

Гравитационные модели международных отношений в рамках теории структурного неореализма: три раздела Речи Посполитой

Аннотация: В данной статье предметом исследования является гравитационное моделирование как метод (ретро)предсказания исторической динамики, благодаря которому изменение границ между странами и соотношение баланса сил отражают динамическое равновесие системы, описанное гравитационными уравнениями. В качестве примера автор рассматривает польский вопрос конца XVIII века и три раздела Речи Посполитой. В отличие от традиционных попыток объяснить события при помощи качественных оценок, которые вызывают противоречия и неоднозначность, автор использует количественные данные, определяющие гравитационный заряд государств-участников конфликта и результаты столкновения между ними. Гравитационное моделирование интегрируется в теорию структурного неореализма К. Уолтца, которая определяет логику математического моделирования. Результаты добавления гравитации в теорию преобразуют её предсказательную мощь. Методология исследования заключается в математическом моделировании исторических процессов, в рамках которого объективные количественные параметры оценки мощи государств оказываются переменными в гравитационной модели, которая описывает ход исторических событий. Научная новизна работы заключается в применении гравитационного моделирования к изучению истории международных отношений, что практически никогда не осуществлялось исследователями и теоретиками МО. На первом этапе удалось построить простую, хотя и не точную модель, которая в целом подтвердила факт существования гравитации между странами. Дальнейшая перспектива исследования – уточнение гравитационного моделирования и построение непрерывного гравитационного поля международных отношений. Гравитационное поле существенно зависит от того, какая структура

отношений между странами существует в конкретном случае. В случае трёх разделов Речи Посполитой имеет место многополярная система МО, включавшая в себя минимум 4 государства, непосредственно участвовавших в польском кризисе. В рамках данной структуры построено в целом корректное уравнение гравитации, которое подтверждается экспериментом, но имеет ограниченную точность до 3 или 4 знака после запятой. В статье намечены пути корректировки точности моделирования, без которых теория гравитации международных отношений не может считаться вполне обоснованной.

Ключевые слова: гравитационное моделирование, гравитация, теории международных отношений, структурный неореализм, польский вопрос, разделы Речи Посполитой, количественные методы, историческая информатика, математическая история, социальная гравитация

Abstract: This article examines gravitational modeling as a method of (retro)predicting historical dynamics, through which the changes in borders between countries and the balance of power reflect the dynamic equilibrium of the system described by gravitational equations. As an example, the author considers the Polish question of the late 18th century and the three partitions of the Polish-Lithuanian Commonwealth. Unlike traditional attempts to explain events using qualitative assessments that provoke controversy and ambiguity, the author employs quantitative data defining the gravitational charge of the states involved in the conflict and the outcomes of their encounters. Gravitational modeling is integrated into K. Waltz's theory of structural neorealism, which delineates the logic of mathematical modeling. The results of incorporating gravity into the theory transform its predictive power. The research methodology involves the mathematical modeling of historical processes, within which objective quantitative parameters assessing the power of states become variables in the gravitational model that describes the course of historical events. The scientific novelty of the

work lies in the application of gravitational modeling to the study of the history of international relations, which has rarely been undertaken by researchers and theorists in the field of IR. In the first stage, a simple, although not precise, model was constructed that generally confirmed the existence of gravity between countries. The further perspective of the research involves refining gravitational modeling and constructing a continuous gravitational field of international relations. The gravitational field significantly depends on the structural relationships between countries in a specific case. In the context of the three partitions of the Polish-Lithuanian Commonwealth, a multipolar system of international relations was present, involving at least four states directly participating in the Polish crisis. Within this framework, a generally correct gravitational equation was formulated, which is confirmed by experiments but has limited accuracy to three or four decimal places. The article outlines ways to adjust the accuracy of modeling, without which the theory of gravity in international relations cannot be considered fully justified.

Keywords: gravity modeling, gravity, theories of international relations, structural neorealism, Polish Question, partitions of the Polish–Lithuanian Commonwealth, quantitative methods, historical computer science, mathematical history, social gravity

Гравитационное моделирование

Гравитационные модели товарооборота между странами впервые предложил Ян Тимберген в 1962 году. Согласно его уравнениям, объём товарооборота между странами прямо пропорционален произведению их ВВП и обратно пропорционален расстоянию между ними:

$$\log F_{ij} = a_0 + a_1 \log y_i + a_2 \log y_j - a_3 \log D_{ij}$$

F_{ij} – поток товаров между странами i и j

y_i – ВВП страны i

y_j – ВВП страны j

D_{ij} – расстояние между странами i и j , [11, 262].

Уравнение записано в логарифмической форме, но оно в точности означает, что объём товарооборота равен произведению ВВП двух стран, делённому на расстояние между ними. Формула вдохновлена законом всемирного тяготения, сформулированным Исааком Ньютоном, и поэтому называется

гравитационной: $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$, $G = 6.67 \times 10^{-11}$.

По подсчётам Дисдье и Хэда, только в англоязычной литературе за последние пол века было исследовано 1052 случая применения различных гравитационных моделей в 78 исследовательских работах [5, 38], Дирдорф утверждает, что «уравнение, которое выглядит как гравитация, должно возникать из любой разумной экономической модели» [4]. Наиболее общий обзор современного состояния гравитационного моделирования в экономике приведён в работе Шеферда, Дойчиновой и Кравченко [10, 7].

В отечественной литературе гравитационные модели также широко используются.

М.Ю. Хавинсон и М.П. Кулаков построили концепцию динамической миграции населения на основе гравитационной модели миграции [21, 12-19].

И.С. Смирнов использует модели гравитационного моделирования «для оценки справедливости теории подобия стран по уровню спроса и влиянию спроса на товарные потоки, предложенную С. Линдером» [18, 52-61].

И.С. Троекурова и К.А. Пелевина строят гравитационную модель торговых потоков стран БРИКС [18].

Самостоятельный вариант гравитационной модели предложен Т.В. Усковой в работе, посвящённой моделированию экономических отношений субъектов северо-западного федерального округа России и Беларуси [20].

Уравнения Т.В. Усковой были использованы Ю.А. Ильичёвой в диссертации «Особенности экономического сотрудничества Индии со странами АСЕАН», которая была защищена в МГИМО в 2019 году [17].

