



# КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЕПЛОВЫХ ШЛЕЙФОВ ВО ВРЕМЯ ЭКСПЛОЗИВНЫХ ИЗВЕРЖЕНИЙ ВУЛКАНОВ КАМЧАТКИ ПО ДАНЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Мальковский С.И.**<sup>1</sup>, Сорокин А.А.<sup>1</sup>, Лупян Е.А.<sup>2</sup>, Гирина О.А.<sup>3</sup>,  
Балашов И.В.<sup>2</sup>, Королев С.П.<sup>1</sup>, Ефремов В.Ю.<sup>2</sup>, Верхотуров А.Л.<sup>1</sup>,  
Романова И.М.<sup>2</sup>

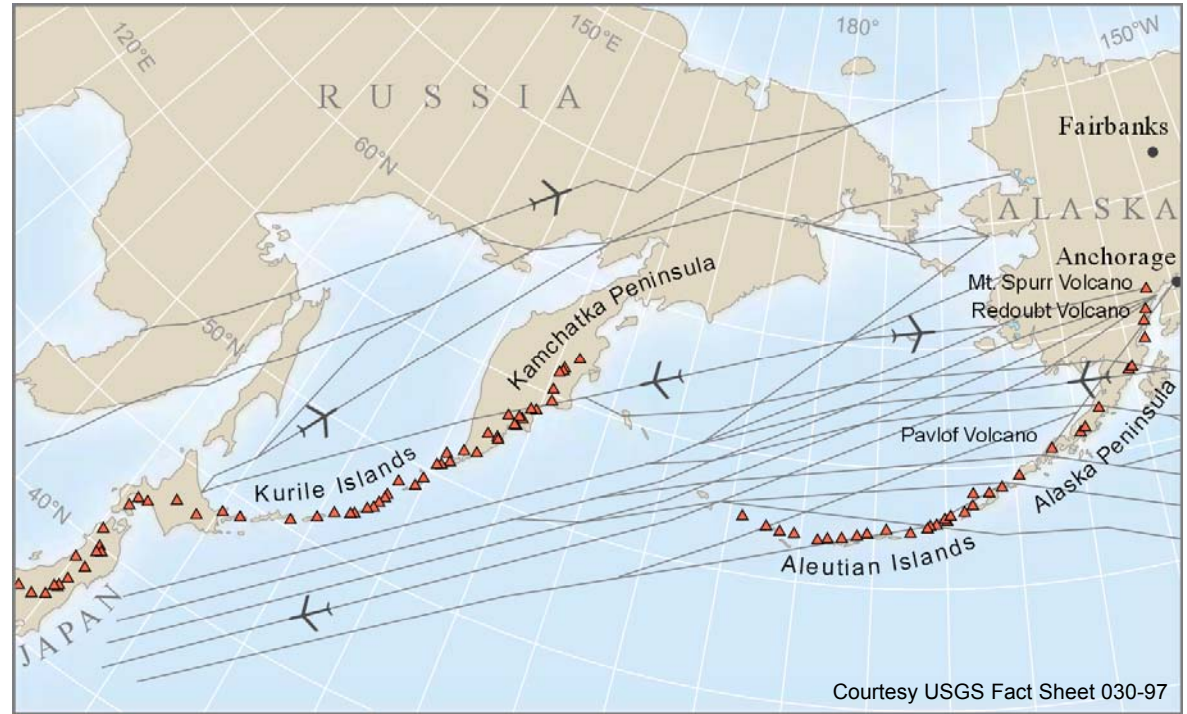
<sup>1</sup> Вычислительный центр ДВО РАН, Хабаровск

