

УДК 551.513:556.013:519.6

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИМАТА, ДИНАМИКИ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА: к 95-летию Г.И. Марчука и 40-летию ИВМ РАН

© 2020 г. В. П. Дымников^{а, *}, Е. Е. Тыртышников^{а, **}, В. Н. Лыкосов^{а, ***}, В. Б. Залесный^{а, ****}

^аИнститут вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, ул. Губкина, 8, Москва, 119333 Россия

*e-mail: dymnikov@inm.ras.ru

**e-mail: eugene.tyrtysnikov@gmail.com

***e-mail: lykossov@yandex.ru

****e-mail: vzalesny@yandex.ru

Поступила в редакцию 20.01.2020 г.

После доработки 27.01.2020 г.

Принята к публикации 05.02.2020 г.

Вступительная статья о выпуске журнала Известия РАН. Физика атмосферы и океана, № 3, 2020 г., посвященном 40-летию Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука Российской академии наук (ИВМ РАН) и 95-ой годовщине со дня рождения его основателя – академика Г.И. Марчука. Приводятся основные особенности научно-организационной и педагогической деятельности Г.И. Марчука, оказавшие значительное влияние на развитие современной геофизической гидродинамики, физики атмосферы и океана, и их отражение в исследованиях и развитии ИВМ РАН на протяжении 40-летнего периода.

Ключевые слова: физика атмосферы и океана, математическое моделирование, вычислительная математика, численные алгоритмы

DOI: 10.31857/S0002351520030050

*Помни Создателя твоего в дни юности твоей, ...
доколе не померкли солнце и свет и луна и звезды, и не нашли тучи вслед за дождем...
доколе не порвалась серебряная цепочка и не разорвалась золотая повязка,
и не разбился кувшин у источника, и не обрушилось колесо над колодезем.
Слова мудрых – как иглы и как вбитые гвозди, и составители их – от единого пастыря.
(Екклесиаст, XII:1–6, 11)*

Выпуск журнала посвящен 40-летию Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука Российской академии наук и 95-ой годовщине со дня рождения его основателя – академика Гурия Ивановича Марчука.

Выдающийся ученый и организатор, преподаватель и общественный деятель, Гурий Иванович Марчук оставил яркий след в развитии нескольких направлений современной науки, организации научных институтов и учебных кафедр советских и российских университетов. Выделим пять краеугольных камней его научно-организационной и педагогической деятельности – два института и три кафедры. В новосибирском Академгородке это – организованные в 1964 г. Вычислительный центр Сибирского отделения Академии наук СССР и кафедра математических методов в динамической метеорологии на механико-математическом факультете Новосибирского государственного университета со специализацией по

вычислительной математике (в 1972 г. она включена в состав кафедры вычислительной математики); в Москве – созданные в 1980 г. Отдел (с 1991 г. – Институт) вычислительной математики АН СССР (впоследствии – Российской академии наук) и кафедра математического моделирования физических процессов на факультете проблем физики и энергетики Московского физико-технического института (МФТИ), а также организованная в 2004 г. кафедра вычислительных технологий и моделирования на факультете вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (МГУ).

Работы Г.И. Марчука в области вычислительной математики [1–3] и математического моделирования климата, динамики атмосферы и океана [3, 4], развивая традиции отечественных исследований [5–7], оказали значительное влияние на современную науку. В первую очередь, это относит-



ся к центральному направлению физики атмосферы и океана — математическому моделированию и численному решению задач прогноза погоды и изменений климата. Глубокая связь вычислительной математики и геофизической гидродинамики является главной особенностью работ его научной школы и основанного им Института вычислительной математики (ИВМ) РАН.

Среди научных исследований Г.И. Марчука и его научной школы в области геофизической гидродинамики, физики атмосферы и океана можно выделить несколько основных направлений. Это — моделирование климатической Земной системы; математические задачи теории климата; сопряженные уравнения и методы теории управления в задачах геофизической гидродинамики; математическое моделирование и численные алгоритмы динамики атмосферы и океана.

Необходимо отметить важную особенность организационной деятельности Г.И. Марчука, по сей день проявляющуюся в традициях основанных им научных коллективов. Она выражается в создании ударной научной группы, которая берется за решение экстремально больших, междисциплинарных задач [8–10]. Группа, как правило, небольшая и мобильная, объединяет как опытных исследователей, так и аспирантов и студентов. Решение экстремально больших задач требует помимо ударной группы привлечение также специалистов разного научного профиля из других институтов и университетов, создание внешних научных коллективов. На этой основе и формируется научная тематика, структура и современный состав Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН.

