

slowdown in the reduction of glaciers in the last decade has been revealed. The reduction in the area of glaciers from the maximum of the Little Ice Age to 2021 was 59.4%.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕСТОНАХОЖДЕНИЙ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ЛАНДШАФТАХ ЮГО-ВОСТОЧНОГО АЛТАЯ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА НЕЙРОННОЙ СЕТИ

А.Б. Глебова, И.С. Сергеев, А.С. Капкина, Е.М. Паутова
*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,
a_glebova@mail.ru, igorsergeev.spb@gmail.com*

PREDICTING THE LOCATIONS OF ARCHAEOLOGICAL OBJECTS IN THE LANDSCAPES OF SOUTH-EASTERN ALTAI BASED ON A NEURAL NETWORK ALGORITHM

A.B. Glebova, I.S. Sergeev, A.S. Kapkina, E.M. Pautova
St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, St. Petersburg

Аннотация. Статья посвящена построению нейросетевой модели возможного местонахождения неисследованных археологических памятников, расположенных в ландшафтах Юго-Восточного Алтая. Для этого проводится геоинформационный анализ распределения археологических памятников по восьми ландшафтными признакам, определяется важность ландшафтных признаков, которые учитывали люди, жившие в разные исторические периоды. На основе полученных данных обучается нейронная сеть и строится прогнозная карта. Точность прогнозной модели на этапе обучения составила порядка 85%.

Ключевые слова: ГИС, нейронные сети, ландшафты, археологические памятники, Юго-Восточный Алтай

Введение

В ландшафтах Юго-Восточного Алтая сосредоточено большое количество археологических памятников. Все они относятся к разным историческим эпохам начиная с каменного века и заканчивая этнографическим временем. Многие памятники изучены и включены в государственный реестр, но часть объектов до сих пор не изучены и не учтены. Для поиска расположения новых археологических объектов необходимо проводить: геоинформационный анализ учтённых археологических памятников, который позволит выявить ряд ландшафтных параметров их расположения; на основе полученных данных обучить нейронную сеть и построить модель возможного местонахождения еще не исследованных памятников. Полученные данные в дальнейшем позволят выявить пространственно-временные закономерности расселения людей в ландшафтах Юго-Восточного Алтая в историческом прошлом.

Регион исследования, объекты и методы

Регион исследования Юго-Восточный Алтай, расположен в Республики Алтай и представляет собой горную область, включающую горные хребты (Табын-Богдо-Ола, Шапшальский, Сайлюгем, Чихачева), межгорные котловины, расположенные на разных гипсометрических уровнях (Курайская, Чуйская) и плоскогорье Укок. Абсолютные высоты в пределах исследуемой территории от 1500 м до 4356 м.

Геоинформационный анализ выполнен в программе ArcMap 10.2 с использованием модуля пространственного анализа Spatial Analyst, а также в среде Python 3.7 с привлечением библиотек научного анализа Matplotlib, Numpy, Scikit-learn, TensorFlow.

Для достижения целей данного исследования на основе Цифровой Модели Рельефа [8] и имеющейся базы данных археологических памятников Юго-Восточного Алтая проведен анализ распределения археологических объектов по восьми ландшафтными признакам (абсолютной высоте, дальности от водотоков, экспозиции склонов, уклонам склонов, интенсивности солнечной радиации за декабрь и июнь, удаленность от горных вершин и видимость горных вершин). Анализ проводится для восьми исторических периодов. Для каждого периода была также определена важность ландшафтных признаков, которые учитывали люди при создании культовых сооружений. База данных археологических памятников была собрана как на основе литературных данных [1, 4-7 и др.], так и собственных полевых исследований авторов [2, 3 и др.]. В проводимом анализе участвовали не все археологические памятники, всего нами было отобрано 327 памятников. Большинство памятников представляют собой комплексы, состоящие из 10, 50 и более объектов. Учитывать абсолютно все имеющиеся археологические объекты в данном случае нет необходимости. Поэтому в анализе участвовали памятники, более-менее разнесенные в пространстве. Для каждого рассматриваемого исторического периода количество памятников различалось. В некоторые периоды население оставляло достаточно много памятников, а в некоторые периоды наблюдался регресс. Причинами могли быть, как меняющиеся климатические условия, так социально-экономические факторы или военные столкновения. Больше всего археологических памятников, участвующих в анализе, относится к тюркскому (V-VII вв.) (46%) и скифскому (VI - нач. II в. до н.э.) (22%) времени, памятников остальных периодов значительно меньше: памятников, относящихся к энеолиту (III - нач. II тыс. до н.э.) – 2%; бронзовому веку (II тыс. до н.э. - VIII до н.э.) – 2%; раннескифскому времени (VIII - середины VI вв. до н.э.) – 15%; гунно-сарматскому времени (II в. до н.э. - V в. н.э.) – 2%; монгольскому времени – 6%; этнографическому времени (XII-XIV вв.) – 5%. На основе полученных данных с использованием алгоритма нейронной сети прямого распространения была построена прогнозная карта и определены участки возможного местонахождения неисследованных археологических памятников. Чем больше исходных данных, т.е. количество археологических памятников, тем более точный прогноз.

