ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
«РУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО»

Поиск раннеславянских археологических памятников в бассейне Дона с помощью геоинформационных технологий и искусственного интеллекта



Руководитель проекта – **Д.В. Сарычев**
E-mail: sarychev.geo@gmail.com

Проект выполнен по гранту ВОО «РГО», договор № 14/2022-Р от 08.06.2022

Актуальность и новизна

Знание географии археологического наследия – залог его сохранения…

Данный проект направлен на выявление поселений раннеславянских археологических культур в бассейне Верхнего Дона – памятников археологии середины III-V вв. н.э. Проект интегрирует современные технологии ГИС, дистанционного зондирования и искусственного интеллекта в приложении к уникальному набору пространственных археологических и палеогеографических данных с целью открытия новых локаций древних поселений.

Впервые в российской археологии проводится предиктивное моделирование на основе алгоритмов максимальной энтропии и свёрточных нейронных сетей.

Цель проекта – выявить наиболее вероятные местоположения поселений раннеславянских археологических культур III-V вв. н.э. в бассейне Верхнего Дона по палеогеографическим условиям ландшафта с помощью геоинформационных технологий, машинного обучения и глубоких нейронных сетей.

Основные задачи:

- ✓ Создание географической базы данных археологических памятников середины III-V вв. н.э., известных в бассейне Верхнего Дона, подготовка ГИС-слоев, характеризующих палеогеографические условия этой территории.
- ✓ Разработка методики предиктивного археологического моделирования на основе технологий искусственного интеллекта с апробацией на примере археологических памятников в бассейне Верхнего Дона.
- ✓ Проведение полевых археологических разведочных работ на местах наиболее вероятного расположения раннеславянских поселений, выявленных путем моделирования.

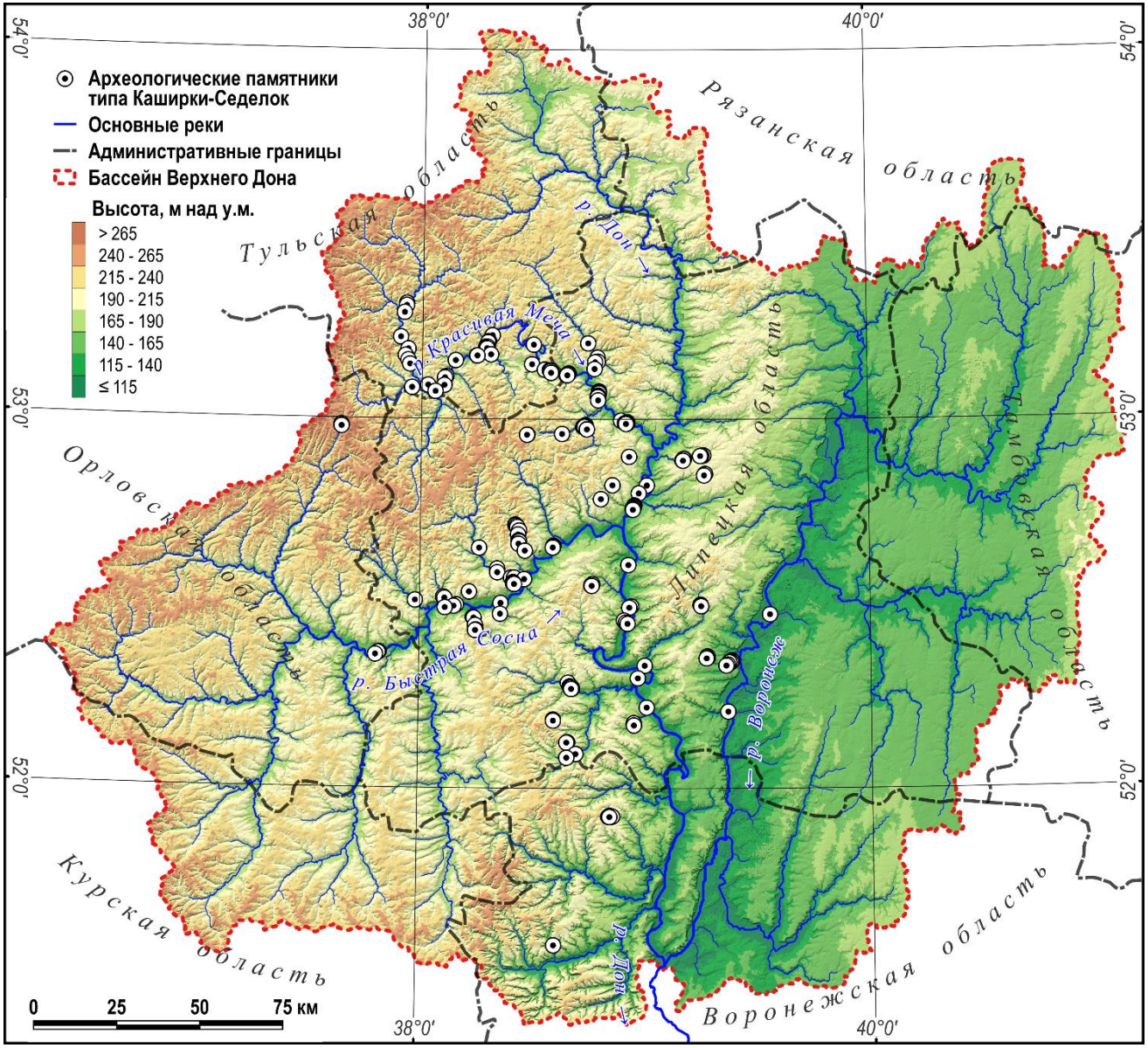
Объект исследований – археологические памятники типа Каширки-Седелок и Чертовицкое-Замятино середины III-V вв. н.э.



