

УДК 519.254
MSC2010 62P25

© М. А. Гузев¹, Н. Н. Крадин², Е. Ю. Никитина³

Ранговый анализ жизненного цикла политий

Многие исследователи от Гиббона до Тойнби и Гумилева интересовались тем, как возникали и погибали большие империи и цивилизации. При этом традиционно история крупных политий рассматривалась во временной и пространственной динамике. В этой статье внимание акцентировано на исследовании внешних проявлений структурных особенностей крупных империй и государств, динамика изменения размеров занимаемых площадей которых может быть выражена ограниченным набором математических кривых, описываемых уточненным законом Циффа. Идеальная циффовская кривая характерна для классических империй со сложной экономикой (Китай, Рим и др.). При этом кривые некоторых империй имеют отличительную особенность — «имперский хвост». Чем проще структура политии, тем ближе линия, описывающая их жизнедеятельность, к прямой.

Ключевые слова: *ранговое распределение, закон Циффа.*

Введение

Предметной областью настоящего исследования является поиск общих закономерностей и подбор формализованных характеристик для жизненного цикла политий (государств, империй и т.д.), изучаемого в рамках клиодинамики [1], рассматривающей различные подходы к долгосрочному прогнозированию мировых исторических процессов. В этой области были получены важные результаты о секулярных циклах, росте населения мира, других важных закономерностях динамики социальных систем [2].

Существуют разные основания для формализации долгосрочных (длинных) исторических процессов: численность населения; численность городов и их население; площадь политий.

Однако для доиндустриальных обществ (до XVII в.) не хватает точных данных по первым двум характеристикам. Поэтому большинство работ о моделировании продолжительных хронологических изменений основано на изучении изменений

¹ Институт прикладной математики ДВО РАН, 690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7.

² Институт истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, 690001, г. Владивосток, ул. Пушкинская, 89.

³ Дальневосточный федеральный университет, 690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 8.
Электронная почта: guzev@iam.dvo.ru (М. А. Гузев), kradin@mail.ru (Н. Н. Крадин), nikitina.eyu@dvfu.ru (Е. Ю. Никитина).

площади крупных политий. В этом есть резон, поскольку в процессе роста государства и империи пространственно расширяются, а в периоды кризисов теряют территории.

В качестве источника для анализа площадей политий нами была выбрана база данных «Central Political Military Network (Empires)», которая находится на сайте Института исследований мир-систем университета Риверсайд (IROWS = Institute of Research on World-Systems, UC-Riverside). Источниками для этой базы послужили работы эстонского исследователя Р. Таагаперы [3–5], посвященные изучению динамики империй и государств на протяжении 5000 лет письменной истории.

При исследовании мы отобрали 46 обществ, для которых была возможность с большей степенью достоверности реконструировать размеры политий в различные периоды их существования. Эти данные уже использовались разными исследователями, которые получили ряд важных выводов о динамике доиндустриальных политий [6–11]. Исходные данные по каждой из выбранных политий представляют собой одномерный массив географических данных о размере занимаемой площади, который проанализирован с целью изучения структуры и особенностей выборки, определения семантики, заложенной в информации. Это позволило выбрать способы дальнейшей обработки и подробного анализа динамики площадей империй и государств с целью их разделения на категории по этому признаку.

Обработка проводилась в рамках технологии Data Mining, выявляющей скрытые, нетривиальные и неформализуемые закономерности в наборах данных на основе концепции шаблонов, выраженных в наглядной и понятной форме в виде ранговых распределений.

1. Общая идея анализа

Ранговое распределение — упорядоченная в порядке убывания по частоте появления совокупность наименований элементов. Это распределение известно с 1913 года и связано с именами Ф. Ауэрбаха [12], Дж. К. Ципфа [13], Б. Мандельброта [14]. Применяется в настоящее время в различных областях знаний от лингвистики до изучения интенсивности излучения галактик, размеров запасов месторождений нефти в США, размеров городов мира, дневных колебаний цен на рынках Forex, количества цитат самых известных физиков и другого [15].

Каждому элементу данных ставится в соответствие независимая характеристика — ранг, совпадающий по величине с номером элемента данных в наборе.

В нашем случае данные о площадях, занимаемых государствами в различные периоды их существования, ранжировались по возрастанию размера занимаемых ими площадей.

