

Теория цепных процессов в биологии и социологии

Филиппов А.А.^{*1}, Филиппов-Кузнецов Р.А.^{†1}, Ботин А.С.^{‡2,3,4}

¹ФГБУН Федеральный исследовательский центр химической физики РАН
им. Н.Н. Семенова, Москва, Россия

²Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия

³ГБУЗ «НИИ Скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», Москва, Россия

⁴ФГБОУ ВО Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),
Москва, Россия

Аннотация. Предложена теория численного роста сообщества живых организмов в природе, в которой «активные организмы» в цепных процессах превращают «нейтральные организмы» в «активные», согласно автокаталитическому уравнению, а их численный рост описывают логистические функции. Активные организмы и правила их взаимодействия образуют «автокаталитический набор», универсальный для многих процессов численного роста разных живых организмов в природе. Наша теория вытекает из «теории цепных» реакций и «математической теории эпидемии и пандемии на основе законов цепного и теплового взрывов» и может быть использована для описания распространения инфекций среди животных и полезна для описания многих процессов роста разных сообществ живых организмов природы. Вероятно, теория позволит изучать многие процессы распространения разных «вирусных идей» среди людей, что интересно для анализа разных социальных явлений в обществе.

Ключевые слова: теория цепных реакций, цепные процессы, логистическая функция

ВВЕДЕНИЕ

Все живое в природе обычно находится в динамическом равновесии, но часто при изменении одного или нескольких параметров в природной системе происходит нарушение баланса, что может вызвать взрывной рост или быстрое уменьшение числа некоторых типов живых организмов в ней. Этот факт давно заметили ученые, но впервые в 1838 году П.Ф. Верхульст, для объяснения роста населения в Бельгии, эмпирически подобрал логистическую функцию [1]. Эту функцию заново открыл А. Г. Маккендрик при расчете роста числа бактерий в бульоне [2]. Затем, Р. Перл обнаружил логистическую функцию при расчёте роста числа населения в США [3], а изучая размножение мух дрозофилы, показал, что рост их числа также описывается этой функцией, которую он получил, используя автокаталитические уравнения [4]. Более того, в 1924 году Р. Перл утверждал, что логистическая функция описывает все процессы роста в живой природе, но после дискуссии среди ученых эта гипотеза не была принята. Позднее другие исследователи продолжали обнаруживать, что рост числа других видов живых организмов в природе, в частности, числа инфицированных людей во время пандемии [5–8], подчиняется логистическим функциям.

*af09526956@gmail.com

†roman.filippov@euruni.edu

‡botin-as@rudn.ru

Р. Перл близко подошел к пониманию численного роста живых организмов в природе, но не увидел цепные процессы, лежащие в основе процесса роста, так как теория цепных реакций Н.Н. Семенова [9] ещё не была открыта.

Современный анализ научных работ дает основание полагать, что цепные процессы лежат в основе многих биологических явлений, таких как метаболизм, передача сигналов и регуляция клеточного цикла, а их изучение является важным шагом к раскрытию механизмов, определяющих устойчивость и адаптацию клеток к стрессовым факторам. Кроме того, рост числа заболеваний, особенно инфекционной природы и воздействие неблагоприятных экологических факторов, указывают на необходимость глубокого понимания цепных процессов. Исследования в данной области могут способствовать разработке новых терапевтических подходов и мер медицинской безопасности, направленных на улучшение здоровья и качества жизни людей, что делает тему особенно актуальной. Отметим, что название цепных процессов при изучении процессов органической химии и в биологии использовалось ранее [10]. Эта концепция, изначально разработанная для объяснения чисто химических процессов, в дальнейшем всё больше находит применение в биологии, что становится особенно важным в понимании механизмов саморегуляции в живых системах. А именно, достижения в области биохимии и молекулярной биологии позволили выявить фундаментальные механизмы цепных процессов, такие как ферментативные каскады и сигнальные пути, что расширило представление о клеточных взаимодействиях. Развитие теории биологических сетей интегрировало знания о цепных процессах в контексте сложных систем, что способствует более глубокому пониманию их роли в поддержании гомеостаза и адаптации клеток. Однако, во все вышеперечисленных исследованиях математической теории роста активных реагентов не была дана.

