

МЕЖДУНАРОДНЫЕ, ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Международные отношения, глобальные
и региональные исследования

INTERNATIONAL, GLOBAL AND REGIONAL PROCESSES

International Relations, Global and Regional Studies

Научная статья

УДК 327

[https://doi.org/10.53658/RW2026-4-1\(19\)-64-80](https://doi.org/10.53658/RW2026-4-1(19)-64-80)

Политические науки

Границы применимости временных экспоненциальных моделей случайных графов (TERGM) для анализа региональных сетей альянсов на примере постсоветского пространства

Денис Олегович Вакарчук✉

Российский государственный гуманитарный университет, Москва,
Россия

vakarchuk.d@rggu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7582-1864>

Аннотация. В статье рассматриваются методологические аспекты применения динамического сетевого анализа в современной международно-политической науке. Актуальность исследования обусловлена ограничениями стандартных статистических методов, в частности, логистической регрессии, игнорирующих сетевую автокорреляцию и эндогенную взаимозависимость наблюдений, что приводит к смещенным оценкам при изучении международных процессов. Цель работы – продемонстрировать аналитический потенциал и границы применимости временных экспоненциальных моделей случайных графов (TERGM) для изучения эволюции региональных подсистем безопасности.

На примере моделирования динамики сети военных альянсов на постсоветском пространстве представлена методология построения и спецификации моделей TERGM. Описана процедура включения в анализ как эндогенных структурных конфигураций (инерция, триадное замыкание), так и экзогенных ковариат (торговые потоки, санкционный статус, влияние внешних держав). Расчеты производились при помощи языка программирования R с использованием пакета «btergm».

Показана практическая сложность интерпретации результатов стохастического моделирования в условиях малых выборок. В частности, показано, что включение в модель детерминированных ковариат может приводить к статистическим искажениям, требующим особой интерпретации. Выявлены ограничения метода при оценке влияния характеристик государств, в частности, санкционного статуса, в случаях, когда эти характеристики присущи лишь малому числу участников сети. Сделан вывод о том, что TERGM является эффективным инструментом для измерения структурных эффектов, однако при анализе малых региональных сетевых структур его использование требует строгой предварительной диагностики данных и комбинирования с альтернативными методами верификации.

Ключевые слова: TERGM, сетевой анализ, военные альянсы, постсоветское пространство, количественные методы

Для цитирования: Вакарчук Д.О. Границы применимости временных экспоненциальных моделей случайных графов (TERGM) для анализа региональных сетей альянсов на примере постсоветского пространства // Россия и мир: научный диалог. 2026. № 1(19). С. 64-80, [https://doi.org/10.53658/RW2026-4-1\(19\)-64-80](https://doi.org/10.53658/RW2026-4-1(19)-64-80)

Original article

[https://doi.org/10.53658/RW2026-4-1\(19\)-64-80](https://doi.org/10.53658/RW2026-4-1(19)-64-80)

Political Sciences

The Limits of TERGM for Analyzing Regional Alliance Networks: A Case Study of Post-Soviet Alliances

Denis O. Vakarchuk ✉

Russian State University for the Humanities (RSUH), Moscow, Russia
vakarchuk.d@rggu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7582-1864>

Abstract. The article examines methodological aspects of applying dynamic network analysis in contemporary international political science. The study is motivated by the limitations of standard statistical methods, particularly logistic regression, which ignores network autocorrelation and endogenous interdependence of observations, leading to biased estimates in the analysis of international processes. The paper aims to demonstrate the analytical potential and limits of applicability of Temporal Exponential Random Graph Models (TERGM) for studying the evolution of regional security subsystems.

Using the example of modeling the dynamics of military alliance networks in the post-Soviet space, a methodology for constructing and specifying TERGM models is presented. The procedure for incorporating both endogenous structural configurations (inertia, triadic

closure) and exogenous covariates (trade flows, sanctions status, influence of external powers) into the analysis is described. The analysis was conducted in the R programming environment using the «btergm» package.

The practical challenges of interpreting stochastic modeling results in small-sample conditions are demonstrated. In particular, it is shown that the inclusion of deterministic covariates can lead to statistical distortions requiring specific interpretation. The limitations of the method in assessing the influence of node attributes, specifically sanctions status, are identified in cases where these attributes are present in only a small number of network participants. It is concluded that TERGM is an effective tool for measuring structural effects; however, when analyzing small regional network structures, its application requires rigorous preliminary data diagnostics and combination with alternative verification methods.

Keywords: TERGM, network analysis, military alliances, post-Soviet space, quantitative methods

For citation: Vakarchuk D.O. The Limits of TERGM for Analyzing Regional Alliance Networks: A Case Study of Post-Soviet Alliances. *Russia & World: Scientific Dialogue*. 2026; 1(19): 64-80, [https://doi.org/10.53658/RW2026-4-1\(19\)-64-80](https://doi.org/10.53658/RW2026-4-1(19)-64-80)

Введение

Изучение формирования, эволюции и распада международных альянсов является важнейшей проблемой теории международных отношений: от реалистических концепций баланса сил до либеральных теорий институционального сотрудничества и конструктивистских подходов, основанных на общности идентичностей. Следовательно, вне зависимости от направления теоретической мысли исследователи стремятся выявить фундаментальные факторы, определяющие формирование стратегических партнерств государств. Однако значительная часть количественных исследований в этой области исторически опиралась на методологию, которая, несмотря на свою ценность, обладает существенным ограничением – предположением о диадической независимости. В рамках этого подхода решение государства «А» заключить союз с государством «Б» рассматривается как событие, статистически изолированное от отношений этих государств с третьими акторами, что порождает феномен, который можно охарактеризовать как «структурную слепоту» – неспособность модели учесть системные эффекты и сложные взаимозависимости [9; 5].

