

АННОТАЦИЯ
научных исследований, проведенных в 1 полугодии 2019 года

Договор между Министерством образования и науки Российской Федерации, федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского",

(наименование российской образовательной организации высшего образования, научного учреждения, подведомственного Федеральному агентству научных организаций, государственного научного центра Российской Федерации - получателя гранта)

и Горбанем Александром Николаевичем _____

(фамилия, имя, отчество (при наличии) ведущего ученого)

о выделении гранта Правительства Российской Федерации для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных организациях высшего образования, научных учреждениях, подведомственных Федеральному агентству научных организаций, и государственных научных центрах Российской Федерации

от 5 февраля 2018 г. № 14.Y26.31.0022

Область наук Компьютерные и информационные науки

Направление научного исследования Масштабируемые сети систем искусственного интеллекта для анализа данных растущей размерности

Наименование лаборатории «лаборатория перспективных методов анализа многомерных данных»

Ведущий ученый



(подпись)

Горбань А.Н.
(фамилия, имя, отчество (при наличии))

Проректор по научной работе _____

(должность уполномоченного лица российской образовательной организации высшего образования научного учреждения, подведомственного Федеральному агентству научных организаций, государственного научного центра Российской Федерации)

(подпись)
М.П.

Казанцев В.Б.
(фамилия, имя, отчество)

1. Краткое описание выполненных работ научного исследования

В ходе реализации проекта были проведены следующие работы согласно плану работ:

- I. Оценки стохастической отделимости и VC-размерность;
- II. Теория и вычислительный эксперимент по передаче знаний в сетях систем искусственного интеллекта;
- III. Разработка теории разреженных и робастных решений проблем анализа многомерных данных множествами независимых малых нейронных ансамблей;
- IV. Разработка теории «одевания» приближенных моделей данных малыми нейронными ансамблями с улучшением качества решений (измеряемого, например, чувствительностью и специфичностью);
- V. Разработка теоретико-игрового подхода к моделированию с оптимальной сложностью;
- VI. Теоретический анализ максимальной достижимой точности и принципа неопределенности в проблеме моделирования/идентификации/наблюдения;
- VII. Разработка, программная реализация и тестирования алгоритмов «одевания», служащих для улучшения приближенной модели данных за счет подсоединения множества независимых или слабо зависимых малых нейронных ансамблей;
- VIII. Разработка, программная реализация и тестирование алгоритмов моделирования с оптимальной сложностью, основанных на анализе игр против наблюдателя (миры наихудших случаев);
- IX. Соотнесение активностей нейронов и сетей с паттернами поведения;
- X. Анализ визуализированных данных ретроспленальной и аудиальной коры в то время, когда животным даются релевантные стимулы (стимулы виртуальной реальности или сложные звуковые стимулы);
- XI. Участие ведущего ученого и членов научного коллектива в конференциях, научных семинарах, симпозиумах;
- XII. Отбор коллекций и потоков данных для детального анализа;
- XIII. Адаптация методов и программного обеспечения для анализа отобранных данных; анализ отобранных данных;
- XIV. Подготовка к публикации статей по результатам проведенной работы;
- XV. Мастер-классы для студентов, аспирантов и молодых ученых, проводимые А.Н. Горбанем
- XVI. Организация международного семинара «Геометрия больших данных»;
- XVII. Подача заявки на патент;
- XVIII. Оснащение лаборатории оборудованием, материалами и комплектующими для проведения исследований;
- XIX. Анализ многоканальных электрофизиологических данных, полученных от нейронных культур. Идентификация изменений активности при введении модулирующих препаратов (в перспективе – тестирование медицинских препаратов), математическое моделирование исследуемых процессов;
- XX. Анализ данных электрокардиограммы для оценки состояния человека.

2. Краткое описание полученных научных результатов

I. - В рамках данного пункта работ были выполнены следующие работы:

а. Дана оценка пределов гарантированной применимости линейного дискриминанта Фишера для исправления ошибок систем искусственного интеллекта. По результатам работ опубликована научная работа и представлен доклад на международной конференции:

S.V. Sidorov, N.Yu. Zolotych, On the Linear Separability of Random Points in the d -dimensional Spherical Layer and in the d -dimensional Cube, proceeding of IJCNN 2019 - International Joint Conference on Neural Networks, Budapest Hungary, 14-19 July 2019, accepted.

