

Annotation. The work is devoted to the creation of models of the ranges of representatives of the mammoth faunal complex, based on the entropy principle in the GIS programs ArcGIS and MaxEnt.

Keywords: *habitat model, mammoth faunal complex, maximum entropy principle.*

Relevance: the research of mammoth fauna of the Late Pleistocene is one of the actual questions of modern paleobiology. Most scientists have not yet agreed on the question of which climate the mammoths lived in. Some scientists believe that the territory of modern Yakutia during the Late Pleistocene had a climate similar to that of the modern era, but with a warmer winter period. They base this statement on the presence in the mammoth fauna of such northern species as wild reindeer and musk buff. They even coined the term "tundrosteppe" to justify the term. Other scientists say that the climate was quite different, warmer, but also with a pronounced winter, more consistent with the climate of the territories of modern Eastern Europe and Central Asia. Disclosure of the Late Pleistocene climate theme will allow to solve many questions that have accumulated by this epoch.

Novelty. We used the maximum entropy method to reconstruct the climate of Yakutia in the Late Pleistocene epoch using the MaxEnt program, which is rarely found in studies of the climate of Yakutia.

The object of the study: the climate of the Late Pleistocene in the territory of modern Yakutia.

Subject of research: models of modern animal species included in the mammoth faunal complex.

Hypothesis: we believe that the ecological niches of animal species that were part of the “mammoth fauna” that lived on the territory of Yakutia remained unchanged, and changes in the boundaries of their ranges are associated with historical climate change. Thus, we assume that mammoths in Yakutia existed in a warmer climate than in the one in which Yakutia is currently located.

Goal — to create models of the habitats of animals included in the "mammoth fauna" on the territory of modern Yakutia.

Tasks:

1. Select modern mammals that lived together with the mammoth in the same territory during the Late Pleistocene epoch;
2. Create GIS maps of the point ranges of these animals;
3. Create geometric models of the habitats of these animals in the Max Ent program;
4. To analyze and compare the "ecological niches" of these animals with the modern climate of Yakutia.

The theoretical part:

The mammoth faunal complex is a faunal complex of mammals that lived in the Late (Upper) Pleistocene (100 - 10 thousand years ago) in the extratropical zone of Eurasia and North America in special biocenoses - tundrostepes, which existed throughout the glaciation and moved in accordance with changes in the glacier limits to the north or to the south.

The largest representative of the mammoth fauna (after which it was named) was the woolly mammoth (**Mammuthus primigenius** (Blum 1799)) - The northern elephant, which lived 300 to 10 thousand years ago over huge areas of Europe, Asia, and North America. It was covered with thick and very long black to dark brown wool with a wool length up to 70 to 80 cm. Bones of mammoths are found almost all over Siberia. The faunal complex also included species of ancient horses, woolly rhinoceros, bison, auroch, musk buffalo, yak, steppe bison, giant big-horned deer, red deer and reindeer, camel, antelope saiga, dzeren, elk, kulan, cave bear, cave lion, cave hyena, wolf, wolverine, Arctic fox, marmots, gophers, lemmings, hares, etc.

This composition of the mammoth fauna indicates that it evolved from the hipparion fauna, being its northern glacial variant. All animals of the mammoth fauna are characterized by adaptations to life in conditions of low temperatures, in particular by long and thick wool.

Ecological niche — this is a set of environmental factors within which a particular species of organisms lives, its place in nature, within which a given species can exist indefinitely. The term was introduced in 1927 by the British ecologist and zoologist Charles Elton.

The practical part:

Methodology. The following software was used to complete the project:

- **ArcGIS** – GIS programs used by us to create a GIS map of point areas;
- **MaxEnt** – in this program, we have created geomatic models of areas.

Stage 1: In the GIS programs of ArcGIS, using point area maps, as for example in pic. 1.1., 1.2., 1.3., we digitized the actual data and exported the recorded information into formats suitable for the MaxEnt program (ASCII).

