

Модель визуализации для данных численного моделирования конвективного облака

В.А. Шаповалов¹, А.А. Аджиева², Б.А. Бачиев³, И.Х. Машуков¹

¹Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова

²Высокогорный геофизический институт

³Дагестанский государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова

Аннотация: В статье рассмотрена модель визуализации данных численного моделирования конвективного облака. Она используется для наглядного представления и анализа процессов в конвективном облаке. Рассмотрены новые методы и подходы к визуализации результатов, основанные на современных технологиях и алгоритмах, таких, как визуализация в реальном времени и использование вычислений на графических процессорах. Подход к автоматизации процесса быстрого качественного анализа данных численного моделирования заключается в создании специализированного программного обеспечения трехмерной визуализации. Это программное обеспечение используется для задач, связанных с исследованием сложных процессов взаимодействия процессов в конвективном облаке на основе численной модели с детальной микрофизикой.

Ключевые слова: прикладная программа, трехмерная визуализация, данные численного моделирования, машинная графика, модель визуализации, параметры облаков, моделирование.

Использование вычислительной техники для визуализации и анализа данных достаточно широко распространено и стало уже традиционным. Множество возможных вариантов для построения визуальных моделей неизбежно приводит к возникновению вопроса о программных и технических средствах, способных решить поставленную задачу [1].

Примером универсальной системы визуализации служит система ParaView [2], являющаяся в значительной мере параллельным вариантом Visualization ToolKit (VTK). Средства визуализации в пакетах прикладных программ, например, таких, как Maple, Matematika или средства визуализации CDF как JFilin также можно рассматривать, как универсальные системы визуализации. Важной особенностью универсальных систем является наличие типового набора видов отображения для типовых математических объектов [3].

Сама задача наглядного представления и анализа больших массивов числовой информации стоит во многих областях науки, техники, экономики и пр. Наибольшее внедрение и полнота результата была достигнута для таких направлений человеческой деятельности как: игры, тренажеры-симуляторы, геология, горное дело, медицина, авиация, космонавтика и др. Для систем научной визуализации это моделирование, обработка результатов экспериментов, анализ данных дистанционного зондирования, решение различных инженерных задач [1]. Анализ источников [1, 4, 5] показывает, что классификация систем визуализации естественным образом выстраивается, по научным направлениям, для которых разрабатываются соответствующие системы.

Ученым, занимающимся проблемами метеорологии и физики атмосферы, постоянно приходится иметь дело с трехмерными наборами данных в числовой форме [6, 7]. Такими наборами могут являться как результаты численного моделирования, так и информация систем дистанционного зондирования атмосферы. С увеличением объема и сложности данных, сгенерированных современными численными моделями, становится все труднее быстро отобразить и интерпретировать результаты [8, 9].

В настоящее время существует множество различных графических «движков» (Unity, CryEngine, UDK, PyVista), позволяющих создавать трехмерные сцены. В качестве основы для модуля визуализации было решено использовать GLScene на основе открытой библиотеки OpenGL, так как ранее он успешно применялся для визуализации данных радиолокационных наблюдений облаков и осадков и грозопеленгационных данных [10, 11].

Цель данной работы заключается в создании инструмента - модели визуализации данных численного моделирования конвективного облака с

детальной микрофизикой, который может быть использован для более глубокого изучения эволюции облаков и атмосферных явлений, связанных с ними, таких как ливни, грозы, шквалы, град.

Для этого в Высокотемпературном геофизическом институте разработано оригинальное программное обеспечение трехмерной графики, которое позволяет улучшить визуальное восприятие и анализ полученных данных.

Принципы разработки программной системы визуализации

Цикл исследований: подготовка к анализу, вычисления, визуализация и анализ результатов более известен как схема численного моделирования или схема численного эксперимента и в расширенном виде состоит из следующих стадий: сбор и накопление первичных данных; разработка модели; создание математической модели; алгоритмизация; программирование; вычисление по программе; визуализация; интерпретация и анализ результатов. Это определяет место визуализации в цикле моделирования как шаг представления результата вычислений, обеспечивающий интерпретацию и анализ полученных данных. Отсюда, под компьютерной визуализацией мы понимаем методику перевода абстрактных представлений об объектах в геометрические образы, что дает возможность исследователю наблюдать результаты компьютерного моделирования явлений и процессов [1].

Визуализация является существенной частью процесса численного моделирования, обеспечивающей анализ и правильную интерпретацию результатов вычислений, а также дальнейшую работу с полученной моделью [4].

Для визуализации данных используется множество математических методов, например, такие как: трансформация, фильтрация, интерполяция, спектральный анализ, статистический анализ.

