Д.С. Жуков, В.В. Канищев, С.К. Лямин

Dmitry S. Zhukov, Valery V. Kanishchev, Sergey K. Lyamin

Фрактальное моделирование исторической динамики фронтирных территорий: эвристический потенциал

Fractal modeling of historical dynamics of frontier territories: the heuristic potential

Аннотация, abstract: Создание компьютерных фрактальных моделей является новым и весьма перспективным исследовательским инструментом не только в естественных, но и в социо-гуманитарных дисциплинах. В статье излагаются подходы к построению фрактальной модели (ФронтирФрактал), которая имитирует динамику фронтирных территорий на Юге России в XVII – XIX веках. ФронтирФрактал является модификацией разработанной авторами ОФМП – общей фрактальной модели перехода. Авторы ставят ограниченную задачу – изложить некоторые итоги первой серии экспериментов с ФронтирФракталом и продемонстрировать перспективы применения этой модели в исторических исследованиях. Изложены условия, результаты и некоторые – наиболее любопытные – качественные интерпретации экспериментов. Продемонстрирована эвристическая продуктивность фрактального моделирования в социо-гуманитарных исследованиях. Компьютерное моделирование эволюции фронтирных территорий под воздействием ряда управляющих факторов позволяет типизировать фронтирные территории, сравнить модельную динамику с реальной (если она известна), заполнить имеющиеся эмпирические пробелы компьютерными реконструкциями.

The creation of fractal computer models is a new and highly promising research tool, not only in the natural sciences, but also in the socio-humanitarian disciplines. This article outlines the approaches to the construction of a fractal pattern (FrontierFractal), which simulates the dynamics of frontier territories in the South Russia in the XVII – XIX centuries. FrontierFractal is a modification that made by authors of GFMT – general fractal model of the transition. The authors raise a limited task – to present some of the results of the first series of experiments and to demonstrate Frontier-

Fractal prospects of application of this model in historical research. The conditions, the results and some the most interesting qualitative interpretation of the experiments are set out. The efficiency of heuristic fractal modeling in socio-humanitarian studies is demonstrated. Computer models of frontier territories under the influence of several factors allows to typify frontier territory, to compare the dynamics of the model with actual (if known), to fill the available empirical gaps with computer reconstructions.

Ключевые слова, keywords: фрактальная геометрия, фрактальная модель, фрактальное моделирование, фронтир, российская история, fractal geometry, fractal model, fractal simulation, frontier, Russian history

Авторы, authors: Жуков Дмитрий Сергеевич – Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, кандидат исторических наук, доцент кафедры международных отношений и политологии , ineternatum@mail.ru

Канищев Валерий Владимирович – Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, доктор исторических наук, профессор, valkan@mail.ru

Лямин Сергей Константинович – Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, кандидат исторических наук, доцент кафедры Российской истории, laomin@rambler.ru

Zhukov, Dmitry S. – Tambov State University, Tambov, Russian Federation, PhD in History, Associate Professor of the International Relations and Political Science Department, ineternatum@mail.ru

Kanishchev, Valery V. – Tambov State University, Tambov, Russian Federation, Doctor of History, Professor, valcan@mail.ru

Lyamin, Sergey K. – Tambov State University, Tambov, Russian Federation, PhD in History, Associate Professor of the Russian History Department, laomin@mail.ru

УДК 303.094

Статья поступила в редакцию: 07.05.2013

Статья принята к печати: 05.06.2013

© Д.С. Жуков, В.В. Канищев, С.К. Лямин, 2013

Предмет и задача

Освоение новых территорий – типичное явление для многих стран, в том числе и для России. В ходе освоения появлялся рубежный регион, заметно отличающейся от остальной территории страны. До середины XVI в. земли южнее Рязанского княжества не входили в состав Русского государства, а к середине XIX в. территория между Окой и Доном стала органичной частью российского государства и общества. Весь трехсотлетний отрезок между этими моментами рассматриваемые земли являлись зоной фронтира, которая постепенно (хотя и неравномерно) втягивалась в состав метрополии (Мизис и др., 2011).

Компьютерное моделирование эволюции фронтирных территорий под воздействием ряда управляющих факторов позволяет типизировать фронтирные территории, сравнить модельную динамику с реальной (если она известна), заполнить имеющиеся эмпирические пробелы компьютерными реконструкциями (Жуков и др., 2012). Авторы ставят ограниченную задачу – изложить некоторые итоги первой серии экспериментов с ФронтирФракталом и продемонстрировать перспективы применения этой модели в исторических исследованиях.

Подходы и состояние проблемы

В России исследования по тематике моделирования для историко-политологических нужд сосредоточены в нескольких центрах, связанных с Ассоциацией «История и компьютер» и исследовательским направлением «Клиодинамика», а также в некоторых других лабораториях и сообществах (Бородкин, 2012) (Бородкин, 2005) (Grinin, 2007) (Малков и др., 2008) (Малков, 2007). Собственные разработки авторов связаны с использованием для моделирования средств фрактальной геометрии (Жуков, 2012) (Жуков и др., 2013). Подходы и инструментарий фрактальной геометрии успешно применяются во многих естественных науках и прикладных отраслях знания. В последние десятилетия фрактальная теория и методология осваиваются и в социально-экономических, гуманитарных отраслях знания, в том числе и в истории и политологии. Но в большинстве исследований речь идёт не о конкретных фрактальных моделях, а об утверждении самоподобия разных уровней рассматриваемых социальных и политических систем. Между тем, фрактальные модели обладают существенными эвристическими возможностями для имитации нелинейности процессов. Мы стремимся к созданию фрактальных моделей исторических процессов – моделей, обладающих способностью обобщать и объяснять конкретно-исторические факты, генерировать исторические реконструкции.

Модель ФронтирФрактал

Модель динамики фронтирных территорий мы разработали на основе ОФМП – общей фрактальной модели перехода. Сама эта модель и некоторые её приложения изложены в ряде наших статей на русском (Жуков и др., 2011) и английском (Zhukov, et al., 2010) (Zhukov, et al., 2013) языках.

