

Развитие информационной системы численного моделирования распространения пепловых облаков от вулканов Камчатки и Курил*

С. И. МАЛЬКОВСКИЙ^{1,†}, А. А. СОРОКИН¹, О. А. ГИРИНА²

¹Вычислительный центр ДВО РАН, Хабаровск, Россия

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

[†]Контактный e-mail: sergey.malkovsky@ccfebras.ru

Пепловые облака и шлейфы, возникающие при эксплозивных извержениях вулканов Камчатки и Курил, представляют большую опасность для авиации. Поэтому актуальными задачами являются прогнозирование и анализ их перемещения. Для их решения в составе АИС “Сигнал” создана подсистема моделирования, позволяющая прогнозировать направление, скорость и высоту перемещения пепловых облаков и шлейфов в атмосфере. В то же время для более точной оценки представляемой ими опасности требуется определять не только их качественные, но и количественные характеристики. В статье рассмотрены результаты работы по развитию возможностей АИС “Сигнал”. Дано описание разработанных инструментов, позволяющих прогнозировать концентрацию пепла на эшелонах полетов самолетов, а также мощность и массу пепла, выпавшего на поверхность земли. Приводятся результаты выполненных численных экспериментов, показавших хорошую согласованность полученных результатов моделирования со спутниковыми данными.

Ключевые слова: вулкан, численное моделирование, спутниковый мониторинг, информационная система, АИС “Сигнал”, PUFF, FALL3D.

Библиографическая ссылка: Мальковский С.И., Сорокин А.А., Гирина О.А. Развитие информационной системы численного моделирования распространения пепловых облаков от вулканов Камчатки и Курил // Вычислительные технологии. 2019. Т. 24, № 6. С. 79–89. DOI: 10.25743/ICT.2019.24.6.010.

1. Введение

Пепловые облака и шлейфы, возникающие при эксплозивных извержениях вулканов Камчатки и Курил, представляют большую опасность для населения и народного хозяйства: выпадающий из них пепел может вызывать обрушения крыш строений, затруднять движение транспорта и функционирование аэропортов, приводить к респираторным заболеваниям населения. Облака, состоящие из частиц пепла размером менее 0,1 мм, могут оставаться в атмосфере продолжительное время, а на больших высотах переноситься ветром на тысячи километров от вулканов [1]. Попадание самолета

*Title translation and abstract in English can be found on page 89.

© ИВТ СО РАН, 2019.

в пепловое облако может привести к отказу двигателей, абразивному истиранию оконных стекол и аэродинамических поверхностей, засорению и перегреву электроники и т. д. [2]. Поэтому, для обеспечения безопасности авиационного сообщения, актуальной и важной задачей является прогнозирование и анализ распространения вулканического пепла в атмосфере. Для её решения применяются различные методы, технологии и программные средства.

В частности, для численного моделирования перемещения пепловых облаков, возникающих при эксплозивных извержениях вулканов Камчатки и Курил, в составе автоматизированной информационной системы (АИС) “Сигнал” [3], была разработана подсистема моделирования [4], построенная на основе модифицированной версии пакета Puff-UAF [5], являющегося реализацией лагранжевой модели PUFF [6]. Она позволяет прогнозировать направление, скорость и высоту перемещения пепловых облаков и шлейфов в атмосфере. Благодаря разработанным механизмам взаимодействия АИС с информационными системами (ИС) VOKKIA [7] и VolSatView [8] была реализована возможность автоматического моделирования основных качественных характеристик пепловых облаков при выпуске сообщений VONA (Volcano Observatory Notice for Aviation) группой KVERT (Kamchatkan Volcano Eruption Response Team), а также совместного анализа результатов расчетов со спутниковыми данными [9]. В то же время, для более точной оценки опасности пепловых облаков и шлейфов, требуется определять не только их качественные, но и количественные характеристики, например, концентрацию пепла на эшелонах полетов самолетов, объем выпавшего на поверхность земли пепла и т. д. Для этого могут использоваться различные эйлеровы модели, среди которых можно выделить FALL3D [10], показавшую свою эффективность при прогнозировании и анализе распространения вулканического пепла в различных регионах мира [11–13].

Настоящая статья посвящена описанию результатов работ по развитию функциональных возможностей подсистемы моделирования распространения пепловых облаков и шлейфов, связанных с интеграцией модели FALL3D в АИС “Сигнал”. В работе рассматривается модифицированная архитектура специализированной подсистемы, а также приводятся примеры использования разработанных инструментов для моделирования различных количественных характеристик пепловых облаков и шлейфов, на примере отдельных эксплозивных извержений вулканов Камчатки и Курил.