Степень адаптации к предметной области определяется способностью использовать все необходимые средства отображения объекта и зоны исследований, что невозможно при использовании ограниченных библиотек или универсальных программ визуализации.

Разрабатываемое программное обеспечение учитывает недостатки существующих систем визуализации и отвечает заданным требованиям, в частности, обеспечивает:

- возможность создания сложных визуальных объектов на основе метода марширующих кубов (marching cubes);
- отображение динамики (линии тока, анимация, динамическое изменение текстур);
- отображение изолинии;
- возможность отображения требуемых параметров, их сечений и графиков в сечении (рис 1-3);
- отсутствие необходимости установки дополнительного программного обеспечения;
- глубокую адаптацию к предметной области.

Объемные данные представляют собой трехмерный массив элементов, при этом матрицы содержат данные о значении параметра в узлах сетки трехмерного пространства. Для реализации используются общие решения по повышению эффективности работы алгоритмов, изложенные, например, в работах [8, 9, 12].

Ниже приведены некоторые возможности разработанного авторами программного обеспечения трехмерной визуализации данных.

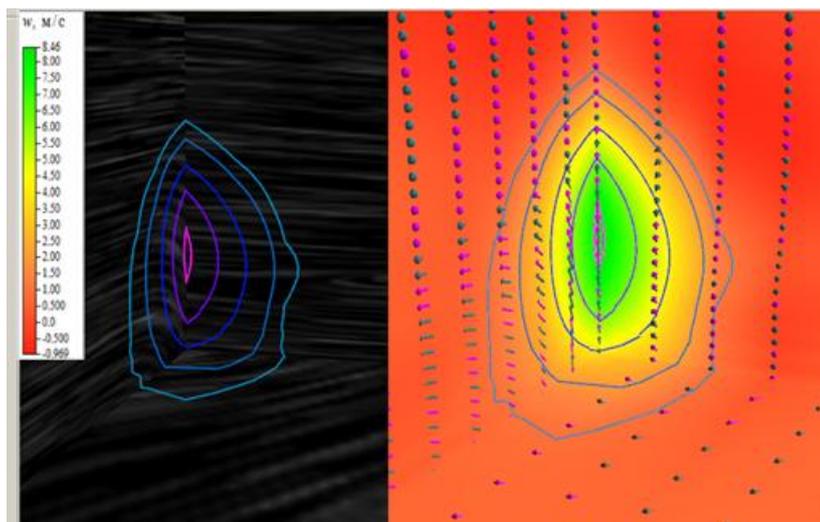


Рис. 1 – Отображение изолиний вертикальной составляющей скорости w (м/с) в сечениях вдоль плоскостей X, Y, Z на фоне текстур линий тока (слева) и собственно карт значений скорости w (м/с) (справа), здесь также приведены значения скорости в каждом узле в виде объемного объекта вектора (стрелки)

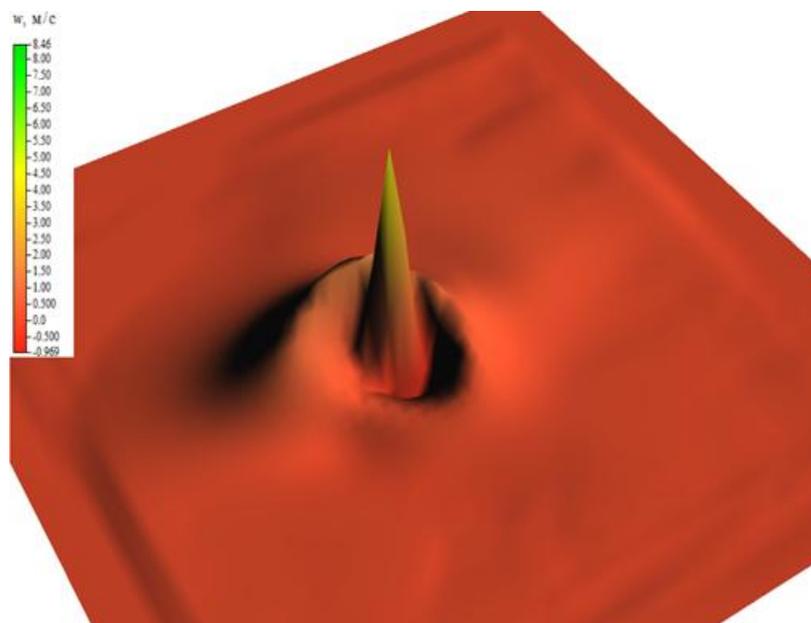


Рис. 2 – Распределение вертикальной составляющей скорости w (м/с) в горизонтальном сечении в виде окрашенного по палитре графика