Реконструкция усадьбы ранних славян в археологическом парке «Аргамач» (Липецкая область): приблизительно так выглядели древние поселения, являющиеся объектом данного исследования

Распределение этих памятников в пространстве, факторы и закономерности их размещения составляют **предмет исследований**

Исследуемая территория: бассейн Верхнего Дона (60 тыс.км^2)



Методы исследования



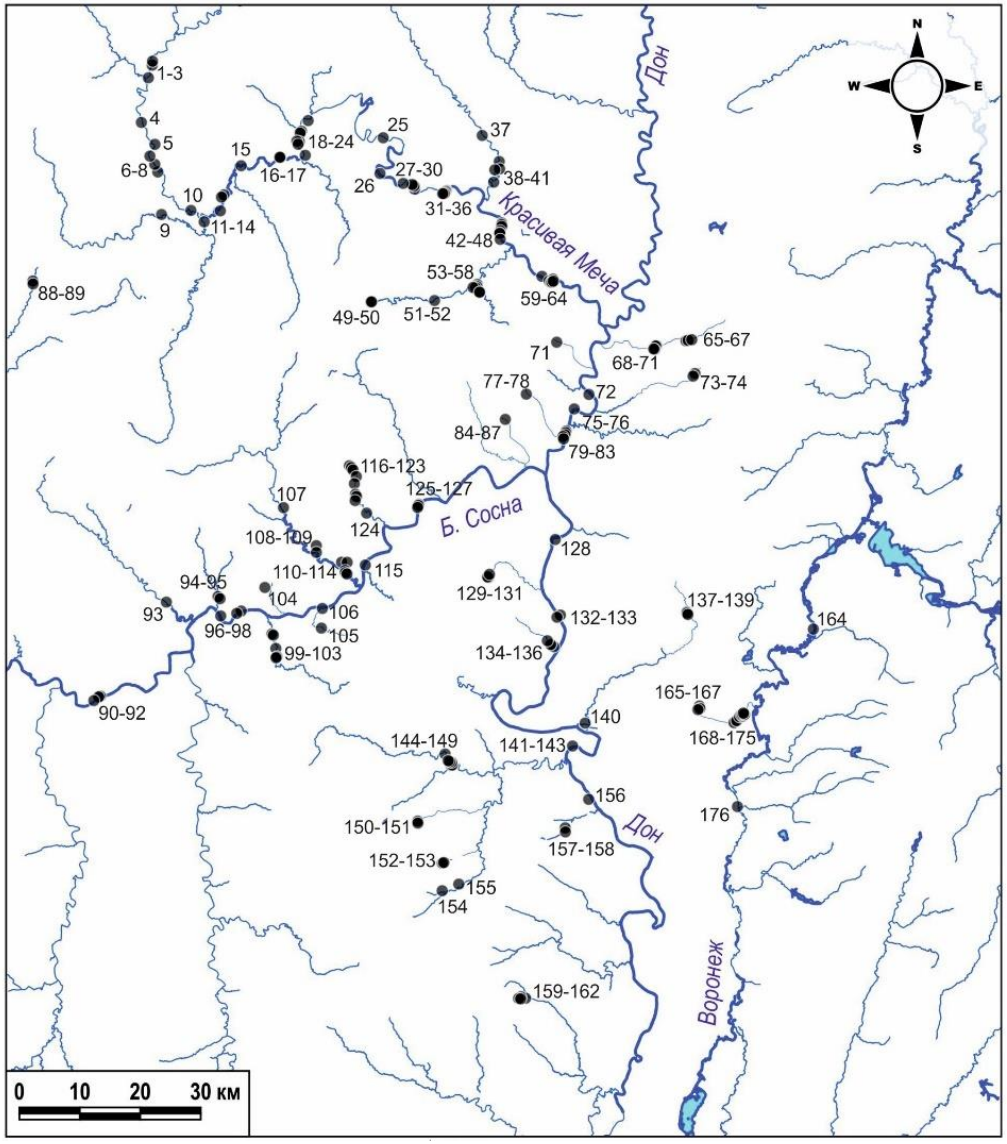
Искусственный интеллект (ИИ) в ландшафтной археологии может использоваться для предиктивного моделирования, то есть выявления потенциальных мест расположения археологических объектов по параметрам ландшафта. ИИ позволяет повысить результативность археологических разведочных работ и заблаговременно оценить риски от планируемой хозяйственной деятельности для объектов культурного наследия. В данном проекте впервые для отечественной археологии применены передовые технологий ИИ – глубокое обучение методом свёрточных нейронных сетей (RetinaNet, SSD, YOLO, MaskRCNN), метод максимальной энтропии (MaxEnt).