б. Даны обобщения и расширения теоремы стохастического разделения на ядерные классификаторы. Общий результат отделимости для двух случайных множеств также установлен. По результатам работ опубликована научная работа и представлен доклад на международной конференции:

I.Y. Tyukin, A. Gorban, B. Grechuk, Kernel Stochastic Separation Theorems and Separability Characterizations of Kernel Classifiers, proceeding of IJCNN 2019 - International Joint Conference on Neural Networks, Budapest Hungary, 14-19 July 2019, accepted.

в. Построена новая теория размерности данных, основанная на теоремах о стохастической разделимости. Разработано программное обеспечение для оценки этой размерности в базах данных (опубликовано онлайн на github). По результатам работ опубликована научная работа и представлен доклад на международной конференции:

L. Albergante, J. Bac, A. Zinovyev, Estimating the effective dimension of large biological datasets using Fisher separability analysis, proceeding of IJCNN 2019 - International Joint Conference on Neural Networks, Budapest Hungary, 14-19 July 2019, accepted.

II. - В рамках пункта работ «Теория и вычислительный эксперимент по передаче знаний в сетях систем искусственного интеллекта» были рассмотрены и проанализированы биологические, физические и математические проблемы, лежащие в основе фундаментального вопроса: как многомерный мозг может организовать надежное и быстрое обучение в многомерном мире данных с помощью простых инструментов?

Два критических приложения рассмотрены для иллюстрации этого подхода: однократная коррекция ошибок в интеллектуальных системах и появление статических и ассоциативных воспоминаний в ансамблях одиночных нейронов. По результатам работ опубликована научная работа:

AN Gorban, VA Makarov, IY Tyukin, The unreasonable effectiveness of small neural ensembles in high-dimensional brain, Physics of Life Reviews, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2018.09.005> – **(IF 2017 13.783, Q1 in biology and biophysics, the most cited journal in these categories)**

Журнал организовал широкое обсуждение этой работы и новых идей экспертами в нейронауках. 9 статей комментариев опубликованы в настоящее время:

[1] Kůrková V. Some insights from high-dimensional spheres: Comment on “The unreasonable effectiveness of small neural ensembles in highdimensional brain” by Alexander N. Gorban et al. Phys Life Rev 2019; <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2019.03.014>

[2] Tozzi A, Peters JF. The Borsuk-Ulam theorem solves the curse of dimensionality: Comment on ”The unreasonable effectiveness of small neural ensembles in high-dimensional brain” by Alexander N. Gorban et al. Phys Life Rev 2019; <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2019.04.008>

[3] Varona P. High and Low dimensionality in Neuroscience and Artificial Intelligence: Comment on “The unreasonable effectiveness of small neural ensembles in high-dimensional brain” by A.N. Gorban et al. Phys Life Rev 2019; <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2019.02.008>

[4] Barrio R. “Brainland” vs. “flatland”: how many dimensions do we need in brain dynamics? Comment on the paper “The unreasonable effectiveness of small neural ensembles in high-dimensional brain” by Alexander N. Gorban et al. Phys Life Rev 2019; <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2019.02.010>

[5] Kreiman G. It’s a small dimensional world after all: Comment on “The unreasonable effectiveness of small neural ensembles in high-dimensional brain” by Alexander N. Gorban et al. Phys Life Rev 2019; <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2019.03.015>

[6] Fortuna L. Nonlinear effects for the reinforcement of small neural ensembles in high dimensional brain: Comment on “The unreasonable effectiveness of small neural ensembles in high-dimensional brain” by A.N. Gorban, V.A. Makarov, I.Y. Tyukin. Phys Life Rev 2019; <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2019.03.004>

[7] Van Leeuwen C. The reasonable ineffectiveness of biological brains in applying the principles of high-dimensional cybernetics: Comment on “The unreasonable effectiveness of small neural ensembles in high-dimensional brain” by Alexander N. Gorban et al. Phys Life Rev 2019; <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2019.03.005>

[8] Quian Quiroga R. Akakhievitch revisited: Comment on “The unreasonable effectiveness of small neural ensembles in high-dimensional brain” by Alexander N. Gorban et al. Phys Life Rev 2019; <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2019.02>

