



## К юбилею профессора Александра Евгеньевича Храмова

С. А. Куркин

Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Россия  
E-mail: ✉kurkinsa@gmail.com

Поступила в редакцию 30.08.2024, опубликована 30.09.2024

*Для цитирования:* Куркин С. А. К юбилею профессора Александра Евгеньевича Храмова // Известия вузов. ПНД. 2024. Т. 32, № 5. С. 567–573. DOI: 10.18500/0869-6632-003124. EDN: AZKDQM

*For citation:* Kurkin SA. On the anniversary of Professor Alexander Hramov. Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics. 2024;32(5):567–573. DOI: 10.18500/0869-6632-003124

Статья опубликована на условиях Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0).

20 сентября 2024 года исполняется 50 лет доктору физико-математических наук, профессору Александру Евгеньевичу Храмову — блестящему ученому, общепризнанному специалисту в области радиофизики, нелинейной динамики и теории сложных сетей, биофизики, нейронауки, искусственного интеллекта и его приложений в анализе данных и биомедицине. Предстоящий юбилей является поводом и возможностью взглянуть на многогранную и очень плодотворную научную деятельность Александра Евгеньевича и на основные вехи его научного пути. Мне выпала честь сделать это.

Научная карьера Александра Евгеньевича Храмова началась на кафедре электроники, колебаний и волн физического факультета Саратовского государственного университета, который он окончил в 1996 году. Александр Евгеньевич — пример настоящего университетского человека. Как он рассказывал, впервые переступив порог университета, он понял — это то место, с которым он хотел бы связать свою жизнь и карьеру. Так и случилось, и университет стал для него фактически вторым домом. В 1999 году Храмов А. Е. под руководством доктора физико-математических наук, профессора Юрия Дмитриевича Жаркова и кандидата физико-математических наук Василия Геннадиевича Анфиногентова защищает диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «Радиофизика», а уже через 6 лет — диссертацию на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по той же специальности; научным консультантом по ней выступал член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор Дмитрий Иванович Трубецков. В 2008 году Храмову А. Е. присвоено ученое звание профессора кафедры электроники, колебаний и волн Саратовского государственного университета.



С коллегами по кафедре электроники, колебаний и волн СГУ (2008). Во втором ряду слева направо: А. Е. Храмов, С. В. Гришин, М. И. Перченко, Р. А. Филатов, В. Н. Скороходов, М. В. Белоглазкина, Е. Н. Егоров, А. А. Короновский, В. Н. Титов, А. Е. Храмова, А. В. Стародубов, А. В. Муштаков, С. А. Куркин. В первом ряду слева направо: В. М. Аникин, Ю. Д. Жарков, Ю. А. Калинин, Д. И. Трубецков, О. И. Москаленко, И. С. Ремпен, Ю. Г. Гамаюнов, П. В. Попов

Старшие коллеги Александра Евгеньевича — Жарков Юрий Дмитриевич, Трубецков Дмитрий Иванович, Лёвин Юрий Иванович, Калинин Юрий Александрович и многие другие — все они оказали заметное влияние на его научный стиль и высокую научную культуру как во время его обучения в университете, аспирантуре, подготовке диссертаций, так и в процессе совместной плодотворной научной работы. Александр Евгеньевич фактически перенял и продолжил славные традиции Саратовской школы нелинейной динамики и электроники.

В конце 1990-х и начале 2000-х годов первые научные исследования и интересы Храмова А. Е. лежали на стыке электроники и нелинейной динамики и касались изучения моделей систем со сверхкритическим электронным потоком и приборов на их основе, так называемых виркаторных систем, а также ряда других СВЧ-устройств (ЛБВ, ЛОВ, giroприборов и др.) В данной области им с коллегами были получены важные пионерские результаты, позволившие продвинуться в понимании сложной нелинейной динамики подобных систем, включая развитие хаотических режимов, синхронизации и различных типов неустойчивостей, а также предложить способы повышения эффективности работы рассматриваемых устройств [1–5]. Также большой пласт его работ в то время посвящен фундаментальным вопросам нелинейной динамики: исследованию сложной динамики, перехода к хаосу, процессов мультистабильности и управления в модельных системах; изучению хаотической динамики и образования структур в пространственно-распределенных системах; исследованию синхронизации, в том числе хаотической, в системах с малым числом степеней свободы и пространственно-распределенных средах [6, 7].