Отметим, что в научной литературе существует два вида цепных процессов: под первыми понимают последовательность нескольких событий связанных между собой, результатом которых является изменение какого-либо параметра исследуемой системы, а также цепной разветвленный процесс, в единичном акте которого происходит увеличение активного параметра исследуемой системы в ходе разветвленного процесса по автокаталитическому типу. Наша работа исследует второй вид процессов.

В работе [6] был сделан новый шаг в понимании явлений эпидемии и пандемии - доказано, что распространение инфекции среди людей имеет цепной, разветвленный механизм, как во многих химических реакциях. Поэтому, возникло предположение, что цепной механизм может лежать в основе многих других процессов численного роста живых организмов в природе. В работе предложена «математическая теория цепных процессов в живой природе», которая предполагает общие закономерности во многих процессах численного роста организмов в природе, основываясь на «теории цепных реакций» [9, 10] (коротко изложенная в работе [11]) и «математической теории эпидемии и пандемии на основе законов цепного и теплового взрывов» [6], основные идеи и решения которых даны ниже.

ЦЕПНЫЕ РЕАКЦИИ

Теория цепных реакций была развита Н.Н. Семеновым [9], за которую он получил Нобелевскую премию, для описания химических реакций взрывного типа в закрытом реакционном сосуде, с участием активных частиц (A) и нейтральных компонентов (N). В этих реакциях возникают новые активные частицы (центры), а обрыв цепи идет в объеме или на стенке сосуда. Скорость изменения активных центров описывается уравнением:

$$dA/dt = W_0 + fA - gA \quad (1)$$

где: W_0 – скорость образования активных центров, f и g – константы скоростей процессов разветвления и обрыва цепей.

Обозначив $f - g = \phi$, выражение (1) примет вид:

$$dA/dt = W_0 + \phi A \quad (2)$$

Интегрирование выражения (2) зависит от величин W_0 , ϕ и A . Если в момент времени $t = 0$, $W_0 > 0$, как полагали в работах [9, 10], то получим:

$$A = W_0(e^{\phi t} - 1)/\phi \quad (3)$$

Из уравнения (3) видим, что при $t = 0$ число активных центров $A = 0$, а при $\phi t \ll 1$ найдем: $A = W_0 \cdot t$. Если $\phi t \gg 1$, то получим экспоненциальную зависимость:

$$A = W_0 \cdot e^{\phi t} / \phi \quad (4)$$

В теории цепных реакций определяют: критическое условие возникновения цепного взрыва; скорость роста активных центров и их количество; период индукции t_i (времени до начала обнаружения первых результатов реакции).

Семенов писал: «Сила цепной теории заключается в ее организующей роли, собирающей воедино те реакции, которые явно отклоняются от простых моно- и бимолекулярных законов» [9, 10]. Множество изученных цепных реакций массово реализуются в промышленном масштабе: широкий спектр процессов полимеризации, окисления, галогенирования, парофазного нитрования органических соединений и другие. Н.Н. Семенов, характеризуя уникальность и молекулярное совершенство организации и функционирования биосистем на разных уровнях иерархии, реализованных в живой природе, также писал о необходимости и физико-химических исследований биопроцессов, создания модельных систем для кинетического изучения превращений, как в самих биологических объектах, так и в их сообществах [12].

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ЭПИДЕМИИ И ПАНДЕМИИ

«Математическая теория эпидемии и пандемии на основе законов цепного и теплового взрывов» была разработана на основе «теории цепных реакций» [9], где активными центрами (A) считали инфицированных людей, способных передавать возбудитель инфекции незараженным людям, а обрывом цепи являлись: отъезд, изоляция или смерть инфицированного человека.

Люди находятся в постоянном движении, контактируя друг с другом, что похоже на броуновское движение молекул в газе, где их концентрация меняется из-за диффузии и химических реакций с друг с другом. Химическая реакция иногда может резко ускориться, приводя к взрыву [9–14], что похоже на переход обычного распространения инфекции среди людей в эпидемию, а иногда и в пандемию.