2. Модель FALL3D

Модель FALL3D является численной моделью распространения вулканического пепла, предложенной А. Costa, G. Macedonio и А. Folch в 2006 году. Указанная эйлерова модель основывается на следующем уравнении неразрывности:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + V_X \frac{\partial C}{\partial X} + V_Y \frac{\partial C}{\partial Y} + (V_Z - V_{sj}) \frac{\partial C}{\partial Z} = -C \nabla \cdot \mathbf{V} + C \frac{\partial V_{sj}}{\partial Z} + \frac{\partial}{\partial X} \left(\rho_* K_X \frac{\partial C}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(\rho_* K_Y \frac{\partial C}{\partial Y} \right) + \frac{\partial}{\partial Z} \left(\rho_* K_Z \frac{\partial C}{\partial Z} \right) + S_*.$$

Здесь C – концентрация некоторого класса пепловых частиц; \mathbf{V} – вектор скорости ветра; V_{sj} – скорость осаждения частиц; K_X , K_Y , K_Z – коэффициенты диффузии; ρ_* – плотность воздуха; S_* – функция источника. В программной реализации модели указанное уравнение решается явным методом конечных разностей независимо для каждого клас-

са частиц пепла [10], то есть взаимодействие частиц пепла разных классов в процессе переноса отсутствует.

Модель FALL3D доступна в виде свободно распространяемого по лицензии GPL 3 пакета компьютерных программ с одноименным названием. Он содержит исходные файлы с реализацией модели и служебных утилит на языке FORTRAN, а также набор скриптов для их компиляции. После сборки и установки пользователю становятся доступны несколько исполняемых файлов, среди которых Fall3d_ser и Fall3d_par, SetDbs, SetTgsd, SetSrc, Fall3d2GMT и Grib2nc. Программы Fall3d_ser и Fall3d_par представляют собой последовательную и параллельную реализации модели соответственно, применяемые для моделирования распространения пепла. Параллельная реализация модели разработана с использованием технологии MPI. Остальные исполняемые файлы являются вспомогательными и используются для предварительной обработки метеорологических данных, формирования конфигурационных файлов с описанием гранулометрического состава пепла, визуализации результатов моделирования и т. д. В качестве источника метеорологических данных, необходимых для расчетов, может использоваться продукция различных глобальных (GFS), региональных (WRF-ARW, ETA и ARPA-SIM) и локальных (CALMET-6.2) численных моделей прогноза погоды, а также данные реанализа (NCEP/NCAR Reanalysis 1, NCEP-DOE Reanalysis 2, ECMWF ERA-40 и ECMWF ERA-Interim).

Следует отметить, что проведение моделирования распространения вулканического пепла в атмосфере с использованием FALL3D, как и любой другой подобной модели, связано с использованием большого количества вспомогательных данных. К ним относятся как справочная информация о вулкане (его географические координаты, высота и т. д.), так и метеорологические данные на соответствующий временной период, покрывающие область моделирования. Процессы сбора и подготовки этой информации, проведения численных расчетов и визуализации полученных результатов состоят из множества промежуточных шагов и требуют системной автоматизации. Выполнение подобных операций в ручном режиме, может приводить к ошибкам, а также затрудняет работу модели в режиме оперативного мониторинга. Создание системных и пользовательских интерфейсов, позволяющих решить указанные задачи, требует выполнения большого объема работ. Необходимое информационное окружение и вспомогательные компьютерные средства схожего назначения ранее уже были разработаны при создании подсистемы моделирования [4] на основе модифицированной авторами версии пакета Puff-UAF. Открытая лицензия на программную реализацию модели FALL3D предоставила возможность для ее интеграции в работу действующей подсистемы численного моделирования и создания отдельного программно-ориентированного интерфейса для работы с ней. Это позволило реализовать новые инструменты для построения оперативных карт мощности и массы (в расчете на ²) отложений пепла, возникающих при пеплопадах, а также определения концентрации пепла на эшелонах полетов самолетов.

3. Организация работы подсистемы моделирования на основе модели FALL3D

Используя ранее рассмотренные возможности АИС “Сигнал” было организовано прозрачное информационное взаимодействие, входящих в ее состав сервисов рис. 1 с программами пакета FALL3D (рис. 2).