В ответ на эти ограничения в рамках «реляционного поворота» в социальных науках была предложена альтернативная парадигма – сетевой анализ. Этот подход представляет собой переход от анализа внутренних атрибутов акторов к анализу структурного контекста их взаимоотношений, что позволяет операционализировать механизмы социальной власти и влияния, недоступные для стандартных методов [6]. Сетевой анализ исходит из того, что поведение актора определяется не только его собственными характеристиками, но и его встроенностью в сложную паутину межакторных связей. Таким образом, сетевой анализ позволяет перейти от изучения

изолированных акторов к моделированию сложных систем, в которых решение одного государства влияет на поведение других, создавая устойчивые паттерны взаимодействия, недоступные для стандартных статистических методов.

В то время как статический сетевой анализ предоставляет карту структуры сети, сама природа мировой политики требует динамического подхода. Альянсы не статичны: они формируются, расширяются и распадаются. Временные экспоненциальные модели случайных графов (TERGM), находящиеся в центре внимания данной статьи, позволяют моделировать эволюцию сети как стохастический процесс, обусловленный как эндогенными конфигурациями, например, тенденцией к сохранению связей во времени и стремлением к формированию замкнутых групп, так и экзогенными ковариатами (например, межгосударственными конфликтами или торговыми потоками).

Материалы и методы

В последние годы наблюдается значительный рост числа исследований, применяющих модели TERGM для анализа сетей соглашений о международной торговле [14] и различных форм межгосударственной кооперации [13]. Однако их использование для анализа военных альянсов – одной из центральных тем теории международных отношений – по-прежнему остается ограниченным и часто сводится к иллюстративным примерам в методологических работах [11]. Более того, несмотря на растущий интерес к феномену межсетевому влиянию, в современной литературе практически отсутствуют комплексные модели, которые рассматривали бы динамику альянсов, торговых потоков и конфликтов не изолированно, а как единую, сопряженную систему. Таким образом, данная статья не только знакомит с передовым инструментарием, но и демонстрирует его применение в исследовательской области, обладающей значительным потенциалом для получения значимых эмпирически обоснованных результатов.

Следует особо подчеркнуть, что данная статья носит преимущественно методический характер, продолжая традицию адаптации методологии сетевого анализа к задачам международно-политической науки, заложенную в отечественной литературе работой Д.А.Дегтерева [4]. Хотя для иллюстрации используется кейс постсоветских альянсов, цель заключается в демонстрации аналитического процесса и интерпретационного потенциала моделей TERGM в контролируемой экспериментальной среде. Эмпирическая часть исследования построена на дизайне симуляционного эксперимента. Использование синтетического набора данных, структурно соответствующего реальным процессам на постсоветском пространстве, позволяет контролировать входные параметры и верифицировать чувствительность метода TERGM к структурным разрывам в условиях малых выборок ($N = 15$).

Необходимо отметить, что традиционные количественные исследования в международных отношениях достигли значительных успехов в выявлении

корреляций между атрибутами государств и их внешнеполитическим поведением. Опираясь на теоретические положения реализма и либерализма, ученые продемонстрировали, как такие характеристики, как военный и экономический потенциал (индекс CINC, показатель ВВП), тип политического режима (индекс Polity, V-Dem) или географическое положение, влияют на вероятность вступления страны в конфликт или заключения ею союза. Однако в основе многих из этих методов лежит допущение о статистической независимости наблюдений, которое вступает в фундаментальное противоречие с самой природой системы международных отношений, по определению представляющей совокупность постоянно взаимодействующих, взаимосвязанных и взаимозависимых акторов. Следовательно, это допущение является проблематичным при изучении международных альянсов.

Логистическая регрессионная модель, где зависимая переменная – это наличие альянса, а независимые – показатели торговли и другие контрольные переменные, не поможет установить, повышает ли экономическая взаимозависимость вероятность заключения военного альянса между двумя странами, так как исследователь неизбежно столкнется с фундаментальной проблемой – сетевой автокорреляцией. Стандартные регрессионные модели требуют, чтобы каждое наблюдение было независимым от других. Однако в практике международных отношений это условие практически никогда не выполняется. Рассмотрим два гипотетических наблюдения из такого набора данных: диаду (Россия – Беларусь) и диаду (Россия – Казахстан). В обоих случаях может быть зафиксировано наличие альянса. С точки зрения стандартной регрессионной модели это два независимых события. Но в реальности они глубоко взаимосвязаны, поскольку в них участвует один и тот же актор – Россия. Если у России есть определенная внешнеполитическая стратегия, направленная на построение союзов, то эта стратегия будет влиять одновременно на ее отношения со всеми партнерами.

Игнорирование этой структурной зависимости, как все чаще признается в научной литературе, порождает два существенных ограничения [9; 5]. Во-первых, модель, по сути, дважды учитывает один и тот же эффект, что искусственно занижает стандартные ошибки и ведет к ложным выводам о значимости предикторов, что приводит к статистическим искажениям. Во-вторых, модель в принципе не способна уловить и измерить сами механизмы сетевого влияния. В частности, она не может ответить на ключевой вопрос: повышает ли тот факт, что и Беларусь, и Казахстан являются союзниками России, вероятность формирования союза между Беларусью и Казахстаном? Этот эффект, известный в сетевом анализе как «триадное замыкание» (triadic closure), или «замыкание треугольника», является центральным для понимания сплоченности альянсов, но в рамках регрессионного анализа на диадическом уровне он попросту невидим.

Сетевой анализ предлагает фундаментальный сдвиг в перспективе: от изучения атрибутов акторов к изучению их взаимосвязей. Основными единицами анализа становятся узлы (nodes), которыми в нашем случае выступают государства, и ребра (edges), представляющие собой связи между ними. Такая операционализация

позволяет перейти от анализа отдельных диад к анализу триад, групп из трех взаимосвязанных акторов, и более сложных структурных конфигураций.