<sup>2</sup> Институт космических исследований РАН, Москва

<sup>3</sup> Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-  
Камчатский



# ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ



Courtesy USGS Fact Sheet 030-97

Международные авиатрассы в северо-западной части Тихоокеанского региона



© РИА Новости

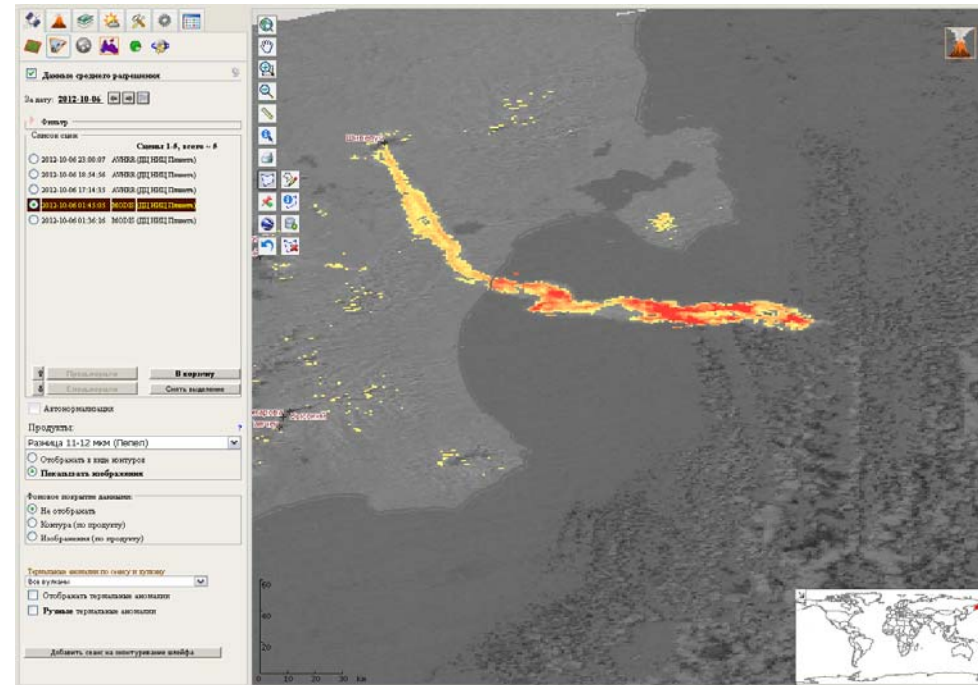
© Ю. Демянчук

© Yu. Demyanchuk



# СИСТЕМА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЕПЛА

- Выбор модели;
- Определение источника данных оперативного мониторинга вулканической активности;
- Реализация системы моделирования распространения пепла.



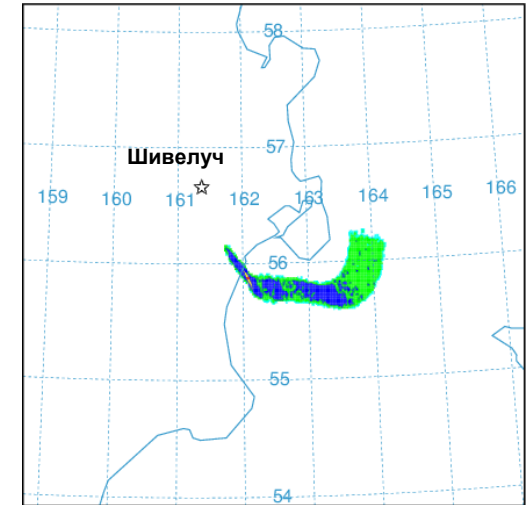
Информационная система  
“Мониторинг активности вулканов  
Камчатки и Курил” VolSatView (2011)



