



## Общие сведения

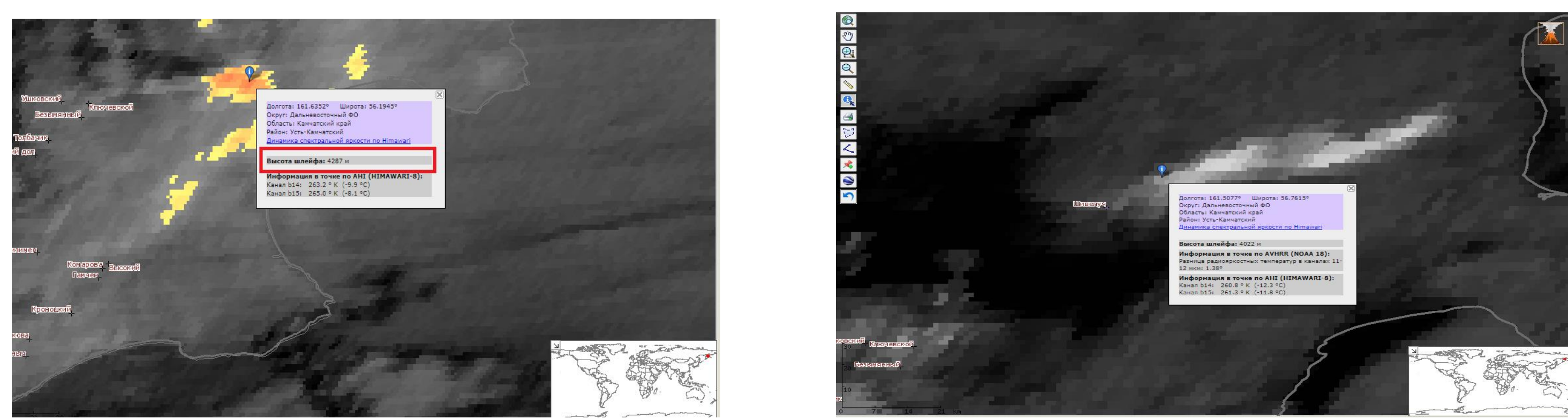
На Камчатке и Северных Курилах находятся 36 действующих вулканов и от трех до восьми из них ежегодно находятся в состоянии извержения или активизации. Выброшенные в атмосферу в результате эксплозивных извержений вулканов облака пепла представляют большую опасность для авиации и населения. Поэтому задачи своевременного обнаружения, прогноза распространения и комплексного анализа облаков вулканического пепла являются одними из важнейших задач мониторинга вулканов. В том числе для решения подобного рода задач была создана и эксплуатируется информационная система «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил (VolSatView)». В ней разработан набор инструментов позволяющих проводить детектирование и анализ пепловых шлейфов для каждого конкретного извержения вулкана на основе различных спутниковых данных низкого, среднего и высокого разрешений.

## Высота облака вулканического пепла

Одним из важнейших параметров, необходимых для анализа эксплозивных событий, является высота верхней границы облака вулканического пепла, на которую он был выброшен и на которой распространяется в атмосфере. На данный момент в информационную систему внедрены два основных метода оценки верхней границы пеплового облака: Оценка по «метеорологическому профилю» и оценка «по стереопаре»

### Оценка по «метеорологическому профилю»

Данная оценка высоты верхней границы облака пепла находится с использованием данных, получаемых по метеорологическим прогнозам и спутниковой информации. Сам алгоритм поиска высот пепловых облаков основан на предположении, что радиояркостьная температура соответствует температуре атмосферы на определенной высоте. По тепловому каналу имеющихся спутниковых данных находится радиояркостьная температура верхней границы пеплового облака. По профилю температур и высот из метео-данных выбирается такой интервал температур, которому принадлежит полученная по спутниковым данным радиояркостьная температура. Предполагается, что высота верхней границы пеплового облака соответствует высоте в нижней границе найденного интервала температур. В действительности метеорологические прогнозы иногда бывают недоступны, либо не удается найти такой интервал. В таком случае расчет высоты производится по профилю стандартной атмосферы с предположением, что температура уменьшается на 6.5 градусов Цельсия каждый километр. В качестве начальных данных берутся земная поверхность и ее температура.



Пример вычисления высоты верхней границы пеплового облака по метеорологическим данным прогноза

### Оценка по «стереопаре»

Данная оценка высоты верхней границы облака пепла находится на основе сравнения наблюдений, полученных по данным геостационарных и низкоорбитальных спутников. Алгоритм поиска высоты основан на предположении, что облако на определенной высоте над поверхностью Земли будет иметь разные координаты на снимке с геостационара и с низкоорбитального спутников за счет разных углов съемки. На полученных данных низкоорбитального спутника и ближайшим по времени к ним данным геостационара выбирается одна и та же точка на верхней границе пеплового облака и вычисляются ее геодезические координаты с разных углов съемки - низкоорбитального и геостационарного спутников. С использованием модели движения находится точное положение низкоорбитального и геостационарного спутников в момент съемки. Далее путем пересечения плоскости съемки низкоорбитального и направления съемки геостационарного спутников получаются геоцентрические координаты точки на верхней границе пеплового облака. Выполнив преобразование координат из геоцентрических в геодезические, получаем высоту точки на верхней границе пеплового облака над поверхностью земного эллипсоида.