Триада является базовой единицей, где проявляются сетевые эффекты. В теории международных отношений феномен «триадного замыкания» имеет глубокую теоретическую интерпретацию. Он операционализирует идею о том, что отношения между двумя государствами не существуют в вакууме, а встроены в более широкую структуру их общих партнерств, в частности, в контексте анализа торговых сетей и режимов нераспространения [4]. Формирование связи между двумя акторами (B и C) может быть обусловлено их связями с общим третьим актором (A) по нескольким причинам. Во-первых, транзитивность доверия: если B и C доверяют общему партнеру A, это может способствовать возникновению доверия между ними. Во-вторых, снижение транзакционных издержек: общий союзник A может выступать посредником и гарантом в отношениях между B и C. В-третьих, повышение полезности альянса: для государства A альянс становится более надежным, если его партнеры B и C также являются союзниками.

Регрессионные модели, основанные на диадах, не имеют встроенных инструментов для измерения такого структурного эффекта. Сетевой анализ, напротив, ставит его в центр внимания, предлагая для этого специальные параметры. Эмпирические исследования убедительно доказывают, что «триадное замыкание» является фундаментальным механизмом самоорганизации в самых разных сетях международных отношений – от соглашений о свободной торговле [14] до научного сотрудничества [13] и кооперации в сфере безопасности [12].

Экспоненциальные модели случайных графов, ERGM и их временное расширение TERGM, были разработаны специально для одновременного решения обеих описанных выше проблем: статистической проблемы сетевой автокорреляции и теоретической проблемы моделирования эндогенных структурных эффектов, таких как «триадное замыкание» [7]. Фундаментальная логика ERGM / TERGM отличается от классической регрессии. Модель отвечает не на вопрос «Какова вероятность существования отдельной связи?», а на более глобальный вопрос: «Почему из всех теоретически возможных конфигураций сети реализовалась именно та, которую мы наблюдаем?» Для этого ERGM и TERGM оценивают относительную вероятность наблюдаемой структуры сети в пространстве всех возможных сетей с тем же числом узлов.

Такими простейшими конфигурациями являются, например, отдельные ребра, отвечающие за общую плотность сети, и треугольники, которые лежат в основе эффекта «триадного замыкания». ERGM и TERGM оценивают, насколько частота этих конфигураций в реальной сети отличается от их частоты в случайно сгенерированных сетях. Если, например, треугольников в сети альянсов статистически значимо больше, чем можно было бы ожидать при случайном распределении связей, модель делает вывод о наличии в сети эндогенного процесса «триадного замыкания» и оценивает его силу в виде коэффициента. Таким образом, ERGM и TERGM позволяют не просто констатировать наличие связей, а проверять гипотезы о механизмах, которые

управляют формированием и эволюцией всей сетевой структуры. Это открывает путь к гораздо более глубокому и теоретически обоснованному пониманию динамики международных отношений.

Следует отметить, что уже статическая экспоненциальная модель случайных графов (ERGM) позволяет решить проблему сетевой автокорреляции и измерить структурные эффекты. Однако использование такой модели оставляет без ответа ключевые вопросы о причинах и механизмах изменений. Альянсы и другие международные структуры находятся в постоянном движении. ERGM может ответить на вопрос «Как устроена сеть альянсов сегодня?», но бессильна перед вопросами «Как она стала такой?» и «Какие факторы влияют на ее трансформацию?» Именно для ответа на эти вопросы о процессах и эволюции был разработан динамический подход, представленный временными экспоненциальными моделями случайных графов (TERGM).

Ключевая идея TERGM заключается в том, что состояние сети в момент времени t зависит от ее состояния в предыдущий момент времени, $t-1$ [7]. Таким образом, TERGM моделирует не саму сеть, а вероятность изменения сети от одного периода к другому. Это позволяет напрямую включить в анализ один из самых фундаментальных концептов социальных наук – инерцию, или зависимость от предшествующего развития. Данный концепт постулирует, что прошлые события и решения создают структуры и институты, которые ограничивают и направляют выбор акторов в настоящем.

В терминах сетевого анализа это реализуется через специальные «параметры памяти» («memory terms»), которые оценивают, насколько вероятно, что связь, существовавшая в прошлом, сохранится в настоящем. TERGM позволяет количественно измерить силу этой инерции наряду с другими факторами, влияющими на изменения.

Процесс построения модели TERGM заключается в выборе из набора доступных сетевых параметров, которые служат для операционализации теоретических гипотез исследователя. Для обеспечения облегчения практического применения метода далее приводятся оригинальные названия параметров, принятые в синтаксисе пакетов «ergm» и «btergm» на языке программирования R. Эти параметры можно разделить на две большие группы: эндогенные, описывающие внутреннюю логику сети, и экзогенные, учитывающие влияние внешних факторов.

Эндогенные параметры, обусловленные внутренней логикой сети:

- «edges»: данный параметр является аналогом константы («intercept») в регрессионных моделях, он отражает общую плотность сети; в контексте альянсов значимый отрицательный коэффициент обычно интерпретируется как указание на то, что их формирование является «затратным» и редким событием;

- «memory»: данный параметр измеряет стабильность связей во времени, положительный коэффициент указывает на сильную инерцию; этот эффект является одним из наиболее робастных выводов в эмпирических исследованиях [13; 14] и позволяет отделить процессы формирования новых связей от сохранения старых;

- «gwesp»: данный параметр измеряет эффект «триадного замыкания», этот параметр представляет собой более сложную и статистически стабильную альтернативу простому подсчету треугольников в структуре сети; положительный коэффициент подтверждает такую гипотезу, как «союзник моего союзника – мой союзник» [12].

