

Модели информационных процессов в мегаполисе

Шамин Роман Вячеславович — доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой информационных технологий и математики, Университет Правительства Москвы (107045, Россия, г. Москва, ул. Сретенка, д. 28), eLIBRARY SPIN-код: 8966-0169, e-mail: ShaminRV@edu.mos.ru

Глущенко Василий Максимович — доктор экономических наук, доктор военных наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, научный руководитель Университета Правительства Москвы (107045, Россия, г. Москва, ул. Сретенка, д. 28), eLIBRARY AuthorID: 552071, e-mail: GlushchenkoVM@mos.ru

Мегаполис — сложная самоорганизующаяся система акторов, чья деятельность формирует многочисленные физические, экономические и информационные связи. Статья посвящена созданию теоретического базиса для описания, анализа и предсказания информационных событий — дискретных изменений — в городской среде (от происшествий до управленческих решений). Предлагается формализованный подход к представлению информационных событий. Совокупность событий рассматривается как стохастический процесс, а их распространение — как движение сигналов по сети взаимодействующих акторов. Математическая модель включает динамические уравнения, связывающие состояния акторов с событиями и функциями реакции. Обсуждаются методы описания топологии информационного поля и применения машинного обучения. Концепция может служить основой для моделирования цифровых двойников города и построения систем поддержки принятия решений.



Ключевые слова: информационные события, урбанистика, графовые модели, цифровые модели.

Для цитирования: Шамин Р. В., Глущенко В. М. Модели информационных процессов в мегаполисе // Вестник Университета Правительства Москвы. 2025. № 4. С. 47–52.

Article

Modeling Information Processes in a Metropolis

Roman V. Shamin — Advanced Doctor of Physics and Mathematics, Head of the Department of Information Technologies and Mathematics, Moscow Metropolitan Governance Yuri Luzhkov University (28 Sretenska ulitsa, Moscow, 107045, Russia), eLIBRARY SPIN-code: 8966-0169, e-mail: ShaminRV@edu.mos.ru

Vasilij M. Glushchenko — Advanced Doctor of Economics, Advanced Doctor of Military Sciences, Professor, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Academic Supervisor, Moscow Metropolitan Governance Yuri Luzhkov University (28 Sretenska ulitsa, Moscow, 107045, Russia), eLIBRARY AuthorID: 552071, e-mail: GlushchenkoVM@mos.ru

A metropolis is a complex self-organizing system of actors whose activities form numerous physical, economic, and information linkages. This article is devoted to creating a theoretical basis for describing, analyzing, and predicting information events — discrete changes — in the urban environment (from incidents to management decisions). A formalized approach to representing information events is proposed. The totality of events is considered a stochastic process, and their dissemination is viewed as the movement of signals through a network of interacting actors. The mathematical model includes dynamic equations linking the states of actors with events and response functions. Methods for describing the topology of the information field and applying machine learning are discussed. The concept can serve as a basis for modeling urban digital twins and building decision support systems.

Keywords: information events, urban science, network models, digital models.

For citation: Shamin R. V., Glushchenko V. M. Modeling Information Processes in a Metropolis. *MMGU Herald*, 2025, no. 4, pp. 47–52. (In Russ.).

Введение

Современные мегаполисы — это не просто населенные пункты, а динамические многокомпонентные системы, в которых физическая инфраструктура, экономическая активность и информационные взаимодействия образуют сложную сеть взаимных влияний. С развитием технологий сбора данных и аналитических платформ возрастает интерес к информационным моделям мегаполиса, позволяющим формализовать и количественно описывать процессы, происходящие в городской среде. Эти модели становятся основой для цифровых двойников, систем управления транспортом, мониторинга экологии, прогнозирования спроса и множества других приложений.

Одной из фундаментальных проблем построения таких моделей является формализация информационных событий — элементарных актов изменения состояния городской системы, как то: транспортных происшествий, изменений погодных условий, административных решений и т. п. В научной и инженерной практике чаще всего используются специализированные модели — транспортные, социальные, экономические, экологические, каждая из которых описывает события в своей системе координат. Однако такая фрагментарность препятствует целостному пониманию городской динамики. Возникает необходимость в едином уровне абстракции, который позволит описывать события в мегаполисе в терминах времени, пространства, источников и воздействий, обеспечивая возможность интеграции данных из различных источников [2].

