

## Информационная технология трехмерного представления данных измерений и численного моделирования

*В.А. Шаповалов*

*Высокогорный геофизический институт, г.Нальчик*

**Аннотация:** В работе представлено описание разработанного программного обеспечения трехмерной графики, которое предназначено для интерпретации широкого спектра геофизической информации и данных моделирования. Информационная технология применяется для визуализации данных радиолокационных наблюдений облаков, результатов численного моделирования на основе трехмерной модели облака. Приведены некоторые возможности программы. Шкала фиксированных значений радиолокационной отражаемости дает возможность легко изменять порог отображения и последовательно изучать внутреннюю структуру объекта, просматривая вложенные слои друг за другом. Обеспечивается построение горизонтальных и вертикальных разрезов объекта. Программа создана с использованием модулей открытой библиотеки OpenGL.

**Ключевые слова:** прикладная программа, трехмерная визуализация, параметры облаков, радиолокационная отражаемость, данные моделирования.

### Введение

Последние десятилетия характеризуются бурным развитием трехмерной компьютерной графики практически во всех сферах деятельности людей, будь то: игры, тренажеры, геология, медицина, космос и др. В частности, быстрыми темпами развивается и внедряется в практику трехмерное представление информации: проектирования и моделирования [1-3], с метеорологических радиолокаторов, для изображения результатов наблюдений [4-6] и т.д.

Наибольшим риском возникновения стихийных природных бедствий на территории России характеризуется Северный Кавказ. На территории региона происходит треть всех чрезвычайных ситуаций природного характера в стране. Особо опасными явлениями считаются конвективные процессы, приводящие к грозам и граду. Для своевременного предупреждения населения и различных служб об опасных метеорологических явлениях разрабатываются и совершенствуются информационные технологии приема и анализа информации дистанционного

---

зондирования атмосферы радиотехническими средствами [7,8]. Данные наблюдений хранятся и передаются в виде файлов с данными в полярных или декартовых трехмерных координатах. В узлах пространственной сетки хранится информация об интенсивности метеорологического явления в атмосфере в момент наблюдения. Обмен информацией между метеорологическими радиолокаторами и центром обработки данных осуществляется с использованием стандартных и унифицированных каналов связи, протоколов и интерфейсов.

В Высокотомном геофизическом институте на основе открытой библиотеки OpenGL разработано оригинальное программное обеспечение трехмерной графики, которое способствует более качественной интерпретации широкого спектра геофизической информации и данных моделирования. В данной работе представлены некоторые возможности разработанного авторами программного обеспечения трехмерной (3D) визуализации данных.

### **Описание информационной технологии**

Автором подобраны методы, которыми может быть решена задача объемной визуализации, с использованием возможностей стандартных графических акселераторов, поддерживающих DirectX и OpenGL. Объемные данные представляют собой трехмерный массив элементов, являющихся единицами 3D пространства. При этом матрицы содержат данные о значении параметра в узлах сетки трехмерного пространства. Применяются общие программные решения по повышению эффективности работы алгоритмов, изложенные, например, в работах [9,10].

Программное обеспечение визуализации радиолокационной метеорологической информации позволяет получить новые представления о мощных грозовых облаках, их структуре, взаимодействии развивающихся конвективных ячеек. В частности, построение трехмерного изображения

---

облака в виде изоповерхностей радиолокационной отражаемости дает возможность увидеть облако как объемный объект (рис.1), оценить его особенности, проследить связь с орографией. Значение этих возможностей, ставших доступными в последние годы, весьма существенно.

Отображение метеорологических объектов осуществляется в привязке к трехмерной поверхности Земли (рис.1 и 2). Радиолокационные данные при отображении соотносятся с положением и размерами относительно координат радиолокационной станции и привязаны к области вывода. Шкала уровней отражаемости дает возможность изменять внешний порог отображения и последовательно просматривать положение вложенных уровней, или увидеть все уровни одновременно, например, в вертикальном или горизонтальном разрезе облака (рис.2). Нанесение дополнительных слоев геоинформационных данных позволяет выводить вспомогательную информацию.

