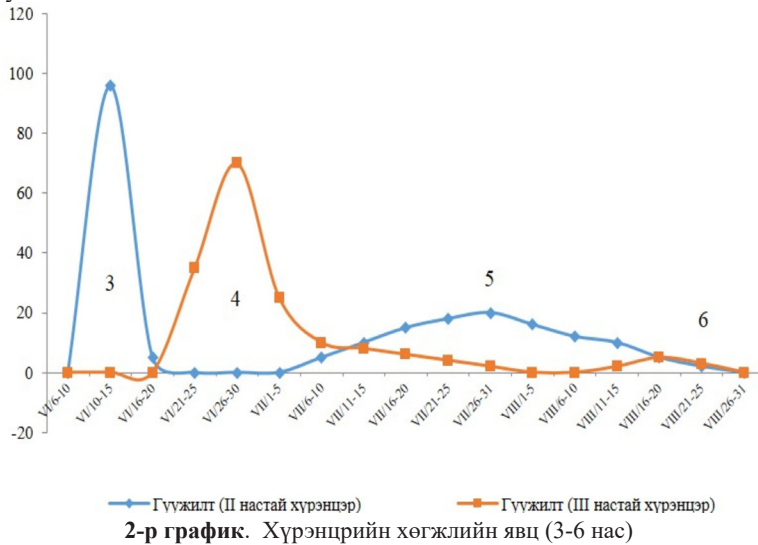
нийт гуужилтынхаа хугацаанд биеийн жин нь 1530 дахин, биеийн урт 12.5 дахин нэмэгддэг. Нэг настай хүрэнцрийн өсөлт харьцангуй хурдан явагдах бөгөөд 10 орчим хоногийн дараа биеийн жин 5.7%-иар

**2-р хүснэгт.** Сибирийн хүрийн янз бүрийн насны хүрэнцрийн биеийн хэмжилтүүд

Нас	Жин, мг			Биеийн урт, мм			Дагзны өргөн, мм		
	Дундаж Үнэлгээ	Дээд утга	Дээд утга	Дундаж Үнэлгээ	Дээд утга	Дээд утга	Дундаж Үнэлгээ	Дээд утга	Дээд утга
I	2.8	3.1	2.4	5.9	7	5	1.1	1.2	0.9
II	16	20	13	11	14	8	1.5	1.56	1.3
III	66.6	100	50.2	19	22.5	17	2.0	2.1	1.8
IV	264	380	140	29.2	34	26	2.9	3.2	2.4
V	781	1790	410	39.8	51	35	3.95	4.2	3.9
VI	4286	6930	1470	74	88	62	5.8	6.3	5.2

нэмэгдэж байв. Ийнхүү хоёр настай хүрэнцэр болоход биеийн жин нэмэгдэн, анхны гуужилт явагдах хугацаа нь газар бүр харилцан адилгүй байдаг байна.

Судалгааны үед хүрэнцрийн бойжилт (2-р график)-ыг уур амьсгалын үзүүлэлтүүдтэй харьцуулан үзье. Хаврын мониторинг судалгаагаар 2 настай хүрэнцэр нийт хүрэнцрийн 87.2%-ийг эзэлж байсан бөгөөд тэдгээрийн өсөлт хөгжил, гуужилтыг харуулсан графикаас үзвэл 2 настай хүрэнцрийн 95 хувь агаарын дундаж температур 19.6°C, хур тунадасны нийлбэр 16.5 мм орчим байсан 6-р сарын 10-15-ы хооронд гуужиж байв.



