

ФЕОДАЛЬНАЯ РАЗДРОБЛЕННОСТЬ КАК РЕЗУЛЬТАТ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ X – XII В.В. Н.Э.: ИСТОРИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Неретин И.С.

Rock Flow Dynamics

Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 25А

ivan@neretin.ru

Словохотов Ю.Л.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 65

yurislovo@yandex.ru, slov@ipu.ru

Аннотация: Гипотеза о глобальном потеплении X–XII в.в. н.э. как катализаторе феодальной раздробленности сопоставлена с результатами компьютерного моделирования. Стационарный поток внешней «энергии» в системе конфликтующих агентов порождает иерархию их размеров. Мгновенное увеличение потока приводит к выравниванию агентов с последующим восстановлением иерархии.

Ключевые слова: вековые изменения климата, средневековый оптимум, феодальная раздробленность, агентное моделирование.

Введение

Использование физических и математических методов в современных исторических дисциплинах можно разделить на три направления:

- Верификация данных и их статистическая обработка.
- Выявление связей исторических процессов с геофизическими факторами, или «физическая история».
- Компьютерное моделирование исторической динамики: *математическая история*.

Статистический анализ количественных данных и использование междисциплинарных подходов, включая агентные модели, более всего распространены в археологии [1]. Под «физической историей», по аналогии с термином «физическая география», следует понимать влияние климата и рельефа местности на исторические процессы. Термин «математическая история» [2] постепенно становится официальным названием междисциплинарного раздела исторической науки, где используются, в том числе, методы математической физики.

1 Солнечная энергия, климат и исторический процесс

С физической точки зрения «живая» оболочка Земли (биосфера) и все ее компоненты, включая человечество в историческом времени, являются диссипативными структурами, которые существуют только благодаря внешнему притоку энергии от Солнца и критически зависят от его небольших изменений. Количество лучистой энергии Солнца, падающей на единичную площадь в единицу времени в точках земной орбиты, или *солнечная постоянная* (англ. *total solar irradiance, TSI*) приблизительно равна 1367 Вт/м^2 , то есть 1367 джоулей в секунду на квадратный метр поверхности, перпендикулярной световым лучам [3]. Таким образом, сечению Земли как кругу радиусом 6370 км сообщается примерно $1.74 \cdot 10^{17}$ джоулей солнечной энергии в секунду, или $5.5 \cdot 10^{24}$ дж в год. Вся энергия, вырабатываемая за год человечеством, составляет $5.1 \cdot 10^{20}$ дж [4], т.е. примерно 0.01% от потока солнечной энергии (часть которого отражается и рассеивается).

Варьирование потока солнечной энергии, достигающего поверхности Земли, вызвано космофизическими факторами. В порядке уменьшения масштаба времени им соответствуют:

- Палеоклиматические *циклы Миланковича*, порождаемые прецессией и нутацией оси вращения Земли, а также возмущением ее орбиты другими планетами [5].
- Нерегулярные *вековые* изменения солнечной постоянной [3, 6].
- «Быстрые» (в масштабах исторического времени) квазипериодические изменения магнитной активности Солнца, или циклы солнечной активности [3, 7].

Палеоклиматические циклы протекают в масштабах десятков тысяч лет, т.е. находятся вне масштабов исторического времени. Циклы солнечной активности продолжительностью от 8–9 до 16–17 лет (в среднем 11 лет) хорошо изучены: для них разработаны математические модели [7],

которыми воспроизводятся динамика солнечных пятен и результаты прямых измерений интенсивности излучения Солнца с помощью космических аппаратов [3]. В этих циклах солнечная постоянная колеблется в пределах 0.1%, однако они не влияют на среднегодовую температуру Земли благодаря большой тепловой инерции водно-воздушно-континентальной оболочки планеты.

Наибольшим потенциалом воздействия на человеческую историю обладают относительно медленные «вековые» изменения солнечной постоянной, способные вызывать варьирование среднегодовой температуры Земли с сильными локальными изменениями климата [5, 6]. Эти изменения безусловно влияли на сельскохозяйственное производство, от которого зависели все основные социальные и политические процессы в традиционных обществах. Реконструкция солнечной активности в исторический период существования человечества производится по содержанию космогенных изотопов (^{14}C в годичных кольцах деревьев, ^{10}Be и ^{18}O в ледниках) и археологическим данным. Эти «прокси-ряды» указывают на флуктуации TSI (обычно 2–3 столетия между максимумом и соседним минимумом) в пределах 0.2 – 0.3% вокруг ее среднего значения.