Подробно методика моделирования описана в статьях по результатам проекта:

Сарычев Д.В., Земцов Г.Л. Предиктивное археологическое моделирование методом максимальной энтропии (на примере поселений позднеримского времени в бассейне Верхнего Дона) // Историко-географический журнал. 2023 Т. 2 № 1 С. 6–23.

Сарычев Д.В., Земцов Г.Л. Выявление археологических памятников методом ландшафтно-археологического предиктивного моделирования с помощью свёрточных нейронных сетей // Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии: материалы XIV Международной ландшафтной конференции. – 2023. – Т.2. – С. 157-159.

База данных: «Памятники археологии середины III-V вв. н.э. бассейна Верхнего Дона»



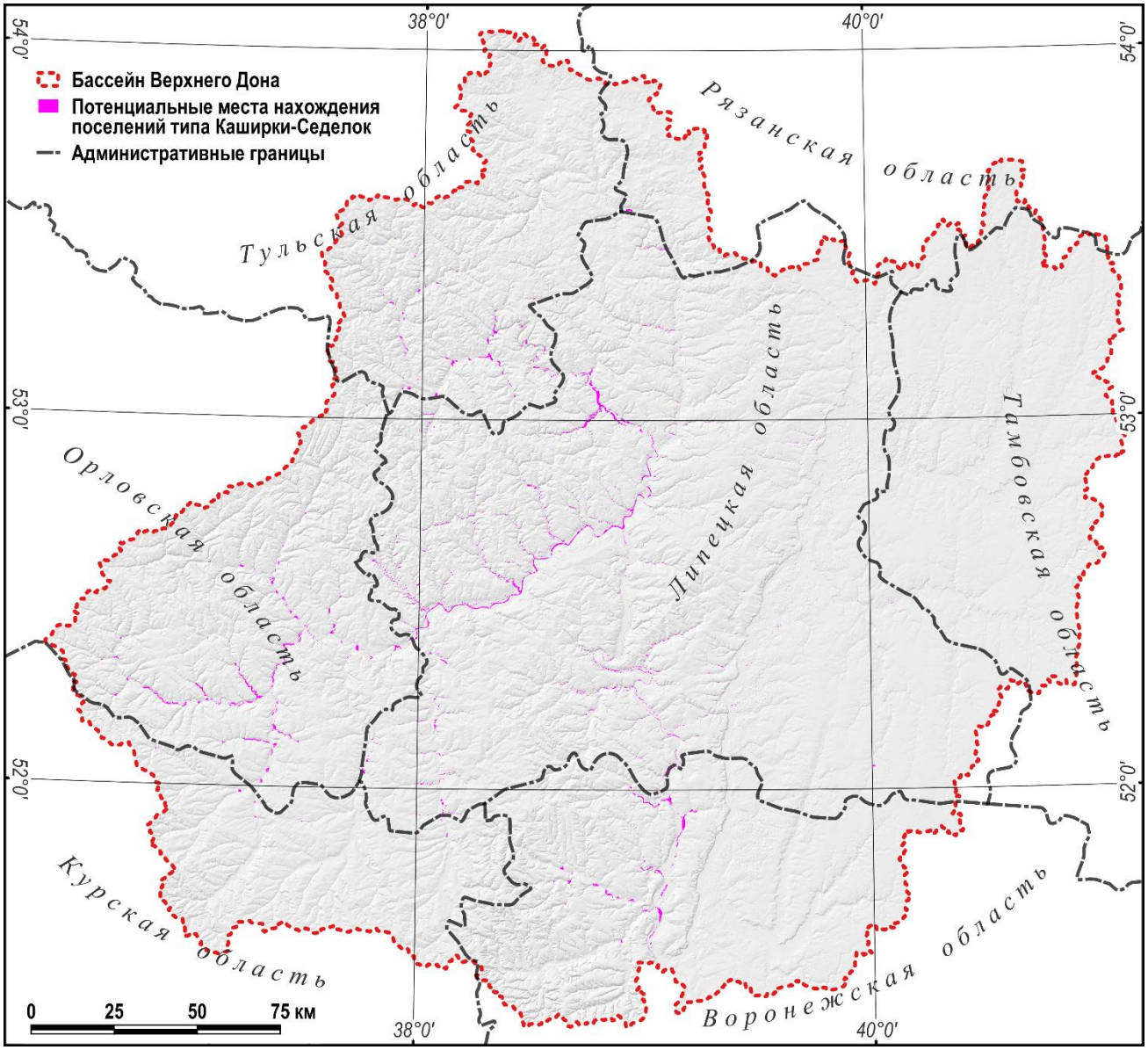
Картографическая репрезентация созданной базы данных