Харин 3-4 настай хүрэнцрийн гуужилт 6-р сарын дундаас эхлэн оргил үе нь мөн сарын сүүлээр 4 настай хүрэнцрийн 5 настай хүрэнцэрт шилжих гуужилтын оргил үе 7-р сарын сүүлээр (3-р график) (агаарын дундаж температур 16.1°C, хур тунадасны нийлбэр 104.1 мм байх үед), 6 нас руу шилжих гуужилтын оргил үе агаарын температур 15.6°C, хур тунадасны нийлбэр утга 104.1 байх үед буюу 8-р сарын сүүлээр болж байлаа. Үүнээс харвал тухайн нутгийн уур амьсгалын үзүүлэлт хүрэнцрийн өсөлт бойжилтод

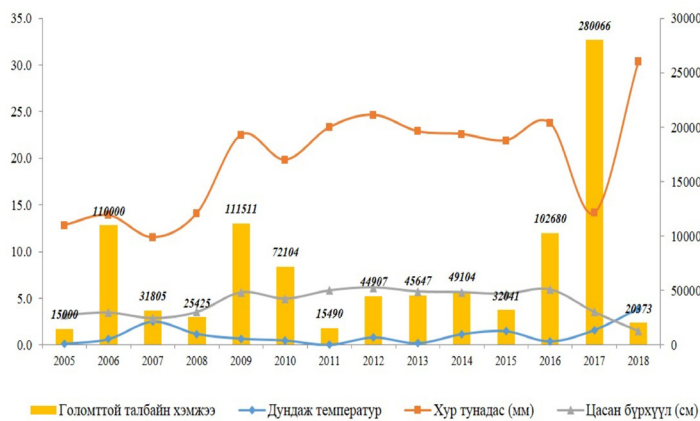
хамгийн ихээр нөлөө үзүүлдэг гэсэн эрдэмтдийн судалгааны үр дүнг баталгаажуулж байна.

**Сибирийн хүр эрвээхэйн (*Dendrolimus sibiricus* Tschetw.) амьдрах орчны загварчлал**

Сибирийн хүр эрвээхэйн хөгжлийн цикл нь 2 янз байдаг. Тархалтын бүс нутгийн өмнөд хэсэгт 1 жил, түүнээс хойшилж өндөр уулын ойд заримдаа 3 хүртэл жилийн генераци тохиолдоно. Нэг буюу хоёр жилийн генераци үүсэхэд дулаан хамгийн гол үүрэгтэй. Жилийн нийт температур 2100-2200°C болоход нэг жилийн; харин буурч 1800-1900°C

болоход 2 жилийн; 2000°C үед холимог генерацитай болно [14]. Монгол орны нийт ойн санд сибирийн хүр эрвээхэйн 2 жилийн генерацитай популяци тохиолддог [14]. Богдхан уулын Нүхтийн аманд хэт олширсон популяцид хийсэн 3 жилийн судалгаагаар сибирийн хүр эрвээхэй 2 жилийн генераци байгаа нь тогтоогдсон [15].

Энэ зүйл эрвээхэй нь хур тунадас багатай, гантай жилийн дараах жилүүдэд тоо толгой нь хэт олширч хөнөөл учруулдаг төдийгүй хэт олшрол нь



**3-р график.** Судалгаа хийгдсэн нутгийн уур амьсгалын зарим үзүүлэлт болон сибирийн хүр эрвээхэйн голомттой талбай (он/га) Эх сурвалж: ОСХТ-ийн тайлан, 2018