Наиболее известной современной гравитационной моделью является предложенная Андерсоном и ВанВинкопом в 2003 году, известная как «модель гравитации с весом» [2, 170-192].

Существует ещё ряд современных гравитационных моделей, которые можно использовать для усовершенствования теории социальной гравитации. Работы Итона и Кортума 2002 года [6] и Чени и Хельмана 2008 [3] года излагают гравитационную теорию с учётом сложности экономического ландшафта внутри стран i и j . Все эти и многие другие работы зарекомендовали себя в области изучения международных экономических отношений, в указанных работах можно найти уравнения гравитационных моделей и результаты моделирования. Однако они описывают экономические связи и торговлю между странами. К международным отношениям в целом они не применимы без специальной обработки.

Гравитационные модели в исследованиях международных отношений

Очевидно, что гравитационное моделирование обладает огромным эвристическим потенциалом. Кажется, что нет ничего более естественного, чем предположить, что отношения между двумя странами будут прямо пропорциональны их потенциалу, исчисляемому в разных количественных категориях, и обратно пропорциональны расстоянию между ними.

Тем не менее, на сегодняшний день применение гравитационных моделей к изучению международных отношений мало распространено.

Редкий случай международной гравитации приводится в работах Д.А. Дегтерёва: учебном пособии РУДН для студентов-международников «Прикладной количественный анализ и моделирование международных отношений» [16] и диссертации на соискание степени доктора политических

наук «Количественные методы в прикладном анализе международных отношений» [15].

Согласно определению Д.А. Дегтерёва, «гравитационные модели в МО – зависимость степени взаимодействия между странами от некоторых параметров этих стран. При этом обязательно учитывается географическая близость стран, которая количественно выражается как расстояние между их столицами или границами» [16, 383].

При этом Д.А. Дегтерёв предлагает прекрасное определение международного веса государств: «Зона влияния страны в мире, в которую попадают другие страны, соответствует понятию физического поля, которое объект создаёт вокруг себя и интенсивность которого убывает с увеличением расстояния от него» [16, 383].

Также на страницах учебника приводится один из немногочисленных примеров применения гравитационной модели для исследования международных отношений, построенной Э. Роузом в 2007 году. Изучается зависимость плотности торговых потоков между странами от количества консульств и представительств государств на территории друг друга. В основе исследования лежит гравитационная модель в логарифмической форме записи, в которой фигурируют как количественные параметры, так и т.н. dummy-переменные: такие переменные, которые равны либо 1, либо 0, в зависимости от наличия или отсутствия некоторой важной качественной категории между странами: общая религия, общий язык, общее историческое прошлое.

Согласно расчётам, открытие одного нового посольства или консульства приводит к росту товарооборота между двумя странами на 6-10%, разбежка которых зависит от вне-экономических параметров, введённых в модель при помощи dummy-переменных. При этом открытие второго и последующих официальных учреждений государства i на территории страны j имеет с каждым новым шагом всё меньший экономический эффект [8, 22 – 38].

В случае более общих исследований трудность построения гравитационной модели заключается в многоаспектном характере МО, в том, что не все процессы международных отношений и внешней политики обусловлены одним или несколькими количественными параметрами, а если количественные оценки имеют место, они касаются слишком разных единиц измерения исторической реальности.

В этом контексте на первый план выходят теории международных отношений, которые позволяют оценить степень значимости и форму взаимоотношений между странами с учётом разных аспектов международной жизни, а затем дают основание ввести отношения соразмерности между ними. Прежде чем переходить к построению гравитационной модели, необходимо описать теоретические подходы, которые будут использованы в рамках исследования.

Теории МО и гравитационное моделирование

Исторически самой первой и убедительной теорией международных отношений был реализм (real politic). Во второй половине XX века появился неореализм, замечательными представителями которого являются Дж. Миршаймер [7] и К. Уолтц [12].

Базовым положением (нео)реализма является идея о том, что в международных отношениях царит хаос. Мирового порядка и логики отношений не существует. При этом основными акторами истории остаются национальные государства. Национальные государства в условиях хаоса стремятся прежде всего повысить уровень своей безопасности. Любое государство стремится с наименьшими потерями приобрести наибольшую выгоду для себя за счет других государств. Центральное место занимает баланс сил между странами, который и определяет границы и качество отношений между ними.

Согласно К. Уолтцу, в мире формируется структура, которая является фундаментальным понятием теории структурализма и отвечает за компенсацию хаоса мировой политики. Сама структура международных отношений занимает место, которое предназначено для несуществующего мирового арбитра – источника порядка в мировой политике.

Примеры структур, классификацию которых строит К. Уолтц: однополярный, биполярный, триполярный и многополярный мир. Для каждой из структур характерны свои особенности, при помощи которых в их рамках модерируются отношения между странами. Яркий и наглядный пример: «холодная война» между СССР и США. Биполярная структура, которая предопределяла правила игры, источники силы и точки приложения потенциалов для большинства стран в мире. Другой пример: многополярный или бесполярный мир, в котором каждое государство действует только в собственных интересах, без оглядки на гегемона. Структура международных отношений не обязательно охватывает весь мир, она существует там и тогда, где существует необходимость решения той или иной коллизии международных отношений, в которую вовлечено несколько заинтересованных государств. Мы полагаем, что в случае с тремя разделами Речи Посполитой мы имеем дело со структурой, в которую входило как минимум 4 государства: Россия, Речь Посполитая, монархия Габсбургов и Пруссия, и существовала многополярная система отношений, без очевидного лидера.

Отличие структуры мировой политики от мирового порядка заключается в том, что мировой порядок предполагал бы необходимость государств ему следовать. Структура МО не детерминирует отношения, но создаёт возможности для государств, следуя которым они стремятся повысить уровень своей безопасности и извлечь выгоду [13, 464-473].