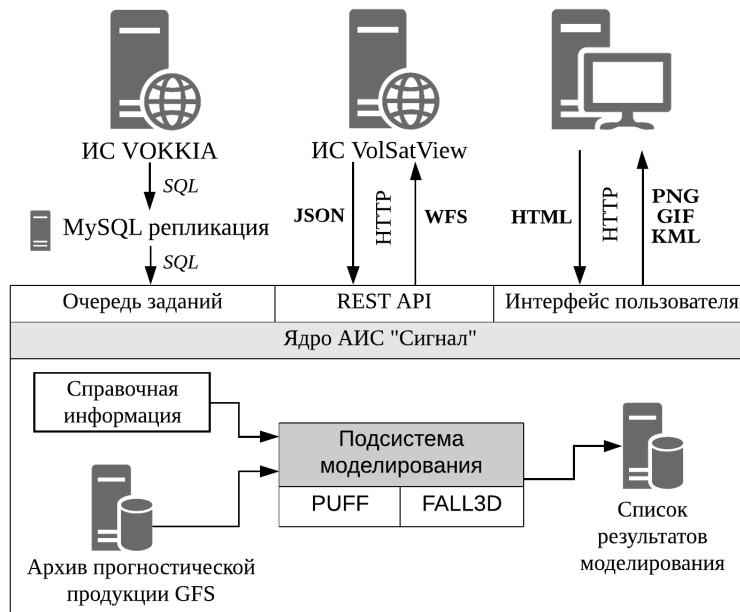


Рис. 1. Архитектура компонентов АИС, отвечающих за моделирование распространения пепла, а также схема их взаимодействия с внешним ИС

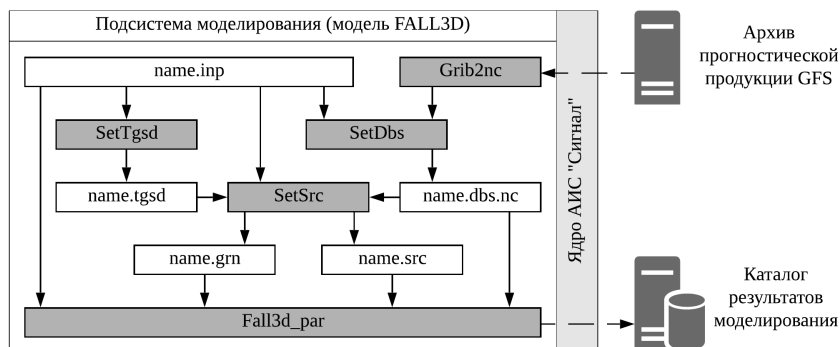


Рис. 2. Подсистема моделирования, основанная на модели FALL3D (серым цветом обозначены исполняемые файлы, белым – входные файлы)

Проведённые работы обеспечили формирование следующего режима взаимодействия АИС с FALL3D. При выполнении моделирования на основании предоставленных пользователем данных об исследуемом взрывном событии происходит построение входного файла "name.inp", содержащего необходимые начальные параметры взрыва пепла и модели. Также, с учетом этой информации, выполняется формирование коллекции grib2 файлов из архива прогностической продукции модели GFS, содержащей метеорологические данные, покрывающие область моделирования. Для автоматического формирования коллекции предложен и реализован следующий алгоритм.

- В случае, если время окончания моделирования не превышает времени, к которому относится самый свежий из доступных прогнозов, при расчетах используются только данные анализа (прогноза с нулевой заблаговременностью). При этом формирование коллекции происходит путем выбора файлов с данными анализа, начиная с первого прогноза, предшествующего времени начала извержения, до

тех пор, пока они не покроют все время моделирования.

- Второй подход применяется тогда, когда доступные файлы с данными анализа не покрывают период моделирования. В этом случае коллекция формируется из файлов самого свежего из доступных прогнозов. Она состоит и файла с данными анализа, а также достаточного числа файлов с данными прогноза для покрытия всего периода моделирования.

Сформированная коллекция grib2 файлов преобразуется в формат NetCDF при помощи утилиты Grib2nc. После этого последовательно запускаются утилиты SetDBs, SetTgsd и SetSrc. Утилита SetDBs устанавливает значения требуемых метеорологических переменных в узлах расчетной сетки для списка временных шагов, заданных во входном файле модели. Результаты выполнения данной процедуры сохраняются в файле "name.dbs.nc" в формате NetCDF. При вызове утилит SetTgsd и SetSrc формируются текстовые файлы "name.gm" и "name.src" с описанием гранулометрического состава и источника пепла соответственно. Данные файлы вместе с файлом "name.inp" передаются утилите Fall3d_par для проведения моделирования.