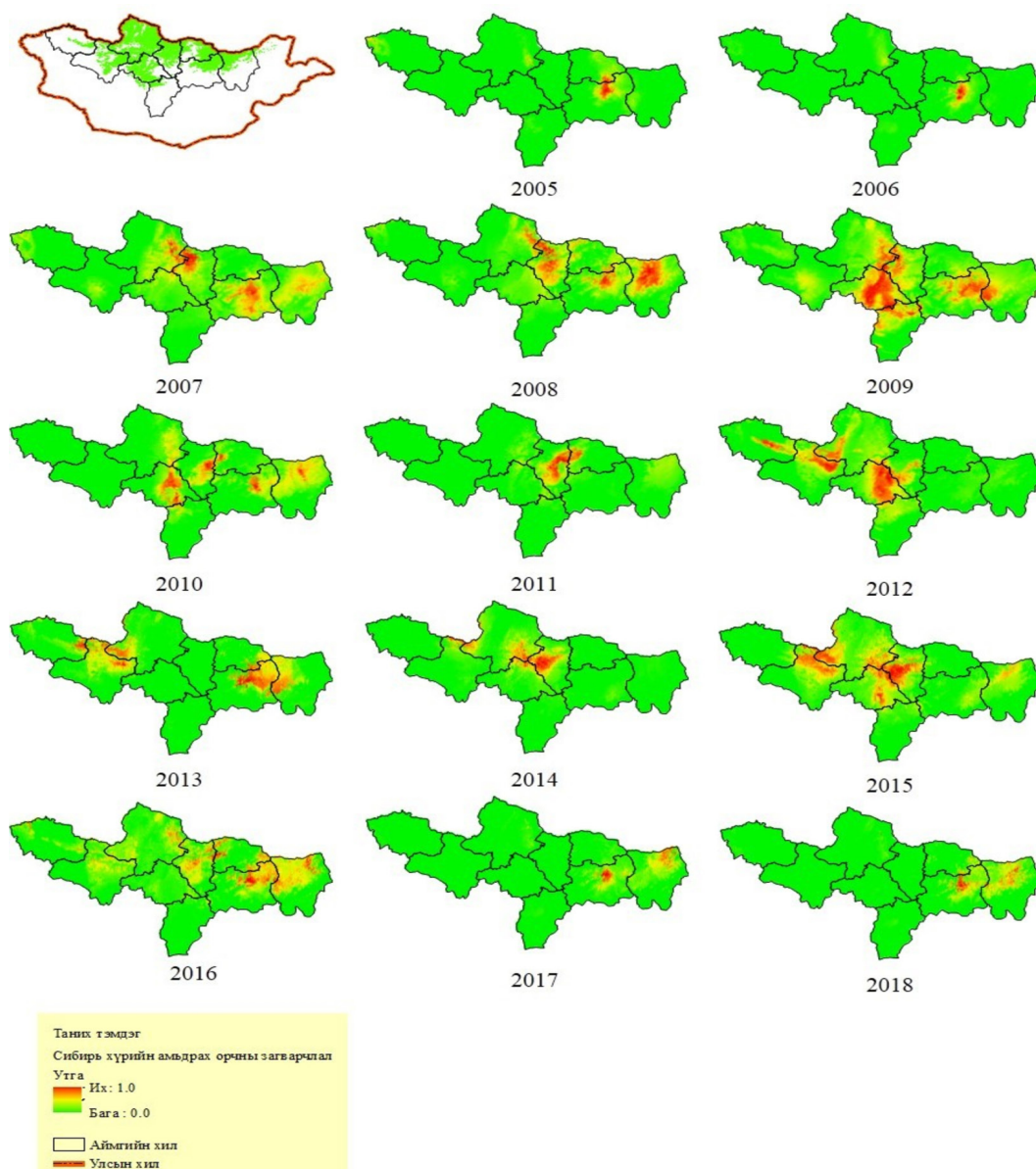


орчны бусад хүчин зүйлүүдтэй холбоотой нь олон судалгааны үр дүн харуулж байна. Тухайлбал, ОХУ-д 2015 оны 5-р сард хийсэн цаг агаарын судалгаагаар чийгийн хангамж муу байгааг харуулсан бөгөөд олон жилийн дундаж температурын дундаж хэмжээ ихэссэн үр дүнтэй байна [10]. Түүнчлэн, сибирийн хүр эрвээхэйн өвөлжих хүрэнцэр хэт чийглэг хөрсөнд бөөнөөр үхдэг тул хөрсний өндөр чийгшлээс зайлсхийдэг (хөвд ба намаг) [16], [17].

Бид ОСХТ-өөс гаргасан сибирь хүр эрвээхэйн голомттой талбайн хэмжээг уур амьсгалын зарим үзүүлэлттэй харьцуулан үзлээ (**3-р график**).