[9] Kreinovich V. The heresy of unheard-of simplicity: Comment on “The unreasonable effectiveness of small neural ensembles in high-dimensional brain” by A.N. Gorban, V.A. Makarov, and I.Y. Tyukin. Phys Life Rev 2019; <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2019.04.006>

Итог дискуссии с обсуждением всех комментариев и новых идей опубликован в нашей статье: AN. Gorban, VA. Makarov, IY. Tyukin, Symphony of high-dimensional brain, Phys Life Rev, Available online 25 June 2019, <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2019.06.003> (IF 2017=13.783, Q1 in biology and biophysics, the most cited journal in these categories)

III, XX. - В рамках пункта работ «Разработка теории разреженных и робастных решений проблем анализа многомерных данных множествами независимых малых нейронных ансамблей» и «Анализ данных электрокардиограммы для оценки состояния человека» была исследована проблема, связанная с тем, как коррекция ошибки происходит в ансамбле глубоких сверточных сетей для задач сегментации электрокардиограммы (ЭКГ). Также изучена возможность использования информации об ошибках ансамбля для оценки качества представления данных, построенных сетью. По результатам работ опубликована научная работа и представлен доклад на международной конференции:

I.Sereda, S.Alekseev, A.Koneva, R.Kataev, G.Osipov, ECG Segmentation by Neural Networks: Errors and Correction, proceeding of IJCNN 2019 - International Joint Conference on Neural Networks, Budapest Hungary, 14-19 July 2019

IV. - В рамках пункта работ «Разработка теории «одевания» приближенных моделей данных малыми нейронными ансамблями с улучшением качества решений (измеряемого, например, чувствительностью и специфичностью)» построена и протестирована новая технология, опубликована статья в журнале

AN Gorban, R Burton, I Romanenko, IY Tyukin, One-trial correction of legacy AI systems and stochastic separation theorems, Information Sciences 484 (2019) 237–254 – (IF 2016 4.832, Q1 in computer science, information systems).

V. - В рамках пункта работ «Разработка теоретико-игрового подхода к моделированию с оптимальной сложностью» разработан подход к моделированию, основанный на игре нескольких лиц: один из игроков имеет своей целью построить наилучшую модель, а другие – пытаются ему

помешать, модифицируя данные о поведении системы в пределах коридора допустимых ошибок. Готовится статья в Q1 журнал.

VI. - В рамках пункта работ «Теоретический анализ максимальной достижимой точности и принципа неопределенности в проблеме моделирования/идентификации/наблюдения» получены оценки наименьшего проигрыша в задаче о игре моделирования (см. предыдущий пункт). Готовится статья в Q1 журнал.

VII. - В рамках пункта работ «Разработка, программная реализация и тестирования алгоритмов «одевания», служащих для улучшения приближенной модели данных за счет подсоединения множества независимых или слабо зависимых малых нейронных ансамблей» предложены алгоритмы для решения этой задачи, они имплементированы и протестированы, в частности на задаче автоматического распознавания визуальных образов языка глухонемых. Опубликована статья.

IY Tyukin, AN Gorban, S Green, D Prokhorov, Fast Construction of Correcting Ensembles for Legacy Artificial Intelligence Systems: Algorithms and a Case Study. Information Sciences 485 (2019), 230-247 – (IF 2016 4.832, Q1 in computer science, information systems).

VIII. - В рамках пункта работ «Разработка, программная реализация и тестирование алгоритмов моделирования с оптимальной сложностью, основанных на анализе игр против наблюдателя (миры наихудших случаев)» ведется разработка программного обеспечения, которое будет опубликовано на github по мере готовности вместе с результатами тестов.

IX. - В рамках пункта работ «Соотнесение активностей нейронов и сетей с паттернами поведения» была разработана модель, позволяющая прогнозировать и воспроизводить экспериментально наблюдаемое поведение нейронной культуры, связанное с генерацией паттернов активности. По результатам работ опубликована научная работа:

IY Tyukin, D Iudin, F Iudin, T. Tyukina, V. Kazantsev, I Muhina, AN Gorban, Simple model of complex dynamics of activity patterns in developing networks of neuronal cultures, PLoS One, 2019, accepted (IF 2.766, Q1 in Multidisciplinary Sciences).

