

Заключение диссертационного совета МГУ.016.6  
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук

Решение диссертационного совета от 6 декабря 2024 г., протокол № 63

о присуждении Лыгину Ивану Владимировичу, гражданину РФ, ученой степени доктора геолого-минералогических наук.

Диссертация «Физико-геологические подходы к анализу гравиметрических данных» по специальности 1.6.9. Геофизика (геолого-минералогические науки) принята к защите диссертационным советом 19.09.2024 г., протокол № 57.

Соискатель Лыгин Иван Владимирович, 1979 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук «Структура земной коры Черного моря по комплексу геофизических данных» защитил в диссертационном совете Д.053.05.25 при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова в 2005 г.

Соискатель работает доцентом кафедры геофизических методов исследования земной коры геологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Диссертация выполнена на кафедре геофизических методов исследования земной коры геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Научный консультант – доктор физико-математических наук, профессор Булычев Андрей Александрович, заведующий кафедрой геофизических методов исследования земной коры геологического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Официальные оппоненты:

Жаров Владимир Евгеньевич, доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», физический факультет, отделение астрономии, кафедра небесной механики, астрометрии и гравиметрии, заведующий; ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга, лаборатория гравиметрии, заведующий;

Долгаль Александр Сергеевич, доктор физико-математических наук, доцент, Горный институт Уральского отделения РАН – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения РАН, лаборатория геопотенциальных полей, главный научный сотрудник;

Соколов Сергей Юрьевич, доктор геолого-минералогических наук, ФГБУН

Геологический институт РАН, лаборатория геоморфологии и тектоники дна океанов, заведующий, главный научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывался их высоким профессионализмом, квалификацией, компетентностью, широкой известностью и имеющимися публикациями в области гравиметрии и гравиразведки.

Соискатель имеет 105 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 32 работы, из них 24 статьи опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности и отрасли наук.

1. Афанасенков А.П., **Лыгин И.В.**, Обухов А.Н., Соколова Т.Б., Кузнецов К.М. Объемная реконструкция тектонических элементов Енисей-Хатангской рифтовой системы по результатам комплексной геолого-геофизической интерпретации // Геофизика. 2017. № 2. С. 60–70. (0.69 п.л., авторский вклад 40%). Импакт-фактор РИНЦ: 0,403.

2. Булычев А.А., **Лыгин И.В.**, Кузнецов К.М. Поле притяжения многогранника и многоугольной пластины с линейной плотностью // Физика Земли. 2018. № 4. С. 58–67. (0.63 п.л., авторский вклад 40%). Импакт-фактор РИНЦ: 1,420.

Bulychev A.A., **Lygin I.V.**, Kuznetsov K.M. The field of attraction of a polyhedron and polygonal plate with linear density // Izvestiya. Physics of the Solid Earth. 2018. Vol. 54. # 4. P. 592–601. DOI: 10.1134/S1069351318040018. (0.63 п.л., авторский вклад 40%). SJR: 0,3.

3. **Лыгин И.В.**, Арутюнян Д.А. Особенности строения земной коры Баренцева моря по результатам трехмерного плотностного и магнитного моделирования // Геофизика. 2023. №3. С. 85–93. DOI: 10.34926/geo.2023.42.21.012. (0.56 п.л., авторский вклад 50%). Импакт-фактор РИНЦ: 0,403.

4. **Лыгин И.В.**, Арутюнян Д.А., Чепиго Л.С., Кузнецов К.М., Шклярчук А.Д. Методика построения структурных поверхностей по геолого-геофизическим данным на основе машинного обучения на примере реконструкции границы Мохо в Баренцевоморском регионе // Гелиогеофизические исследования. 2023. № 38. С. 3–16. DOI: 10.5425/2304-7380\_2022\_38\_3. (0.88 п.л., авторский вклад 50%). Импакт-фактор РИНЦ: 0,128.

5. **Лыгин И.В.**, Булычев А.А., Гилод Д.А., Соколова Т.Б., Фадеев А.А. Результаты гравиметрических исследований на геофизическом полигоне в Калужской области // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2014. № 2. С. 3–10. (0.50 п.л., авторский вклад 40%). Импакт-фактор РИНЦ: 0,201.

**Lygin I.V.**, Bulychev A.A., Gilod D.A., Sokolova T.B., Fadeev A.A. The results of gravity surveys at geophysical grounds in the Kaluga region // Moscow University Geology Bulletin 2014. Vol. 69. # 2. P. 61–67. DOI: 10.3103/S0145875214020094. (0.50 п.л., авторский вклад 40%). SJR: 0,24.