Обсуждение результатов

Распределение археологических объектов по восьми ландшафтам признакам показывает, что основная масса археологических объектов встречаются в диапазоне высот от 1678 м до 2380 м (табл. 1). Культовые объекты в основном были созданы на поверхностях с уклонами до 4-5°, но встречаются и на более крутых склонах. Больше всего культовых сооружений расположено по склонам южной и юго-западной экспозиций. В летнее время в выборе мест сооружения курганов, оградок, поминальных сооружений и других памятников

имела значение солнечная радиация, на склонах, где ее поступало больше (в среднем 196 кДж/м²), это как раз склоны южной, юго-западной экспозиций, вечная мерзлота протаивала на большую глубину, что облегчало работу людям. В зимнее время этот показатель значение не имел. Важную роль в жизни древнего общества играла вода, во-первых, как источник питьевой воды, а во-вторых, как источник строительного материала. Для создания курганов и оградок использовались в основном камни, принесенные с реки. Поэтому большинство объектов расположено в непосредственной близости к рекам до 500 м. Значение имела также видимость заснеженных горных вершин, что было связано с верованиями древних народов. Проведенное исследование показывает, что в местах, где вершины просматриваются хорошо, количество археологических объектов увеличивается. Кроме того, мы учитывали еще один параметр. Это удаленность от горных вершин или вершины. Большинство памятников находятся на удалении от 15 до 30 км (табл. 1).

Таблица 1. Распределение археологических объектов по восьми ландшафтными признакам

Интервалы значений ландшафтных признаков	Абсолютная высота, м	Крутизна склонов, градусы	Экспозиция склонов (азимут)	Солнечная радиация за июнь, кДж/м ²	Солнечная радиация за декабрь, кДж/м ²	Удаленность от водотоков, м	Видимость горных вершин, условные единицы	Удаленность горных вершин, км
Энеолит	от 1901,6 до 2336,8	от 0 до 4,55	от 15,2 до 168,2	от 188 до 202,2	от 9,5 до 12,7	от 176,6 до 1578,6	от 0 до 0	от 30,3 до 42,1
Бронза	от 2150,2 до 2349	от 3,4 до 6,8	от 154,3 до 301,5	от 189 до 203,8	от 8,3 до 14,7	от 329,1 до 1509,3	от 0 до 40,6	от 9 до 31,4
Ранне-скифское время	от 2049,7 до 2380,1	от 1,1 до 5,65	от 73,2 до 280,4	от 194 до 203,6	от 9,8 до 15	от 132 до 1218	от 0 до 29,1	от 15,6 до 34,4
Скифское время	от 1894,6 до 2376	от 0,8 до 5,3	от 76,8 до 284,4	от 189,1 до 204,3	от 9,5 до 14,3	от 52,5 до 1059,9	от 0 до 29,3	от 16,8 до 38,4
Гунно-сарматское время	от 1895,4 до 2326,2	от 0,4 до 3,8	от 44,5 до 306,1	от 191,1 до 199,9	от 9,7 до 12,7	от 84,5 до 595,3	от 0 до 7,65	от 15,5 до 33,5
Тюркское время	от 1678 до 2234,2	от 0 до 7,25	от 80,9 до 285,5	от 179,8 до 202,4	от 8 до 13,6	от 66,1 до 1072,7	от 0 до 24,55	от 15,5 до 37,7
Монгольское время	от 2102,6 до 2320,6	от 0,4 до 5,3	от 29,7 до 251,7	от 192,7 до 203,7	от 9,6 до 14,6	от 146,3 до 1001,5	от 0 до 6,8	от 20,1 до 36,9
Этнографическое время	от 2128 до 2364,2	от 3,3 до 6,95	от 151,1 до 298,5	от 192,9 до 206,1	от 10,4 до 15,8	от 174,6 до 627,6	от 0 до 19,7	от 16,2 до 34,8