Экзогенные параметры, обусловленные влиянием внешней среды:

- «edgescov» (диадическая ковариата) – параметр для включения характеристик, присущих паре взаимосвязанных акторов, классическим примером является матрица торговых потоков; коэффициент интерпретируется как влияние силы этой внешней связи на вероятность формирования связи в моделируемой сети, в частности, повышает ли рост объема двусторонней торговли вероятность заключения военного альянса между партнерами;

- «nodescov» (основной эффект атрибута) – параметр для нодальных ковариат, атрибутов отдельных акторов (например, ВВП, военный потенциал); он измеряет, как значение атрибута влияет на склонность актора к формированию связей;

- «nodematch» (гомофилия) – параметр для проверки гипотезы о тяготении подобного к подобному; он оценивает, повышается ли вероятность связи, если оба актора обладают одинаковым значением атрибута, в частности, оба актора имеют одинаковый политический режим или оба находятся под санкциями.

Важно внести ясность в вопрос использования взвешенных данных. Стандартная реализация TERGM, в частности, в пакете «btergm» на языке программирования R, предназначена для моделирования бинарных зависимых переменных, например, демонстрирующих наличие или отсутствие связи или альянса. Попытка использовать взвешенную сеть посредством присвоения каждому ребру значений объемов двусторонней торговли акторов в качестве моделируемой зависимой переменной с параметрами вроде «gwesp» приведет к ошибкам модели, так как эти структурные статистики разработаны для бинарной логики.

При этом независимые переменные (ковариаты) могут и должны быть взвешенными. Метод TERGM позволяет гибко интегрировать взвешенные матрицы, в частности, матрицы расстояний, торговых потоков, интенсивности голосования в ООН через параметр «edgescov». В этом случае модель оценивает, как сила связи в ковариате, в частности, миллионы долларов товарооборота, влияет на вероятность формирования бинарной связи, выраженной через заключение альянса, в зависимой сети. Именно эта возможность позволяет в дальнейшем проверить гипотезы о влиянии интенсивности сотрудничества на формальную структуру союзов.

Следует, однако, учитывать, что разработка полноценных моделей для взвешенных зависимых сетей все еще является активной областью методологических исследований. На текущий момент попытка механического переноса сложных структурных параметров из бинарных моделей во взвешенные может привести к нестабильным результатам, что является важным ограничением при разработке дизайна исследования.

Хотя TERGM является центральным объектом данной статьи, методологически важно определить его место относительно главного альтернативного подхода – стохастических актор-ориентированных моделей (SAOM). Фундаментальное различие между ними кроется не только в направлении моделирования («сверху вниз» против «снизу вверх»), но и в трактовке времени и процесса изменений. SAOM моделирует процесс эволюции сети в непрерывном времени, который происходит между временными срезами. Согласно этому подходу, акторы действуют последовательно, внося небольшие изменения в свои связи с целью максимизации собственной функции полезности. Такой подход идеален для анализа эволюции сетей дипломатического представительства, или формирования сетей межправительственных организаций, или динамики сетей торговли вооружениями, где решение принимается актором на основе оценки стратегической выгоды и надежности партнера.

TERGM, в свою очередь, оперирует дискретными временными срезами. Модель оценивает вероятность состояния всей сети целиком в конкретный год, учитывая структуру предыдущего года. Это делает TERGM предпочтительным инструментом для изучения институциональных международных отношений, таких как формальные альянсы или международные режимы. Подобные события являются редкими и часто зависят от глобальных структурных ограничений, а не только от сиюминутных решений отдельных государств. Таким образом, выбор в пользу TERGM в данном исследовании обусловлен самой природой изучаемого феномена – долгосрочной институциональной архитектурой безопасности.

Построение объяснительных моделей

В рамках симуляционного эксперимента исследовательский вопрос можно сформулировать следующим образом: каково соотношение влияния эндогенных структурных эффектов (инерция, кластеризация) и экзогенных факторов (экономическая взаимозависимость, внешнее давление) на динамику сети военных альянсов?

Для ответа на этот вопрос будут протестированы четыре гипотезы, вытекающие из теории международных отношений и методологии сетевого анализа:

- Н1: существующие военные альянсы обладают высокой степенью инерции;
- Н2: сеть альянсов стремится к формированию сплоченных кластеров;
- Н3: вероятность сохранения альянса зависит от глубины практического военного взаимодействия в прошлом;
- Н4: наличие торговых связей является необходимым условием для существования военного союза;
- Н5: а) санкционное давление способствует сплочению альянсов (гомофилия);
б) рост влияния Китая ведет к эрозии традиционных альянсов.

Для верификации этих гипотез проделан симуляционный эксперимент, имитирующий ключевые факты из политической динамики постсоветского

пространства за последние 25 лет. Этот подход обеспечивает максимальную дидактическую ясность и воспроизводимость эксперимента для решения следующей задачи: установить, способен ли метод TERGM корректно уловить и реконструировать структурные сдвиги в условиях жестких ограничений малой выборки, или же математическая сложность метода приведет к ложным выводам. Таким образом, набор данных охватывает 15 акторов (Россия, Беларусь, Казахстан, Армения, Таджикистан, Кыргызстан, Украина, Грузия, Молдова, Азербайджан, Узбекистан, Туркменистан, Эстония, Латвия, Литва) и 3 временных среза (2008, 2014, 2020 гг.), отражая сложную структуру отношений в регионе. Он включает в себя динамические сети (военные и торговые), а также диадические и нодальные ковариаты.

Необходимо сделать важную методологическую оговорку относительно размера выборки. Для реального эмпирического исследования такая выборка ($N = 15$) считается недостаточной для надежного применения TERGM. Во-первых, статистическая мощность моделей экспоненциального класса зависит от асимптотических свойств, которые проявляются на более крупных сетях ($N > 30$). Во-вторых, малое количество временных переходов ($t = 3$) делает модель крайне чувствительной к выбросам. В реальной исследовательской практике для анализа столь малых выборок целесообразнее использовать качественные методы или описательный сетевой анализ [2; 3; 1]. Здесь же малая выборка используется исключительно для демонстрации наглядности исследовательского процесса.