Результаты вычислений, представляющие собой значения различных переменных (концентрация пепла на эшелонах полетов самолетов; масса и мощность слоя пепла, выпавшего на поверхность земли, оптическая плотности аэрозоля и т. д.), записываются в файл формата NetCDF. С использованием разработанных инструментов эта информация представляется в требуемом графическом формате и заносится в справочник результатов АИС "Сигнал". Далее, полученные данные становятся доступны локальным пользователям и авторизованным внешним информационным системам.

На текущий момент в АИС использование модели FALL3D, в отличие от модели PUFF, возможно только в экспертном режиме. Для этого создан отдельный пользовательский интерфейс, дающий возможность специалистам провести интерактивный расчет характеристик пепловых облаков с детальным указанием исходных параметров произошедшего события и настроек модели. Пример экранной формы интерфейса представлен на рисунке 3. Для удобства пользователей все параметры моделируемого события, а также настройки модели, по умолчанию инициализируются значениями, рекомендуемыми разработчиками модели в руководстве пользователя [14].

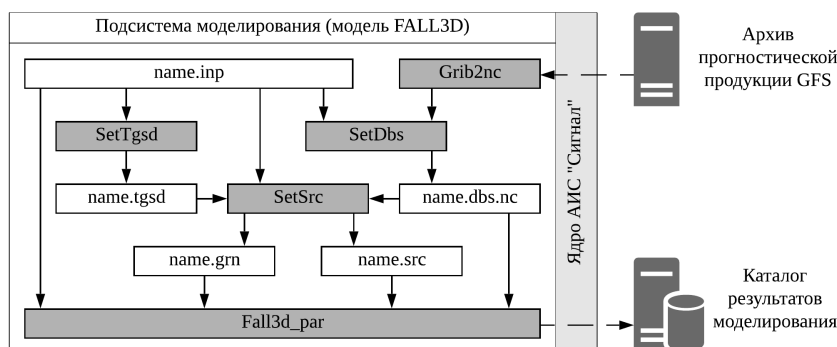


Рис. 3. Пример экранной формы для модели FALL3D

4. Численные эксперименты

Отработка режимов работы подсистемы и оценка эффективности ее функционирования проводилась в рамках исследования распространения пепловых облаков и шлейфов, проявившихся при эксплозивных событиях на вулканах Камчатки. Анализ полученных прогнозов проводился совместно с данными дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), полученными из ИС VolSatView. Рассмотрим результаты таких работ на примере эксплозивного события вулкана Шивелуч 10 апреля 2019 года.

Эксплозивное событие, согласно записям с видеокамер KVERT из АИС “Сигнал”, продолжалось с 2:52 до 3:22 UTC. Максимальная высота эксплозии пепла по данным спутникового мониторинга составила 7,5 – 10 км. По состоянию на 3:13 UTC 10 апреля пепловый шлейф на высоте 7,5 – 8 км смещался к юго-востоку от вулкана (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/?n=2019-77>). Основываясь на этих данных параметры моделируемого события были установлены следующим образом: начало эксплозивного события – 2:52 UTC 10 апреля 2019 года; длительность – 0,5 часа; минимальная высота облака – 7,5 км; максимальная – 10 км. Гранулометрический состав пепла рассчитывался по модели из работы [15], масса выброса – по модели [16]. Принималось, что пепел имел равномерное распределение по высоте эруптивной колонны.

В качестве входных метеоданных использовалась прогностическая продукция модели GFS (<http://www.ncs.noaa.gov/pmb/products/gfs/>) от 00:00 UTC 10 апреля 2019 года (сетка – 0,25°). Ее заблаговременность составила 18 часов, дискретность – 3 часа.

Результаты моделирования сравнивались с результатами детектирования вулканического пепла, полученными методом разности яркостных температур в ИС VolSatView (рис. 4). Из приведенных материалов видно, что прогнозные положение и форма облака вулканического пепла достаточно хорошо совпадают с фактическими данными. Можно отметить, что в исследуемом пепловом облаке концентрация частиц пепла на эшелонах FL200 и FL250 превышала разрешенный для полетов самолетов порог в $4 / 3$ [17] на всем временном отрезке моделирования (около 15 ч после извержения).

