

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

MODELLING OF HISTORICAL PROCESSES

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ*

THE SIMULATION MODEL OF FORMATION AND DEVELOPMENT OF ARCHAEOLOGICAL CULTURE

Журбин Игорь Витальевич

Доктор исторических наук, кандидат технических наук; заведующий лабораторией моделирования и анализа сигналов и изображений Физико-технического института Уральского отделения РАН
E-mail: zhurbin@udm.ru

Igor V. Zhurbin,

Иванова Маргарита Григорьевна

Доктор исторических наук, профессор; ученый секретарь Удмуртского института истории, языка и литературы Уральского отделения РАН
E-mail: adm@ni.udm.ru

Margarita G. Ivanova,

Зубарева Ольга Тимофеевна

Младший научный сотрудник Физико-технического института Уральского отделения РАН
E-mail: helga786@mail.ru

Olga T. Zubareva

Статья посвящена разработке имитационной модели археологической культуры, позволяющей реконструировать различные аспекты ее формирования и развития: систему расселения, структуру коммуникаций между древними поселениями и конфигурацию ареала. Применение системного подхода и методов оптимизации при анализе исторических и физико-географических данных обеспечивает достоверность и воспроизводимость результатов исследований, а также возможность верификации гипотез. Апробация модели на материалах чепецкой археологической культуры доказала эффективность предложенного подхода и возможность прогнозирования территории локализации необнаруженных поселений.

The article is devoted to the development of the simulation model of an archaeological culture that allows to reconstruct various aspects of its formation and development: the system of settlement, the structure of communication between the ancient settlements and the configuration of the area of the archaeological culture. The use of the systems approach and the optimization methods for the analysis of historical and physical-geographic data provides the reliability and reproducibility of research results, and the ability to verify the hypotheses. The approbation of the model on materials Chepetskaya archaeological culture proved the effectiveness of the proposed approach and the ability to predict the location of undiscovered territory settlements.

* Исследования выполняются в рамках Программы фундаментальных исследований Уральского отделения РАН, грант 12-М-26-2005.

Ключевые слова: археологическая культура, моделирование, системный подход, метод оптимизации, пути коммуникации, ареал, чепецкая археологическая культура.

Keywords: the archaeological culture, simulation, system approach, optimization method, the way of communication, area, Chepetskaya archaeological culture.

Компьютерное моделирование исторических процессов и явлений применяется для изучения различных аспектов экономического и политического развития общества, социально-демографических процессов, а также исследования исторического развития отдельных регионов и государств. При достаточном количестве исходных данных, содержащихся в письменных источниках, исторические реконструкции основаны на статистическом анализе, что обеспечивает достоверность и воспроизводимость результатов исследований. Однако при изучении ранних периодов истории (археологических культур, функционирование которых не отражено в письменных источниках) единственным объективным источником информации является набор материальных остатков — артефакты и сооружения, зафиксированные при раскопках древних поселений и погребальных памятников. Ограниченность исходных данных определяет существенные проблемы при моделировании археологических культур:

- отсутствие априорных сведений о причинно-следственных связях между различными элементами и подсистемами в древних обществах (отсутствие письменных источников);
- неполнота исходных данных (не все археологические памятники выявлены специалистами, многие археологические объекты разрушены в ходе поздней техногенной и антропогенной деятельности, природных катаклизмов);
- разнородность и слабая структурированность исходных данных, ограниченные возможности для их формализации (каждая категория археологических объектов требует своей системы описания, необходимость учета качественных и количественных признаков).

Следовательно, разработанные и апробированные математические методы, ориентированные на анализ данных массовых источников, неэффективны для моделирования формирования и развития археологических культур. Исходя из этого актуальным направлением исследований является имитационное моделирование явлений и процессов в древности. Это предполагает разработку специализированных методов формализации исторических явлений, обоснование подходов для формирования адекватных имитационных моделей и разработку соответствующих математических методов.

При моделировании различных аспектов формирования и развития археологической культуры целесообразно применять комплексный анализ исторических и физико-географических факторов.

Типология древних поселений достаточно очевидна. В наиболее общем случае принято выделять укрепленные и неукрепленные поселения, которые различаются наличием разнообразных оборонительных сооружений. В свою очередь, с точки зрения функций, укрепленные поселения условно подразделяются на *родоплеменные центры*, *аграрно-ремесленные центры*, поселения-убежища, посты и пр. Для каждой археологической культуры перечень типов поселений варьируется с учётом исторического контекста. Основными признаками при классификации являются относительное расположение памятников на территории археологической культуры, их площадь, мощность культурного слоя и уровень защищенности поселения¹.

В общем случае предполагается, что родоплеменные центры играли роль военно-оборонительных, аграрно-ремесленных, торговых и общественно-административных центров этносоциальной общности. Аграрно-ремесленные центры являлись «узлами» пространственно распределенной структуры производственных и торговых связей археологической культуры. Неукрепленные поселения (*селища*) являлись сельскохозяйственными и/или ремесленными центрами, предназначались для проживания населения, занятого в производящих отраслях хозяйства. Иерархия археологических объектов позволяет определить структуру модели археологической культуры в целом — поселения контролировались одним управленческим (родоплеменным) центром, вокруг которого происходило расселение и освоение территории. Археологически фиксируемым признаком этих процессов является оценка относительной хронологии формирования поселений других типов (аграрно-ремесленных центров и селищ).

Группа поселений, компактно расположенных на определенной территории, существовала как устойчивая во времени и пространстве самодостаточная система. Следовательно, взаимное положение поселений определялось и потребностями хозяйства. В данном случае анализ ландшафта позволяет прогнозировать ресурсные зоны посе-

