

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ



ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



## Реализация проблемно-ориентированных интерфейсов для численного моделирования распространения вулканического пепла

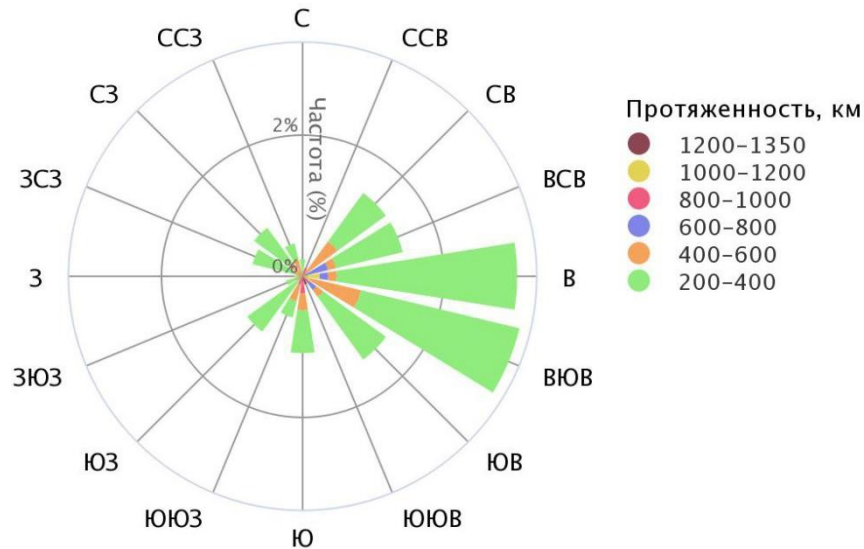
**Мальковский С.И.**

Вычислительный центр ДВО РАН, Хабаровск



# ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ

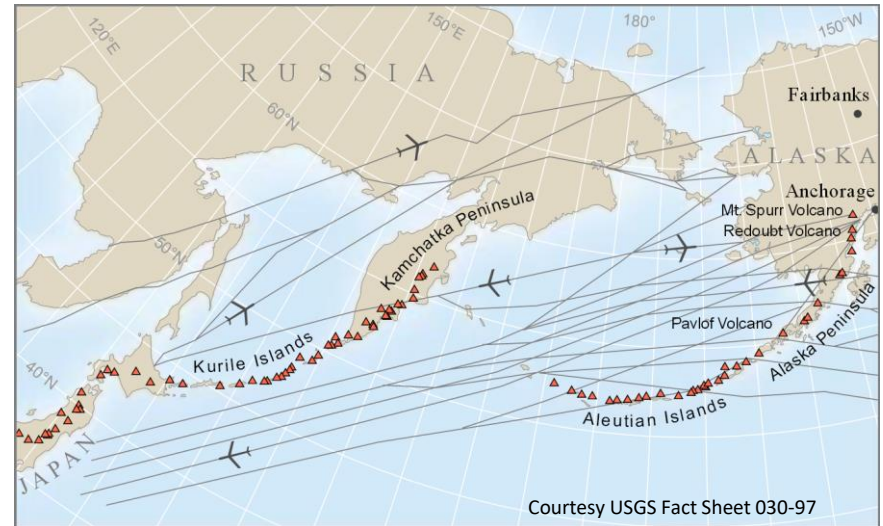
- На Камчатке расположено 30 действующих вулканов.
- Ежегодно от 2 до 6 из них извергаются.
- При этом происходит 5-30 эксплозивных событий с выбросом пепла до 7-15 км над уровнем моря.



Направления распространения пепловых шлейфов от вулканов Камчатки в 2012-2018 гг. (ИС KVERT)