В предлагаемом подходе мегаполис рассматривается как информационно-деятельностная система, состоящая из акторов — физических и юридических лиц, организаций и технических систем, способных воспринимать и генерировать информацию. Информационные события выступают связующим звеном между акторами, формируя сеть взаимодействий, через которую распространяются сигналы. Эта сеть описывается ориентированным графом, где вершины соответствуют акторам, а ребра — информационным связям. Плотность, структура и устойчивость такой сети определяют способность мегаполиса реагировать на внешние и внутренние изменения.

Дальнейшее развитие концепции требует построения математической модели, связывающей состояние актора с воспринимаемыми событиями и их влиянием. Используя функции реакции, можно описывать процессы адаптации и принятия решений в стохастической среде [4]. Эти уравнения образуют динамическую систему, исследуемую

методами теории графов, сетевого анализа и машинного обучения.

Постановка задачи

Мегаполис представляет собой чрезвычайно сложную многофункциональную систему, включающую огромное количество взаимосвязанных объектов, процессов и акторов, чья деятельность формирует динамическое, самоорганизующееся и во многом стохастическое целое. В отличие от локальных систем, где можно выделить ограниченное число взаимодействующих элементов, мегаполис — это многослойная сеть, объединяющая физическую инфраструктуру, экономические связи, социальные отношения, информационные потоки и управленческие решения. Каждый из этих уровней имеет собственные закономерности, но их взаимодействие определяет общее поведение городской системы.

Попытки построения моделей мегаполиса, включая проекты по созданию цифровых двойников города, сталкиваются с необходимостью описания не только физических объектов (зданий, дорог, рек, транспортных маршрутов), но и информационных событий, которые отражают жизнь города. Информационные события фиксируют то, что в данный момент изменилось в городской среде: произошла авария, открылась новая организация, изменился маршрут транспорта, принят нормативный акт, вырос спрос на определенный товар. Эти события — элементарные единицы городской динамики, а их совокупность формирует информационное поле мегаполиса.

Анализ рассмотренных примеров подтверждает необходимость формализации информационных событий.

Проблема формального представления информационных событий в мегаполисе является одной из ключевых при построении интегрированных моделей городской среды. Любая предметная модель — транспортная, экономическая, экологическая — использует собственный язык описания событий, который оказывается адекватным лишь в рамках конкретного уровня абстракции.

Так, если рассматривать дорожные события в контексте геоинформационных систем (ГИС), то событие дорожно-транспортного происшествия (ДТП) или дорожного ремонта можно задать координатами, временем и типом события. Однако этот формат описания не универсален. В частности, он неприменим к финансовым операциям, культурным мероприятиям или управленческим решениям, которые также являются событиями в мегаполисе. В каждом случае выбирается свой