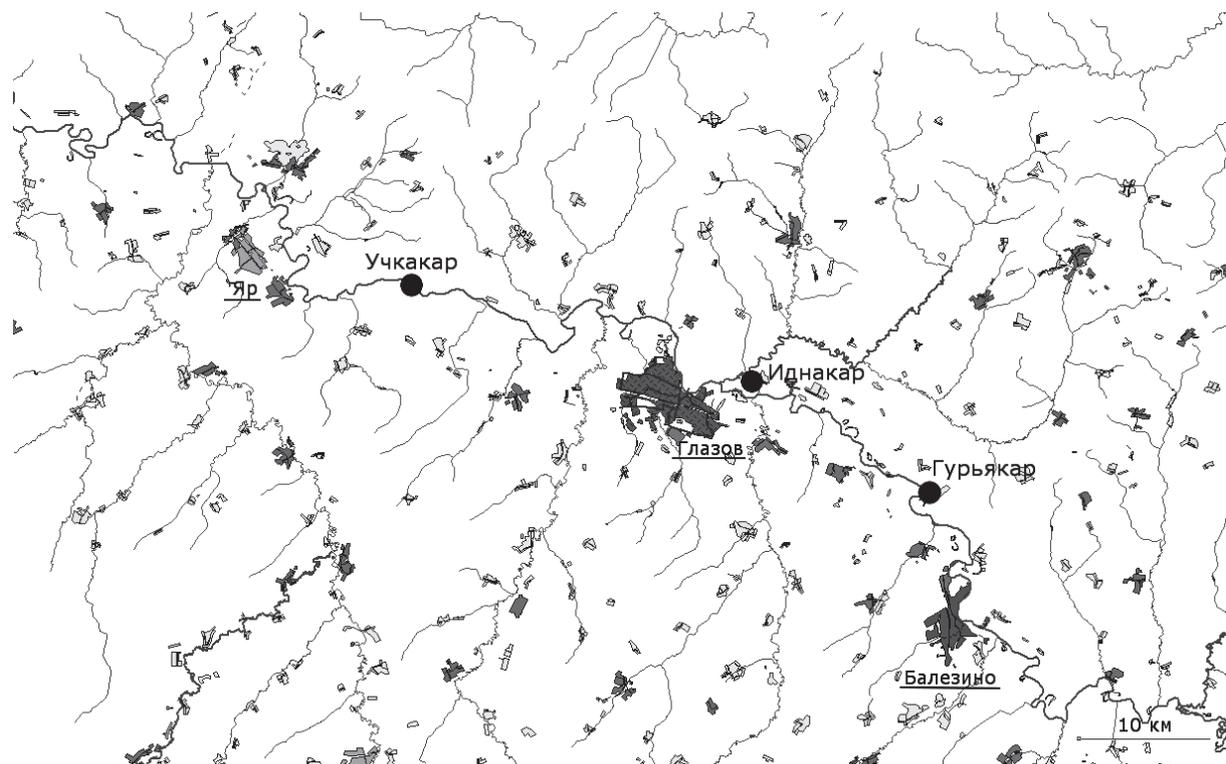


Рис. 1. Территория локализации чепецкой археологической культуры

Таблица 1

Городища чепецкой археологической культуры

Название поселения	Занимаемая площадь, кв. м	Мощность культурного слоя, м	Количество линий обороны
Балезинский район			
Балезинское (Узикар)	3200	0,4–0,7	1
Буринское (Жутемкар)	4100	0,1–0,15	1
Гординское I (Гурьякар)	12000	до 1,7	3
Карйылское (Карйыл)	1600	0,2	1
Глазовский район			
Весьякарское (Весьякар)	6200	1–1,8	1
Дондыкарское (Дондыкар)	6000	0,2–1,6	1
Краснослудское (Эбгакар)	3000	0,5–0,7	2
Лудошурское I (Сепычкар)	6000	0,25–0,3	2
Лудошурское I (Сепычкар)	3500	до 0,9	1
Нижнебогатырское (Утэмкар)	7000	—	1
Сепычское (Селтакар)	1800	0,2–0,3	1
Солдырское I (Иднакар)	40000	1–1,6	3
Солдырское II (Сабаничкар)	5500	0,1–1	1
Юкаменский район			
Маловенижское (Поркар)	3850	0,1–0,7	1
Ярский район			
Комаровское (Чибиныкар)	10000	0,15–0,5	1
Кушманское (Учкакар)	14000	до 1,5	2

лений². Исходя из этого при моделировании различных аспектов формирования и развития археологической культуры необходимо учитывать особенности рельефа и конфигурацию гидросети изучаемой территории.

Апробация модели формирования и развития археологической культуры проводилась на примере чепецкой культуры, которая существовала в IX–XIII вв. н.э. и располагалась в среднем течении реки Чепцы и ее притоков между современными населенными пунктами Яр и Базезино (рис. 1). Население вело комплексное хозяйство, сочетающее скотоводство, земледелие, охоту, рыболовство и бортничество³. Городища являлись в основном мысовыми, укрепленными рвом (рвами) и валом (валами). Известно 16 городищ (табл. 1) и 32 селища, принадлежащих этой культуре⁴.

Городища Гординское I (Гурьякар), Солдырское I (Иднакар) и Кушманское (Учкакар) характеризуются значительной площадью (более 10000 кв. м), достаточно мощным культурным слоем (1–2 м) и наличием двух и более линий обороны. Эти городища относят к родоплеменным, а остальные городища — аграрно-ремесленным центрам⁵. Таким образом, в рамках чепецкой археологической культуры исследователи выделяют 3 родоплеменных и 13 аграрно-ремесленных центров.

В данном случае исходными данными для апробации имитационной модели являются:

- картографическая база данных средневековых археологических памятников Удмуртской Республики (предоставлена Автономным учреждением культуры Удмуртской Республики «Центр по охране объектов культурного наследия», Ижевск);
- картографическая основа, включающая границы административного деления, населенные пункты, дороги и гидросеть по состоянию на 2007 г. (предоставлена ЗАО НТП «Ижтехинформ», Ижевск);
- рельеф изучаемой территории, представленный в виде матрицы высот с постоянным шагом 30 сек (ок. 92,6 м) в системе координат WGS-84⁶.

Системный подход является базовым принципом при формализации понятия «археологическая культура» как на теоретическом уровне, так и при анализе исторического развития отдельных регионов⁷. Археологическая культура рассматривается как целостное образование, обладающее определенной организацией и интегративными качествами.

При формализации этого явления археологические памятники (*элементы*) и их комплексы (*подсистем*) объединяются в систему при наличии устойчивой структуры производственных, торговых, военных и прочих связей между древними поселениями. Состав археологической культуры определяется археологическими памятниками, а *существенные связи* между ними — силой взаимодействия между отдельными поселениями. Модель состава и структуры такой системы формируется на основе ранжирования археологических памятников и оценки их роли в процессе расселения и экономического использования территории. В частности, для чепецкой археологической культуры выделяются следующие основные типы поселений⁵: родоплеменные центры (РПЦ); аграрно-ремесленные центры (АРЦ) и селища.

В пределах изучаемой территории расположено множество Q древних поселений, которые, по оценкам специалистов, принадлежали одной археологической культуре:

$$Q = \{ \langle q_{11}, q_{12}, \dots, q_{1b} \rangle; \langle q_{21}, q_{22}, \dots, q_{2c} \rangle, \langle q_{31}, q_{32}, \dots, q_{3d} \rangle \},$$

где b — количество археологических памятников типа 1 (РПЦ); c — количество археологических памятников типа 2 (АРЦ); d — количество археологических памятников типа 3 (селище).

В соответствии с иерархией археологических объектов и особенностей организации системы хозяйства выделено несколько видов подсистем S^j , где j — номер уровня подсистемы: «экономические» подсистемы и «административные» подсистемы (см. рис. 2).

«Экономическая» подсистема основана на организации системы хозяйства и включает один аграрно-ремесленный центр и группу селищ, расположенных в его ближайшей округе:

$$S^j_{2f} = \{ q_{2f}; \langle q_{31}, q_{32}, \dots, q_{3l} \rangle \},$$

где f — номер АРЦ; l — количество селищ, входящих в экономическую зону текущего АРЦ.

Аналогично «экономическая» подсистема родоплеменного центра:

$$S^j_{1m} = \{ q_{1m}; \langle q_{31}, q_{32}, \dots, q_{3n} \rangle \},$$

где m — номер РПЦ; n — количество селищ, входящих в экономическую зону текущего РПЦ.