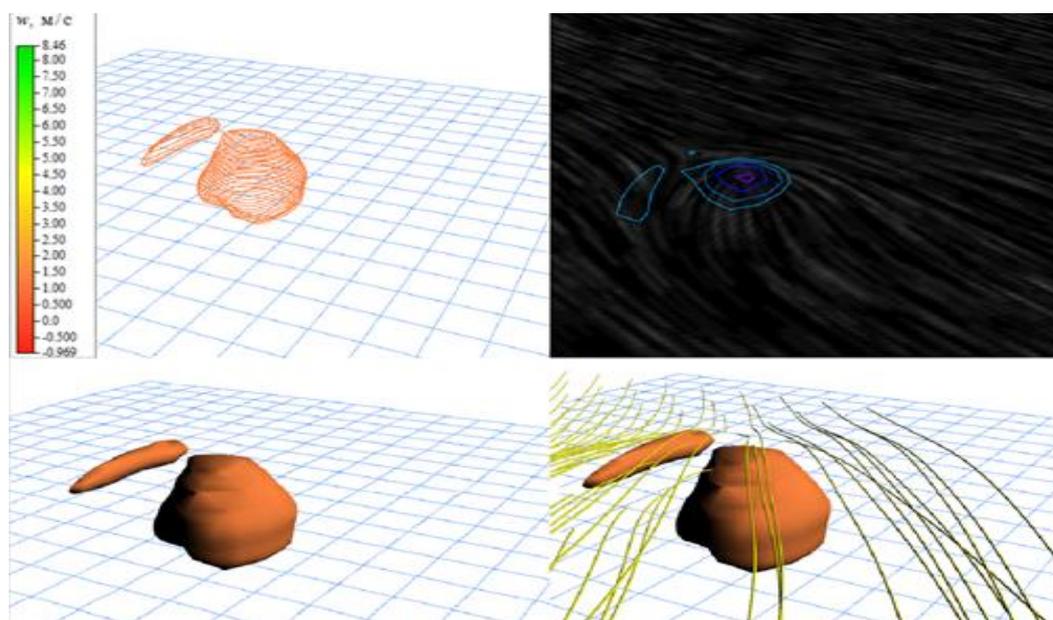


Рис. 3 – Пример совмещения в одном окне множества графиков: изолинии одного уровня во всех сечениях по вертикали (вверху слева), изолинии нескольких уровней на фоне карты (текстуры) линий тока в горизонтальном сечении (вверху справа), изоповерхность одного уровня окрашенная по палитре (внизу справа) и она же на фоне трехмерных линий тока (внизу справа). Видно, как облако взаимодействует с полем горизонтального ветра. Шаг вспомогательной сетки равен 2x2 км.

Для реализации предложенного подхода к генерации объектов с учетом параметров отображения и формирования на их основе модели визуализации был предложен обобщенный алгоритм генерации сцены (рис. 4). Он описывает последовательность формирования модели визуализации, отображающей результаты численного моделирования на основе установленных пользователем параметров и выбранных для сцены способов отображения.

Визуальная модель будет принимать в качестве входных данных результаты численных экспериментов. При этом, изменяя способы

отображения для сцены, можно получить широкий спектр вариантов представления, способствующий как более глубокому анализу данных, так и повышающий скорость интерпретации результата.

Процессы параметризации и генерации текущих объектов сцены повторяются каждый раз при добавлении нового способа отображения, до формирования законченного визуального представления сцены.