Гурий Иванович говорил, что в своей деятельности ИВМ РАН должен следовать следующим принципам: быть нацеленным на решение важных актуальных задач; состоять из трех почти равных частей, объединяющих научных сотрудников, аспирантов и студентов; вместо традиционных лабораторий и отделов иметь более гибкую структуру — творческие научные коллективы, состав и тематика которых может меняться по времени, следуя за вызовами современной науки [11, 12].

Основные направления исследований ИВМ РАН связаны с научными интересами его создателя. В 1980 г. их было четыре: вычислительная математика; моделирование динамики атмосферы и океана; математическая иммунология и медицина; параллельные вычисления. В настоящее время тематика института несколько изменилась. Теперь это — вычислительная математика, тензоры и оптимизация методов [13–19]; методы и технологии вычислительной математики и задачи биологии и медицины [20, 21]; моделирование динамики Земной системы и задачи окружающей среды [22–25]; математическое моделирование атмосферы и океана и задачи усвоения данных наблюдений [10, 12, 17, 26–29].

Отмечающий в 2020 г. свое 40-летие Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН в настоящее время в консорциуме с Московским государственным университетом им. М.В. Ломоносова и Институтом прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН входит в состав Московского центра фундаментальной и прикладной математики.

Направления научно-исследовательских работ ИВМ РАН соответствуют Программе фундаментальных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг. Помимо 16 базовых тем НИР Институтом за последние 5 лет выполнено свыше 100 различных проектов по программам Президиума и отделений РАН, федеральным целевым программам, программам министерств и ведомств, грантам РФФИ и РФФ, международным программам (<https://www.inm.ras.ru>).

В области геофизической гидродинамики, теории климата и проблем окружающей среды Институт активно сотрудничает с ведущими научными коллективами Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, МГУ, Гидрометцентра России, Морского гидрофизического института РАН, Института безопасного развития атомной энергетики РАН, Государственного океанографического института им. Н.Н. Зубова и других организаций.

Наряду с научными исследованиями постоянное внимание Институтом уделяется научно-педагогической деятельности в рамках аспирантуры ИВМ РАН и двух его базовых кафедр: вычислительных технологий и моделирования в геофизике и математике — на факультете управления и прикладной математики МФТИ и вычислительных технологий и моделирования — на факультете вычислительной математики и кибернетики МГУ [16, 30]. Из 55 научных сотрудников в настоящее время в ИВМ РАН работает 29 выпускников МФТИ и 11 — МГУ.