Принято считать, что группа археологических поселений контролировалась административно-управленческим центром, в качестве которого, предположительно, выступал родоплеменной центр⁸. Поэтому именно вокруг таких поселений и происходило активное расселение и освоение территории. Это позволяет выделить «административные» подсистемы, каждая из которых вклю-

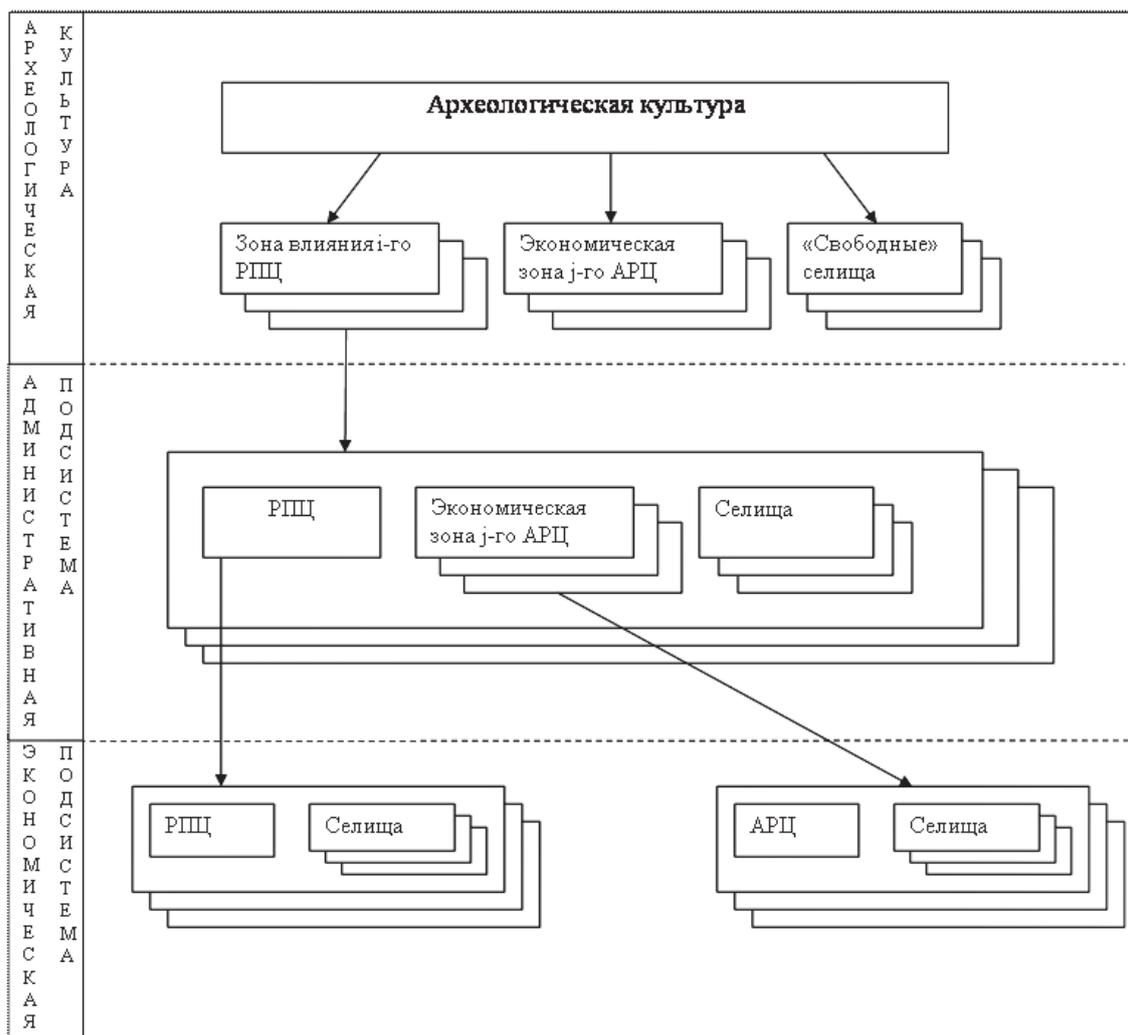


Рис. 2. Логическая схема системы «археологическая культура»: РПЦ — родоплеменной центр; АРЦ — аграрно-ремесленный центр

чает «экономическую» подсистему S^1_{1m} m -го РПЦ, ряд «экономических» подсистем АРЦ, а также группу селищ, принадлежащих «зоне влияния» текущего РПЦ и не включенных в «экономические» подсистемы:

$$S^2_m = \{S^1_{1m}; \langle S^1_{21}, S^1_{22}, \dots, S^1_{2r} \rangle; \langle q_{31}, q_{32}, \dots, q_{3s} \rangle\},$$

где r — количество «экономических» подсистем АРЦ; s — количество селищ, принадлежащих «зоне влияния» m -го РПЦ.

В идеальном случае модель состава археологической культуры должна состоять из ряда «административных» подсистем S^2_m , количество которых совпадает с количеством РПЦ. При этом все элементы множества Q древних поселений должны быть включены в совокупность подсистем S^2_m . Такое совпадение по количеству и составу может являться критерием полноты исходных данных.

При этом очевидно, что не все памятники, принадлежащие изучаемой культуре, выявлены археологами.

Более того, некоторые из них принципиально не могут быть зафиксированы ввиду того, что были разрушены в древности или в результате современного антропогенного влияния (строительство дорог и населенных пунктов, участки поздних сельскохозяйственных угодий и т. п.). Следовательно, вероятно наличие укрепленных поселений и «экономических» подсистем АРЦ, которые не входят в сводную «зону влияния» всех известных РПЦ, что позволяет предположить существование незафиксированного (или разрушенного) родоплеменного центра. Аналогично, наличие «свободных» селищ является косвенным признаком незафиксированного РПЦ или АРЦ.

Учитывая неполноту исходных данных, правомерно осуществить обобщение предложенных моделей состава «административных» подсистем всех известных родоплеменных центров (S^2_m), а также ряда «экономических» подсистем аграрно-ремесленных центров (S^1_{2p}) и селищ, не принадлежащих

сводной «зоне влияния» выявленных РПЦ археологической культуры:

$$S^3 = \{ \langle S^2_{1t}, S^2_{2t}, \dots, S^2_{tt} \rangle; \langle S^1_{21}, S^1_{22}, \dots, S^1_{2u} \rangle; \langle q_{31}, q_{32}, \dots, q_{3v} \rangle \}, \quad (1)$$

где t — количество «административных» подсистем РПЦ; u — количество «экономических» подсистем АРЦ, не принадлежащих сводной «зоне влияния» РПЦ; v — количество селищ, не принадлежащих сводной «зоне влияния» РПЦ.

Мощность связи между элементами системы «археологическая культура» определяется расстоянием между ними⁹, что согласуется с принципом гравитационной модели при моделировании структуры явлений на основе геоинформационных систем¹⁰.