Үүнээс үзвэл 2009-2017 оны хооронд тархалт голомттой талбайн хэмжээ бага байхад хур тунадас, цасан бүрхүүлийн хэмжээ өсөөд харьцангуй тогтмол байжээ. Харин 2016 оноос цасан бүрхүүл огцом буурч, дундаж температур өсөх хандлагатай энэ үед сибирь

хүр эрвээхэйн голомттой талбайн хэмжээ бусад онуудтай харьцуулахад огцом өссөн байна. Үүнээс үзэхэд хэт олшролын намжмал үе нь өвөл, зуны хур тунадас харьцангуй тогтмол үед, 8 жил үргэлжилдэг буюу хур тунадасны тогтмол байхтай давхцаж байна. 2016 онд ОХУ-д хийсэн судалгааны хаврын тооллогоор сибирийн хүр эрвээхэйн популяцийн үнэмлэхүй нягтшил нэг модонд 42-448 бодгаль хооронд хэлбэлзэж байв [10]. Цаашлаад Енисейн ойн бүсийн тэгш хэсэгт 2014-2017 онд *D.sibiricus*-ийн хэт олшрол болсон [17] хугацаа манай орныхтой давхцаж байна. Монгол орны ой бүхий нутагт 2005-2018 онд сибирийн хүр эрвээхэйн тархалт, голомттой нутгийн цэгэн мэдээг он дарааллаар харьцуулахад үндсэн голомт, түүний хэмжээ жил бүр өөрчлөгджээ (**2-р зураг**).



**2-р зураг.** Сибирийн хүр эрвээхэйн 2005-2018 оны тархалт, голомтын байдал.

Тухайлбал, хур тунадас багатай жилүүд, 2007, 2008, 2014, 2015 оноос улбаалан, тэдгээрийн дараах жилүүдэд тархалт, голомттой талбай нэмэгджээ.

Сибирийн хүрийн тархалт, голомтын цэгэн мэдээ, голомттой талбайн хэмжээ дээр тулгуурлан, бид уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн хамаарлыг гаргаж үзэхэд жилийн дундаж агаарын температур, жилийн максимум агаарын температур, минимум температур, жилийн хур тунадас зэрэг уур амьсгалын хүчин зүйлүүд нөлөөтэй бөгөөд жилийн хур тунадас, агаарын максимум температур хамгийн их нөлөөтэй байв. Хэрэв тухайн жил нь хур тунадас багатай, хуурайшилт ихтэй, гандуу байвал сибирийн хүрийн өндөг, хүрэнцэр, хүүхэлдэйн бойжилтод нөлөөлснөөр үржих таатай нөхцөл бүрдэж хэт олшрол болдог нь харагдаж байна. Тухайлбал, 2006 оны сибирийн хүр эрвээхэйн тоо толгойн олшрол, голомт нутгийн хэмжээнд тухайн жилийн зуны хур тунадас, дундаж температур ихээхэн нөлөөлжээ ( $p < 0.005$ ). Түүнчлэн хаврын хур тунадас, хуурайшилт нь уг зүйл эрвээхэйн олшрол тархалтад чухал нөлөөтэй байна. 2006, 2008 оны хаврын нийлбэр хур тунадасны хэмжээ тухайн жилийнхээ сибирийн хүр эрвээхэйн голомттой талбайн хэмжээ, нягтшилд чухал нөлөө үзүүлсэн байна ( $p < 0.04$  ба  $p < 0.02$ ). Энэ зүй тогтол 2009 онд мөн илэрсэн бөгөөд тус оны хаврын улирлын хур тунадас ( $p < 0.007$ ), дулаан улирлын буюу зуны дундаж температур ( $p < 0.001$ ), намрын дундаж температур ( $p < 0.008$ ) зэрэг мөн ихээхэн нөлөөлжээ.