Точку в двухмерном фазовом пространстве модели можно представить как некое качественное состояние отдельно взятой (относительно гомогенной) территории в рамках фронтира. Это состояние является сочетанием различных величин двух ключевых характеристик системы. А именно:

H_x – освоенность территории в общекультурном смысле (степень хозяйственной освоенности, заселённости, инфраструктурной развитости территории) безотносительно к её принадлежности к тому или иному обществу или государству.

H_y – вовлечённость территории в русский мир (степень военно-политического контроля государства над территорией и степень принадлежности общества территории к русской/православной общности).

Математический аппарат модели содержит итерируемую формулу

$$\boldsymbol{Z_{n+1} = Z_n^{\,2} A + C} \qquad (1)$$

(где Z и C – комплексные числа: $Z\,(d_{zn}\,;\,k_{zn})$, $C\,(d_c\,;\,k_c)$), а также ряд математических условий, которые позволяют отождествить геометрический смысл операций над комплексными числами с результатами нуклеарных взаимодействий факторов модели. Итерируемая формула генерирует череду чисел, которые представляют собой координаты точки, движущейся в двухмерном фазовом пространстве модели и представляющей эволюцию системы по двум ключевых характеристикам.

Определим основные факторы модели. Примем, что:

Z^2 – внутренняя «инерция» системы;

A – «человеческий фактор», демографическое давление «русского мира» (миграция из метрополии + ассимиляция аборигенов + прирост колонистов, взятый в соотношении с приростом аборигенного населения).

C – внешние импульсы по отношению к системе – можно рассматривать как двуединство:

d_c – факторы, препятствующие/поощряющие освоение территории в общекультурном смысле, например:

1) инфраструктурная неразвитость/развитость территории (наличие путей сообщения, мест зимовки, обмена и т.п.),

2) отсутствие/наличие торговых отношений на территории,

3) отсутствие/наличие природных ресурсов;

k_c – факторы, препятствующие/поощряющие вовлечению территории в русский мир, например:

1) геополитическая и военно-стратегическая привлекательность/непривлекательность территории для российского государства,

2) уровень лояльности/сопротивления местного населения,

3) коммуникационная доступность/недоступность.

С помощью программы-фракталопостроителя исследователь получает возможность наблюдать траектории точек, отслеживая стартовые точки (начальные состояния системы), и конечные устойчивые точки (если таковые имеются) – аттракторы эволюции системы. Компьютерная программа-фракталопостроитель может, таким образом, генерировать изображения аттракторов системы (условно назовём эти изображения «пространством перспектив») и бассейнов («пространство потенциалов»). Бассейны (совокупности начальных условий, из которых система попадает в тот или иной аттрактор) указывают на потенциальные сценарии эволюции. Аттракторы дают представление о наиболее вероятных и комфортных исходах развития системы под воздействием факторов модели.

Каждая из двух характеристик H_x и H_y имеет (в самом общем виде) две градации: сильная и слабая. Сочетание двух градаций двух тенденций даёт четыре типа поведения системы, соответствующие четырём зонам фазового пространства ФронтирФрактала – рисунок 1.

Обратим внимание на специфику графических результатов работы ФронтирФрактала: получаемые изображения симметричны относительно осей x и y. Поэтому качественный смысл изображений, строго говоря, заключён в одной четверти (любой одной четверти) построения, ограниченной «полу»-осями. Поэтому очень часто на наших изображениях мы показываем только одну четверть.

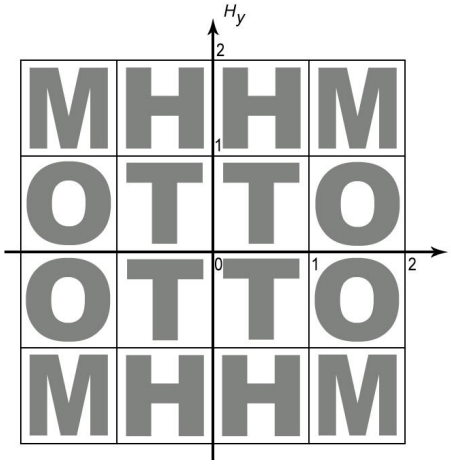

Рисунок 1. Разметка фазового пространства ФронтирФрактала

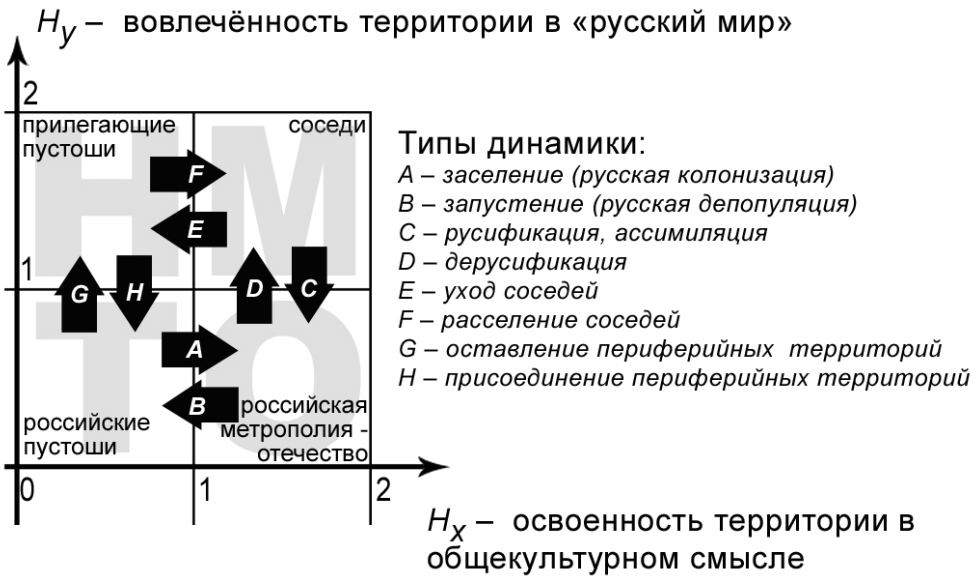

Рисунок 2. Качественные смыслы перемещений точки в рабочем пространстве модели (общая характеристика), верхняя правая четверть фазового пространства модели

Т – сочетание низкой освоенности территории с высокой вовлечённостью в русский мир (окраина, украина, российские пустоши);

О – сочетание высокой освоенности территории с высокой вовлечённостью в русский мир (ядро русского мира, отечество, метрополия);

М – сочетание высокой освоенности территории с низкой вовлечённостью в русский мир (соседние государства и общества);

Н – сочетание низкой освоенности территории с низкой вовлечённостью в русский мир («Дикое поле», прилегающие пустоши).

