

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
МГУ.012.1 по диссертации на соискание учёной степени
доктора физико-математических наук

Решение диссертационного совета от 26 июня 2024 г. №20

О присуждении Лукьяненко Дмитрию Витальевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Математическое моделирование, численные методы и комплекс программ для решения трехмерных обратных задач магнитометрии» по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите диссертационным советом 28 марта 2024 г., протокол №17.

Соискатель Лукьяненко Дмитрий Витальевич, 1984 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Регуляризирующие алгоритмы и комплекс программ решения обратной задачи восстановления параметров намагничённости» защитил в 2011 году в диссертационном совете Д 501.002.09 при МГУ имени М.В. Ломоносова в Научно-исследовательском вычислительном центре.

Соискатель работает в должности доцента на кафедре математики отделения прикладной математики физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Диссертация выполнена на кафедре математики отделения прикладной математики физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научный консультант – доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры математики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова Ягола Анатолий Григорьевич.

Официальные оппоненты:

Васин Владимир Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник Отдела некорректных задач анализа и приложений, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского Уральского отделения Российской академии наук.

Кабанихин Сергей Игоревич, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор Международного математического центра ИМ СО РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт математики им. С.Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИМ СО РАН).

Якобовский Михаил Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заместитель директора по научной работе, Федеральное государственное учреждение Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук.

Оппоненты дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что оппоненты являются ведущими специалистами по теме диссертации, компетентны в области математического моделирования, численных методов и разработки комплексов программ, результаты их исследований, полученные за последние годы, опубликованы в ведущих зарубежных и отечественных журналах и близки по теме исследованиям соискателя, что позволяет оппонентам дать всестороннюю глубокую оценку результатам, представленным в диссертационной работе.

Соискатель имеет 122 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 22 работы, из них 19 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и по решению диссертационного совета 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ приравненных к публикациям, в которых излагаются основные научные результаты диссертации:

1. Д. В. Лукьяненко, А. Г. Ягола. Использование многопроцессорных систем для решения обратных задач, сводящихся к интегральным уравнениям Фредгольма 1-го рода // Труды Института математики и механики УрО РАН. — 2012. — Т. 18, № 1. — С. 222—234. (1.1 п.л.) [Scopus Q2: SJR 0.425] – Вклад 90%.
2. Я. Ван, Д. В. Лукьяненко, А. Г. Ягола. Регуляризованное обращение полных тензорных магнитноградиентных данных // Вычислительные методы и программирование. — 2016. — Т. 17, № 1. — С. 13—20. (0.7 п.л.) [RSCI 0.576] – Вклад 85%.
3. Я. Ван, И. И. Колотов, Д. В. Лукьяненко, А. Г. Ягола. Восстановление магнитной восприимчивости с использованием полных магнито-градиентных данных // Журнал вычислительной математики и математической физики. — 2020. — Т. 60, № 6. — С. 1027—1034. (0.8 п.л.) [Scopus Q2: SJR 0.496] – Вклад 85%.
4. И. И. Колотов, Д. В. Лукьяненко, И. Э. Степанова, А. Г. Ягола. О единственности решения систем линейных алгебраических уравнений, к которым редуцируются обратные линейные задачи гравиметрии и магнитометрии: локальный случай // Журнал вычислительной математики и математической физики. — 2023. — Т. 63, № 8. — С. 1317—1331. (0.9 п.л.) [Scopus Q2: SJR 0.496] – Вклад 45%.

