ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.481.01, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело N _____
решение диссертационного совета от 25 сентября N 6

О присуждении Илларионову Егору Александровичу, гражданину РФ, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Параметрическое описание процессов и явлений солнечной активности» по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия» принята к защите 5 июня 2026 г. (протокол заседания N 3) диссертационным советом 24.1.481.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук, 117997, ГСП-7, Москва, Профсоюзная ул., 84/32, приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации №83/нк от 26 января 2023 г.

Соискатель Илларионов Егор Александрович, 1991 года рождения. Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Количественные показатели эволюции магнитных полей на Солнце» защитил в 2017 году в диссертационном совете, созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук, работает доцентом на кафедре теории вероятностей механико-математического факультета Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Диссертация выполнена на кафедре теории вероятностей механико-математического факультета Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Официальные оппоненты:

- Золотова Надежда Валерьевна, доктор физ.-мат. наук, ФГБОУВО Санкт-Петербургский государственный университет, доцент
- Ильин Антон Сергеевич, доктор физ.-мат. наук, ФГБУН Физический институт имени П.Н.Лебедева Российской академии наук, с.н.с.
- Кичатинов Леонид Леонидович, доктор физ.-мат. наук, ФГБУН Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЗФ СО РАН), г.н.с.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н. В. Пушкова РАН, г. Троицк, в своем положительном отзыве, подписанном доктором физ.-мат. наук Обридко

Владимиром Нухимовичем, указала, что диссертация Илларионова Егора Александровича «Параметрическое описание процессов и явлений солнечной активности» представляет собой завершенную научно исследовательскую работу на актуальную тему и удовлетворяет требованиям ВАК, результаты, полученные в диссертационной работе, вносят существенный вклад в исследование магнитных полей и активности Солнца и могут использоваться в ИКИ РАН, ГАО РАН, ИЗМИРАН, КРАО РАН, ИСЗФ СО РАН, ГАИШ МГУ и в других отечественных и зарубежных организациях, где проводятся работы по исследованию и прогнозированию магнитных полей на Солнце, солнечной активности, солнечно-земных связей и космической погоды, диссертация удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным Постановлением правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а ее автор Илларионов Егор Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1. «Физика космоса, астрономия».

Соискатель имеет 45 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 25 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 25 работ. Работы опубликованы в ведущих российских и зарубежных журналах и неоднократно цитировались в работах других авторов. Недостоверных сведений об опубликованных соискателем ученой степени работах не выявлено.

Список наиболее значительных работ:

1) E. A. Илларионов. Методы машинного обучения в физике Солнца // Успехи физических наук. 2025. Т. 195, № 4, с. 395–415. DOI: 10.3367/ufnr.2025.02.039872.
2) E. Illarionov, V. Kisielius, R. Stepanov, K.M. Kuzanyan. Neural differential equations for the solar dynamo // Physical Review E. 2026. V. 113, issue, article L053202. DOI: 10.1103/dpsp-bwkh.
3) E. A. Illarionov, D. D. Sokoloff. Relative efficiency of three mechanisms of vector fields growth in a random media // Physical Review E. 2023. V. 107, issue 4, article 044110. DOI: 10.1103/PhysRevE.107.044110.
4) E. Illarionov, R. Arlt. Sunspot positions from observations by Flaugergues in the Dalton minimum // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2023. V. 523, N. 2, p. 1809–1821. DOI: 10.1093/mnras/stad1489.
5) E. Illarionov, R. Arlt. Reconstruction of the solar activity from the catalogs of the Zurich observatory // Solar Physics. 2022. V. 297, issue 7, article 79. DOI: 10.1007/s11207-022-02015-3.
6) E. Illarionov, A. Tlatov. Parametrization of sunspot groups based on machine learning approach // Solar Physics. 2022. V. 297, issue 2, article 19. DOI: 10.1007/s11207-022-01955-0.
7) E. A. Illarionov, D. D. Sokoloff. Finite memory time and anisotropy effects for initial magnetic energy growth in random flow of conducting media // Physical Review E. 2021. V. 104, issue 1, article 015214. DOI: 10.1103/PhysRevE.104.015214.
8) E. Illarionov, A. Kosovichev, A. Tlatov. Machine-learning approach to identification of coronal holes in solar disk images and synoptic maps // Astrophysical Journal. 2020. V. 903, N. 2, article 115. DOI: 10.3847/1538-4357/abb94d.