В работе [6] рассматривали общину с начальным количеством незараженных вирусом (нейтральных) людей N_0 , где распространялся один вирус или бактерия (далее вирус) с текущим числом (A) инфицированных людей (активных центров). В отличие от работы [9], в работе [6] полагали: $W_0 = 0$, то есть рост числа инфицированных людей (A) в общине идет только в результате передачи вируса от инфицированных к незараженным (N) людям. Проинтегрировав выражение (2) при $W_0 = 0$, найдем:

$$A = A_0 e^{\phi t} \quad (5)$$

где A_0 – количество инфицированных людей в момент времени: $t = 0$.

Режимы цепного взрыва, описываемые выражениями (3) и (5) противоположны, так как формула (3) отвечает закрытой системе (сосуд), куда невозможна диффузия сторонних активных центров, а их появление со скоростью W_0 происходит в результате дополнительного воздействия (от внешнего излучения, электрического разряда и пр.). Формула (5), наоборот, относится к открытой системе (человеческой общины), где

возможен въезд и выезд инфицированных людей, а их случайное появление от внешнего воздействия маловероятно.

Инфицированные люди часто теряют способность к передаче вируса через время t_f с момента заражения, что также не рассматривалось в теории цепных реакций [9]. Выразим число инфицированных людей (A_t), способных к заражению нейтральных людей (N), от общего числа инфицированных (A), используя безразмерный параметр ξ :

$$A_t = \xi A \quad (6)$$

Согласно формуле (5) число инфицированных людей (A) непрерывно растет (5), но при $t > t_f$ число людей (A_t), способных передать вирус, уменьшается на число людей, потерявших способность заражать здоровых людей, равное числу инфицированных людей до момента времени $t - t_f$:

$$A_t = A_0 \cdot e^{\phi t} - A_0 \cdot e^{\phi(t-t_f)} = A_0[1 - e^{-\phi t_f}] \cdot e^{\phi t} \quad (7)$$

Используя формулы (6, 7) найдем:

$$\xi = 1 - e^{-\phi t_f} \quad (8)$$

Параметр ξ постоянен при неизменных ϕ и t_f , где ϕ зависит от типа вируса и уменьшается при: вакцинации людей; использовании масок и других санитарных мер.

В работах [9, 11, 13, 14], изучая цепной тепловой взрыв, обнаружили критические условия зажигания и самовоспламенения. Аналогично этим явлениям в общинах людей также наблюдаются взрывы: эпидемия и пандемия. Как следует из выражений (3) и (5) при $\phi > 0$ число (A) экспоненциально растет в обоих уравнениях, но при $\phi < 0$, число активных центров уменьшается со временем, поэтому цепной взрыв, в частности эпидемия и пандемия, не возможен, поэтому $\phi = 0$ является критическим значением.

В работе [6] показано, что, как и в химии, если диффузия активных центров (A_t) много меньше скорости их роста в процессе реакции, то нестационарное уравнение диффузии при начальном числе исходного реагента (N_0) примет вид:

$$dA/dt = K \cdot A_t(N_0 - A) \quad (9)$$

где: K – коэффициент скорости химической реакции, N_0 и $N = (N_0 - A)$ – начальное и текущее количество нейтрального компонента, соответственно.

В работе [6] считали, что формулу (9) можно перенести на распространение вируса среди людей, полагая, что община состоит из трех равномерно смешанных групп людей: не инфицированных (N -нейтральных), ре-инфицированных людей (инертных) и переносчиков вируса (A_t). При этом община похожа на «луковицу» (рис. 1), где процесс инфицирования идет по слоям N_a : первыми заболеют люди, находящиеся в контакте с заболевшими людьми или не соблюдающие санитарные меры; затем те, кто выполняют минимальные санитарные требования и так далее. Параметр N_a имеет статистически усредненную природу. Полагая, что распространение вируса идет, в основном, в слое общины N_a , преобразуем уравнение (9):

$$dA/dt = K_a \cdot A_t(N_a - A) \quad (10)$$

В статистике высчитывают число всех инфицированных людей (A), поэтому используя условие (6) выразим A_t через A , получим:

$$dA/dt = \xi K_a \cdot A(N_a - A) \quad (11)$$

В уравнениях химической реакции находятся объемные концентрации реагентов, поэтому и в уравнениях (10, 11) должны стоять концентрации всех инфицированных (A) и нейтральных людей ($N_a - A$), каждая из которых будет пропорциональна

плотности населения в общине через коэффициент ε . Поэтому уравнение (11) примет вид:

$$dA / dt = \xi K_a \cdot \varepsilon^2 A (N_a - A) \quad (12)$$

Полагая ε , ξ , K_a постоянными при распространении инфекции в слое общины N_a , проинтегрируем уравнение (12) и получим [6] логистическую функцию (logit):

$$\ln[A / (N_a - A)] = \xi K_a \cdot \varepsilon^2 N_a t + C \quad (13)$$

где: C – константа интегрирования, K_a – коэффициент скорости передачи вируса в N_a .