Известные исторические реконструкции основаны на том, что система в целом и все выделенные подсистемы формировались с учетом возможности управления и контроля территории, а также принципа экономической целесообразности — выявления производящих отраслей хозяйства¹¹.

Структура расселения с точки зрения эффективной экономики основывается на территориальной близости памятников (элементов подсистем) и компактности их пространственного расположения относительно организующего центра подсистемы (родоплеменного или аграрно-ремесленного центра). Данная структура расположения поселений соотносится с оптимальным расположением «зависимых» населенных пунктов в теории центральных мест Кристаллера (W. Christaller) и Лёша (A. Lösch). В соответствии с этим пороговое значение мощности связи, определяющее существенные связи между организующими центрами и селищами, входящими в «экономическую» подсистему, пропорционально $L_{1 \max}$ — максимально возможное расстояние от организующего центра до сельского поселения.

Основными отраслями хозяйства средневекового населения севера Удмуртии являлись земледелие и оседлое скотоводство с придомным содержанием скота¹². Исходя из этого в качестве максимального расстояния расположения потенциальных пахотных угодий на основании экспертных оценок принята дистанция в 1 км от поселения, пастбищных — в 5 км. Данное ограничение сельскохозяйственной активности населения вокруг постоянного места обитания соответствует временному лимиту в 1 час пути по непересеченной местности. Постоянство данных параметров было показано на широком этнологическом материале и служит основой для моделирования зон экономической активности представителей разнообразных археологических культур¹³.

Вероятно, данные направления хозяйственной деятельности чепецкой археологической культуры были характерны как для населения организующих центров подсистем (родоплеменных или аграрно-ремесленных центров), так и для жителей селищ, входящих в подсистему. В условиях исследуемой археологической культуры такой подход правомерен, учитывая, что производство сельскохозяйственной продукции осуществлялось в рамках натурального хозяйства. Хозяйственную замкнутость населения отмечают этнографы, путешественники и представители местной власти вплоть до XVIII и XIX вв.¹⁴ Следовательно, для обеспечения потенциально равных условий ведения хозяйства укрепленных поселений и селищ пороговое значение мощности связи для «экономических» подсистем составляет $2L_{1 \max} = 10$ км (непересекающиеся зоны пастбищных угодий двух смежных поселений). Поэтому признаком включения j -го селища в «экономическую» подсистему РПЦ или АРЦ может служить сравнительная оценка расстояний l между парами поселений «центр — селище»:

$$q_{3j} \in S^1_{2f}, \text{ если } l_{jf} \in 2L_{1 \max} = 10 \text{ км}; \quad (2)$$

$$q_{3j} \in S^1_{1m}, \text{ если } l_{jm} \in 2L_{1 \max} = 10 \text{ км},$$

где f — номер АРЦ; m — номер РПЦ; q_{3j} — селище; j — номер селища.

С другой стороны, расселение с точки зрения управления и контроля территории основывается на пространственно организованной структуре, обеспечивающей практически одинаковую доступность «подчиненных» поселений от организующего центра подсистемы — родоплеменного центра. Аналогичный подход применяется в теории центральных мест В. Кристаллера и А. Лёша при оптимизации административной структуры расселения.

В рамках модели «археологическая культура» пороговое значение мощности связи ($L_{2 \max}$), определяющее существенные связи элементов системы, принято максимально возможное расстояние от родоплеменного центра до поселений, входящих в его подсистему (аграрно-ремесленные центры, селища). Значение данного параметра зависит от ландшафта, уровня развития транспорта, системы коммуникаций и пр.

По экспертным оценкам историков, максимальное значение расстояния от управляющего центра до границы контролируемой им территории ограничивается длиной суточного перехода и составляет 30–40 км¹⁵. Данная величина достаточно стабильна в значительном хронологическом диапазоне. В частности, Геродот, описывая события середины I тысячелетия до н.э., приводит оценку длины одного дневного перехода в 200 стадий,

что составляет 35 км¹⁶. Даже в период Гражданской войны в России дневной переход пешего воинского подразделения оценивался 25–30 верст, что соответствует 26–32 км¹⁷. В средневековой Руси территории московских городских станов (земель, непосредственно использовавшихся в великокняжеском хозяйстве) располагались именно на расстоянии одного дневного перехода от Москвы и вписываются в круг радиусом 40 км¹⁸. Достоверность последней оценки определяется тем, что границы московских городских станов были выделены по представительному массиву разноплановых источников (письменные, картографические, археологические) и историко-ландшафтным данным. Учитывая близость хронологического диапазона существования чепецкой археологической культуры и рассматриваемого периода развития Московского княжества, а также схожесть ландшафтных условий северной части Удмуртии и центрального района России, вероятно, наиболее адекватной является оценка $L_{2\max} = 40$ км. Необходимо подчеркнуть, что данное значение является оценкой сверху, которая в дальнейшем будет уточняться на основе исследований пространственного распределения поселений чепецкой археологической культуры.

Следовательно, признаком включения поселения в зону влияния m -го родоплеменного центра может служить сравнительная оценка расстояний l между этим центром и поселениями других типов:

$$\begin{aligned} q_{2r} &\in S^2_m, \text{ если } l_{mr} \leq L_{2\max} = 40 \text{ км;} \\ q_{3s} &\in S^2_m, \text{ если } l_{ms} \leq L_{2\max} = 40 \text{ км,} \end{aligned} \quad (3)$$

где q_{ij} — археологические памятники различных типов (i — номер типа); r — номер аграрно-ремесленного центра; s — номер селища.

Совокупность «административных» подсистем от каждого родоплеменного центра определяет область распространения системы «археологическая культура» в целом.

Обобщение выражений (1–3) является *интегральным критерием*, который позволяет реконструировать принадлежность каждого из известных поселений подсистемам конкретных аграрно-ремесленных и родоплеменных центров и на основании этого моделировать состав, структуру и организацию системы «археологическая культура» в целом.

Таким образом, формализация экспертных оценок исследователей-археологов позволяет представить археологическую культуру в виде системы с иерархической структурой, которая характеризуется целостностью, наличием существенных устойчивых связей между элементами и подсистемами,

упорядоченным распределением связей и элементов, а также ярко выраженными интегративными качествами. В рамках предложенного формализованного описания археологическая культура рассматривается как целостное образование, состоящее из взаимосвязанных и взаимодействующих частей: поселения различных типов — «экономические» подсистемы — «административные» подсистемы. Существенные связи между элементами восстанавливаются на основе реконструкции путей коммуникации с учетом введенных оценок максимального значения расстояния между элементами различных типов (например, аграрно-ремесленный центр — селище, родоплеменной — иные поселения). Очевидно, что элементы системы упорядочены как во времени, так и в пространстве (распределение археологических памятников различных типов на исследуемой территории, их взаимное расположение, определенная роль и задачи каждого поселения с точки зрения археологической культуры в целом, период существования поселения и пр.), что доказывает наличие устойчивой организации общества в древности. Иными словами, археологическая культура является устойчивым интегративным образованием, которое за счет распределения связей между входящими в нее родоплеменными и аграрно-ремесленными центрами и селищами обеспечивает функционирование системы с точки зрения управления, системы хозяйства и защиты населения от внешней опасности. Такое представление позволяет рассматривать археологическую культуру как систему, что обеспечивает возможность моделирования различных аспектов исторических процессов: структуры системы коммуникаций между поселениями, границ ареала распространения археологической культуры и динамики расселения на исследуемой территории.