Гравитационное моделирование структуры МО

При математической интерпретации произвольной структуры международных отношений мы исходим из того, что в любом случае потенциал государства определяется набором количественных параметров: численностью вооруженных сил, размером военного бюджета, площадью страны, численностью населения, размером экономики и другими количественными параметрами. Влияние одного государства на другое в рамках структуры прямо пропорционально совокупной мощи государства и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Примечательно, что в моделях, построенных Я. Тимбергеном и экономистами, в формуле торговой гравитации фигурирует не квадрат расстояния, а само расстояние (его модуль). В законе всемирного тяготения квадрат расстояния возникает не случайно. Он математически вытекает из фундаментального свойства природы, согласно которому пространство изотропно, или одинаково во всех направлениях. То есть тела одинаковой массы одинаково притягиваются на равном расстоянии, с какой бы стороны они ни находились. Тогда они формируют совокупность точек, равно удалённых от центра, что есть окружность, а силы гравитационного взаимодействия замечают площадь круга соответствующего радиуса. Так что сила гравитации тесно связана с площадью круга взаимодействия, а для определения площади круга центральный параметр – квадрат радиуса. То, что выдающиеся экономисты, включая нобелевского лауреата Яна Тинбергена, пренебрегают математически мотивированной переменной в формуле, говорит о наполовину гуманитарном характере экономической теории. Это свойство должно быть преодолено в исторической информатике, если мы хотим, чтобы математическая история описывала фундаментальные законы исторического процесса так, как это делает физика в отношении природы. Законы природы действуют равномерно во всех направлениях, и произвольно выделенного пространства, от которого зависит природа отношений, не существует. Если гравитационное моделирование исторических процессов должно стать описанием фундаментальных законов

истории, оно должно работать для квадратов расстояния между любыми произвольными точками на карте.

Определённое методологическое затруднение в отношении гравитационного моделирования МО возникает в связи с тем, что в отличие от закона всемирного тяготения, где масса – единственное измерение гравитационного заряда, гравитационный заряд МО не может быть одномерным практически ни в каком случае. Потенциал государства всегда зависит от совокупности факторов, каждый из которых имеет количественное измерение или может быть представлен при помощи произвольно заданного непрерывного коэффициента. С математической точки зрения, равно как и с точки зрения здравого смысла, нельзя просто суммировать количество несоизмеримых между собой единиц. Каждый исследователь в зависимости от формируемой им модели может предлагать любой набор параметров, количество которых определяет гравитационный заряд стран в изучаемой им структуре. В формуле гравитационного моделирования можно использовать, конечно, матрицу с частными производными по этим показателям. Однако намного проще и эффективнее считать удельный вес государства в структуре МО, выделяемой по одному из типов классификации К. Уолтца. Удельный вес – это доля в процентах каждого субъекта МО от общей суммы по каждому из компонентов всех участников структуры.

Более аккуратным и математически верным способом введения соизмеримости в вычисление гравитационного заряда является введение тензорных выражений, построение тензора гравитационного потенциала страны и вычисление тензорного произведения для силы гравитации. Однако к этому способу вычисления гравитации мы обратимся в следующих исследованиях.

Польский вопрос во второй половине XVIII века как пример гравитационного моделирования системы международных отношений

Справедливость теории определяется её предсказательной силой и подтверждением эксперимента. Исторические события и процессы – это экспериментальная база исторических исследований, которые подчиняются математическим моделям, как правило плохо известным современному человечеству. Согласно нашим представлениям, законы гравитации справедливы для всех эпох во все периоды истории человечества, а также не зависят ни от каких субъективных факторов.

Желая испытать релевантность модели на простых примерах, мы выбрали изучение польского вопроса в системе международных отношений центральной Европы второй половины XVIII века.

В рамках данного исследования мы рассматриваем простейшую структуру МО: 4 государства, непосредственно вовлечённые в исторический процесс трёх разделов Речи Посполитой. Данная структура представляется многополярной, то есть каждое из 4-х государств представляет собой полюс в системе отношений с центром гравитационного притяжения – столицей государства. Для вычисления гравитационного заряда государств-участников структуры было необходимо собрать информацию по нескольким компонентам их потенциала.

Сбор информации оказался весьма затруднён. Для гравитационного моделирования нужны либо точные статистические данные, либо правильные порядки цифр, одинаково приближительные для всех участников моделирования. Относительно облегчает ситуацию тот факт, что при вычислении гравитационного заряда единицей заряда является процент удельного веса государства в общей сумме компонента по структуре. Для этого случая правильные цифры статистики не обязательны, достаточно, чтобы они одинаково искажались по всем странам. В таком случае проценты удельного веса будут так же верны, как и при правильных значениях. Добиться адекватного порядка цифр от истории намного проще, чем точных цифр. В случае вычисления гравитационного заряда через тензорные величины требования к статистике будут строже.

Автор не является специалистом по польскому вопросу и не имеет доступа к полноте архивных данных за период трёх разделов Речи Посполитой. Цель данной работы – не окончательное решение польского вопроса, а концептуализация гравитационного моделирования и примерная – но адекватная – реализация модели. Поэтому при проведении исследования автор привлекал мощности искусственного интеллекта и располагает теми цифрами, которые предоставляет OpenAI по странам и компонентам гравитационного моделирования. В случае статистических ошибок специалисты по польскому вопросу приглашаются к реализации собственных исследований с применением уравнений гравитационного моделирования.

Параметры гравитационного заряда субъектов отношений:

- численность населения
- численность вооружённых сил
- ориентировочное количества орудий – прежде всего пушек
- количество мануфактур
- площадь страны

Временной шаг прослеживаемых изменений – один год.

В первом приближении будем воспринимать столицы государств как центры гравитации. В последующих исследованиях вопрос о точках притяжения субъектов исторического процесса будет стоять намного острее.

Допустим, что все части любого государства структуры притягиваются как к собственным столицам, так и к столицам других государств.

В результате первого раздела Речи Посполитой к России были присоединены Витебское, Полоцкое и Мстиславское воеводство. К империи Габсбургов – Краков и Тернополь с окрестными землями. К Пруссии – земли от Гданьска до Познани.

В результате второго раздела Речи Посполитой к России отошли города Пинск с окрестными землями и правобережная Украина от Днепра до Буга. К Пруссии – Торунь с окрестными землями и бассейн реки Варты.

В результате третьего раздела Речи Посполитой к России отошли Луцк с землями, территория Западной Белоруссии. К Австрии – земли от Кракова на западе до Буга на востоке. К Пруссии – территория центральной Польши с Варшавой.