Александр Евгеньевич посвящал себя не только науке, он также много сил и энергии тратил на преподавательскую деятельность в то время преимущественно на факультете нелинейных процессов, на кафедре электроники, колебаний и волн Саратовского государственного университета. Здесь хочется, например, отметить его написанный в соавторстве с Д. И. Трубецковым 2-томник «Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков» [8], который фактически стал настольной книгой для многих студентов и молодых специалистов, начинающих изучение СВЧ-электроники, в том числе и для меня. Также в 2003 году совместно с профессором, доктором физико-математических наук А. А. Короновским они издали первую в России монографию, посвященную вейвлет-анализу [9]. Эти книги до сих пор остаются общепризнанными.

Прекрасными качествами Александра Евгеньевича являются стратегическое видение общей картины развития науки в области нелинейной физики, теории сложных систем и методов ИИ, а также способность выделять наиболее перспективные тенденции. Александр Евгеньевич с легкостью развивает новые плодотворные коллаборации как внутри страны, так и за рубежом. Всё это приводит к тому, что области научных интересов Александра Евгеньевича со временем расширяются, пополняются всё новыми современными и востребованными направлениями. Так, с 2006 г. совместно с коллегами из Университета Неймегена (Нидерланды) и Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН Александр Евгеньевич начинает исследования эпилептиформной активности на животных моделях эпилепсии [10], а также разработку методов для предсказания приступов абсансной эпилепсии [11]; с 2008 г. совместно с коллегами из Университета Лафборо (Великобритания) начинает исследования сложной динамики и процессов генерации субтерагерцовых сигналов в полупроводниковой сверхрешетке [12].

Отмечу ещё несколько наиболее значимых и длительных коллабораций профессора Храмова, результатом которых стало множество замечательных работ: с коллегами из Индийского статистического института и Джадавпурского университета (Индия) — по исследованию сложных сетей модельных нейронов, в том числе химерного состояния в таких сетях [13]; Института сложных систем (Италия) и Берлинского университета имени Гумбольдта (Германия) — по изучению модельных сложных сетей, в том числе процессов синхронизации в них, и разработке методов анализа сетей [14, 15]; Нижегородского государственного университета — по разработке различных биоморфных систем; Национального медико-хирургического центра имени Н. И. Пирогова — по исследованию эпилепсии и другим биомедицинским направлениям [16]; Северозападного политехнического университета (Китай) — по исследованию и моделированию сетевых структур в мозге [17]; Мадридского политехнического института (Испания) — по исследованию когнитивных процессов с использованием различных методов нейровизуализации, в особенности МЭГ [18], а также по изучению эффекта когерентного резонанса в живых системах и стохастических процессов в нейронной сети головного мозга. Результаты его исследований по последним двум направлениям были обобщены совместно с работами других авторов в обзорных статьях Александра Евгеньевича, опубликованных в престижных физических журналах [19, 20].

С 2014 года фокус исследований Александра Евгеньевича всё сильнее начинает смещаться в область нейронауки, преследуя основную цель — продвинуться в понимании функционирования такой бесконечно сложной системы, как мозг человека. Эта область исследований представлена в группе Александра Евгеньевича разнообразными актуальными направлениями: от фундаментальных исследований восприятия человеком информации, включая неоднозначные визуальные стимулы [21], изучения механизмов запоминания информации и процесса обучения [22], формирования мозгом воображаемых моторных образов [23] до развития интерфейсов мозг-компьютер (ИМК). Глубокое понимание состояния развития ИМК в мировой науке и их разностороннее изучение естественным образом привело Александра Евгеньевича к опубликованию значимой обзорной статьи по данной тематике в одном из самых престижных физических журналов [24].

В последние годы исследования Александра Евгеньевича в области нейронауки преимущественно проводятся в контексте решения актуальных задач биомедицины, связанных с ранней диагностикой и реабилитацией различных нейродегенеративных, неврологических и психиатрических нарушений. При этом здесь его интересуют не только фундаментальные исследования, но и прикладные аспекты развития и внедрения систем поддержки принятия врачебных решений.