Моделирование конфигурации территории чепецкой археологической культуры осуществляется в два этапа:

- задачей первого этапа является расчет максимального расстояния от центральных поселений археологической культуры до ее границ. Это предполагает выделение для каждого родоплеменного центра группы городищ, которые могут быть включены в его «административную» зону (построение кластеров РПЦ). В рамках каждой выделенной группы строятся оптимальные пути между РПЦ и всеми поселениями. Длина максимального пути является параметром, ограничивающим «административную» зону каждого родоплеменного центра;

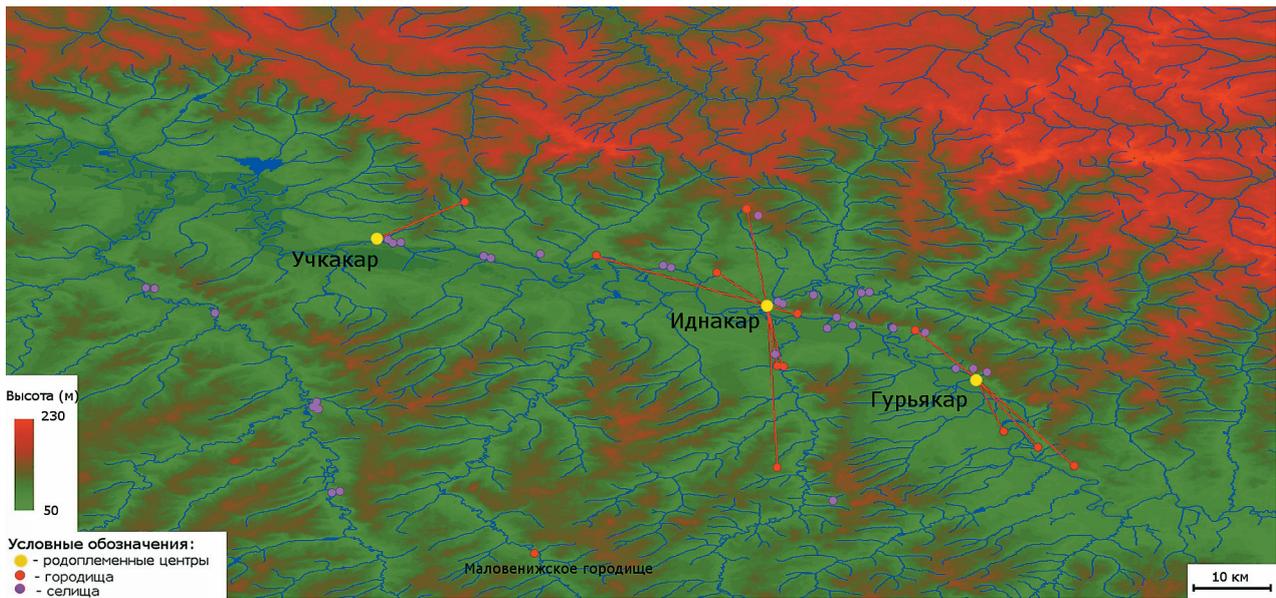


Рис. 3. Кластеры родоплеменных центров чепецкой археологической культуры

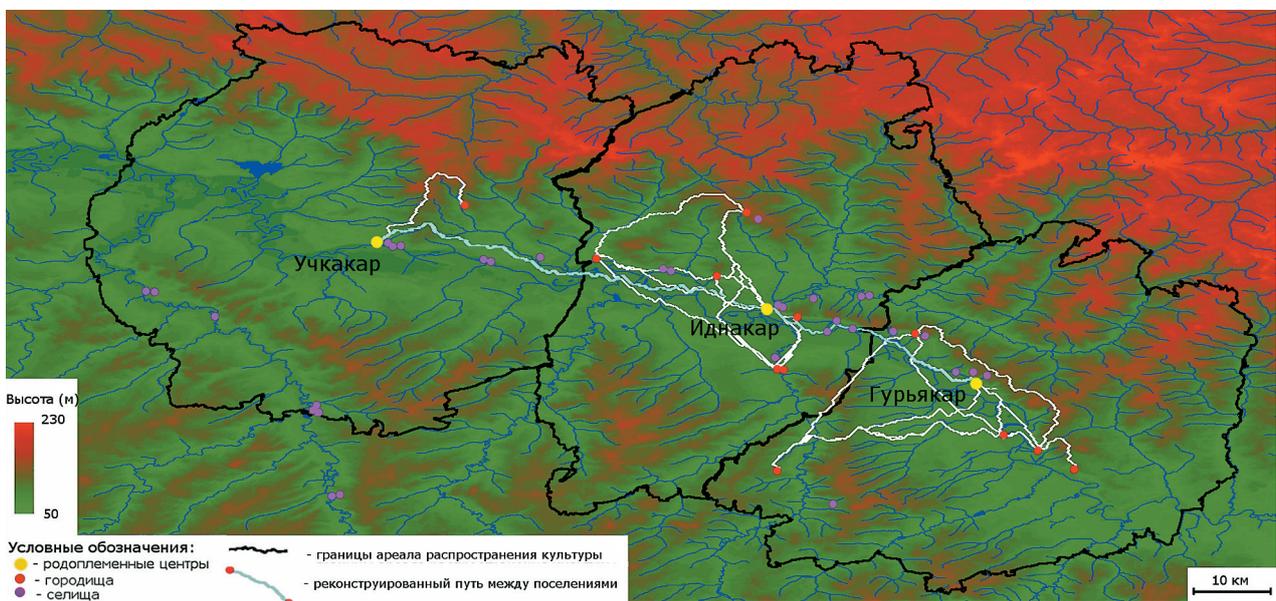


Рис. 4. Конфигурация вероятных путей между городищами и ареала распространения чепецкой археологической культуры