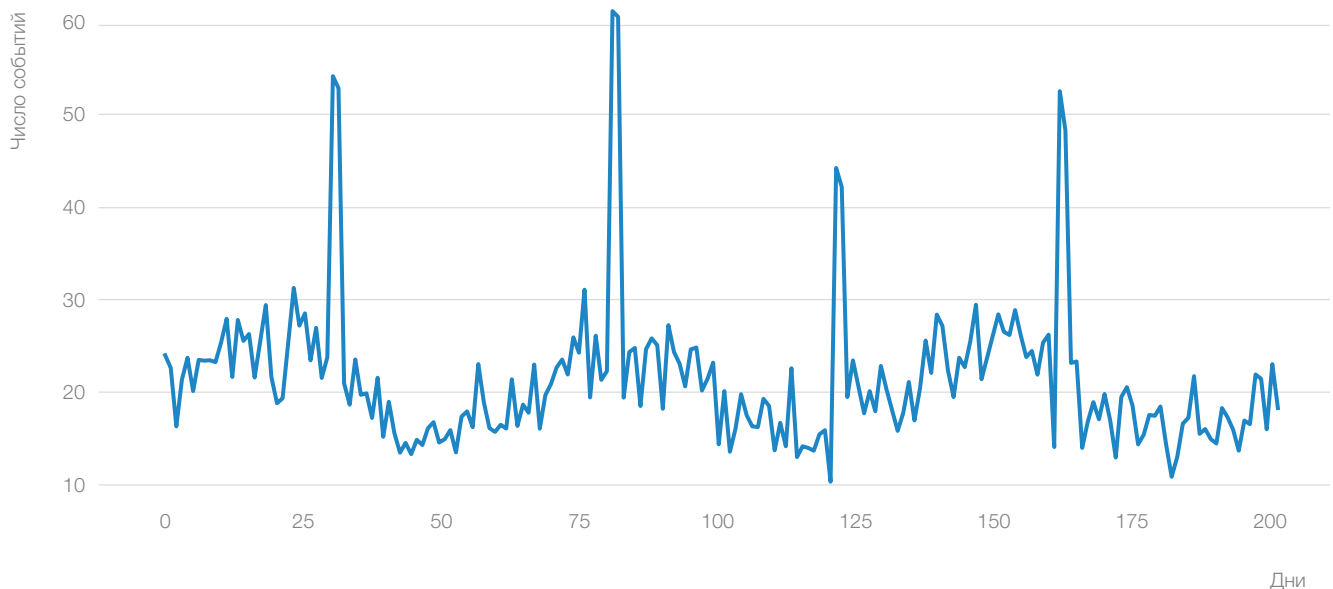


Рис. 1. Временное распределение информационных событий

набор признаков, и возникает проблема унификации — построения единой модели представления событий, независимой от конкретной предметной области, но пригодной для анализа, прогнозирования и управления.

Информационные события как элементы модели

В настоящей работе предлагается рассматривать мегаполис как систему, порождаемую взаимодействием акторов, совершающих действия и реагирующих на происходящие события.

Под информационным событием будем понимать физическое событие или управленческое решение, которое произошло в фиксированный момент времени и может быть обнаружено другими акторами мегаполиса для принятия решений. Таким образом, информационное событие — это не просто факт, но факт, обладающий значимостью для других участников системы.

Каждое событие характеризуется следующими параметрами:

- временем возникновения t ;
- пространственными координатами (x, y, z) или локализацией в логической сети связей;
- источником (актором, породившим событие);
- набором атрибутов, описывающих контекст (тип события, величины, влияния);
- направлением и интенсивностью информационного воздействия на других акторов.

Формально множество событий во времени можно рассматривать как стохастический процесс

$$\{E(t)\}_{t \geq 0},$$

значения которого принадлежат пространству возможных событий Ω_E .

Введем отображение

$$I: \Omega_E \rightarrow A,$$

где A — множество акторов. С помощью этого отображения можно описывать причинно-следственные связи: какие акторы порождают события и какие на них реагируют.

На рисунке 1 показано примерное временное распределение числа событий. На рисунке 2 (с. 50) приведена модельная тепловая карта, отражающая пространственную интенсивность информационных событий.

Акторы мегаполиса и их взаимодействие

Под актором мегаполиса будем понимать физическое или юридическое лицо, организацию или техническую систему, способную принимать решения, влияющие на состояние городской среды. Акторы образуют множество $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, связанное множеством отношений $R \subset A \times A$, которые можно интерпретировать как потоки информации, ресурсов или управляющих воздействий.

Действия акторов формируют динамику мегаполиса. В этом смысле город можно рассматривать как информационно-деятельностную систему, где каждый актор находится в состоянии постоянного восприятия, анализа и реакции на информационные стимулы [3].

Информационные события выступают как триггеры изменений: получив сообщение о дорожной аварии, транспортная служба изменяет маршруты; узнав о снижении спроса, предприятие корректирует выпуск продукции; гражданин, обнаружив изменение тарифов, пересматривает свои расходы. Эти цепочки реакций образуют информационные волны, распространяющиеся по сети акторов.