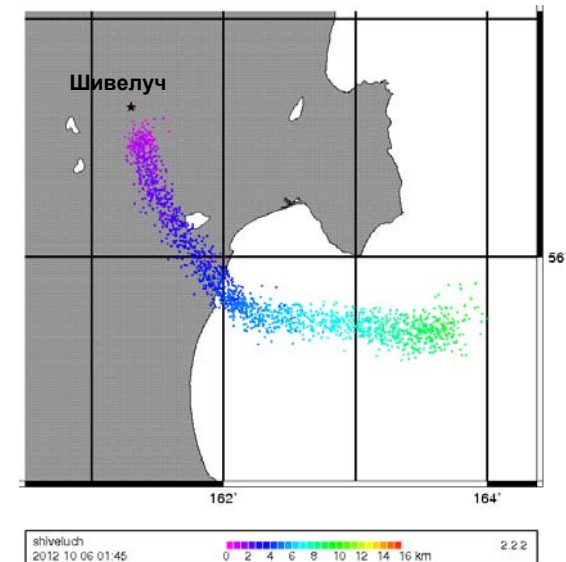


# КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЕПЛА

- **HYSPLIT** – Лаборатория воздушных ресурсов (NOAA ARL, США); гибридный эйлерово-лагранжев подход; GFS, NAM, ECMWF и т. д.;
- **NAME** – метеорологическая служба Великобритании (Met Office); лагранжев подход; UM (Unified Model), ECMWF;
- **ASH3D** – Геологическая служба США (USGS); эйлеров подход; GFS, NAM, ECMWF и т. д.;
- **PUFF** – аляскинский университет в Фэрбенксе (UAF, США); лагранжев подход; GFS, NAM, ECMWF и т. д.; исходный код в свободном доступе.



HYSPLIT (NOAA ARL), GHDA



PUFF (UAF), GFS



# РАБОТА С ПАКЕТОМ PUFF-UAF

Входные данные:

- метеоданные в формате NetCDF;
- параметры извержения;
- параметры модели;
- опции программы.

Выходные данные:

- NetCDF файлы с информацией о положении, размере и возрасте частиц.

Прогнозные данные NCEP

2014 05 10 18:00 UTC
+ 00:00 часов
+ 03:00 часа
.....
+ 384:00 часа

2014 05 11 00:00 UTC
+ 00:00 часов
+ 03:00 часа
.....
+ 384:00 часа

2014 05 11 06:00 UTC
+ 00:00 часов
+ 03:00 часа
+ 06:00 часов
.....

Коллекция grib2 файлов

2014 05 10 18:00 UTC
2014 05 10 21:00 UTC
2014 05 11 00:00 UTC
2014 05 11 03:00 UTC
2014 05 11 06:00 UTC
2014 05 11 09:00 UTC
2014 05 11 12:00 UTC

NetCDF файл

Измерения: широта; долгота; время; уровень
Данные: u-компонента ветра; v-компонента ветра

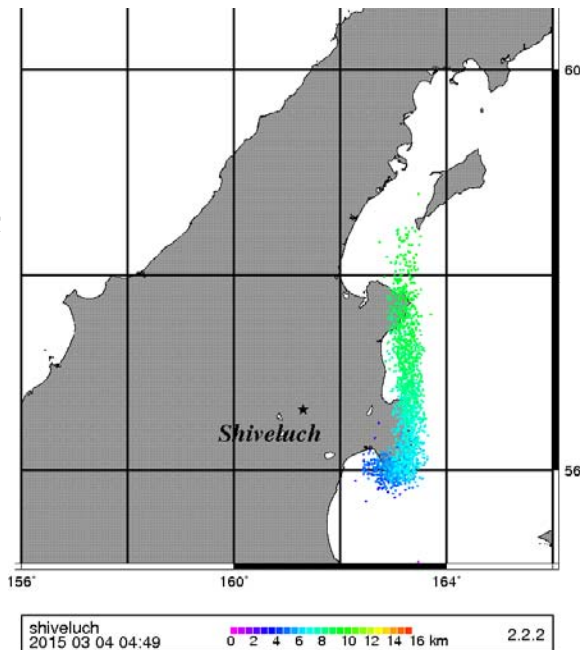
Схема подготовки  
входного NetCDF файла с  
метеорологическими  
данными