Под воздействием некоторых факторов та или иная фронтирная территория объективно стремится перейти из одного типа в другой (или остаться в исходном типе). Эти эволюции территорий мы можем установить, сравнивая бассейны (начальные состояния) и аттракторы (идеальные конечные состояния).

Различные перемещения точки в рабочем пространстве модели можно интерпретировать определённым образом. Общие интерпретации основных теоретически вероятных перемещений (эволюций) обозначены на рисунке 2.

Исходные данные и условия экспериментов

Для определения величины управляющих факторов модели мы использовали несколько индикаторов для конкретных территорий: развитие путей сообщения и коммуникаций, наличие природных ресурсов и условий для

торговли, геополитическая привлекательность территории, её этнический и религиозный состав. Значения этих индикаторов известны нам по 103 уездам 9-ти губерний за 5 хронологических срезов: середина XVII века, начало XVIII века, середина XVIII века, конец XVIII века, середина XIX века.

Сущность поставленных экспериментов заключается в том, что мы вводим в программу значения управляющих факторов по некоторому уезду за некоторый хронологический срез и получаем аттрактор развития уезда к следующему хронологическому срезу. Каждый аттрактор – точка в фазовом пространстве модели – выражает некое состояние территории, к которому она стремится под воздействием управляющих факторов. Положение каждой точки можно качественно интерпретировать в зависимости от «разметки» фазового пространства.

В первой серии экспериментов мы ввели в программу данные по управляющим факторам середины XVII века и получили аттракторы для каждого уезда на начало XVIII века.

Виртуальная среда для проведения экспериментов

Эксперименты проводились с помощью специальной программы-фракталопостроителя Модернофрактал 5.1, разработанной для реализации ОФМП (общей фрактальной модели перехода). Подробнее о программе – на сайте разработчика Центра фрактального моделирования www.ineternum.ru

В качестве примера далее представлены результаты трёх экспериментов. (Слева вверху – входные и результирующие числовые данные; слева внизу – легенда; в центре два результирующих изображения фазового пространства; на левом изображении обозначены аттракторы, а на правом бассейны. Но правое изображение нас не интересует на этом этапе исследования, поскольку, как видно, там нет никакой дифференциации). Эксперимент проводится для каждого конкретного уезда.

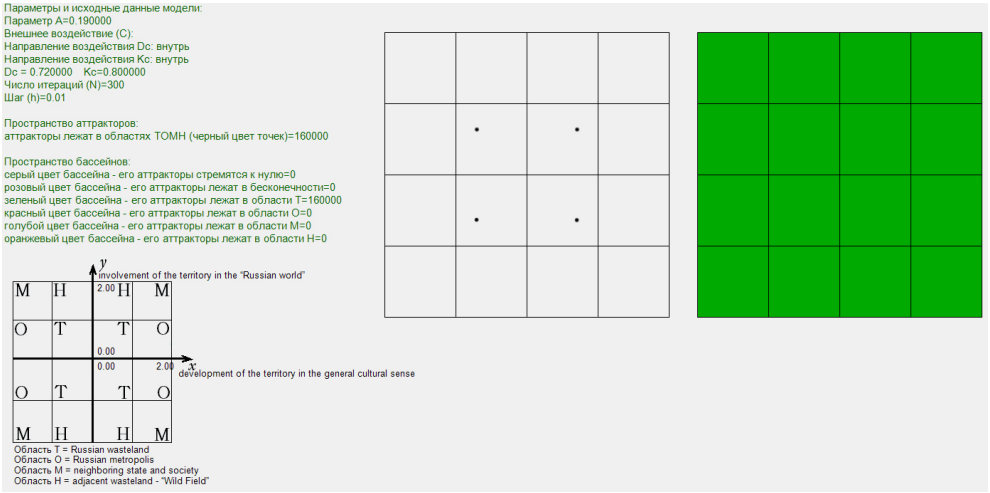

Рисунок 3. Модельная динамика Кирсановского уезда (управляющие факторы для середины XVII века, аттрактор для начала XVIII века)

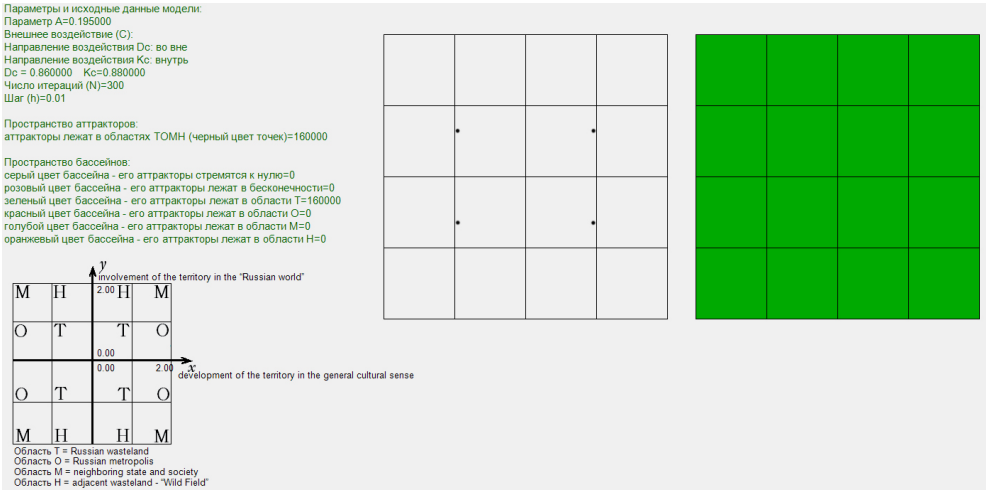

Рисунок 4. Модельная динамика Козловского уезда (управляющие факторы для середины XVII века, аттрактор для начала XVIII века)