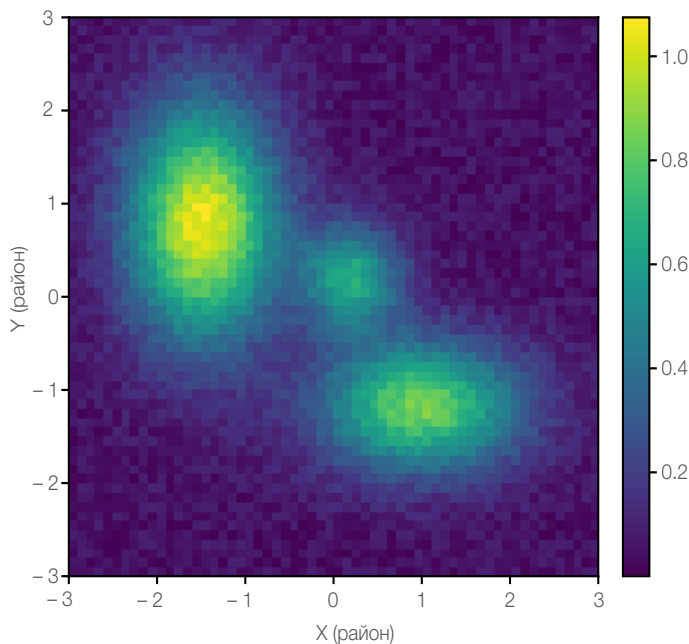


Рис. 2. Модельная тепловая карта распределения информационных событий

Информационные связи и механизмы распространения событий

Информационные связи между акторами представляют собой каналы передачи сигналов, которые можно формализовать в виде ориентированного графа $G = (A, R)$. Каждое ребро $r_{ij} \in R$ характеризуется пропускной способностью, скоростью реакции и вероятностью искажения информации.

Таким образом, на уровне мегаполиса можно говорить о топологии информационного поля — сети, в которой распространяются события.

Особый интерес представляет анализ плотности информационных связей и скорости распространения событий. Для некоторых классов событий (например, чрезвычайных ситуаций) важно моделировать время отклика системы. Для других (например, маркетинговых акций или общественных инициатив) — оценивать охват аудитории и характер диффузии информации.

При этом возникает проблема прогнозирования информационных событий.

Одной из ключевых задач является предсказание информационных событий — не только реакций на уже произошедшие факты, но и вероятности возникновения новых событий в будущем. Для этого требуется построить обобщенную математическую модель, которая описывает:

- механизм возникновения событий как результат действий акторов;
- вероятностное распределение возникающих событий по времени и пространству;
- закономерности корреляции между различными типами событий.

Такие модели могут быть основаны на аппарате процессов с независимыми приращениями, марковских сетей, графов влияния, агентно-ориентированных симуляций или фазовых переходов в сложных системах.

Особое место занимает использование топологического анализа данных, который позволяет исследовать форму и структуру информационного поля, выявлять устойчивые паттерны событий и анализировать их связность.

Информационные события как измеримые объекты

Поскольку информационные события детектируются различными источниками (сенсоры, базы данных, СМИ, социальные сети), они формируют поток наблюдений, который можно представить как выборку из стохастического пространства. На практике это означает необходимость построения механизмов фильтрации, агрегации и нормализации данных.

Для аналитических задач важно различать:

- первичные события (непосредственно наблюдаемые факты: ДТП, открытие торговой точки, публикация новости);
- вторичные события (результаты аналитической обработки: изменение тренда, выявление аномалии, кластеризация активности);
- интегральные события (решения, принимаемые на основе совокупности первичных и вторичных).

Такое многоуровневое описание делает возможным построение иерархических моделей событийности, аналогичных многоуровневым моделям восприятия в когнитивных системах [5].