Ниже представлено описание и теоретическое обоснование включенных в набор данных переменных.

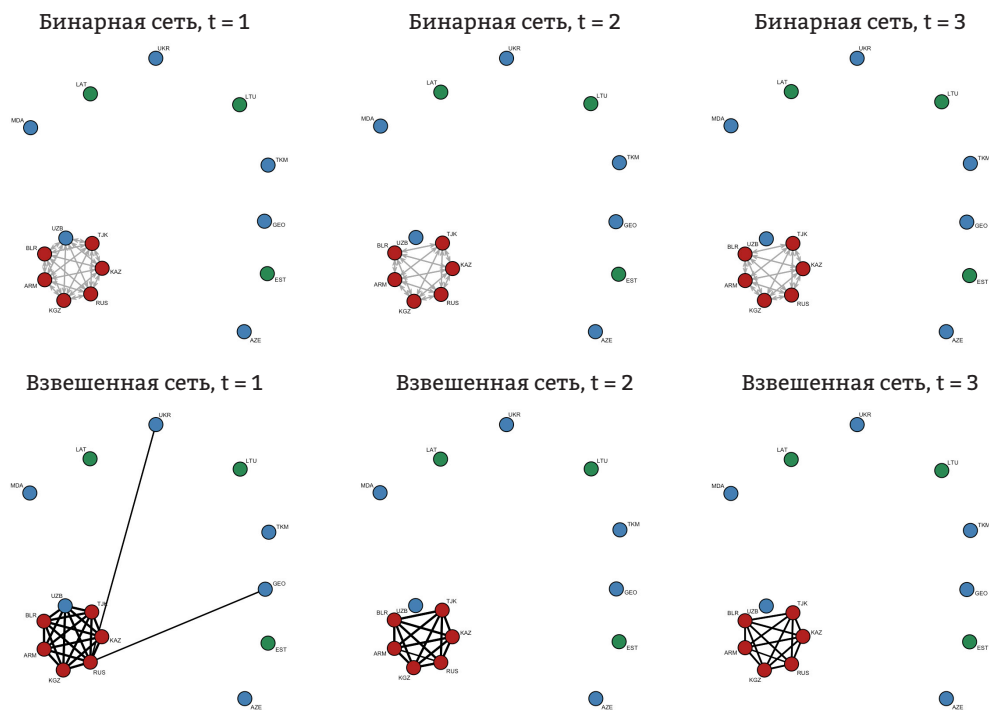
Зависимая переменная – бинарная сеть военных альянсов («military_nets») – кодирует наличие или отсутствие формального военного союза между государствами. В нашей симуляции эта сеть является динамической: она отражает формальный выход Узбекистана из ОДКБ между t_1 и t_2 . Это позволяет использовать бинарную модель для анализа не только стабильности, но и формального распада связей.

Независимые переменные (ковариаты), выбор которых основан на положениях ключевых теорий международных отношений:

- взвешенная сеть военного сотрудничества («military_nets_w»): измеряет интенсивность сотрудничества (от 0 до 3), используется для проверки гипотезы о влиянии качества прошлых отношений на их стабильность;
- тесные торговые связи («trade_nets»): эта сетевая ковариата используется для проверки гипотезы об эффекте перелива, когда изменения экономического характера в одной области влияют на другие области;
- влияние Китая («china_influence»): непрерывная нодальная ковариата, отражающая рост присутствия КНР в регионе, используется для проверки гипотезы о геополитической конкуренции;
- западные санкции («sanctions»): эта нодальная ковариата позволяет проверить гипотезу о формировании контрбегемотнистских коалиций.

Рисунок 1. Эволюция бинарной и взвешенной сетей военного альянса на постсоветском пространстве в рамках симуляционного эксперимента (2008, 2014, 2020 гг.)

Figure 1. Evolution of Binary and Weighted Networks in a Military Alliance on the Post-Soviet Space in Simulation Experiments (2008, 2014, and 2020)



Примечание: верхний ряд графика иллюстрирует динамику зависимой переменной «military_nets» и демонстрирует формальный выход Узбекистана (UZB) из альянса между t = 1 и t = 2. Нижний ряд иллюстрирует специфику переменной «military_nets_w», где толщина ребра пропорциональна интенсивности сотрудничества. На изображениях нижнего ряда видна более сложная динамика: обрыв слабых связей России (RUS) с Украиной (UKR) и Грузией (GEO) в t = 2; первая фаза эрозии альянса (ослабление связи RUS-ARM в t = 2); моделируемая деградация интенсивности сотрудничества внутри блока в t = 3. Красным цветом обозначены страны ядра ОДКБ, синим – страны периферии, зеленым – страны Балтии

Результаты исследования

В рамках анализа были построены три модели TERGM с последовательным добавлением указанных выше параметров. Результаты экспериментального моделирования представлены в Таблице.

Таблица 1. Результаты оценки параметров моделей TERGM
Table 1. Results of the Evaluation of TERGM Model Parameters

Параметр	Модель 1 (Эндогенная)	Модель 2 (С весом t-1)	Модель 3 (Полная)
edges	-3.58*	-5.03*	-18.41*
	[-3.90; -2.56]	[-11.99; -5.03]	[-28.45; -17.89]
edgescov.memory[[i]]	1.68*	0.70	1.56*
	[1.19; 2.65]	[-7.57; 0.70]	[1.32; 11.50]
gwesp.fixed.0.5	2.14*	1.91	2.02*
	[1.53; 2.33]	[-7.96; 2.11]	[1.41; 2.50]
edgescov.lagged_military_nets_w[[i]]		3.06*	
		[2.86; 57.75]	
nodematch.sanctions			-1.16
			[-2.54; 18.52]
nodecov.china_influence			0.05
			[-0.09; 0.05]
edgescov.lagged_trade_nets[[i]]			14.99*
			[14.55; 18.28]
Num. obs.	420	420	420

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

Во-первых, Модель 1 задала структурный фундамент анализа, обеспечив первичную верификацию Гипотез 1 и 2. Отрицательный коэффициент для параметра плотности («edges» = -3.58) подтвердил, что формирование военных альянсов является «затратным» событием, а высокие показатели инерции и триадного замыкания указали на значимость внутренней логики самоорганизации сети.