Для интерпретации данных наблюдений эффективно используются: кластерный анализ, фильтрация, подходы на основе нейронных сетей [11-13].

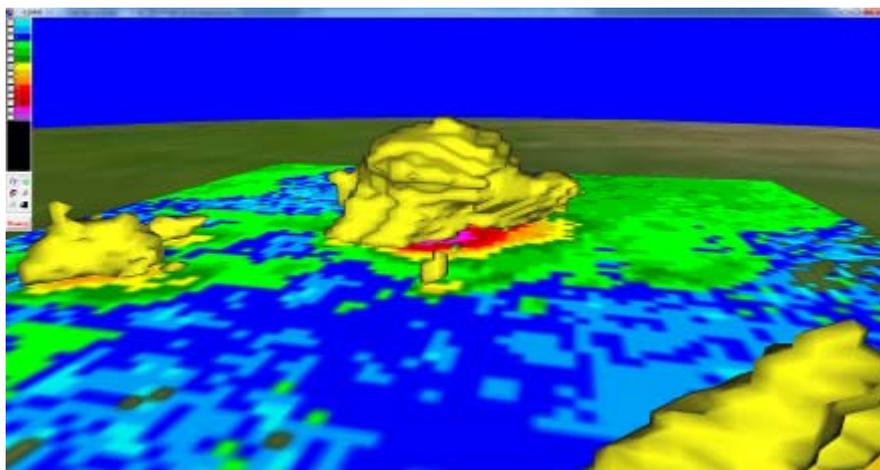


Рис. 1. – Трехмерное изображение градового облака по результатам наблюдений на Северном Кавказе автоматизированным радиолокатором МРЛ-5, приведены изоповерхности уровня радиолокационной отражаемости 30 dBZ на фоне карты максимальной отражаемости  $Z_{max}$

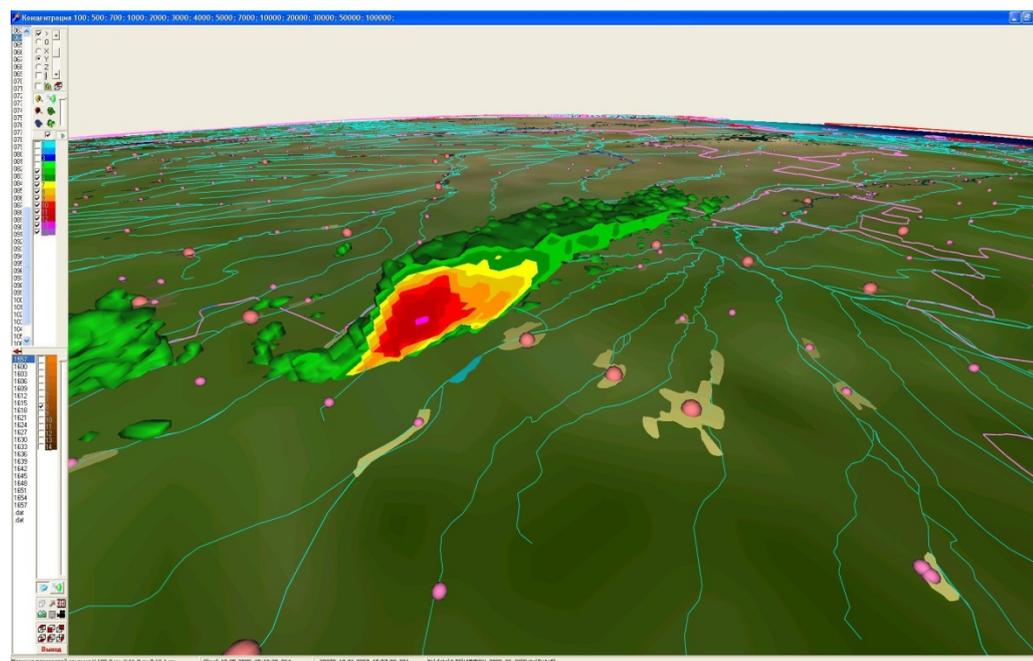


Рис. 2. – Вертикальный разрез по направлению движения облака в 3D представлении на фоне векторной карты местности