Климатические модели, предложенные в последние десятилетия, в согласии с письменными источниками воспроизводят варьирование среднегодовой температуры Земли с амплитудой $\sim 1^\circ$ и значительное перераспределение температуры и влажности в разных регионах планеты [5, 6] в результате «вековых» изменений TSI. Наиболее известны такие климатические экстремумы новой эры, как римский максимум I–II в.в., римский минимум VI–VII в.в. (сопровождавшийся Великим переселением народов), средневековый оптимум X–XII в.в. и минимум Маундера, или *малый ледниковый период* в Европе XVII века [8]. Климатические максимумы совпадали с увеличением сельскохозяйственного производства, ростом населения и быстрым развитием локальных цивилизаций. Вплоть до промышленной революции XVIII–XIX в.в. периоды глобального похолодания сопровождались голодом, эпидемиями, массовой миграцией людей и длительными войнами.

Историки не оспаривают влияния климата на глобальный социально-политический кризис IV–VI веков н.э. Но «климатический» подход позволяет объяснить и другие события, пока не имеющие общепринятой интерпретации. Так, средневековый климатический оптимум X–XII в.в., подтвержденный археологическими данными по растительному разнообразию Европы [9], совпадает по времени с периодом европейского Высокого Средневековья (рост населения, развитие городов [10]) и формировавшейся в тот же период феодальной раздробленностью, в литературе также называемой «феодалная революция» и *encastellation* [11]. Упадок центральной власти и военные столкновения между крупными земельными собственниками (в Европе обусловившие усиленную фортификацию, т.е. строительство замков) на фоне роста сельскохозяйственного производства и населения в этот период наблюдались и в таких регионах, как Киевская Русь [12] и средневековый Китай [13]. В указанный период эти регионы не имели существенных связей между собой и сильно различались по степени зрелости феодальных экономических отношений.

Мы предполагаем, что развитие феодальной раздробленности в Европе и Киевской Руси было следствием глобального потепления X–XII в.в. и обусловленного им увеличения объема сельскохозяйственной продукции. Вместе с быстрым (в исторических масштабах) ростом населения, вызванным улучшением жизненных условий, эти факторы способствовали обогащению и усилению крупных феодалов, ослабляя их зависимость от центральной власти. Возвышение местных князей в Киевской Руси сопровождалось междоусобными (феодалными) войнами XI–XII в.в., а в более густонаселенной Европе также строительством укреплений (замков). Реинтеграция крупных национальных государств возобновилась лишь в XV–XVII в.в. после длительного периода войн и эпидемий (в русских княжествах и Китае – после монгольских завоеваний).

2 Описание модели

Ослабление иерархии в средневековых государствах в результате увеличения притока внешней энергии воспроизводилось в агентной модели средствами C++ в графическом интерфейсе SDL. Энергоподобный «продукт» W (богатство в произвольных единицах) перераспределялся между агентами-«лендлордами», которые перемещались по кинематической схеме в прямоугольном поле на плоскости. Каждого агента изображал круг с площадью $\sim W_i$. На первом шаге дискретного времени устанавливалось случайное распределение богатства $\{W_i\}$ между N агентами. На каждом последующем шаге агенты получали постоянное приращение ΔW («ренту») и теряли постоянную величину «расходов» $\delta W < \Delta W$ (параметры модели).

При столкновении i -го и j -го агентов их богатство перераспределялось в соответствии с

отношением W_i/W_j . В случае $1 < W_i/W_j \leq a$ оба агента теряли часть богатства в столкновении («войне») и упруго отталкивались. При $W_i/W_j > a$ меньший (j -й) агент становился «вассалом»: втягивался внутрь большего круга и на последующих тактах дискретного времени передавал «сеньору» часть своего богатства, зависящую от отношения $W_i/\sum W_j$ (в знаменателе – сумма богатства всех «вассалов»-го агента). В ходе эволюции модели «сеньор», достигавший отношения $W_i/\sum W_j < 1/b$, терял своих «вассалов». Агент, сократившийся до размера $W_i < d$ (в том числе включенный внутрь большего круга), исчезал и «возрождался» в случайной точке поля с размером $W_i = c > d$ (a, b, c и d – также параметры модели). Меньший агент внутри большего, в свою очередь включенного в еще больший круг, делился своим богатством только с непосредственным «сеньором» (*вассал моего вассала – не мой вассал*).