Рассмотрим математическую постановку задачи. Пусть множество акторов A взаимодействует в рамках сети $G = (A, R)$. Каждому актору A_i сопоставим состояние $s_i(t)$, зависящее от времени и определяющее его внутреннюю информацию. Пусть функция реакции f_i описывает, как актор изменяет свое состояние под воздействием событий:

$$s_i(t+1) = f_i(s_i(t), \{E_j(t)\}, \eta_i(t)),$$

где $\{E_j(t)\}$ — множество событий, воздействующих на A_i , а $\eta_i(t)$ — случайный шум, отражающий неопределенность восприятия.

Совокупность этих уравнений образует динамическую систему, чье поведение можно исследовать методами теории сложности, сетевого анализа и машинного обучения.

Таким образом, задача моделирования мегаполиса сводится к построению функций f_i и вероятностных законов возникновения событий

$P(E_j | s_i)$, которые описывают взаимное влияние акторов и информационных потоков [1]. Эти зависимости могут быть аппроксимированы с помощью нейросетевых архитектур, графовых моделей внимания или более простых вероятностных правил, основанных на исторических данных.

Рассмотрим управленческие и прикладные аспекты нашей модели. Формализация информационных событий позволяет решать широкий круг задач, в числе которых:

- прогнозирование перегрузок в транспортной сети;
- оценка последствий управленческих решений;
- анализ реакции населения на информационные кампании;
- выявление уязвимых узлов городской инфраструктуры;
- построение цифровых двойников, реагирующих на изменения в реальном времени.

Кроме того, информационные модели мегаполиса могут служить основой для систем поддержки принятия решений, где акторы различных уровней (граждане, бизнес, органы власти) получают возможность принимать решения на основе объективной информации о текущем и прогнозном состоянии города.

Влияние информационных событий на экономику мегаполиса

Экономика мегаполиса представляет собой неравновесную, постоянно изменяющуюся систему, чувствительную к информационным воздействиям. Каждое информационное событие — будь то управленческое решение, изменение инфраструктуры, запуск нового предприятия или социальный сигнал — способно изменить поведение экономических агентов, структуру спроса и поток капиталов. В этом смысле информационные события выступают не только как отражение экономической активности, но и как факторы, формирующие экономическую динамику.

Экономические акторы мегаполиса — предприятия, финансовые учреждения, домохозяйства, органы управления — принимают решения на основе воспринимаемой информации. Появление новых данных о ценах, инфраструктуре, налогах или потребительском спросе изменяет их ожидания и приводит к корректировке поведения.

Если рассматривать эти процессы в терминах модели актора, то экономические решения можно записать как

$$s_i(t+1) = f_i(s_i(t), \{E_j^{econ}(t)\}, \eta_i(t)),$$

где $E_j^{econ}(t)$ — события экономического типа (изменения цен, открытие предприятий, колебания спроса), а f_i — функция реакции актора.

Таким образом, экономика мегаполиса формируется как совокупность ответных действий на поток информационных стимулов, отражающих реальное и ожидаемое состояние городской среды.

Пространственная неоднородность экономических реакций

Информационные события оказывают неодинаковое влияние на различные районы мегаполиса. Например, сообщение о строительстве транспортного узла вызывает рост экономической активности и цен на недвижимость в близлежащих кварталах, тогда как на периферийные зоны этот эффект может не распространиться.

Эта пространственная неоднородность описывается функцией влияния:

$$\Delta E_k(x, y, t) = \sum_i \alpha_i(x, y) \cdot \delta(E_i, t),$$

где $\alpha_i(x, y)$ — коэффициент чувствительности района к событию E_i , а $\delta(E_i, t)$ — его интенсивность.

Моделирование таких эффектов позволяет построить карты экономической плотности, показывающие, как информационные потоки изменяют пространственную структуру производства, торговли и инвестиций.

Информационные события в мегаполисе редко действуют изолированно: они образуют цепочки взаимных реакций, усиливающих или ослабляющих экономическую активность. Введение новой нормы, открытие технопарка, изменение логистических маршрутов могут инициировать серию вторичных событий — создание новых рабочих мест, увеличение товарных потоков, рост налоговых поступлений.

Эти процессы можно описать в виде информационного мультипликатора, аналогичного экономическому:

$$M = \frac{\Delta Y}{\Delta I},$$

где ΔI — внешнее информационное воздействие (например, объявление о крупном проекте), а ΔY — совокупный экономический эффект.