Трехмерное представление радиолокационной информации позволяет увидеть в объемном виде градовые облака и адаптировать метод засева с учетом взаимодействия нескольких ячеек между собой (рис.3). Эффективность противоградовых операций может быть при этом увеличена за счет использования 3D технологии отображения радиолокационной метеорологической информации.

Важным с точки зрения активных воздействий на градовые облака является анализ взаимодействия конвективных ячеек на ранней стадии. Это позволяет выделить наиболее интенсивно развивающиеся грозовые ячейки и начать воздействие на град в нужном месте своевременно. Выделение быстроразвивающихся грозоградовых ячеек на ранней стадии позволит сосредоточить противоградовые операции (засев облаков кристаллизующим реагентом) именно на них.

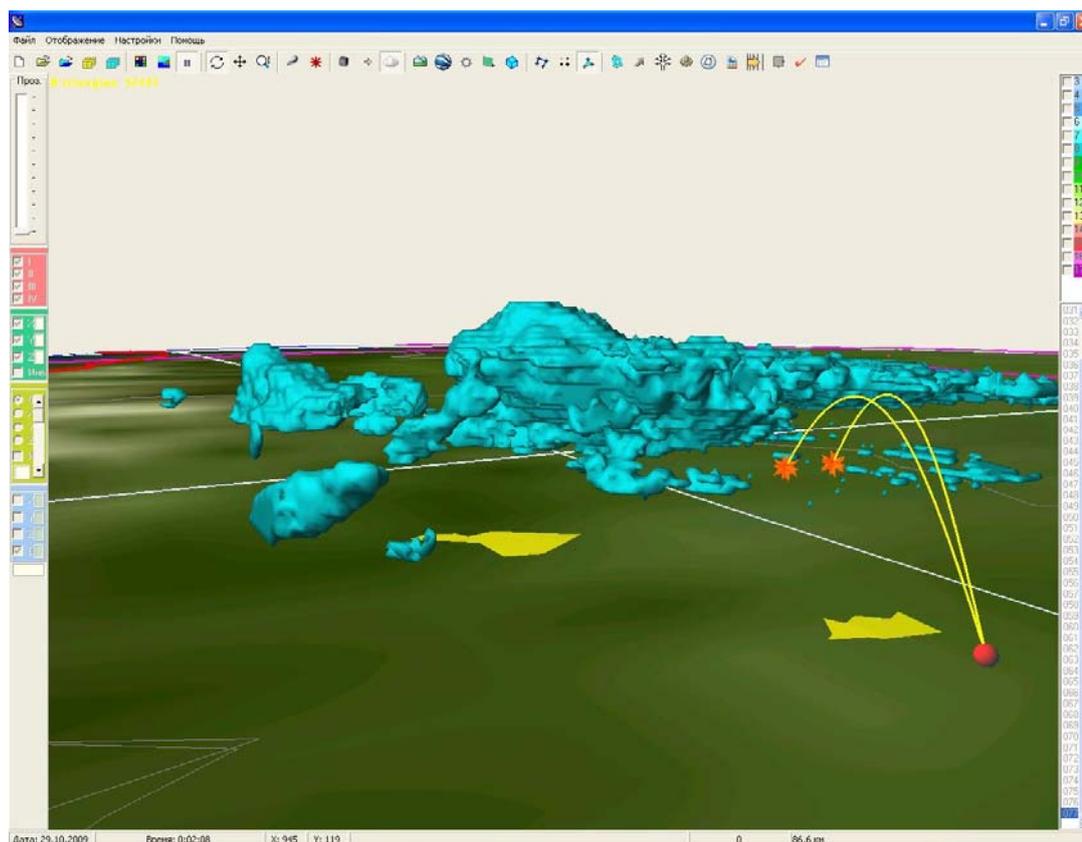


Рис. 3. – Градовое облако с соседствующими объектами в трехмерном виде, представлены также траектории противоградовых ракет с наземного пункта воздействия

Разработанная информационная технология трехмерной визуализации данных используется также для интерпретации результатов моделирования и отладки численных моделей конвективных облаков [14-17].