Обозначения: 1. Кадное (северный участок); 2. Кадное (южный участок); 3. Кадное, селище; 4. Яблонево; 5. Закопы, селище 1; 6.Большая Корчажка; 7. Круглое-3 (по О.А. Радюшу – Круглое-1); 8. Глинка-1; 9. Крюково-1; 10. Красивый-2; 11. Прилепы-1; 12.Иноземка-2; 13. Совхозный; 14.Иноземка; 15.Чернятино; 16. Ново-Красивое; 17. Благодать; 18. Кытино-5; 19. Кытино-4; 20. Кытино-3; 21. Малые Голубочки; 22. Большие Голубочки, селище; 23. Раздолье; 24. Сторожа, селище; 25. Лубянка-2; 26. Ишутино-2; 27. Калининский-1; 28. Алексеевка-3; 29. Алексеевка-2; 30. Алексеевка-1; 31. Хомяково, участок 6; 32. Хомяково, участок 5; 33. Хомяково, участок 4; 34. Хомяково, участок 3; 35. Хомяково, участок 2; 36. Хомяково, участок 1; 37. Воскресенское-1; 38. Орловка-4; 39. Орловка-2; 40. Орловка-3; 41. Стребки-1; 42. Кузьминки-3, участок 3; 43. Кузьминки-3, участок 2; 44. Кузьминки-3, участок 1; 45. Малинки, участок 3; 46. Малинки, участок 2; 47. Малинки, участок 1; 48. Малинки-2; 49. Звягино-1; 50. Звягино-2; 51. Писарево; 52. Сухинино; 53. Коллектив-1, участок 1; 54. Коллектив-1, участок 2; 55. Коллектив-1, участок 3; 56. Коллектив-1, участок-4; 57. Каширка-1; 58. Каширка-2; 59. Мочилки, местонахождение-2; 60. Мочилки, местонахождение 1; 61. Мочилки-5; 62. Мочилки-4; 63. Мочилки-3; 64. Мочилки-2; 65. Поселение 3 у Хмелевского пруда; 65.Поселение 2 у Хмелевского пруда; 66. Поселение 1 у Хмелевского пруда; 67. Волотовские Озерки-4; 68. Волотовские Озерки-3; 69. Волотовские Озерки-2; 70. Волотовские Озерки-1; 71. Гребенкино-1; 72. Яблоново-4; 73. Куймань-2; 74. Куймань-1; 75. Яблоново-1; 76. Яблоново-2; 77. Скороварово-1; 78. Скороварово-2; 79. Отскочное-1, участок 5; 80. Отскочное-1, участок 4; 81. Отскочное-1, участок 3; 82. Отскочное-1, участок 2; 83. Отскочное-1, участок 1; 84. Лощина-1, участок 1; 85. Лощина-1, участок 2; 86. Лощина-1, участок 3; 87. Лощина-1, участок 4; 88. Пункт 3 по р. Любовша; 89. Пункт 2 по р. Любовша; 90. Пункт 19 (по А.В. Куза); 91. Пункт 20 (по А.В. Куза); 92. Пункт 21 (по А.В. Куза); 93. Слобода-Заречье-1; 94. Ясенок-2; 95. Ясенок-3; 96. Денисово-4; 97. Лобановка-1; 98. Лобановка-2-4; 99. Стрелец-2; 100. Стрелец-1; 101. Хитрово-1; 102. Котово, поселение 1; 103. Котово, селище-1; 104. Черемошный Верх; 105. Паниковец-1; 106. Приречье-1; 107. Казаки-1; 108. Дерновка-3; 109. Дерновка-1; 110. Нижний Воргол-2; 111. Нижний Воргол-14; 112. Нижний Вргол-5; 113. Нижний Воргол-8; 114. Нижний Воргол-9; 115. Лавское Правобережное поселение; 116. Подхорошее-4; 117. Подхорошее-3; 118. Подхорошее-2; 119. Подхорошее-1; 120. Пищулино-1; 121. Сазыкино-10; 122. Сазыкино-9; 123. Подхорошее-5; 124. Александровка-1; 125. Поселок Елецкий-7; 126. Трубицино-6; 127. Трубицино-5; 128. Галичья Гора; 129. Большие Извалы-1; 130. Большие Извалы-2; 131. Большие Извалы-3; 132. Кашары-2; 133. Ленинка-1; 134. Парусное-2; 135. Хмелинка-1; 136. Парусное-3; 137. Васильевка, участок 1; 138. Васильевка, участок 2; 139. Васильевка, участок 3; 140. Уткино-1; 141. Ксизово-16; 142. Ксизово-17; 143. Ксизово-19; 144. Долгуша, участок 6; 145. Долгуша, участок 1; 146. Долгуша, участок 2; 147. Долгуша, участок 3; 148. Долгуша, участок 5; 149. Долгуша, участок 4; 150. Ивановка-3; 151. Ивановка-4; 152. Большая Поляна-1; 153. Большая Поляна-2; 154. Новосильское-1; 155. Перекоповка-1; 156. Трещевка; 157. Седелки (северный участок); 158. Седелки (южный участок); 159. Малая Трещевка-3; 160. Малая Трещевка-2; 161. Малая Трещевка-1; 162. Трещевка-1; 163. Верхнее Турово; 164. Троицкое-8; 165. Ольховец-3; 166. Ольховец-2; 167. Ольховец-4; 168. Плотина-1; 169. Шанхай, местонахождение-3; 170. Шанхай-11; 171. Шанхай-2; 172. Шанхай-10; 173. Шанхай-9; 174. Шанхай-1; 175. Шанхай-8; 176. Курино-1.

