



ИНСТИТУТ ОПТИКИ АТМОСФЕРЫ
ИМЕНИ В.Е. ЗУЕВА СО РАН

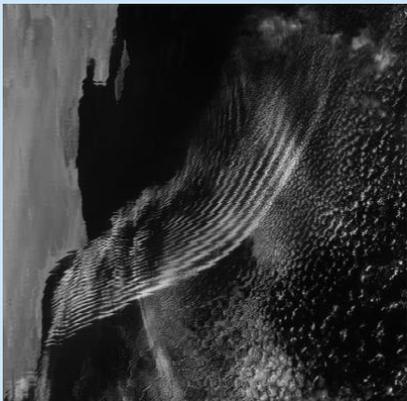
МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТОВ АЭРОЛОГИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Скороходов А.В., Курьянович К.В.

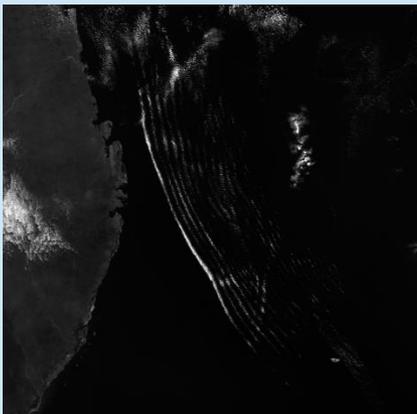
Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых российских ученых – кандидатов наук № МК-1745.2018.5

Атмосферные внутренние волны

Атмосферные внутренние волны представляют собой вид волновых движений в устойчиво стратифицированной атмосфере, возникающих как над сушей, так и над водной поверхностью в различных регионах планеты.



Побережье Аравийского полуострова 27.09.2013 г.



Мозамбикский пролив
30.07.2015 г



Побережье Австралии
14.04.2014 г.

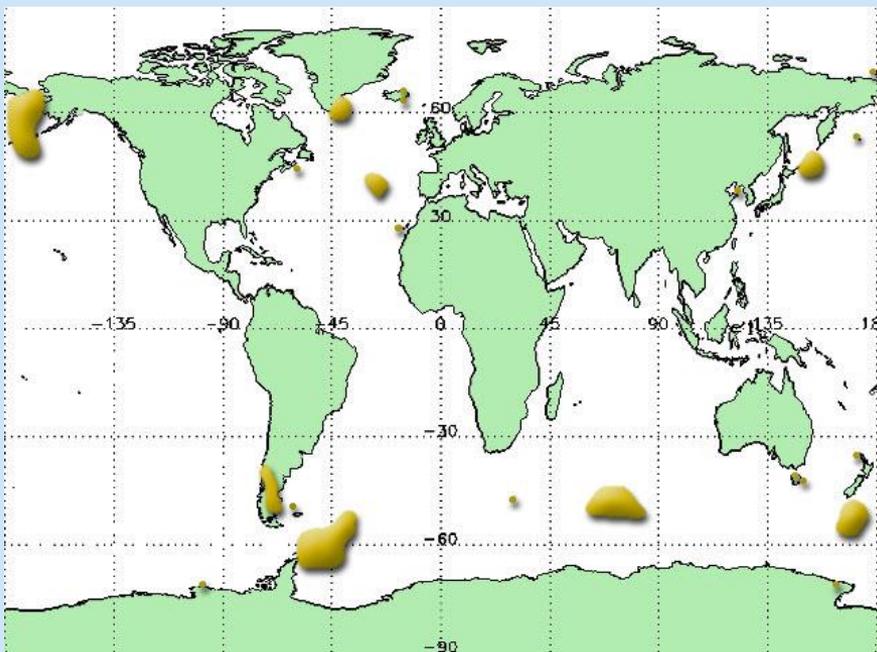


Акватория Курильских островов
23.04.2015 г.