Извержение вулкана Безымянный 1956 года



Международные авиатрассы в северо-западной части Тихоокеанского региона

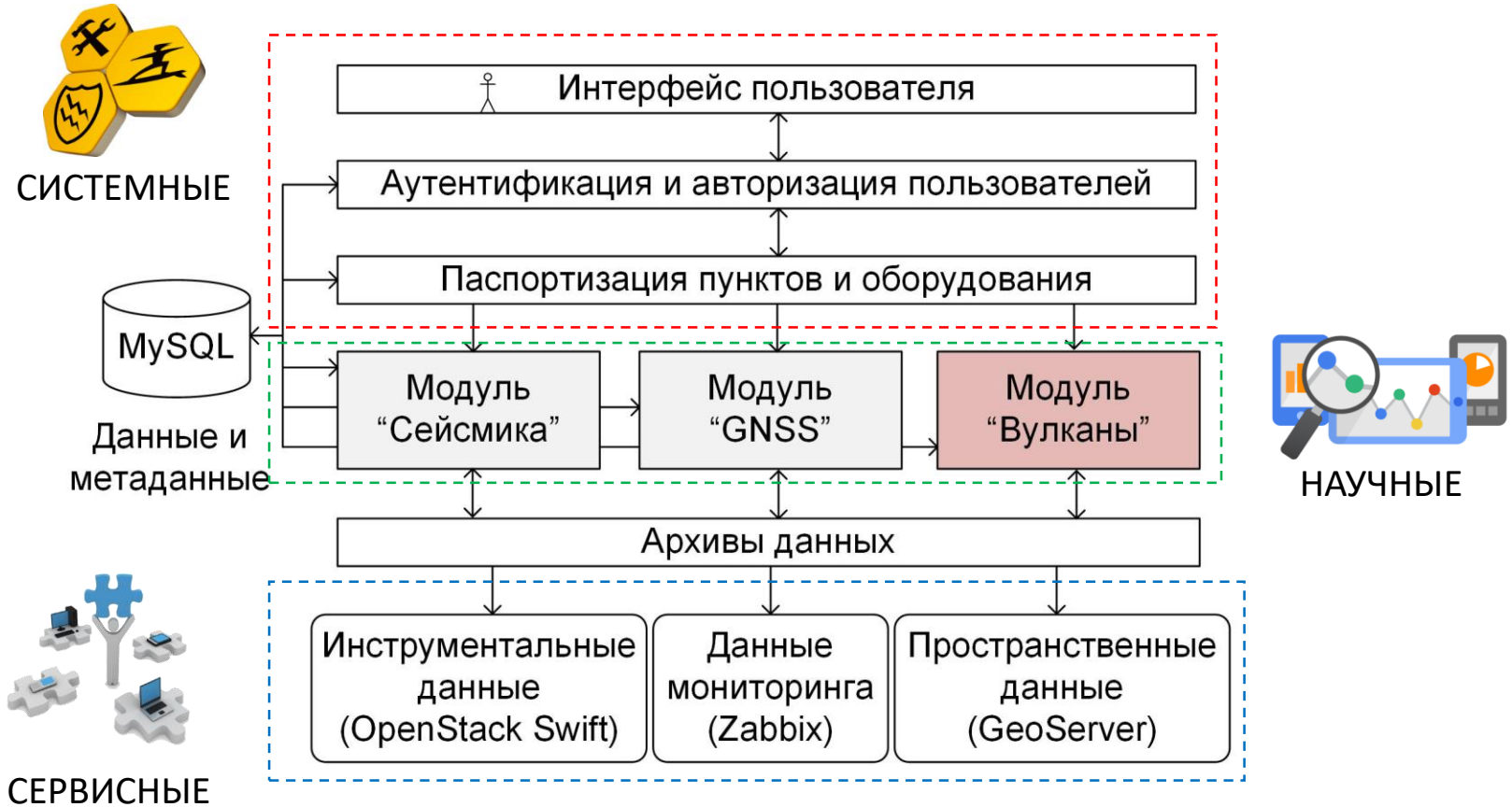


# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЕПЛА

- Оперативное прогнозирование распространения пепла от происходящих извержений вулканов.
- Моделирование исторических событий с целью уточнения или восстановления их характеристик, изучение вулканогенных процессов.
- Совместный анализ результатов моделирования со спутниковыми данными в оперативном режиме позволяет восстанавливать параметры взрывных событий.
- В качестве источника начальных данных могут использоваться результаты различных видов наблюдений за вулканической активностью.
- Достоверность результатов моделирования зависит от точности используемых при расчетах метеорологических данных.



# АРХИТЕКТУРА АИС “СИГНАЛ”





# ИНТЕГРИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЕПЛА

**Вулканы Курило-Камчатской островной дуги**

Интернет вулканология и сейсмология FEB RAS

Главная | Мониторинг активных вулканов | KVERT: Информационный сайт

**Вулканы**

VOLCANO/KVERT Volcano Activity Notifications (VAN)

Прогноз для авиации опасности пепла

Текущая активность вулканов

Web-камеры

**VOLCANO/KVERT Releases of VAN**

- VOLCANO/KVERT releases
- KVERT Weekly Releases
- KVERT Daily Releases
- KVERT Original Reports
- All Releases of VAN

2014  
2013  
2012

**Archives in the old format**

Information Releases (01.2009-05.2012)

2005  
2006  
2007  
2008  
2009  
2010  
2011  
2012

Operative Reports (01.2011-05.2012)

2010  
2011

**KVERT (Volcano) Observatory Notifications to Aviation (VONA)**

Информация Камчатской группы вулканов (группа вулканов Камчатской островной дуги) (KVERT)

**Aviation Color Codes**

**GREEN**

Volcano is in normal, non-eruptive state, or, after a change from a higher level.

or, after a change from a higher level:

Volcanic activity considered to have ceased, and volcano reverted to its normal, non-eruptive state.

**YELLOW**

Volcano is experiencing signs of elevated unrest above known background levels, or, after a change from higher level:

Volcanic activity has decreased significantly but continues to be closely monitored for possible renewed increase.

**ORANGE**

Volcano is exhibiting heightened unrest with increased likelihood of eruption, or, Volcanic eruption is underway with no or minor ash emission. (Possibly ash-plume height if possible)

**RED**

Eruption is forecast to be imminent with significant emission of ash into the atmosphere. (Possibly ash-plume height if possible)

or, Volcanic eruption is underway with significant emission of ash into the atmosphere.

(Possibly ash-plume height if possible)

(1) VOLCANO OBSERVATORY NOTICE FOR AVIATION (VONA)

(2) Issued: 20161102/0431Z

(3) Volcano: Klyuchevskoy (CAVV #306200)

(4) Current Aviation Color Code: **ORANGE**

(5) Previous Aviation Color Code: orange

(6) Source: KVERT

(7) Notice Number: 2016-109

(8) Volcano Location: N 58 deg 3 min E 160 deg 30 min

(9) Area: Kamchatska, Russia

(10) Summit Elevation: 15580 ft (4780 m)

(11) Volcanic Activity Summary: Eruptive effusive eruption of the volcano continues. An ash plume rose up to 5-5.5 km a.s.l. and drifting for about 140 km to the east from the volcano.

Eruptive effusive eruption of the volcano continues. Ash explosion up to 30,210-23,000 ft (8-10 km) a.s.l. could occur at any time. Ongoing activity could affect international and low-flying aircraft.

