

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе
и цифровому развитию ФГБОУ ВО
«СГУ имени Н.Г. Чернышевского»
доктор физико-математических наук, профессор
Алексей Александрович Короновский

«16» сентября 2026 года

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по диссертации Меркуловой Ксении Олеговны «Динамические эффекты в биофизической модели переключения сон-бодрствование и ее модификациях, учитывающих гормональную регуляцию и феномен локального сна», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.5.2 – Биофизика и 1.3.4 – Радиофизика, выполненной на кафедре оптики и биофотоники.

Тема диссертации утверждена приказом ректора ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» №202-Д от 25.10.2023 г., переутверждена приказами ректора №1-Д от 16.01.2026 г. и №130 - Д от 22.06.2026 г.

Соискатель Меркулова Ксения Олеговна в 2023 г. окончила с отличием ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» по направлению 03.04.02 «Физика» с присвоением квалификации «Магистр». С 1 октября 2023 г. по настоящее время обучается в аспирантуре ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» по группе научных специальностей 1.3. Физические науки. С 2023 г. Ксения Олеговна является инженером учебной лаборатории биофизики, а с 2025 г. – ассистентом кафедры оптики и биофотоники института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Справка №1-2026 о сданных кандидатских экзаменах выдана ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» 16.01.2026 г.

Научный руководитель – Постнов Дмитрий Энгелевич, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник научной лаборатории «Умного сна» ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» (утвержден приказом ректора №202-Д от 25.10.2023 г.) предоставил положительный отзыв о соискателе и диссертации.

Диссертация проходила научную экспертизу на расширенном заседании кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» с приглашением сотрудников других кафедр института физики.

На заседании присутствовали:

1. Тучин Валерий Викторович, д.ф.-м.н., профессор, чл. корр. РАН, заведующий кафедрой оптики и биофотоники,
2. Генина Элина Алексеевна, д.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры оптики и биофотоники,
3. Стрелкова Галина Ивановна, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой радиофизики и нелинейной динамики,
4. Москаленко Ольга Игоревна, д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры физики открытых систем,
5. Караваев Анатолий Сергеевич, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой динамического моделирования и биомедицинской инженерии,
6. Павлов Алексей Николаевич, д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры физики открытых систем,
7. Березин Кирилл Валентинович, д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры оптики и биофотоники,
8. Симоненко Георгий Валентинович, д.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры оптики и биофотоники,
9. Слепнев Андрей Вячеславович, к.ф.-м.н., доцент кафедры радиофизики и нелинейной динамики,
10. Акчурин Гариф Газизович, к.ф.-м.н., доцент кафедры оптики и биофотоники,
11. Тимошина Полина Александровна, к.ф.-м.н., доцент кафедры оптики и биофотоники.

Рецензенты диссертации:

Москаленко Ольга Игоревна, д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры физики открытых систем, предоставила положительный отзыв, в котором указала, что диссертационная работа удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842.

Слепнев Андрей Вячеславович, к.ф.-м.н., доцент кафедры радиофизики и нелинейной динамики, предоставил положительный отзыв, в котором указал, что диссертационная работа удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842.

По итогам обсуждения диссертации единогласно принято следующее заключение.

Диссертационная работа Меркуловой Ксении Олеговны «Динамические эффекты в биофизической модели переключения сон-бодрствование и ее модификациях, учитывающих гормональную регуляцию и феномен локального сна» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.5.2 – Биофизика и 1.3.4 – Радиофизика, представляет законченное исследование, посвященное изучению динамических эффектов в модели переключения сон-бодрствование посредством введения различных внешних и внутренних факторов с помощью фонового и целенаправленного воздействия, и соответствует требованиям п.9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842, для кандидатских диссертаций.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена необходимостью

- проведения модельно-теоретического исследования взаимовлияния между разноуровневыми и разнесенными в пространстве колебательными процессами, управляющими переключением между сном и бодрствованием;
- обновления и развития набора применяемых в таком исследовании математических моделей на основе современных представлений о характеристиках и механизмах вынужденной и взаимной синхронизации автоколебательных систем, в том числе при наличии шума;
- разработки по возможности универсального подхода, допускающего дальнейшее развитие физиологически обоснованных математических моделей, которые позволяли бы изучить влияние внешних и внутренних ритмогенных факторов (цейтгеберов) на процесс переключения между сном и бодрствованием.