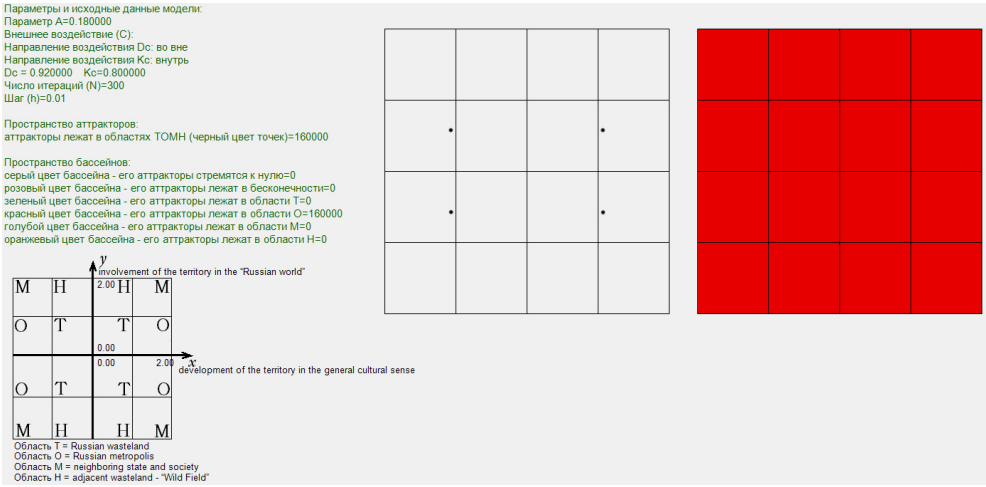

Рисунок 5. Модельная динамика Елатомского уезда (управляющие факторы для середины XVII века, аттрактор для начала XVIII века)

Результаты первой серии экспериментов, верификация модели

На начало XVIII века мы имеем экспертные оценки состояния уездов по следующим индикаторам: геополитическая вовлечённость территории в российское государство, плотность населения, развитие дорог в направлении «центр-периферия», развитие торговли с метро-

полией, социальный, этнический и религиозный состав населения, развитие городов и доля распаханных земель. Мы можем формализовать и генерализовать эти оценки состояния уездов, и также представить их как точки в фазовом пространстве модели. Таким образом, на начало XVIII века мы имеем и модельные данные и экспертные оценки. Это позволяет нам верифицировать модель – установить насколько имеющиеся данные совпадают.

Мы свели в одной плоскости аттракторы уездов по губерниям – рисунки 6-14. Изображения даются только в правой верхней четверти, т.к. во всех остальных четвертях они идентичны.

Приведённые ниже изображения свидетельствуют, что в целом по 7 губерниям смоделированные состояния уездов соответствуют состояниям, полученным на основании экспертных оценок. Это указывает на работоспособность и надёжность модели.

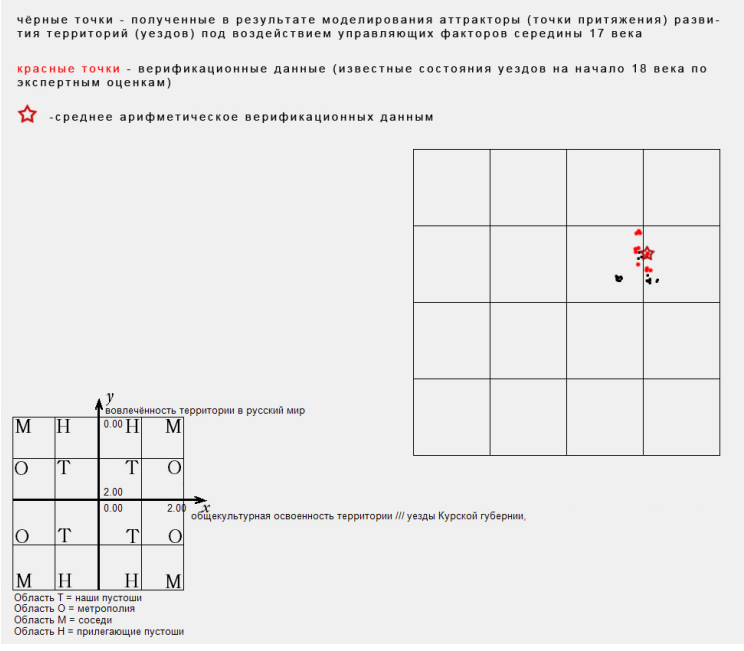

Рисунок 6. Модельная динамика уездов Курской губернии (управляющие факторы для середины XVII века, аттрактор для начала XVIII века). Чёрные точки – полученные в ходе моделирования аттракторы эволюции фронтирных территорий под воздействием управляющих факторов середины XVII века (модельные состояния уездов на начало XVIII века; одна точка – один отдельный уезд). Красные точки – верификационные данные (известные состояния территорий на середину XVIII века). Звёздочка – среднее арифметическое верификационных данных.

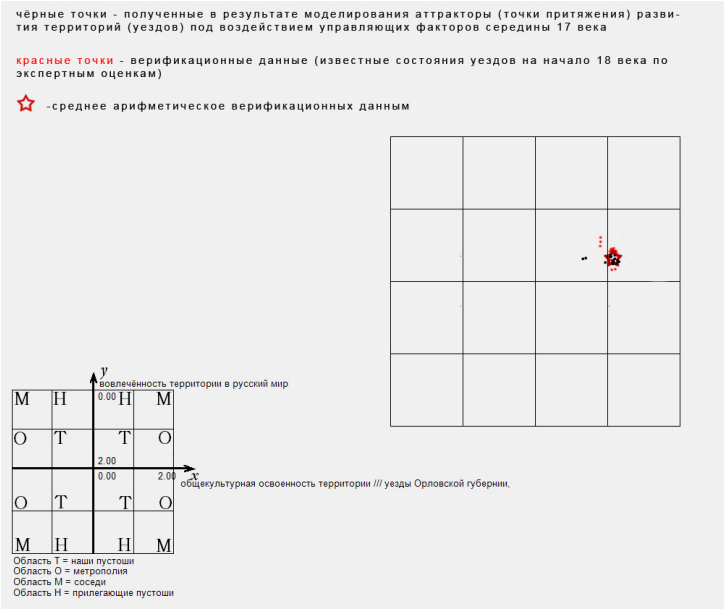

Рисунок 7. Модельная динамика уездов Орловской губернии (управляющие факторы для середины XVII века, аттрактор для начала XVIII века)