В. М. Гольдберг [5], изучая пандемию в Москве с 7.03.2020 года, обнаружил четыре волны роста инфицированных, при этом для каждой волны был найден разный параметр N_{max} не ясной природы, а в каждой волне пандемия развивалась по формуле (13). В работе [6] было показано, что $N_{max} = N_a$, а при $t = 0$ для каждой новой волны нашли:

$$C = \ln[A_0 / (N_a - A_0)] = - \ln[(N_a / A_0) - 1] \quad (14)$$

где: A_0 – количество инфицированных людей в общине N_a , в момент времени $t = 0$.

В начале волны, когда $A \ll N_a$ и $A_0 \ll N_a$ из уравнение (13) получим:

$$A \approx A_0 \cdot \exp \xi K_a \varepsilon^2 N_a t \quad (15)$$

Если сделать замену $p = A/N_a$, то уравнение (13) примет известный вид логистической функции (logit).

Ясно, что инфицирование людей идет одновременно в разных слоях общины, но почти постоянный показатель степени $\xi K_a \cdot \varepsilon^2 N_a$ в каждой волне в течение длительного времени, указывает на преобладание этого процесса в одном слое общины N_a [6]. Коэффициент $\xi K_a \cdot \varepsilon^2 N_a$ отражает скорость заражения людей, то есть чем больше ξ , K_a , ε^2 и N_a , тем быстрее растет скорость распространения вируса. Отметим, что коэффициент K_a содержит константы скоростей разветвления и обрыва цепей. При условии $A \ll N_a$, выражение (15) переходит в формулу (5), при $\phi = \xi K_a \cdot \varepsilon^2 N_a$, то есть более сложная теория пандемии совпадает с теорией основе «теории цепных реакций» в начале процесса. Между волнами пандемии происходит изменение «кинетики» передачи вируса (меняются ξ , K_a , ε и N_a), то есть гипотеза об общине, как о многослойной «луковице», подтвердилась. Для понимания конкретного развития пандемии нужно сравнивать график роста числа инфицированных (A) с данными по срокам: вакцинирования; введением карантинных ограничений; начало и окончание обучения в школах и университетах; возникновения новых вирусов и мутаций старых вирусов и других событий.

Итак, установлено: процесс распространения вируса среди людей имеет разветвлённый, цепной механизм, где инфицированные люди (активные центры) в течение автокаталитического процесса превращают неинфицированных людей (нейтральных) в новые активные центры, а логистические функции являются проявлением цепного механизма и описывают рост активных центров от времени, если число «нейтральный» ограничено. При бесконечном числе «нейтрального» реагента и в начале процесса логистические функции становятся экспонентами, так как формулы (15) переходит в формулу (5). Отметим, что «Математическая теория эпидемии и пандемии...» связана с «теорией цепных реакций» [9] наличием цепных процессов, а их значительные и принципиальные различия подробно разобраны в работе [6].

ТЕОРИЯ ЦЕПНЫХ ПРОЦЕССОВ В БИОЛОГИИ И СОЦИОЛОГИИ

Мы считаем, что много абсолютно разных процессов численного роста живых организмов в природе, описанных в работах [1–8], имеют единый цепной механизм

роста «активного центра» (A) в акте автокатализа при взаимодействии с «нейтральным реагентом» (N) по формуле: $A + N = 2A$ или более сложной. Поэтому скорость роста активного центра в процессе автокатализа описывается формулой (9), но более точные формулы, с коэффициентами ξ , K_a , ε^2 и N_a представлены в выражениях (10–15).