X. - В рамках данного пункта работ проводится сбор и анализ визуализированных данных ретроспленальной и аудиальной коры в то время, когда животным даются релевантные стимулы.

XI. Коллектив исполнителей проекта принял участие в следующих конференциях и семинарах:

- 13 - 18 мая 2019 года, III международная конференция «Наука будущего», г. Сочи (в том числе лекция и мастер-класс А.Н. Горбаня для молодых ученых);
- 14 - 19 июля 2019 года, объединенная конференция по нейронным сетям (The International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN2019)), Будапешт, Венгрия.

XII, XIII. - Продолжается отбор и коллекция потоков экспериментальных данных ЭМГ-паттернов и электрокардиограмм, адаптация методов и программного обеспечения для анализа отобранных данных и анализ отобранных данных.

XIV. - Опубликованные статьи в журналах из коллекции Web of Science Core Collection:

1. H Chen, L Albergante, JY Hsu, CA Lareau, GL Bosco, J Guan, S Zhou, AN Gorban, DE Bauer, MJ Aryee, DM Langenau, A Zinovyev, JD Buenrostro, G-C Yuan, L Pinello, Single-cell trajectories

- reconstruction, exploration and mapping of omics data with STREAM. Nature communications. 2019 Apr 23;10(1):1903. **(IF 2017 12.353, Q1 in Multidisciplinary Sciences)**
2. AN Gorban, VA Makarov, IY Tyukin, The unreasonable effectiveness of small neural ensembles in high-dimensional brain, Physics of Life Reviews, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2018.09.005> – **(IF 2017 13.783, Q1 in biology and biophysics, the most cited journal in these categories)**
 3. AG Korotkov, AO Kazakov, TA Levanova, GV Osipov, The dynamics of ensemble of neuron-like elements with excitatory couplings, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation 71 (2019), 38-49 – **(IF 2017 3.967, Q1 in mathematics, applied, and mathematics, interdisciplinary applications)**.
 4. AN Gorban, R Burton, I Romanenko, IY Tyukin, One-trial correction of legacy AI systems and stochastic separation theorems, Information Sciences 484 (2019) 237–254 – **(IF 2016 4.832, Q1 in computer science, information systems)**.
 5. IY Tyukin, AN Gorban, S Green, D Prokhorov, Fast Construction of Correcting Ensembles for Legacy Artificial Intelligence Systems: Algorithms and a Case Study. Information Sciences 485 (2019), 230-247 – **(IF 2016 4.832, Q1 in computer science, information systems)**.
 6. IY Tyukin, D Iudin, F Iudin, T. Tyukina, V. Kazantsev, I Muhina, AN Gorban, Simple model of complex dynamics of activity patterns in developing networks of neuronal cultures, PLoS One, 2019, accepted **(IF 2.766, Q1 in Multidisciplinary Sciences)**.
 7. A.N. Gorban, Universal Lyapunov functions for non-linear reaction networks, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2019.104910> **(IF=3.967, Q1 in Mathematics, applied, and mathematics, interdisciplinary applications)**
 8. Yakhno, T.; Drozdov, M; Yakhno, V. Giant Water Clusters: Where Are They From? Int. J. Mol. Sci. 2019, 20, 1582; doi:10.3390/ijms20071582. <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/7/1582> **(IF 4.183, Q1 in Chemistry)**
 9. O Kuzenkov, A Morozov. Towards the Construction of a Mathematically Rigorous Framework for the Modelling of Evolutionary Fitness. Bulletin of Mathematical Biology. 2019 Apr 4:1-26. **(IF 2017 1.484, Q3 in Biology Mathematical)**
 10. T Yakhno, V Yakhno, A Study of the Structural Organization of Water and Aqueous Solutions by Means of Optical Microscopy, Crystals 9(1) (2019), 52; <https://doi.org/10.3390/cryst9010052> – **(IF 2017 2.144, Q2 in Crystallography and Materials Science, Multidisciplinary)**

- Подготовленные и представленные статьи:

11. EV Pankratova, AI Kalyakulina, SV Stasenko, SYu Gordleeva, IA Lazarevich, VB. Kazantsev, Neuronal synchronization enhanced by neuron-astrocyte interaction, Nonlinear Dynamics, 2019, accepted **(IF 2017 4.339, Q1 In Engineering)**.
12. A.N. Gorban, E.M. Mirkes, I.Y. Tugin, How deep should be the depth of convolutional neural networks: a backyard dog case study. Cognitive Computation, 2019, accepted **(IF=4.287, Q1 in Computer science, artificial intelligence)**
13. A.N. Gorban, A. Zinovyev. Basic, simple and extendable kinetic model of protein synthesis Mathematical Biosciences and Engineering, accepted **(IF= 1.313, Q3 in Mathematical & computational biology)**
14. S.V. Sidorov, N.Yu. Zolotykh, On the Linear Separability of Random Points in the d -dimensional Spherical Layer and in the d -dimensional Cube, proceeding of IJCNN 2019 - International Joint Conference on Neural Networks, Budapest Hungary, 14-19 July 2019, accepted
15. O.Kuzenkov, A.Morozov, G.Kuzenkova, Recognition of patterns of optimal diel vertical migration of zooplankton using neural networks, proceeding of IJCNN 2019 - International Joint Conference on Neural Networks, Budapest Hungary, 14-19 July 2019, accepted
16. I.Sereda, S.Alekseev, A.Koneva, R.Kataev, G.Osipov, ECG Segmentation by Neural Networks: Errors and Correction, proceeding of IJCNN 2019 - International Joint Conference on Neural Networks, Budapest Hungary, 14-19 July 2019, accepted

17. E.M.Mirkes, J. Allohibi, A.N. Gorban, Do Fractional Norms and Quasinorms Help to Overcome the Curse of Dimensionality?, proceeding of IJCNN 2019 - International Joint Conference on Neural Networks, Budapest Hungary, 14-19 July 2019, accepted
18. L. Albergante, J. Bac, A. Zinovyev, Estimating the effective dimension of large biological datasets using Fisher separability analysis, proceeding of IJCNN 2019 - International Joint Conference on Neural Networks, Budapest Hungary, 14-19 July 2019, accepted
19. I.Y.Tyukin, A.Gorban, B. Grechuk, Kernel Stochastic Separation Theorems and Separability Characterizations of Kernel Classifiers, proceeding of IJCNN 2019 - International Joint Conference on Neural Networks, Budapest Hungary, 14-19 July 2019, accepted
20. S.V. Stasenko, I.A. Lazarevich, M.A. Rozhnova, E.V. Pankratova, V.B. Kazantsev, Oscillations of the brain extracellular matrix induced by interactions with neurons, Plos One, submitted (**IF 2.766, Q1 in Multidisciplinary Sciences**)

Подготовлен и представлен пресс-релиз по технологии, позволяющей определить состояние и активность генов и другие важные данные одновременно для десятков тысяч клеток, на портале ННГУ им.Н. И Лобачевского (<http://www.unn.ru/site/about/news/vetvyashcheesya-vremya-rasskazhet-o-rabote-genov-desyatkov-tysyach-kletok-odnovremenno>), а также на зарубежных информационных порталах, в том числе:

EurekAlert! [http://ct.moreover.com/?a=39338929213&p=1pl&v=1&x=RnaGMVue_5H7jmYILCcOFA](http://ct.moreover.com/?a=39338929213&p=1pl&v=1&x=RnaGMVue_5H7jmYILCcOFA;);
The Medical News

http://ct.moreover.com/?a=39345285079&p=1pl&v=1&x=oJTpgdRIHxjrPSO431ew_g ;

Bioengineer

<https://bioengineer.org/the-grammar-of-cell-development-branching-time/>;

Science Magazine

<https://scienmag.com/the-grammar-of-cell-development-branching-time/>.

Текст пресс-релиза (русская версия)

Грамматика ветвящегося времени клеточного развития

Крупнейшее достижение науки последних лет – это технология получения информации о тысячах индивидуальных клеток, извлеченных из организма. Так называемые «омики» отдельных клеток (геномика, эпигеномика, транскриптомика, протеомика) дают нам геномы тысяч индивидуальных клеток, состояния и активности различных генов в них, а также наличие различных протеинов в этих клетках. Данные о каждой клетке удобно представить как точку в очень многомерном пространстве. В результате работы новой технологии ученые получают тысячи точек (клеток) в пространстве огромной размерности. Эти данные открывают колоссальные и еще неполностью осознанные возможности для развития биологии и персонализированной медицины.