(12) Volcanic cloud height: 30400-18049 ft (9009-5500 m) AMSL. Time and method of ash plume/cloud height determination: 20161102/0420Z - Video data

(13) Other volcanic cloud information: Distance of ash plume/cloud of the volcano: 87 mi (249 km)  
Direction of drift of ash plume/cloud of the volcano: E / azimuth 94 deg  
Time and method of ash plume/cloud determination: 20161102/0257Z - NOAA 19 (AMS)

**Сигнал-с**

Автоматизированная Информационная Система

Главная | Новости | Документы | Файлы | Помощь

alcor | корзина | выход

**Настройки**

- Организация
- Пользователи
- Пункты наблюдений
- Страницы
- Редактирование ролей
- УАС

**Сейсмичность**

- Общая информация
- Оборудование
- Сейсмостанции
- Архив наблюдений
- Сейсмограммы

**GNSS**

- Общая информация
- Оборудование
- GPS-станции
- Архив наблюдений

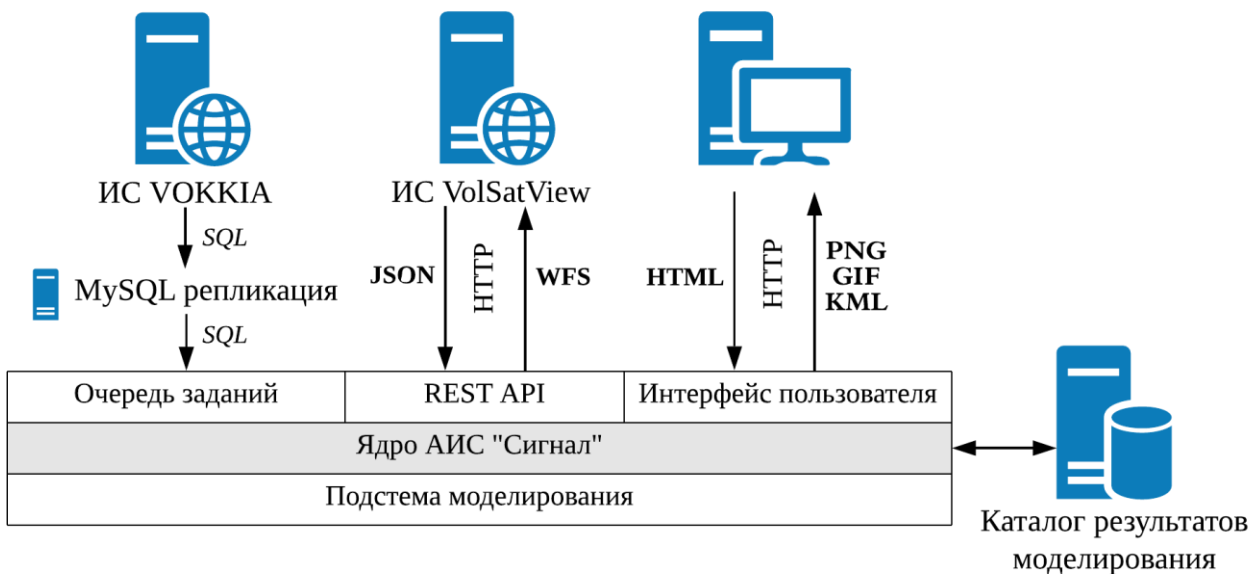
**Мониторинг вулканов Камчатки**

- Общая информация
- Вулканы
- Авиационные коды
- Видеокамеры
- Архив наблюдений
- RuffLAG
- Результаты моделирования

**Результаты моделирования**

№	Источник	Запрос	Создан	Выполнен	Статус	Файлы
410.	VOKKIA (2015-178)	Вулкан: Карымский Дата: 2015-06-09 20:33:00 UTC Высота пеплового облака: 3500 - 4000 м	2015-06-10 07:22:54	2015-06-10 07:34:15	Завершено	(2.62 MB)
409.	VOKKIA (2015-177)	Вулкан: Жупановский Дата: 2015-06-09 02:17:00 UTC Высота пеплового облака: 5000 - 6000 м	2015-06-09 13:02:13	2015-06-09 13:14:24	Завершено	(2.64 MB)
407.	VOKKIA (2015-175)	Вулкан: Карымский Дата: 2015-06-08 19:04:00 UTC Высота пеплового облака: 2500 - 3000 м	2015-06-09 07:47:19	2015-06-09 07:58:07	Завершено	(2.59 MB)
405.	VSV	Вулкан: Швевлунг Дата: 2014-11-22 22:21:00 UTC Высота пеплового облака: 2500 - 8000 м	2015-05-16 12:10:12	2015-05-16 12:44:06	Завершено	(689.63 KB)
400.	VOKKIA (2015-169)	Вулкан: Ключевской Дата: 2015-05-05 03:20:00 UTC Высота пеплового облака: 5000 - 5500 м	2015-05-05 13:21:50	2015-05-05 14:18:05	Завершено	(2.66 MB)
374.	VSV	Вулкан: Диний Гребень Дата: 2015-04-16 02:31:00 UTC Высота пеплового облака: 0 - 20000 м	2015-04-16 20:36:41	2015-04-16 21:15:15	Завершено	(2.55 MB)
356.	VSV	Вулкан: Ключевской Дата: 2014-04-01 00:00:00 UTC Высота пеплового облака: 100 - 20000 м	2015-04-07 22:40:26	2015-04-07 23:21:49	Завершено	(2.57 MB)
355.	VSV	Вулкан: Ключевской Дата: 2015-02-05 00:00:00 UTC Высота пеплового облака: 1000 - 8000 м	2015-04-07 21:52:51	2015-04-07 22:00:23	Завершено	(211.26 KB)

« Раньше | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Позже »







# АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ИС VOLSATVIEW

Добавление модели для расчётов

Вулкан: Ключевской

Дата извержения: 2016-11-03

Время извержения: 00 : 15

Минимальная высота пеплового облака: 2000 метров

Максимальная высота пеплового облака: 9000 метров

Время извержения, в часах: 0,5

Суммарное время моделирования: 6 часов

Интервал моделирования: 0,5 часов

Создать gif-анимацию:

Создать kml-файлы:

Отправить запрос

Проверить состояние запроса

Моделирование пепловых шлейфов

Выбор вулкана: Все вулканы

Список моделирований

Моделирование	Моделирование
<input type="radio"/> Жулановский	2016-02-12 19:30:00
<input type="radio"/> Безымяный	2016-07-29 00:00:00
<input type="radio"/> Безымяный	2016-07-29 00:00:00
<input type="radio"/> Безымяный	2016-07-29 00:00:00
<input type="radio"/> Шивелуч	2016-10-03 20:00:00
<input type="radio"/> Шивелуч	2016-10-03 20:00:00
<input type="radio"/> Шивелуч	2016-10-03 10:00:00
<input type="radio"/> Шивелуч	2016-10-03 05:00:00
<input type="radio"/> Шивелуч	2012-10-06 00:15:00
<input type="radio"/> Шивелуч	2012-10-06 00:15:00
<input type="radio"/> Шивелуч	2012-10-06 00:15:00
<input checked="" type="radio"/> Шивелуч	2012-10-06 00:15:00

Снять выделение | Обновить список

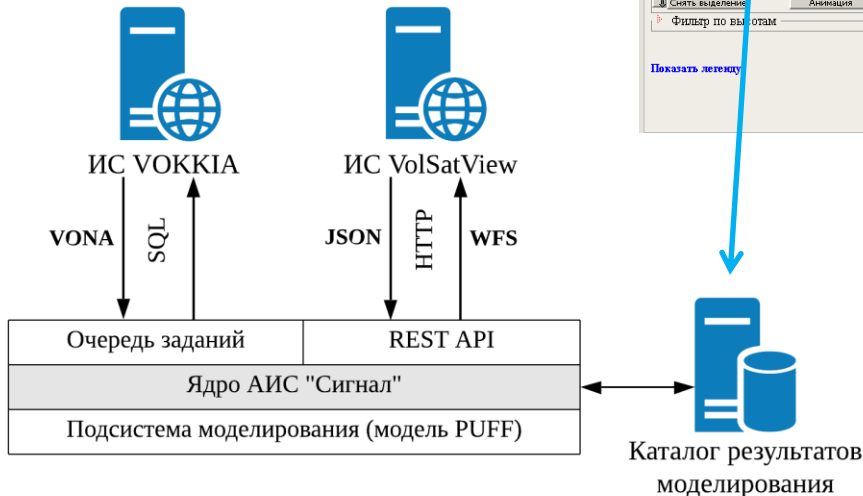
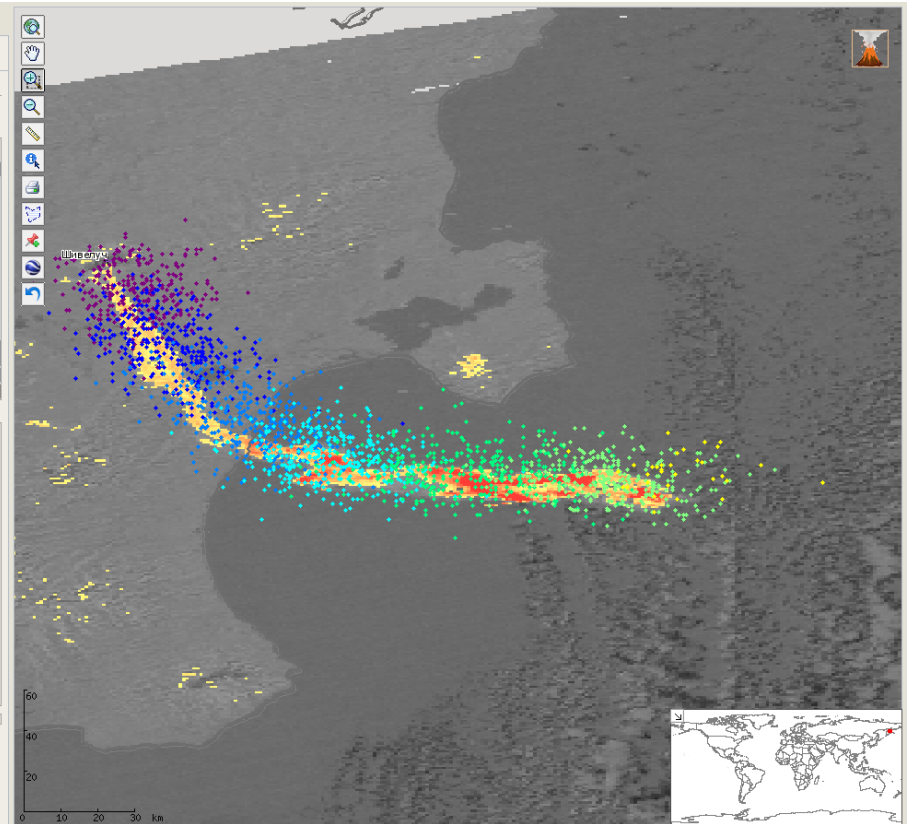
Список состояний

Состояний	Состояний
<input type="radio"/> №1	2012-10-06 00:45:00
<input type="radio"/> №2	2012-10-06 01:15:00
<input checked="" type="radio"/> №3	2012-10-06 01:45:00
<input type="radio"/> №4	2012-10-06 02:15:00
<input type="radio"/> №5	2012-10-06 02:45:00
<input type="radio"/> №6	2012-10-06 03:15:00