9) E. A. Illarionov, A. G. Tlatov. Segmentation of coronal holes in solar disk images with a convolutional neural network // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2018. V. 481, N. 4, p. 5014–5021. DOI: 10.1093/mnras/sty2628.
10) E. Illarionov, A. Tlatov, I. Berezin, N. Skorbezh. Correlation of coronal hole area indices and solar wind speed // Solar Physics, 2025. V. 300, issue 9, article 123. DOI: 10.1007/s11207-025-02530-z.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

А.Г. Косовичев, Технологический Институт Нью Джерси, д.ф.-м.н., профессор, дал положительный отзыв на автореферат, отметив, что существенным достоинством диссертации является сочетание фундаментальных исследований с разработкой практически действующих программных средств и информационных систем.

Ю.А. Наговицын, ИЗМИРАН, д.ф.-м.н., г.н.с., дал положительный отзыв на автореферат, отметив, что проделана большая работа по математическому решению гелиофизических задач, автор показал эрудицию и высокую квалификацию, работа выполнена на мировом уровне и в определенном смысле она является «пионерской» в применении современных математических методов и подходов в физике Солнца.

А.В. Гетлинг, НИИЯФ МГУ, д.ф.-м.н., в.н.с., дал положительный отзыв на автореферат, отметив, что предложено новое, безусловно перспективное направление в методах изучения солнечной активности, значимость работы для гелиофизики очень велика, работа существенно продвигает и методику работы с астрономическими данными, и подход к построению моделей.

Д.Д. Соколов, МГУ, д.ф.-м.н., профессор, дал положительный отзыв на автореферат, отметив, что удалось добиться результатов, которые уже сейчас активно используются в краткосрочном прогнозе солнечной активности и признаны отечественной и мировой наукой.

П.Г. Фрик, ИМСС УрО РАН, д.ф.-м.н., зав. отделом, дал положительный отзыв на автореферат, отметив, что представленная работа дает пример очень квалифицированного и осознанного применения совершено новых информационных технологий к традиционной и в определенном смысле консервативной области науки, каковой является наука о Солнце. Высказаны замечания: 1. В автореферат помещаются избранные рисунки, которые, по умолчанию, автор считает важными для понимания его результатов. Учитывая сжатость изложения, эти избранные рисунки надо описывать так, чтобы их можно было понять без текста диссертации. 2. Учитывая навыки автора в работе с современными IT-технологиями, можно предположить, что ему не составило бы большого труда поручить ИИ проверить текст, грамматические ошибки и опечатки есть. Отмечено, что замечания не являются критическими.

А.Г. Тлатов, ГАС ГАО РАН, д.ф.-м.н., заведующий Горной астрономической станцией (ГАС), дал положительный отзыв на автореферат, отметив, что главная научная новизна работы заключается в формировании качественно нового

научно-методического направления, основанного на комплексном сквозном применении нейросетевых подходов на всех этапах исследования Солнца. Вместо изолированного использования нейросетей как черных ящиков, автор предложил методологию, в которой машинное обучение глубоко интегрировано с фундаментальной физической теорией и историческим контекстом. Высказано замечание, что из текста Главы 3 (раздел 3.3) следует, что при увеличении динамо-числа восстанавливаемая функция альфа-эффекта становится немонотонной. Представляется целесообразным дать более подробную физическую интерпретацию этого феномена с точки зрения нелинейной динамики плазмы, что, однако, не снижает общую высокую ценность полученных выводов. Отмечается, что указанные замечания не снижают ценности диссертационной работы и не влияют на главные результаты диссертации.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высоким авторитетом в научном сообществе, а также высокой компетентностью в области исследования солнечной активности, теории динамо, обработки наблюдательных данных и прогнозе космической погоды.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработан аналитический метод оценки скоростей роста статистических моментов векторных полей для исследования начальной стадии динамо в конвективной зоне Солнца;
- получены оценки скоростей роста магнитного поля и магнитной энергии в изотропной и осесимметричной анизотропной среде;
- получены оценки относительного вклада эффектов резонанса и перемежаемости в скорость роста статистических моментов векторных полей;
- разработан подход на основе нейродифференциальных уравнений для маломодовых моделей солнечного динамо и на его основе получены оценки для динамо-числа и функции подавления альфа-эффекта, позволяющие воспроизвести средний профиль солнечного цикла;
- показано, что существует широкий спектр значений для динамо-числа и профилей функции подавления, дающих согласие с наблюдательными данными, и описана зависимость между этими параметрами;
- разработан метод выделения корональных дыр (КД), основанный на машинном обучении с применением нейронных сетей, позволяющий преодолеть ограничения алгоритмов, базирующихся на явных правилах, неполно учитывающих вариативность среды;
- найдены параметры КД, обладающие высокой корреляцией со скоростью солнечного ветра;
- разработан метод, основанный на машинном обучении, для создания полного, но компактного описания групп солнечных пятен, передающего детальную геометрическую структуру групп солнечных пятен и позволяющий проводить количественное сравнение групп между собой;
- разработаны модели машинного обучения для оцифровка многолетних рукописных каталогов Цюрихской обсерватории, с их помощью восстановлены