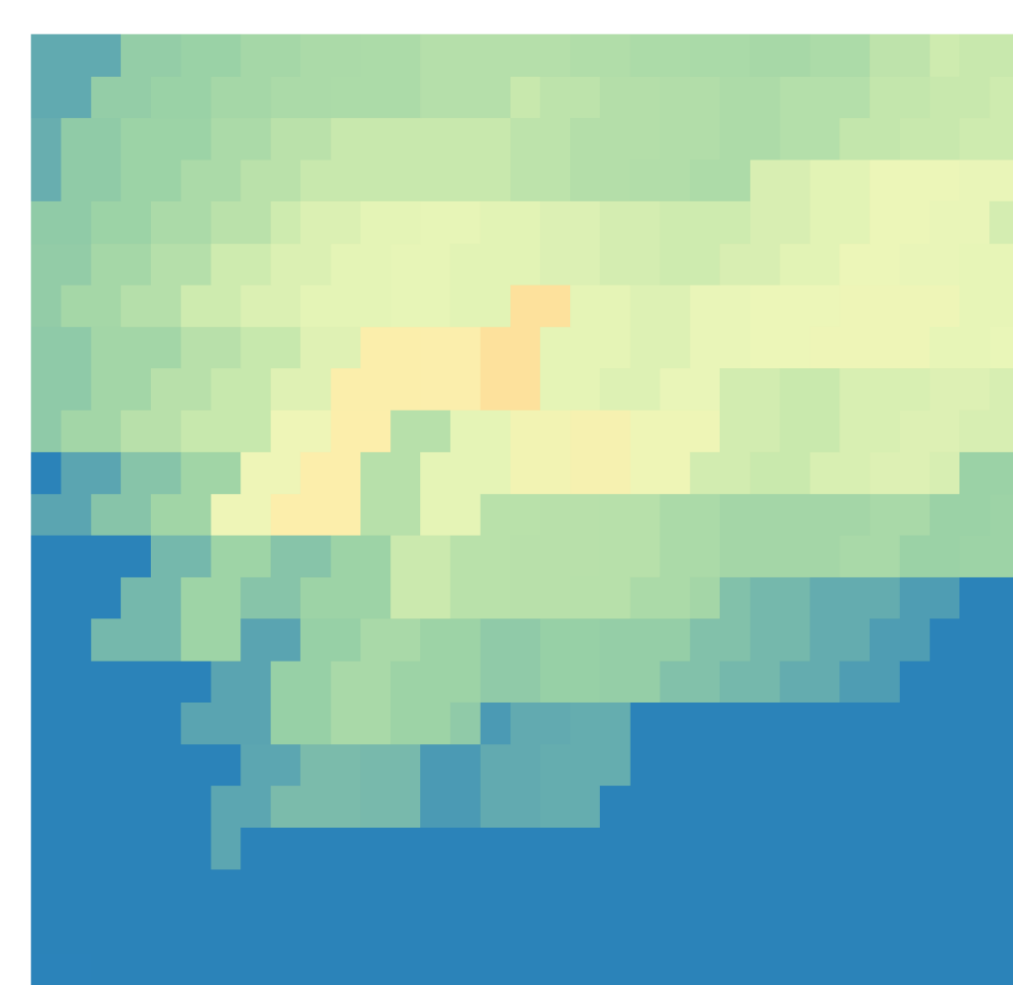
Пример вычисления высоты верхней границы пеплового облака по «стереопаре»