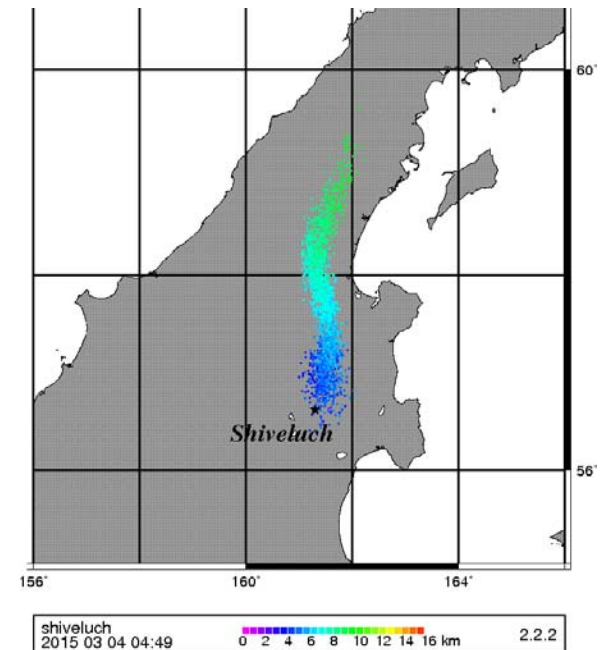
## НЕДОСТАТКИ ПАКЕТА PUFF-UAF

- Отсутствие возможности работы с файлами метеоданных в формате NetCDF, переменная времени которых выражена в секундах;
- Не поддерживается загрузка из NetCDF файлов данных по геопотенциальной высоте в том случае, если она указана в метрах;
- Все это приводит к необходимости использования для подготовки входных NetCDF файлов с метеоданными устаревшей утилиты gribtonc.

Оригинальная версия puff с входным файлом от утилиты gribtonc



Оригинальная версия puff с входным файлом от утилиты wgrib2





## РЕЗУЛЬТАТЫ ДОРАБОТКИ ПАКЕТА PUFF-UAF

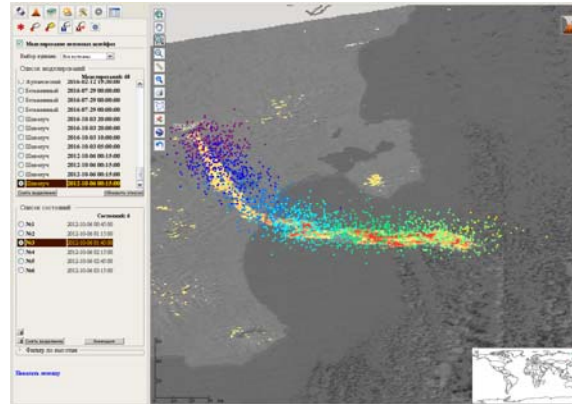
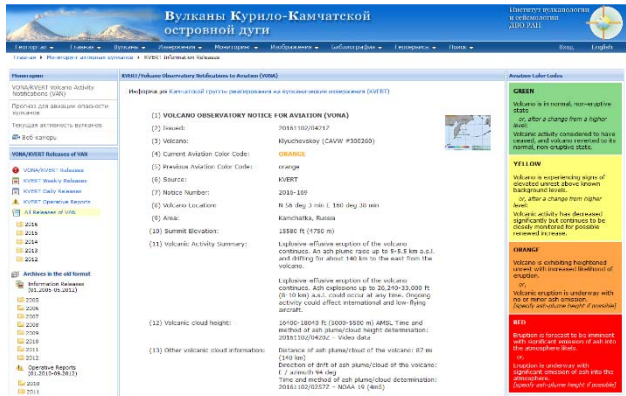
- Устранение недостатков пакета Puff-UAF позволило перейти к использованию для подготовки входных метеоданных в формате NetCDF утилиты wgrib2;
- Это значительно сократило время подготовки входных NetCDF файлов и уменьшило объем требуемого для этого дискового пространства.