При этом коэффициент мультипликации зависит от связности сети акторов и скорости распространения информации: чем выше плотность коммуникаций, тем сильнее системная реакция на локальное событие.

Информационные модели позволяют анализировать устойчивость городской экономики к внешним

шокам. События, нарушающие равновесие (кризисы, санкции, перебои снабжения), вызывают волны реакций, распространяющиеся по сети акторов. Если структура связей сбалансирована, то система возвращается к стабильному состоянию; если связи избыточно плотны или асимметричны, то наблюдается каскадное распространение кризиса.

Таким образом, устойчивость экономики мегаполиса определяется не только запасом ресурсов, но и архитектурой информационных связей. В этом контексте анализ топологии сети акторов становится инструментом экономической диагностики: выявление «узких мест» и «центров влияния» позволяет прогнозировать последствия управленческих решений и повышать устойчивость городской экономики.

Формализованное описание влияния информационных событий на экономику открывает следующие возможности:

- оценка экономической плотности районов в зависимости от информационной активности;
- прогнозирование инвестиционной привлекательности территорий;
- моделирование сценариев развития при введении новых политик или инфраструктурных изменений;
- оценка риска каскадных эффектов при нарушениях информационных или логистических потоков.

Эти инструменты могут стать частью систем поддержки принятия решений и цифровых платформ городского управления, где данные о событиях и акторах используются для предсказания и оптимизации экономического поведения мегаполиса.

Заключение

В работе предложена концепция информационной модели мегаполиса, в центре которой находится понятие информационного события как единицы городской динамики. Мегаполис можно рассматривать в качестве сети акторов, связанных информационными взаимодействиями, а совокупность событий — как стохастический процесс, формирующий информационное поле города. Предложенная математическая постановка, основанная на динамических уравнениях и графовой структуре связей, позволяет описывать процессы восприятия и реакции акторов, а также моделировать распространение информации. Эти подходы создают основу для прогнозирования событий и построения адаптивных цифровых двойников городской среды. Развитие модели открывает перспективы для интеграции методов машинного обучения, топологического анализа данных и систем поддержки принятия решений в сфере управления мегаполисом.



Информационные источники

1. Булинский А. В., Ширяев А. Н. Теория случайных процессов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 402 с.
2. Глуценко В. М., Шамин Р. В. Математика управления городом // Вестник Университета Правительства Москвы. 2024. № 4. С. 30–35.
3. Рыбаков В. В. Многоагентные временные логики, информация, унифицируемость и проективность // Алгебра и логика. 2023. Т. 62. № 3. С. 424–431. DOI: 10.33048/alglog.2023.62.307.
4. Шамин Р. В., Голованова Н. Б. Вероятностные модели в динамике финансирования городских проектов // Вестник Университета Правительства Москвы. 2025. № 1. С. 19–25.
5. Fagin R., Halpern J. Y., Moses Y., Vardi M. Y. Reasoning about Knowledge. Cambridge, Massachusetts; London: The MIT Press, 1995. 544 p.

References

1. Bulinsky A. V., Shiryayev A. N. *Theory of Random Processes*. Moscow: FIZMATLIT Publ., 2005. 402 p. (In Russ.).
2. Glushchenko V. M., Shamin R. V. Mathematics of City Management. *MMGU Herald*, 2024, no. 4, pp. 30–35. (In Russ.).
3. Rybakov V. V. Multi-Agent Temporal Logics, Information, Unifiability, and Projectivity. *Algebra and Logic*, 2023, vol. 62, no. 3, pp. 283–288. DOI: 10.1007/s10469-024-09743-4.
4. Shamin R. V., Golovanova N. B. Probabilistic Models in the Dynamics of Urban Project Financing. *MMGU Herald*, 2025, no. 1, pp. 19–25. (In Russ.).
5. Fagin R., Halpern J. Y., Moses Y., Vardi M. Y. *Reasoning about Knowledge*. Cambridge, Massachusetts; London: The MIT Press, 1995. 544 p.