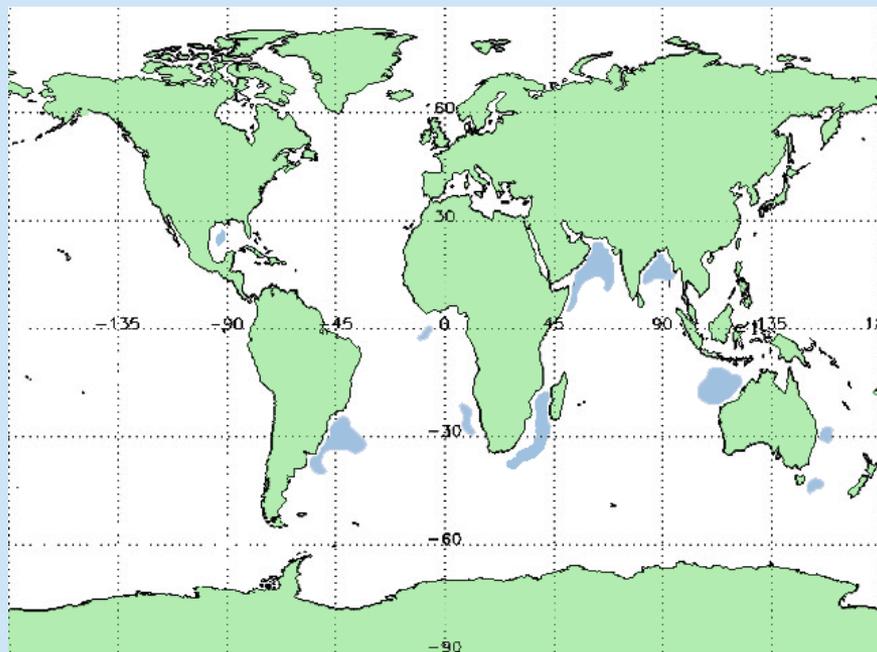
Регионы наблюдения

Атмосферные внутренние волны, наблюдаемые в тропосфере Земли, подразделяются на орографические (влияние рельефа) и гравитационные (влияние силы тяжести). Необходимыми условиями окружающей среды для генерации рассматриваемых волновых процессов являются:

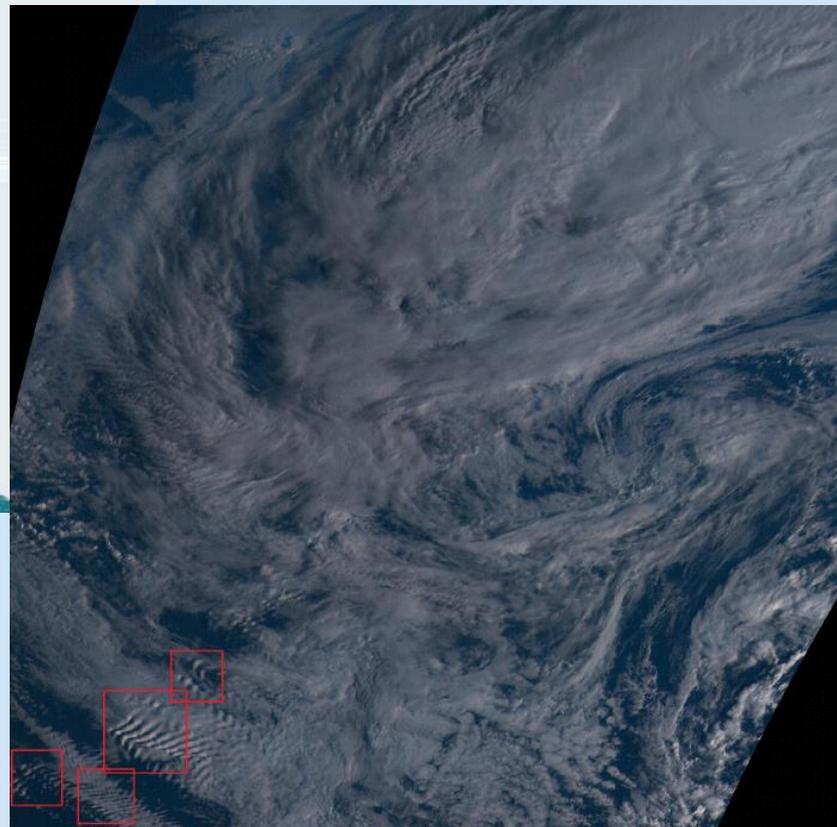
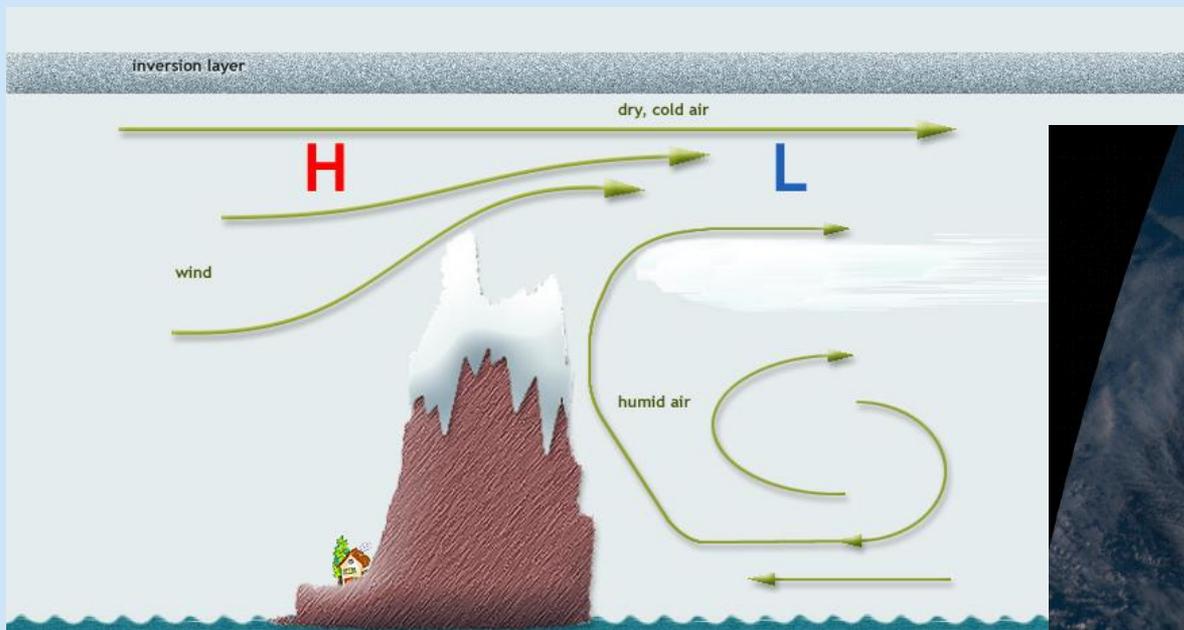
- наличие устойчивой стратификации,
- температурная инверсия,
- присутствие струйных течений нижнего уровня.