В соответствии с законом Ципфа–Мандельброта, с учетом уточнения В. П. Маслова [16], для сгруппированных в таком порядке данных существует зависимость ранга от выбранной характеристики. В нашем случае этот закон можно выразить следующим образом:

$$r = \sum_{i=1}^N \frac{1}{e^{\beta s_i + \sigma} - 1}, \quad (1)$$

где r — ранг, s_i — площадь политики в определённом году.

Основная аппроксимирующая функция, используемая при анализе ранговых распределений, была получена путем интегрирования функции рангового распределения (1) при $N \rightarrow \infty$, $\beta \rightarrow 0$:

$$r(s) \sim c_1 \int_1^x \frac{ds}{s(1 + as^\gamma + bs^{-\sigma})}, \quad (2)$$

где $c_1 = \text{const}$, σ , γ — изменяемые параметры модели. Для простоты дальнейшего анализа полагаем в (2) $\sigma = \gamma$ и вычисляем интеграл, тогда

$$r(s) = \begin{cases} \frac{c_1}{\gamma\sqrt{D}} \ln \left| \frac{(2as^\gamma + 1 - \sqrt{D})(1 + \sqrt{D})}{(2as^\gamma + 1 + \sqrt{D})(1 - \sqrt{D})} \right|, & D \geq 0 \\ \frac{2c_1}{\gamma\sqrt{-D}} \arctg \frac{2as^\gamma + 1}{\sqrt{-D}}, & D < 0. \end{cases} \quad (3)$$

Данный подход использовался ранее при исследовании ранговых распределений мер наказаний за экономические преступления (на примере Уголовного Кодекса Российской Федерации) [17].

2. Построение ранговых кривых

После построения и аппроксимации ранговых распределений стало возможным выделить сходные по виду теоретические функции $\{f_i\}$, характеризующие различные группы политий. Получилось несколько вариантов, которые обсуждаются ниже. Традиционно исторические данные изображались в виде диаграммы, на которой по оси абсцисс отражалась стрела времени, а по оси ординат размеры политии. Кривая показывает жизненный цикл политии — от расцвета до заката (Рис. 1).

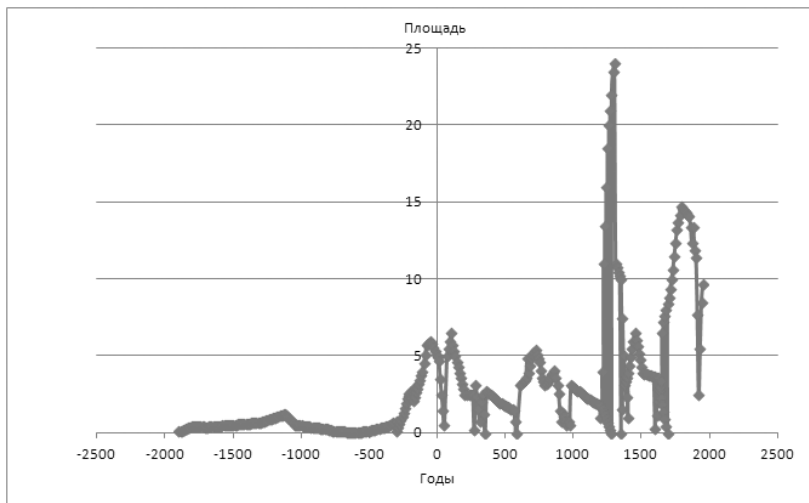


Рис. 1. Изменение площади Китая с течением времени.

Однако наша методология предполагает перегруппировку данных в соответствии с принципом «размер – ранг» без учета влияния временного фактора. В результате получаем кривую рангового распределения (Рис. 2).