Общее уравнение гравитационного поля для многополярной структуры международных отношений:

$$\left(\frac{Xx_1}{r_1^2} + \frac{Xx_2}{r_2^2} + \dots + \frac{Xx_n}{r_n^2}\right) - \left(\frac{Yx_1}{r_1^2} + \frac{Yx_2}{r_2^2} + \dots + \frac{Yx_n}{r_n^2}\right) - \dots - \left(\frac{Zx_1}{r_1^2} + \frac{Zx_2}{r_2^2} + \dots + \frac{Zx_n}{r_n^2}\right) + \left(\frac{Yy_1}{r_1^2} + \frac{Yy_2}{r_2^2} + \dots + \frac{Yy_n}{r_n^2}\right) - \left(\frac{Xy_1}{r_1^2} + \frac{Xy_2}{r_2^2} + \dots + \frac{Xy_n}{r_n^2}\right) - \dots - \left(\frac{Zy_1}{r_1^2} + \frac{Zy_2}{r_2^2} + \dots + \frac{Zy_n}{r_n^2}\right)$$

где X, Y, ... Z – совокупность гравитационных зарядов государств, участвующих в структуре.

$X_{1...n}$ $Y_{1...n}$ $Z_{1...n}$ – совокупность регионов 1...n стран X,Y...Z соответственно, входящих в структуру международных отношений.

$r_{1...n}^2$ – квадрат расстояния между столицами государств и центрами регионов.

В предельном случае структура международных отношений включает все страны мира и регионы. Если структура многополярная, каждый регион притягивается к каждой из столиц любого государства. Если складывать гравитацию всех регионов государства к столице собственного государства и вычитать из данной суммы гравитацию каждого региона к столицам других государств, разность сумм гравитаций должна равняться 0. В таком случае границы государств в структуре международных отношений устойчивы. Отрицательные значения в правой части общего уравнения означают, что гравитация внутри государств меньше, чем гравитация снаружи, и прогнозируется пересмотр границ в рамках многополярной структуры или переход к построению структуры с ярко выраженным гегемоном, при которой уравнение будет другим. Чем больше отклонение уравнения от 0, тем выше больше усилий прикладывают участники отношений для сохранения существующих границ и тем более вероятен их пересмотр. Если правая часть уравнения больше 0, гравитация внутри государств превышает суммарную гравитацию по периметру границ, и структура международных отношений обречена на распад и кризис, так как пограничные регионы государств в

существующих границах притягиваются иностранными государствами больше собственных столиц.

Локальные уравнения гравитационного поля для многополярной структуры МО:

$$\frac{Xx_i}{r_x^2} - \frac{Yx_i}{r_y^2} - \dots - \frac{Zx_i}{r_z^2} = 0$$

где X, Y...Z – гравитационные заряды государств в структуре международных отношений,

x_i – регион, оказавшийся в рамках структуры в составе государства X,

$r_{x,y...z}^2$ – квадрат расстояния от центра региона x_i до столицы i -го государства, входящего в структуру международных отношений.

В ниже приведённых таблицах – статистические данные по странам [8]:

Россия					
Год	Население	Численность ВС	Пушки	Мануфактуры	Площадь тер
1770	28800000	225 000	600	600	17000000
1771	29450000	245 000	600	600	17000000
1772	30100000	250 000	600	600	17100000
1790	41800000	260 000	700	700	18000000
1791	42450000	280 000	700	700	18000000
1792	43100000	300 000	700	700	18200000
1793	43750000	320 000	800	800	18200000
1794	44400000	340 000	800	800	18200000
1795	45050000	360 000	800	800	18500000

Речь Посполитая					
Год	Население	Численность ВС	Пушк и	Мануактуры	Площадь тер
1770	9000000	50 000	372	500	750000
1771	11000000	50 000	372	500	750000
1772	11000000	50 000	372	520	530000
1790	12000000	100000	372	700	530000
1791	12000000	110000	372	720	530000
1792	12000000	110000	372	750	230000
1793	10000000	80000	372	700	230000
1794	10000000	60000	372	650	230000
1795	10000000	40000	372	600	230000

Пруссия					
Год	Населени е	Численност ь ВС	Пушк и	Мануфактур ы	Площадь тер
1770	6 000 000	200 000	700	500	300000
1771	6000000	200 000	800	500	300000
1772	6000000	200 000	800	700	350000
1790	8000000	200 000	1400	900	360000
1791	8000000	200 000	600	900	360000
1792	8000000	200 000	1000	900	360000
1793	8000000	200 000	2000	900	380000
1794	8000000	200 000	800	900	380000
1795	8000000	200 000	600	900	380000

Империя Габсбургов					
Год	Население	Численность	Пушки	Мануфактур	Площадь

		ВС		ы	тер
1770	22000000	225000	1200	800	650000
1771	24000000	245000	1200	850	650000
1772	24000000	250000	1200	850	740000
1790	22000000	260000	1500	1100	800000
1791	26000000	280000	1500	1100	800000
1792	25000000	300000	1500	1100	830000
1793	25000000	320000	1500	1100	830000
1794	25000000	340000	1500	1100	830000
1795	25000000	360000	1500	1100	860000

Ниже – сумма по компонентам для всей структуры международных отношений:

Общее количество по странам структуры МО					
Год	Население	Численность ВС	Пушки	Мануфактуры	Площадь тер
1770	65 800 000	700 000	2872	2400	18700000
1771	70450000	740 000	2972	2450	18700000
1772	71100000	750 000	2972	2670	18720000
1790	83800000	820 000	3972	3400	19690000
1791	88450000	870 000	3172	3420	19690000
1792	88100000	910 000	3572	3450	19620000
1793	86750000	920 000	4672	3500	19640000
1794	87400000	940 000	3472	3450	19640000

179					
5	88050000	960 000	3272	3400	19970000

Расстояния между спорными территориями и столицами государств, участников структуры международных отношений:

Таблица расстояний по прямой в км				
	Санкт-Петербург	Варшава	Вена	Берлин
Витебск	527	686	1225	1141
Полоцк	504	624	1173	1057
Мстиславль	663	741	1248	1226
Пинск	909	346	816	862
Луцк	1068	341	705	846
Гданьск	937	283	701	405
Познань	1175	278	469	241
Торунь	1052	184	557	356
Краков	1279	252	331	531
Тернополь	1193	438	690	913