Основываясь на статистических закономерностях распределения археологических памятников по восьми ландшафтными признакам нами также были определена важность каждого из признаков для каждой культуры. Для

людей, населявших ландшафты Юго-Восточного Алтая в энеолите большое значение имела экспозиция и крутизна склонов, в бронзовый век учитывали экспозицию склонов и удаленность от горных вершин. Для людей, живших в раннескифское времена значение имела крутизна склонов и приход солнечной радиации в июне, для скифов – абсолютная высота и крутизна склонов. В гунно-сарматское время ориентировались на крутизну склонов и удаленность от водотоков в большей степени. Для тюрков имела значение абсолютная высота и также удаленность от водотоков, в монгольское время – экспозиция и крутизна склонов, в этнографическое время – солнечная радиация в летний период (июнь) и дальность от водотока.

На основе полученных данных была построена нейросетевая модель, на которой были определены места возможного местонахождения новых археологических объектов для восьми исторических периодов (рис. 1).

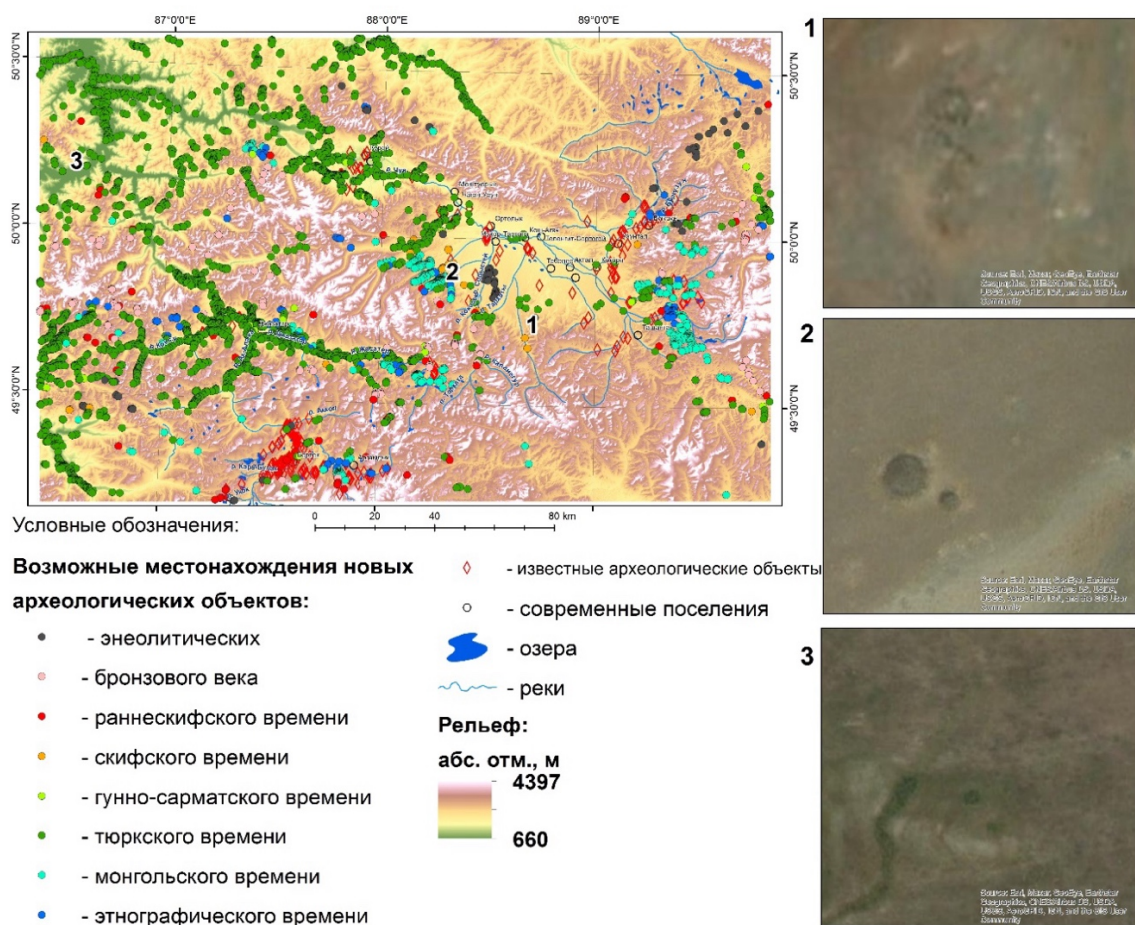


Рис. 1. Прогнозная карта на основе нейросетевой модели и примеры выявленных курганов по данным космических изображений (World Imagery) для трех спрогнозированных участков: 1 – долина р. Чаган-Бургазы; 2 – долина р. Ирбисту; 3 – долина р. Катунь в верхнем течении (под номерами 1, 2, 3 – справа и на карте)

Заключительным этапом работы стала заверка полученных данных фактическими находками. Верификация полученных результатов была выполнена по данным дистанционного зондирования Земли из космоса. Нами был использован ресурс World Imagery. Точность прогнозной модели на этапе обучения нейросети составила порядка 85%.

Выводы

Неисследованные археологические объекты, или нам не известные можно найти по долинам крупных рек и их притоков, в Курайской котловине и по периферии Чуйской котловины. В небольшом количестве их можно обнаружить и на плоскогорье Укок. Выполненный прогноз достаточно сильно сократил площади ареалов с возможным местонахождением неисследованных археологических объектов, расположенных в ландшафтах Юго-Восточного Алтая. В данной работе показана перспективность использование методов нейросетевого моделирования в геоархеологических исследованиях.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 24-27-00068 «Ландшафтная геоархеология Северо-Запада Внутренней Азии с построением нейросетевых моделей пространственно-временных закономерностей расселения древних народов».