Совместными усилиями научных сотрудников, аспирантов и студентов в ИВМ РАН развиваются идеи, которые заложил основатель Института — академик Гурий Иванович Марчук.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1989. 608 с.
2. Марчук Г.И. Избранные труды. Т. I. Методы вычислительной математики. М.: РАН, 2018. 764 с.
3. Марчук Г.И. Избранные научные труды. Т. II. Сопряженные уравнения и анализ сложных систем. М.: РАН, 2018. 500 с.
4. Марчук Г.И. Избранные научные труды. Т. III. Модели и методы в задачах физики атмосферы и океана. М.: РАН, 2018. 892 с.
5. Обухов А.М. Турбулентность и динамика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 414 с.
6. Монин А.С. Введение в теорию климата. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 240 с.
7. Голицын Г.С. Статистика и динамика природных процессов и явлений. М: КРАСАНД, 2012. 400 с.
8. Марчук Г.И., Дымников В.П., Залесный В.Б., Лыкоsov В.Н., Галин В.Я. Математическое моделирование общей циркуляции атмосферы и океана. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 320 с.
9. Марчук Г.И., Дымников В.П., Залесный В.Б. Математические модели в геофизической гидродинамике и численные методы их реализации. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 296 с.
10. Marchuk G.I., Paton B.E. The Black Sea as a simulation ocean model // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modeling. 2012. V. 27. № 1. P. 1–4.
11. Марчук Г.И. Жизнь в науке. М.: Наука, 2000. 191 с.
12. Марчук Г.И., Патон Б.Е., Кортаев Г.К., Залесный В.Б. Информационно-вычислительные технологии — новый этап развития оперативной океанографии // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2013. Т. 49. № 6. С. 629–642.
13. Шутяев В.П. Операторы управления и итерационные алгоритмы в задачах усвоения данных. М.: Наука, 2001, 239 с.
14. Tyrtshnikov E.E. Tensor approximations of matrices generated by asymptotically smooth functions, Sbornik: Mathematics. 2003. V. 194. № 5–6. P. 941–954.
15. Oseledets I., Tyrtshnikov E.E. TT-cross approximation for multidimensional arrays // Linear Algebra Appl. 2010. V. 432. P. 70–88.
16. Василевский Ю.В., Данилов А.А., Липников К.Н., Чузунов В.Н. Автоматизированные технологии построения неструктурированных расчетных сеток. М.: Физматлит, 2016. 216 с.
17. Агошков В.И. Методы разделения области в задачах гидротермодинамики океанов и морей. М.: ИВМ РАН, 2017. 187 с.
18. Богатырев А.Б. Вещественные мероморфные дифференциалы: язык для описания меронных конфигураций в планарных магнитных нанозементах // Теоретическая и математическая физика. 2017. Т. 193. № 1. С. 162–176.
19. Nechepurenko Yu.M., Sadkane M. Computing humps of the matrix exponential // J. Comput. and Appl. Math. 2017. V. 319. P. 87–96.
20. Marchuk G. I., Shutyaev V., Bocharov G. Adjoint equations and analysis of complex systems: application to virus infection modeling // J. Comput. and Appl. Math. 2005. V. 184. P. 177–204.
21. Nikitin K., Olshanskii M., Terekhov K., Vassilevski Y.A. splitting method for numerical simulation of free surface flows of incompressible fluids with surface tension // Computational Methods in Applied Mathematics. 2015. V. 15. № 1. P. 59–77.
22. Алоян А.Е. Моделирование динамики и кинетики газовых примесей и аэрозолей в атмосфере. М.: Наука, 2008. 415 с.
23. Лыкоsov В.Н., Глазунов А.В., Кулямин Д.В., Мортиков Е.В., Степаненко В.М. Суперкомпьютерное моделирование в физике климатической системы. М.: Изд.-во Московского университета, 2012. 408 с.
24. Дымников В.П., Лыкоsov В.Н., Володин Е.М. Математическое моделирование динамики Земной системы // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2015. Т. 51. № 3. С. 260–275.
25. Володин Е.М., Галин В.Я., Грицуцун А.С., Гусев А.В., Дианский Н.А., Дымников В.П., Ибраев Р.А., Калмыков В.В., Кострыкин С.В., Кулямин Д.В., Лыкоsov В.Н., Мортиков Е.В., Рыбак О.О., Толстых М.А., Фадеев Р.Ю., Чернов И.А., Шашкин В.В., Яковлев Н.Г. Математическое моделирование Земной системы / Под ред. Яковлева Н.Г., М.: МАКС Пресс, 2016. 328 с.
26. Марчук Г.И., Залесный В.Б. Моделирование циркуляции Мирового океана с четырехмерной вариационной ассимиляцией полей температуры и солености // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2012. Т. 48. № 1. С. 21–36.
27. Толстых М.А., Фадеев Р.Ю., Шашкин В.В., Гойман Г.С., Зарипов Р.Б., Киктев Д.Б., Махнорылова С.В., Мизяк В.Г., Рогутов В.С. Многомасштабная глобальная модель атмосферы ПЛАВ: результаты среднесрочных прогнозов погоды // Метеорология и гидрология. 2018. № 11. С. 90–99.
28. Kalmykov V.V., Ibraev R.A., Kaurkin M.N., Ushakov K.V. Compact Modeling Framework v3.0 for high-resolution global ocean-ice-atmosphere models // Geosci. Model Develop. 2018. V. 11. № 10. P. 3983–3997.
29. Дымников В.П., Залесный В.Б. Основы вычислительной геофизической гидродинамики. М.: ГЕОС, 2019. 448 с.
30. Тыртышников Е.Е. Основы алгебры. М.: Физматлит, 2017. 464 с.

Mathematical Modeling of Climate, Dynamics Atmosphere and Ocean: to the 95th anniversary of G.I. Marchuk and the 40th anniversary of the INM RAS

V. P. Dymnikov^{1, *}, E. E. Tyrtysnikov^{1, **}, V. N. Lykossov^{1, ***}, and V. B. Zalesny^{1, ****}

¹*Marchuk Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Sciences, Gubkin str., 8, Moscow, 119333 Russia*

**e-mail: dymnikov@inm.ras.ru*

***e-mail: eugene.tyrtysnikov@gmail.com*

****e-mail: lykossov@yandex.ru*

*****e-mail: vzalesny@yandex.ru*

Introductory article on the issue of the journal *Izvestia RAN, Atmospheric and Ocean Physics*, No. 3, 2020, dedicated to the 40th anniversary of the Marchuk Institute of Numerical Mathematics of the Russian Academy of Sciences (INM RAS) and the 95th anniversary of the birth of its founder – Academician G.I. Marchuk. The main features of the scientific-organizational and pedagogical activities of G.I. Marchuk, who had a significant impact on the development of modern geophysical hydrodynamics, physics of the atmosphere and ocean, and their reflection in the INM RAS research and development activities over a 40-year period.

Keywords: atmosphere and ocean physics, mathematical modeling, numerical mathematics, algorithms