Регионы наблюдения атмосферных орографических волн

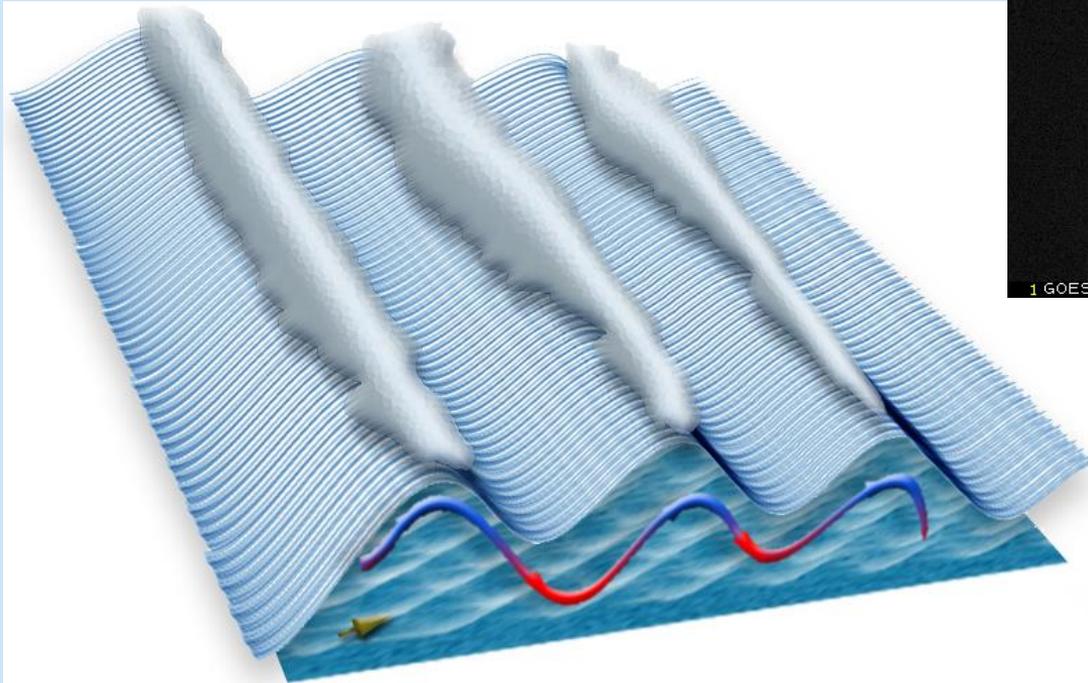


Регионы наблюдения атмосферных гравитационных волн



Процесс образования атмосферных орографических волн связан с вынужденным поднятием теплых воздушных масс над препятствием, а также в результате их перемешивания с встречным холодным воздухом