Время и объем дискового пространства, затрачиваемые на преобразование 8 GRIB2 файлов в NetCDF формат (сетка – 0.5°; u, v компоненты ветра, T, Z на 26 изобарических поверхностях)





# ОБЩАЯ СХЕМА ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ



Формирование параметров расчёта в PuffUAF

Вулкан:  [info]

Время измерения (UTC):  [update]

Высота пепельного облака (в км):  
 минимальная:  [update] ?  
 максимальная:  [update] ?

Дополнительные параметры

Число частиц пепла:  [update] ?

Нормальное распределение размера частиц в метрах  
 коэф. математического ожидания:  [update] ?  
 коэф. среднеквадратического отклонения:  [update] ?

φ-распределение размеров частиц:  [update] ?

Начальное вертикальное рассеивание (в км.):  [update] ?

Начальное горизонтальное рассеивание (в км.):  [update] ?

Вертикальное распределение частиц:  [update] ?

Параметры моделирования (в часах):  
 Длительность измерения:  [update] ?  
 Длительность моделирования:  [update] ?  
 Интервал моделирования:  [update] ?

Дополнительные параметры

Шаг моделирования по времени (в мин):  [update] ?

Коэффициент горизонтальной диффузии (в м<sup>2</sup>/с):  [update] (-diffuse) ?

Коэффициент вертикальной диффузии (в м<sup>2</sup>/с):  [update] (-diffuse2) ?

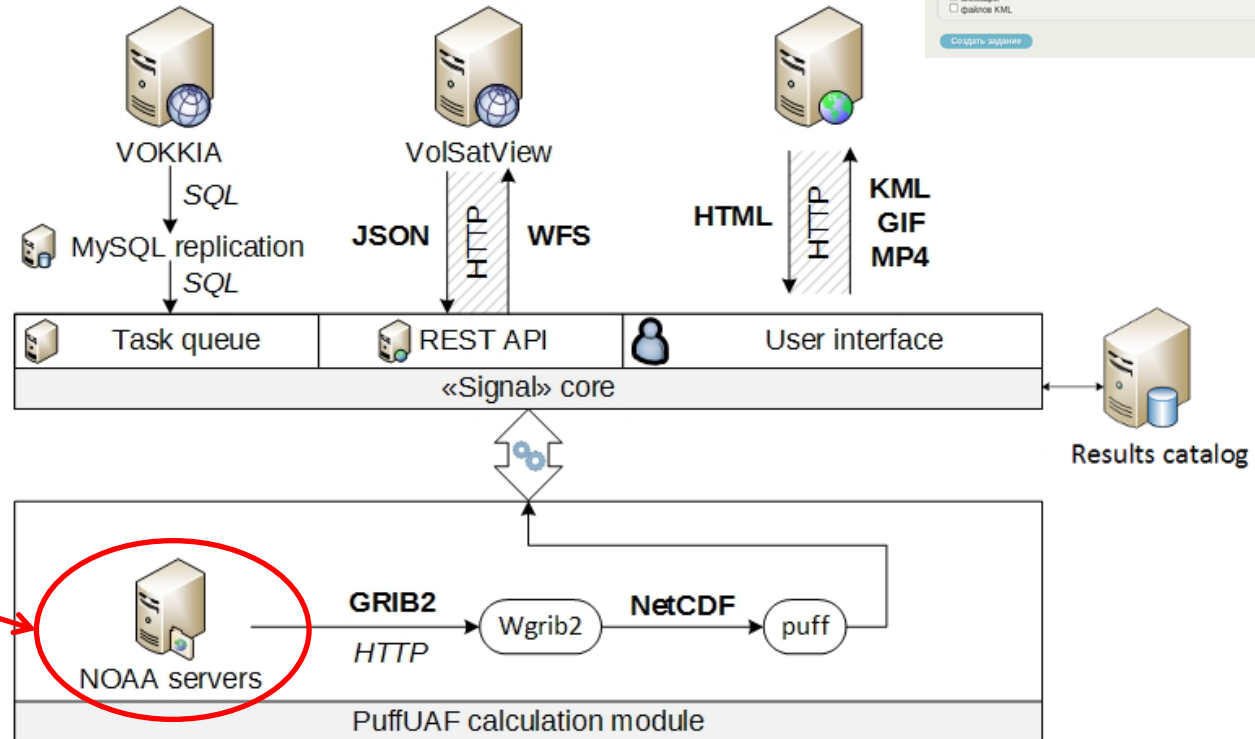
Модель осадчения пепла:  [update] (-sedimentation) ?