Наличие свежего снежного покрова на момент извержения, а также направление перемещения пеплового облака, позволили оценить возможности моделирования параметров пепла, выпавшего на поверхность. Так, на рисунке 5а представлено изображение отложений пепла на снегу на следующий день после эксплозивного события 10 апреля 2019 года, а на рис. 5б – визуализация мощности отложений пепла, полученная по результатам моделирования. Сравнение указанных рисунков показывает, что положение пепловых отложений, определенное при помощи ДЗЗ, совпадает с их положением, полученным при помощи моделирования, при этом незначительные расхождения могут объясняться недостаточным разрешением метеорологических данных.

5. Выводы

Интеграция в состав АИС “Сигнал” модели FALL3D, связанная с автоматизацией процесса моделирования и разработкой пользовательских интерфейсов, значительно расширила возможности прогнозирования распространения пепловых облаков и шлейфов, возникающих при эксплозивных извержениях вулканов Камчатки и Курил. В настоящее время, помимо инструментов для определения направления, скорости и высоты распространения вулканического пепла, пользователям стали доступны инструменты для определения концентрации пепла на эшелонах полетов самолетов, а также мощно-

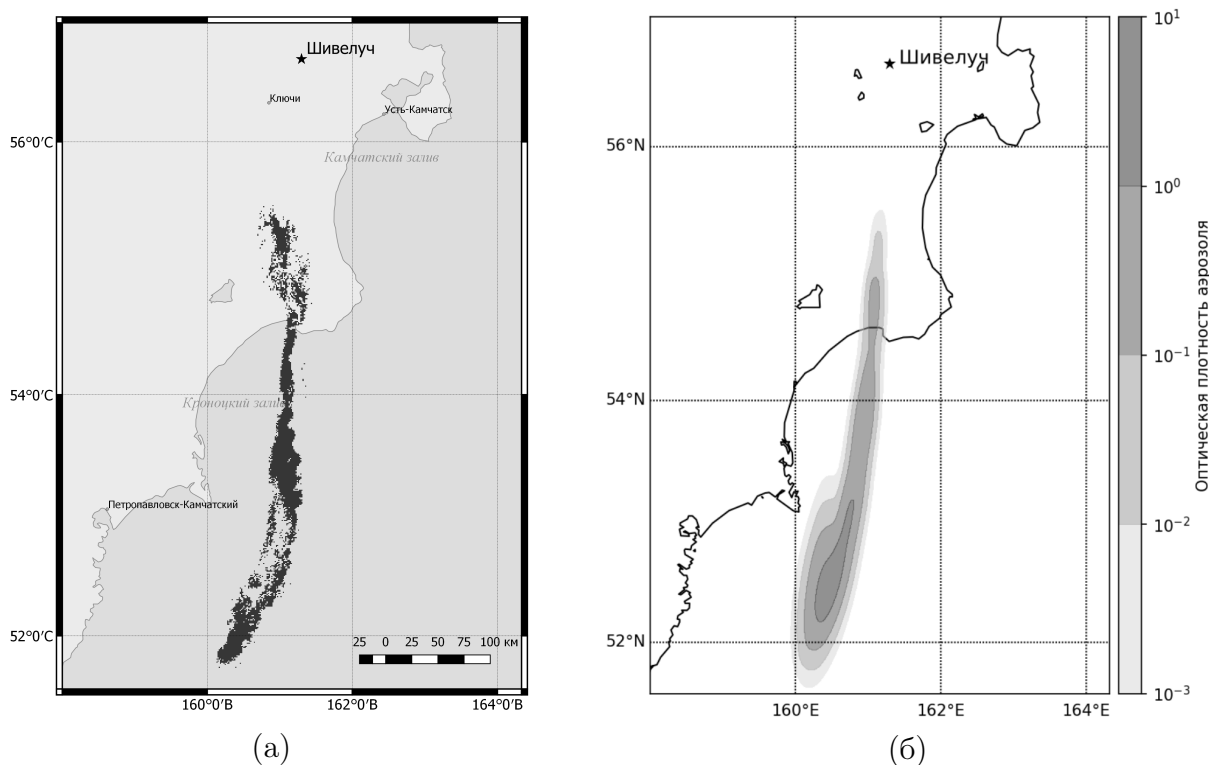


Рис. 4. Результаты детектирования вулканического пепла методом разности яркостных температур (каналы 11 и 12 мкм) по данным прибора AVHRR спутника NOAA-18 в 8:43 UTC 10.04.2019 в ИС VolSatView (а) и визуализация результатов моделирования распространения пепла (оптическая плотность аэрозоля) в 8:43 UTC 10.04.2019 в АИС “Сигнал” (б)

сти и массы пепла, выпавшего на поверхность земли. Проведенные численные эксперименты показали хорошую согласованность полученных результатов моделирования со спутниковыми данными.