Во-вторых, в Модели 3 эндогенные параметры демонстрируют высокую устойчивость. Параметр инерции («memory») сохраняет статистическую значимость (1.56), что подтверждает гипотезу (H1) о высокой вязкости военно-политических связей на постсоветском пространстве: разрыв институциональных отношений происходит значительно медленнее, чем изменение внешней конъюнктуры. Параметр «триадного замыкания» («gwesp» = 2.02) также значим, что свидетельствует о стремлении региональной системы безопасности к кластеризации и формированию плотных, замкнутых групп, а не цепочек альянсов (H2).

В-третьих, подтверждается важность фактора интенсивности (H3). В Модели 2 лагированная переменная глубины сотрудничества показала значимый положительный эффект (3.06), что в рамках нашего эксперимента указывает на то,

что вероятность сохранения союза напрямую зависит от плотности практических контактов в прошлом.

В-четвертых, введение ковариаты торговых потоков привело к следующему эффекту: коэффициент достиг аномально высокого значения (14.99) с широким доверительным интервалом. Это указывает на то, что в нашей выборке переменная торговли выступает идеальным предиктором для отсутствия альянсов. Такой результат является не столько доказательством силы торгового фактора (H4), сколько предупреждением об опасности переобучения моделей TERGM на малых сетях (N = 15). В реальных исследованиях при обнаружении подобных коэффициентов исследователю рекомендуется исключать такую переменную как тривиальную.

В-пятых, статистическая незначимость фактора китайского влияния (H5b) может быть следствием структурной коллинеарности. В малых сетях (N = 15) атрибутивные характеристики узлов часто коррелируют со значением их центральности в рамках сетевой структуры. Так, страны, в которых присутствует существенное влияние Китая – это те же страны, что находятся в ядре сети ОДКБ. Модель не может корректно разделить эти эффекты без увеличения размера выборки. С учетом этой особенности установлено, что влияние Китая, переменная, динамика которой была задана в симуляции как независимая от структуры альянсов, не имеет статистической связи с зависимой переменной, несмотря на визуальное совпадение трендов во времени.

В-шестых, гипотеза о «санкционной солидарности» (H5a) не подтверждается. Коэффициент гомофилии по санкционному статусу («nodematch») оказался незначимым и продемонстрировал широкий доверительный интервал (-2.54; 18.52). Это подтверждает методологическое ограничение TERGM: для выявления эффектов гомофилии необходима достаточная вариативность атрибута узла в сети. В условиях, когда признаком обладают лишь 2 актора из 15 (в нашей модели – Россия и Беларусь), метод не применим для надежных выводов.

Выводы

Проведение симуляционного эксперимента позволило определить границы применимости и аналитический потенциал временных экспоненциальных моделей случайных графов (TERGM) для изучения малых региональных сетевых структур.

С одной стороны, моделирование подтвердило ключевое достоинство TERGM – способность количественно измерять эндогенные структурные эффекты. Модель успешно идентифицировала значимость «триадного замыкания», продемонстрировав в рамках нашей ситуации, что архитектура альянсов может определяться не только двусторонними интересами, но и системным стремлением к кластеризации. Этот эффект, невидимый для стандартных диадических регрессий, является критически важным для понимания устойчивости региональных блоков. Кроме того, включение в модель лагированных взвешенных сетей позволило выявить

неочевидные нюансы инерции. Эксперимент показал, что вероятность сохранения союза детерминирована не столько формальным наличием договора в прошлом, сколько интенсивностью практического сотрудничества. Это делает TERGM гибким инструментом для диагностики реального, а не только формально-договорного состояния международных отношений.

С другой стороны, метод продемонстрировал высокую чувствительность к эффекту полного разделения данных. Экстремально высокий коэффициент для торговой ковариаты демонстрирует, что в ситуациях, где один фактор выступает необходимым условием для другого (отсутствие торговли гарантирует отсутствие союза), вероятностная логика модели нарушается, что требует от исследователя предварительной фильтрации таких переменных. Более того, экспериментальная проверка гипотез о влиянии нодальных атрибутов (санкций, влияния Китая) выявила ограничения метода при работе с малыми сетевыми структурами (N = 15). Для получения надежных оценок эффектов гомофилии необходимо, чтобы в структуре сети присутствовало достаточное число акторов с исследуемым признаком, обеспечивающее необходимую вариацию данных, которой в региональных сетевых структурах может не быть.

Представленный анализ и обзор актуальной литературы позволяют не только констатировать ценность и ограничения TERGM, но и обозначить несколько ключевых и наиболее перспективных направлений для будущих исследований.

Во-первых, перспективным направлением является масштабирование применения TERGM: переход от региональных кейсов к анализу глобальной системы альянсов на уровне системы международных отношений. Существующие базы данных (ATOP, COW) содержат сведения о тысячах двусторонних и многосторонних договоров за последние два столетия. Эта центральная для теории международных отношений область остается малоизученной: большинство современных работ фокусируется на сетях торговли или кооперации, в то время как формальные альянсы фигурируют в основном в качестве иллюстративных примеров в методологических статьях [11]. Рассмотрение глобальной системы альянсов как единой динамической сети позволило бы нивелировать ограничения малых выборок (проблема Small-N) и верифицировать классические теории баланса сил на больших исторических данных, как это уже реализуется в смежных областях [12].