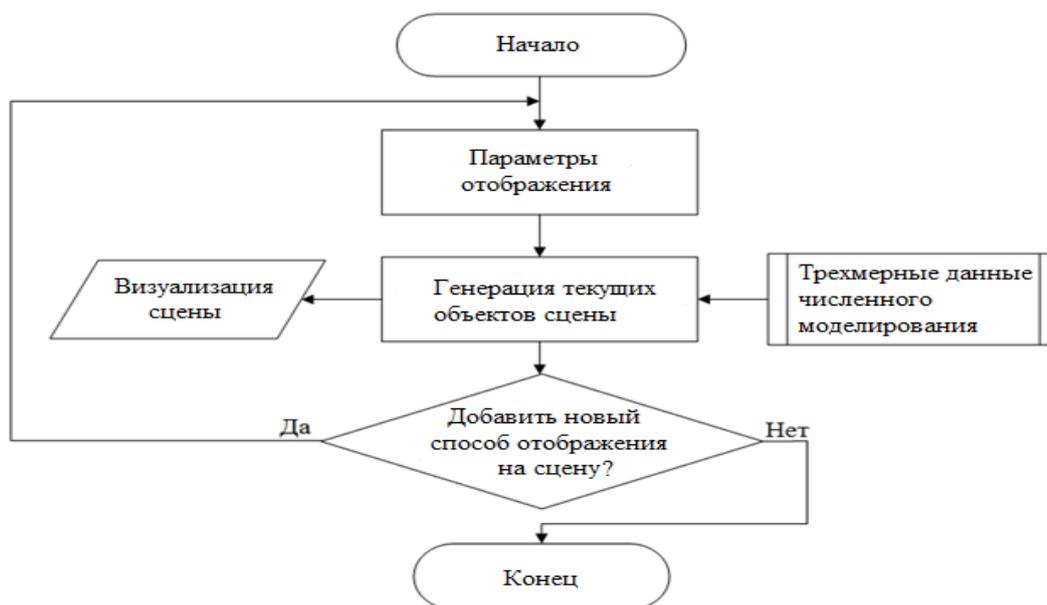


Рис. 4 – Алгоритм процесса визуализации

Программа трехмерной визуализации данных численного моделирования позволяет:

- осуществлять трехмерные повороты и вращение сцены, приближать и отдалять её;
- изображать параметры модельного облака изолиниями в горизонтальных и вертикальных сечениях;
- использовать несколько видов отображения одновременно, что повышает возможности исследователя по физической интерпретации результатов расчетов;

- отображать изоповерхности расчетных параметров (водность, ледность, компоненты скорости ветра, радиолокационная отражаемость и др.);

- отображать векторное поле стрелками;
- визуализировать эволюцию облака во времени;

Навигация в системе представляет собой совокупность функций управления камерой.

Шкала фиксированных значений дает возможность легко изменять уровень отображения и последовательно изучать внутреннюю структуру объекта, просматривая вложенные слои, друг за другом. В частности, построение трехмерного изображения облака в виде изоповерхностей дает возможность увидеть облако как объемный объект (рис. 3), оценить его особенности.

В данной работе мы представили модель визуализации данных численного моделирования конвективного облака, которая основана на использовании детальной микрофизики. Наша модель решает задачу объемной визуализации данных и может быть полезна для анализа процессов, происходящих в конвективных облаках.

Заключение

Авторами предложен подход к автоматизации процесса обработки результатов численного моделирования при помощи модели визуализации трехмерной сцены, что позволяет визуализировать область исследования, не прибегая к помощи сторонних графических пакетов, требующих значительных временных затрат на освоение.

Программа трехмерной визуализации отличается удобством и развитой функциональностью. Генерируемые сцены представляют информацию в таком виде, который облегчает пользователю возможность сформировать представление об объемных характеристиках и эволюции конвективного

облака, получить наглядное представление о процессах, происходящих в конвективном облаке. Всё это позволяет визуализировать результаты численного моделирования в более понятном виде, что способствует полноценной интерпретации и анализу данных результатов моделирования.

Визуализация данных численного моделирования конвективных облаков является необходимой задачей для понимания физических процессов, происходящих в атмосфере и оценки их влияния на климатические изменения.

В целом, результаты показали, что разработанная модель визуализации данных численного моделирования конвективного облака является эффективным инструментом для изучения конвективных явлений и может быть использована для различных приложений в физике облаков и активных воздействий на них. А новые методы визуализации данных могут помочь улучшить понимание и анализ результатов численного моделирования на основе трехмерной модели облака.

Литература

1. Авербух В.Л. Разработка средств компьютерной визуализации для научных исследований // Труды первой международной конференции «Трехмерная визуализация научной, технической и социальной реальности. Кластерные технологии моделирования». Ижевск, 2009. С. 8-11.
2. Cedilnik A., Geveci B., Moreland K., Ahrens J., Favre J. Remote Large Data Visualization in the ParaView // Eurographics Symposium on Parallel Graphics and Visualization. 2006, pp. 163- 170.
3. Muñoz-Esparza D., Sauer J. A., Jensen A. A., Xue L., Grabowski W. W. The FastEddy® Resident-GPU Accelerated Large-Eddy Simulation Framework: Moist Dynamics Extension, Validation and Sensitivities of Modeling

Non-Precipitating Shallow Cumulus Clouds //Journal of Advances in Modeling Earth Systems. 2022. Т. 14, №. 4. pp. 1-22. doi: 10.1029/2021MS002904

4. Самарский А.А. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент // Вестник АН СССР, 1979, N 5. С. 38-49.