## Оценка точности получения высоты

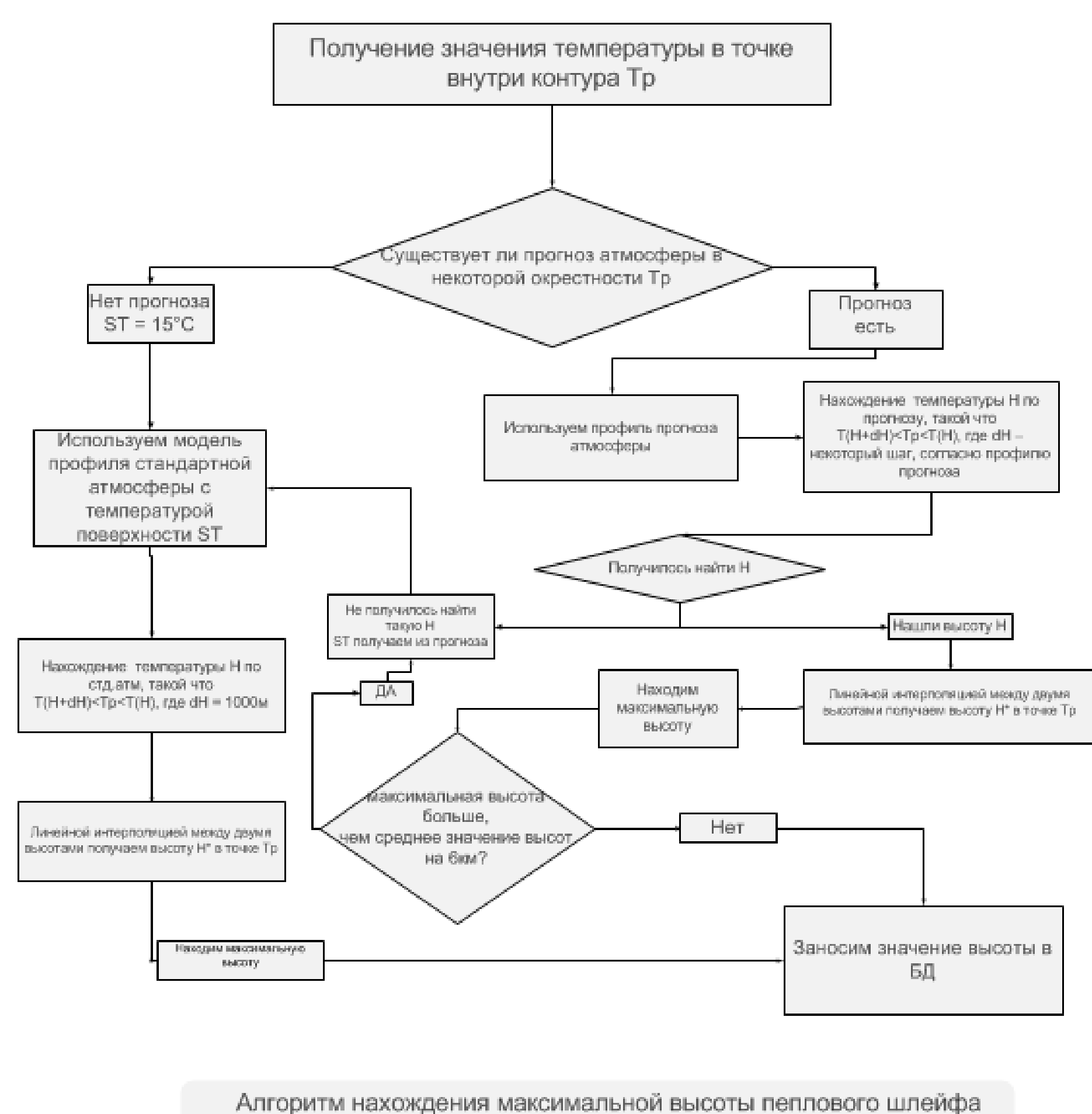
На данный момент в реализованных в информационной системе методах оценки высоты верхней границы пепловых облаков имеются ряд ошибок и неточностей.

### Оценка по «метеорологическому профилю»

В случае получения высоты облака вулканического пепла по «метеорологическому профилю» в качестве грубого допущения берется отождествление радиояркостьной температуры в тепловом канале спутниковых данных температуре воздуха в различных слоях атмосферы. К тому же, в случае недоступности прогнозных данных используется модель стандартного распределения температур атмосферы, и высоты, полученные по такой модели могут сильно различаться с высотами, полученными по прогнозу. На «изображении 1» показано соответствие высот пеплового облака по прогнозу и по стандартному распределению от синего цвета к красному, где красный цвет – полное соответствие.



