

## ТВОРЧЕСТВО – НЕПРЕДСКАЗУЕМОСТЬ И ПРОИЗВОДСТВО ИНФОРМАЦИИ\*

*М. И. Рабинович*

Университет Калифорнии, Сан-Диего

Можно ли с помощью формул проникнуть в самую интимную сферу когнитивных функций человека – его творческую лабораторию. Ведь даже воздух этой сферы наполнен импровизацией и неоднозначностью. В последние три-пять лет подобные весьма успешные попытки предпринимаются все более широким кругом исследователей – физиологов, психологов и специалистов по нелинейной физике. В этой статье мы рассмотрим два примера творческих процессов – сочинение стихов и джазовую импровизацию. С математической точки зрения, эти процессы имеют много общего и базируются на универсальных принципах ментальной динамики человека.

*Ключевые слова:* Творческий дар, когнитивные неустойчивости, информационная размерность, сюрприз в поэзии и джазовой импровизации.

### Динамические модели креативности

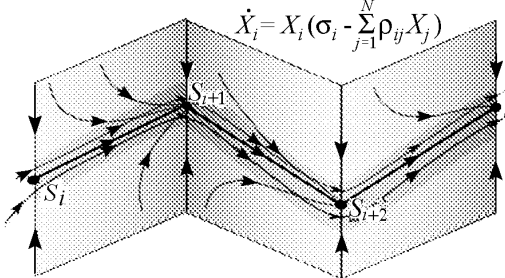
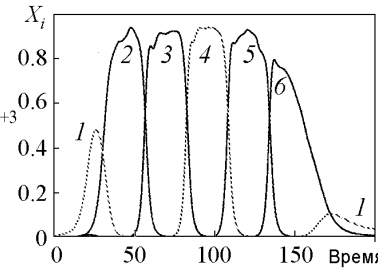
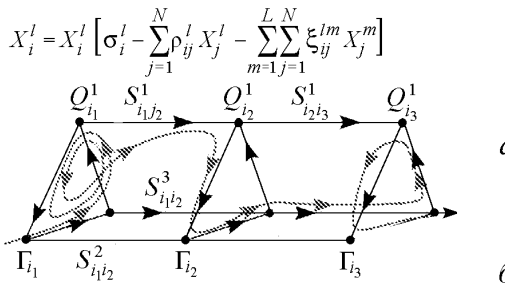
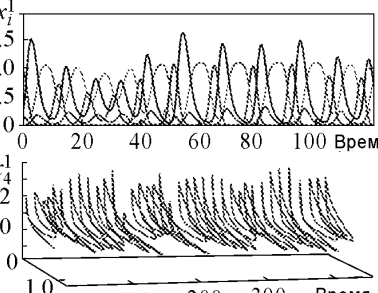
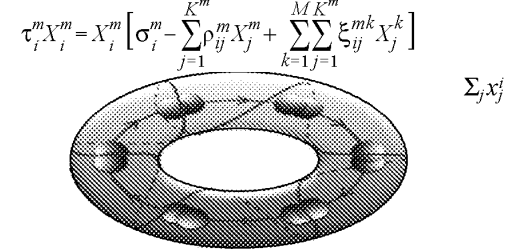
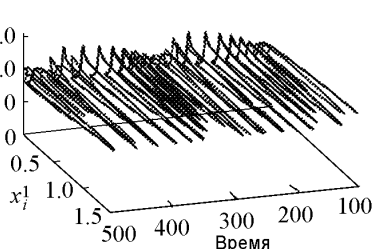
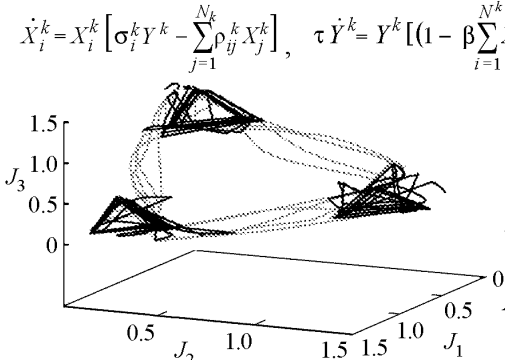
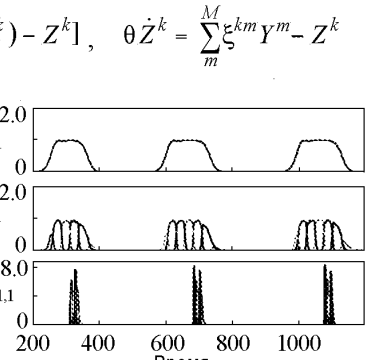
Среди обитающих на Земле видов человек обладает удивительнейшими способностями – творить новое. Это и мысли, и орудия производства, и неожиданное поведение в жизни и на сцене. Креативность человека лежит в основе всех его экстраординарных достижений не только в искусстве и науках, но и в самой возможности существования его как вида в усложняющихся экологических и демографических условиях. Возможность генерировать новую и в то же время полезную информацию и отыскивать обратные связи, обеспечивающие решение «неразрешимых» проблем, это единственная возможность не допустить превращения нашей Земли в «планету обезьян». Поскольку креативность сопутствует всему эволюционному пути человека, разумно предположить, что мозг человека развивался в направлении совершенствования его креативного мышления и, следовательно, признаки этого развития должны обнаруживаться и в его генетической организации и в устройстве нейронных структур человеческого мозга.