База данных: «Палеогеографические условия бассейна Верхнего Дона»

Исходные данные, их пространственное разрешение / масштаб	Названия предикторов (ГИС-слоев), единицы измерения	Краткое обозначение в БД
Цифровая модель рельефа MERIT DEM, 3 угловых сек. (~ 90 м/пиксель)	Абсолютная высота, м над у.м.	elev
	Уклон местности, °	slope
	Экспозиция склона	aspect
	Профильная кривизна	profc
	Индекс топографической позиции	TPI
	Топографический индекс влажности	TWI
	Индекс тепловой нагрузки	HLI
	Индекс ветровой экспозиции	WEI
	Форма рельефа	geomorphon
	Близость водотока, м	strprox
	Близость места слияния водотоков, м	confprox
	Высота над ближайшим водотоком, м	REM
Геологические карты четвертичных отложений Липецкой, Курской, Орловской, Тульской, Рязанской, Тамбовской и Воронежской областей, М 1:500000	Генетический тип четвертичных отложений	Q
	Близость выходов дочетвертичных отложений, м	D
Палеоклиматические данные PaleoClim, Anthropocene v1.2b, 30 угловых сек. (~1 км / пиксель)	Среднегодовая температура, °C	bio_1
	Температурная сезонность	bio_4
	Годовая амплитуда температур, °C	bio_7
	Годовые осадки, мм/год	bio_12
	Сезонность осадков	bio_15
Данные о почвенном покрове SoilGrids, 250 м/пиксель	Доля глинистых частиц (< 0,002 мм) в мелкоземной фракции, %	clay
	Доля частиц песка (> 0,05 мм) во фракции мелкозема, %	sand
	Доля илистых частиц (≥ 0,002 мм и ≤ 0,05 мм) в мелкоземной фракции, %	silt
	Содержание органического углерода почвы в мелкоземной фракции, г/кг	soc