Дальнейшее развитие подсистемы моделирования АИС “Сигнал” связано с реализацией возможности использования модели FALL3D в автоматическом режиме, а также с совершенствованием средств визуализации результатов численных расчетов.

Благодарности. Работа проведена при частичной финансовой поддержке программы “Приоритетные научные исследования в интересах комплексного развития ДВО РАН” (проект № 18-5-091). Для обработки данных были использованы вычислительные технологии и системы, разработанные при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-29-03100). При проведении численных расчетов использовано оборудование Центра коллективного пользования “Центр данных ДВО РАН” (ВЦ ДВО РАН, г. Хабаровск) [18].

Список литературы / References

- [1] Rose W.I., Durant A.J. Fine ash content of explosive eruptions // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2009. Vol. 186. No. 1–2. P. 32–39. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2009.01.010

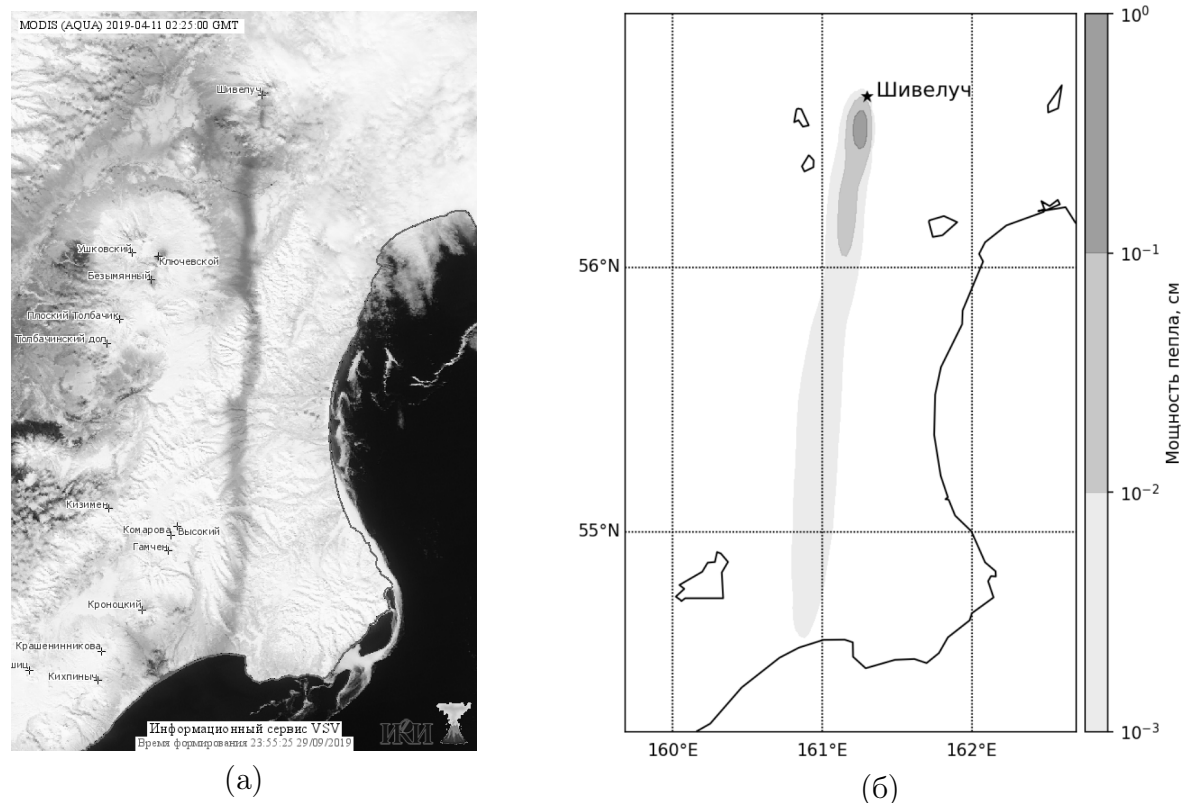


Рис. 5. Отложения пепла на снегу по данным прибора MODIS спутника AQUA в 02:25 UTC 11.04.2019 в ИС VolSatView (а) и визуализация результатов моделирования мощности пепла по состоянию на 20:24 UTC 10.04.2019 в АИС “Сигнал” (б)