Таблицы с процентами стран от общей численности по компонентам гравитационного заряда:

	Процент населения от общей численности				
	Россия	Пруссия	Речь Посполитая	Империя Габсбургов	Сумма %
Год	%	%	%	%	
1770	43,76899	9,118541	13,67781155	33,4347	100

	7				
1771	41,80269 7	8,516678 5	15,61391057	34,0667	100
1772	42,33474	8,438818 6	15,47116737	33,7553	100
1790	49,88066 8	9,546539 4	14,31980907	26,253	100
1791	47,99321 7	9,044658	13,566987	29,3951	100
1792	48,92168	9,080590 2	13,62088536	28,3768	100
1793	50,43227 7	9,221902	11,52737752	28,8184	100
1794	50,80091 5	9,153318 1	11,4416476	28,6041	100
1795	51,16411 1	9,085746 7	11,35718342	28,393	100

Процент военных от общей численности					
	Россия	Пруссия	Речь Посполитая	Империя Габсбурго в	Сумма %
Год	%	%	%	%	
1770	32,14285 7	28,57142 9	7,142857143	32,1429	100
1771	33,10810 8	27,02702 7	6,756756757	33,1081	100
1772	33,33333 3	26,66666 7	6,666666667	33,3333	100
1790	31,70731 7	24,39024 4	12,19512195	31,7073	100
1791	32,18390 8	22,98850 6	12,64367816	32,1839	100
1792	32,96703	21,97802	12,08791209	32,967	100

	3	2			
1793	34,78260 9	21,73913	8,695652174	34,7826	100
1794	36,17021 3	21,27659 6	6,382978723	36,1702	100
1795	37,5	20,83333 3	4,166666667	37,5	100

Процент количества пушек от общей численности					
	Россия	Пруссия	Речь Посполитая	Империя Габсбурго в	Сумма %
Год	%	%	%	%	
1770	20,8914	24,373259	12,95265	41,78273	100
1771	20,1884	26,9179	12,51682	40,37685	100
1772	20,1884	26,9179	12,51682	40,37685	100
1790	17,6234	35,246727	9,365559	37,76435	100
1791	22,0681	18,915511	11,72762	47,28878	100
1792	19,5969	27,995521	10,41433	41,99328	100
1793	17,1233	42,808219	7,962329	32,10616	100
1794	23,0415	23,041475	10,71429	43,20276	100
1795	24,4499	18,337408	11,36919	45,84352	100

	Процент количества мануфактур от общей численности
--	--

	Россия	Пруссия	Речь Посполитая	Империя Габсбурго в	Сумма %
Год	%	%	%	%	
1770	25	20,83333 3	20,83333	33,33333	100
1771	24,489 8	20,40816 3	20,40816	34,69388	100
1772	22,471 9	26,21722 8	19,47566	31,83521	100
1790	20,588 2	26,47058 8	20,58824	32,35294	100
1791	20,467 8	26,31578 9	21,05263	32,16374	100
1792	20,289 9	26,08695 7	21,73913	31,88406	100
1793	22,857 1	25,71428 6	20	31,42857	100
1794	23,188 4	26,08695 7	18,84058	31,88406	100
1795	23,529 4	26,47058 8	17,64706	32,35294	100

Процент количества территории от общей численности					
	Россия	Пруссия	Речь Посполитая	Империя Габсбурго в	Сумма %
Год	%	%	%	%	
1770	90,909 1	1,604278 1	4,010695	3,475936	100
1771	90,909 1	1,604278 1	4,010695	3,475936	100
1772	91,346	1,869658	2,831197	3,952991	100

	2	1			
1790	91,417	1,828339 3	2,691722	4,062976	100
1791	91,417	1,828339 3	2,691722	4,062976	100
1792	92,762 5	1,834862 4	1,172273	4,230377	100
1793	92,668	1,934826 9	1,171079	4,226069	100
1794	92,668	1,934826 9	1,171079	4,226069	100
1795	92,639	1,902854 3	1,151728	4,30646	100

Собрать статистику по параметрам гравитационного заряда по отдельным регионам оказалась особенно затруднительно. Если верить ответам OpenAI, даже в целом по странам точная статистика не известна и данные вычисляются косвенно. Тем более сложно выяснить, сколько артиллерийских орудий или личного состава войск находилось на территории отдельных воеводств. Поэтому мы сочли их удельный вес в общей массе по структуре достаточно малым, чтобы им пренебречь. Для удобства последующих вычислений, нами был вычислен показатель гравитации каждого региона Речи Посполитой к столицам России, Австрии и Пруссии по формуле гравитационный заряд государства на квадрат расстояния от столицы до центра региона.

Ниже приведены таблица с гравитационным зарядом отдельных регионов:

Гравитация Витебского воеводства				
	Россия	Речь Посполитая	Империя Габсбургов	Пруссия
1770	0,016596	0,00012456	0,00010	0,00006
1771	0,015757	0,000126024	0,00010	0,00006

1772	0,015572	0,000121041	0,00010	0,00007
1790	0,000761	0,000125714	0,00009	0,00007
1791	0,000771	0,000131073	0,00010	0,00006
1792	0,000772	0,000125446	0,00009	0,00007
1793	0,000784	0,000104881	0,00009	0,00008
1794	0,000813	0,000103168	0,00010	0,00006
1795	0,000826	9,70935E-05	0,00010	0,00006

Гравитация Полоцкого воеводства

	Россия	Речь Посполитая	Империя Габсбургов	Пруссия
1770	0,000837	0,000151	0,00010	0,00008
1771	0,000829	0,000152	0,00011	0,00008
1772	0,000825	0,000146	0,00010	0,00008
1790	0,000832	0,000152	0,00010	0,00009
1791	0,000843	0,000158	0,00011	0,00007
1792	0,000845	0,000152	0,00010	0,00008
1793	0,000858	0,000127	0,00010	0,00009
1794	0,000889	0,000125	0,00011	0,00007
1795	0,000903	0,000117	0,00011	0,00007

Гравитация Луцка

	Россия	Речь Посполитая	Империя Габсбурго в	Пруссия
1770	0,000186 5	0,000504101	0,00029	0,00011806 5
1771	0,000184 5	0,000510026	0,00029	0,00011802 7
1772	0,000183 8	0,000489861	0,00029	0,00012590 2
1790	0,000185	0,000508771	0,00027	0,00013620