5. И. И. Колотов, Д. В. Лукьяненко, И. Э. Степанова, А.В. Щепетиллов, А.Г. Ягола. О единственности решения систем линейных алгебраических уравнений, к которым редуцируются обратные задачи гравиметрии и магнитометрии: региональный вариант // Журнал вычислительной математики и математической физики. — 2023. — Т. 63, № 9. — С. 1446—1457. (0.7 п.л.) [Scopus Q2: SJR 0.496] – Вклад 40%.
6. А. С. Леонов, Д. В. Лукьяненко, А. Г. Ягола. «Быстрый» алгоритм решения некоторых трехмерных обратных задач магнитометрии // Математическое моделирование. — 2024. — Т. 36, № 1. — С. 41—58. (0.9 п.л.) [RSCI 0.900] – Вклад 35%.
7. D. V. Lukyanenko, A. G. Yagola, N. A. Evdokimova. Application of inversion methods in solving ill-posed problems for magnetic parameter identification of steel hull vessel // Journal of Inverse and Ill-Posed Problems. — 2011. — Vol. 18, no. 9. — P. 1013—1029. (0.6 п.л.) [Scopus Q2: SJR 0.428] – Вклад 85%.
8. D. V. Lukyanenko, A. G. Yagola. Some methods for solving of 3D inverse problem of magnetometry // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. — 2016. — Vol. 4, no. 3. — P. 4—14. (0.8 п.л.) [Scopus Q3: SJR 0.241] – Вклад 90%.
9. Y. Wang, L. Rong, L. Qiu, D.V. Lukyanenko, A.G. Yagola. Magnetic susceptibility inversion method with full tensor gradient data using low-temperature SQUIDS // Petroleum Science. — 2019. — Vol. 16. — P. 794—807. (0.9 п.л.) [Scopus Q1: SJR 1.005] – Вклад 85%.
10. Y. Wang, D. Lukyanenko, A. Yagola. Magnetic parameters inversion method with full tensor gradient data // Inverse Problems and Imaging. — 2019. — Vol. 13, no. 4. — P. 745—754. (0.9 п.л.) [Scopus Q2: SJR 0.605] – Вклад 90%.
11. Y. Wang, A. S. Leonov, D. V. Lukyanenko, A. G. Yagola. General Tikhonov regularization with applications in geoscience // CSIAM Transaction on Applied Mathematics. — 2020. — Vol. 1, no. 1. — P. 53—85. (3.6 п.л.) [WoS Q2: IF 1.300] – Вклад 40%.
12. I. Kolotov, D. Lukyanenko, I. Stepanova, Y. Wang, A. Yagola. Recovering the magnetic image of Mars from satellite observations // Journal of Imaging. — 2021. — Vol. 7, no. 11. — P. 234. (0.9 п.л.) [Scopus Q2: SJR 0.595] – Вклад 90%.
13. I. I. Kolotov, D. V. Lukyanenko, I. E. Stepanova, Y. Wang, A.G. Yagola. Recovering the magnetic properties of Mercury from satellite observations // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. — 2022. — Vol. 10, no. 2. — P. 26—41. (1.5 п.л.) [Scopus Q3: SJR 0.241] – Вклад 85%.
14. D. Lukyanenko, V. Shinkarev, A. Yagola. Accounting for round-off errors when using gradient minimization methods // Algorithms. — 2022. — Vol. 15, no. 9. — P. 324. (0.9 п.л.) [Scopus Q2: SJR 0.497] – Вклад 90%.

15. I. I. Kolotov, D. V. Lukyanenko, I. E. Stepanova, Y. Wang, A.G. Yagola. Recovering the near-surface magnetic image of Mercury from satellite observations // *Remote Sensing*. — 2023. — Vol. 15, no. 8. — P. 2023. (1.6 п.л.) [WoS Q1: IF 5.000; Scopus Q1: SJR 1.136] – Вклад 85%.
16. D. Lukyanenko. Parallel algorithm for solving overdetermined systems of linear equations, taking into account round-off errors // *Algorithms*. — 2023. — Vol. 16, no. 5. — P. 242. (2.5 п.л.) [Scopus Q2: SJR 0.497] – Вклад 100%.
17. I. Stepanova, D. Lukyanenko, I. Kolotov, A. Shchepetilov, A. Yagola. On the unique solvability of inverse problems of magnetometry and gravimetry // *Mathematics*. — 2023. — Vol. 11, no. 14. — P. 3230. (1.4 п.л.) [Scopus Q2: SJR 0.446] – Вклад 50%.
18. И. Э. Степанова, А. Г. Ягола, Д. В. Лукьяненко, И. И. Колотов. О построении аналитических моделей магнитного поля Меркурия по спутниковым данным // *Физика Земли*. — 2023. — № 6. — С. 175—189. (0.6 п.л.) [Scopus Q2: SJR 0.432] – Вклад 50%.
19. I. E. Stepanova, I. I. Kolotov, D. V. Lukyanenko, A. V. Shchepetilov. The uniqueness of the inverse coefficient problem when building analytical models of Mercury's magnetic field // *Doklady Earth Sciences*. — 2023. – Vol. 514. – P. 169-175. (0.6 п.л.) [Scopus Q2: SJR 0.361] – Вклад 50%.

2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

20. Программа для восстановления параметров намагниченности объекта по данным измерений компонент вектора индукции или тензора градиентов компонент индукции магнитного поля / Д. В. Лукьяненко. — № 2023665314; заявл. 17.07.2023 ; опубл. 28.07.2023, 2023666291 (Рос. Федерация).
21. Программа для решения больших переопределённых систем линейных алгебраических уравнений с плотно заполненной матрицей с учётом ошибок машинного округления / Д. В. Лукьяненко. — № 2023666561 ; заявл. 02.08.2023 ; опубл. 14.08.2023, 2023667251 (Рос. Федерация).