Предложенная модель соответствует как другим моделям конкуренции за ресурсы (см., например, [14]), так и математическому моделированию войн (см. [15]). Следует подчеркнуть, что агенты в нашей модели соответствовали «лендлордам», или «феодалам»; крестьяне и ремесленники учитывались лишь как бесструктурный источник ренты. Построенная модель демонстрировала устойчивость («робастность») относительно варьирования параметров. Как правило, число агентов в одном прогоне составляло $N=100$, их эволюция с формированием иерархии (см. далее) занимала от 1000 до 3000 шагов дискретного времени. В некоторых прогонах после 3000-го шага приращение продукта на каждом такте времени удваивалось ($2\Delta W$) для всех агентов, моделируя увеличение притока «ренты» благодаря росту производства и населения при быстром улучшении жизненных условий.

3 Результаты и обсуждение

В наших расчетах по предложенной модели воспроизводимо возникало неравномерное распределение агентов по богатству $\{W_i\}$ (рис. 1). В ходе эволюции с постоянным приращением ΔW для всех агентов на каждом шаге дискретного времени система стремилась к предельной конфигурации с одним крупнейшим агентом (условно, «королем»), заключенными внутри него и пересекающимися с ним «вассалами», а также некоторой долей «независимых» агентов. Однако на поле конечного размера подобная конфигурация не была устойчивой. Размеры и доли агентов, приходящие в динамическое стационарное состояние после ~ 1000 тактов моделирования, зависели от параметров модели.

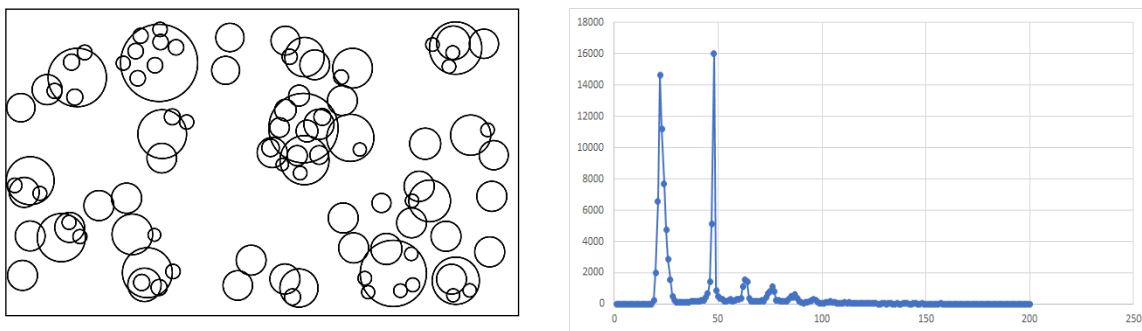


Рис. 1. Типичное расположения агентов на обобщенном ландшафте при стационарном поступлении «ренты» ΔW (слева) и их распределение по размерам (богатству W_i) после 3000 тактов моделирования (справа)

Мгновенное увеличение притока богатства для всех агентов уменьшало их неравенство из-за отрицательной обратной связи «власти сеньора» $W_i/\sum W_j$ с богатством «вассалов». При сокращении числа подчиненных агентов размеры доминирующих «сеньоров» уменьшались; распределение богатства выравнивалось (рис. 2). Это хорошо соответствует возникновению страты феодалов, близких по богатству и власти, в результате быстрого роста сельскохозяйственного производства и населения в период Высокого Средневековья, который совпадает с климатическим средневековым оптимумом. По нашему мнению, этот процесс способствовал децентрализации власти в ранних средневековых государствах. Отметим, что выравнивание богатства агентов не является стационарным: оно возникает сразу после удваивания его приращений ($2\Delta W$ вместо ΔW) и существует несколько сотен шагов. Затем в течение 1–2 тысяч шагов постепенно восстанавливается неравномерное распределение, показанное на рис. 1.