Результаты моделирования: метод максимальной энтропии MaxEnt

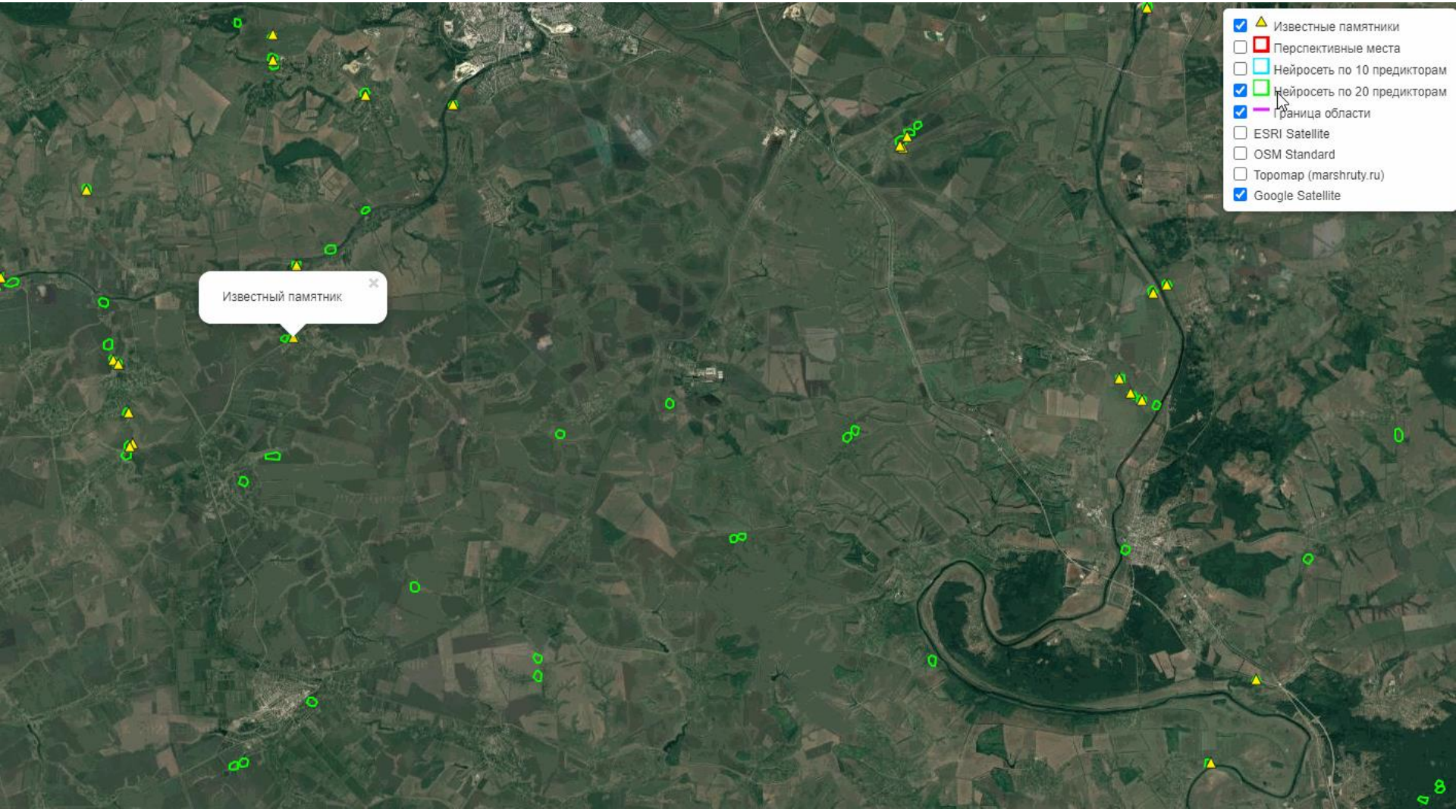


Результаты моделирования: метод максимальной энтропии MaxEnt



Фрагмент интерактивной карты «Археологические памятники Верхнего Дона III-V вв. н.э.»: отражает известные памятники позднеримского времени в бассейне Верхнего Дона и вероятные местонахождения еще не открытых объектов этого времени, спрогнозированные методами искусственного интеллекта. Путем моделирования методом MaxEnt в бассейне Верхнего Дона с высокой статистической надежностью (AUC = 0,92, прирост Квамме KG = 0,97) выявлено 29860 га наиболее пригодных участков (менее 1 % от исследуемой территории) для размещения памятников позднеримского времени.

Результаты моделирования: свёрточная нейронная сеть Mask RCNN



Фрагмент интерактивной карты «Археологические памятники Верхнего Дона III-V вв. н.э.». Из широко используемых нейросетевых фреймворков (RetinaNet, SSD, YOLO, Mask RCNN) эмпирически установлено существенное превосходство архитектуры Mask RCNN по точности в задаче предиктивного археологического моделирования при малой обучающей выборке (средневзвешенная точность AP = 82%). С помощью созданной нейросетевой моделии в бассейне Верхнего Дона было выявлено 50 наиболее вероятных точек размещения еще не открытых поселений позднеримского времени.