	2			3
1791	0,000187 7	0,000530462	0,00029	0,00011050 9
1792	0,000188 1	0,000507689	0,00028	0,00012152 3
1793	0,000191	0,000424458	0,00026	0,00014170 2
1794	0,000198	0,000417528	0,00029	0,00011386 2
1795	0,000201	0,000392943	0,0003	0,00010706 8

Гравитация Гданьска			
---------------------	--	--	--

Россия	Речь Посполитая	Империя Габсбурго в	Пруссия
0,00024227 8	0,000731903	0,00029	0,000515 2
0,00023975 6	0,000740506	0,0003	0,000515
0,00023881 8	0,000711228	0,00029	0,000549 4
0,00024057 4	0,000738684	0,00027	0,000594 3
0,00024389 2	0,000770176	0,0003	0,000482 2
0,00024435 7	0,000737112	0,00028	0,000530 3
0,00024814 5	0,00061627	0,00027	0,000618 3
0,00025726	0,000606208	0,00029	0,000496

3			8
0,00026115			0,000467
1	0,000570513	0,0003	2

Гравитация Мстиславского воеводства				
	Россия	Речь Посполитая	Империя Габсбургов	Пруссия
1770	0,000484	0,000106755	0,00009	0,00006
1771	0,000479	0,00010801	0,00009	0,00006
1772	0,000477	0,00010374	0,00009	0,00006
1790	0,000481	0,000107744	0,00008	0,00006
1791	0,000487	0,000112338	0,00009	0,00005
1792	0,000488	0,000107515	0,00009	0,00006
1793	0,000496	0,00008	0,00009	0,00007
1794	0,000514	0,00008	0,00009	0,00006
1795	0,000522	0,00007	0,00010	0,00005

Гравитация Пинска				
	Россия	Речь Посполитая	Империя Габсбурго в	Пруссия
1770	0,000257	0,00049	0,000217	0,000113723
1771	0,000255	0,000495	0,000219	0,000113686
1772	0,000254	0,000476	0,000215	0,000121272

179	0,00025			0,00013119
0	6	0,000494	0,000198	3
179	0,00025			0,00010644
1	9	0,000515	0,000218	4
179				0,00011705
2	0,00026	0,000493	0,000209	4
179	0,00026			
3	4	0,000412	0,000197	0,00013649
179	0,00027			0,00010967
4	3	0,000406	0,000216	5
179	0,00027			
5	7	0,000382	0,000223	0,00010313

Гравитация Познани				
	Россия	Речь Посполитая	Империя Габсбурго в	Пруссия
177	0,000154			
0	1	0,000758467	0,00066	0,001454879
177	0,000152			
1	5	0,000767382	0,00066	0,001454418
177	0,000151			
2	9	0,000737041	0,00065	0,001551459
179				
0	0,000153	0,000765494	0,0006	0,001678388
179	0,000155			
1	1	0,000798129	0,00066	0,001361767
179	0,000155			
2	4	0,000763865	0,00063	0,001497494
179	0,000157			
3	8	0,000638637	0,0006	0,001746154
179	0,000163			
4	6	0,00062821	0,00066	0,001403095

179	0,000166			
5	1	0,00059122	0,00067	0,001319363

Гравитация Торуня				
	Россия	Речь Посполитая	Империя Габсбурго в	Пруссия
177	0,00019220			0,00066
0	3	0,00173	0,0004647	7
177	0,00019020			0,00066
1	3	0,00175	0,0004697	7
177	0,00018945			0,00071
2	9	0,00168	0,0004617	1
179	0,00019085			0,00076
0	2	0,00175	0,0004259	9
179	0,00019348			0,00062
1	4	0,00182	0,0004677	4
179	0,00019385			0,00068
2	3	0,00174	0,0004495	6
179	0,00019685			0,0008
3	8	0,00146	0,0004234	
179	0,00020409			0,00064
4	2	0,00143	0,0004644	3
179	0,00020717			0,00060
5	6	0,00135	0,0004783	5

Гравитация Кракова

	Россия	Речь Посполитая	Империя Габсбурго в	Пруссия
177 0	0,000130032	0,00092305	0,001316	0,0003
177 1	0,000128679	0,000933899	0,00133	0,0003
177 2	0,000128175	0,000896975	0,001308	0,00032
179 0	0,000129118	0,000931602	0,001206	0,000346
179 1	0,000130899	0,000971319	0,001324	0,000281
179 2	0,000131148	0,000929619	0,001273	0,000308
179 3	0,000133181	0,000777218	0,001199	0,00036
179 4	0,000138075	0,000764528	0,001315	0,000289
179 5	0,000140162	0,000719511	0,001354	0,000272

Гравитация Тернополя				
	Россия	Речь Посполитая	Империя Габсбургов	Пруссия
1770	0,000149	0,000305547	0,000303	0,000101
1771	0,000148	0,000309138	0,000306	0,000101
1772	0,000147	0,000296916	0,000301	0,000108
1790	0,000148	0,000308378	0,000278	0,000117

1791	0,00015	0,000321525	0,000305	0,00009
1792	0,000151	0,000307722	0,000293	0,000104
1793	0,000153	0,000257274	0,000276	0,000125
1794	0,000159	0,000253073	0,000303	0,0001
1795	0,000161	0,000238172	0,000312	0,00009

Формула общего уравнение гравитационного поля трёх разделов Речи Посполитой была реализована в программе Excel и привела к следующим результатам:

Общее уравнение гравитационного поля структуры МО	
Год	Значение правой части уравнения
1770	0,012879356
1771	0,011955552
1772	0,012131385
1790	-0,002688875
1791	-0,003363512
1792	-0,002905255
1793	-0,001575105
1794	-0,001911053
1795	-0,001722023

Характерно, что до первого раздела Речи Посполитой значение правой части общего уравнения гравитационного поля больше нуля, и единственный раз из всех последующих вычислений превышает значение одной сотой, то есть примерно равна единице процента – единице исчисления гравитационного заряда. Это говорит о том, что гравитация внутри государств структуры превышает гравитацию во вне, хотя не значительно. После первого раздела Речи Посполитой значения в правой части уравнения становятся равны 0 с точностью до третьего знака и незначительно меньше нуля, что говорит о том, что гравитация во вне государств превышает гравитацию внутри, но в

незначительной степени. Границы динамически устанавливаются, и система демонстрирует достаточно высокий уровень стабильности.