Выше представленную совокупность идей, подтвержденную моделью развития инфекции среди людей [6], можно назвать «математической теорией цепных процессов в биологии и социологии», которая является самостоятельной теорией, хотя и вытекает из «теории цепных реакций» [9, 10], но радикально отличается от неё [6]. Вероятно, теория будет применима для моделирования многих природных процессов, некоторые из которых перечислены ниже.

1) Распространение инфекционных заболеваний среди стадных животных, причем для диких животных процесс будет идти быстро, из-за отсутствия санитарных мер, что приводит к высоким значениям K , а среди стадных домашних животных, с учетом использования вакцин, лекарств и возможности изоляции, забоя больных животных процесс будет идти медленнее.

2) При изучении эволюции белковых и других сложных систем высказана идея о наличии неопределенного «автокаталитического набора» [12–14]. Исходя из нашей теории, можно говорить, что «автокаталитический набор» численного роста многих живых организмов в любой природной системе существует и состоит из «активных центров» и ограниченного числа «нейтрального компонента» с автокаталитическим механизмом его превращения в «активный центр», а также логистических функций, описывающих этот процесс.

3) Каскадные процессы в иммунной системе, такие как активация комплемента, представляют собой последовательность реакций, обеспечивающих быструю и эффективную защиту организма от патогенных микроорганизмов. Такие цепные процессы обеспечивают важные функциональные аспекты биологических систем, поддерживая их устойчивость и адаптивность. Установление механизмов экспрессии ДНК и эпохальные достижения в биохимии в синтезе олигонуклеотидов заданной последовательности привели к появлению генетической инженерии в современном её виде. Всё это дополнительно подчеркивает, что цепные процессы существенным образом влияют на развитие новых технологий в биологии, расширяя горизонты исследований и возможностей в области генетики [11, 15, 16].

4) Процесс роста биомассы микроорганизмов в культуральной среде, например бактерий-продуцентов ценных биологически активных веществ или бактерий-биодеструкторов для утилизации широкого спектра поллютантов, что является крайне важным для биотехнологии, а именно, в теории и практике культивирования микроорганизмов в процессе биосинтеза или биоремедиации в лабораторных и промышленных масштабах [11, 15, 16].

5) В медицинских исследованиях и разработке стратегии терапий, понимание цепных реакций в метаболических путях, например, может способствовать разработке таргетных лекарственных препаратов, таких как ингибиторы ферментов гликолиза, используемые в лечении онкологических заболеваний. Изучение цепных реакций, связанных со свободными радикалами, также может помочь создать антиоксидантные терапии, направленные на предотвращение повреждений клеток. Такие примеры демонстрируют, как механизмы цепных процессов влияют на разработку новых методов лечения и профилактики заболеваний. В дополнение к этому, рассматриваются нейросетевые модели, которые позволяют моделировать изменение концентрации молочной кислоты в ходе непрерывного культивирования бифидобактерий [17], что подчеркивает значимость применения современных технологий для анализа и оптимизации биохимических процессов в медицине.

6) Одной из важнейших тенденций развития современной биологии является её сближение с науками о человеке и обществе [18]. Данный подход уместен и для

описания роста численности популяции людей на разных уровнях и масштабах сообществ, например, в общинах, диаспорах, обособленных по разным признакам территориальных частях стран и в целых странах.

7) Увеличение численности ряда биологических видов, включая человека, при изменении климата, нарушении баланса проживания в старом ареале обитания или перемещение его в новый ареал обитания. В этом случае активными центрами являются самки, способные давать потомство, а обрыв цепи идет при потере ими репродуктивных функций.

8) Эволюционные изменения среди разных биологических видов, где в качестве активных центров выступают носители генных мутаций, лучше адаптирующиеся к изменениям условий окружающей среды. Хотя эволюционные процессы идут медленно, но скорость роста появления новых видов можно оценить по данным палеонтологии или, учитывая географическую изолированность.

9) Особый интерес представляет изучение распространения разных «вирусных» идей среди людей, которые могут быть как абсолютно безобидными (любовь к музыке, спорту и многое другое), так и опасными, как например, предполагающие превосходство одной нации или религии над другими.