Снять выделение | Анимация

Фильтр по вулканам

Показать легенду



- Визуализация результатов моделирования распространения пепла от извержения вулкана Шивелуч, произошедшего 6 октября 2012 года в 00:15 UTC (1,5 часа после извержения)
- AQUA (MODIS) 2012 10 06 1:45 UTC, разница каналов 11 и 12 мкм



## МОДЕЛЬ FALL3D

- Эйлера модель, позволяющая рассчитывать различные характеристики пепловых облаков и шлейфов (концентрация пепла, мощность пепла и т. д.).
- Доступна в виде свободно распространяемого по лицензии GPL 3 пакета компьютерных программ.
- В качестве источников метеоданных может использовать продукцию различных глобальных (GFS), региональных (WRF-ARW, ETA и ARPA-SIM) и локальных (CALMET-6.2) численных моделей прогноза погоды, а также данные реанализа.
- Поддерживаются различные типы источников пепла, а также возможность задания его гранулометрического состава.





## МОДЕЛЬ FALL3D

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

где  $C$  – концентрация пепла;

$\mathbf{V} = (V_X, V_Y, V_Z)$  – вектор скорости ветра;

$V_{sj}$  – скорость осаждения частиц;

$K_X, K_Y, K_Z$  – коэффициенты диффузии;

$\rho$  – плотность воздуха;

$S_*$  – функция источника.



# ЭКСПЕРТНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ В АИС "СИГНАЛ" (МОДЕЛЬ FALL3D)

Формирование параметров расчёта в Fall3D

Сведения о дате и времени начала извержения

Вулкан: Шивелуч

Время извержения (UTC): 03.03.2015 22:50

Длительность извержения (ч): 1.33

Длительность моделирования (ч): 24

Область моделирования

Область моделирования: Минимальная долгота: 160, Максимальная долгота: 167, Минимальная широта: 54, Максимальная широта: 62

Число узлов сетки: по долготе: 200, по широте: 100

Высоты уровней (м): от: 0, до: 15000, шаг: 500

Гранулометрический состав

Характер распределения: Нормальное

Число классов частиц: 6

Среднее значение распределения: 2.5

Дисперсия распределения: 1.5

Диапазон значений Ф: 2, 7

Диапазон плотности частиц: 2000, 2000

Диапазон сферичности частиц: 0.9, 0.9

Описание источника пепла

Тип источника: Грибообразный (HAT)

Минимальная высота (м): 6000

Максимальная высота (м): 12000

Способ вычисления массового расхода вещества: ESTIMATE-MASTIN

Параметры агрегации частиц пепла

Параметры учета аэрозольных составляющих выброса

Параметры модели гравитационного потока

Основные параметры модели Fall3D

Географические локации

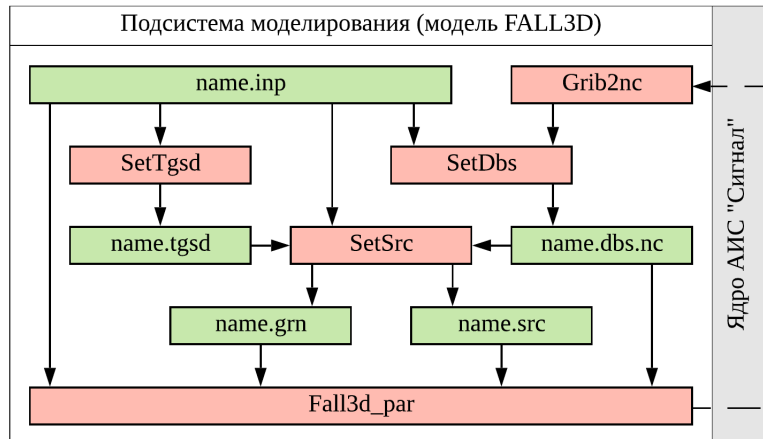
Настройки вывода результатов

Параметры визуализации результатов

Результат расчетов представить в виде:

набора графических файлов

Создать задание

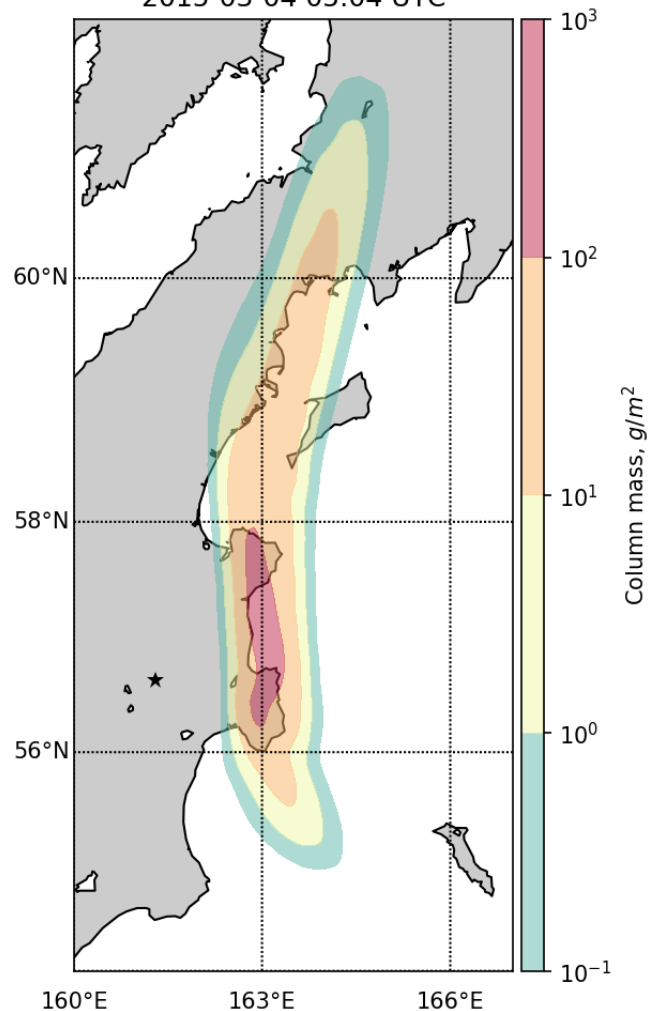


Архив  
прогностической  
продукции GFS



Каталог  
результатов  
моделирования

2015-03-04 05:04 UTC



Визуализация результатов моделирования распространения пепла при извержении вулкана Шивелуч, произошедшего 3 марта 2015 г. в 22:50 UTC (~ 6 часов после извержения)



## ПАРАМЕТРЫ ЭКСПЛОЗИВНОГО СОБЫТИЯ

**Вулкан:** Шивелуч

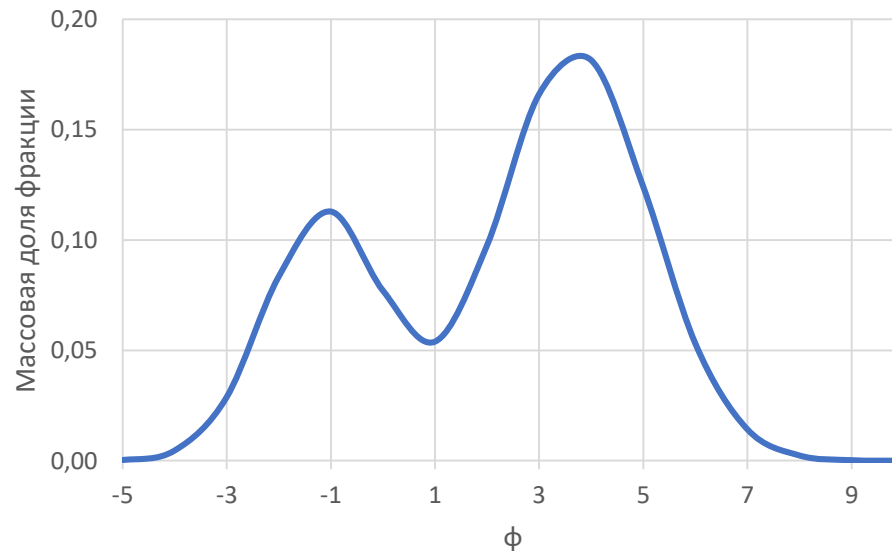
**Начало эксплозивного события:** 10 апреля 2019 года, 2:52 UTC

**Длительность эксплозивного события:** 0,5 часа

**Начальная высота:** 7,5 – 10 км

**Распределение пепла по высотам:** равномерное

**Массовый расход вещества:**  $0,3 \cdot 10^6$  кг/с (Mastin\* et al., 2009)

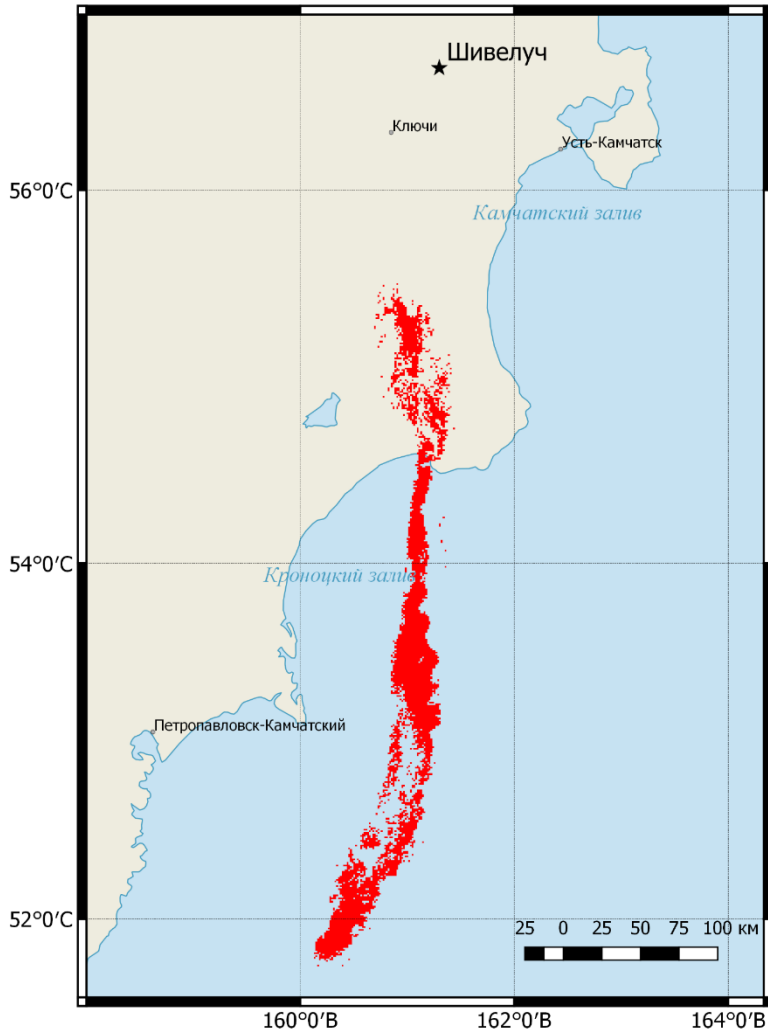


Гранулометрический состав пепла ( $\phi = -\log_2 d$ )