Во-вторых, наиболее перспективным направлением является построение полноценных моделей коэволюции. Большинство существующих работ, включая наш симуляционный эксперимент, моделирует спилловеры асимметрично, используя одну сеть как экзогенную ковариату для другой, как, например, в исследовании сетей соглашений о зоне свободной торговли [14]. Следующим шагом должно стать создание эндогенных многослойных моделей, где изменения в торговой сети эндогенно влияют на альянсы, а альянсы, в свою очередь, влияют на торговлю и вероятность конфликта. Открытой остается гипотеза, согласно которой альянсы и торговля совместно снижают конфликтность между партнерами, но повышают ее с соперниками партнеров.

В-третьих, необходимо исследовать временную и акторную гетерогенность сетевых механизмов. Современные модели чаще всего предполагают, что «правила игры» одинаковы для всех акторов и на всем протяжении времени. Однако уже существуют методологические разработки, позволяющие моделировать параметры как изменяющиеся во времени [8], что открывает возможность для проверки гипотез о том, были ли, например, механизмы балансировки сильнее в эпоху биполярности.

Наконец, необходима дальнейшая методологическая рефлексия, в частности, систематическое сравнение результатов, полученных с помощью разных классов динамических моделей. Теоретические различия между TERGM и SAOM хорошо артикулированы в работах Ф.Ляйфельда и С.Крэнмера [9; 10], однако эмпирических работ, сравнивающих выводы этих моделей на одних и тех же данных из сферы международных отношений, практически нет. Такое сравнение позволило бы лучше понять, насколько наши содержательные выводы являются робастными к исходным теоретическим предпосылкам, заложенным в ту или иную модель.

Подводя итог вышесказанному, необходимо отметить, что TERGM и другие динамические сетевые модели – это не просто статистический инструмент. Это аналитический инструмент, позволяющий пересмотреть подходы к изучению процессов глобализации и оценке структурных изменений системы международных отношений с учетом выявленных ограничений при работе с региональными кейсами. Таким образом, освоение этого инструментария расширяет возможности исследователей для эмпирической верификации теоретических положений.

Список литературы

1. Алиев Т.М., Стоянова Е.В., Чимирис Е.С. Интеграционные стратегии стран постсоветского пространства – опыт анализа с применением методики социального графа [Integration Strategies of the Post-Soviet Countries: Analysis Using the Social Graph Approach] // Вестник международных организаций. 2023. Т. 18. № 1. С. 127–150. <https://doi.org/10.17323/1996-7845-2023-01-05>.
2. Вакарчук Д.О. Особенности цифровой дипломатии США и КНР в Средиземноморском регионе [The Features of the USA and the PRC Digital Diplomacy in the Mediterranean Region] // Вестник СПбГУ. Международные отношения. 2024. Т. 17. № 4. С. 411–430. <https://doi.org/10.21638/spbu06.2024.402>.
3. Вакарчук Д.О., Боровинский А.В. Сплоченность развивающихся стран в Генеральной Ассамблее ООН: количественный анализ сетей соавторства и голосования по резолюциям [Cohesion of Developing Countries in the UN General Assembly: A Quantitative Analysis of Co-Sponsorship Networks and Voting on Resolutions] // Россия и современный мир. 2024. № 1(122). С. 195–205. <https://doi.org/10.31249/rsm/2024.01.11>.
4. Дегтерев Д.А. Сетевой анализ международных отношений [Network Analysis of International Relations] // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 6. 2015. Вып. 4. С. 119–138.
5. Desmarais B.A., Cranmer S.J. Statistical Mechanics of Networks: Estimation and Uncertainty // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2012. Vol. 391(4). P. 1865–1876. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2011.10.018>.
6. Hafner-Burton E.M., Kahler M., Montgomery A.H. Network Analysis for International Relations // International Organization. 2009. Vol. 63(3). P. 559–592.
7. Hanneke S., Xing E.P. Discrete Temporal Models of Social Networks // Electronic Journal of Statistics. 2006. Vol. 4. P. 585–605. URL: <https://projecteuclid.org/journals/electronic-journal-of-statistics/volume-4/issue-none/Discrete-Temporal-Models-of-Social-Networks/10.1214/10-EJS548.full>.
8. Lee K.H., Xue L. Model Based Clustering of Semiparametric Temporal Exponential Family Random Graph Models // Stat. 2022. Vol. 11(1). P. e443. <https://doi.org/10.1002/sta4.443>.

9. Leifeld P., Cranmer S.J. A Theoretical and Empirical Comparison of the Temporal Exponential Random Graph Model and the Stochastic Actor-Oriented Model // Network Science. 2015. Vol. 7(1). P. 20–51. <https://doi.org/10.1017/nws.2018.26>.
10. Leifeld P., Cranmer S.J. The Stochastic Actor-Oriented Model is a Theory as Much as It is a Method and Must be Subject to Theory Tests // Network Science. 2022. Vol. 10(1). P. 19–24. <https://doi.org/10.1017/nws.2022.9>.
11. Leifeld P., Cranmer S.J., Desmarais B.A. Temporal Exponential Random Graph Models with btergm: Estimation and Bootstrap Confidence Intervals // Journal of Statistical Software. 2018. Vol. 83(6). P. 1–36. <https://doi.org/10.18637/jss.v083.i06>.
12. Mehrl M., Thurner P.W. Sharing Rivals, Sending Weapons: Rivalry and Cooperation in the International Arms Trade, 1920–1939. // The Review of International Organizations. 2023. Vol. 18(1). P. 1–28. <https://doi.org/10.1007/s11558-022-09468-w>.
13. Whetsell T.A. Democratic Governance and Global Science: A Longitudinal Analysis of the International Research Collaboration Network. // PLOS ONE. 2022. Vol. 17(5). P. e0267437. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267437>.
14. Wu G., Dan J. Do Self-Organization and Relational Embeddedness Influence Free Trade Agreements Network Formation? Evidence from an Exponential Random Graph Model // The Journal of International Trade & Economic Development. 2020. Vol. 29(7). P. 816–837. <https://doi.org/10.1080/09638199.2020.1755146>.