Не учитывать гравитацию:  [update] ?

Результат расчетов представить в виде:  
 набора графических файлов  
 загрузки  
 файлов KML

[Создать задание](#)

Продукция  
прогнозной  
модели GFS  
(NCEP/NOAA)









# ЭКСПЕРТНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ В 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

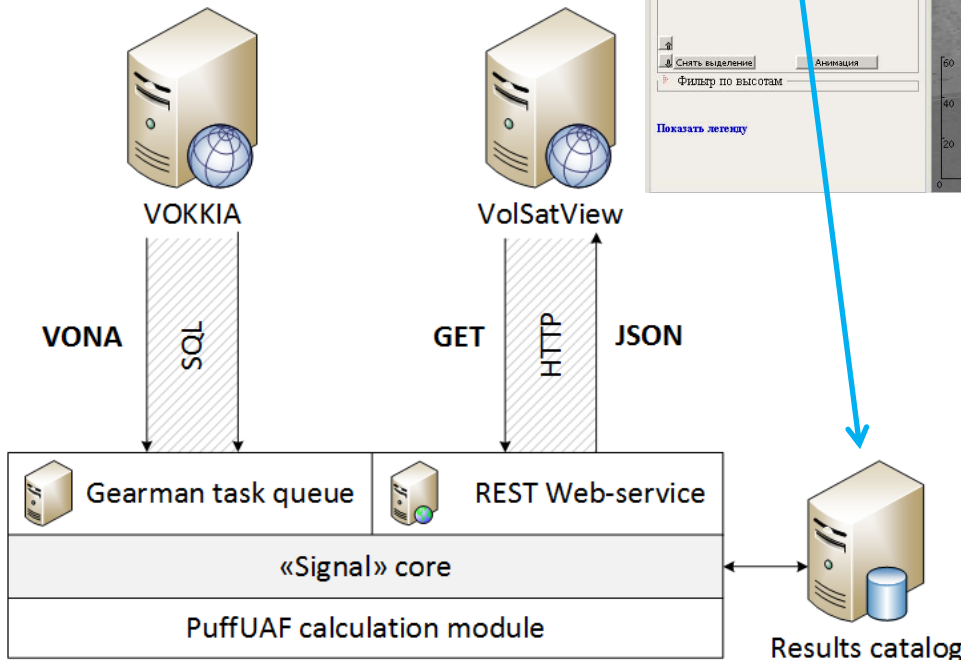
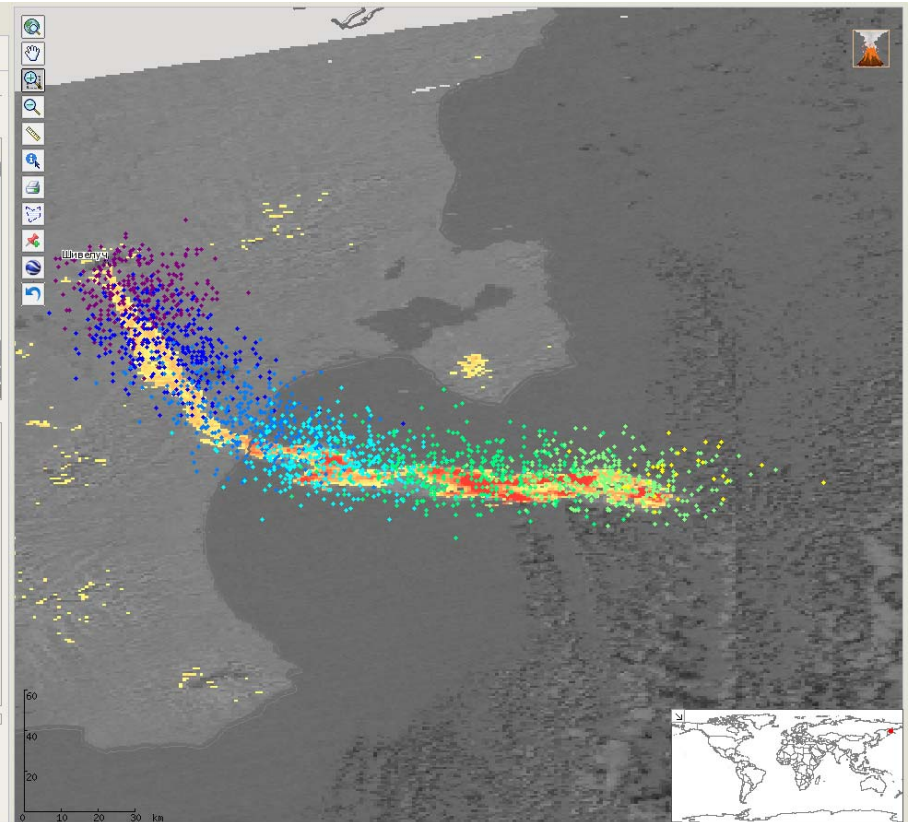
Состояний	Состояний
<input type="radio"/> №1	2012-10-06 00:45:00
<input type="radio"/> №2	2012-10-06 01:15:00
<input checked="" type="radio"/> №3	2012-10-06 01:45:00
<input type="radio"/> №4	2012-10-06 02:15:00
<input type="radio"/> №5	2012-10-06 02:45:00
<input type="radio"/> №6	2012-10-06 03:15:00