Программа трехмерной визуализации данных численного моделирования позволяет:

- осуществлять трехмерные повороты и вращение сцены, приближать и отдалять ее;
- изображать параметры модельного облака изолиниями в вертикальных и горизонтальных его сечениях;
- отображать изоповерхности расчетных параметров (водность, ледность, радиолокационная отражаемость и др.);

-отображать векторное поле стрелками;

Выводить одновременно несколько параметров, что повышает возможности исследователя по физической интерпретации результатов расчетов.

На рис.4 и 5 приведены результаты расчетов по модели конвективного облака с учетом электрических процессов [15] в трехмерном виде.

Шаг вспомогательной сетки в вертикальный разрезе облака на рис.4 равен 2x2 км. На рис.5 изображен горизонтальный разрез атмосферы на высоте 4 км. Облако взаимодействует с полем горизонтального ветра. На этом высотном уровне воздушный поток за облаком заворачивает, втягиваясь в облако.

Следует отметить, что разработка программы трехмерной графики способствовала улучшению качества и адекватности численных моделей, созданных в ВГИ.

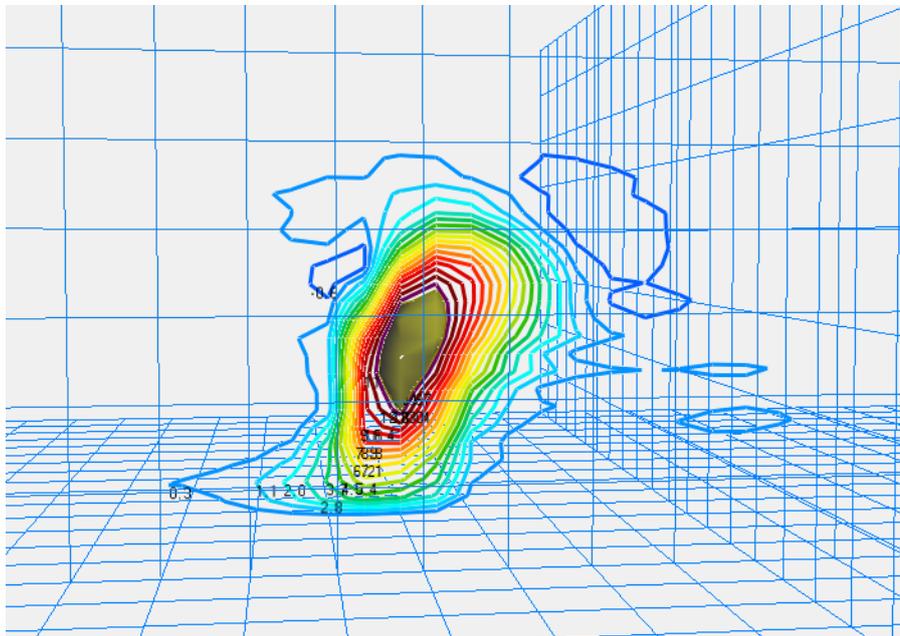


Рис. 4. – Изолинии восходящих и нисходящих потоков в вертикальной плоскости, пересекающей облако, сплошная поверхность в центре - изоповерхность вертикальной скорости  $W=13$  м/с