Полевая верификация результатов: археологические разведки



Министерство культуры Российской Федерации

ОТКРЫТЫЙ ЛИСТ

№ 2450-2022

Настоящий открытый лист выдан:

Земцову Григорию Леонидовичу

паспорт 4202 № 590368
(серия номер паспорта)

на право проведения археологических полевых работ
на территории Задонского, Лебедянского, Липецкого, Краснинского, Долгоруковского и Тербунского районов Липецкой области, за исключением территории земельных участков, подлежащих хозяйственному освоению.
(место проведения археологических полевых работ)

На основании открытого листа

Земцов Григорий Леонидович
(Ф.И.О)

имеет право производить следующие археологические полевые работы:
археологические разведки с осуществлением локальных земляных работ на указанной территории в целях выявления объектов археологического наследия, уточнения сведений о них и планирования мероприятий по обеспечению их сохранности.

Передоверие права на проведение археологических полевых работ по данному открытому листу другому лицу запрещается.

Срок действия открытого листа: с *8 сентября 2022 г.* по *31 декабря 2022 г.*

Дата принятия решения о предоставлении открытого листа: *8 сентября 2022 г.*

Первый заместитель Министра (должность) _____ (подпись) С.Г.Обрывалин (Ф.И.О.)

Дата *8 сентября 2022 г.* М.П.

027979

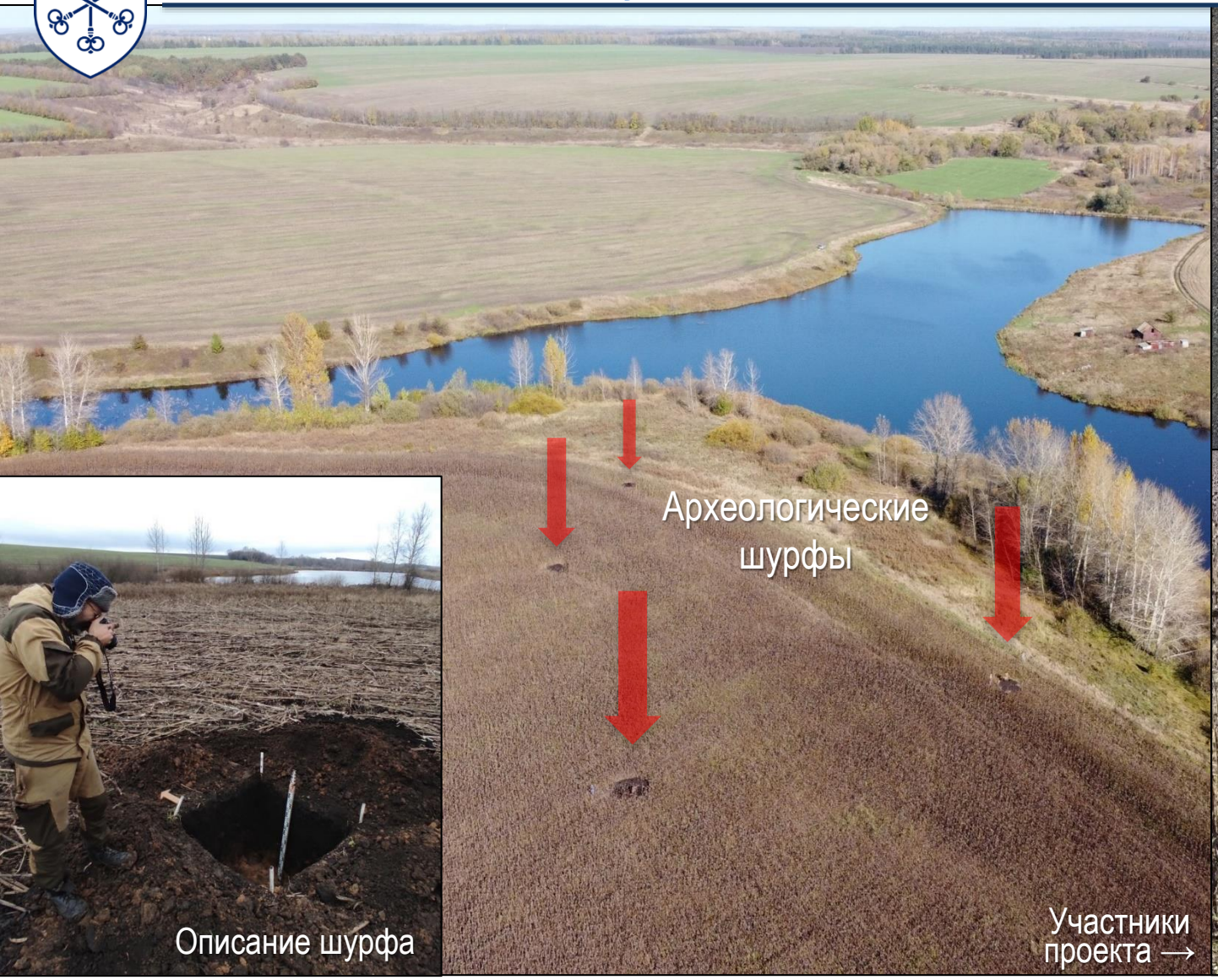
Археологические исследования выполнялись в сентябре-ноябре 2022 г. на основании Открытого листа № 2450-2022 в соответствии с Положением о порядке проведения археологических полевых работ и составления научной отчетной документации (Бюро Отделения историко-филологических наук РАН от 20.06.2018 г. №32). Границы обнаруженных археологических памятников устанавливали шурфами. При расчистке гумусного слоя велся полевой дневник для фиксации всех необходимых наблюдений. Все этапы разработки шурфов фиксировались фотографически. Координатная привязка шурфов и границ выявленных объектов археологического наследия выполнялась с помощью GNSS-станции Stonex S800A.

