

УДК 911.3

**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ С ПОСТРОЕНИЕМ
МОДЕЛИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРОГНОЗА РАЗМЕЩЕНИЯ
АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ СКИФСКОГО ВРЕМЕНИ
(VIII–III вв. до н.э.) В ЛАНДШАФТАХ
ЮГО-ВОСТОЧНОГО АЛТАЯ**

А. Б. Глебова, И. С. Сергеев

*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле,
Университетская набережная, 7-9, 199034 г. Санкт-Петербург, Россия,
a_glebova@mail.ru, igorsergeev.spb@gmail.com*

Проведена работа по определению местоположений неисследованных археологических объектов скифского времени, расположенных в ландшафтах Юго-Восточного Алтая с применением технологий глубокого машинного обучения — нейронной сети. Осуществлен геоинформационный анализ рельефа территории и имеющихся археологических данных: получены данные распределения археологических объектов раннескифского и скифского времени по ряду ландшафтных признаков. Определена важность ландшафтных признаков мест сооружения археологических памятников. На основе полученных данных создана прогнозная карта возможных местоположений археологических объектов.

Ключевые слова: Юго-Восточный Алтай; ландшафт; археологические памятники; нейронная сеть; машинное обучение; Цифровая модель рельефа; геоинформационные системы; скифское время.

**GEOINFORMATION ANALYSIS WITH CONSTRUCTION
OF A NEURAL NETWORK MODEL FOR FORECASTING THE
PLACEMENT OF ARCHAEOLOGICAL MONUMENTS OF THE
SCYTHIAN TIME (VIII-III centuries BC) IN THE LANDS
OF THE SOUTH-EASTERN ALTAI**

A. B. Glebova, I. S. Sergeev

*St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences,
Universitetskaya embankment, 7-9, 199034 St. Petersburg, Russia,
a_glebova@mail.ru, igorsergeev.spb@gmail.com*

The study is devoted to determining the locations of unexplored archaeological objects of Scythian times located in the landscapes of South-Eastern Altai using deep machine learning technologies – a neural network. For this purpose, a geoinformation analysis of the territory's topography and available archaeological data was carried out: data on the distribution of archaeological objects of the Early Scythian and Scythian times was obtained

according to a number of landscape characteristics. The importance of landscape features of archaeological sites has been identified. Based on the data obtained, a forecast map of possible locations of archaeological sites was created.

Keywords: South-Eastern Altai; landscape; archaeological sites; neural network; machine learning; Digital Terrain Model; geographic information systems; Scythian time.

Ландшафты Юго-Восточного Алтая были хорошо освоены с древних времен. До наших дней сохранилось достаточно много археологических объектов самых разных исторических периодов. Процесс освоения ландшафтов не был постепенно-нарастающим, а имел скорее скачкообразный характер. Были периоды регрессии освоения, возможно, связанные с изменением природных и социально-экономических условий. В эти периоды население оставляло мало памятников. Но были и периоды, после которых археологических объектов сохранилось очень много. К таким периодам и относится скифское время. Большинство памятников уже описаны и зафиксированы археологами, но встречаются и такие объекты, которые нигде не учтены. Цель работы — определение местоположений неисследованных археологических объектов скифского времени, расположенных в ландшафтах Юго-Восточного Алтая, на основе технологий нейронной сети.

Впервые методика построения модели нейронной сети для прогноза размещения археологических объектов в ландшафтах Юго-Восточного Алтая была описана нами в статье [1]. Точность составленной прогнозной модели составила порядка 80 %.

Памятников скифского времени на территории исследования много, в основном они расположены группами, потому для удобства построения прогнозной модели нами были отобраны 123 памятника, более или менее разнесенные в пространстве. Из них 50 памятников относились к раннескифскому периоду, и 73 — к скифскому. Данные об археологических памятниках собирались по литературным данным [2–7] и при проведении автором собственных полевых исследований [8–10].