Построение динамической модели творчества предполагает рассмотрение его как процесс производства информации, одновременно контролирующей ее новизну. Естественно, что новая информация гарантирует неожиданность, сюрприз, но

\* Данные заметки представляют собой краткое изложение лекции, прочитанной в Калифорнийском Университете Сан-Диего.

она, однако, должна иметь еще и смысл в контексте решаемой когнитивной задачи. Обсуждаемые ниже динамические модели креативности базируются на общих когнитивных принципах: транзитивности во времени, существовании метастабильных состояний, устойчивости процесса и его восприимчивости к доступной информации [1, 2]. Динамические модели ключевых креативных функций, из которых могут быть составлены модели большинства других, более сложных функций, включающих эмоции, представлены в таблице.

Таблица

№	Модель и фазовый портрет	Осциллограмма
1	$\dot{X}_i = X_i \left( \sigma_i - \sum_{j=1}^N \rho_{ij} X_j \right)$ 	
2	$X_i^l = X_i^l \left[ \sigma_i^l - \sum_{j=1}^N \rho_{ij}^l X_j^l - \sum_{m=1}^L \sum_{j=1}^N \xi_{ij}^{lm} X_j^m \right]$ 	
3	$\tau_i^m X_i^m = X_i^m \left[ \sigma_i^m - \sum_{j=1}^{k^m} \rho_{ij}^m X_j^m + \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^{k^m} \xi_{ij}^{km} X_j^k \right]$ 	
4	$\dot{X}_i^k = X_i^k \left[ \sigma_i^k Y^k - \sum_{j=1}^{N^k} \rho_{ij}^k X_j^k \right], \quad \tau \dot{Y}^k = Y^k \left[ (1 - \beta \sum_{i=1}^{N^k} X_i^k) - Z^k \right], \quad \theta \dot{Z}^k = \sum_m \xi^{km} Y^m - Z^k$ 	

**Рабочая память.** Первая строка таблицы представляет процесс воспроизведения последовательности элементарных информационных единиц, хранящихся в рабочей памяти [1]. Функция этого процесса в сохранении правильной последовательности в информационно цепочке, например, цифр в телефонном номере. Модель, которая описывает этот процесс, – обобщенное уравнение Лотки–Вольтерры.

Оно является каноническим для многих процессов в экологии, химической кинетике, репликационных биомолекулярных процессах и многих других. Математическим образом соответствующего устойчивого когнитивного процесса в фазовом пространстве модели служит так называемый устойчивый гетероклинический канал [2, 3]. Он обладает несколькими замечательными свойствами, которые обеспечивают ему особое место в теории нелинейных диссипативных динамических систем. Основой такого канала, его образующей, служит гетероклиническая цепочка – последовательность метастабильных состояний (седел), связанных друг с другом однонаправленно неустойчивыми сепаратрисами. Хотя гетероклиническая цепочка и не является структурно устойчивым объектом – под действием возмущений сепаратрисы идут уже не точно в седла, они, однако, сохраняют в фазовом пространстве память о скелете, окрестность которого и служит притягивающим объектом, каналом для всех близких траекторий. Такой канал устойчив, если сжатие фазового объема в его окрестности оказывается сильнее его растяжения за счет растягивающего эффекта при движении вдоль неустойчивой сепаратрисы от одного метастабильного состояния к следующему.