Это лишь основная часть направлений исследований, которые юбиляр когда-либо проводил, и в развитие каждого из них он с коллегами внес огромный вклад. Его работы активно цитируются как в нашей стране, так и за рубежом, о чем свидетельствуют высокие наукометрические показатели Александра Евгеньевича в базах данных научного цитирования. Александр Евгеньевич является автором более 15 коллективных монографий, являлся приглашенным редактором большого

числа специальных выпусков журналов и материалов научных конференций. Им опубликовано более 500 научных рецензируемых статей.

Александр Евгеньевич является членом редколлегии журналов *Chaos, Solitons & Fractals*, «Врач и информационные технологии», *Journal of Pediatric Neuroscience*, *Applied Science*, «Информационно-управляющие системы», *Russian Open Medical Journal*, *Russian Journal of Nonlinear Dynamics*, *Digital Diagnostics* и др. Профессор Храмов является членом наблюдательного совета Международного общества «Физика и управление» (IPACS), членом Института инженеров электротехники и электроники (IEEE), Японского нейронаучного сообщества, академиком Болгарской академии наук и искусств.

Отличительной чертой исследовательского подхода Александра Евгеньевича является разработка оригинальных, часто пионерских, методов для решения поставленных задач. Например, примечательным является развитие им вейвлетного анализа для различных приложений: от задач нелинейной динамики до нейронауки. Последнее направление оказалось особенно востребованным, что привело к написанию монографии по данной теме, опубликованной в 2015 г. престижным издательством Springer [25], которая была отмечена наградой издательства как самая цитируемая книга в 2015–2019 гг. и затем была переиздана в переработанном и дополненном виде в 2021 г. Не менее важными и востребованными оказываются и развиваемые Александром Евгеньевичем подходы к анализу и моделированию сложных систем на основе теории сетей. Особенно органично данные методы дополнили инструментарий изучения головного мозга человека. Разностороннее видение Александром Евгеньевичем данных вопросов, а также современного состояния в этой области науки нашли своё отражение в примечательном обзоре по функциональным сетям головного мозга [26]. В настоящее время в области теории сетей наибольший интерес у Александра Евгеньевича вызывает перспективное направление, связанное со взаимодействиями высоких порядков между элементами сети [27] — таким образом, анализ смещается в область теории гиперграфов.

Наконец, в последние годы Александр Евгеньевич активно развивает инновационные подходы на базе методов ИИ и машинного обучения, основной целью которых является предсказание поведения динамических систем, а также эффективная диагностика по данным нейровизуализации нейродегенеративных и психиатрических заболеваний. Здесь отмечу несколько наиболее ярких примеров: применение графовой нейронной сети для диагностики большого депрессивного расстройства по функциональной сети головного мозга, восстановленной по данным фМРТ [28]; резервуарные вычисления для предсказания динамики систем на примере сетей Курамото [29] и сетей нейроподобных осцилляторов ФитцХью–Нагумо [30]; совершенствование моделей машинного обучения для диагностики эпилепсии у людей и выделения эпилептических приступов на ЭЭГ [16]; контрастное машинное обучение для диагностики расстройств аутистического спектра у детей [31]. Визионерское видение профессором Храмовым развития информационных технологий, вычислительных систем и искусственного интеллекта в медицине отражено в его недавней монографии, подготовленной совместно с академиком РАН, генеральным директором Пироговского центра, профессором, доктором медицинских наук О. Э. Карповым [32]. Особый интерес у Александра Евгеньевича вызывают вопросы интерпретируемости и объяснимости методов ИИ в задачах биомедицины.