Stage 2: From a publicly available resource (www.worldclim.org) we obtained the actual climate model in the form of a database, which is divided into 19 layers, each of which carries information on certain elements of climate (Fig. 2).

Next, we entered the data we received into MaxEnt: areal point data and climate model data. MaxEnt - this program estimates the distribution of suitable habitat conditions for the species under study. Entropy in informatics is a measure of unpredictability and uncertainty of information. For specification of climatic characteristics of "ecological niches" of some representatives of mammoth fauna we decided to use a method of maximum entropy, with the help of MaxEnt program.

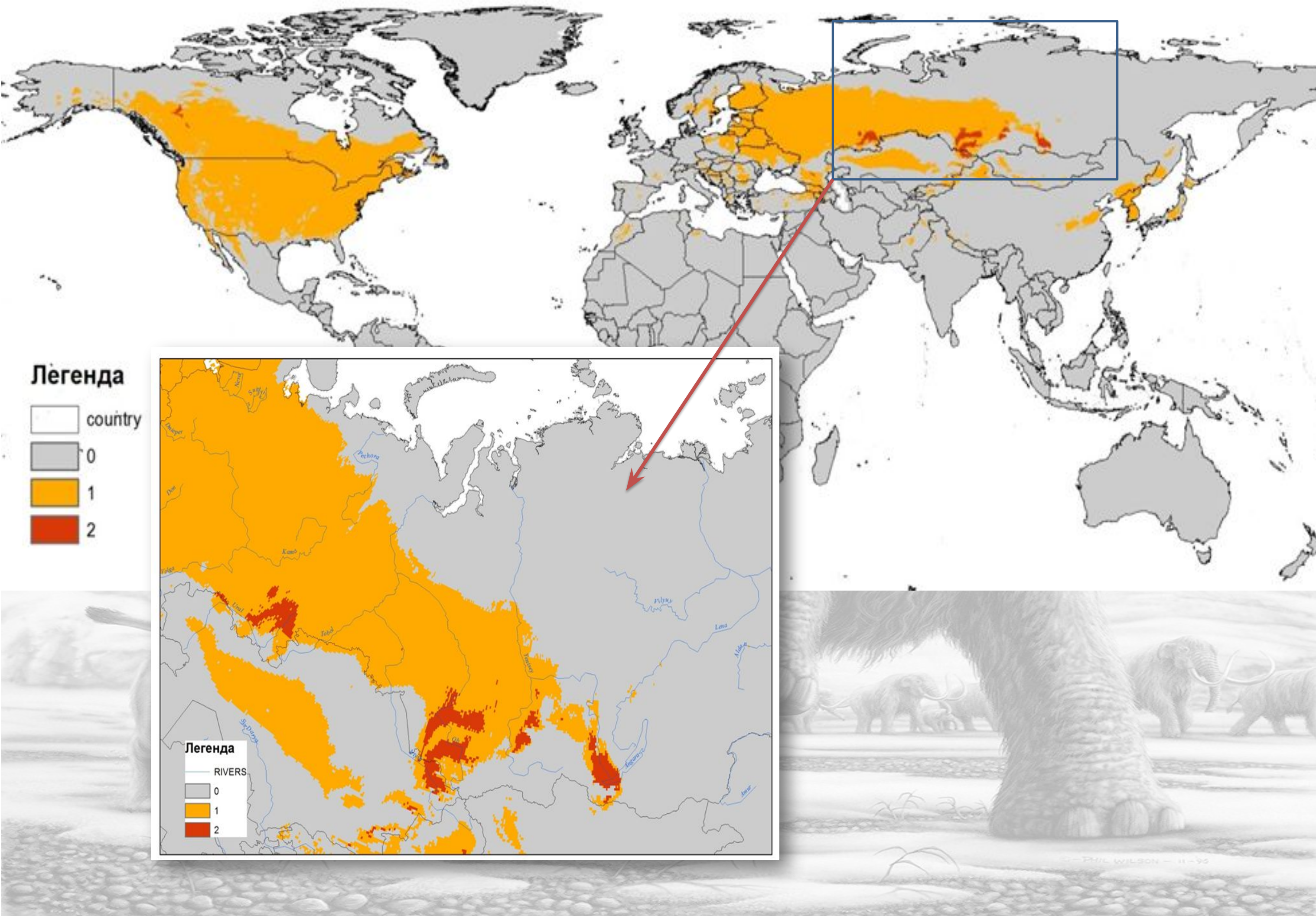
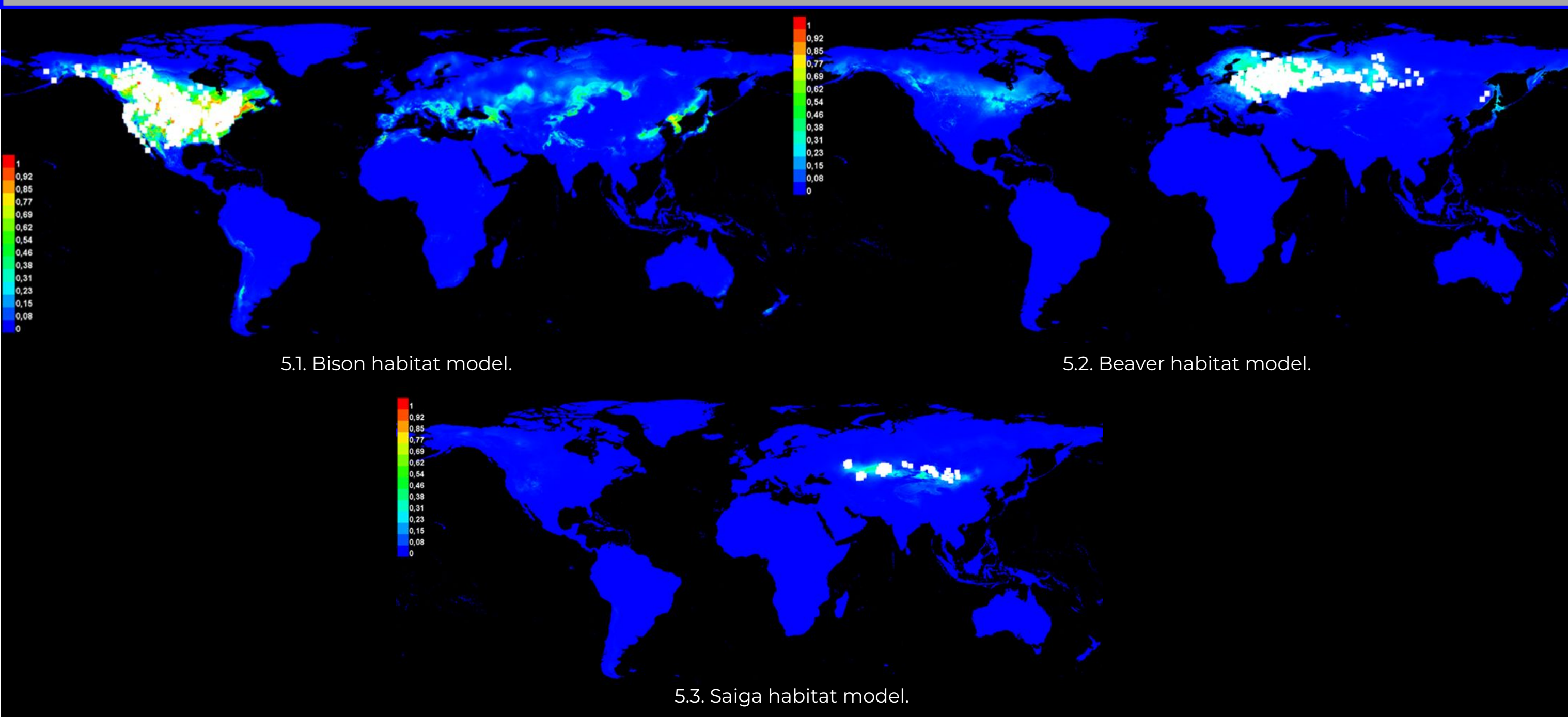
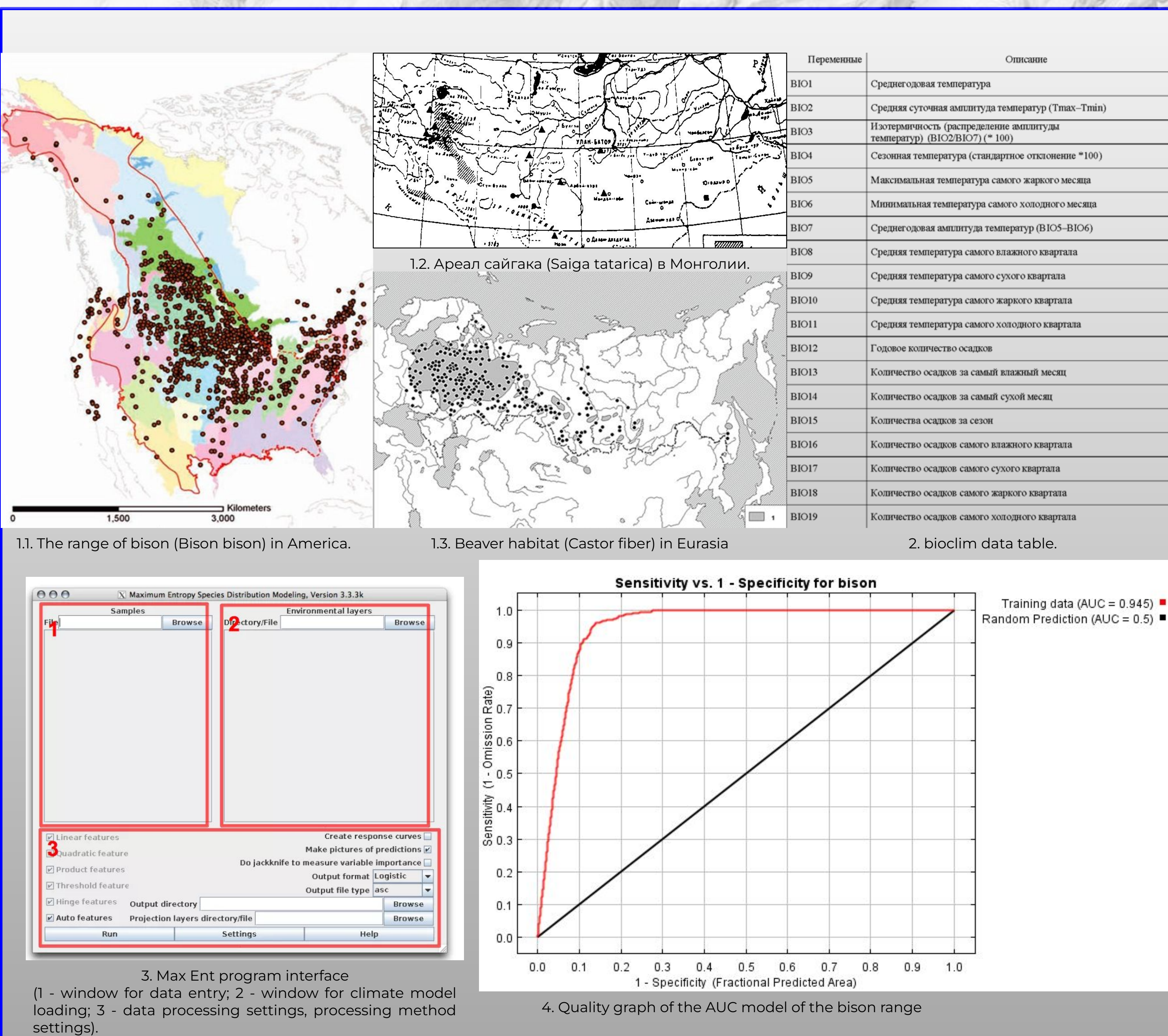
This method is currently one of the most efficient methods for modeling the distribution of a species based on presence-only data.