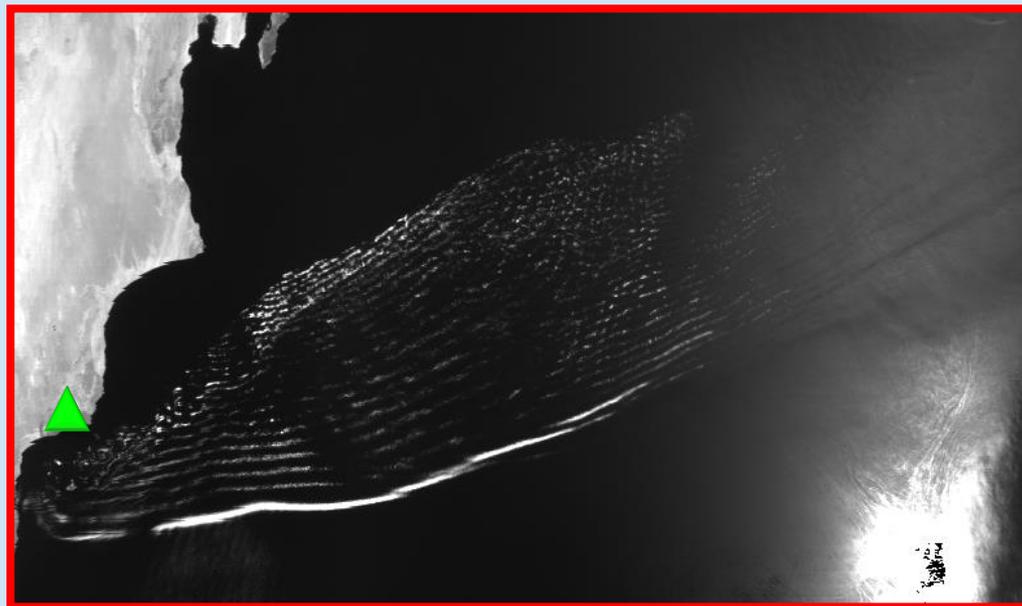
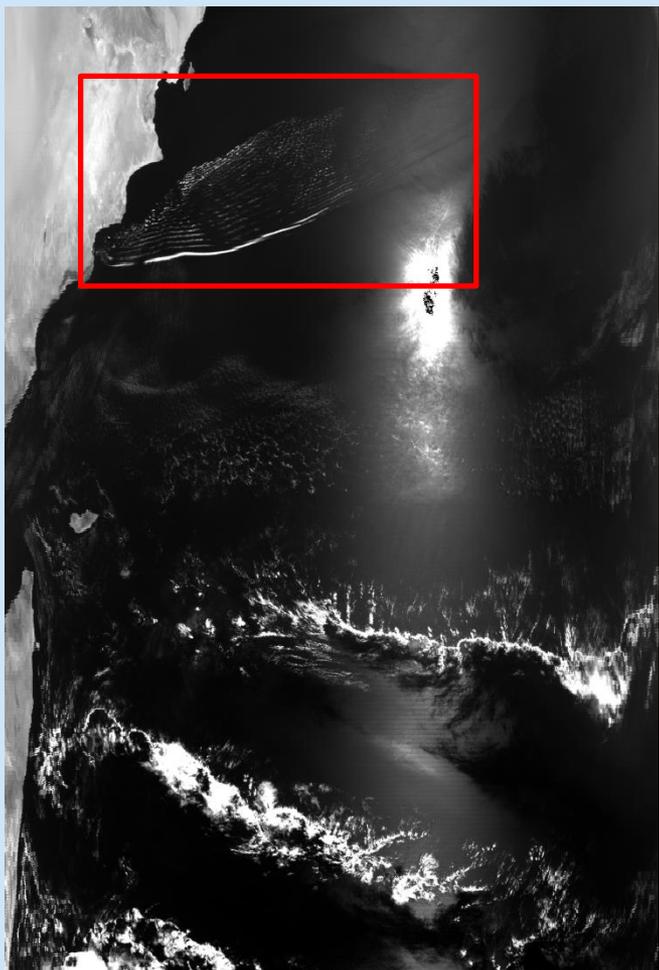
Механизмы генерации атмосферных внутренних волн



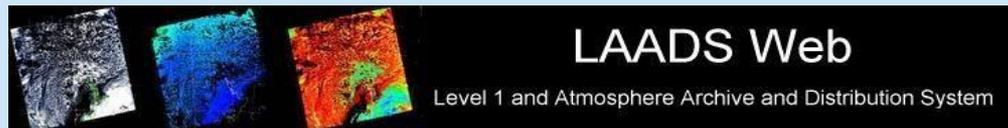
Процесс образования атмосферных гравитационных волн связан нарушением стабильности тонких слоев воздуха, имеющих практически одинаковые параметры и не смешивающихся продолжительные периоды времени

Цель работы

Разработка методов и алгоритмов восстановления характеристик атмосферных внутренних волн и их сигнатур на основе спутниковых данных и результатов аэрологического зондирования.