Шло время, менялись должности Александра Евгеньевича, а иногда и места работы (за время своей научной деятельности он успел поработать в Саратовском государственном университете, Саратовском государственном техническом университете, Университете Иннополис, а в настоящее время является руководителем Балтийского центра нейротехнологий и искусственного интеллекта БФУ им. И. Канта и приглашенным ведущим ученым в лаборатории исследований тактильной коммуникации, созданной в рамках программы мегагрантов в Институте русского языка им. А. С. Пушкина), но неизменным у юбиляра остается одно — настоящая любовь к Науке, тяга к познанию и изучению неисследованного. Результатом такой самоотдачи делу



После защиты А. К. Куцем диссертации на соискание ученой степени к.ф.-м.н. в совете по специальности «Биофизика» (председатель — А. Е. Храмов) на базе БФУ им. И. Канта (декабрь 2023, Калининград, Россия). Слева направо: Е. Б. Постников, В. В. Клиньшов, А. В. Андреев, В. В. Грубов, С. А. Куркин, В. Б. Казанцев, В. А. Максименко, С. Ю. Гордлеева, А. К. Куц, В. В. Рафальский, Н. Н. Шушарина, А. Е. Храмов, А. А. Бадарин. Сзади на экране, слева направо, сверху вниз: Д. Г. Захаров, А. С. Караваяев, С. А. Лобов, М. Д. Прохоров, М. В. Иванченко

и увлеченности стало то, что к Александру Евгеньевичу всегда тянулись талантливые ученики. Первую лабораторию — физики нелинейных явлений НИИ Естественных наук Саратовского государственного университета — Александр Евгеньевич создал и возглавил уже в 2004 году. Со временем она переросла «обычную» лабораторию и эволюционировала в динамично развивающуюся научную школу, которая стабильно пополняется талантливой и мотивированной молодежью и готовит уже зрелых ученых — кандидатов и докторов наук. Так, под руководством Храмова А. Е. защитилось 17 кандидатов и 3 доктора наук, а один из учеников, Максименко В. А., был удостоен в 2020 г. престижной научной премии Президента РФ в области науки и инноваций для молодых учёных. Научная школа Храмова А. Е. была признана на самом высоком российском уровне и трижды становилась победителем конкурса по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации — в 2018, 2020 и 2022 годах.

Александр Евгеньевич — не просто наш коллега и руководитель, а Учитель, наставник, друг и просто очень хороший человек, к которому всегда можно обратиться с вопросом или просьбой и который никогда не откажет в поддержке. Своими мудрыми советами, глубокими познаниями в различных областях и бесконечным энтузиазмом он вдохновляет и мотивирует коллег и учеников на постижение новых научных высот.

*Коллеги и друзья от души поздравляют Александра Евгеньевича с 50-летием и желают ему крепкого здоровья, вдохновения, новых научных идей и энергии на их реализацию, много талантливых учеников и удачи во всех начинаниях!*