MaxEnt estimates the distribution of suitable habitat conditions for the species under study according to the principles of maximum entropy. Entropy in computer science is a measure of the unpredictability and uncertainty of information, or in other words, it is the amount of information that is contained in a random variability or unknown quantity.

Stage 3: We conducted the quality of our models by evaluating the trends of the AUC operating curve. These curves show the values of the model that fall under our points of findings. The bison model shows a very high AUC value equal to 0.945. The saiga model shows an almost ideal AUC value equal to 0.997. The common beaver model is also rated very high, AUC=0.988.

We have created the following range models: bison, saiga and beaver, respectively, in the Max Ent program. A higher value on the map shows a greater probability of finding representatives in their range.

Conclusion: These results show that the climate in the north of modern Yakutia during the late Pleistocene, when mammoths inhabited this territory, was similar to the climate of southern Siberia - it is sharply continental climate, winter is cold, average temperature of January from -15°C to -30°C. Summers were warm, with an average temperature of +10°C to +25°C in July. The volume of precipitation decreases from west to east, and from south to north. On the territory of Yakutia during the Late Pleistocene, as well as now, there was a significant difference in climatic conditions, as well as different large ecosystems existed. Thus, there may have been vast deserts and semi-deserts on the territory of Yakutia that were inhabited by saigas, as well as large steppe areas where bison grazed, and forested areas where beavers lived.



ГИС моделирование ареалов представителей мамонтового фаунистического комплекса



Аннотация. Работа посвящена созданию моделей ареалов представителей мамонтового фаунистического комплекса, на основе принципа энтропии в ГИС-программах ArcGIS и MaxEnt.

Ключевые слова: модель ареалов, мамонтовый фаунистический комплекс, принцип максимальной энтропии.

Актуальность: изучение мамонтовой фауны времен Позднего плейстоцена является одним из актуальных вопросов современной *палеобиологии*. Большинство ученых до сих пор не пришли к единому мнению, в вопросе в каком климате обитали мамонты. Одни ученые считают, что на территории современной Якутии в эпоху Позднего плейстоцена был климат аналогичный современному, но с более теплым зимним периодом. Данное утверждение они обосновывают наличием в мамонтовой фауне таких северных видов как: дикий северный олень и овцебык. Для обоснования этого термина даже был придуман термин “тундростепи”. Другие ученые говорят, что климат был совершенно другой, более теплый, но тоже с ярко выраженной зимой, более соответствующий климату территорий современной Восточной Европы и Средней Азии. Раскрытие темы климата позднего Плейстоцена позволит решить много вопросов, которые накопились к этой эпохе.

Теоретическая часть:

мамонтовый фаунистический комплекс — фаунистический комплекс млекопитающих, обитавших в Позднем (верхнем) плейстоцене (100 — 10 тыс. лет назад) во внетропической зоне Евразии и Северной Америки в особых биоценозах — тундростепях, существовавших все время оледенения и перемещающихся в соответствии с изменениями границ ледника к северу или к югу.

Самым крупным представителем мамонтовой фауны (в честь которого она и была названа) был шерстистый мамонт (**Mammuthus primigenius** (Blum 1799)) — северный слон, обитавший 300 — 10 тыс. лет назад на огромных пространствах Европы, Азии и Северной Америки.. Он был покрыт густой и очень длинной чёрной или тёмно-бурой шерстью с длиной шерсти до 70 — 80 см. Кости мамонтов находят практически по всей Сибири. В состав фаунистического комплекса входили также виды древних лошадей, шерстистый носорог, зубр, тур, овцебык, як, степной зубр, гигантский большерогий олень, благородный и северный олень, верблюд, антилопа сайгак, дзерен, лось, кулан, пещерный медведь, пещерный лев, пещерная гиена, волк, россомаха, песец, сурки, суслики, лемминги, зайцеобразные и др.