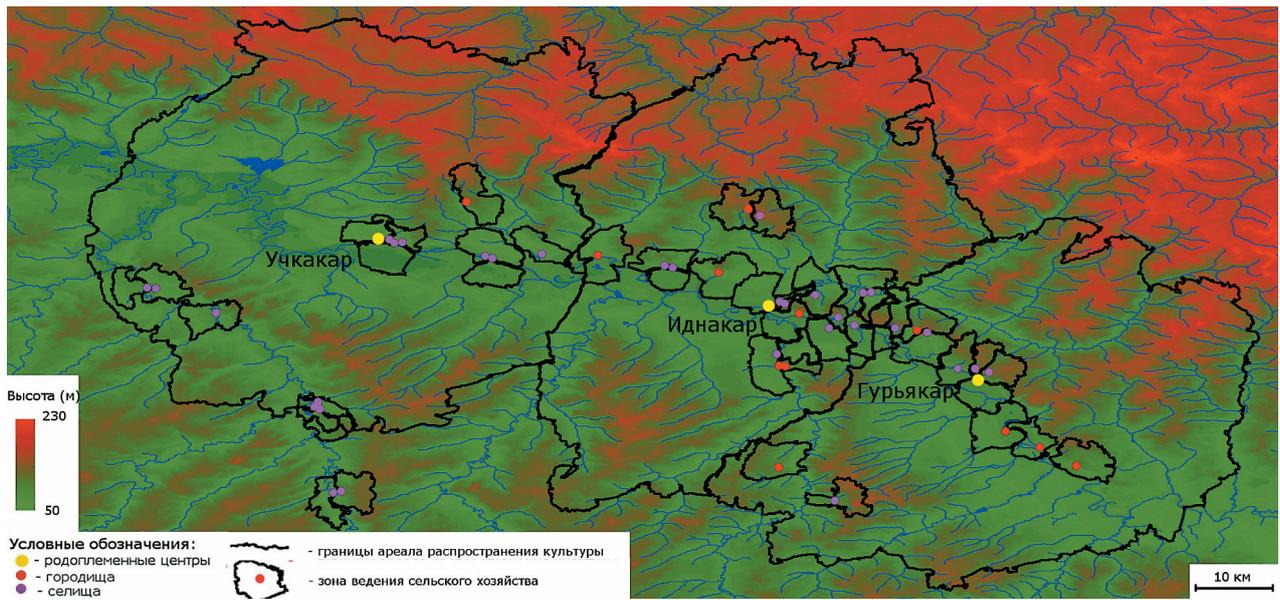


Рис. 5. Зоны ведения сельского хозяйства Чепецкой археологической культуры

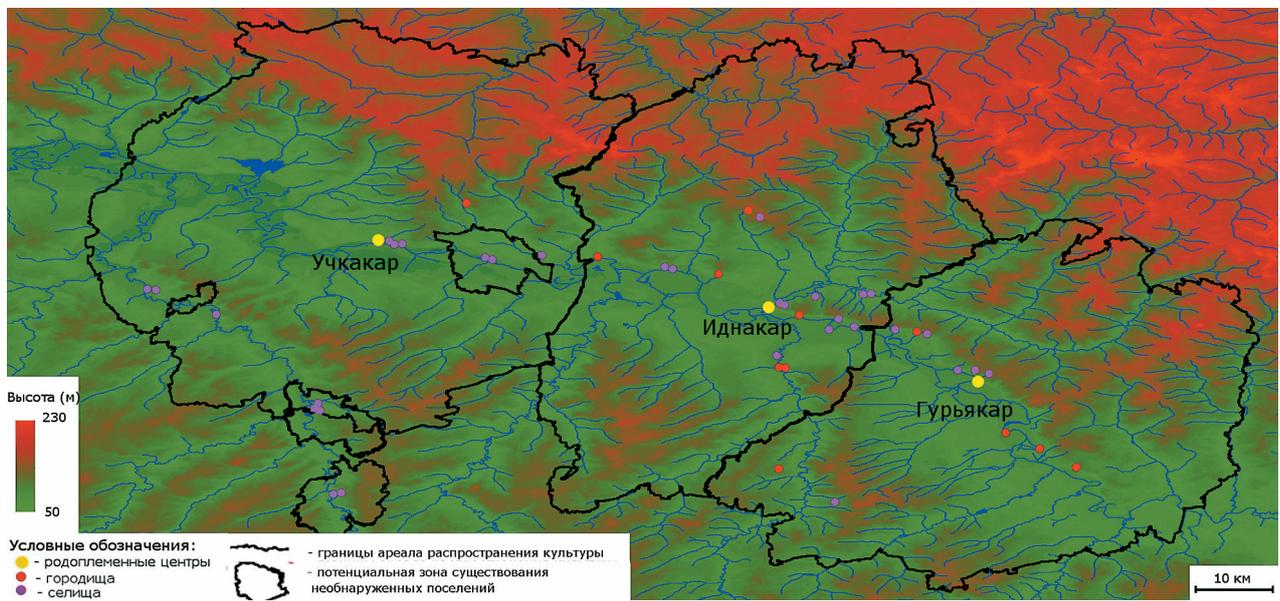


Рис. 6. Возможные зоны локализации необнаруженных поселений

- задачей второго этапа является реконструкция ареала распространения археологической культуры. При этом на основе метода оптимизации производится моделирование конфигурации границ «административных» зон каждого родоплеменного центра с учетом физико-географических факторов. Совокупность «административных» зон образует ареал распространения археологической культуры.

На первом этапе для каждого родоплеменного центра определяется набор поселений, которые он «контролирует», иными словами, вероятный состав административных подсистем. Такой набор поселений, включающий один РПЦ и ряд контролируемых им городищ, в рамках данного исследования определен как *кластер*. Кластеры строятся следующим образом: для каждого i -го поселения выбирается j -й родоплеменный центр, расстояние до которого меньше, чем расстояние до остальных родоплеменных центров (l_{min}^j). При этом i -е поселение считается «контролируемым» j -м родоплеменным центром, если расстояние l_{min}^j не превосходит $L_{2max} = 40$ км (см. выражение 3).

Расчет кластеров для трех РПЦ чепецкой археологической культуры (Гурьякар, Иднакар и Учкакар) показал: городище Гурьякар «контролирует» 4 аграрно-ремесленных центра, Иднакар — 7, а Учкакар — 1. Маловенижское городище находится на расстоянии более 40 км от всех РПЦ, поэтому оно не вошло ни в один из кластеров (рис. 3).

Критерий образования кластеров использует кратчайшее расстояние по карте, следовательно, не учитывает влияние физико-географических факторов (рельеф и гидросеть). Такой подход является лишь первой оценкой принадлежности поселений к «административной» подсистеме определенного РПЦ. Для уточнения состава кластеров и значения параметра L_{2max} восстанавливается конфигурация вероятных путей коммуникации между родоплеменным центром и городищами в пределах каждого кластера.

Моделирование конфигурации путей между поселениями в древности основано на эвристических алгоритмах оптимизации¹⁹, что обеспечивает компромисс между длиной пути и трудоемкостью его прохождения (рельеф, водные преграды). Анализ комплексного критерия, учитывающего исторические и физико-географические факторы, позволяет моделировать «оптимальный» путь по относительно ровному участку местности при минимизации количества переправ. Достоверность таких реконструкций доказана при моделировании конфигурации известного исторического объекта — участка трассы Сибирского тракта на территории Удмуртии²⁰. Эталонная конфигура-

ция Сибирского тракта восстановлена с высокой точностью в результате историко-архивных исследований и натурного обследования участков тракта между населенными пунктами, через которые проходила эта дорога.