## Список литературы

1. *Hramov A. E., Koronovskii A. A., Popov P. V., Rempen I. S.* Chaotic synchronization of coupled electron-wave systems with backward waves // *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. 2005. Т. 15, iss. 1. P. 013705. DOI: 10.1063/1.1857615.
2. *Dmitriev B. S., Hramov A. E., Koronovskii A. A., Starodubov A. V., Trubetskov D. I., Zharkov Y. D.* First experimental observation of generalized synchronization phenomena in microwave oscillators// *Physical Review Letters*. 2009. Т. 102, iss. 7. P. 074101. DOI: 10.1103/PhysRevLett.102.074101.
3. *Filatov R. A., Hramov A. E., Bliokh Y. P., Koronovskii A. A., Felsteiner J.* Influence of background gas ionization on oscillations in a virtual cathode with a retarding potential // *Physics of Plasmas*. 2009. Vol. 16, iss. 3. P. 033106. DOI: 10.1063/1.3080200.
4. *Kurkin S. A., Hramov A. E., Koronovskii A. A.* Microwave radiation power of relativistic electron beam with virtual cathode in the external magnetic field // *Applied physics letters*. 2013. Vol. 103, iss. 4. P. 043507. P. 122110. DOI: 10.1063/1.4816471.
5. *Kurkin S. A., Badarin A. A., Koronovskii A. A., Hramov A. E.* The development and interaction of instabilities in intense relativistic electron beams // *Physics of Plasmas*. 2015. Vol. 22, iss. 12. P. 122110. DOI: 10.1063/1.4938216.
6. *Hramov A. E., Koronovskii A. A.* An approach to chaotic synchronization // *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. 2004. Vol. 14, iss. 3. P. 603–610. DOI: 10.1063/1.1775991.
7. *Hramov A. E., Koronovskii A. A.* Generalized synchronization: A modified system approach // *Physical Review E—Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*. 2005. Vol. 71, iss. 6. P. 067201. DOI: 10.1103/PhysRevE.71.067201.
8. *Трубецков Д. И., Храмов А. Е.* Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. В 2 т. М.: Физматлит, 2004. 496 с.
9. *Короновский А. А., Храмов А. Е.* Непрерывный вейвлетный анализ и его приложения. М.: Физматлит, 2003. 176 с.
10. *Hramov A., Koronovskii A. A., Midzyanovskaya I. S., Sitnikova E., Van Rijn C. M.* On-off intermittency in time series of spontaneous paroxysmal activity in rats with genetic absence epilepsy // *CHAOS: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. 2006. Vol. 16, iss. 4. P. 043111. DOI: 10.1063/1.2360505.
11. *Maksimenko V. A., Van Heukelum S., Makarov V. V., Kelderhuis J., Lüttjohann A., Koronovskii A. A., Hramov A. E., Van Luijtelaaar G.* Absence seizure control by a brain computer interface // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7, iss. 1. P. 2487. DOI: 10.1038/s41598-017-02626-y.
12. *Hramov A. E., Makarov V. V., Koronovskii A. A., Kurkin S. A., Gaifullin M. B., Alexeeva N. V., Alekseev K. N., Greenaway M. T., Fromhold T. M., Patanè A., Kusmartsev F. V., Maksimenko V. A., Moskalenko O. I., Balanov A. G.* Subterahertz chaos generation by coupling a superlattice to a linear resonator // *Physical review letters*. 2014. Vol. 112, iss. 11. P. 116603. DOI: 10.1103/PhysRevLett.112.116603.
13. *Maksimenko V. A., Makarov V. V., Bera B. K., Ghosh D., Dana S. K., Goremyko M. V., Frolov N. S., Koronovskii A. A., Hramov A. E.* Excitation and suppression of chimera states by multiplexing // *Physical Review E*. 2016. Vol. 94, iss. 5. P. 052205. DOI: 10.1103/PhysRevE.94.052205.
14. *Hramov A. E., Koronovskii A. A., Kurovskaya M. K., Boccaletti S.* Ring intermittency in coupled chaotic oscillators at the boundary of phase synchronization // *Physical review letters*. 2006. Vol. 97, iss. 11. P. 114101. DOI: 10.1103/PhysRevLett.97.114101.
15. *Pitsik E., Frolov N., Hauke Kraemer K., Grubov V., Maksimenko V., Kurths J., Hramov A.* Motor execution reduces EEG signals complexity: Recurrence quantification analysis study // *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. 2020. Vol. 30, iss. 2. P. 023111. DOI: 10.1063/1.5136246.
16. *Karpov O. E., Grubov V. V., Maksimenko V. A., Kurkin S. A., Smirnov N. M., Utyashev N. P., Andrikov D. A., Shusharina N. N., Hramov A. E.* Extreme value theory inspires explainable machine learning approach for seizure detection // *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12, iss. 1. P. 11474. DOI: 10.1038/s41598-022-15675-9.