Поскольку каждому информационному элементу в информационной цепочке соответствует свое метастабильное состояние, устойчивость цепочки гарантирует правильность восстановления последовательной информации, записанной в рабочей памяти. Чувствительность канала к внешней информации определяется тем, что под ее воздействием осуществляется выбор метастабильных состояний среди уже имеющих в памяти, но не задействованных в организации канала (как в семантических задачах – берутся слова из активного словарного запаса), либо внешние сигналы провоцируют образование новых метастабильных состояний.

Здесь следует сделать важное замечание, касающееся динамики этой модели, когда условия существования устойчивого канала не выполнены [3]. Пусть матрица связей между отдельными информационными единицами общим числом шесть допускает графическое представление в виде двух взаимодействующих треугольников (рис. 1). Динамика каждого треугольного элемента порождает в его фазовом пространстве гетероклинический предельный цикл (рис. 2). Прямое произведение таких циклов в объединенном фазовом пространстве дает двумерный тор. Если теперь учесть слабое взаимодействие между «треугольниками», тогда тор разрушается и происходит одно из двух: либо циклы взаимно синхронизируются и возникает объединенный цикл, либо рождается хаос – странный аттрактор (рис. 3). Соответствующий динамический процесс характеризуется конечной энтропией Колмогорова–Синая и, следовательно, конечной величиной порождаемой информации [4]. Если в качестве информационных единиц будем рассматривать отрывки музыкальных мелодий, то в результате случайного блуждания по метастабильным состояниям услышим непредсказуемую музыку.

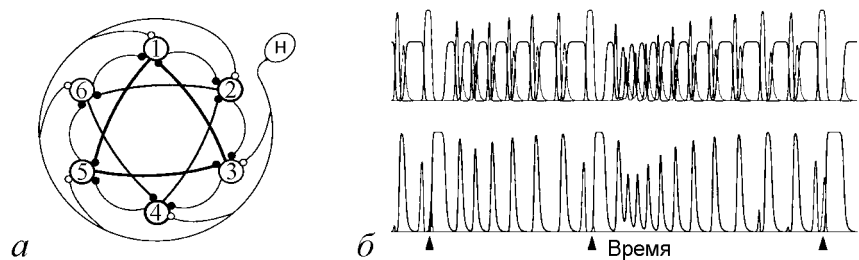


Рис. 1. Архитектура нейронного нетворка из шести конкурирующих участников (а); пример хаотической временной динамики, рождающейся в результате взаимодействия (б)

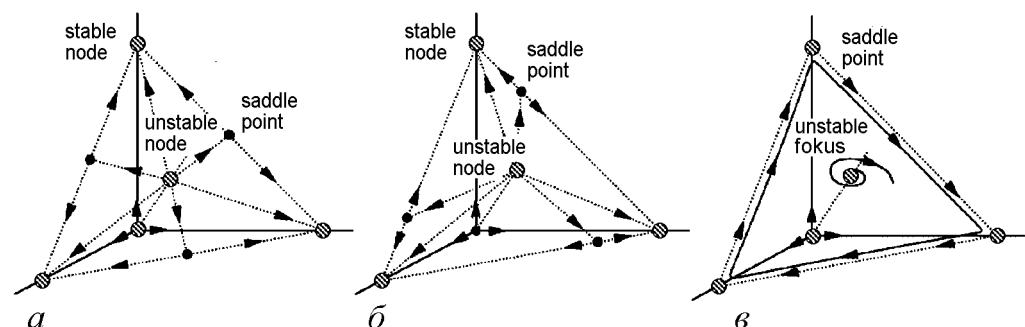


Рис. 2. Бифуркации по пути рождения гетероклинического цикла (в) в модели Лотки–Вольтерры из трех конкурирующих агентов