Идея ветвящегося времени развития позволяет преобразовать получаемые горы данных к более понятному, читаемому и интерпретируемому виду. Представляется, что каждая клетка лежит на некоторой траектории развития. Эти траектории могут ветвиться там, где клетка в своем развитии делает выбор одного варианта будущего из нескольких возможных. Геометрически эти траектории развития с точками бифуркации на них представляют собой ветвящееся время развития.

Новая технология извлечения этого ветвящегося времени из данных была разработана большой международной командой исследователей, включающей 15 ученых из 6 стран: США, Китая, Франции, Италии, Великобритании и России. Сложные деревья строятся с использованием грамматик элементарных преобразований. На каждом шаге базового алгоритма выбирается то

элементарное преобразование, которое дает наибольший выигрыш в качестве аппроксимации данных.

Метод топологических грамматик для обработки сложных данных общей природы был предложен еще в 2007 г. А.Н. Горбанем (Великобритания, в настоящее время руководит выполнением мегагранта в ННГУ им. Лобачевского, Нижний Новгород) и его учеником А.Ю. Зиновьевым (Франция, в настоящее время сотрудничает в выполнении мегагранта в ННГУ). Этот метод развивался в рамках широкого международного сотрудничества и был использован для создания специализированного программного продукта STREAM, строящего ветвящее время клеточного развития из данных «омик» индивидуальных клеток. Статья с описанием метода и первых результатов его применения опубликована в новом номере журнала «Nature Communication»:

H Chen, L Albergante, JY Hsu, CA Lareau, G Lo Bosco, J Guan, S Zhou, AN Gorban, DE Bauer, MJ Aryee, DM Langenau, A Zinovyev, JD Buenrostro, G-C Yuan, and L Pinello, Single-cell trajectories reconstruction exploration and mapping of omics data with STREAM, Nature Communications, volume 10, Article number: 1903 (2019), <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09670-4>

Программное обеспечение STREAM, его вычислительное ядро ElPiGraph и другие относящиеся к проекту программы свободно доступны онлайн: <https://github.com/lamhda>

Проект частично поддержан Министерством Науки и Высшего Образования РФ, проект № 14.Y26.31.0022.

XV. - В лаборатории еженедельно проводятся семинары по тематике проекта, где выступают как члены коллектива, так и приглашенные исследователи. Под руководством Горбаня А.Н. были проведена серия установочных семинаров по второму этапу реализации работ по проекту, где были обсуждены траектории развития научных исследований участников проекта, определены результаты и сроки реализации.

А.Н. Горбань провел курс лекций «Интеллектуальная обработка данных» для студентов старших курсов, аспирантов и молодых ученых. По результатам курса слушатели получили удостоверения и сертификаты об повышении квалификации.

Также А.Н. Горбань руководит научными работами студентов магистратуры ИИТММ.

А.Н. Горбань прочитал популярную лекцию по проекту для широкой аудитории студентов, аспирантов и научных работников в ИПФ РАН.

XVI. - Идет активная работа по организации международного семинара «Геометрия больших данных» в рамках международной научно-технической конференции «Нейроинформатика-2019» (Россия, октябрь 2019). А.Н. Горбань является председателем программного комитета этой конференции (<http://neuroinfo.ru/index.php/ru/info/progcomitee>).

XVII. - Идет активная работа по подготовке необходимой документации для подачи заявки на патент.

XVIII. - Идет подготовка закупочной документации для дооснащения лаборатории необходимым оборудованием, материалами и комплектующими для проведения исследований.