Локальные уравнения регионов вычислялись как разность гравитации региона к столице государства, частью которого регион оказался, и гравитаций региона к столицам других государств структуры.

Частное уравнение гравитации Витебска				
	Россия	Речь Посполитая	Империя Габсбургов	Пруссия
1772	0,013282725	-0,013452843	-0,01585	-0,017691641
Частное уравнение гравитации Полоцка				
	Россия	Речь Посполитая	Империя Габсбургов	Пруссия
1772	0,008847708	-0,015461112	-0,016970687	-0,017810407
Частное уравнение гравитации Мстиславля				
	Россия	Речь Посполитая	Империя Габсбургов	Пруссия
1772	0,000221334	-0,000548714	-0,000548714	-0,000255667
Частное уравнение гравитации Тернополя				
	Россия	Речь Посполитая	Империя Габсбургов	Пруссия
1772	-0,000558586	-0,000259397	-0,000251449	-0,00064
Частное уравнение гравитации Пинска				
	Россия	Речь Посполитая	Империя Габсбургов	Пруссия
1793	-0,000424813	-0,000258072	-0,000553919	-0,000677865
Частное уравнение гравитации Познани				
	Россия	Речь Посполитая	Империя Габсбургов	Пруссия
1793	-0,0027805	-0,00201602	-0,001878005	0,00048
Частное уравнение гравитации Торуня				
	Россия	Речь Посполитая	Империя Габсбургов	Пруссия

1793	-0,002289673	-0,000214646	-0,001639122	-0,00105
Частное уравнение гравитации Гданьска				
	Россия	Речь Посполитая	Империя Габсбургов	Пруссия
1793	-0,001178363	-0,000634286	-0,0011329	-0,00041
Частное уравнение гравитации Луцка				
	Россия	Речь Посполитая	Империя Габсбургов	Пруссия
1795	-0,000558391	-0,000265641	-0,000357726	-0,00003
Частное уравнение гравитации Кракова				
	Россия	Речь Посполитая	Империя Габсбургов	Пруссия
1795	-0,002147957	-0,001153158	0,000315752	-0,00187

Таким образом мы видим, что с точностью до третьего или четвёртого знака после запятой, уравнения гравитационного поля трёх разделов Речи Посполитой указывают на гравитационное притяжение бывших регионов Речи Посполитой к тем странам, в состав которых они вошли. В той степени, в которой статистические данные указаны верно, результаты исторического эксперимента подтверждают математическое ожидание гравитационного моделирования. Наличие отклонений от нуля связаны не только с неточностью статистических данных. Построенная нами гравитационная модель не корректна, так как учитывает положительные взаимодействия близлежащих государств, и игнорирует гравитационное притяжение всех остальных государств, существовавших тогда на планете или находившихся в системе отношений со странами структуры. Введение количества заряда всех остальных стран привело бы к уточнению результатов и ко всё большему приближению правой части уравнений к нулю, так как гравитационные показатели были бы достаточно малы, и по мере вычитания из существующих параметров делали бы их разность всё меньше и меньше.

С другой стороны, отклонение от нуля в уравнениях не отменяет наличие гравитации, а указывает на дестабилизацию системы, определяет динамику изменения границ между государствами или количество усилий, исчисляемых количественно по параметрам, необходимых для поддержания системы.

Перспектива дальнейших исследований

Данная работа – только первый шаг в области гравитационного моделирования международных отношений. Основными уязвимостями подхода является то, что он существенно упрощает историческую реальность, концентрируя гравитационный заряд государства в точке пространства, где находится столица. При этом именно расстояние, в силу квадрата в формуле, оказывает определяющее влияние на гравитацию. Меняя расстояние между точками притяжения, то есть условное перенося столицу в новое место, можно оказывать огромное влияние на гравитацию международных отношений, несравнимо большую, чем наращивание реальной мощи по компонентам гравитационного заряда. Однако в исторической реальности не существует особенного притяжения к столицам по сравнению с любым другими точками на карте. Гравитация должна вычисляться как потенциал гравитационного поля для любой произвольной точки пространства относительно любых других точек пространства в том же времени.

Можно сказать, что в данной статье нами построено дискретное гравитационное поле: гравитация определена только для некоторых точек – столиц – и совершенно не определена для всех остальных. Дать разумный ответ какова гравитация в произвольной точке пространства-времени истории пока невозможно, так как точных статистических данных по каждой точке пространства в любой момент времени у историков нет. Эта ситуация напоминает положение дел в квантовой физике, в которой знание о массе и ускорении (импульсе) частицы исключает знание о её точном

местоположении в координатах. Так что вычисление гравитационного заряда для любых исторических процессов связано с распределением плотности вероятности нахождения структурных единиц истории в произвольной точке на исторической карте. Поэтому ближайшей целью грядущих исследований будет создание концепций, необходимых для построения непрерывного гравитационного поля международных отношений.

Это значительно сложнее, зато может дать возможность описывать любую историческую динамику на языке гравитационных уравнений, а также восполнять недостающую в источниках картину при помощи распространения законов и формул на тёмные страницы истории по непрерывности.

В 2016 году вышла обобщающая монография Л.И. Бородкина «Моделирование исторических процессов: от реконструкции реальности к анализу альтернатив». В работе нашли отражение основные подходы математической истории последних десятков лет, разработке которых автор и его коллеги посвятили жизнь. Обзорный труд пролил свет на главные достижения количественных методов и запечатлел замечательные результаты отечественных и зарубежных учёных в этой области. Монография интересна и с общефилософской, методологической точки зрения. И только с одним – самым последним – высказыванием автора хочется поспорить. Подводя итог, Л.И. Бородкин пишет: «Думается, что в XXI веке компьютерное моделирование займет прочное (хотя, видимо, достаточно скромное) место в исследовательском инструментарии историка» [14, 279].

Учитывая сказанное выше, думается, что в XXI веке компьютерное моделирование и математическая история станут источником смены парадигмы социо-гуманитарных наук и лягут в основу переворота в области исторического знания.