5. Matsuoka D. Extraction, classification and visualization of 3-dimensional clouds simulated by cloud-resolving atmospheric model //International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing. 2017, Т. 8. №. 04. С. 1750051.

6. De Souza C. V. F., Barcellos P. C. L., Crissaff L., Cataldi M., Miranda F., Lage M. Visualizing simulation ensembles of extreme weather events // Computers & Graphics. 2022. V. 104, May 2022. pp. 162-172. doi: 10.1016/j.cag.2022.01.007.

7. Stevens, B., Acquistapace C., Hansen A., Heinze R. et. al. The added value of large-eddy and storm-resolving models for simulating clouds and precipitation. J. Meteor. Soc. Japan, 2020, 98, 395–435, doi: 10.2151/jmsj.2020-021.

8. Рачковская Г.С. Математическое моделирование и компьютерная визуализация сложных геометрических форм // Инженерный вестник Дона, 2013, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1498/.

9. Шаповалов А. В., Шаповалов В. А. Трехмерная визуализация геофизической информации для решения прикладных задач // Наука. Инновации. Технологии. 2014. №. 1. С. 65-73.

10. Аджиева А.А, Шаповалов В.А. Кластерный анализ в автоматическом выявлении и сопровождении грозовых очагов по данным грозопеленгационной сети // Инженерный вестник Дона, 2016, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3559/.

11. Шаповалов В. А., Шаповалов М. А. Исследование быстроразвивающихся конвективных процессов в Северо-Кавказском регионе РФ // Физика облаков и активные воздействия, склоновые процессы. экологические проблемы. загрязнение окружающей среды. 2017. С. 23-29.

12. Potiy O.A. Anikanov A.A. GPU-Based Texture Flow Visualization // THE 14th International Conference on Computer Graphics and Vision GraphiCon'2004, September 6-10, 2004 Moscow, Russia. Conference Proceedings. Pp. 155-158.

References

1. Averbukh V.L. Razrabotka sredstv komp'yuternoy vizualizatsii dlya nauchnykh issledovaniy: trudy pervoy mezhdunarodnoy konferentsii «Trekhnernaya vizualizatsiya nauchnoy, tekhnicheskoy i sotsial'noy real'nosti. Klasternyye tekhnologii modelirovaniYA». Izhevsk, 2009, pp. 8-11.

2. Cedilnik A., Geveci B., Moreland K., Ahrens J., Favre J. Remote Large Data Visualization in the ParaView. Eurographics Symposium on Parallel Graphics and Visualization. 2006, pp. 163-170.

3. Muñoz-Esparza D., Sauer J. A., Jensen A. A., Xue L., Grabowski W. W. The FastEddy® Resident-GPU Accelerated Large-Eddy Simulation Framework: Moist Dynamics Extension, Validation and Sensitivities of Modeling Non-Precipitating Shallow Cumulus Clouds. Journal of Advances in Modeling Earth Systems. 2022. Vol. 14, No. 4, pp. 1-22.

4. Samarskiy A.A. Matematicheskoye modelirovaniye i vychislitel'nyy eksperiment. Vestnik AN SSSR, 1979, № 5. pp. 38-49.

5. Matsuoka D. International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing. 2017, Vol. 8, No. 4, pp. 1750051.

6. De Souza C.V.F., Barcellos P.C.L., Crissaff L., Cataldi M., Miranda F., Lage M. Computers & Graphics. 2022. V. 104. pp. 162-172.

7. Stevens, B., Acquistapace C., Hansen A., Heinze R. et. al. The added value of large-eddy and storm-resolving models for simulating clouds and precipitation. J. Meteor. Soc. Japan, 2020, 98, pp. 395–435.

8. Rachkovskaya G.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1498/.



9. Shapovalov A. V., Shapovalov V. A.. Nauka. Innovatsii. Tekhnologii. 2014. №. 1. pp. 65-73.
10. Adzhiyeva A.A, Shapovalov V.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3559/.
11. Shapovalov V. A., Shapovalov M. A. Issledovaniye bystrorazvivayushchikhsya konvektivnykh protsessov v Severo-Kavkazskom regione RF. Fizika oblakov i aktivnyye vozdeystviya. sklonovye protsessy. ekologicheskiye problemy. zagryazneniye okruzhayushchey sredy. 2017. pp. 23-29.
12. Potiy O.A., Anikanov A.A. GPU-Based Texture Flow Visualization. Conference Proceedings. The 14th International Conference on Computer Graphics and Vision GraphiCon'2004, September 6-10, 2004 Moscow, Russia. pp. 155-158.