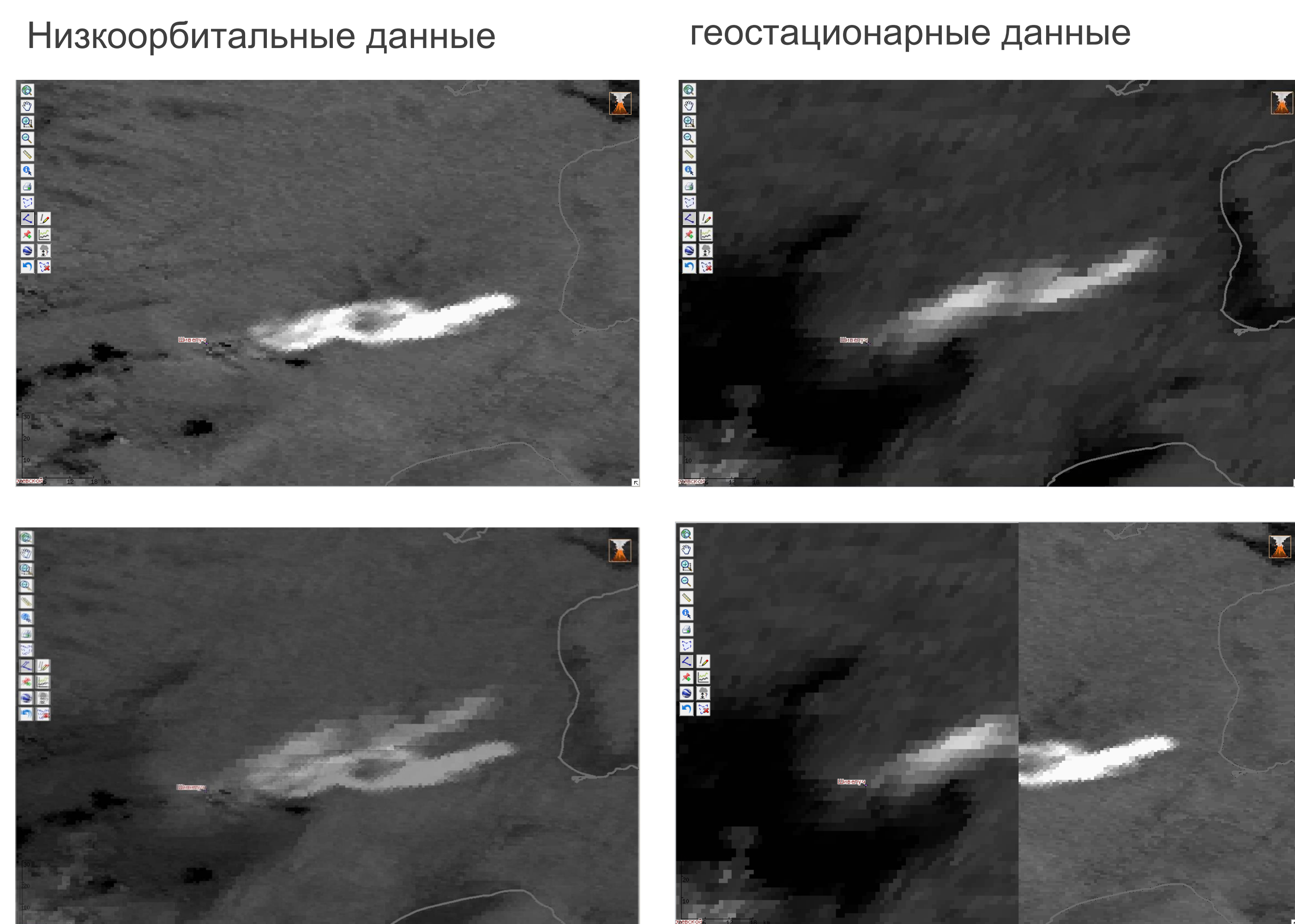
Изображение 1



Алгоритм нахождения максимальной высоты пеплового шлейфа

### Оценка по «стереопаре»

При использовании метода расчета высоты пеплового облака по «стереопаре» возникает ряд ошибок. Во первых, алгоритм требует точное вычисление положений низкоорбитального спутника в момент сканирования полосы земной поверхности. В качестве времени сканирования на данный момент выбирается время начала сеанса. Во вторых, предполагается, что исследуемое облако было снято низкоорбитальным и геостационарным спутниками в один момент времени, но на данный момент выбирается ближайшее изображение. Однако, самым существенным недостатком данного метода является необходимость «на глаз» подбирать точки пеплового облака на двух изображениях. Ниже представлено снятое в один и тот же момент времени пепловое облака с низкоорбитального и геостационарного спутников.



Наложение изображений облака с различных углов съемки

Время события	Вулкан	Данные Kvert (video data)	Meteo Height (max)	Stereo Height
20.08.2017	Ключевской	7000 м	5191 м	6000-6800 м
09.03.2017 3:10	Безымянный	6000-7000 м	4500 м	6000-6400 м
15.06.2017 10:20	Шивелуч	6000-6500 м	3700 м	4000-6300 м
28.02.2015	Шивелуч	8000-9000	7989 м	Нет данных
04.12.2017	Шивелуч	Нет видео данных	10000 м	3500-5500 м
25.05.2017 21:30	Шивелуч	4000 м	1700 м	2900-3600 м
24.05.2017 21:50	Шивелуч	9000-10000 м	6673 м	10000-11000 м

Таким образом, найденная высоты верхней границы пеплового облака по одному из методов может не соответствовать реальной высоте. Слева, для различных извержений, приведена таблица сравнения высот, полученных различными способами. В качестве эталонных данных высот берутся данные с веб-камер, поставляемые Камчатской группой реагирования на вулканические извержения (KVERT)