Снять выделение

Анимация

Фильтр по высотам

Показать легенду

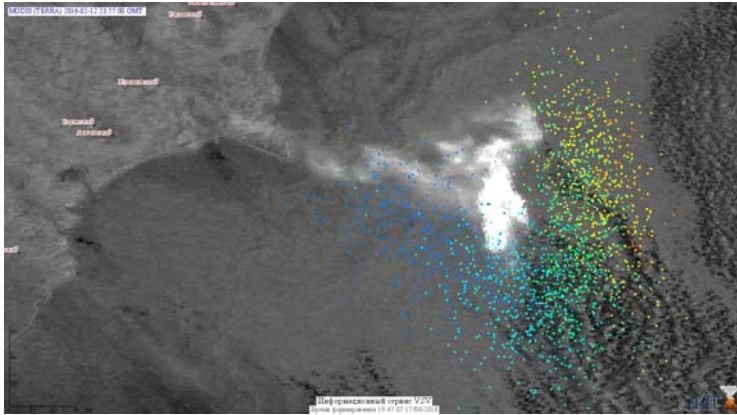


- Визуализация результатов моделирования распространения пепла от извержения вулкана Шивелуч, произошедшего 6 октября 2012 года в 00:15 UTC (1,5 часа после извержения)
- AQUA (MODIS) 2012 10 06 1:45 UTC, разница каналов 11 и 12 мкм