6. **Лыгин И.В.**, Кузнецов К.М., Шевалдышева О.О., Гудкова Т.В. Оценка детальности современных цифровых моделей гравитационного поля Земли на примере Карской астроблемы // Гелиогеофизические исследования. 2024. № 43. С. 4–14. (0.69 п.л., авторский вклад 35%).  
Импакт-фактор РИНЦ: 0,128.
7. **Лыгин И.В.**, Правдивец Д.Д., Сурков М.В., Жаров А.Э., Бакуев О.В., Фомин А.Е. Модель кровли палеогеновых отложений Северной части острова Сахалин по данным гравиразведки и сейсморазведки // Геофизика. 2022. № 3. С. 32–44. (0.81 п.л., авторский вклад 40%).  
Импакт-фактор РИНЦ: 0,403.
8. **Лыгин И.В.**, Пышнюк У.С. Связь вариаций гравитационного поля с тектоническими особенностями в Африкано-Аравийско-Каспийском регионе // Геофизика. 2021. № 6. С. 47–60. (0.88 п.л., авторский вклад 60%).  
Импакт-фактор РИНЦ: 0,403.
9. **Лыгин И.В.**, Ткаченко Н.С. Оценка плотностных неоднородностей геодинамически активных обстановок по временным вариациям гравитационного поля в северо-восточном секторе Тихого океана // Геофизика. 2020. № 1. С. 77–83. (0.44 п.л., авторский вклад 50%).  
Импакт-фактор РИНЦ: 0,403.
10. **Лыгин И.В.**, Соколова Т.Б., Кузнецов К.М., Фадеев А.А. Методика гравиметрического мониторинга для выявления сезонных вариаций силы тяжести // Геофизика. 2024. № 4. С. 40–45. (0.38 п.л., авторский вклад 60%).  
Импакт-фактор РИНЦ: 0,403.
11. **Лыгин И.В.**, Ткаченко Н.С., Зотов Л.В. Анализ временных вариаций гравитационного поля над северо-восточным сектором Тихоокеанского региона по данным спутниковой миссии ГРЕЙС // Геофизика. 2019. № 2. С. 73–82. (0,63 п.л., авторский вклад 40%).  
Импакт-фактор РИНЦ: 0,403.
12. **Лыгин И.В.**, Чепиго Л.С., Соколова Т.Б., Кузнецов К.М., Булычев А.А. Методика геоплотностного и геомагнитного интерактивного моделирования в зависимости от объема и состава априорной геолого-геофизической информации // Геофизика. 2022. № 6. С. 57–70. (0,88 п.л., авторский вклад 40%).  
Импакт-фактор РИНЦ: 0,403.
13. Мостовой Д.В., Твердохлебов Д.Н., **Лыгин И.В.**, Молчанов А.Б., Габова М.Н., Гвоздик С.А., Емельянова К.Л., Мельников Р.С. Построение модели ВЧР на основе комплекса геофизических методов с целью улучшения качества данных сейсморазведки // Геофизика 2021. № 2. С. 25–35. (0.69 п.л., авторский вклад 30%).  
Импакт-фактор РИНЦ: 0,403.
14. Соколова Т.Б., **Лыгин И.В.**, Кузнецов К.М., Токарев М.Ю., Фадеев А.А., Арутюнян Д.А. Современные гравиразведка и магниторазведка при решении инженерно-геологических задач на шельфе (обзор и опыт применения) // Геофизика. 2021. Специальный выпуск. С. 54–62. (0.56 п.л., авторский вклад 40%).  
Импакт-фактор РИНЦ: 0,403.

15. Ткаченко Н.С., **Лыгин И.В.** Применение спутниковой миссии GRACE для решения геологических и географических задач // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2017. № 2. С. 3–7. (0.31 п.л., авторский вклад 50%). Импакт-фактор РИНЦ: 0,201.

Tkachenko N.S., **Lygin I.V.** Application of the GRACE Satellite Mission for Solving Geological and Geographic Problems // Moscow University Geology Bulletin. 2017. Vol. 72. # 3. P. 159–163. DOI: 10.3103/S0145875217030085. (0.31 п.л., авторский вклад 50%). SJR: 0,24.

16. Фадеев А.А., **Лыгин И.В.**, Мелихов В.Р., Копаев А.В. Эталонный полигон по определению цены деления автоматизированных гравиметров в Москве // Геофизика. 2012. № 1. С. 70–73. (0.25 п.л., авторский вклад 40%). Импакт-фактор РИНЦ: 0,403.

17. Чепиго Л.С., **Лыгин И.В.**, Булычев А.А. Прямая двумерная задача гравirazведки от многоугольника с параболической плотностью // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2019. № 4. С. 89–93. (0.31 п.л., авторский вклад 40%). Импакт-фактор РИНЦ: 0,201.

Chepigo L.S., **Lygin I.V.**, Bulychev A.A. A 2D Forward Gravimetry Problem for a Polygon with Parabolic Density // Moscow University Geology Bulletin. 2019. Vol. 74. # 5. P. 516–520. DOI: 10.3103/S014587521905003X. (0.31 п.л., авторский вклад 40%). SJR: 0,24.