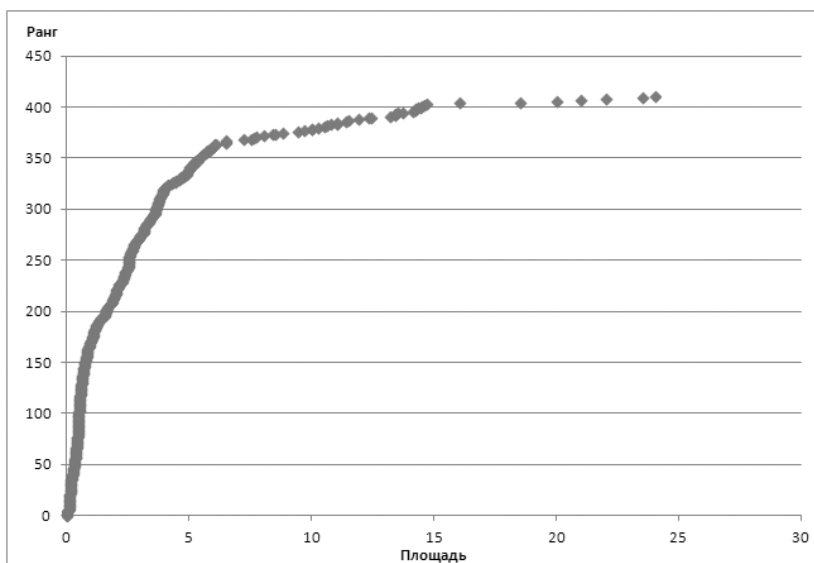


Рис. 2. Ранговое распределение площади Китая.

Наша гипотеза заключается в том, что характер кривой может быть отражением структурных характеристик и динамики крупных политий. Образно это можно сравнить со спектром, который позволяет по цвету судить о химическом составе вещества. Чем сложнее внутренняя структура политии и продолжительнее её существование, тем ближе кривая рангового распределения её площадей к классическому виду цифровской кривой, и, напротив, чем непродолжительнее срок существования и проще внутреннее устройство политии, тем ближе кривая рангового распределения к прямой линии (Рис. 3, Рис. 4).

Кроме того, мы приняли решение несколько отойти от разделения Таагаперы всех обществ на четыре географических макрорегиона: Афро-Европу (с центром в Средиземноморье), Западную Азию, Южную Азию и Восточную Азию. Америка в нашей выборке представлена одним примером (инки). Мы решили ввести степной регион – «Центральную (Среднюю) Азию», уровень межрегиональных империй (они будут обозначаться через косую черту), а также в некоторых случаях выделить в рамках макрорегионов ареалы меньшего порядка. Это было сделано для того, чтобы иметь возможность проверить влияние географического фактора на динамику империй и государств.

Таким образом, с учетом наших поправок в исследовании рассматривались следующие регионы: Северная Африка, Южная Европа, Западная Европа, Африка, Восточная Европа, Центральная Азия, Южная Азия, Восточная Азия, Южная Америка, Западная Азия — в соответствующие исторические периоды: классическая