XIX. - В рамках пункта работ «Анализ многоканальных электрофизиологических данных, полученных от нейронных культур. Идентификация изменений активности при введении

модулирующих препаратов (в перспективе – тестирование медицинских препаратов), математическое моделирование исследуемых процессов» были выполнены следующие работы:

а. Исследована феноменологическая модель ансамбля двух нейроноподобных элементов Фитц-Хью-Нагумо с симметричными возбуждающими связями. Основным преимуществом предлагаемой модели является новый подход к модели связи, который реализуется гладкой функцией, аппроксимирующей прямоугольную функцию. В модели наблюдали большое разнообразие типов нейроноподобной активности, включая регулярную синфазную, антифазную и последовательную пиковую активность. По результатам работы подготовлена и опубликована научная статья:

AG Korotkov, AO Kazakov, TA Levanova, GV Osipov, The dynamics of ensemble of neuron-like elements with excitatory couplings, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 71 (2019), 38-49 – **(IF 2017 3.181, Q1 in mathematics, applied, and mathematics, interdisciplinary applications)**

б. Разработана и исследована модель нейронной синхронизации, опосредованной активностью глиальных клеток -астроцитов. По результатам работы подготовлена и опубликована научная статья:

EV Pankratova, AI Kalyakulina, SV Stasenko, SYu Gordleeva, IA Lazarevich, VB. Kazantsev, Neuronal synchronization enhanced by neuron-astrocyte interaction, has been accepted for publication in *Nonlinear Dynamics*, 2019 **(IF 2017 4.339, Q1 In Engineering)**.

в. Предложен новый механизм образования и разрушения гигантских кластеров воды, описанный в литературе. Предложена принципиальная схема динамики фазовых переходов в воде, содержащей ЛКС, при испарении. По результатам работы подготовлена и опубликована научная статья:

Yakhno, T.; Drozdov, M; Yakhno, V. Giant Water Clusters: Where Are They From? *Int. J. Mol. Sci.* 2019, 20, 1582; doi:10.3390/ijms20071582. <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/7/1582> **(IF 3.687, Q1 in)**

г. Сформулирован вариационный принцип моделирования отбора, который гласит, что в самовоспроизводящейся системе с наследованием выбор в конечном итоге максимизирует эволюционную приспособленность. Показано, как выражения для эволюционной пригодности могут быть получены для класса моделей с возрастным структурированием, включая системы с задержкой, которые ранее рассматривались как вызов. По результатам работы подготовлена и опубликована научная статья:

O Kuzenkov, A Morozov. Towards the Construction of a Mathematically Rigorous Framework for the Modelling of Evolutionary Fitness. *Bulletin of Mathematical Biology*. 2019 Apr 4:1-26. **(IF 2017 1.484, Q3 in Biology Mathematical)**

д. Исследована структурная организация воды и водных растворов под оптическим микроскопом в слое толщиной 8 мкм. Показано, что в комнатных условиях вода (в том числе «сверхчистая» вода) и водные растворы являются микродисперсными системами. По результатам работы подготовлена и опубликована научная статья:

T Yakhno, V Yakhno, A Study of the Structural Organization of Water and Aqueous Solutions by Means of Optical Microscopy, *Crystals* 9(1) (2019), 52; <https://doi.org/10.3390/cryst9010052> – **(IF 2017 2.144, Q2 in Crystallography and Materials Science, Multidisciplinary)**

3. Достигнутые значения показателей эффективности выполнения научного исследования

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	План	Факт
1.	Количество кандидатов наук в составе научного коллектива	чел.	2	11
2.	Количество аспирантов в составе научного коллектива, обучающихся в образовательной/научной организации	чел.	3	4
3.	Количество студентов в составе научного коллектива, обучающихся в образовательной организации	чел.	5	6
4.	Количество статей ведущего ученого и других членов научного коллектива по направлению научного исследования, опубликованных в научных изданиях, индексируемых в базе данных «Сеть науки» (Web of Science Core Collection)	ед.	16	10 опубл. (журн)+ 3 принято (журн)+ 6 принято конф.
4.1.	в том числе, количество статей в научных изданиях, входящих в первый квартиль (Q1) научных журналов базы данных «Сеть науки» (Web of Science Core Collection)	ед.	8	8 опубл.+ 2 принято
5.	Количество заявок на выдачу патента на изобретение, полезную модель или промышленный образец по направлению научного исследования, авторами которых являются ведущий ученый и/или другие члены научного коллектив	ед.	1	0
5.1.	в том числе поданных по международной процедуре	ед.	1	0

4. Продолжительность личного присутствия ведущего ученого для очного руководства лабораторией и проводимым научным исследованием

Ведущий ученый присутствовал в Университете Лобачевского для очного руководства лабораторией и проводимым научным исследованием в течение 18.02.2019-18.05.2019, 21.05.2019-20.06.2019 (120 дней).