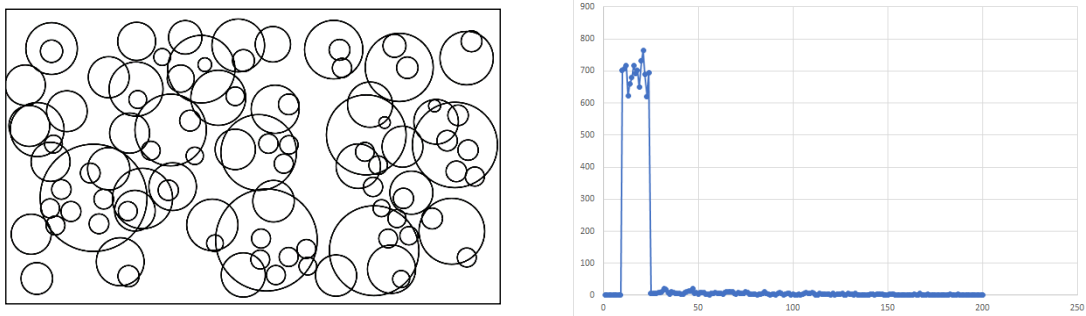


Рис. 2. «Скриншот» расположения агентов (слева) и их распределение по богатству $\{W_i\}$ (справа) после удвоения его притока $2\Delta W$. На обоих графиках абсцисса – радиусы агентов в пикселях, ордината – суммарное количество агентов по большому числу прогонов

Таким образом, при стационарном потоке богатства наша простая модель, воспроизводит появление иерархии: *феодалную лестницу* (рис. 3). Удвоение потока ренты приводит к метастабильному выравниванию благосостояния «феодалов» с постепенным восстановлением иерархии на дальнейших шагах моделирования. В терминах историков упадок государственной власти в климатическом оптимуме может объясняться ростом доходов местных феодалов, уменьшавшим их зависимость от монарха, при быстром, в масштабах исторического времени, повышении продуктивности сельского хозяйства.

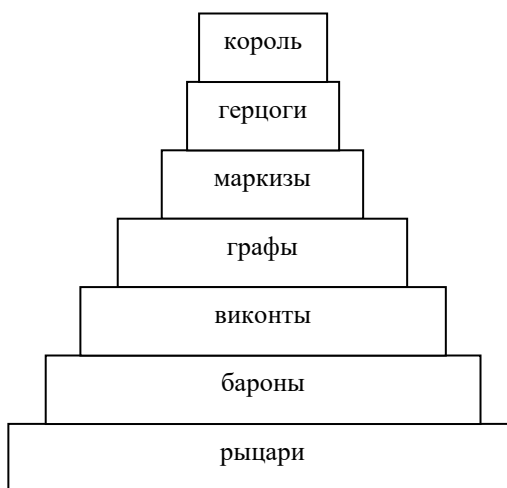


Рис. 3. Феодалная лестница (по Интернет)

На основании исторических данных и результатов моделирования мы полагаем, что усиление феодальной раздробленности в X–XII веках н.э. может иметь климатическое обоснование. Строительство феодалами укрепленных замков в этом случае стало возможным благодаря увеличению их доходов и необходимым ввиду аналогичного обогащения агрессивных соседей. Надо отметить, что стандартное объяснение феодальной раздробленности разделением владений между наследниками неубедительно: наследование существовало задолго до феодальной революции, а майорат (передача всего наследства старшему сыну), препятствующий такому разделению, возник в Европе еще в VIII веке н.э. [10, 11].

Заключение

Возможная связь изменений климата в X–XII в.в. н.э. (теплый средневековый оптимум, совпадающий с периодом Высокого Средневековья в Европе) с усилением феодальной раздробленности («феодальной революцией») в тот же период времени исследована нами на основе компьютерного моделирования. При естественных условиях на параметры агентов, имитирующих конкуренцию феодалов, расчеты воспроизвели иерархическое распределение агентов по богатству при стационарном притоке «ренты» из внешней среды и нетривиальную динамику: выравнивание богатства агентов при резком увеличении этого притока. Сохранение стационарной «ренты» на

новом уровне сопровождалось постепенным восстановлением неравномерного распределения богатства агентов. Это согласуется с гипотезой об ослаблении центральной государственной власти в ряде не связанных между собой регионов мира (Европа, Киевская Русь, Китай) в период глобального потепления как результате обогащения крупных землевладельцев благодаря увеличению сельскохозяйственного производства и росту населения, а также с последующим постепенным возрождением крупных централизованных государств в середине 2-го тысячелетия нашей эры.