На диссертацию и автореферат дополнительных отзывов не поступило.

Все представленные в диссертационном исследовании численные методы и комплекс программ разработаны и реализованы автором лично. В работах [1; 2; 7-11; 14; 15; 20], написанных в соавторстве, вклад автора диссертации в полученные результаты в части математического моделирования, разработке численных методов и их реализации в виде комплекса программ является определяющим. В работах [3; 12; 13], написанных в

соавторстве, результаты исследований были получены посредством расчётов с использованием программ, написанных соавторами на языке программирования С и в основе которых лежит структура параллельных программ, разработанных автором лично на языке программирования Fortran. В совместной работе [6] частично используются методы математического моделирования, разработанные в настоящей диссертации её автором; ссылки на результаты этой работы приводятся для целостности изложения материала, но сами результаты этой работы не включены в диссертацию и на защиту не выносятся. Используемые для математического моделирования решений обратных задач магнитометрии математические модели предложены соавторами (см. работы [4; 5; 17-19]) или известны из литературы.

Диссертационный совет отмечает, что представленная на соискание учёной степени доктора физико-математических наук диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны и реализованы методы, которые могут быть использованы для решения практически любых обратных задач магнитометрии – начиная от задач по определению параметров намагниченности небольших локализованных объектов и заканчивая задачами космического масштаба по определению параметров намагниченности коры планет и других тел Солнечной системы. В случае исследования небольших объектов предложенные методы позволяют локализовывать их месторасположение в пространстве (если в них есть некоторая доля магнитных масс), что, фактически, является задачей магнитной локации. Знание параметров намагниченности в случае решения задач магниторазведки позволяет, при определённых условиях, получать информацию о типах залегающих в недрах планет пород, в том числе полезных ископаемых. Разработанные для решения такого типа задач численные методы и их программные реализации могут быть применены также и при решении задач из совершенно других областей науки и техники, если решение соответствующих задач сводится к решению больших переопределённых систем линейных алгебраических уравнений с плотно заполненной матрицей.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Использование экспериментальных данных о компонентах тензора градиентов компонент вектора магнитной индукции позволяет восстанавливать более детализированные магнитные изображения исследуемого объекта по сравнению с использованием только экспериментальных данных о компонентах вектора магнитной индукции. При этом восстановление детализированного

распределения магнитной восприимчивости в исследуемом объекте возможно только при наличии достаточно точной информации о нормальном (регулярном геомагнитном) поле в области расположения исследуемого объекта.

2. Отсутствие у планеты магнитного динамо позволяет восстановить распределение намагниченности в коре планеты по данным спутниковых измерений компонент индукции магнитного поля только исходя из допущения, что все магнитные массы были <<выметены>> в область коры за счёт протекавших ранее геологических процессов. Наличие у планеты магнитного динамо позволяет восстановить распределение намагниченности в коре только исходя из допущения, что модель нормального (регулярного геомагнитного) поля является достаточно точной.
3. Математическое моделирование решений трёхмерных обратных задач магнитометрии допускает разработку численных методов решения, эффективно реализуемых на современных гетерогенных суперкомпьютерных системах, состоящих из многоядерных процессоров и графических ускорителей за счёт использования современных технологий параллельного программирования MPI (включая последний стандарт MPI-4), OpenMP и CUDA.
4. Учёт ошибок машинного округления в критерии прекращения итерационного процесса в методе сопряжённых градиентов для решения систем линейных алгебраических уравнений с плотно заполненной матрицей может существенно экономить вычислительные ресурсы. Для решения достаточно больших задач параллельная программная реализация этого метода с использованием технологии параллельного программирования MPI-4 не требует дополнительных времязатрат на реализацию дополнительных вычислений по реализации усовершенствованного критерия прекращения итерационного процесса и обладает хорошими свойствами сильной масштабируемости.

На заседании 26 июня 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Лукьяненко Д.В. учёную степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 24 человек, из них 14 докторов наук по специальности 1.2.2, участвовавших в заседании, из

27 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 23, против - 0, недействительных голосов - 1.

Председатель диссертационного совета,
академик РАН

Тыртышников Е.Е.

Учёный секретарь диссертационного совета,
член-корреспондент РАН

Ильин А.В.

Декан факультета ВМК

Соколов И.А.

«26» июня 2024 г.