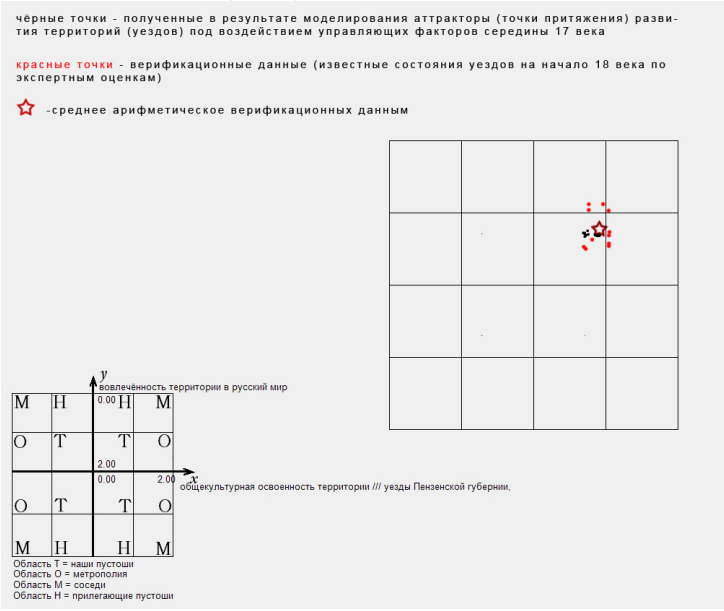

Рисунок 8. Модельная динамика уездов Пензенской губернии (управляющие факторы для середины XVII века, аттрактор для начала XVIII века)

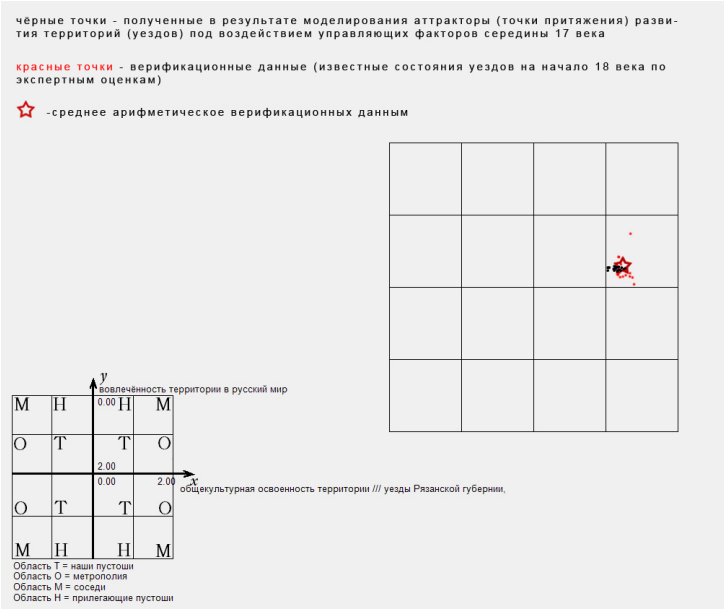

Рисунок 9. Модельная динамика уездов Рязанской губернии (управляющие факторы для середины XVII века, аттрактор для начала XVIII века)

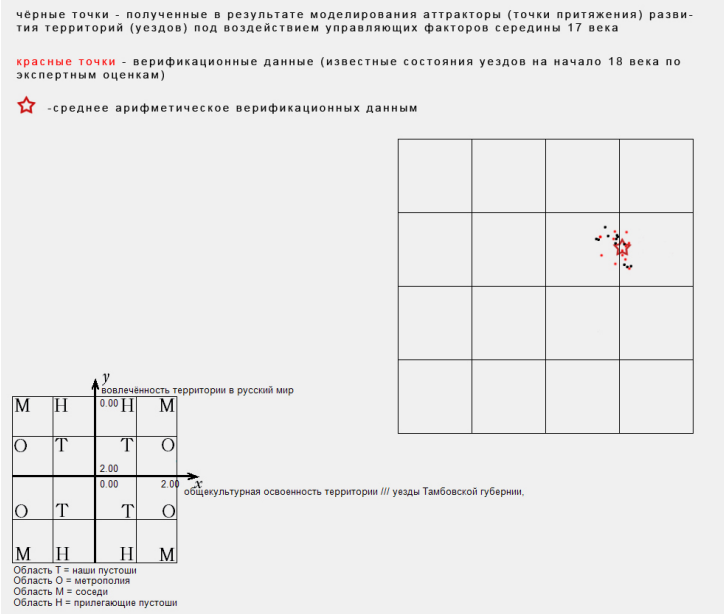

Рисунок 10. Модельная динамика уездов Тамбовской губернии (управляющие факторы для середины XVII века, аттрактор для начала XVIII века)

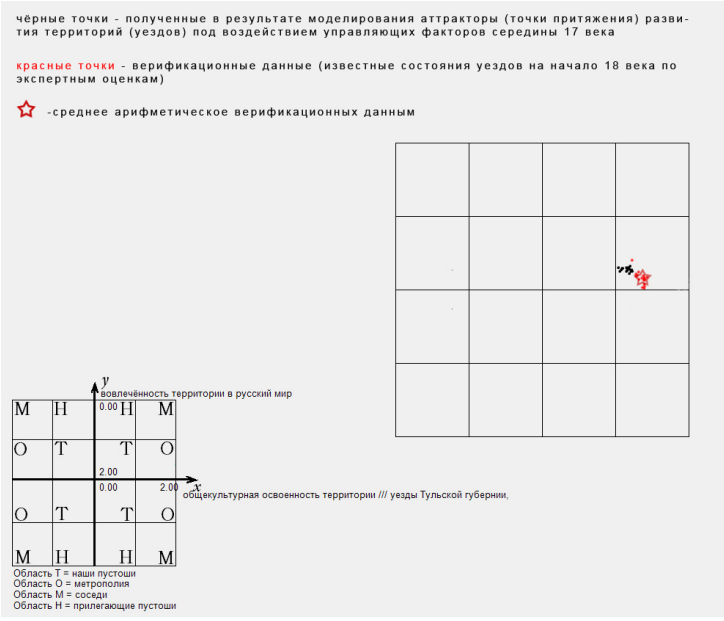

Рисунок 11. Модельная динамика уездов Тульской губернии (управляющие факторы для середины XVII века, аттрактор для начала XVIII века)