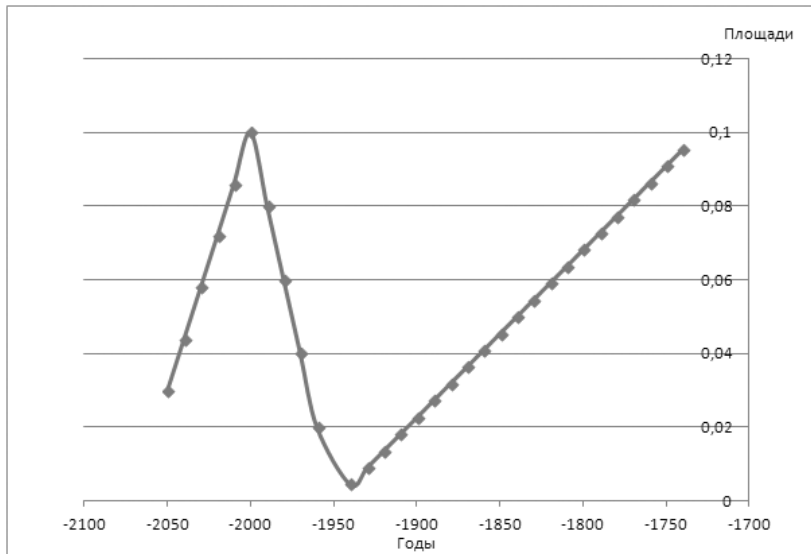


Рис. 3. Изменение площади Шумера во времени

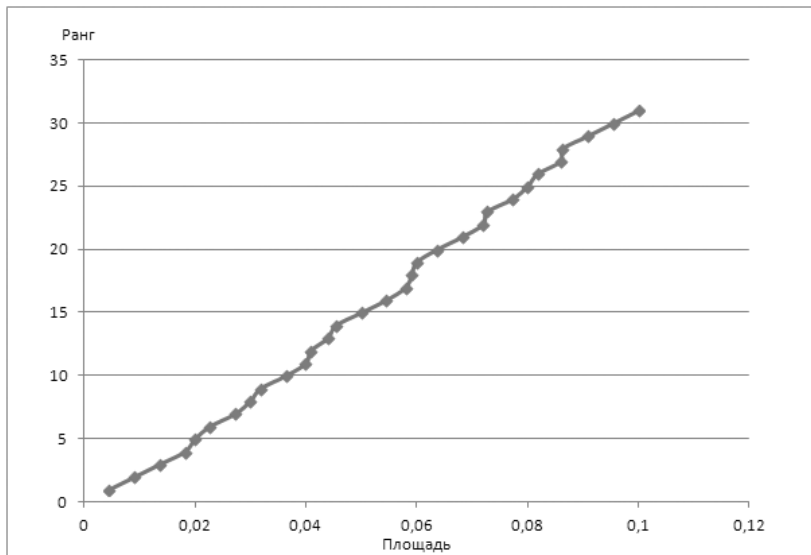


Рис. 4. Ранговое распределение площади Шумера

древность, средние века, ранняя древность.

3. Результаты и обсуждение

Всего было выделено два вида зависимостей с тремя разновидностями в каждом.

Первая зависимость – нелинейная. Этот вид зависимости представлен «классическими», выпуклыми и вогнутыми кривыми. «Классические» кривые, близкие по форме к гиперболическому распределению (Вавилон, Китай) (Рис. 5), в некоторых случаях имели особенность для больших значений площадей выраженную в резком росте значений ранга (Римская империя, империя Инков, Карфаген, Османская империя) (Рис. 6). Мы назвали её «имперская кривая» или «имперский хвост», так как эта особенность встречалась только тогда, когда речь шла о больших по площади империях.

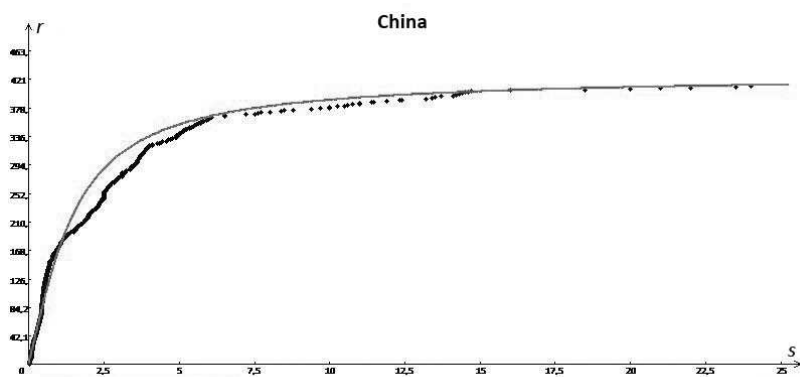


Рис. 5. Ранговое распределение площади Китая.

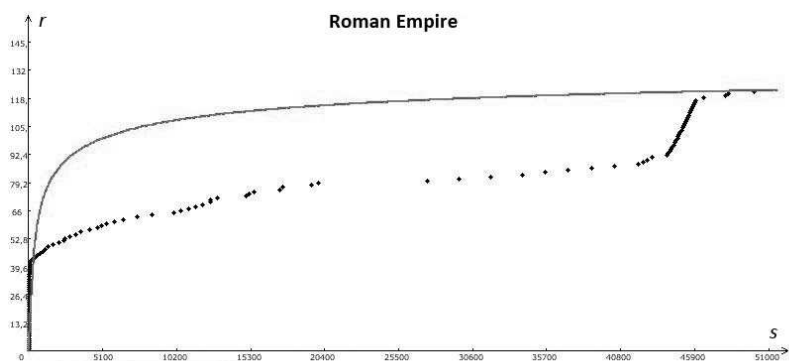


Рис. 6. Ранговое распределение площади Римской империи.

Выпуклые кривые характеризуют Ассирию, Византию, государство Селевкидов (Рис. 7).

Вогнутые кривые показывают особенности развития Персии, Польско-Литовского княжества, Эллинистического Египта, королевства Франков (Рис. 8).