Спутниковый снимок MODIS побережья Аравийского полуострова от 23.04.2009 г (UTC – 06:35)



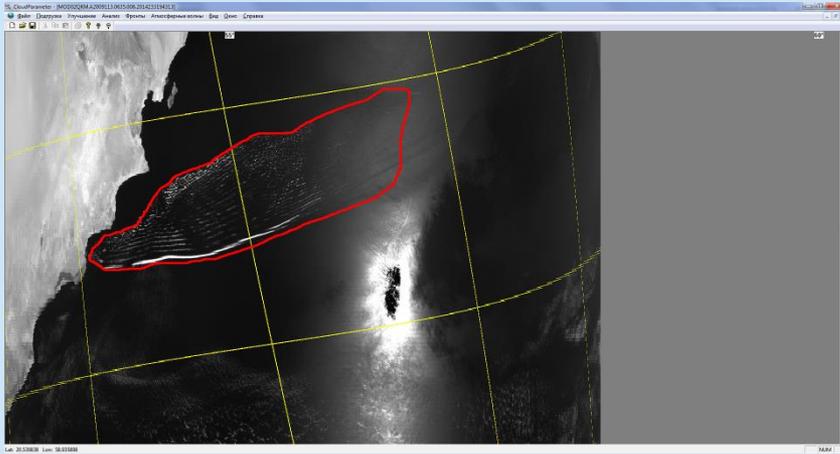
Характеристики атмосферных внутренних волн

Геометрические (квазипараллельные полосы)	Физические (волновой процесс)
Площадь сигнатуры	Амплитуда
Количество	Длина
Протяженность	Период
Толщина	Частота
Радиус	
Направление распространения	

Кроме этого, восстанавливаются следующие параметры окружающей среды, которые необходимы не только для расчета указанных выше характеристик, но и составления полной картины наблюдения атмосферных внутренних волн:

- тип облачности сигнатуры волнового процесса,
- высота, давление, температура верхней границы облаков,
- температура подстилающей поверхности,
- профили температуры, скорости и направления ветра, относительной влажности и потенциальной температуры.

Геометрические характеристики сигнатур волнового процесса



Определение площади сигнатур
волнового процесса



Выделение направляющей

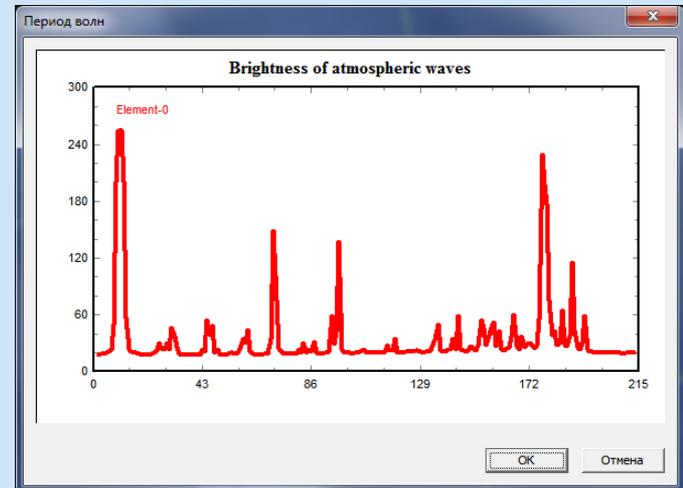
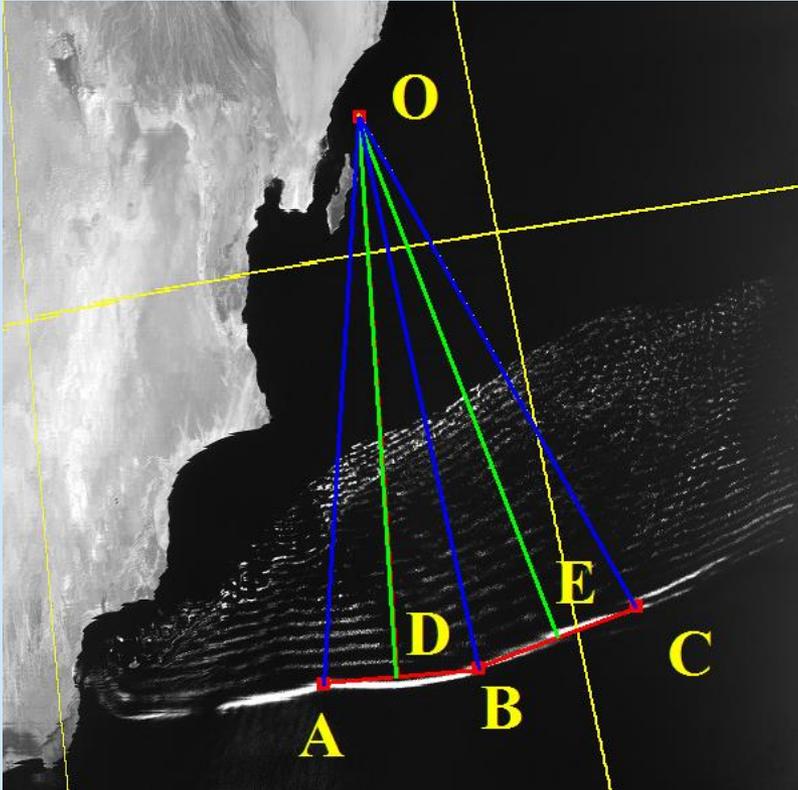