Информация об авторе

ВАКАРЧУК Денис Олегович. Кандидат исторических наук. Доцент кафедры зарубежного регионоведения и внешней политики факультета международных отношений Российского государственного гуманитарного университета. <https://orcid.org/0000-0001-7582-1864>. Адрес: Российская Федерация, 125047, г. Москва, Миусская площадь, 6. vakarchuk.d@rggu.ru

Раскрытие информации о конфликте интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 2 декабря 2025 г. Одобрена после рецензирования: 10 февраля 2026 г. Принята к публикации: 20 февраля 2026 г. Опубликована: 1 марта 2026 г. Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Информация о рецензировании

«Россия и мир: научный диалог» благодарит анонимных рецензентов за их вклад в рецензирование этой работы.

References

1. Alyev T., Stoyanova E., Chimiris E. Integration Strategies of the Post-Soviet Countries: Analysis Using the Social Graph Approach. Vestnik mezhdunarodnyh organizacij [International Organisations Research Journal]. 2023; 18(1):127–150 [In Russian]. <https://doi.org/10.17323/1996-7845-2023-01-05>.
2. Vakarchuk D.O. The Features of the USA and the PRC Digital Diplomacy in the Mediterranean Region. Vestnik SPbGU. Mezhdunarodnye otnosheniya [Vestnik of Saint Petersburg University. International Relations]. 2024; 17(4):411–430 [In Russian]. <https://doi.org/10.21638/spbu06.2024.402>.
3. Vakarchuk D.O., Borovinskiy A.V. Cohesion of Developing Countries in the UN General Assembly: A Quantitative Analysis of Co-Sponsorship Networks and Voting on Resolutions. Rossiya i sovremennyy mir [Russia and the Contemporary World]. 2024; 1(122):195–205 [In Russian]. <https://doi.org/10.31249/rsm/2024.01.11>.

4. Degtarev D.A. Network Analysis of International Relations. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ser. 6 [Vestnik of Saint Petersburg University. Series 6]. 2015; 4:119–138 [In Russian].*
5. Desmarais B.A., Cranmer S.J. Statistical Mechanics of Networks: Estimation and Uncertainty. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2012; 391(4):1865–1876 [In English]. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2011.10.018>.*
6. Hafner-Burton E.M., Kahler M., Montgomery A.H. Network Analysis for International Relations. *International Organization. 2009; 63(3):559–592 [In English].*
7. Hanneke S., Xing E.P. Discrete Temporal Models of Social Networks. *Electronic Journal of Statistics. 2006; 4:585–605 [In English]. Available from: <https://projecteuclid.org/journals/electronic-journal-of-statistics/volume-4/issue-none/Discrete-Temporal-Models-of-Social-Networks/10.1214/10-EJS548.full>.*
8. Lee K.H., Xue L. Model Based Clustering of Semiparametric Temporal Exponential Family Random Graph Models. *Stat. 2022; 11(1):e443 [In English]. <https://doi.org/10.1002/sta4.443>.*
9. Leifeld P., Cranmer S.J. A Theoretical and Empirical Comparison of the Temporal Exponential Random Graph Model and the Stochastic Actor-Oriented Model. *Network Science. 2015; 7(1):20–51 [In English]. <https://doi.org/10.1017/nws.2018.26>.*
10. Leifeld P., Cranmer S.J. The Stochastic Actor-Oriented Model is a Theory as Much as It is a Method and Must be Subject to Theory Tests. *Network Science. 2022; 10(1):19–24 [In English]. <https://doi.org/10.1017/nws.2022.9>.*
11. Leifeld, P., Cranmer S.J., Desmarais B.A. Temporal Exponential Random Graph Models with btergm: Estimation and Bootstrap Confidence Intervals. *Journal of Statistical Software. 2018; 83(6):1–36 [In English]. <https://doi.org/10.18637/jss.v083.i06>.*
12. Mehrl M., Thurner P.W. Sharing Rivals, Sending Weapons: Rivalry and Cooperation in the International Arms Trade, 1920–1939. *The Review of International Organizations. 2023; 18(1):1–28 [In English]. <https://doi.org/10.1007/s11558-022-09468-w>.*
13. Whetsell T.A. Democratic Governance and Global Science: A Longitudinal Analysis of the International Research Collaboration Network. *PLOS ONE. 2022; 17(5):e0267437 [In English]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267437>.*
14. Wu G., Dan J. Do Self-Organization and Relational Embeddedness Influence Free Trade Agreements Network Formation? Evidence from an Exponential Random Graph Model. *The Journal of International Trade & Economic Development. 2020; 29(7):816–837 [In English]. <https://doi.org/10.1080/09638199.2020.1755146>.*

About the author

Denis O. VAKARCHUK. CandSc. (Hist.). Associate Professor of the Department of Foreign Regional Studies and Foreign Policy at the Faculty of International Relations of the Russian State University for the Humanities (RSUH). <https://orcid.org/0000-0001-7582-1864>. Address: 6, Miusskaya Square, Moscow, 125047, Russian Federation. vakarchuk.d@rggu.ru

Contribution of the author

The author declares no conflicts of interests.

Article info

Received: December 2, 2025. Approved after review: February 10, 2026. Accepted for publication: February 20, 2026. Published: March 1, 2026.

The author has read and approved the final manuscript.

Peer review info

«Russia & World: Scientific Dialogue» thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work.