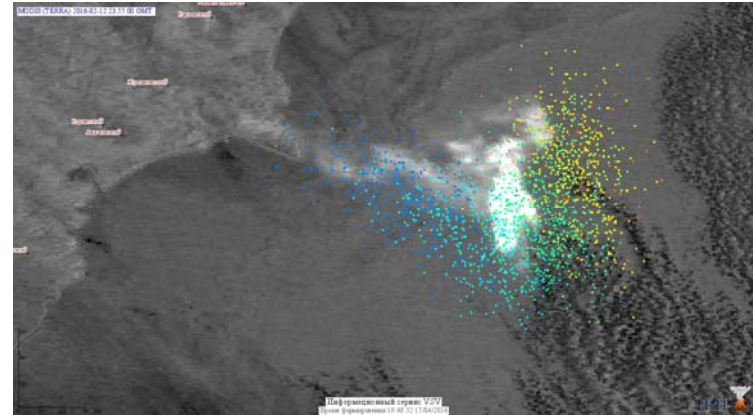




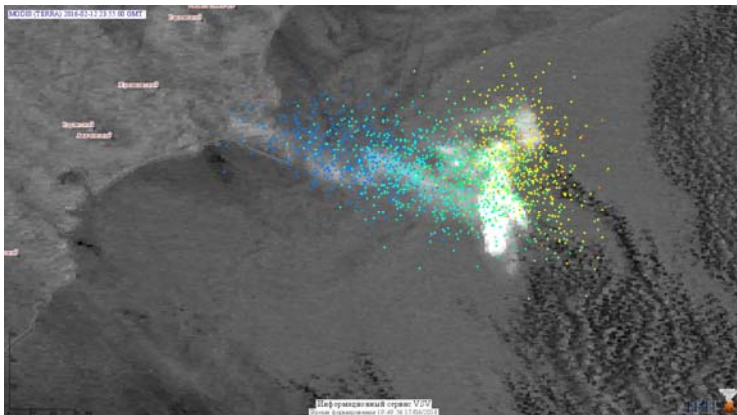
# ПРИМЕР УТОЧНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗВЕРЖЕНИЯ



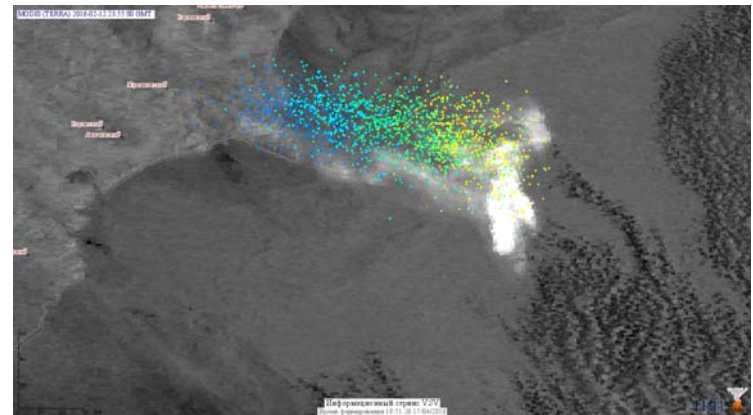
начало извержения 18:00 UTC



начало извержения 19:00 UTC



начало извержения 20:00 UTC



начало извержения 21:00 UTC

Пример возможности варьирования времени эксплозивного события на вулкане Жупановский 12 февраля 2016 года для получения оптимального совпадения результатов математического моделирования и данных спутниковых наблюдений. Черно-белое изображение – разница каналов 11–12 мкм по данным прибора MODIS (спутник Terra) на 23:55 UTC



## НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

- Расширение перечня математических моделей, используемых для прогнозирования распространения пепла;
- Изучение возможности восстановления параметров взрывных событий по данным ДЗЗ;
- Расширение перечня генерируемых продуктов (концентрация пепла в облаке, данные о выпадении пепла и т.д.);
- Развитие инструментария информационной системы VolSatView, предназначенного для совместного анализа данных ДЗЗ и результатов численного моделирования распространения пепла.



**Спасибо за внимание!**