Моделирование путей коммуникации между поселениями позволяет оценить их длину с учетом рельефа (рис. 4). Следовательно, состав кластеров («административных» подсистем) может измениться, так как при формировании кластеров использовалось «воздушное» расстояние между городищами. Поселения, длина пути от которых до родоплеменного центра превосходит 40 км, исключаются из рассмотрения. Более того, максимальная длина пути в пределах кластера может рассматриваться как уточнение значения параметра L_{2max} для конкретной археологической культуры — L'_{2max} (табл. 2).

Таблица 2

Расстояния от родоплеменных центров до укрепленных поселений в пределах каждого кластера (состав административных подсистем)

Название поселения	Расстояние (км)
Кушманское городище (Учкакар)	
Комаровское	26,469
Солдырское I городище (Иднакар)	
Богатырское	10,018
Дондыкарское	21,252
Краснослудское	31,267
Лудошурское I	12,583
Лудошурское II	12,676
Сепычское	32,152
Солдырское II	4,911
Гординское городище (Гурьякар)	
Балезинское	10,755
Буринское	13,728
Весьякарское	16,233
Карйылское	23,703

Таким образом, моделирование путей коммуникации позволяет определить состав «административных» подсистем. В рамках чепецкой археологической культуры выделяются три «административные» подсистемы, состав которых приведен в таблице 2. Результаты компьютерного эксперимента показали, что состав кластеров чепецкой археологической культуры не изменился по сравнению с пред-

варительной оценкой, все городища этой культуры расположены на расстоянии не более 32,2 км от соответствующих РПЦ. Поэтому в дальнейшем, при реконструкции ареала археологической культуры, в качестве L'_{2max} выбирается максимальное расстояние от городища Иднакар до Сепычского городища с учетом потенциальной «экономической» зоны этого поселения (5 км). Следовательно, в качестве максимального расстояния от родоплеменного центра до границ ареала распространения чепецкой археологической культуры принимается значение 37,2 км (см. выражение (3)). Данная оценка используется на втором этапе моделирования.

Второй этап предполагает также моделирование ареала и границ распространения культуры на основе решения задачи оптимизации с учетом комплексного критерия²¹. Ареал распространения чепецкой археологической культуры строится с учетом параметра L'_{2max} (рис. 4). При этом в построенный ареал вошли 45 из 48 известных поселений (94%).

Проверкой корректности построенных «административных» зон РПЦ служит реконструкция конфигурации потенциальной «экономической» зоны вокруг каждого из поселений. Моделирование показало, что все потенциальные экономические зоны находятся в пределах территории распространения культуры в целом и не выходят за рамки «административных» зон соответствующих родоплеменных центров (рис. 5).

Для оценки структуры использования территории с точки зрения производящего хозяйства было рассчитано соотношение (δ_i) площадей «административных» (S_i) и «экономических» (S_j) зон (табл. 3):

$$\delta_i = \frac{\sum_{j=1}^{M_i} S_j}{S_i}, \quad (4)$$

где i — номер РПЦ; M_i — количество «экономических» зон в «административной» зоне i РПЦ.

Таблица 3

Оценка доли «экономических» зон в ареале чепецкой археологической культуры

Центральное поселение «административной» зоны	S (кв. км)	S' (кв. км)	di (di ' 100%)
Кушманское городище Учкакар	2026,59	233,58	0,115 (11,5)
Солдырское I городище Иднакар	2142,33	370,07	0,173 (17,3)
Гординское городище Гурьякар	2566,36	263,00	0,102 (10,2)

Отношение площади земель, используемых под ведение сельского хозяйства, к общей площади каждой «административной» зоны достаточно стабильно для всех трех родоплеменных центров чепецкой археологической культуры. Незначительно выше доля использования территории под сельское хозяйство в «административной» зоне городища Иднакар. Это, вероятно, объясняется центральным расположением поселения на территории чепецкой археологической культуры. Относительно небольшая доля использования территории для ведения сельского хозяйства, возможно, связана с тем, что существовали природные барьеры, которые не фиксируются в настоящее время (болота, лесные массивы). Более того, если исходить из состава археологических находок, то население также занималось и другими видами деятельности (охота, рыболовство, бортничество и пр.)²². Эти отрасли требовали освоения значительных по размеру территорий. Например, согласно экспертным оценкам, сформированным на основе знаний по экологии охотничьих животных, зона охоты должна располагаться не ближе чем 10 км от поселения²³.

Состав «экономических» подсистем определяется аналогично составу «административных» подсистем: построение кластеров и оценка максимального радиуса «зоны влияния» РПЦ и АРЦ для селищ (табл. 4). Оценка максимального значения длины пути (пороговое значение мощности связи) в рамках «экономических» подсистем чепецкой археологической культуры составляет 13,605 км.

Таблица 4

Расстояния от городищ до неукрепленных поселений в пределах каждого кластера (состав «экономических» подсистем)

Центральное поселение (РПЦ или АРЦ)	Зависимые поселения (селища)	Расстояние от РПЦ (АРЦ) до селища, км
Кушманское	Кушманское I	8,015
	Кушманское II	3,585
	Кушманское III	6,996
Краснослудское	Печешурское	13,605
Богатырское	Нижнебогатырское I	10,314
	Нижнебогатырское II	8,953
Дондыкарское	Дондыкарское	3,737
Солдырское I	Солдырское III	3,257
	Солдырское IV	2,948
Солдырское II	Солдырское I	5,758
	Адамское I	10,983
	Адамское II	10,886
	Качкашурское	8,597

Окончание таблицы 4

Центральное поселение (РПЦ или АРЦ)	Зависимые поселения (селища)	Расстояние от РПЦ (АРЦ) до селища, км
Гординское I	Гординское I	6,603
	Гординское II	7,564
	Подборновское	5,489
Сепычское	Гурдошурское	12,913
Лудошурское I	Качкашурское II	2,373
Весьякарское	Весьякарское	2,850
	Турайское I	12,037
	Турайское II	13,216
	Заболотновское	6,476

Таким образом, моделирование на основе метода оптимизации с учетом комплексного анализа исторических и физико-географических факторов позволяет уточнить численные оценки интегрального критерия абстрактной системы «археологическая культура» (выражения (1–3)) применительно к чепецкой археологической культуре:

- состав «административных» и «экономических» подсистем системы «археологическая культура» определен таблицами 2 и 4;
- критерий мощности связи для определения состава «экономических» подсистем определяется выражением:

$$q_{3j} \in S^1_{2r}, \text{ если } l_{jr} \leq 13,6 \text{ км};$$

$$q_{3j} \in S^1_{1m}, \text{ если } l_{jm} \leq 13,6 \text{ км};$$

- критерий мощности связи для выявления состава «административных» подсистем определяется выражением:

$$q_{2r} \in S^2_m, \text{ если } l_{mr} \leq 37,2 \text{ км};$$

$$q_{3j} \in S^2_m, \text{ если } l_{mj} \leq 37,2 \text{ км},$$

где q_{ij} — археологические памятники различных типов (i — номер типа); j — номер селища; s — номер аграрно-ремесленного центра.