Чрезвычайно перспективным авторы считают объединение принципов, методов и подходов в теоретическом описании цепных процессов и ветвящихся процессов в физике, химии, биологии и социологии, что повлечёт взаимное обогащение понимания огромного массива и разнообразия явлений, происходящих на разных уровнях организации мироздания. В настоящее время известно, что методы описания ветвящихся процессов также широко применяются в биологии для моделирования популяционных динамик, распространения генов и эпидемий. Например, процесс Гальтона – Ватсона может быть использован для описания выживания семейства генов в популяции. Континуальные ветвящиеся процессы могут моделировать рост клеток и распространение вирусов. Также, такие модели используются для изучения эволюционных процессов и предсказания изменений в популяциях под воздействием различных факторов [19–23].

Крайне важными примерами социальных цепных процессов являются: распространение моды, стиля жизни, поведения в обществе, подверженность людей внешним воздействиям с применением информационных технологий с целью формирования истинного или ложного общественного мнения.

Активными центрами являются люди, носители этих идей и, вероятно, распространение «вирусных» идей имеет цепной механизм, а предложенная теория позволит предсказать возможное развитие негативных событий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фундаментальное изучение динамики и механизмов цепных процессов в различных живых системах, при участии различных агентов инициирует развитие ряда важных научно-технологических задач и стратегических направлений в ближайшем обозримом будущем. Такое инновационное и технологическое преобразование процессов, реализуемых в промышленном масштабе, в основе которых лежат цепные трансформации, создание новых суперэффективных продуктов, регулирующих скорость цепных процессов, разработка широкого спектра модификаторов, регулирующих динамику цепного процесса биосинтеза или биодеструкции тканей или патогенных популяций, исследование большинства базовых биохимических процессов как на субклеточном, так и на надклеточном уровне, что в итоге приведёт к новым подходам в лечении различных заболеваний, создании лекарств и средств медицинского назначения нового поколения.

В целях эффективной реализации этих задач крайне важно уделить внимание цифровизации управления базовыми стадиями данных процессов, теоретическому

определению соотношения констант кинетики всех этапов с учетом автокаталитических механизмов превращения промежуточных продуктов.

Авторы благодарят А.И. Кузнецову за редактирование статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Verhulst P.F. Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement. *Correspondance Mathématique et Physique*. 1838. V. 10. P. 113–121.
2. McKendrick A.G., Pai M.K. XLV.–The Rate of Multiplication of Micro-organisms: A Mathematical Study. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*. 1912. V. 31. P. 649–655. doi: [10.1017/S0370164600025426](https://doi.org/10.1017/S0370164600025426)
3. Pearl R., Reed L.J. On the Rate of Growth of the Population of the United States Since 1790 and its Mathematical Representation. *PNAS*. 1920. V. 6. P. 275–288. doi: [10.1073/pnas.6.6.275](https://doi.org/10.1073/pnas.6.6.275)
4. Pearl R. *The Biology of Population Growth*. New York: Alfred A. Knopf Inc., 1925. 260 p.
5. Гольдберг В.И. Развитие цепной модели динамики распространения пандемии COVID-19. *Горение и взрыв*. 2021. Т. 14. № 3. С. 3–10.
6. Филиппов А.А. Математическая теория эпидемии и пандемии на основе законов цепного и теплового взрывов. *Доклады РАН. Физика. Технические науки*. 2024. Т. 514. № 1.
7. Saito T., Shigemoto K. A Logistic Curve in the SIR Model and Its Application to Deaths by COVID-19 in Japan. *medRxiv*. 2020. doi: [10.1101/2020.06.25.20139865v2](https://doi.org/10.1101/2020.06.25.20139865v2)
8. Reiser P.A. Modified SIR Model Yielding a Logistic Solution. *arXiv:2006.01550 [q-bio.PE]*. doi: [10.48550/arXiv.2006.01550](https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.01550)
9. Семенов Н.Н. *Цепные реакции*. Л.: ОНТИ, 1934. 110 с.
10. Семёнов Н.Н. Общие теоретические обоснования цепной теории. В: *Избранные труды*: в четырех томах. Под ред. Алдошина С.М. и др. Том 1. Кн. 2. Москва: Наука, 2004. С. 86.
11. Цилинский И.В., Шугалей И.В., Луговская С.А. Цепные процессы в органической химии и биологии. *Рос. Хим. Ж. (Ж. Рос. Хим. Общества им. Д.И.Менделеева)*. 2001. Т. XIV. № 2.
12. Зельдович Я.Б., Баренблатт Г.И., Либрович В.Б., Махвиладзе Г.М. *Математическая теория горения и взрыва*. М.: Наука. 1980. С. 37–43.
13. Филиппов А.А., Берлин А.А. Математическая теория зажигания накалиной поверхностью. *Доклады РАН. Физика. Технические науки*. 2022. Т. 503. № 1. С. 28–34.
14. Kauffman S.A. *Reinventing the Sacred: A New View of Science, Reason, and Religion*: Basic Books. Chapter 5. 2008. P. 59–71.
15. Кнорре Д.Г. Физико-химическая биология: достигнутые рубежи и новые горизонты. *Acta naturae*. 2012. Т. 4. № 2 (13). С. 36–37.
16. Асташина М.В., Зенцов В.Н., Лапшакова И.В. Кинетические закономерности процесса роста микроорганизмов. *Строительство и техногенная безопасность*. 2022. № 25 (77). С. 95–102.
17. Дударов С.П., Макляев И.В., Леметюйнен Ю.А., Гусева Е.В., Кареткин Б.А., Евдокимова С.А. Моделирование биотехнологических процессов с использованием математического аппарата искусственных нейронных сетей. *Программные продукты и системы*. 2024. Т. 37. № 1. С. 113–121. doi: [10.15827/0236-235X.142.113-121](https://doi.org/10.15827/0236-235X.142.113-121)
18. Олескин А.В. Сетевые структуры в биосистемах. *Журнал общей биологии*. 2013. Т. 74. № 2. С. 112–138.