Скифский период подразделяется на раннескифский и скифский. По мнению большинства исследователей, хронологические рамки раннескифской эпохи определяются в пределах VIII – середины VI вв. до н. э. В это время на территории Горного Алтая существовала майэмирская культура. Среди памятников встречаются херексуры и округлые курганы небольшого диаметра. Курганы расположены микроцепочками по 3 объекта или небольшими группами. Памятники Горного Алтая VI – III вв. до н.э. объединены археологами в рамках пазырыкской культуры [5]. Большинство памятников пазырыкской культуры — это курганы 10-15 м, сгруппированные цепочками по 3-6, иногда и более курганов.

Встречаются и богатые захоронения с диаметром кургана до 60 м, а также небольшие курганы диаметром 1-2 м, скорее всего, детские захоронения. В некоторых случаях к западу от курганов и параллельно им расположены поминальные сооружения, состоявшие, как правило, из восьми камней, выложенных кругом. Иногда к востоку от курганов установлены ряды балбалов (необработанные вертикально врытые каменные столбики).

С использованием ЦМР, ландшафтных карт и имеющихся археологических данных для раннескифского и скифского периодов были созданы схемы и проведен геоинформационный анализ распределения археологических объектов по следующем ландшафтным признакам: а) абсолютной высоте; б) удаленности от водотоков; в) склонам разной крутизны; г) склонам разной экспозиции; д) распределению интенсивности солнечной радиации в июне; е) распределению интенсивности солнечной радиации в декабре; ж) видимости заснеженных горных вершин; з) удаленности от горных вершин.

Статистические закономерности распределения археологических объектов по восьми ландшафтным признакам позволили выявить ряд особенностей в зависимости от ландшафтных условий. Наибольшее количество памятников раннескифского времени расположено в диапазоне высот от 2050 до 2400 м, памятники скифского времени преобладают на высотах от 1900 до 2500 м. Подавляющая часть археологических объектов раннескифского времени распространена на поверхностях с уклоном 3° , скифского — по пологим склонам крутизной $4-5^\circ$. Преобладающее количество археологических объектов раннескифского и скифского времени обнаружены на склонах юго-западной и южной экспозиций. В летнее время древние племена для сооружения могильников выбирали места с хорошей теплообеспеченностью. Памятники раннескифского времени в основном встречаются по склонам, где в летнее время значения солнечной радиации составляют $196-204$ кДж/м², скифского — от 190 до 205 кДж/м². Склоны в весеннее и летнее время прогревались, мерзлота оттаивала на большую глубину, что давало возможность людям создавать здесь курганы и другие памятники. Зимой теплообеспеченность ландшафта не имела абсолютно никакого значения. Большинство памятников расположено в непосредственной близости к водотокам, памятники раннескифского и скифского периодов в основной своей массе находятся на удалении до 500 м. Вода была источником водоснабжения, и также давала строительный материал для создания курганов. В строительстве в основном участвовали камни, принесенные с реки. Для людей, населявших ландшафты Юго-Восточного Алтая в раннескифский и скифский периоды, большое значение имела видимость заснеженной горной вершины и вершин, а также удаленность от них. В

пределах хорошо просматривающейся горной вершины концентрация археологических памятников велика, в местах, откуда горная вершина не видна или плохо различима, памятники либо не встречаются, либо единичны. Наибольшее количество археологических объектов расположено в среднем на расстоянии около 24–27 км от горной вершины.

На основе статистического анализа по восьми ландшафтными признакам была определена степень значимости каждого признака. Археологические памятники раннескифского периода целенаправленно сооружались на площадках с хорошей летней теплообеспеченностью, также большое значение имела крутизна склона. В меньшей степени играла роль удаленность горной вершины (рис. 1А). Для людей, проживающих на территории Юго-Восточного Алтая в скифский период, значение имела абсолютная высота (рис. 1В), также они учитывали крутизну склонов. Значение для них имела и видимость заснеженной горной вершины или вершин. По данным статистического анализа в меньшей степени играла роль удаленность от водотоков и горных вершин, но на наш взгляд, для людей этого времени эти признаки также были очень важны.