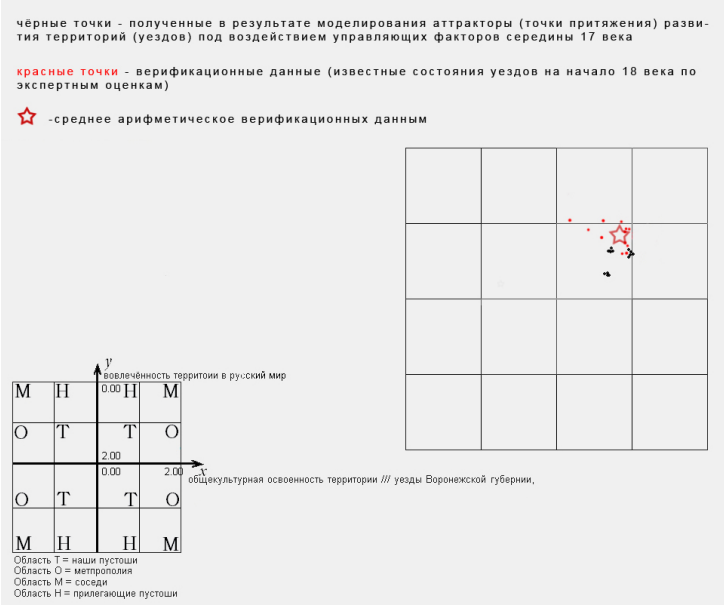

Рисунок 12. Модельная динамика уездов Воронежской губернии (управляющие факторы для середины XVII века, аттрактор для начала XVIII века)

Обсуждение результатов: обработка исключений

В двух случаях мы обнаружили существенное расхождение модельных и экспертных данных – для Области Войска Донского и для Саратовской губернии. Само по себе это не означает ошибку в модели. Напротив, это хороший источник гипотез об альтернативах, нереализованном потенциале развития, а также о некоторых эксклюзивных управляющих факторах, которые вынуждали территории развиваться вне общей логики – не так как остальные регионы.

И Донской, и Саратовской регионы, по результатам моделирования к началу XVIII века должны относиться к категории «российские пустоши». Причём, в этой категории они являются самыми неосвоенными и наименее вовлечёнными в русский мир регионами (среди рассмотренных регионов). Экспертные оценки также указывают на то, что эти регионы наименее освоенные и вовлечённые, однако экспертные оценки относят их к категории «прилегающие пустоши». Мы можем сделать предположение, что и Саратовская губерния и Область Войска Донского имели потенциал более глубокого освоения и вовлечения в российскую юрисдикцию (это показывает моделирование), однако в силу некоторых неординарных факторов этот потенциал к началу XVIII века не был реализован полностью.

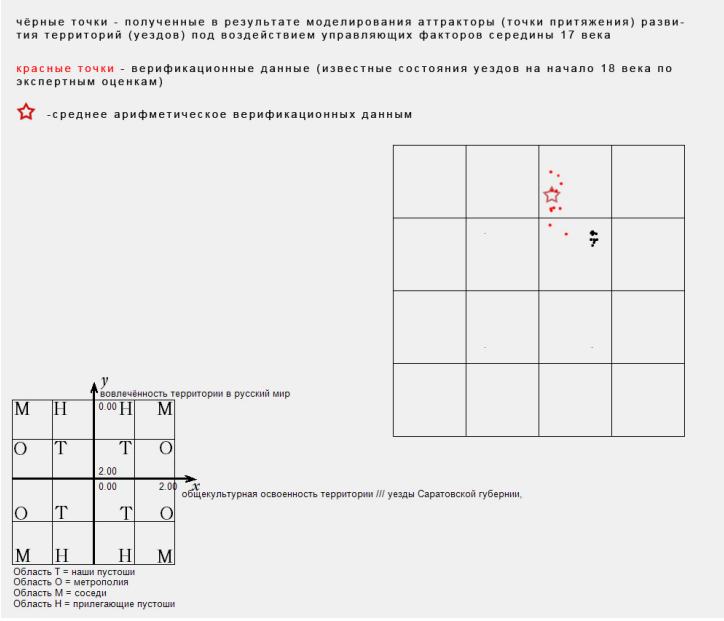

Рисунок 13. Модельная динамика уездов Саратовской губернии (управляющие факторы для середины XVII века, аттрактор для начала XVIII века)

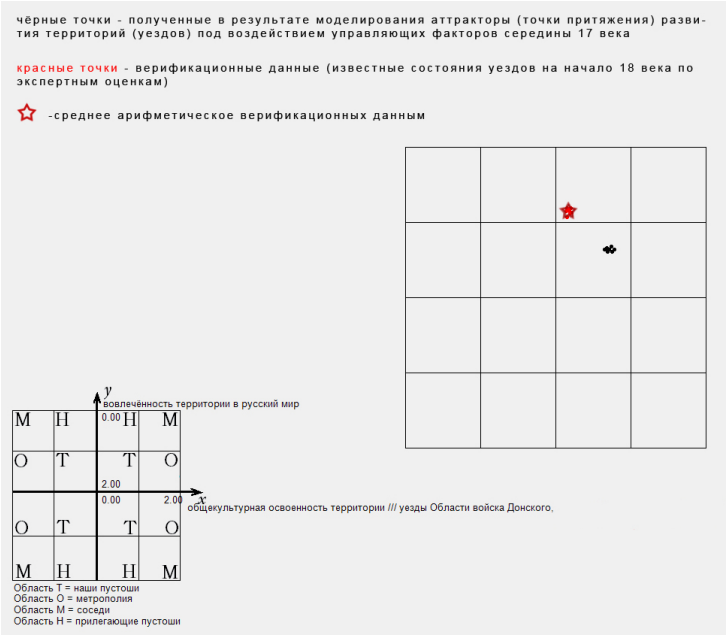

Рисунок 14. Модельная динамика уездов Области войска Донского (управляющие факторы для середины XVII века, аттрактор для начала XVIII века)

Обсуждение результатов: сводные результаты по всем губерниям

Мы попытались обобщить все полученные модельные результаты в одном изображении – на одной плоскости (рисунок 15). (Здесь показана лишь верхняя правая четверть фазового пространства модели). Пока у нас не было возможности детально исследовать эту картину. Однако уже сейчас мы можем увидеть снимок «втягивания» уездов и губерний в политическое пространство метрополии, что сопровождается (правда с меньшей интенсивностью) их хозяйственным освоением.