Сибирь хүр эрвээхэйн олшролд уур амьсгалын ямар үзүүлэлтүүд илүү нөлөөлж буйг загварчлан гаргахад чийглэг улирлын температурын дундаж, чийглэг улирлын хур тунадас, өндөршил, цэвдэг гэсэн хослол бүхий загвар нь хамгийн тохиромжтой; дулаан улирлын температурын дундаж, чийглэг улирлын хур тунадас, өндөршил, цэвдэг болон чийглэг улирлын температурын дундаж, чийглэг сарын хур тунадас, өндөршил, цэвдэг гэсэн хоёр хослол нь боломжит загвар байв (**3-р хүснэгт**).

**3-р хүснэгт.** Сибирийн хүр эрвээхэйн олшролд нөлөөлж буй уур амьсгалын хүчин зүйлсийн хослолууд

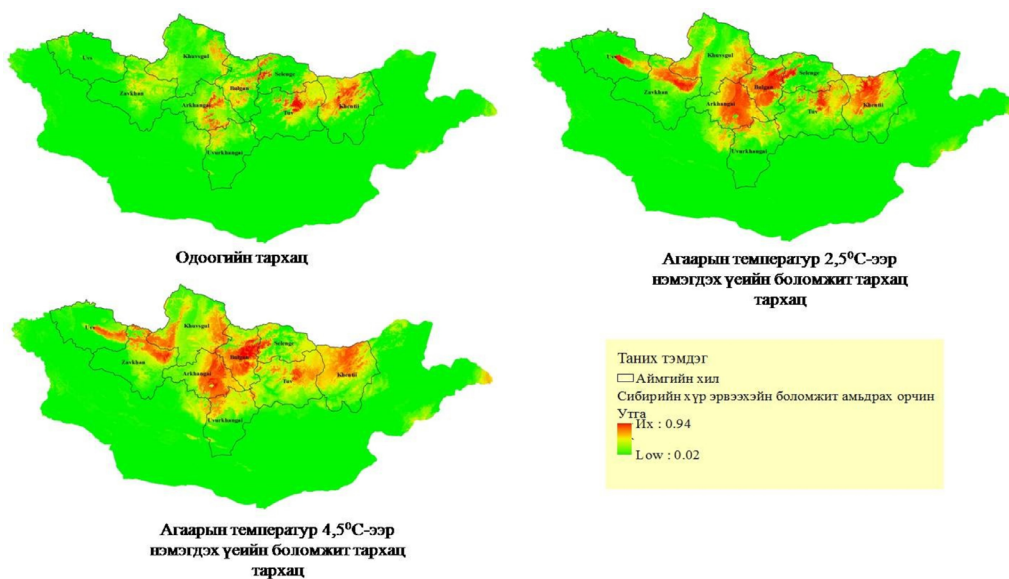
Загварууд	AIC утга	$\Delta AIC_c$	k (Параметрийн тоо)	Loglike	-Loglike
°(чийглэг улирлын температурын дундаж+чийглэг улирлын хур тунадас)+(өндөршил+цэвдэг)	70983.92	0	5	-35487	70973.92
°(дулаан улирлын температурын дундаж+чийглэг улирлын хур тунадас)+(өндөршил+цэвдэг)	70984.73	0.81	5	-35487.4	70974.73
°(чийглэг улирлын температурын дундаж +чийглэг сарын хур тунадас)+(өндөршил+цэвдэг)	70984.99	1.07	5	-35487.5	70974.99