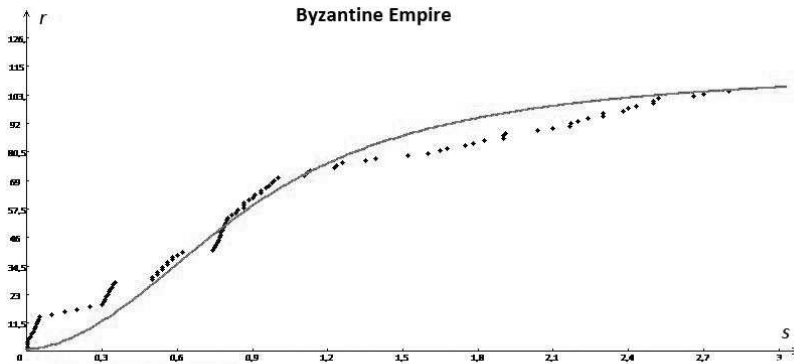


Рис. 7. Ранговое распределение площади Византийской империи.

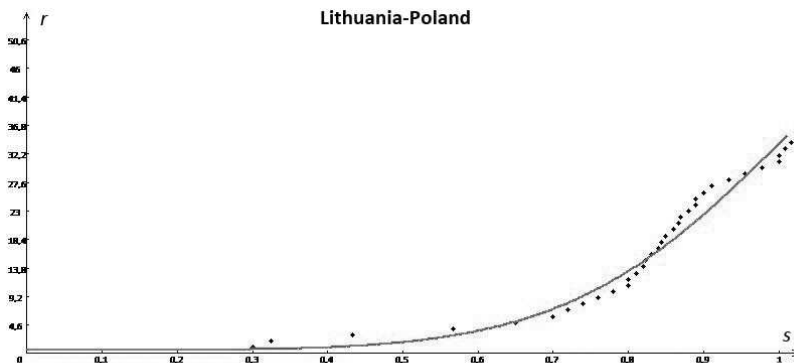


Рис. 8. Ранговое распределение площади Польско-Литовского княжества.

Во второй зависимости, линейной, обращают на себя внимание, во-первых, линии без изломов (Аварский и Уйгурский каганаты, государство Ильханов, государство Мали) (Рис. 9); во-вторых, линии с одним изломом (Мидия, Саманиды, Урарту, Элам, Киевская Русь) (Рис. 10); в-третьих, линии с двумя и более изломами (Золотая Орда, Индия, Монгольская империя, Россия) (Рис. 11).

Визуальный анализ построенных графиков функции (3) рангового распределения площадей политических показывает следующее.

