

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.050.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ДИНАМИКИ  
ГЕОСФЕР ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.А. САДОВСКОГО РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ  
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 22 сентября 2022 г. №6/22  
о присуждении Гончарову Егору Сергеевичу, гражданину РФ, ученой степени  
кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Трехмерные численные модели Шумановского резонанса для исследования нижней ионосферы» по специальности 25.00.09 - «Физика атмосферы и гидросферы» принята к защите 14 июля 2022, протокол №5/22, диссертационным советом Д 002.050.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук (ИДГ РАН), по адресу: 119334, г. Москва, Ленинский проспект, д. 38, корп. 1 (приказы №1925-621 от 08.09.2009, 105/нк от 11.04.2012, 92/нк от 18.02.2013, 33/нк от 24.01.2017, 1222/нк от 18.12.2019, № 154/нк от 15.02.2022).

Соискатель Гончаров Егор Сергеевич, 1992 года рождения, в 2017 году окончил магистратуру факультета аэрофизики и космических исследований Московского физико-технического института (Государственного университета) по специальности «Прикладная математика и физика», в настоящий момент работает научным сотрудником в Федеральном государственном унитарном предприятии Всероссийском научно-исследовательском институте автоматики им. Н.Л. Духова. Диссертация выполнена в лаборатории электродинамических процессов в геофизике Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук.

Научный руководитель — кандидат технических наук, Ляхов Андрей Николаевич, заместитель директора ИДГ РАН.

Официальные оппоненты:

- Нагорский Петр Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории физики климатических систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (ИМКЭС СО РАН), г. Томск;
- Пилипенко Вячеслав Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией физики околоземного пространства Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН), г. Москва;

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт прикладной геофизики имени Е.К. Федорова (ИПГ) в своем положительном заключении, подписанном Калининым Юрием Кирилловичем, главным научным сотрудником ИПГ, доктором физико-математических наук, профессором, указала на перегруженность работы в силу методологических особенностей при использовании сложных методов математической физики, применимых в геофизике, на необходимость более подробного раскрытия свойства трехмерности Шумановских резонансов, а также целесообразности определения потенциальных потребителей полученных результатов работы (навигация — в диапазоне Шумановских частот, подземная локация объектов и др.), при этом отметила, что диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Гончаров Е.С. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.09 - «Физика атмосферы и гидросферы».

Соискатель имеет 8 опубликованных научных работ по теме диссертации, из них 6 работ, индексируемые Web of Science и Scopus, которые приравниваются к статьям перечня ВАК.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Goncharov E.S, Lyakhov A.N., Loseva T.V. 3D-FEM simulation model of the Earth-ionosphere cavity // Journal of Electromagnetic Waves and Applications. 2019. Vol. 33, no. 6. P. 734-742.
2. Goncharov E.S., Lyakhov A.N., Losseva T.V. Seasonal Schumann resonance variations according to magnetic field measurements at Mikhnevo observatory // 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Phys. Vol. 11916 / ed. by G.G. Matvienko, O.A. Romanovskii — International Society for Optics, Photonics. SPIE, 2021. - P. 1672-1678.
3. Goncharov E.S., Lyakhov A.N., Losseva T.V. Long-term Schumann resonance dynamics based on horizontal magnetic field data at Mikhnevo observatory during 2016-2020 // Radio Science. 2022. Vol. 57, no. 5.
4. Frontiers in the D-region physics / A.N. Lyakhov [et al.] // 25th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, Vol. 11208 / ed. By O.A. Romanovskii, G.G. Matvienko. SPIE, 2019. P. 1875-1879.
5. Lyakhov A.N., Goncharov E.S., Losseva T.V. FDTD, FDFD, and mode sum methods for VLF-LF propagation in the lower ionosphere // 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. Vol. 11560 / ed. by G.G. Matvienko, O.A. Romanovskii. International Society for Optics, Photonics. SPIE, 2020. P. 1885-1889.
6. Lyakhov A.N., Goncharov E.S., Losseva T.V. The numerical simulation of ELF-LF propagation in the Earth-ionosphere waveguide under WACCM-X results // 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. Vol. 11916 / ed. by G.G. Matvienko, O.A. Romanovskii. International Society for Optics, Photonics. SPIE, 2021. P. 1665-1671.

На диссертацию и автореферат поступило 5 отзывов. Все отзывы положительные. Во всех отзывах отмечается высокая актуальность и прикладная значимость проведенных исследований.

В отзыве д.ф.-м.н. Н.В. Бахметьевой (Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского)

отмечено, что автореферат бы существенно выиграл, если бы более подробно был освещен прикладной аспект проводимых исследований. Д.ф.-м.н. М.А. Бисярин (Санкт-Петербургский государственный университет) отмечает, что в работе не рассматривается модель «ГОСТ Р 25645.157-94. Ионосфера Земли нижняя. Модель глобального распределения концентрации и эффективной частоты соударений электронов для прогнозирования низкочастотных радиополей», а также, что дифференциальное уравнение (2) в автореферате написано не для тока, как утверждается в тексте, а для плотности тока. В отзыве д.ф.-м.н. Н.Ф. Благовещенской (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт) отмечено отсутствие сформулированных выводов по диссертации, содержащих основные результаты, выносимые на защиту. Д.ф.-м.н. Б.В. Козелов (Полярный геофизический институт) отмечает, что в отношении верификации моделей нижней ионосферы хотелось бы большей конкретики: чего не хватает в моделях для адекватного моделирования Шумановских резонансов и как это можно поправить или какой физический процесс учесть. К.ф.-м.н. В.В. Руденко («12 ЦНИИ» Минобороны России) отмечает, что в автореферате отсутствуют ссылки на литературу, отсутствует сопоставление используемых алгоритмов с существующими численными алгоритмами; в автореферате нет информации о постановке и параметрах выполненных 3D расчетов, что затрудняет оценку качества используемого численного кода. В автореферате отсутствует четкая методика выбора места расположения источника для расчета распространения излучения, а критерии, по которым сопоставляются различные модели ионосферы четко не определены. Также отмечается, что «численные модели Шумановского резонанса» и «модели численного расчета распространения КНЧ-ОНЧ-НЧ радиоволн» являются разными задачами, то наблюдается расхождение между целью работы и ее названием.

**Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что:**

- доктор физ.-мат. наук П.М. Нагорский является известным геофизиком и радиофизиком, специалистом в области исследования распространения

радиоволн в ионосфере Земли в естественно и искусственно возмущенных условиях. Он является автором и соавтором более 100 научных статей.

- доктор физ.-мат. наук В.А. Пилипенко является известным геофизиком, специалистом в области волновых процессов в околоземной плазме, автором более 280 научных статей.

Выбор ведущей организации обосновывается тематикой, характером и результатами проведенных исследований, относящихся к области физики ионосферы.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- реализованы и верифицированы два трехмерных численных метода для расчета параметров Шумановских резонансов;
- доказана возможность использования Шумановских резонансов для тестирования глобальных физических моделей нижней ионосферы;
- определены оптимальные параметры и алгоритмы обработки первичных данных измерений вариаций геомагнитного поля в диапазоне частот 3-30 Гц для восстановления параметров Шумановских резонансов (собственные частоты, интенсивности, добротности). На основе полученных результатов реализована автоматизированная система расчета и обработки КНЧ спектров по данным регистрации горизонтальных компонент геомагнитного поля в ГФО Михнево;
- установлены длиннопериодные вариации Шумановских резонансов, отражающие глобальную динамику мезосферы-нижней ионосферы на основе исследования динамики параметров в 2016-2020 годах по данным среднеширотной ГФО Михнево Института динамики геосфер им. академика М.А. Садовского;
- впервые установлена возможность использования параметров Шумановских резонансов для детектирования сигнатур планетарных волн на основе совместного анализа спектральных характеристик

параметров Шумановских резонансов и амплитуд ОНЧ радиосигналов на радиотрассах разной ориентации.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

- предложенная методика тестирования теоретических моделей нижней ионосферы на основе сравнения расчетных и наблюдаемых параметров Шумановских резонансов может быть применена для проверки прогностических моделей нижней ионосферы и атмосферы нового поколения;
- получена логарифмическая зависимость увеличения резонансных частот от потока солнечного рентгена для солнечных вспышек различных классов;
- на основе анализа результатов инструментальных наблюдений показана важность учета динамических процессов в моделях нижней ионосферы.

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

- реализованные средства численного моделирования распространения электромагнитных волн в ионосферной плазме на основе метода FDTD могут быть использованы для широкого радиочастотного диапазона, а также для других задач взаимодействия электромагнитных волн с ионосферной плазмой;
- разработанный инструментарий для расчета и обработки характеристик КНЧ спектра в ГФО Михнево используется для накопления экспериментальных данных Шумановских резонансов, что в дальнейшем позволит использовать полученные результаты для решения широкого круга различных геофизических задач.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

- разработанные трехмерные модели для расчета характеристик распространения радиоволн КНЧ диапазона в волноводе Земля-ионосфера основаны на известных и проверенных методах численного решения уравнений Максвелла и уравнении движения заряженных частиц

в электромагнитном поле. Ранее не применяемые подходы для численного решения дифференциальных уравнений и способы построения расчетных сеток были верифицированы для КНЧ диапазона на известных аналитических и других численных решениях.

- полученные экспериментальные результаты Шумановских резонансов для ГФО Михнево согласуются со спутниковыми наблюдениями динамики глобальной молниевой активности, а также с параметрами Шумановских резонансов на других геофизических обсерваториях.

**Личный вклад соискателя состоит в** выполнении всех этапов исследовательской работы. Автором программно реализованы представленные в диссертации численные модели для расчета распространения КНЧ радиоволн в ионосферной плазме на основе методов FDTD и FEM, а также методики обработки и постобработки экспериментальных характеристик КНЧ спектра. Также автором выполнены все численные расчеты и проведен анализ полученных экспериментальных и расчетных результатов. В основных результатах, выносимых на защиту, вклад диссертанта является определяющим.

Диссертация Е.С. Гончарова является актуальным законченным научным исследованием. Личный вклад соискателя в проведение исследований является существенным. Работа обладает научной новизной, практической и фундаментальной значимостью и удовлетворяет требованиям ВАК к кандидатским диссертациям.

При проведении тайного голосования из 24 утвержденных членов диссертационного совета на заседании присутствовало 16 членов совета, из них 5 докторов наук по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы». Результаты голосования о присуждении ученой степени кандидата физико-математических наук: за – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

На заседании 22 сентября 2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Гончарову Е.С. ученую степень кандидата физико-

недействительных бюллетеней – нет.

На заседании 22 сентября 2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Гончарову Е.С. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 - «Физика атмосферы и гидросферы».

Зам. председателя диссертационного совета  
Д002.050.01, доктор физ.-мат. наук

Ученый секретарь диссертационного совета  
Д002.050.01, кандидат физ.-мат. наук



Ю.И. Зецер

С.З. Беккер

22.09.2022