Таким образом, существование «феодальной лестницы» и ослабление центральной государственной власти, трактуемые в истории средних веков как равноправные признаки феодального общественно-экономического строя, на основании нашей модели следует объяснять разными причинами. Первое является частным проявлением всеобщей социальной иерархии, документировано существующей с времени возникновения государств и письменности и объясняемой конкуренцией за ресурсы (см., например, модельные расчеты [14]). Напротив, феодальная раздробленность, по нашему мнению, вызвана специфическим глобальным потеплением X–XII в.в. н.э., которое увеличило богатство и власть крупных землевладельцев до уровня, позволившего им оспорить власть монарха. С этим предположением согласуются как феодальные междоусобные войны в русских княжествах XI–XII веков, так и фортификация Западной Европы в тот же период (encastellation): средство защиты феодалов от усилившихся агрессивных соседей. Задержка в возрождении крупных централизованных государств до XVI–XVII в.в. коррелирует с длительным глобальным похолоданием после средневекового климатического оптимума (см. [5, 6]), которое сопровождалось демографическим кризисом, масштабными эпидемиями и многочисленными войнами.

Литература

1. Kohler T.A., van der Leeuw S.E. (Eds.) The Model-Based Archaeology of Socionatural Systems. – SAR Press: Santa Fe, New Mexico, 2007. – 304p.
2. Турчин П.В. Историческая динамика: на пути к теоретической истории. 2-е изд. – М: ЛКИ, 2010. – 368с.
3. Pap J.M., Willson R.C., Frohlich C., Donnelly R.F. Long-term Variations of Total Solar Irradiance // Solar Physics. Vol. 152. 1994, №1. – P. 13-21.
4. BP Statistical Review of World Energy 2021. 70th Edition. URL: <https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/bp-stats-review-2021-full-report.pdf> (дата обращения: 18.09.2022).
5. Cronin T.M. Paleoclimates: Understanding Climate Change Past and Present. – Columbia University Press, NY, 2010. – 448p.
6. Scafetta N., West B.J. Phenomenological reconstructions of the solar signature in the Northern Hemisphere surface temperature records since 1600 // J. Geophys. Res. Vol. 112. 2007, D24S03.
7. Conway A.J. Time series, neural networks and the future of the Sun // New Astronomy Reviews. Vol. 42. 1998, №5. – P. 343–394.
8. Hunt B.G. The Medieval Warm Period, the Little Ice Age and simulated climatic variability // Climate Dynamics. Vol. 27. 2006. – P. 677–694.
9. Poschlod P. The origin and Development of the Central European Man-made Landscape, Habitat and Species Diversity as Affected by Climate and its Changes – a Review // Interdisciplinaria Archaeologica: Natural Sciences in Archaeology, v. VI, 2015. – P. 197–221.
10. Jordan W.C., Europe in the High Middle Ages (3rd ed.). – Penguin Books, 2004. – 400p.
11. Fossier R. Enfance de L'Europe. Aspects économiques et sociaux. Vol. 1-2. Presses Universitaires de France, Paris. 2018. – 566p.
12. Franklin S., Shepard J. The Emergence of Rus, 750–1200. – London: Longman, 1996. – 450p.
13. Editorial Committee of Chinese Civilization (Eds.) China: Five Thousand Years of History and Civilization. – City University of HK Press. 2007. – 832 p.
14. Bonabeau E., Theraulaz G., Deneubourg J.-L. Phase diagram of a model of self-organizing hierarchies // Physica A. Vol. 217. 1995. – P. 373–392.
15. Tang D.-H., Han X.-P., Wang B.-H. Stretched exponential distribution of recurrent time of wars in China // Physica A. Vol. 389. 2010. – P. 2637–2641.