Для государств, основанных на силовом факторе (завоевательные государства,

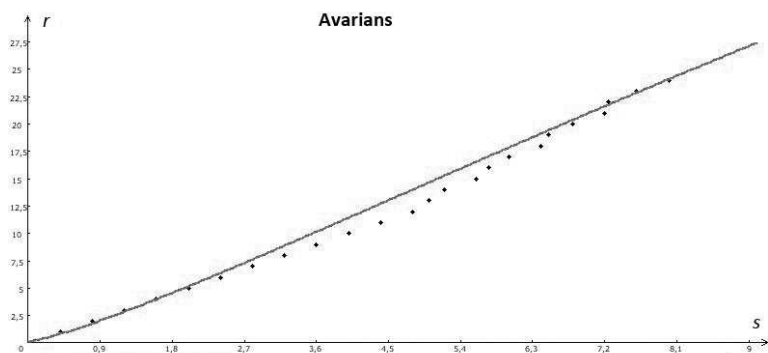


Рис. 9. Ранговое распределение площади Аварского каганата

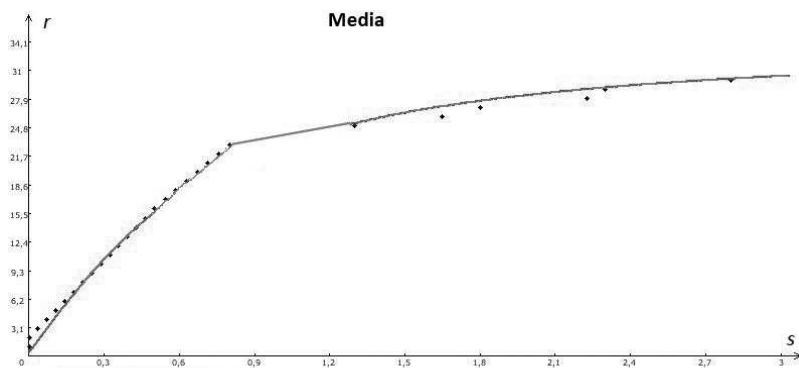


Рис. 10. Ранговое распределение площади Киевской Руси

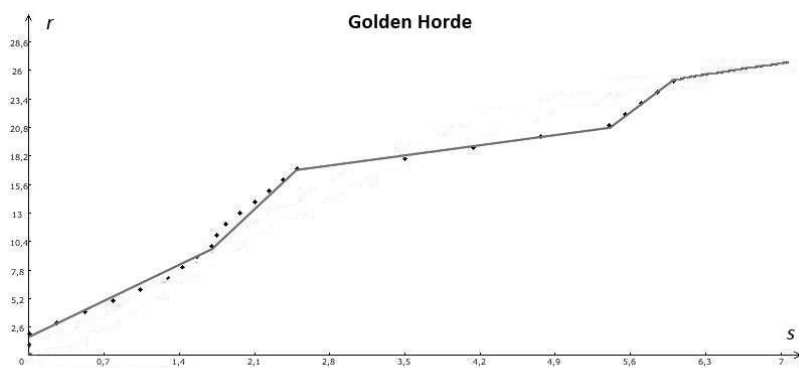


Рис. 11. Ранговое распределение площади Золотой Орды

кочевые империи, данническо-редистрибутивные империи, морские империи), для функции распределения площадей скорее характерна прямая, чем кривая (Рис. 9). В эту группу вошли такие общества, как Арабский халифат, государства Альморавидов и Ильханов, Аварский, Тюркский, Хазарский и Уйгурский каганаты, Киданьская держава, Русь, Монгольская империя, Золотая Орда, Россия, Франки, Мали. В эту группу попали также Шумер и Аккад, что требует дополнительного объяснения.

Чем сложнее внутренняя структура изучаемой политики, чем более развиты в ней рыночные отношения, тем более функция распределения площадей по форме соответствует классической ципфовской кривой (гиперболического (Рис. 8) либо логарифмического вида (Рис. 5)). В эту группу попали такие империи, как Египет после распада халифата, Индия, Ассирия, Вавилон, Византия, Мидия, Селевкидское и Сельджукское государства, Османская империя.

Классические ципфовские логарифмические кривые (Рис. 5) характерны для наиболее крупных и важных империй древности и средневековья (Китай, Индия, Рим, государство инков и другие). У империй, подвергшихся необратимому распаду (Древний Рим, Османская империя, Карфаген, государство инков), обязательно наличие резкого роста значений рангов для больших значений площадей, соответствующие такой ситуации графики мы назвали имперскими кривыми (Рис. 6). У империй, сохранивших свою целостность, такого роста не наблюдается (Китай). Возможно, имперская кривая отражает нетривиальную сложную экономическую природу изучаемых империй.

Ципфовские кривые гиперболического вида характерны для таких политий, как Эллинистический Египет, Западный Тюркский Каганат, Польша и др. Возможно, это свидетельствует о структурной неустойчивости общества.

В ряде случаев получены диаграммы ранговых распределений в виде линий с изломами. Можно выделить два варианта таких линий. В первом случае, характерном для более ранних государств, наблюдается один излом (Элам, Хеттское государство, Митанни, Урарту, Саманидское государство) (Рис. 10). Во втором случае — для более поздних империй — изломов встречаются два и более (Персия, Сасанидское государство, Парфия, Хорезм, империя Тамерлана) (Рис. 11). Скрывается ли за установленным хронологическим отличием какая-то историческая закономерность, еще предстоит осмыслить.

В некоторых случаях можно зафиксировать интересный факт: в одном регионе родственные общества или общества, проживавшие в одних и тех же географических условиях, имеют схожий вид графика функции (1), как например, на Ближнем Востоке (Мидия, Селевкидское государство, Османская империя) или в Средней Азии (Хорезм, держава Тамерлана).

Заключение

В рамках одного из методов анализа больших данных, основанного на применении ранговых распределений, было выполнено разделение политий и империй по объективным данным о размерах их площадей в различные исторические периоды.

Разделение проведено по выбранному признаку — типу получаемой кривой рангового распределения. Прослеживается тенденция, согласно которой для крупных империй со сложной внутренней структурой характерна кривая, которую мы назвали «имперской кривой». Для так называемых «барабанных» (т.е. базирующихся, главным образом, не на внутренней экономике, а на внешнем насилии, войне) империй и квазиимперских обществ более характерна линия, близкая к прямой.