Часть уездов (и некоторые губернии полностью) уже (и по уровню хозяйственного освоения, и по уровню военно-политического контроля) относится к категории «земли метрополии». Другие губернии полностью расположены в зоне «российских пустошей», хотя и демонстрируют разную степень освоенности и вовлечённости в русский мир. А, например, облако аттракторов Тамбовской губернии расположено и в зоне метрополии и в зоне пустошей. Это указывает на то, что перед нами одна из типичных фронтирных губерний.

Это изображение, кроме того, позволяет увидеть какие губернии (и даже их части) были типологически близки, а какие, – напротив, относились к разным типам.

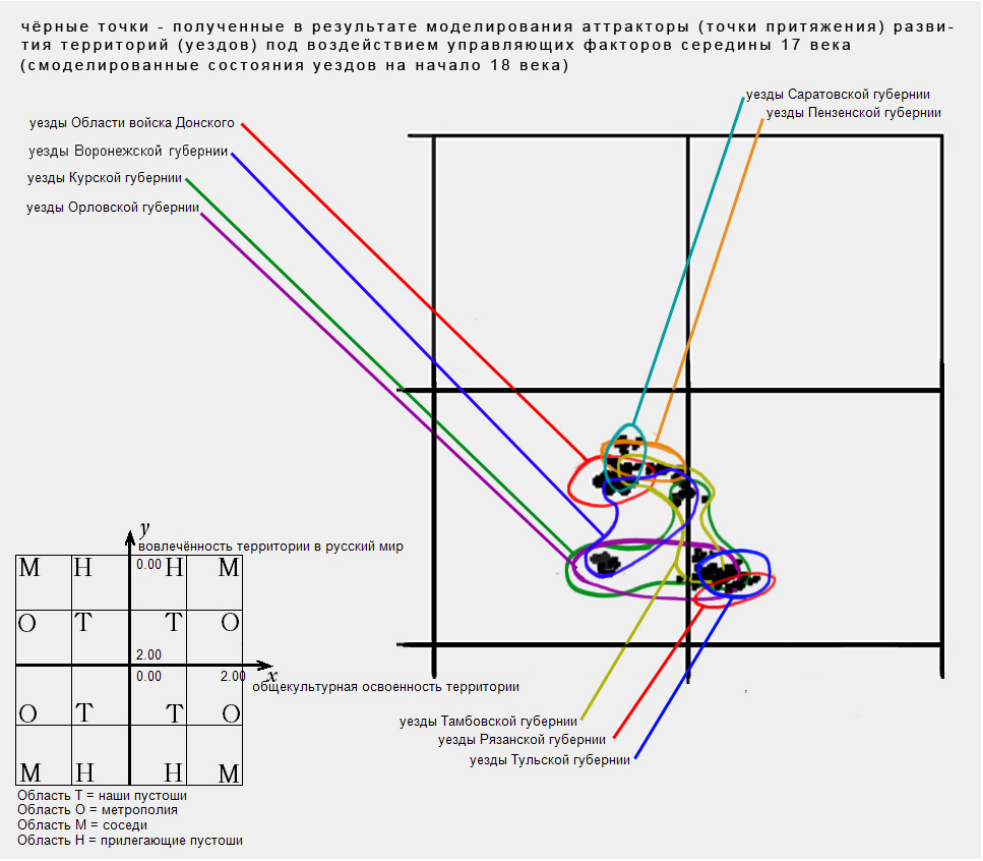

Рисунок 15. Сводные данные по южнорусским фронтирным территориям середины XVII – начала XVIII века.

Обсуждение результатов: моделирование динамики территории в нескольких хронологических срезах

Поскольку у нас есть данные о величинах управляющих факторов в нескольких хронологических срезах, мы можем получить аттракторы развития одного конкретного уезда в разные периоды. Мы будем считать, что величины управляющих факторов середины XVII века определяют перспективы развития уезда к началу XVIII века; а величины управляющих факторов начала XVIII века определяют перспективы развития к середине XVIII века; и т.д. Так мы можем построить в нашем фазовом пространстве цепочку точек, обозначающих эволюцию территории по двум её ключевым характеристикам – вовлечённость в русский мир и общехозяйственная освоенность.

В качестве примера ниже показана эволюция Кирсановского уезда Тамбовской области. В некотором смысле, эта траектория типична. Уезд «начинает» как неосвоенная «прилегающая пустошь», затем становится «российской пустошью» и, наконец, постепенно осваивается и переходит в категорию «земли метрополии».