Личный вклад автора заключается в проведении численных экспериментов, анализе результатов, обзоре литературы, подготовке иллюстраций и текста диссертации. Разработка математических моделей и расчетных программ, подготовка на их основе публикаций, а также формулировка цели, задач, результатов и выводов диссертационной работы проводились автором совместно с научным руководителем.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

- Впервые паттерны синхронизации циркадного ритма и цикла сон-бодрствование в контексте биофизической задачи рассматриваются при наличии неустраняемых случайных флуктуаций окружения, как внешнего, так и внутреннего происхождения.
- Впервые при анализе динамики циркадного ритма и цикла сон-бодрствование вводится в рассмотрение модель, включающая цепи регуляции основных гормонов, в частности, гормона кортизола.
- Впервые вводится в рассмотрение модель поэтапного засыпания, на качественном уровне воспроизводящая эффекты локального сна и короткого восстановительного сна (power naps).
- Предложен и обоснован способ учета психосенсорного воздействия (psycho-sensory drive) в математической модели переключения сон-бодрствование.

Теоретическая и практическая значимость результатов работы заключается в реализации подхода, в рамках которого синхронность моделируемых процессов (циркадного ритма и цикла сон-бодрствования) представляет собой частный случай и может быть нарушена в самых разных ситуациях. Ключевой особенностью данного подхода является принятие допустимости и даже обязательности наличия случайных флуктуаций во всех сигналах, кроме суточного ритма. Таким образом, набор модельных систем, традиционно используемых в нелинейной динамике при исследовании механизмов синхронизации, пополняется еще одним классом, а исследователи-биофизики в области биологических ритмов получают мощный инструмент исследования и построения моделей девиаций цикла сон-бодрствование в физиологически значимых ситуациях.

Предложенная в работе модель объединяет представления о системной и локальной инициации и регуляции сна, что является важным шагом в формировании целостного подхода к исследованию механизмов организации сна. В дальней перспективе всестороннее исследование механизмов феномена локального сна способствует объективной оценке возможности отключения отдельных участков коры мозга при ее перегрузке, что напрямую связано с вопросами безопасности, особенно на производстве.

Достоверность результатов диссертационного исследования, а также представленных в работе обсуждений, выводов и заключительных положений подтверждается публикациями в рейтинговых международных журналах. Результаты модельных экспериментов согласуются с известными положениями и не противоречат накопленным эмпирическим данным.

Апробация работы была проведена путем докладов и обсуждений на международных и всероссийских научных конференциях:

- «Актуальные вопросы биологической физики и химии», 2021, г.Севастополь;
- «Saratov Fall Meeting», 2020, 2021, 2022, 2024, г.Саратов;

- The 1st Winter School «Brain Clearance Meets Complex System», 2021, г.Саратов;
- «Математика. Компьютер. Образование», 2022, 2024, г.Дубна;
- «Ломоносов», 2023, г. Москва;
- Summer School «Neuro-Sleep as a Complex Systems», 2023, г.Саратов;
- «Complex system and future technologies in neuroscience», 2024, г.Санкт-Петербург;
- «Dynamics of Complex Networks and their Applications», 2024, г.Калининград.

Результаты исследований по теме диссертации использовались в ходе выполнения НИР:

- Проект Правительства РФ № 075-15-2019-1885 от 03.12.2013 «Открытие фундаментальных механизмов сна для прорывных технологий нейрореабилитационной медицины»
- Проект РНФ № 22-15-00143 от 11.05.2022 «Биофизические механизмы дренажных процессов мозга и активации освобождения его тканей от метаболитов во время сна».

Полнота изложения материала диссертации в работах, опубликованных соискателем ученой степени. По результатам диссертационного исследования опубликовано пять статей в российских и зарубежных журналах, входящих в список ВАК и/или индексируемых Scopus и/или Web of Science. Две из них размещены в журналах с квартилем Q2 и одна – в журнале с квартилем Q1. Список публикаций:

1. Postnov D., **Merkulova K.**, Semyachkina-Glushkovskaya O., Kurths J. Activity driven sleep dynamics: A conceptual modeling study //PLoS One. – 2026. – Vol. 21. – no. 2. – P e0341279. Личный вклад автора заключался в проведении модельных экспериментов с последующим построением графиков, а также написании раздела, посвященного активности нейро-глия-васкулярной единицы.
2. Postnov D.E., **Merkulova K.O.**, Postnova S. Desynchrony and synchronisation underpinning sleep–wake cycles //The European Physical Journal Plus. – 2021. – Vol. 136. – no. 5. – P. 488. Личный вклад автора заключался в проведении модельных экспериментов с последующим построением и анализом диаграмм.
3. Litvinenko E., **Merkulova K.**, Postnov D. Cortisol dynamics and sleep–wake switching: a modeling study //The European Physical Journal Special Topics. – 2024. – Vol. 233. – no. 3. – P. 579-588. Личный вклад автора заключался в проведении модельных экспериментов с последующим построением и анализом диаграмм, а также подготовке текстового описания математической модели.
4. **Меркулова К.О.**, Постнов Д.Э. Рассеянный свет в ночное время вызывает рассинхронизацию ритмов в модели переключения «сон-бодрствование» //Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. – 2023. – Т. 31. – №. 3.

– С. 351-364. Личный вклад автора заключался в проведении модельных экспериментов с последующим построением и анализом диаграмм, а также написании раздела с методикой этих экспериментов.

5. **Меркулова К.О.**, Литвиненко Е.С., Постнов Д.Э. Влияние светового профиля на циркадные и гомеостатические маркеры в модели переключения «сон-бодрствование» //Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Физика. – 2023. – Т. 23. – №. 4. – С. 328-341. Личный вклад автора заключался в постановке задачи, проведении модельных экспериментов с последующим построением графиков и диаграмм, а также написании разделов, посвященных методике и результатам исследования.

Результаты диссертационного исследования были опубликованы в сборниках по итогам конференций:

1. **Merkulova K.O.**, Postnov D.E. Towards modeling local sleep phenomena: a toy model of a smallest sleep unit //2024 8th Scientific School Dynamics of Complex Networks and their Applications (DCNA). – IEEE, 2024. – P. 165-168.
2. **Merkulova K. O.**, Postnov D.E. The dynamical premise for desynchrony between circadian rhythm and the sleep-wake cycle //Saratov Fall Meeting 2020: Computations and Data Analysis: from Molecular Processes to Brain Functions. – SPIE, 2021. – Vol. 11847. – P. 43- 48.

Результаты диссертационного исследования в полном объеме представлены в указанных публикациях.

Ценность научных работ соискателя заключается в проведении комплексного анализа механизмов динамики цикла сон-бодрствование и разработке математической модели, учитывающей разнонаправленные эффекты психологических и сенсорных воздействий, а также объединяющей представления о системной и локальной инициации и регуляции сна.

Диссертация соответствует паспортам специальностей 1.5.2 – Биофизика и 1.3.4 – Радиофизика. В частности, основные результаты диссертации относятся к п. 3 «Разработка математических моделей биологических объектов как сложных нелинейных физических систем» актуального паспорта специальности «Биофизика» и п. 4 «Исследование нелинейной динамики, пространственно-временного хаоса и самоорганизации в неравновесных физических, биологических, химических и экономических системах» актуального паспорта специальности «Радиофизика».

Общая оценка диссертации. Диссертационная работа Меркуловой Ксении Олеговны «Динамические эффекты в биофизической модели переключения сон-бодрствование и ее модификациях, учитывающих гормональную регуляцию и феномен локального сна» является

законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальных задач, находящихся на стыке биофизики и радиофизики. Проведенные исследования прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях и были опубликованы в рейтинговых международных журналах.

Диссертационная работа Меркуловой Ксении Олеговны «Динамические эффекты в биофизической модели переключения сон-бодрствование и ее модификациях, учитывающих гормональную регуляцию и феномен локального сна» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.5.2 – Биофизика и 1.3.4 – Радиофизика, как удовлетворяющая требованиям п.9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09. 2013 №842, для кандидатских диссертаций.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» (протокол № 10/26 от «07» сентября 2026 г.), где присутствовало 11 чел., из них 8 докторов физико-математических наук и 3 кандидата физико-математических наук по профилю диссертации.

Результаты открытого голосования: «за» – 11 чел, «против» – нет, «воздержался» – нет.

Председатель заседания

доктор физико-математических наук,

профессор, член корреспондент РАН,

заведующий кафедрой оптики и биофотоники

Тучин Валерий Викторович