Моделирование границ «экономических» подсистем чепецкой археологической культуры показало, что в «экономические» подсистемы вошло только 22 из 32 известных селищ. Остальные «свободные» селища (рис. 2) расположены на расстоянии более 10 км от родоплеменных и аграрно-ремесленных центров. Предположительно, должны были существовать укреп-

ленные поселения, которые «контролировали» «свободные» селища. Очевидно, данная проблема связана с неполнотой исходных данных: не все археологические памятники выявлены специалистами либо археологические объекты разрушены в ходе поздней техногенной и антропогенной деятельности. В соответствии с предложенной моделью неизвестные «контролирующие» поселения расположены вблизи от групп «свободных» селищ (в соответствии с приведенной оценкой расстояние не должно превышать 13,6 км).

Методика локализации территории расположения археологического памятника состоит в следующем. Для каждого «свободного» селища строится «экономическая» зона без учета зон соседних селищ. Результатом моделирования является набор пересекающихся областей. Именно область пересечения «экономических» зон и является наиболее вероятным местом существования необнаруженного поселения, так как такое местоположение обеспечивает возможность «контроля» данной группы селищ в рамках одной «экономической» подсистемы. При анализе чепецкой археологической культуры было выделено 4 области пересечений экономических зон «свободных» селищ, что определяет потенциальные зоны существования необнаруженных поселений (рис. 6).

Таким образом, применение системного подхода для формализации археологических данных и формирования имитационной модели, применение специализированных математических методов, ориентированных на комплексный анализ исторических и физико-географических факторов, позволяет восстанавливать исторические процессы на основе ограниченных археологических данных. Необходимо отметить, что любые реконструкции исторических процессов, основанные на имитационном моделировании, носят вероятностный характер, т. е. определяют возможный «диапазон» вариантов, в котором протекал реальный процесс. Границы «диапазона» могут быть получены на основе ряда компьютерных экспериментов, реализующих различные «сценарии» возможного развития событий²⁴. Именно такой подход обеспечивает верификацию гипотез и, соответственно, достоверность результатов моделирования исторических процессов и явлений.

ПРИМЕЧАНИЯ

- ¹ Виноградов А. А. К вопросу о социальной типологии городищ Волжской Булгарии // Современные проблемы и перспективы развития исламоведения, востоковедения и тюркологии : материалы первой международной молодежной научно-практической конференции. Нижний Новгород, 2007. С. 160–166; Коробов Д. С. Применение методов пространственного анализа при изучении системы расселения алан Кисловодской котловины [Электронный ресурс] // Археология и геоинформатика. Вып. 5. М., 2008. 1 электрон. опт. диск (CD-R); Раппопорт П. А. Военное зодчество Западно-Русских земель X–XIV вв. // Материалы и исследования по археологии. М., 1976. № 140. С. 186–192; Фахрутдинов Р. Г. Классификация и топография Булгарских городищ // Советская археология. 1990. № 4. С. 63; Халиков А. Х., Шарифулин Р. Ф. Караван-сарай древнего Биляра // Исследования Великого города. М., 1976. С. 69.
- ² Коробов Д. С. ГИС-моделирование пахотных угодий эпохи раннего средневековья у алан Кисловодской котловины // Краткие сообщения Института археологии. Вып. 226. М., 2012.
- ³ Иванова М. Г. Хозяйство северных удмуртов в конце IX — начале XIII вв. н.э. // Северные удмурты в начале II тысячелетия н.э. Ижевск, 1979. С. 6–68.
- ⁴ Иванов А. Г., Иванова М. Г., Останина Т. И., Шутова Н. И. Археологическая карта северных районов Удмуртии. Ижевск, 2004.
- ⁵ Иванова М. Г. Иднакар: древнеудмуртское городище IX–XIII вв.: монография. Ижевск, 1998.
- ⁶ The CGIAR Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI) [Electronic resource]. URL: <http://srtm.csi.cgiar.org> (дата обращения: 20.06.2011).
- ⁷ Ковалевская В. Б. Археологическая культура — практика, теория, компьютер. М., 1995.
- ⁸ Иванова М. Г. Иднакар...; Коробов Д. С. Применение методов...
- ⁹ Доорн П. Географическое положение, модели взаимодействия и реконструкция исторических поселений и коммуникаций (на примере Этолии, исторической области центральной Греции) // История и компьютер: Новые информационные технологии в исторических исследованиях и образовании. Геттинген, 1993. С. 105–140; Коробов Д. С. ГИС-моделирование сельскохозяйственных угодий эпохи раннего средневековья в Кисловодской котловине // Археология и геоинформатика. Вып. 6 [Электронный ресурс]. М., 2010. 1 электрон. опт. диск (CD-R).
- ¹⁰ Тикунов В. С. Моделирование в картографии. М., 1997.
- ¹¹ Коробов Д. С. Применение методов...; Он же. ГИС- моделирование...; Культура средневековой Москвы. Исторические ландшафты : в 3 т. М., 2005. Т. 2; Носевич В. Л. На пути к организации общества как самоорганизующейся системе // Математическое моделирование исторических процессов. М., 1996. С. 202–223; Черносвитов Ю. П. Освоение Крайнего Севера. Опыт имитативного моделирования по материалам археологии. М., 1994.
- ¹² Иванова М. Г. Хозяйство северных удмуртов... С. 35.
- ¹³ Early European Agriculture: its foundations and development. Cambridge, 1982; Higgs E. S. The history of European agriculture — the uplands // The Early History of Agriculture. Oxford, 1977; Jarman H. N., Bay-Petersen J. L. Agriculture in prehistoric Europe — the lowlands // The Early History of Agriculture. Oxford, 1977.
- ¹⁴ Иванова М. Г. Хозяйство северных удмуртов... С. 35.
- ¹⁵ Рыбаков Б. А. Русские земли по карте Идриси 1154 г. // Краткие сообщения института истории материальной культуры. Вып. 43. М., 1952. С. 3–44.
- ¹⁶ Геродот. История/пер. Г. А. Стратановского. Л., 1972. Кн. IV, 101.
- ¹⁷ Молчанов В. М. Последний белый генерал. Устные воспоминания, статьи, письма, документы. М., 2009. С. 159.
- ¹⁸ Культура средневековой Москвы... С. 17–46.
- ¹⁹ Нильсон Н. Искусственный интеллект: методы поиска решений. М., 1973; Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. М., 2007.
- ²⁰ Зубарева О. Т., Груздев Д. В., Журбин И. В. Реконструкция путей коммуникаций между древними поселениями средствами ГИС // Геоинформатика. 2012. № 2. С. 9–14.
- ²¹ Зубарева О. Т., Груздев Д. В., Журбин И. В. Моделирование границ и структуры археологической культуры: комплексный подход // Интеллектуальные системы в производстве. 2012. № 1 (19). С. 23–28.
- ²² Иванова М. Г. Хозяйство северных удмуртов...; Она же. Иднакар...
- ²³ Гептнер В. Г., Наумов Н. П. Млекопитающие Советского Союза. М., 1961–1976.
- ²⁴ Бородин Л. И., Таранин М. В. О типологии математических моделей исторических процессов // Математическое моделирование исторических процессов. М., 1996. С. 41.