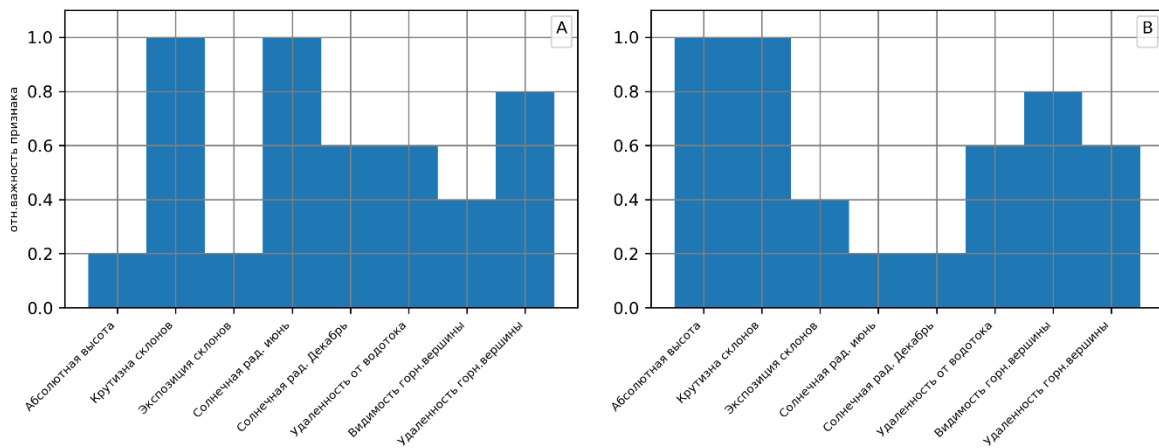


Рис. 1. Относительная важность ландшафтных признаков:
 А – раннескифский период; В – скифский период

Результаты проведенного анализа стали обоснованием возможности построения нейросетевой прогнозной модели для двух исследуемых периодов (рис. 2). Нами использована трехслойная нейронная сеть прямого распространения, давшая хорошую прогнозную силу по результатам предварительной проверки по космоснимкам. Модель показала, что потенциальная возможность обнаружения новых археологических памятников раннескифского периода — плоскогорье

Укок и периферия Чуйской котловины по речным долинам, речные долины небольших рек, скифского периода — периферия Чуйской котловины, Курайская котловина и долины небольших рек.