18. Чепиго Л.С., **Лыгин И.В.**, Булычев А.А. Решение обратной задачи гравirazведки с переменной скоростью градиентного спуска // Геофизические исследования. 2022. Т. 23. № 1. С. 5–19. DOI: 10.21455/gr2022.1-1. (0,94 п.л., авторский вклад 40%). Импакт-фактор РИНЦ: 0,650.

19. Чепиго Л.С., Ткаченко Н.С., **Лыгин И.В.** Определение параметров точечного источника по гравитационному полю, заданному на сфере // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2019. № 2. С. 84–89. (0.38 п.л., авторский вклад 30%). Импакт-фактор РИНЦ: 0,201.

Chepigo L.S., Tkachenko N.S., **Lygin I.V.** The Parameters of a Point Source on the Gravity Field of a Sphere. Moscow University Geology Bulletin. 2019. Vol. 74. # 3. P. 83–87. DOI: 10.3103/S0145875219030037. (0.38 п.л., авторский вклад 30%). SJR: 0,24.

20. Широкова Т.П., **Лыгин И.В.**, Соколова Т.Б. Особенности сейсмогравитационного моделирования в разных физико-геологических ситуациях // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология, 2022. № 1. С. 42–53. DOI: 10.33623/0579-9406-2022-1-42-53. RSCI (0.75 п.л., авторский вклад 30%). Импакт-фактор РИНЦ: 0,201.

Shirokova T.P., **Lygin I.V.**, Sokolova T.B. The features of seismic-gravity modeling in different physical–geological situations // Moscow University Geology Bulletin. 2022. Vol. 77. # 2. P. 198–210. DOI: 10.3103/s0145875222020089. (0.75 п.л., авторский вклад 30%). SJR: 0,24.

21. Кузнецов К.М., **Лыгин И.В.**, Булычев А.А. Алгоритм численного решения прямой задачи гравиметрии от сферического слоя переменной плотности // Геофизика. 2017. № 1. С. 22–27. (0.38 п.л., авторский вклад 30%). Импакт-фактор РИНЦ: 0,403.

22. Мелихов В.Р., **Лыгин И.В.**, Пийп В.Б. Стрoение земной коры в зоне сочленения Сибирской платформы и Западно-Сибирской плиты по комплексу геофизических данных // Геофизика. 2011. № 2. С. 70–79. (0.63 п.л., авторский вклад 30%). Импакт-фактор РИНЦ: 0,403.

23. Мелихов В.Р., **Лыгин И.В.** Тектонические катастрофы и их место в эволюционном развитии Земли // Геофизика. 2008. № 2. С. 11–19. (0.56 п.л., авторский вклад 50%). Импакт-фактор РИНЦ: 0,403.

24. Молчанов А.Б., **Лыгин И.В.**, Твердохлебов Д.Н., Мостовой Д.В. Комплексирование геофизических методов для 2d и 3d данных в ПО tomplex // Приборы и системы разведочной геофизики. 2021. № 3. С. 43–52. (0.63 п.л., авторский вклад 30%). Импакт-фактор РИНЦ: 0,044.

На автореферат поступило 16 дополнительных отзывов, все положительные.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук соответствует пункту 2.1 Положения о присуждении ученых степеней в МГУ имени М.В. Ломоносова, является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований:

- разработан подхода к эталонированию наземных гравиметров с использованием гравиметрических полигонов, часть пунктов которых расположена в высотных зданиях.

- проанализирована информативность гравиметрических данных, полученных спутниковой альтиметрией;

- разработана методика обработки гравиметрических наблюдений спутниковой миссии Грейс с целью разделения вариаций гравитационного поля на сезонные и продолжительные (более одного года);

- разработана методика выполнения наземных периодических гравиметрических наблюдений для выделения сезонных вариаций поля силы тяжести, связанных с гидродинамическими изменениями в верхней части разреза, без привлечения абсолютных гравиметрических измерений и без использования удаленного опорного гравиметрического пункта;

- разработаны алгоритмы решения прямых и обратных задач гравиметрии в двумерной и трехмерной постановках, а именно:

- алгоритм расчета поля притяжения многоугольника с параболическим законом распределения плотности (двумерная задача);

- алгоритм расчета поля притяжения многогранника и многоугольной пластины с линейным законом распределения плотности (трехмерная задача);

- метод решения линейной обратной задачи гравиразведки с переменной скоростью градиентного спуска;

- алгоритм определения параметров точечного источника по гравитационному полю,

заданному на сфере;

- систематизирована методика геоплотностного (и геомагнитного) интерактивного моделирования в зависимости от объема и состава привлекаемой априорной геолого-геофизической информации на основе формирования особых условий неформального подбора;