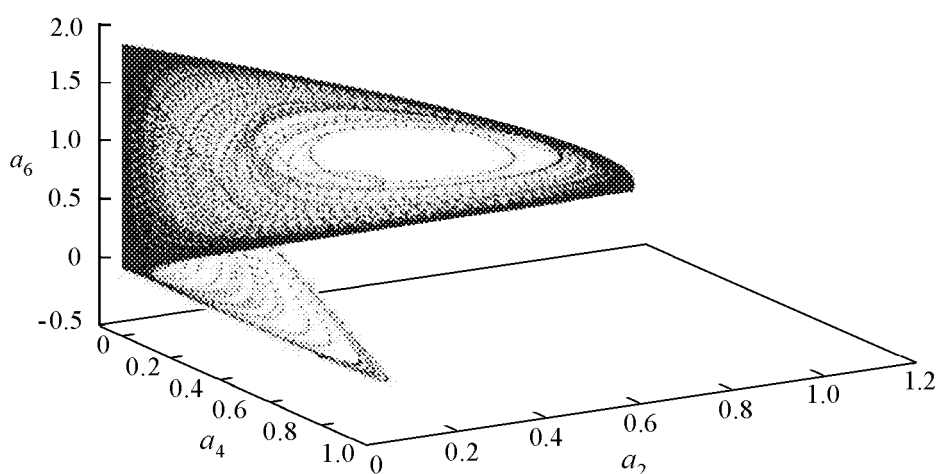


Рис. 3. Странный аттрактор в 6-мерной системе Лотки–Вольтерры в проекции на 3-мерное пространство

**Байндинг.** Вторая строка таблицы посвящена «гетероклиническому байндингу». Это динамический феномен, заключающийся в связывании информационных потоков, соответствующих разным сторонам креативного процесса. Например, в поэзии это объединение семантического смысла, ритмики и мелодии стихотворения. Математическим образом такого объединения в фазовом пространстве служит объединенный канал из связанных гетероклинических цепочек – ребер. Для нашего примера их три. Естественно, размерность фазового пространства модели (число независимых переменных) возрастает втрое. Приглядевшись к рисунку, можно заметить,

что число неустойчивых сепаратрис у седел не одна, а две. Благодаря этому, как показано в [4], информационная плотность в объединенном канале выше, чем в элементарном, и при движении вдоль такого канала количество информации, определяемое через информационную размерность, растет быстрее. Такой трехкомпонентный креативный процесс эффективнее. Для креативности, кстати, количество (не людей, а идей) всегда переходит в качество.

### *Поэзия.*

Нам не дано предугадать,  
Как наше слово отзовется,  
Какою мыслью обернется,  
И что захочется сказать.

Это – наше продолжение двух известных строк Ф.И. Тютчева. Таким образом я хочу выразить идею, что поэт, доверяясь языку, и сам не всегда знает, что ему сказанное слово навяжет в результате обратного действия, и во что стихотворение выльется. Похожая мысль высказана и в известном стихотворении Анны Ахматовой (1940):

Мне ни к чему одические рати  
И прелесть элегических затей.  
По мне, в стихах все быть должно некстати,  
Не так, как у людей.

Вот это самое «некстати» и есть ключ и он же сюрприз процитированного стихотворения. Иосиф Бродский в своей Нобелевской лекции высказал убежденность, что раскрытие в конечном итоге такого сюрприза и утоление жажды ответа и является главным стимулом создания стихов. Поэт в этом смысле подобен пленнику какой-либо сильной страсти, от которой нет лекарства:

Взяла меня ночь в оборот –  
Перейти можешь реку ты вброд,  
Сны глотай и с котомкою прочь,  
Знаю, трудно себя превозмочь.  
  
Улыбнись, позади твой острог.  
Ты пройдешь за порогом порог,  
Что напишешь раздаришь другим,  
Хоть предстанешь пред всеми нагим.  
  
Не пугай, мне боязнь не с руки,  
Сохранить бы упругость строки...  
Дар не может так просто пропасть,  
Ведь поэт, как игрок –  
Это вздох, это страсть.

*М. Рабинович, «Ночь и поэт»*

Сходные мысли можно найти у многих поэтов. Так, известный французский поэт Поль Валери заметил, что поэзия обладает своей собственной динамикой: «У поэзии есть свойство воспроизводить себя по форме, параллельно стимулируя мозг к преобразованию этого пути». Конечно, поэзия – это, в первую очередь, язык, но он организован так, что воздействие стихотворения обычными формами языка воспроизвести невозможно.

Не последнюю роль в организации поэтического текста играют знаки препинания. Они тоже являются информационными единицами и часто служат источником неустойчивости – неоднозначности. Особенно это характерно для тире. У меня, например, при очередном прочтении стихотворения «Куст» (1935) Цветаевой, которая явно симпатизировала «тире», рождаются совершенно разные ассоциации.

Что нужно кусту от меня?  
Не речи ж! Не доли собачьей  
Моей человеческой, кляня  
Которую – голову прячу  
  
В него же (седей – день от дня!).  
Сей мощи, и плечи, и гущи –  
Что нужно кусту – от меня?  
Имущему – от неимущей!