Уг зүйл эрвээхэйн олшролд хамгийн тохиромжтой загвараас харахад бидний энэхүү үр дүн нь өмнөх судлаачид [14], [15], [18], [19]-ын тухайн жилийн хур тунадасны нийлбэр, жилийн температур гол нөлөөтэй гэсэн үр дүнг мөн баталж байна. Сибирийн хүр эрвээхэйн 2005-2015 оны тархалт, популяцийн олшролд ийм зүй тогтол илэрч байгааг 2011 оны хур тунадасны нийлбэр хэмжээ, дундаж температурын үзүүлэлт мөн тодорхойлж байна ( $p < 0.001$ ). Сибирийн хүр эрвээхэйн тархалтад дээр дурдсан хүчин зүйлээс гадна өвлийн хур тунадас ( $p < 0.016$ ), хаврын хур тунадас ( $p < 0.0002$ ) бодитой хамааралтай болохыг бидний үр дүн харуулж байна. Үүнтэй ижил үр дүн Германд нарсны хүр эрвээхэйд хийгдсэн судалгаагаар гарчээ. Хэт олшролын жилийн 7-р сарын нислэгийн үе дэх дундаж температур нь олшрол болоогүй жилээс өндөр байв. Хүрэнцрийн нэг гуужилтаас гурван гуужилттай үе шатанд (8-10-р сар,  $P < 0.05$ ) болон гурав дахь гуужилтаас долоо дахь гуужилт хүртэл (3-р сараас 6-р сар,  $P < 0.001$ ) олшрол болохын өмнөх жилүүдэд температур өндөр байжээ [22].

Сибирийн хүр эрвээхэйн (*Dendrolimus sibiricus* Tschetw.) тархалт, олшролын цаашдын чиг хандлага

Бид 2005-2018 оны тархалт, голомтын цэгэн мэдээ болон бусад мэдээнд тулгуурлан агаарын температур одоогийнхоосоо 2.5°C, 4.5°C-аар тус тус нэмэгдвэл сибирийн хүр эрвээхэйн тархалт, голомт хэрхэн өөрчлөгдөхийг гаргав (**3-р зураг**).

Загварчлалаас харахад сибирийн хүр эрвээхэйн тархалт нь температур 2.5°C-аар нэмэгдэхэд Хөвсгөл, Хангай, Хэнтийн гол нурууг түшин голомт нутаг нь тэлж хэвээр үлдэн, Хянганы уулсад тархалттай болох ба харин температур 4.5°C-аар нэмэгдэхэд дээрх уулсын систем төдийгүй Хянганы нуруунд голомт нутаг бий болж, улмаар салбар уулсаар тархалт, голомтын хүрээ нэмж тэлэх хандлагатай харагдаж байна.

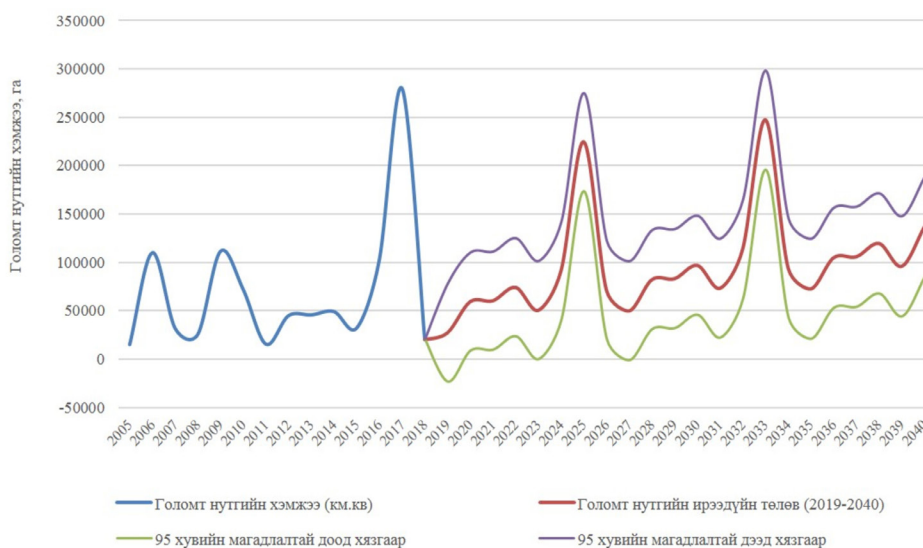


3-р зураг. Сибирийн хүр эрвээхэйн ирээдүйн тархалтын төлөв

Сибирийн хүр эрвээхэйн 2005-2018 оны тархалт, голомттой талбайн тасралтгүй цуваа мэдээнд үндэслэн 2040 он хүртэлх голомт үүсэх төлөвийг гаргалаа (4-р график).