19. Хайдарова М., Хайдарова О. Ветвящиеся процессы: теория, модели и их применение в биологии, физике и информатике. *Международный научный журнал «Вестник науки»*. 2024. Т. 3. № 5 (74). С. 1374–1378.
20. Ватулин В.А., Дьяконова Е.Е., Ветвящиеся процессы Гальтона–Ватсона в случайной среде: Предельные теоремы. *Теория вероятн. и ее примен.* 2003. Т. 48. № 2. С. 274–300. doi: [10.4213/tvp285](https://doi.org/10.4213/tvp285)
21. Калинин А.В. Марковские ветвящиеся процессы с взаимодействием. *Успехи математических наук*. 2002. Т. 57. № 2 (344). С. 23–84. doi: [10.4213/rm496](https://doi.org/10.4213/rm496)
22. Ojeda G.B., Pardo J.P. Branching processes with pairwise interactions. *ALEA*. 2025. V. 22. P. 711–745. doi: [10.30757/ALEA.v22-28](https://doi.org/10.30757/ALEA.v22-28)
23. Mitrophanov A.Y. Markov-Chain Perturbation and Approximation Bounds in Stochastic Biochemical Kinetics. *Mathematics*. 2025. V. 13. No. 13. Article No. 2059.

Рукопись поступила в редакцию 16.11.2025, переработанный вариант поступил 28.11.2025.
Дата опубликования 11.12.2025.

===== MATHEMATICAL MODELING =====

The Theory of Chain Processes in Biology and Sociology

Filippov A.A.¹, Filippov-Kuznetsov R.A.¹, Botin A.S.^{2,3,4}

¹*N.N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics
of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

²*Russian Peoples' Friendship University n.a. Patrice Lumumba, Moscow, Russia*

³*N.V. Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medicine, Moscow, Russia*

⁴*Russian University of Biotechnology (ROSBIOTECH), Moscow, Russia*

Abstract. The theory of numerical growth of living organisms in nature is proposed, in which "active components" transform "neutral components" into new "active centers" as a result of branched, chain processes, according to the autocatalytic equation, and their numerical growth is described by logistic functions. These components and the conditions of their interaction form an "autocatalytic set" that is universal for many processes of numerical growth of various living organisms in nature. Our theory follows from the "theory of chain reactions" and the "mathematical theory of epidemics and pandemics based on the laws of chain and thermal explosions" and can be used to describe the spread of infections among animals and will be useful for describing many processes of growth of wildlife. The theory is likely to make it possible to study many processes of the spread of various "viral ideas" among people, which may be of considerable practical interest in the analysis of social phenomena.

Key words: theory of chain reactions, chain processes, logistic function