Список литературы

1. American Economic Review, 93(1). – 2003.
2. Anderson, J., and E. Van Wincoop. Gravity with Gravitas: A Solution to the Border Puzzle.
3. Chaney, T. Distorted Gravity: The Intensive and Extensive Margins of International Trade. American Economic Review, 98(4). – 2008.
4. Deardorff, A. Determinants of Bilateral Trade: Does Gravity Work in a Neo-Classical World? in J. Frankel (ed.) The Regionalization of the World Economy. Chicago: University of Chicago Press. 1995.
5. Disdier, A.-C., and K. Head The Puzzling Persistence of the Distance Effect on Bilateral Trade. 60 The gravity model of international trade: a user guide [R version] Review of Economics and Statistics, 90(1): 37-48. 2008.
6. Eaton, J., and S. Kortum. Technology, Geography, and Trade. Econometrica, 70(5). – 2002.
7. Mearsheimer, John. The Tragedy of Great Power Politics. W. W. Norton & Company, 2014.
8. OpenAI. (2025). ChatGPT [large language model].
<https://chat.openai.com/chat>
9. Rose A. The foreign service and foreign trade: embassies as export promotion // World Economy. – 2007. – 30(1).
10. Shepherd B. Doytchinova H.S., Kravchenko A. The gravity model of international trade: a user guide.
11. Tinbergen J. Shaping the World Economy Suggestions for an Economic International Policy. New-York: Twentieth century Fund. 1962. P.262.
12. Waltz, Kenneth N. Theory of International Politics. Reading, MA: Addison-Wesley Pub., 1979.
13. Алексеева Т.А. Теория международных отношений как политическая философия и наука: Учеб. Пособие для ВУЗов / Т.А. Алексеева. – М.: Издательство «Аспект Пресс», 2019.

- 14.Бородкин Л.И. Моделирование исторических процессов: от реконструкции реальности к анализу альтернатив. – СПб.: Алетейя, 2016.
- 15.Дегтерёв Д.А. Количественные методы в прикладном анализе международных отношений. Диссертация на соискание ученой степени доктора политических наук. М.: РУДН, 2019.
- 16.Дегтерёв Д.А. Прикладной количественный анализ и моделирование международных отношений. М.: РУДН, 2016.
- 17.Ильичёва Ю.А. Особенности экономического сотрудничества Индии со странами АСЕАН. Диссертация на соискание степени кандидата экономических наук. М.: МГИМОМИД России, 2019 г.
- 18.Смирнов И.С. Гравитационные модели для анализа международной торговли: тестирование теории подобия стран 50 лет спустя. Региональные исследования, №2 (68), 2020. С. 52-62.
- 19.Троекурова И.С., Пелевина К.А. Гравитационные модели торговли стран БРИКС. Изв. Саратов. ун-та Нов. сер. Сер. Экономика. Управление. Право. 2014;(1–2).
- 20.Ускова Т.В. Внешнеэкономическая деятельность регионов северо-западного федерального округа и Республики Беларусь: состояние и методологические аспекты моделирования.
- 21.Хавинсон М.Ю., Кулаков М.П. Концепция динамической гравитационной модели миграции населения. Региональные проблемы. 2016. Т. 19 №4.

References

1. American Economic Review, 93(1). – 2003.
2. Anderson, J., and E. Van Wincoop. Gravity with Gravitas: A Solution to the Border Puzzle.
3. Chaney, T. Distorted Gravity: The Intensive and Extensive Margins of International Trade. American Economic Review, 98(4). – 2008.
4. Deardorff, A. Determinants of Bilateral Trade: Does Gravity Work in a Neo-Classical World? in J. Frankel (ed.) The Regionalization of the World Economy. Chicago: University of Chicago Press. 1995.
5. Disdier, A.-C., and K. Head The Puzzling Persistence of the Distance Effect on Bilateral Trade. 60 The gravity model of international trade: a user guide [R version] Review of Economics and Statistics, 90(1): 37-48. 2008.
6. Eaton, J., and S. Kortum. Technology, Geography, and Trade. Econometrica, 70(5). – 2002.
7. Mearsheimer, John. The Tragedy of Great Power Politics. W. W. Norton & Company, 2014.
8. OpenAI. (2025). ChatGPT [large language model].
<https://chat.openai.com/chat>
9. Rose A. The foreign service and foreign trade: embassies as export promotion // World Economy. – 2007. – 30(1).
10. Shepherd B. Doytchinova H.S., Kravchenko A. The gravity model of international trade: a user guide.
11. Tinbergen J. Shaping the World Economy Suggestions for an Economic International Policy. New-Yourk: Twentieth century Fund. 1962. P.262.
12. Waltz, Kenneth N. Theory of International Politics. Reading, MA: Addison-Wesley Pub., 1979.
13. Alekseeva, T. A. Theory of International Relations as Political Philosophy and Science: A Textbook for Universities. Moscow: Aspekt Press, 2019.

14. Borodkin, L. I. Modeling Historical Processes: From the Reconstruction of Reality to the Analysis of Alternatives. St. Petersburg: Aleteiya, 2016.
15. Degterev, D. A. Quantitative Methods in Applied Analysis of International Relations. Doctoral dissertation in Political Science. Moscow: RUDN University, 2019.
16. Degterev, D. A. Applied Quantitative Analysis and Modeling of International Relations. Moscow: RUDN University, 2016.
17. Il'ichëva, Yu. A. Specific Features of India's Economic Cooperation with ASEAN Countries. Candidate of Economic Sciences dissertation. Moscow: MGIMO University, 2019.
18. Smirnov, I. S. "Gravity Models for the Analysis of International Trade: Testing the Country Similarity Theory 50 Years Later." *Regional Studies*, no. 2 (68), 2020, pp. 52–62.
19. Troekurova, I. S., Pelevina, K. A. "Gravity Trade Models for BRICS Countries." *Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Economics. Management. Law*, 2014, no. 1–2.
20. Uskova, T. V. Foreign Economic Activity of the Regions of the Northwestern Federal District and the Republic of Belarus: State and Methodological Aspects of Modeling.
21. Khavinson, M. Yu., Kulakov, M. P. "The Concept of a Dynamic Gravity Model of Population Migration." *Regional Problems*, 2016, vol. 19, no. 4.