Литература

- [1] *Быкова В.А., Быков Н.И.* Природные условия Юго-Восточного Алтая и их роль в жизни общества в пазырыкское время. Барнаул, 2014. 186 с.
- [2] *Глебова А.Б., Сергеев И.С.* Ландшафтная приуроченность археологических памятников в окрестностях долины р. Ортолык (Алтай) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2019. Т. 64, № 3. С. 403-420.
- [3] *Глебова А.Б., Чистяков К.В.* Базы данных для историко-ландшафтного анализа археологических памятников Алтае-Саян. Свидетельство РФ о государственной регистрации № 2014621592 от 2014.
- [4] *Кирюшин Ю.Ф., Тишкин А.А.* Скифская эпоха Горного Алтая. Ч. 2. Погребально-поминальные комплексы пазырыкской культуры. Барнаул, 2003. 234 с.
- [5] *Кубарев В.Д.* Археологические памятники Кош-Агачского района (Горный Алтай) // Археологический поиск (Северная Азия). Новосибирск, 1980. С. 69-91.
- [6] *Молодин В.И., Полосьмак Н.В., Новиков А.В., Богданов Е.С., Слюсаренко И.Ю., Черемисин Д.В.* Археологические памятники плоскогорья Укок (Горный Алтай). Новосибирск: Изд-во Института археологии и этнографии СО РАН, 2004. 256 с.
- [7] *Соёнов В.И.* Отчет об археологических исследованиях в Кош-Агачском районе Республики Алтай. Горно-Алтайск: Архив лаборатории археологии ГАГУ, 1994. 142 с.
- [8] USGS.GOV (2023). Официальный сайт Геологической службы США. [online] Available at: <http://earthexplorer.usgs.gov/> [Accessed 25 февраля 2024 г].

S u m m a r y. The article is devoted to the construction of a neural network model of the possible location of unexplored archaeological sites located in the landscapes of South-Eastern Altai. To do this, a geoinformation analysis of the distribution of archaeological sites according to eight landscape features is carried out, and the importance of landscape features that were taken into account by people who lived in different historical periods is determined. Based on the data obtained, a neural network is trained and a forecast map is built. The accuracy of the predictive model at the training stage was about 85%.