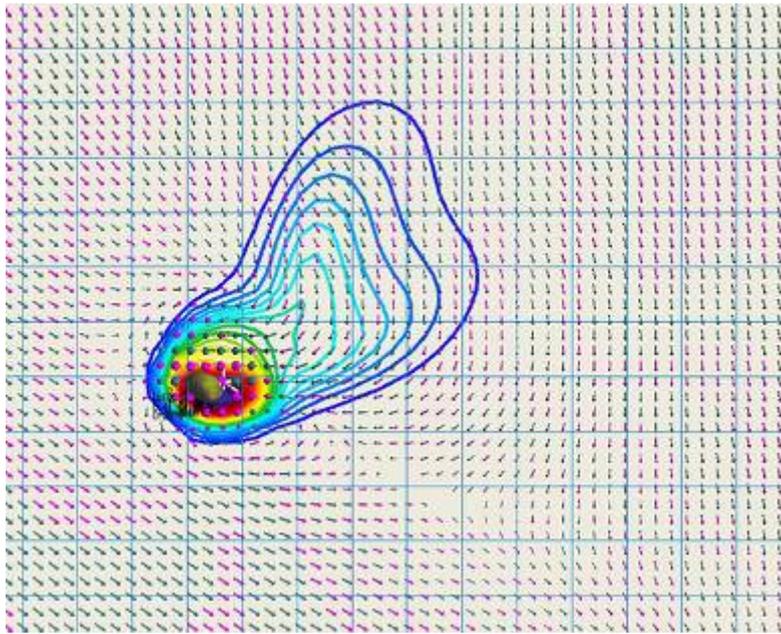


Рис. 5. – Взаимодействие горизонтального ветра в атмосфере с мощным конвективным облаком на высоте  $Z=4$  км

### **Заключение**

Разработано адаптированное для задач физики облаков и активных воздействий на них программное обеспечение трехмерной визуализации метеорологической радиолокационной информации, данных математического моделирования и другой трехмерной геофизической информации.

Разработанное ПО позволяет эффективно интерпретировать результаты полевых наблюдений грозоградовых облаков дистанционными средствами, данные числительных экспериментов на основе трехмерных моделей.

Программа 3D визуализации отличается удобством и развитой функциональностью. Трехмерные сцены представляют информацию в таком виде, который облегчает пользователю сформировать представление об объемных характеристиках метеорологического объекта. Программа визуализации позволяет выделять взаимодействующие конвективные ячейки на ранней стадии для противоградовых операций.



## Литература

1. Романычева Э. Т., Соколова Т. Ю. Компьютерная технология инженерной графики в среде AutoCAD 2000. – М.: ДМК Пресс, 2001. 653 с.
  2. Лепихин Т. А. Применение компьютерной графики для визуализации процессов // Современные информационные технологии и ИТ-образование, 2012, №. 8, С. 756-763.
  3. Малюх В. Введение в современные САПР. Курс лекций. – М.: ДМК Пресс, 2010. 192 с.
  4. GRLevelX URL: [grlevelx.com](http://grlevelx.com) (date of access: 19.03.2018).
  5. Virtual Globe Radar Project URL: [wxanalyst.com/radar/](http://wxanalyst.com/radar/) (date of access: 19.03.2018).
  6. Ernvik A. 3D Visualization of Weather Radar Data. Department of Electrical Engineering. 2002. 92 p.
  7. Довиак Р., Зрнич Д. Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. 511 с.
  8. Базлова, Т.А., Бочарников Н.В, Брылев Г.Б. и др. Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети. – Л.: Гидрометеиздат, 2002. 331 с.
  9. Ягель Р. Рендеринг объемов в реальном времени // Открытые системы 1996. № 5, С. 29-33.
  10. Нестеров И. А. Интерактивная визуализация векторных полей на распределенных вычислительных системах // Матем. моделирование, 2008. 20(6), С. 3–14.
  11. 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](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3559)
-

12. Аджиева А.А., Машуков И.Х., Шаповалов В.А. Использование фильтра Калмана в обработке данных хода напряженности электрического поля атмосферы // Инженерный вестник Дона, 2017, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4255

13. Zhang Y. et al. Weights and structure determination of artificial neuronets // Self-organization: Theories and Methods (WenJun Zhang, ed). 2013. pp. 109-154.