У любимого мною Мандельштама есть совершенно замечательное стихотворение, о смысле которого до сих пор спорят критики. Это – «Волны» (1935). Одно из толкований, мне импонирующее, предполагает, что Мандельштам изобразил в «Волнах» многомасштабную неустойчивость его мира – и внутреннего и окружающего. Именно поэтому «Волны» часто цитируются в связи с описанием турбулентности:

Бежит волна – волной волне хребет ломая,  
Кидаясь на луну в невольничьей тоске,  
И янычарская пучина молодая –  
Неусыпленная столица волновая –  
Кривеет, мечется и роет ров в песке.  
  
А через воздух сумрачно-хлопчатый  
Неначатой стены мерещатся зубцы,  
А с пенных лестниц падают солдаты  
Султанов мнительных – разбрызганы, разъяты –  
И яд разносят хладные скопцы.

Неоднозначность же трактовки этого стихотворения следует хотя бы из того факта, что его можно многовариантно продолжить, начиная с любой мандельштамовской строки. В рамках нашей динамической модели это означает множественность неустойчивых направлений почти у каждого метастабильного состояния.

**Синхронизация последовательностей. Джазовый «хаос».** Все мы получали удовольствие от джазовых импровизаций, конечно, не задумываясь о динамических механизмах их разнообразия. Я приведу лишь один пример такого механизма. Пусть в группе из трех джазистов один (лидер) задает ритм. Каков будет результат? Как правило, установится режим полной ритмической синхронизации. Его математический имидж – предельный цикл на двумерном торе – представлен в *третьей строке* таблицы. Однако возможны более интригующие ситуации, когда два участника уже сыгрались и их достаточно устойчивый совместный ритм не поддается «руководству сверху». Тогда при несоизмеримости собственного ритма с навязываемым рождается хаос и появляется та самая непредсказуемость, которой джаз и ценен. Наши компьютерные эксперименты показали, что область такой групповой креативности в пространстве параметров модели достаточно широка. Сейчас мы работаем совместно с композитором и надеемся, что в скором времени будем иметь возможность сравнить результаты моделирования с реальным процессом музыкальной импровизации.

**Чанкинг.** Всякая мыслительная и поведенческая активность человека представляет собой последовательность шагов, промежуточных стадий и т.п., которые объединяются в более крупные блоки. Эти блоки образуют новую последовательность и т.д., и т.д. Такой процесс называется чанкинг (chunking). Наглядным примером может служить организация письменного текста – если за элементарную информационную единицу взять слово, то предложение или фраза, объединяющая слова в блок, – это чанк. Последовательность таких чанков – это параграф «суперчанк» и т.д. В стихах чанк – это обычно строфа. Математическим образом чанкинга в фазовом пространстве соответствующей модели (*четвертая строка* таблицы) является гетероклинический канал, метастабильные состояния которого, в свою очередь, – сами гетероклинические каналы [5].

Понимание процессов, связанных с динамикой чанкинга, чрезвычайно важно для самых разнообразных задач, включая проблему репликации длинных биохимических молекул, например РНК.

Обычно функции основных информационных единиц и чанков четко разделяются. Но не всегда, и это порождает дополнительную неоднозначность. Есть такой прием в поэтической речи – анжамбеман (*enjambement* – фр.) – перенесение окончания законченной поэтической фразы или предложения из одной строфы в следующую (можно говорить о переносе слова из одной строки в другую и внутри строфы). Прием для современной поэзии очень характерный. Неожиданный перенос – разрыв фразы ритмической паузой делает стихотворение более напряженным, порывистым, но часто и более многозначным. Переносимое слово уже не связано с рифмой, то есть подсказкой. Так появляется неопределенность, то есть сюрприз или – рождается информация.

Часто перенос встречается в поэзии Марины Цветаевой, подчеркивая нервность ее стиха. Перенос способен, в частности, перераспределять основные и «колеблющиеся» признаки значений слов (Ю. Тынянов). Мы уже встречали такой перенос между строфами в ее стихотворении «Куст». А вот пример переноса внутри строфы в стихотворении Цветаевой «Ты, меня любивший фальшью» (1923):

Ты, меня любивший фальшью  
Истины – и правдой лжи,  
Ты, меня любивший – дальше  
Некуда! – За рубежи!

Ты, меня любивший дольше  
Времени. – Десницы взмах!  
Ты меня не любишь больше:  
Истина в пяти словах.

Действительно, слово «истина» во второй строке практически непредсказуемо, даже для искушенного читателя.