Тус графикаас харахад 2024-2026, 2032-2034 онд сибирийн хүр эрвээхэйн голомт үүсэх хандлага харагдаж байна. Үүнээс дүгнэхэд хэт олшрол нь 7-8

эрвээхэйн хэт олшролд цаг агаарын хүчин зүйлүүд гол үүрэг гүйцэтгэж байгаа хэдий ч хоол тэжээл болох нөөц, махчин шимэгчийн популяци, цаашилбал голомттой хэсгээс эрүүл ой руу тархаж, нисэх чадвар зэрэг бусад хүчин зүйлс мөн нөлөөлдөг. Сибирийн хүр эрвээхэйн хэт олшролын оргил үе болон популяцийн буурах аль ч тохиолдолд гэмтсэн, идэгдсэн газраас



4-р график. Сибирийн хүр эрвээхэйн голомт нутгийн голомт нутгийн өөрчлөлт (2019-2040 он)

жилийн хугацаатай, 2-3 жил үргэлжлэх прогноз нь өмнөх судлаачдын судалгааны дүнтэй тохирч байна. Сибирийн хүр эрвээхэйн хэт олшрол болох ойрын хугацааг ийнхүү загварчилсны дагуу урьдчилан сэргийлэх арга хэмжээг төлөвлөх ач холбогдолтой.

Сибирийн хүр эрвээхэйн тархалт, голомтын 14 жилийн мэдээлэлд үндэслэн гаргасан дээрх хослолууд нь уг зүйл эрвээхэйн олшролд хамгийн их нөлөөлөх хүчин зүйл болохыг илтгэж байна. Сибирийн хүр

хооллож, бойжиход хамгийн тааламжтай хэсэг рүү нүүдэллэн очдог [17]. Үржилд орохгүйгээр хэт олшрол болох боломжгүй юм. Сибирийн хүр эрвээхэй нь маш хол зайд (100 км орчим) нисч, нүүдэллэх чадвартай нүүдлийн идэвхжил өндөртэй зүйл [19] бөгөөд тухайн газар нутагт тархах хурд нь хугацаа, байршил, нисч ирсэн популяци дахь бодгалийн тоо зэргээс хамаарна.