- [2] Gordeev E.I., Girina O.A. Volcanoes and their hazard to aviation // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2014. Vol. 84. No. 1. P. 1–8. DOI: 10.1134/S1019331614010079
- [3] Сорокин А.А., Королев С.П., Мальковский С.И. Автоматизированная информационная система “Сигнал”: исследование и оперативный мониторинг опасных природных явлений в Дальневосточном регионе // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 238–248. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-238-248
- [4] Сорокин А.А., Королев С.П., Гирина О.А., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Романова И.М., Мальковский С.И. Интегрированная программная платформа для комплексного анализа распространения пепловых шлейфов при эксплозивных извержениях вулканов Камчатки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 9–19. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-12-9-19
- [5] Malkovsky S.I., Sorokin A.A., Korolev S.P. Improving the system of numerical simulation of volcanic ash propagation using the PUFF model // Russian Journal of Earth Sciences. 2017. Vol. 17. No. 5. ES5003. P. 1-6. DOI :10.2205/2017ES000612
- [6] Searcy C., Dean K., Stringer W. PUFF: a high-resolution volcanic ash tracking model // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 1998. Vol. 80. No. 1–2. P. 1–16
- [7] Романова И.М., Гирина О.А., Максимов А.П., Мелекесцев И.В. Создание комплексной информационной веб-системы “Вулканы Курило-Камчатской островной дуги” (VOKKIA) // Информатика и системы управления. 2012. № 3. Вып. 33. С. 179–187

- [8] **Gordeev E.I., Girina O.A., Loupian E.A., Sorokin A.A., Kramareva L.S., Efremov V.Yu., Kashnitskii A.V., Uvarov I.A., Burtsev M.A., Romanova I.M., Mel'nikov D.V., Manevich A.G., Korolev S.P., Verkhoturov A.L.** The VolSatView information system for Monitoring the Volcanic Activity in Kamchatka and on the Kuril Islands // *Journal of Volcanology and Seismology*. 2016. Vol. 10. No. 6. P. 382–394. DOI: 10.1134/S074204631606004X
- [9] **Sorokin A.A., Girina O.A., Lupyan E.A., Mal'kovskii S.I., Balashov I.V., Efremov V.Yu., Kramareva L.S., Korolev S.P., Romanova I.M., Simonenko E.V.** Satellite observations and numerical simulation results for the comprehensive analysis of ash cloud transport during the explosive eruptions of Kamchatka volcanoes // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2017. Vol. 42. No. 12. P. 759–765. DOI: 10.3103/S1068373917120032
- [10] **Costa A., Macedonio G., Folch A.** A three-dimensional Eulerian model for transport and deposition of volcanic ashes // *Earth and Planetary Science Letters*. 2006. Vol. 241. No. 3–4. P. 634–647. DOI: 10.1016/j.epsl.2005.11.019
- [11] **Scollo S., Prestifilippo M., Spata G., D'Agostino M., Coltelli M.** Monitoring and forecasting Etna volcanic plumes // *Natural Hazards and Earth System Science*. 2009. Vol. 9. No. 5. P. 1573–1585. DOI: 10.5194/nhess-9-1573-2009
- [12] **Poret M., Costa A., Folch A., Martí A.** Modelling tephra dispersal and ash aggregation: The 26th April 1979 eruption, La Soufrière St. Vincent // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2017. Vol. 347. P. 207–220. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2017.09.012
- [13] **Folch A., Costa A., Basart S.** Validation of the FALL3D ash dispersion model using observations of the 2010 Eyjafjallajökull volcanic ash clouds // *Atmospheric Environment*. 2012. Vol. 48. P. 165–183. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2011.06.072
- [14] **Folch A., Costa A., Giovanni M.** FALL3D-7.1 user's manual. 2016. 45 p.
- [15] **Costa A., Pioli L., Bonadonna C.** Assessing tephra total grain-size distribution: Insights from field data analysis // *Earth and Planetary Science Letters*. 2016. Vol. 443. P. 90–107. DOI: 10.1016/j.epsl.2016.02.040
- [16] **Mastin L.G., Guffanti M., Servranckx R., Webley P., Barsotti S., Dean K., Durant A., Ewert J.W., Neri A., Rose W.I., Schneider D., Siebert L., Stunder B., Swanson G., Tupper A., Volentik A., Waythomas, C.F.** A multidisciplinary effort to assign realistic source parameters to models of volcanic ash-cloud transport and dispersion during eruptions // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2009. Vol. 186. No. 1–2. P. 10–21. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2009.01.008
- [17] **Stohl A., Prata A.J., Eckhardt S., Clarisse L., Durant A., Henne S., Kristiansen N.I., Minikin A., Schumann U., Seibert P., Stebel K., Thomas H.E., Thorsteinsson T., Tørseth K., Weinzierl B.** Determination of time- and height-resolved volcanic ash emissions and their use for quantitative ash dispersion modeling: the 2010 Eyjafjallajökull eruption // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2011. Vol. 11. No. 9. P. 4333–4351. DOI: 10.5194/acp-11-4333-2011
- [18] **Sorokin A.A., Makogonov S.I., Korolev S.P.** The Information Infrastructure for Collective Scientific Work in the Far East of Russia // *Scientific and Technical Information Processing*. 2017. Vol. 4. P. 302–304