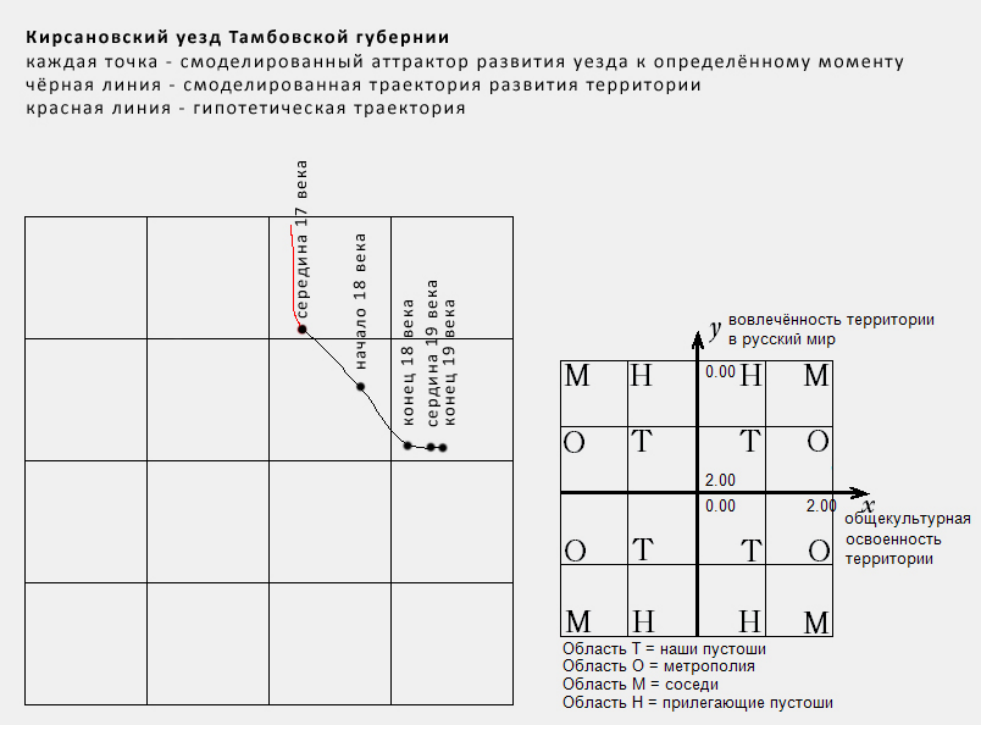

Рисунок 16. Модельная динамика Кирсановского уезда (несколько хронологических срезов: с середины XVII до конца XIX века). Каждая точка – смоделированный аттрактор развития уезда к определённому моменту. Чёрная линия – модельная траектории развития территории. Красная линия – гипотетическая траектории.

Если проследить подобные траектории нескольких губерний, то мы получим весьма детальную динамику фронтирных территорий. Это удобный способ визуализации наших представлений, а также изучения потенциалов и перспектив развития территорий. Наше фазовое пространство размечено и перемещение в нём точек имеет определённые качественные смыслы. Используя описанные процедуры, мы можем изучать и удобно демонстрировать динамику большого числа территорий, обнаруживать возможные альтернативы, «исключительные случаи», типичные эволюции.

Литература

Ackoff R. Emery F.E. On Purposeful Systems. An Interdisciplinary Analysis of Individual and Social Behavior as a System of Purposeful Events. New Jersey: Transaction Publishers, 2009.

Badham J. A Compendium of Modelling Techniques // Integration Insights. 2010. № 12. P. 1-24.

Epstein J.M. Why Model? // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2008. № 4. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/11/4/12.html>

Feder J. Fractals. New York: Plenum Press, 1988.

Frame M.L., Mandelbrot B.B. Fractals, Graphics and Mathematical Education. Washington DC: The University Press, 2002.

Frigg R., Reiss J. The philosophy of simulation: hot new issues or same old stew? // Synthese. 2009. № 3. P. 593-613. doi: 10.1007/s11229-008-9438-z

Gharajedaghi J. System Thinking: Managing Chaos and Complexity. A Platform for Designing Business Architecture. Burlington: Butterworth- Heinemann, 2006.

Grinin L.E. Production Revolutions and Periodization of History: A Comparative and Theoretic-mathematical Approach// Social Evolution & Histor. 2007. № 2. P. 75–121.

Küppers G., Neslenhard J., Shinn T. Computer Simulation: Practice, Epistemology, and Social Dynamics // Simulation: Pragmatic Construction of Reality. Dordrecht: Springer, 2006. P. 3–22.

Mandelbrot, Benoit B. The Fractal Geometry of Nature. New York: W.H. Freeman and Company, 1982.

Richardson K.A. Methodological Implications of Complex Systems Approaches to Sociality: Some Further Remarks // Journal of Artificial Societies and Social Simulatio. 2002. №. 2 <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/2/6.html>

Robert A. Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences // Handbook of Research on Nature-Inspired Computing for Economics and Management. Hersey: Idea Group, 2006. P. 1-13.

Schroeder M. Fractals, Chaos, Power Laws: Minutes from an Infinite Paradise. New York: W.H. Freeman and Company, 1991.

Turchin P., Nefedov S.A. Secular Cycles. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2009.

Turner F. J. The Frontierin American History. New York: Henry Holt and Company, 1920.

Zhukov D.S., Kanishchev V.V., Lyamin S.K. Fractal Modeling of Historical Demographic Processes // Historical Social Research. 2013. №2. P. 271 – 287.

Zhukov D.S., Lyamin S.K. Computer Fractal Modeling and Politological Analysis of the Destruction of Traditional Informal Institutions // Современные исследования социальных проблем. 2013. № 7. doi: 10.12731/2218-7405-2013-7-12.

Бородкин Л.И. Методология анализа неустойчивых состояний в политико-исторических процессах // Международные процессы. 2005. №1.

Бородкин Л.И. Фрактальные измерения Клио // Историческая информатика. 2012. №1. С. 104 – 110.

Жуков Д.С. Прогностические возможности компьютерной модели институциональной модернизации // Ineternum. 2012. № 1. С. 7-36.

Жуков Д.С., Канищев В.В., Лямин С.К. Фронтир и фрактал: подходы к компьютерному моделированию динамики российского фронтира // Fractal simulation. 2012. № 2.

Жуков Д.С., Лямин С.К. Виртуальные сценарии форсированной институциональной модернизации: условия, результаты и интерпретации компьютерных экспериментов в программе Модернофрактал // Fractal simulation. 2011. №2. С. 6 – 34.

Малков А.С., Малинецкий Г.Г., Чернавский Д.С. Математическое моделирование исторических процессов: аграрное общество // Круг идей. М.: Издательство МГУ, 2008. С. 84-99.

Малков С.Ю. Динамика политических систем: моделирование устойчивости и дестабилизации // Информационные войны. 2007. № 2. С. 11-20.

Мизис Ю.А., Кащенко С.Г. Проблема формирования русского фронтира на юге России в XVI – первой половине XVIII в. В отечественной историографии // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 2: История. 2011. № 1. С. 9-16.