14. Веремей Н. Е., Довгалюк Ю. А., Затевахин М. А., Игнатьев А. А., Морозов В. Н., Пастушков Р. С. Описание базовой численной нестационарной трехмерной модели конвективного облака // Труды ГГО. 2016. Вып. 582. С. 45 – 91.

15. Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Шаповалов А.В., Шаповалов В.А. Физика облаков и активных воздействий на них. – Нальчик: Издательство «Печатный двор», 2017. 240 с.

16. Farley, R.D., Orville H.D. Numerical modeling of hailstorms and hailstone growth. Part I: Preliminary model verification and sensitivity tests. J. Climate Appl. Meteor., 1986, 25, pp. 2014–2035.

17. Liu, X L, Niu S J. Numerical Simulation of Macro- and Micro-structures of Intense Convective Clouds with a Spectral Bin Microphysics Model. Adv. Atmos. Sci., 2010, 27(5), pp. 1078-1088.

### References

1. Romanycheva Je. T., Sokolova T. Ju. Komp'yuternaja tehnologija inzhenernoj grafiki v srede AutoCAD 2000 [Computer technology of engineering graphics in AutoCAD 2000 system]. M.: DMK Press, 2001. 653 p.

2. Lepihin T. A. Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie, 2012, №. 8, pp. 756-763.

3. Maljuh V. Vvedenie v sovremennye SAPR. Kurs lekcij [Introduction to CAD systems. Course of lectures]. M.: DMK Press, 2010. 192 p.

4. GRLevelX URL: [grlevelx.com](http://grlevelx.com) (accessed 19/03/2018).
  5. Virtual Globe Radar Project URL: [wxanalyst.com/radar/](http://wxanalyst.com/radar/) (accessed 19/03/2018).
  6. Ernvik A. Department of Electrical Engineering. 2002. 92 p.
  7. Doviak R., Zrnich D. Doplerovskie radiolokatory i meteorologicheskie nabljudeniya [Doppler radar and weather observation]. L.: Gidrometeoizdat, 1988. 511 p.
  8. Bazlova, T.A., Bocharnikov N.V, Brylev G.B. et. al. Meteorologicheskie avtomatizirovannye radiolokacionnye seti [The automated Meteorological radar network]. L.: Gidrometeoizdat, 2002. 331 p.
  9. Jagel' R. Rendering ob'emov v real'nom vremeni [Real-time volume rendering]. Otkrytye sistemy 1996. № 5, pp. 29-33.
  10. Nesterov I. A. Matem. modelirovanie, 2008. 20(6), pp. 3–14.
  11. Adzhieva A.A, Shapovalov V.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3559](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3559)
  12. Adzhieva A.A., Mashukov I.H., Shapovalov V.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4255](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4255)
  13. Zhang Y. et al. Self-organization: Theories and Methods (WenJun Zhang, ed). 2013. pp. 109-154.
  14. Veremej N. E., Dovgaljuk Ju. A., Zatevahin M. A., Ignat'ev A. A., Morozov V. N., Pastushkov R. S. Opisanie bazovoj chislennoj nestacionarnoj trehmernoj modeli konvektivnogo oblaka [Description of the underlying unsteady three-dimensional numerical models of convective clouds]. Trudy GGO. 2016. Vyp. 582. pp. 45 – 91.
  15. Ashabokov B.A., Fedchenko L.M., Shapovalov A.V., Shapovalov V.A. Fizika oblakov i aktivnyh vozdeystvij na nih [Physics of clouds and active influences on them]. Nal'chik: Izdatel'stvo «Pечатnyj dvor», 2017. 240 p.
-



16. Farley, R.D., Orville H.D. J. Climate Appl. Meteor., 1986, 25, pp. 2014–2035.
17. Liu, X L, Niu S J. Adv. Atmos. Sci., 2010, 27(5). pp. 1078-1088.