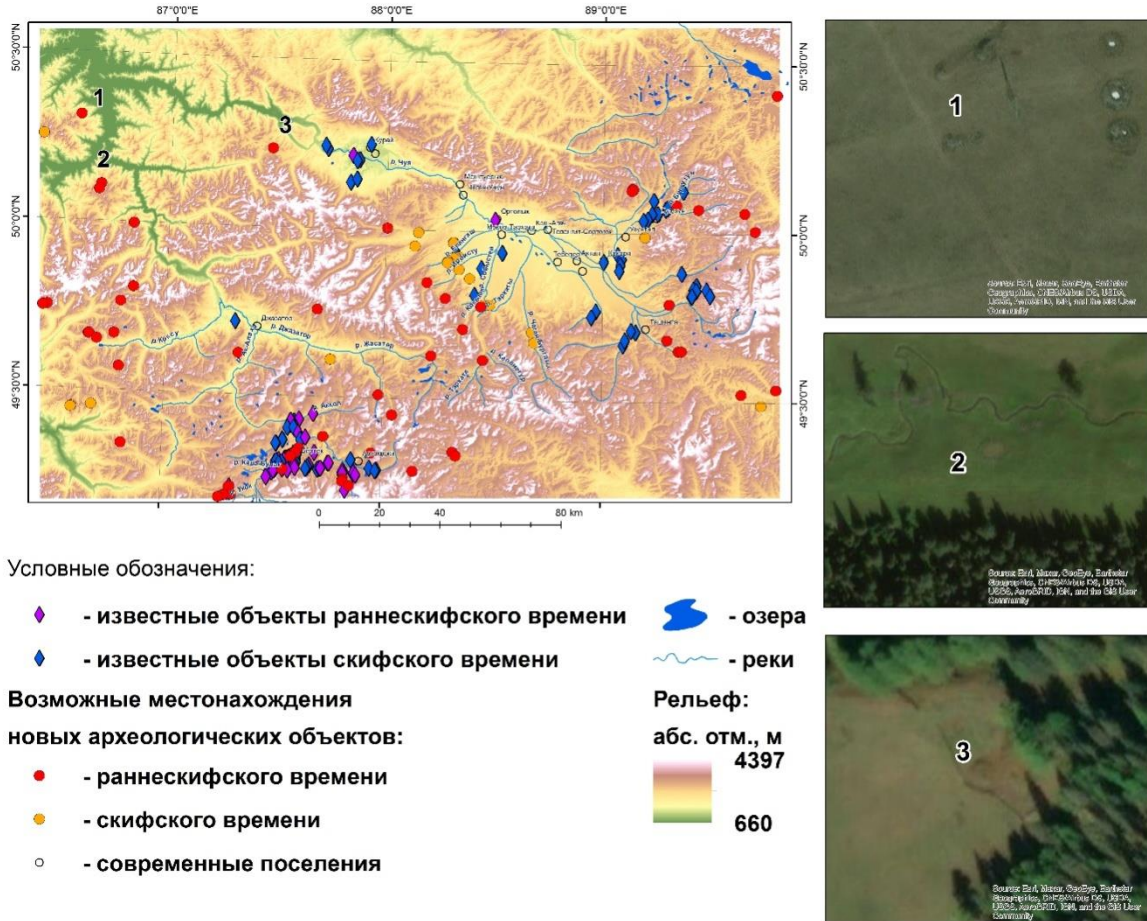


Рис. 2. Прогнозная карта археологических памятников скифского периода на основе нейросетевой модели. Справа примеры выявленных курганов по данным космических изображений (WorldImagery), показанных для трех спрогнозированных участков: 1, 2 – верховье долины р. Катунь; 3 – долина р. Чуя

Подводя итог, можно сказать, что проведенный прогноз в значительной степени сузил площади ареалов с возможным местонахождением неисследованных археологических памятников, расположенных в ландшафтах Юго-Восточного Алтая.

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

Библиографические ссылки

1. Глебова А. Б., Сергеев И. С., Быков Н. И. Геоинформационный анализ с построением модели нейронной сети для прогноза размещения археологических объектов в ландшафтах Юго-Восточного Алтая // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2022. Т. 67, № 3. С. 491-514.
2. Быкова В. А., Быков Н. И. Природные условия Юго-Восточного Алтая и их роль в жизни общества в пазырыкское время. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2014. 186 с.
3. Грязнов М. П. Алтай и приалтайская степь. В: Степная полоса Азиатской части СССР в скифо-сарматское время // Археология СССР. М., 1992. С. 161–178.
4. Древние культуры Бертекской долины. Горный Алтай, плоскогорье Укок / Отв. ред. член-корреспондент РАН В. И. Молодин. Новосибирск: Наука, 1994. 224 с.
5. Кирюшин Ю. Ф., Тишкин А. А. Скифская эпоха Горного Алтая. Ч. 2. Погребально-поминальные комплексы пазырыкской культуры. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2003. 234 с.
6. Кубарев В. Д. Курганы Уландрыка. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1987. 304 с.
7. Археологические памятники плоскогорья Укок (Горный Алтай) / В. И. Молодин [и др.] // Новосибирск: Изд-во Института археологии и этнографии СО РАН, 2004. 256 с.
8. Глебова А. Б. Ландшафтная приуроченность археологических памятников долины р. Джазатор (Алтай) // Известия Русского географического общества. 2016. Т. 148, № 6. С. 57–72.
9. 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.
10. Глебова А. Б., Чистяков К. В. Базы данных для историко-ландшафтного анализа археологических памятников Алтае-Саян. Свидетельство РФ о государственной регистрации № 2014621592 от 2014.