### **Креативность и непредсказуемость в науке**

В определенном смысле говорить о моделировании креативности в науке гораздо сложнее, чем о динамических моделях поэтического или музыкального творчества, где результаты такого творчества на виду или на слуху. Тем не менее между



этими процессами очень много общего, когда мы подходим к ним с позиций нелинейной физики и информационной динамики. Как говорил Эрнст Мах, «выдвигающий проекты, строящий воздушные замки, пишущий романы, создающий социальные и технические утопии – все они проводят мысленные эксперименты». Проведение же таких экспериментов есть последовательный когнитивный процесс, удовлетворяющий тем же динамическим принципам мышления/поведения, о которых мы говорили в самом начале.

В этих кратких заметках мы обсуждали динамические свойства творческого процесса, не затрагивая другой ключевой проблемы – как такой процесс запустить. Здесь уже необходимо учитывать и эмоциональное состояние человека-творца, точнее, взаимодействие эмоциональной и когнитивной составляющих его ментальной активности. Для разрешения «неразрешимой» научной загадки необходимо, по выражению великого математика XX века Анри Пуанкаре, довести себя до состояния чрезвычайного умственного напряжения, граничащего с галлюцинациями. Нужно достичь границы, за которой уже само сознание становится неустойчивым. Подобные динамические модели уже существуют, но об этом мы поговорим в следующий раз.

### Библиографический список

1. Рабинович М. Оперативная память и число семь // Наука и Жизнь. 2010, № 8. С. 13.
2. Рабинович М.И., Мюезинолу М.К. Нелинейная динамика мозга: Эмоции и интеллектуальная деятельность// УФН. 2010. Т. 180, № 4. С. 371.
3. Afraimovich V.S., Zhigulin V.P., and Rabinovich M.I. On the origin of reproducible sequential activity in neural circuits // Chaos. 2004. Vol. 14. P. 1123. doi:10.1063/1.18196252004
4. Rabinovich M.I., Afraimovich V.S., Bick C., and Varona P. Information flow dynamics in the brain// Phys. Life Rev. Vol. 9. P. 51. doi:10.1016/j.plrev.2011.11.002.2012
5. Rabinovich M.I., Varona P., Tristan I. and Afraimovich V.S. Chunking dynamics: Heteroclinic in mind // Frontiers in COMPUTATIONAL NEUROSCIENCE. March 2014. Volume 8. Article 22.

Поступила в редакцию 11.05.2014

### CREATIVITY – UNPREDICTABILITY AND INFORMATION PRODUCTION

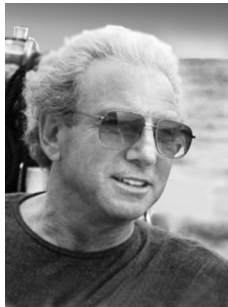
*Mikhail Rabinovich*

BioCircuits Institute, UCSD, USA

It is possible or not using formulas to penetrate the most intimate sphere of human cognitive functions – his creative laboratory. After all, even the air in this sphere filled with ambiguity and improvisation. In the last three-five years, such attempts are very

successfully taken by the physiologists, psychologists and experts in nonlinear physics. In this article we look at two examples of creative processes – writing poems and jazz improvisation. From a mathematical point of view, these processes have much in common and are based on universal principles of mental dynamics.

*Keywords:* Creative ability, cognitive instabilities, information dimension, surprise in poetry and jazz improvization.



*Рабинович Михаил Израилевич* – родился в Горьком (1941). Окончил Горьковский госуниверситет (1962), в 1962–67 годах работал там же ассистентом, в 1967–77 – доцентом. С 1977 – начальник лаборатории, а затем – отдела нелинейной динамики в Институте прикладной физики АН. Доктор физ.-мат. наук (1974), профессор (1980), чл.-корр. АН СССР (1991). В 1990 работал в качестве приглашенного профессора в Чикагском университете, с 1991 – профессор Калифорнийского университета в Сан-Диего. Основатель и Президент Международного центра Перспективных Исследований (Нижний Новгород, 1994–2002). С 2004 года живет в США. Область научных интересов – прикладная математика, динамический хаос и теория турбулентности, нелинейная динамика классических полей, нейродинамика и динамика когнитивных процессов. Автор более двухсот научных работ и пяти монографий.

9500 Гилман шоссе 0328 Ла-Хойя, Калифорния 92093-0328  
Калифорнийский Университет Сан-Диего  
E-mail: [mrabinovich@gmail.com](mailto:mrabinovich@gmail.com)