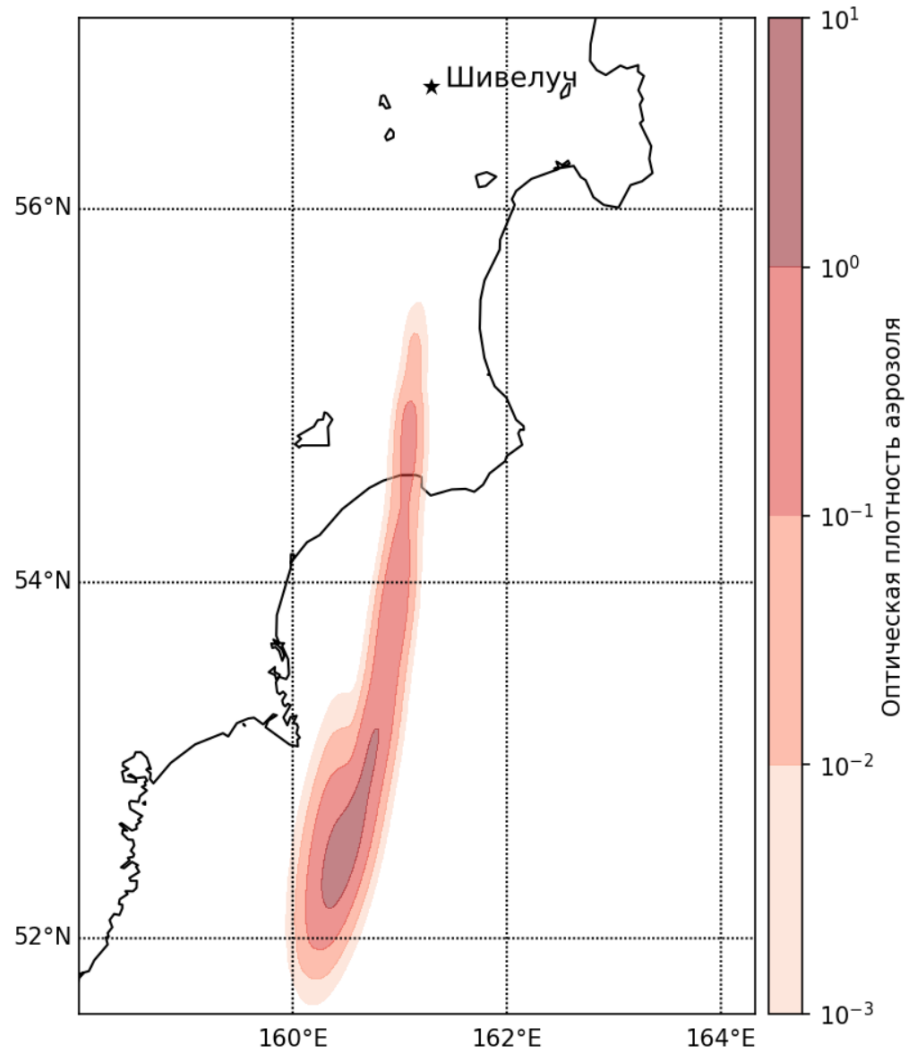
\* - L.G. Mastin et al. (2009). A multidisciplinary effort to assign realistic source parameters to models of volcanic ash-cloud transport and dispersion during eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 186(1-2), 10-21.



# ВАЛИДАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ



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



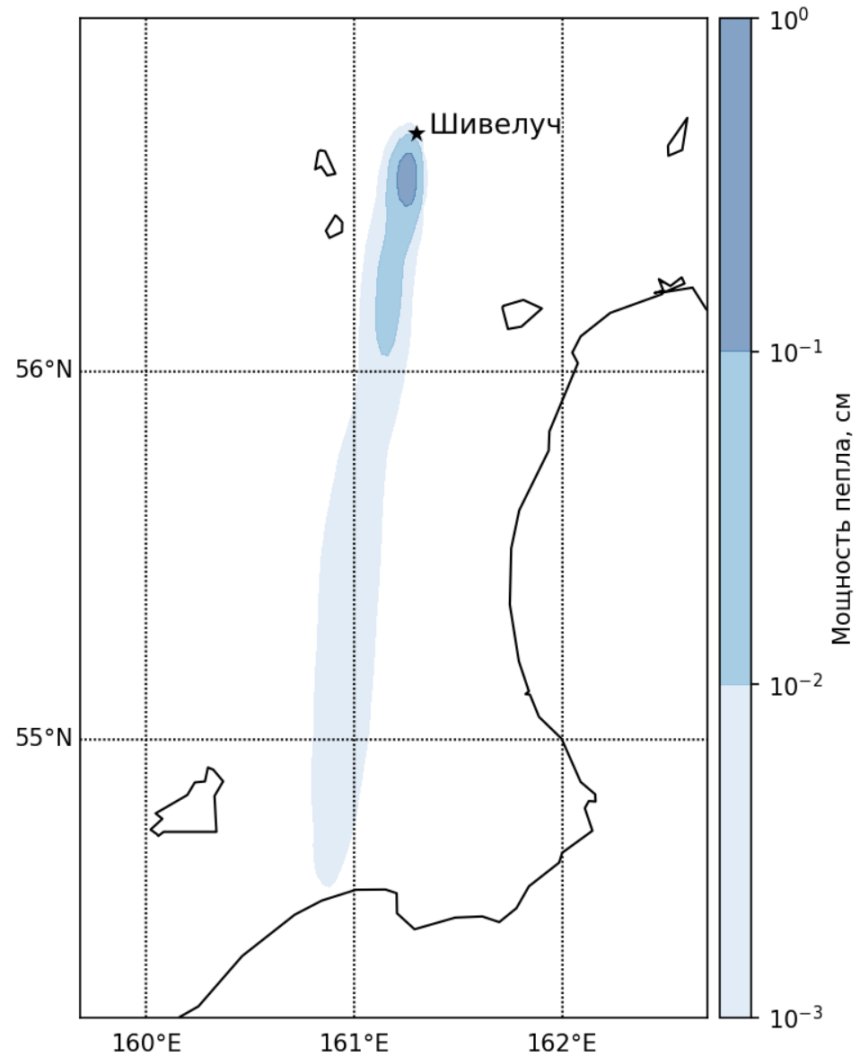
Визуализация результатов моделирования распространения пепла (оптическая плотность аэрозоля) в 8:43 UTC 10.04.2019 в АИС «Сигнал»



# РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ВЫПАВШЕГО ПЕПЛА



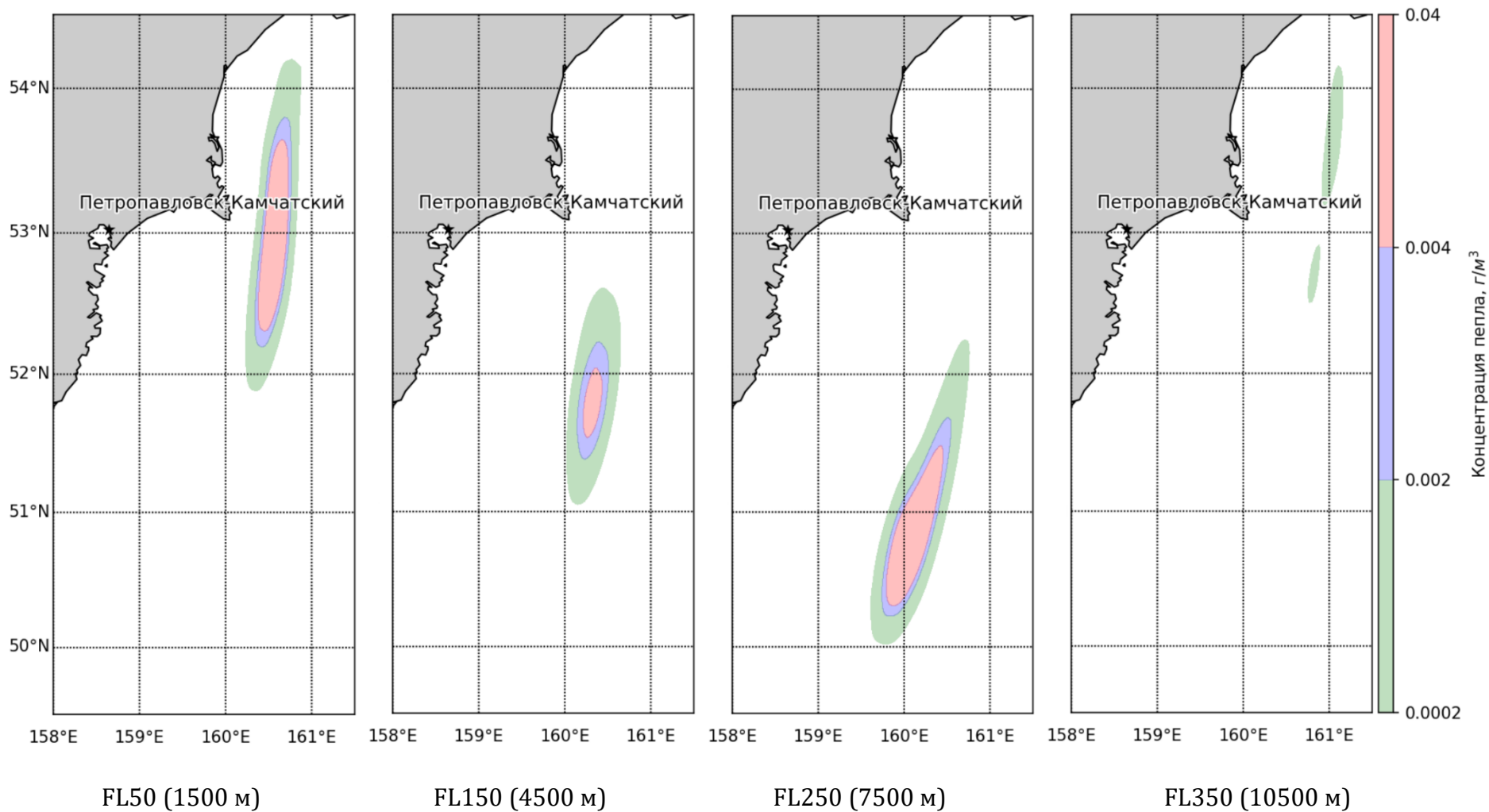
Отложения пепла на снегу по данным прибора MODIS спутника AQUA в 02:25 UTC 11.04.2019 в ИС VolSatView



Визуализация результатов моделирования мощности пепла по состоянию на 20:24 UTC 10.04.2019 в АИС «Сигнал»



# КОНЦЕНТРАЦИЯ ПЕПЛА НА 10:52 UTC 10.04.2019





## ВЫВОДЫ

- Разработанные в рамках АИС “Сигнал” проблемно-ориентированные интерфейсы позволяют определять как качественные, так и количественные характеристики пепловых облаков и шлейфов.
- 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 численных расчетов.



Спасибо за внимание!