Результаты археологических исследований описаны в научном археологическом отчете по Открытому листу, а также в научных статьях:

Земцов Г.Л., Сарычев Д.В. Поиск памятников III - IV вв. н.э. на территории Липецкой области // Археологические исследования Центрального Черноземья 2022. – в печати (справка от 22.04.2023, ООО «Экспертиза Черноземья»).

Земцов Г.Л., Сарычев Д.В. Общественные отношения на верхнем дону в позднеримское время (конец III – начало IV вв.) // Междуречье Днепра и Дона: культурный слой, артефакт, интерпретация. – в печати (справка №003 от 28.04.2023, Курский государственный областной музей Археологии).

Полевая верификация результатов: археологическая разведка







Объект археологического наследия «Вислая Поляна, поселение 1» (Липецкая область, Тербунский район, координаты: 52°11'с.ш., 38°35'в.д.) - выявлен по результатам предиктивного археологического моделирования, исследован в сентябре-ноябре 2022 г., находки и подъемный материал позволяют датировать поселение позднеримским временем и отнести к памятникам типа Каширки-Седелок (середина-конец III – начало IV в. н.э.).

Полевая верификация результатов: археологическая разведка

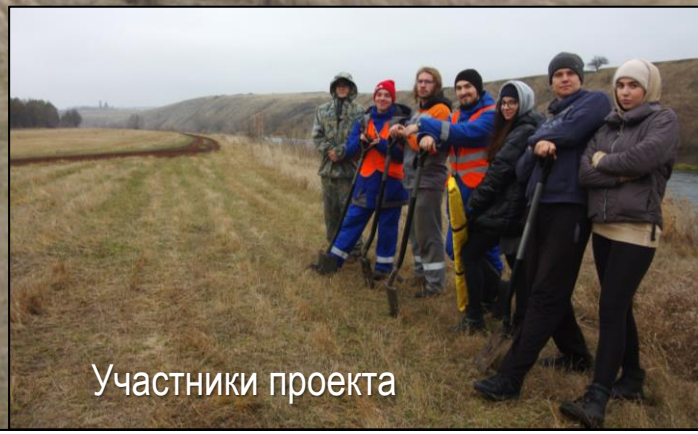


Находки: фрагменты керамики, фрагменты обмазки жилищ

Археологические шурфы



Описание шурфа



Участники проекта

Объекты археологического наследия «Кузьминки-3, поселение» и «Кузьминки-4, поселение» (Липецкая область, Лебедянский район, координаты: 53°04'с.ш., 38°47'в.д.) - выявлены по результатам предиктивного археологического моделирования, исследованы в сентябре-ноябре 2022 г., находки и подъемный материал позволяют датировать поселения позднеримским временем и отнести к памятникам типа Каширки-Седелок (середина-конец III – начало IV в. н.э.).

Выводы по результатам реализации проекта:

1. Систематизированы и уточнены сведения о географии археологических памятников III-V вв. н.э., известных в бассейне Верхнего Дона, при этом создана уникальная база данных, включившая информацию о 169 археологических памятниках исследуемого времени.
2. Проведена геоинформационная реконструкция палеогеографических условий среды бассейна Верхнего Дона, при этом подготовлен уникальный набор ГИС-слоев, отражающих геологические, геоморфологические, климатические, гидрографические и почвенные характеристики ландшафтов бассейна.
3. Разработана методика предиктивного археологического моделирования на основе искусственного интеллекта (MaxEnt, Mask RCNN), позволившая выявить около 300 км^2 (менее 1 % исследуемой территории) с высокой вероятностью размещения памятников позднеримского времени, и 50 наиболее вероятных точек размещения еще не открытых древних поселений.
4. Полевая проверка результатов моделирования позволила открыть три ранее неизвестных объекта археологического наследия: всего было обследовано 3 участка, заложено 12 шурфов – выявлено 3 памятника типа Каширки-Седелок (конец III – нач. IV в. н.э.)