- построены согласованные физико-геологические модели на основе интерактивного плотностного моделирования:

- модель кровли палеогеновых отложений Северной части острова Сахалин;

- трехмерная геоплотностная модель Енисей-Хатангского региона;

- разработана методика построения структурной поверхности с использованием методов машинного обучения с верификацией полученных прогнозных границ по гравитационному полю (на примере реконструкции границы Мохоровичича в Баренцевоморском регионе);

- разработан подход к построению согласованных физико-геологических моделей (на примере изучения неоднородностей верхней части разреза Восточной Сибири);

- проанализированы пространственно-временные изменения гравитационного поля и их связь с геологическими особенностями:

- на территории Главного Здания МГУ имени М.В. Ломоносова и учебно-научной геофизической базы им. В.К. Хмелевского геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (дер. Александровка, Калужская область) по наземным периодическим гравиметрическим наблюдениям;

- в северо-восточном секторе Тихоокеанского региона по гравиметрическим материалам спутниковой миссии Грейс;

- в Африкано-Аравийско-Каспийском регионе по гравиметрическим материалам спутниковой миссии Грейс.

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

- указаны границы применимости спутниковых гравиметрических данных для акваторий, обрамленных горными сооружениями, и прибрежных акваторий. Рассчитанные оценки качества альтиметрических данных для разномасштабных построений могут быть применены при геолого-геофизических исследованиях на других акваториях внутренних и окраинных морей;

- разработаны новые алгоритмы решения прямых и обратных задач гравиметрии в двумерной и трехмерной постановках, повышающие эффективность применения гравиметрии в комплексе геолого-геофизических исследований;

- разработанная методика обработки и интерпретации данных потенциальных полей в зависимости от объема и состава привлекаемой априорной информации представляет значительный интерес при геологических исследованиях с целью поиска минерального сырья во всех регионах Российской Федерации;

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

- определена возможность эталонирования наземных автоматизированных гравиметров с использованием гравиметрических полигонов, часть пунктов которых может быть расположена в высотных зданиях;

- разработанный математический аппарат и инструменты учета априорной геологической информации положены в основу программного обеспечения “GravMagInv” [Чепиго, 2022], предназначенного для создания профильных, объемных и сферических плотностных и магнитных моделей;

- новые геологические модели или элементы моделей крупных регионов Российской Федерации, имеющих высокий углеводородный потенциал (модель кровли палеогеновых отложений Северной части острова Сахалин, трехмерная геоплотностная модель Енисей-Хатангского региона, трехмерная геоплотностная модель Баренцевоморского региона и др.), дополняют современные концепции о геологическом строении перечисленных территорий и могут использоваться для их совершенствования;

- результаты исследований включены в лекционные материалы таких учебных курсов, как «Основы гравиразведки и магниторазведки», «Гравиразведка», «Методы обработки и интерпретации гравиметрических и магнитометрических данных», «Прямые и обратные задачи гравиразведки и магниторазведки», «Сейсмогравитационное моделирование», «Морская гравиразведка и магниторазведка» и других, читаемых на геологическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

- использованы алгоритмы и методики с применением современного высокоточного сертифицированного геофизического оборудования и компьютерных программ обработки геофизических данных;

- достоверность разработанных алгоритмов подтверждена выполнением тестовых расчетов на модельных данных;

- геологические выводы и рекомендации обоснованы теоретически и подтверждены в процессе проведения полевых наблюдений, хорошо согласуются с существующими представлениями о геологическом строении изучаемых территорий.

**Личный вклад соискателя состоит:**

- в постановке целей и задач исследований;

- в постановке, выполнении и руководстве полевыми экспериментами,

- в проведении обработки, анализа и геологической интерпретации получаемых результатов.

- в подготовке основных публикаций по теме диссертационной работы.

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. Алгоритмы и методы решения прямых и обратных задач гравиразведки позволяют создавать модели геологических сред со сложным кусочно-непрерывным и градиентным распределением плотности.

2. Подходы в области геоплотностного интерактивного моделирования, применяемые в зависимости от объема и состава привлекаемой априорной геолого-геофизической информации, позволяют учитывать условия формирования элементов геологического разреза.

3. Созданная методика долговременных гравиметрических наблюдений позволяет выделять сезонные изменения уровня грунтовых вод (и влажности грунтов).

4. Низкочастотная компонента вариаций гравитационного поля, полученная по данным миссии Грейс, связана с геодинамическими процессами в тектонически активных регионах.

На заседании 6 декабря 2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Лыгину Ивану Владимировичу ученую степень доктора геолого-минералогических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 7 докторов наук по специальности 1.6.9. Геофизика (геолого-минералогические науки), участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 21 против – 1, недействительных голосов – 0.

Зам. председателя  
диссертационного совета

Владов М.Л.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Кузнецов К.М.

09.12.2024 г.