## Ашигласан бүтээл

- [1] J. Puntsagdulam, D. Altanchimeg, D. Enkhнасан, B. Ganzorig. “Forest insects of Mongolia”. Admon Print LLC. Ulaanbaatar. 316p. 2020.
- [2] Ch. Dugarjav. “Larch Forest of Mongolia”. Bemb Foundation. Ulaanbaatar. 318p. 2006.
- [3] D. Dagvadorj, L. Natsagdorj, J. Dorjpurev, and B. Namkhainyam. Mongolia: Assessment Report on Climate Change. MNET, Ulaanbaatar, Mongolia. 2009.
- [4] B. Boldgiv. Some issues of climate change and human development in Mongolia. Report on Human development of Mongolia. 2011.
- [5] EPPO. Data sheets on quarantine pests: *Dendrolimus sibiricus* and *Dendrolimus superans*. EPPO Bull 35:390–395. 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.2005.00878.x>
- [6] Pal’nikova, E.N., Meteleva, M.K., and Sukhovol’skii, V.G., Influence of modifying factors on population dynamics of forest insects and mass reproduction bursts, Lesovedenie, 2006, no. 5, pp. 29-35.
- [7] Kharuk, V.I., Ranson, K.J., and Fedotova, E.V., Spatial pattern of Siberian silkmouth outbreak and taiga mortality, Scand. J. For. Res., 2007, vol. 22, no. 6, pp. 531–536.
- [8] T. Rafoss, D. Flø D, Sundheim L, Wendell M, Brodal G, Ergon Å, Magnusson C, Sletten A, Solheim H, Tronsmo AM. Pest risk assessment of *Dendrolimus sibiricus* and *Dendrolimus superans*. In: Opinion of the Panel on Plant Health of the Norwegian Scientific Committee for Food and Environment, p 68 VKM report 2018:08, ISBN: 978–82–8259-305-2, ISSN: 2535–4019.
- [9] F. Daniel, T. Rafoss, M. Wendell, L. Sundheim. “The Siberian moth (*Dendrolimus sibiricus*), a pest risk assessment for Norway”. Forest Ecosystems 7:48. 2020. <https://doi.org/10.1186/s40663-020-00258-9>.
- [10] I. N. Pavlov, Y. A. Litovka, D. V. Golubeva, S. A. Astapenko, P. V. Chromogin. New Outbreak of *Dendrolimus sibiricus* Tschetv. in Siberia (2012–2017): Monitoring, Modeling and Biological Control. ISSN 1995-4255, Contemporary Problems of Ecology, 2018, Vol. 11, No. 4, pp. 406–419. © Pleiades Publishing, Ltd., 2018.
- [11] I. V. Kozhanchikov. Orgyidae. Leningrad: Acad. Sciences of the USSR, ill.; 25 cm. Fauna of the USSR. No. 42. Lepidoptera / Ed. acad. E. N. Pavlovsky; T. 12: 581.1950.
- [12] J. Steven Phillips, P. Robert P. Anderson, and E. Robert Schapire. “Maximum entropy modeling of species geographic distributions”. Ecological Modelling. Vol. 190. 231–259. 2006.
- [13] E. Jane, J. Steven Phillips, H. Trevor, D. Miroslav, E. Yung Chee, and J. Colin Yates. “A statistical explanation of MaxEnt for ecologists”. Diversity Distrib. 17, 43–57. Nov. 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- [14] V.P. Grechkin. “The main harmful insects of the forests of Mongolia.” In the book: Interuniversity conference. for forest protection. V.(2):20-23. Moscow. 1958.
- [15] D. Enkhнасан, D. Altanchimeg, Ts. Byambasuren, Ts. Erdenechimeg, Ch. Bat-Olziy. “Study of harmful insects of Khentii mountain range”. Proceedings of the seminar on the multidisciplinary study of the eco-environment. pp. 50-63. Department of Meteorological and Environmental Analysis. Ulaanbaatar. 2013.
- [16] L.P. Rysin. Siberian Stone Pine Forests of Russia; KMK Publishing: Moskow, Russia, 2011. ISBN 978-5-87317-771-4.
- [17] D.A. Demidko, A.A.Goroshko, O.A. Slinkina, P.V. Mikhaylov, S.M. Sultson. The Role of Forest Stands Characteristics on Formation of Exterior Migratory Outbreak Spots by the Siberian Silk Moth *Dendrolimus sibiricus* (Tschetv.) during Population Collapse. Forests, 14. 1078. 2023. <https://doi.org/10.3390/f14061078>
- [18] A.I. Vorontsov. “Forest entomology”. Moscow. 383p. 1982.
- [19] A.S. Rozhkov “Siberian moth”. Publishing house of the USSR Academy of Sciences. Moscow. 175p. 1965.
- [20] Y. N. Baranchikov, M.E. Montgomery. Chapter XXXVI. In: Siberian Moth, the use of classical biological control to preserve forests in North America, pp 383–391. 2014.
- [21] D. Enkhнасан, D. Altanchimeg. “Review of forest pest study of Mongolia and climate influence on their outbreak”. In the publication dedicated to the 30th anniversary of the Ministry of Education and Culture. Volume III: 45-55. 2017.5
- [22] D. Ray, A. Peace, R. Moore, M. Petr, Y. Grieve, C. Convery, T. Ziesche. Improved prediction of the climate-driven outbreaks of *Dendrolimus pini* in *Pinus sylvestris* forests. Forestry, 2016. 0:1 –15, <https://doi.org/10.1093/forestry/cpw007>