координаты солнечных пятен, факелов и протуберанцев в конце 19 – начале 20 веков;

- выявлены новые особенности солнечной активности в период столетнего солнечного минимума в начале 20 века: асимметрия в фазах миграции факелов к полюсам в северном и южном полушариях, высокая корреляция числа протуберанцев и солнечных пятен в 13 и 14 цикле и их аномально низкое соотношение в цикле 15;
- разработан метод реконструкции координат солнечных пятен из транзитных наблюдений по каталогам О. Фложерга (18–19 века) в период особого режима солнечной активности – минимума Дальтона;
- показано, что в период минимума Дальтона существовали долгоживущие группы пятен, наблюдаемые более одного солнечного оборота, имелась асимметрия пятенной активности между северным и южным полушарием, получены новые свидетельства аномальной длительности цикла 4.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- разработанные методики на основе теории произведения случайных матриц, позволяют проводить аналитическое исследование параметров эволюции векторных полей в более широком спектре случайных сред, обладающих конечным временем памяти, количественно сравнивать эффективность различных механизмов, приводящих к росту полей, служить подкреплением результатов, получаемых численно;
- разработанные методики оценки параметров и вида функциональных зависимостей в моделях динамо позволяют выполнять адаптацию динамо-моделей под наблюдательные данные, а показанная множественность параметров, обеспечивающих близкое воспроизведение наблюдаемого солнечного цикла, указывает на необходимость дополнительных физических ограничений при калибровке динамо-моделей;
- получены параметры корональных дыр, дающие высокую корреляцию с долговременными вариациями солнечного ветра и показано, что основной вклад формируется низкоширотными корональными дырами;
- на основе анализа наблюдательных данных показано, что помимо переноса магнитного потока с низких широт, существуют и другие механизмы формирования полярных корональных дыр, что требует развития и уточнения соответствующей теории;
- проведенная оцифровка многолетних массивов исторических данных, восполняющая пробелы в долговременных рядах данных, позволяет более уверенно судить о характере и особенностях солнечной активности в историческом периоде.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- разработанные новые эффективные методики автоматической обработки и анализа наблюдательных данных (изображений диска Солнца) позволяют быстро и с высокой точностью проводить сегментацию корональных дыр, что актуально для систем прогноза космической погоды;

- разработанные методы ассимиляции наблюдательных данных в теоретических моделях являются основой для повышения прогностической способности моделей;
- разработанные методы описания геометрической структуры групп солнечных пятен дают возможность построения более точных моделей классификации групп, что может быть использовано для прогноза солнечных вспышек;
- представлены новые базы данных с результатами обработки наблюдательных данных, которые могут служить основой для работ по анализу солнечной активности;
- разработанный комплекс программ и моделей представлен в открытом доступе, что дает возможность использовать его в основе дальнейших исследований и адаптировать к новым задачам.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- в работе использованы общедоступные базы данных, которые широко используются при изучении солнечной активности и признаются достоверными;
- программный код для обработки данных и построения моделей представлен в открытом доступе и позволяет воспроизвести результаты исследования;
- выводы основаны на обработке больших массивов данных и являются значимыми;
- выводы согласуются с современными представлениями в физике Солнца;
- все результаты работы и защищаемые положения подробно изложены в публикациях соискателя в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК и индексируемых научными базами Scopus, Web of Science, РИНЦ.
- изложенные в диссертации результаты докладывались на российских и международных конференциях и обсуждались на научных семинарах в институтах РАН, ведущих исследования по тематике диссертации.

Личный вклад соискателя состоит в:

- выводе оценок роста магнитных полей и магнитной энергии на начальной стадии динамо, проведении численного моделирования;
- постановке задачи и разработке нейродифференциальной модели динамо;
- постановке задачи и разработке модели сегментации корональных дыр;
- постановке задачи и разработке методов описания геометрической структуры групп солнечных пятен, изучении связи с классами групп пятен;
- анализе точности моделей;
- выявлении и анализе особенностей солнечной активности на основе результатов обработки данных;
- разработке программ по обработке данных;
- создании баз данных и интернет-ресурсов;
- разработке моделей оцифровки исторических каталогов и проведении оцифровки.

В сотрудничестве с соавторами проводилось обсуждение результатов и велась подготовка публикаций.

На заседании 25 сентября диссертационный совет принял решение присудить Илларионову Е.А. ученую степень доктора физико-математических наук.
При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве _21____ человек, из них _12____ докторов наук по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия», участвовавших в заседании, из _28_____ человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту нет человек, проголосовали: за 19, против 1, недействительных бюллетеней 1.

Председатель
диссертационного совета 24.1.481.01
академик РАН Петрукович А.А.

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.ф.-м.н. Ткаченко А.Ю.

Дата оформления заключения 25 сентября 2026