График значений яркости направляющей

Количество полос
Протяженность полос
Толщина полос
Длина волны

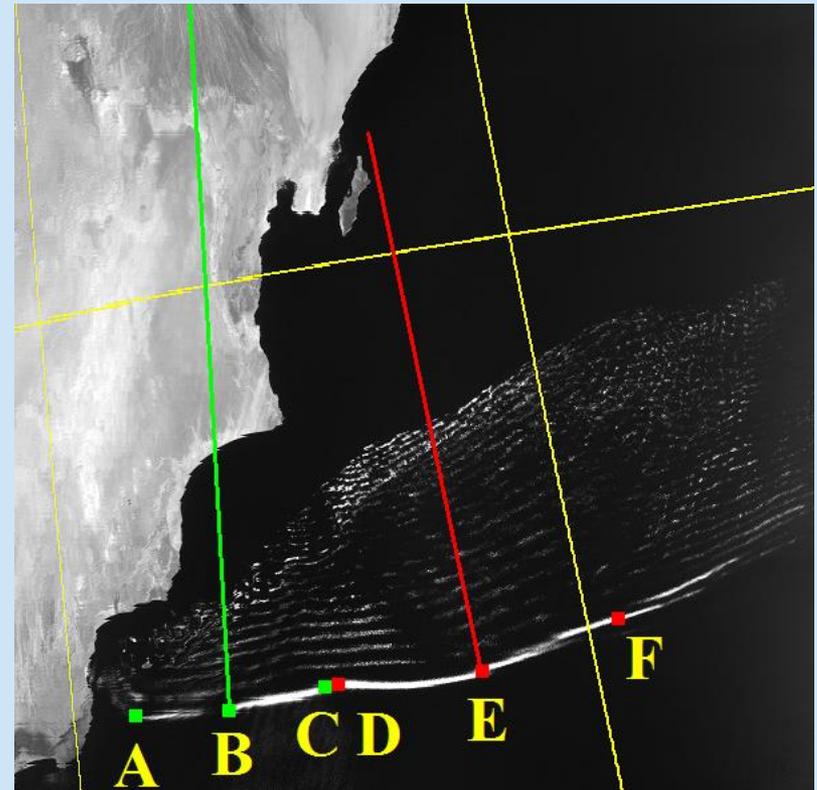


Геометрические характеристики сигнатур волнового процесса



Определение радиуса квазипараллельных
полос методом восстановления
перпендикуляров из середины хорд дуги.

$$r = OA = OB = OC$$



Определение радиуса кривизны
квазипараллельных полос на основе
построения уравнения кривой $y=f(x)$

$$r = \frac{(1 + y'^2)^{3/2}}{|y''|}$$

Алгоритм классификации облачности

Представление модели нечеткого вывода в виде структуры, содержащей нейроны термы с единичными синаптическими коэффициентами, функционирующей по аналогии с классическими нейронными сетями называется **нейро-нечетким (гибридным) классификатором**.

Вход сети: предъявляется набор значений T_j классификационных характеристик облаков.

Первый слой: содержит нейроны-фаззификаторы, выполняющие приведение к нечеткости значений параметров облачности. Для инициализации нейронов-фаззификаторов применяются следующие законы распределения классификационных характеристик облаков, подобранные в рамках построения их моделей:

- Вейбулла,
- Гамма,
- Лог-логистический,
- Логнормальный,
- Нормальный.