Development of an information system for numerical modelling of the propagation of volcanic ash from Kamchatka and Kuril volcanoes

MALKOVSKY, SERGEY I.^{1,*}, SOROKIN, ALEKSEI A.¹, GIRINA, OLGA A.²

¹Computing Center FEB RAS, Khabarovsk, 680000, Russia

²Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia

*Corresponding author: Malkovsky, Sergey I., e-mail: sergey.malkovsky@ccfebras.ru

Purpose. Ash clouds and plumes arising due to explosive eruptions of the volcanoes of Kamchatka and the Kuril Islands pose a great danger to aviation flights. In this regard, the urgent and important task is to predict and analyze distribution of volcanic ash in the atmosphere. To solve this task, AIS "Signal" was designed. It includes a modelling subsystem using the PUFF model. It allows predicting the direction, speed and height of the propagation of ash clouds and plumes in the atmosphere. At the same time, for more accurate assessment of the danger of ash clouds and plumes, it is necessary to determine not only their qualitative, but also quantitative characteristics, for example, the concentration of ash at the flight levels of aircrafts, the amount of ash deposited on the surface, etc. To solve this problem, research was done to expand the capabilities of the AIS "Signal" by integrating the Eulerian FALL3D model into it. The present article presents the results of this work.

Methodology. Implementation of system and user interfaces for automating the processes of collecting and preparing auxiliary data (reference information about volcanoes, meteorological data, etc.), performing numerical calculations in the FALL3D model and visualizing the obtained results both were carried out on the basis of similar interfaces created earlier in AIS "Signal" for the PUFF model. All these features significantly accelerate the process of integration the FALL3D model into the existing AIS modelling subsystem. Implementation of the operating modes of the subsystem and evaluating the efficiency of its functioning were carried out as part of the study of ash clouds and plumes propagation which are formed during explosive events of the Kamchatka volcanoes.

Findings. As part of the integration of the FALL3D model into the modelling subsystem, informational interaction of its software components with the services of AIS "Signal" was organized. Algorithms for the formation of collections of meteorological data necessary for the functioning of the model were proposed and implemented. User interfaces have been created that allow specialists to calculate the characteristics of ash clouds with the ability to set detailed initial parameters for an explosive event and model settings.

Originality. The integration of the FALL3D model in the AIS "Signal" significantly expands its ability to predict propagation of ash clouds and plumes formed during explosive eruptions of the volcanoes of Kamchatka and the Kuril Islands. In addition to the instruments for determining the direction, speed, and height of the spread of volcanic ash, tools have been developed to determine the ash concentration at the flight levels of aircrafts, as well as the thickness and mass of the ash falling on the surface of the Earth. Numerical experiments have showed a good agreement between the obtained modelling results and the satellite data.

Keywords: volcano, numerical modeling, satellite monitoring, information system, AIS "Signal", PUFF, FALL3D.

Cite: Malkovsky, S.I., Sorokin, A.A., Girina, O.A. Development of an information system for numerical modelling of the propagation of volcanic ash from Kamchatka and Kuril volcanoes // Computational Technologies. 2019. Vol. 24, No. 6. P. 79–89. (In Russ.) DOI: 10.25743/ICT.2019.24.6.010.

Acknowledgements. The reported study was carried out with partial financial support from the program “Priority Research for the Integrated Development of the FEB RAS” (project No. 18-5-091). Data processing, computer technologies and systems have developed with the support of the RFBR (grant No. 18-29-03100). The equipment provided by the Shared Services Center “Data Center of FEB RAS” (Khabarovsk) was used for the numerical calculations.

Received October 8, 2019