Описанный подход дает возможность группировать политии с учетом особенностей их внутренней структуры, что открывает новые перспективы при решении задач обработки больших данных с целью поиска неочевидных закономерностей.

Список литературы

- [1] P. T. Turchin, “Arise ‘cliodynamics’”, *Nature*, **454**:7200, (2008), 34–35.
- [2] П. В. Турчин, *Историческая динамика: На пути к теоретической истории.*, КомКнига, Москва, 2007.
- [3] R. Taagepera, “Size and Duration of Empires: Systematics of Size.”, *Social Science Research*, **7**, (1978), 108–127.
- [4] R. Taagepera, “Size and Duration of Empires: Growth-Decline Curves, 3000 to 600 B.C.”, *Social Science Research*, **7**, (1978), 115–138.
- [5] R. Taagepera, “Size and Duration of Empires: Growth-Decline Curves, 600 B.C. to 600 A.D.”, *Social Science History*, **3**:3–4, (1979), 180–196.
- [6] Ch. Chase-Dunn, T. Hall, R. Niemer, “Middlemen and Marcher States in Central Asia and East/West Empire Synchrony”, *Social Evolution & History*, **9**:2, (2010), 52–79.
- [7] Ch. Chase-Dunn, A. Alvarez, H. Inoue, R. Niemeyer, A. Carlson, B. Fierro, B. and K. Lawrence, “Upward Sweeps of City and Empire Growth since the Bronze Age”, *IROWS Working Paper Available*, 2010, <http://www.irows.ucr.edu/papers/irows22/irows22.htm>.
- [8] Ch. Chase-Dunn, T. Hall, *Rise and Demise: Comparing World-Systems*, Boulder, CO: Westview, 1997.
- [9] C. Marchetti, J. H. Ausubel, “Quantitative Dynamics of Human Empires”, *International Journal of Anthropology*, **27**:1–2, (2012), 1–62.
- [10] P. Turchin, “A Theory for formation of large empires”, *Journal of Global History*, **4**, (2009), 191–217.
- [11] P. Turchin, S. A. Nefedov, *Secular Cycles*, Princeton University Press, Princeton, 2009.
- [12] F. Auerbach, “The Law of Population Concentration”, *Petermann’s Geogr Releases*, **59**, (1913), 74–76.
- [13] G. K. Zipf, *Human Behavior and the Principle of Least Effort*, Addison-Wesley, Cambridge, Mass., 1949.
- [14] B. B. Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature*, Freeman, New York, 1977.
- [15] A. Clauset, C. R. Shalizi and M. E. J. Newman, “Power-law distributions in empirical data”, *E-print: SIAM Rev.*, **51**:4, (2007), 661–703, <http://epubs.siam.org/doi/10.1137/070710111>.
- [16] V. P. Maslov, “On a General Theorem of Set Theory Leading to the Gibbs, Bose-Einstein, and Pareto Distributions as well as to the Zipf-Mandelbrot Law for the Stock Market”, *Mathematical Notes*, **78**:5, (2005), 807–813.
- [17] М. А. Гузев, Е. Ю. Никитина, “Ранговый анализ Уголовного Кодекса РФ (на примере экономических преступлений)”, *Дальневост. матем. журн.*, **10**:2, (2010), 117–129.

Поступила в редакцию
24 ноября 2017

Работа выполнена при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
(грант 17-06-00464).

Guzev M. A., Kradin N. N., Nikitina E. Y. Ranked analysis of the life cycle of polities. *Far Eastern Mathematical Journal*. 2017. V. 17. No 2. P. 180–190.

ABSTRACT

Many researchers, from Edward Gibbon to Arnold Toynbee, were interested in how large polities would emerge and collapse. Traditionally, the history of empires was considered both in temporal and spatial dynamics. This article focuses on the study of the external manifestations of polities' structural features which may be expressed by a limited set of mathematical curves described by the specified Zipf's law. An ideal Zipf's curve is characteristic of the classical empires with complex economies (China, Rome, and others). However, the curves of some empires have a distinctive feature – an 'imperial tail'. The simpler the structure of large polities is, the closer is the line describing their livelihoods to a right line.

Key words: *rank distribution, Zipf's law.*