Такой состав мамонтовой фауны свидетельствует о том, что она произошла от гиппарионовой фауны, будучи её северным приледниковым вариантом. Для всех животных мамонтовой фауны характерны приспособления к жизни в условиях низких температур, в частности длинная и густая шерсть.

Экологическая ниша — это совокупность факторов среды, в пределах которых обитает тот или иной вид организмов, его место в природе, в пределах которого данный вид может существовать неограниченно долго. Термин был введен в 1927 году британским экологом и зоологом Чарльзом Элтоном.

Практическая часть:

Методика. Для выполнения проекта было использование следующее программное обеспечение:

- **ArcGIS** – ГИС программы, использованные нами для создания ГИС карт точечных ареалов;
- **MaxEnt** – в данной программе мы создали геоматические модели ареалов.

1 этап: В ГИС программах ArcGIS мы используя карты точечных ареалов как например на рис. 1.1., 1.2., 1.3. оцифровали актуальные данные и экспортировали записанную информацию в подходящие для программы MaxEnt форматы (ASCII).

2 этап: Из общедоступного ресурса (www.worldclim.org) мы получили актуальную климатическую модель в виде базы данных, которая разделена на 19 слоев, каждый из которых несет информацию по определенным элементам климата рис. 2.

Далее мы ввели в MaxEnt полученные нами данные: точечные данные ареалов, данные модели климата. MaxEnt — это программа оценивает распределение подходящих условий обитания исследуемого вида. Энтропия в информатике является мерой непредсказуемости и неопределенности информации. Для уточнения климатических характеристик, “экологических ниш” некоторых представителей мамонтовой фауны мы решили воспользоваться методом максимальной энтропии, с помощью программы MaxEnt.

Данный метод в настоящее время один из самых эффективных методов моделирования распределения вида на основании данных только о его присутствии. MaxEnt оценивает распределение подходящих условий обитания исследуемого вида в соответствии с принципами максимальной энтропии. Энтропия в информатике является мерой непредсказуемости и неопределенности информации, или, другими словами, это количество информации, которая содержится в случайной изменчивости или неизвестной величине.

3 этап: качество наших моделей мы провели, оценивая тренды операционной кривой AUC. Данные кривые показывают значения модели, которые подпадают под наши точки находок. Модель бизона показывает очень высокую значимость AUC, равную 0.945. Находок же сайгака показывает почти идеальное значение AUC равная 0.997. Модель бобра обыкновенного, тоже оценивается очень высоко, AUC=0.988.

Нами были созданы следующие модели ареалов: бизона, сайги и бобра соответственно в программе MaxEnt. Более высокое значение на карте показывает большую вероятность нахождения представителей в их ареале.

Новизна. Мы использовали метод максимальной энтропии для реконструкции климата Якутии в эпоху Позднего плейстоцена с помощью программы MaxEnt, который редко встречается в исследованиях климата Якутии.

Объект исследования: климат Позднего плейстоцена на территории современной Якутии.

Предмет исследования: модели современных видов животных входящих в мамонтовый фаунистический комплекс.

Гипотеза: мы считаем, что экологические ниши видов животных, которые входили в ту часть “мамонтовой фауны”, которая обитала на территории Якутии остались без изменения, а изменения границ их ареалов связано с историческим изменением климата. Тем самым мы предполагаем, что мамонты в Якутии существовали в более теплом климате, чем в том, в котором Якутия находится в настоящий период.

Цель — создать модели ареалов животных входивших в “мамонтовую фауну” на территории современной Якутии.

Задачи:

1. Выбрать современных млекопитающих, которые обитали вместе с мамонтом на одной территории в эпоху позднего Плейстоцена;
2. Создать ГИС карты точечных ареалов этих животных;
3. Создать геоматические модели ареалов этих животных в программе MaxEnt;
4. Провести анализ и сравнить “экологических ниш” этих животных с современным климатом Якутии.