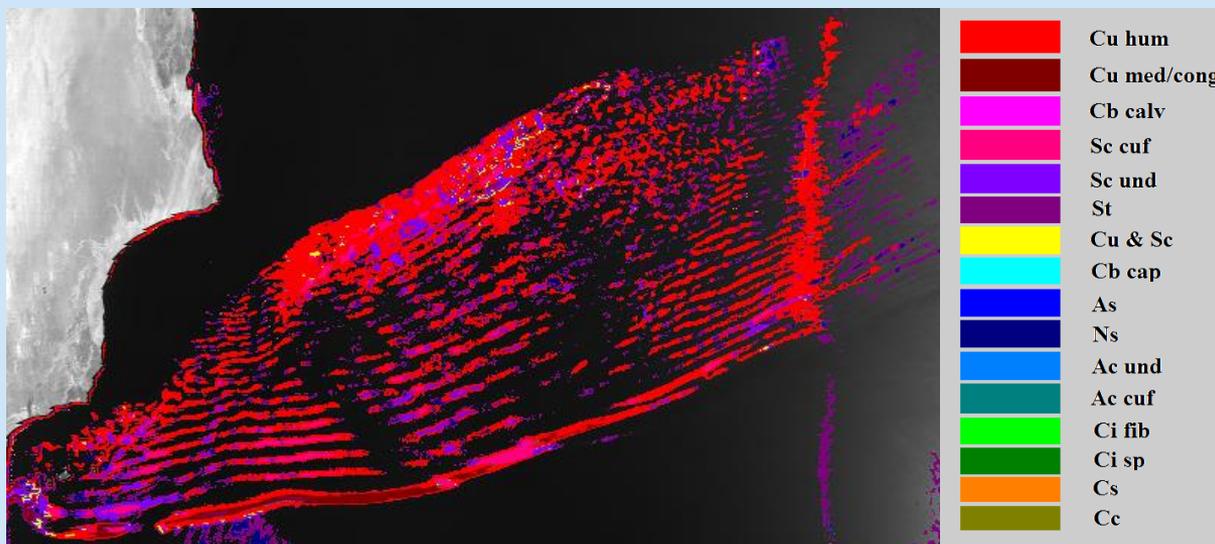
Второй слой: состоит из 16 нейронов-антецедентов, реализующих треугольную норму и моделирующую логическую операцию «И». В данном слое происходит определение степени истинности условий для каждого правила системы нечеткого вывода.

Третий слой: содержит нейроны-консеквенты, реализующие произвольную треугольную конорму и моделирующую логическую операцию «ИЛИ». В данном слое происходит аккумуляция заключений.

Выход сети: тип облачности, к которому принадлежит классифицируемый фрагмент спутниковых данных.

Классификаторы такого типа моделируют выражения «Если образец имеет такие значения параметров, такие, ... и такие, то он может относиться к одному классу, с одной степенью принадлежности, ко второму с другой и т.д.»