17. Wang W., He C., Wang Z., Hramov A., Fan D., Yuan M., Luo X., Kurths J. Dynamic analysis of synaptic loss and synaptic compensation in the process of associative memory ability decline in Alzheimer's disease // *Applied Mathematics and Computation*. 2021. Vol. 408. P. 126372. DOI: 10.1016/j.amc.2021.126372.
18. Chholak P., Niso G., Maksimenko V. A., Kurkin S. A., Frolov N. S., Pitsik E. N., Hramov A. E., Pisarchik A. N. Visual and kinesthetic modes affect motor imagery classification in untrained subjects // *Scientific reports*. 2019. Vol. 9, iss. 1. P. 9838. DOI: 10.1038/s41598-019-46310-9.
19. Pisarchik A. N., Hramov A. E. Coherence resonance in neural networks: Theory and experiments // *Physics Reports*. 2023. Vol. 1000, iss. L453–L457. P. 1–57. DOI: 10.1016/j.physrep.2022.11.004
20. Писарчик А. Н., Храмов А. Е. Стохастические процессы в нейронной сети головного мозга и их влияние на восприятие и принятие решений // *Успехи физических наук*. 2023. Т. 193, вып. 12. С. 1298–1324. DOI: 10.3367/UFNe.2022.12.039309.
21. Maksimenko V., Kuc A., Frolov N., Kurkin S., Hramov A. Effect of repetition on the behavioral and neuronal responses to ambiguous Necker cube images // *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11, iss. 1. P. 3454. DOI: 10.1038/s41598-021-82688-1.
22. Grubov V. V., Khramova M. V., Goman S., Badarin A. A., Kurkin S. A., Andrikov D. A., Pitsik E., Antipov V., Petushok E., Brusinskii N., Bukina T., Fedorov A. A., Hramov A. E. Open-loop neuroadaptive system for enhancing student's cognitive abilities in learning // *IEEE Access*. 2024. Vol. 12. P. 49034–49049. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3383847.
23. Kurkin S., Gordleeva S., Savosenkov A., Grigorev N., Smirnov N., Grubov V. V., Udoratina A., Maksimenko V., Kazantsev V., Hramov A. E. Transcranial magnetic stimulation of the dorsolateral prefrontal cortex increases posterior theta rhythm and reduces latency of motor imagery // *Sensors*. 2023. Vol. 23, iss. 10. P. 4661. DOI: 10.3390/s23104661.
24. Hramov A. E., Maksimenko V. A., Pisarchik A. N. Physical principles of brain–computer interfaces and their applications for rehabilitation, robotics and control of human brain states // *Physics Reports*. 2021. Vol. 918. P. 1–133. DOI: 10.1016/j.physrep.2021.03.002.
25. Hramov A. E., Koronovskii A. A., Makarov V. A., Pavlov A. N., Sitnikova E. *Wavelets in neuroscience*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2015. 518 p.
26. Храмов А. Е., Фролов Н. С., Максименко В. А., Куркин С. А., Казанцев В. Б., Писарчик А. Н. Функциональные сети головного мозга: от восстановления связей до динамической интеграции // *Успехи физических наук*. 2021. Т. 191, №. 6. С. 614–650. DOI: 10.3367/UFNr.2020.06.038807.
27. Anwar M. S., Frolov N., Hramov A. E., Ghosh D. Self-organized bistability on globally coupled higher-order networks // *Physical Review E*. 2024. Vol. 109, iss. 1. P. 014225. DOI: 10.1103/PhysRevE.109.014225.
28. Pitsik E. N., Maksimenko V. A., Kurkin S. A., Sergeev A. P., Stoyanov D., Paunova R., Kandilarova S., Simeonova D., Hramov A. E. The topology of fMRI-based networks defines the performance of a graph neural network for the classification of patients with major depressive disorder // *Chaos, Solitons & Fractals*. 2023. Vol. 167. P. 113041. DOI: 10.1016/j.chaos.2022.113041.
29. Andreev A. V., Badarin A. A., Maksimenko V. A., Hramov A. E. Forecasting macroscopic dynamics in adaptive Kuramoto network using reservoir computing // *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. 2022. Vol. 32, no. 10. DOI: 10.1063/5.011412.
30. Hramov A. E., Kulagin N., Andreev A. V., Pisarchik A. N. Forecasting coherence resonance in a stochastic Fitzhugh–Nagumo neuron model using reservoir computing // *Chaos, Solitons & Fractals*. 2024. Vol. 178. P. 114354. DOI: 10.1016/j.chaos.2023.114354.
31. Kabir M. S., Kurkin S., Portnova G., Martynova O., Wang Z., Hramov A. Contrastive machine learning reveals in EEG resting-state network salient features specific to autism spectrum disorder // *Chaos, Solitons & Fractals*. 2024. Vol. 185. P. 115123. DOI: 10.1016/j.chaos.2024.115123.
32. Карпов О. Э., Храмов А. Е. *Информационные технологии, вычислительные системы и искусственный интеллект в медицине*. М.: ДПК Пресс, 2022. 480 с.