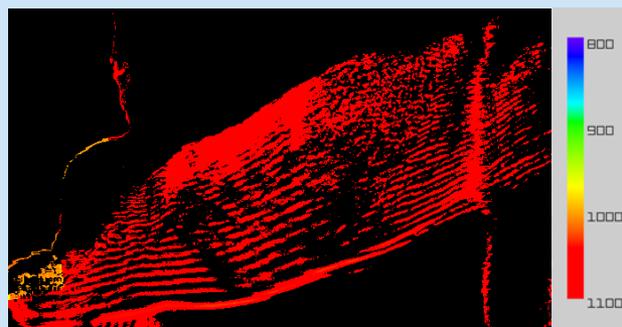
Характеристики облаков



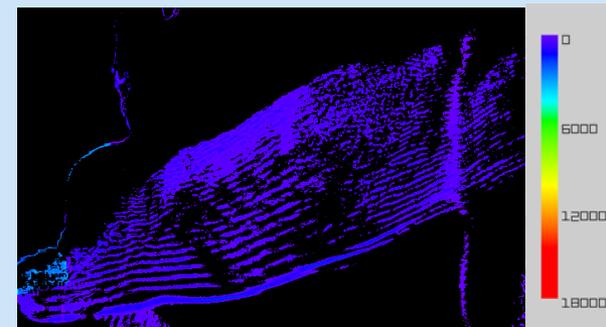
Результат классификации облачности



Температура верхней границы
облачности



Давление на верхней границы
облачности

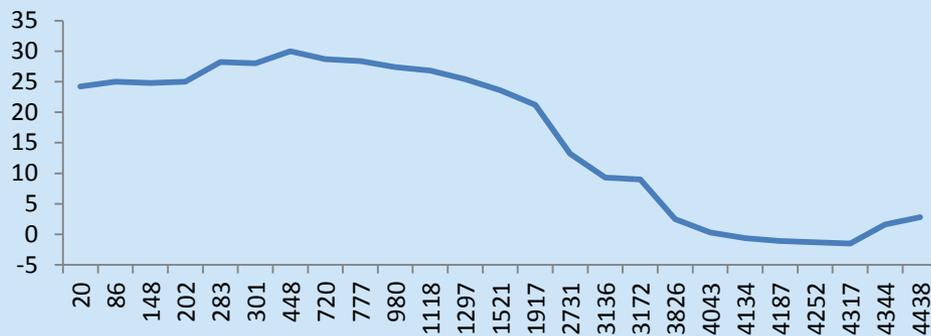


Высота верхней границы
облачности



Физические характеристики сигнатур волнового процесса

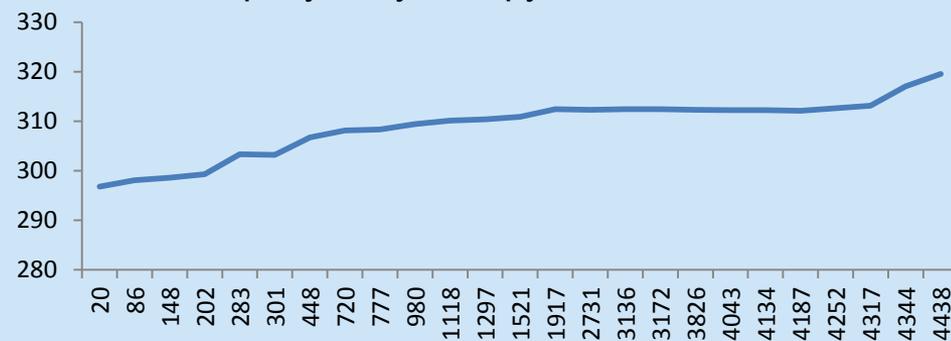
h, м	T, °C	V, м/с	D, °	Θ, К	φ, %
20	24,2	4	310	296,8	77
86	25	3	200	298,1	93
148	24,8	3	189	298,6	94
202	25	3	179	299,3	88
283	28,2	2	164	303,3	33
301	28	2	161	303,2	32
448	30	2	134	306,7	9
720	28,7	1	85	308,1	7
777	28,4	2	140	308,3	7
980	27,4	10	130	309,4	9
1118	26,8	13	141	310,1	10
1297	25,4	16	155	310,4	12
1521	23,6	13	150	310,9	14
1917	21,2	12	132	312,4	21
2731	13,2	11	94	312,3	30
3136	9,3	10	75	312,4	39
3172	9	10	75	312,4	40
3826	2,5	10	95	312,3	57
4043	0,3	12	80	312,2	65
4134	-0,6	11	90	312,2	69
4187	-1,1	11	86	312,1	71
4252	-1,3	11	80	312,6	62
4317	-1,5	11	62	313,1	54
4344	1,6	11	54	317	12
4438	2,8	11	29	319,5	1



Наблюдается инверсия температуры



Присутствуют струйные течения



Наблюдается устойчивая стратификация

Характеристики атмосферных внутренних волн

Характеристики	Значения
Площадь сигнатуры	123008 км ²
Число полос	21
Средняя протяженность полос	436 км
Средняя толщина полос	3,41 км
Радиус кривизны полос	888 км
Преобладающая разновидность облаков	Кучевые плоские
Средняя высота верхней границы облаков	0,74 км
Средняя температура верхней границы облаков	295,16 К
Среднее давление на верхней границе облаков	939,76 гПа
Длина волны	8,1 км
Скорость распространения волны	6,33 км/ч
Период волны	1,28 ч
Амплитуда волны	0,29 км
Направление распространения волны	140°
Температура водной поверхности	301,17 К

– рассматриваемая сигнатура атмосферных внутренних волн находится на значительном удалении от источника их генерации в состоянии затухания, учитывая радиус кривизны полос и скорость распространения волны;

– учитывая направление распространения облачных проявлений, область возникновения волнового процесса находится в районе Ормузского пролива;

– наличие достаточно высоких (> 3км) и протяженных (≈ 450 км) гор Хаджар на пути распространения атмосферных внутренних волн может способствовать их образованию.

Выводы

- 1) Предложены методы и алгоритмы восстановления геометрических и физических характеристик атмосферных внутренних волн и их сигнатур на основе результатов спутниковой съемки и аэрологического зондирования;
- 2) Разработана программная система, позволяющая описывать эпизоды наблюдения рассматриваемых волновых процессов в полном объеме;
- 3) Полученные с помощью предложенных методов и алгоритмов результаты определения параметров атмосферных внутренних волн позволяют определять условия окружающей среды, способствующие их генерации, а также оценивать источник и причины их возникновения.
- 4) Перспективным направлением развития данной работы является анализ характеристик волновых процессов за продолжительный промежуток времени в отдельно взятом регионе в том числе и с привлечением данных с геостационарных спутниковых систем.

Курьянович Ксения Викторовна

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук (ИОА СО РАН)

пл. Академика Зуева, 1, 634055, г. Томск, Россия

+7-913-807-00-94

E-mail: ksuyain@mail.ru