



**ИНСТИТУТ ОПТИКИ АТМОСФЕРЫ**  
ИМЕНИ В.Е. ЗУЕВА СО РАН



# **ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАЧНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ АТМОСФЕРНЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН НАД АКВАТОРИЕЙ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ В МОМЕНТЫ ПРОХОЖДЕНИЯ СИЛЬНЫХ ТРАНСОКЕАНСКИХ ЦУНАМИ**

Скороходов А.В., Шевченко Г.В., Астафуров В.Г.

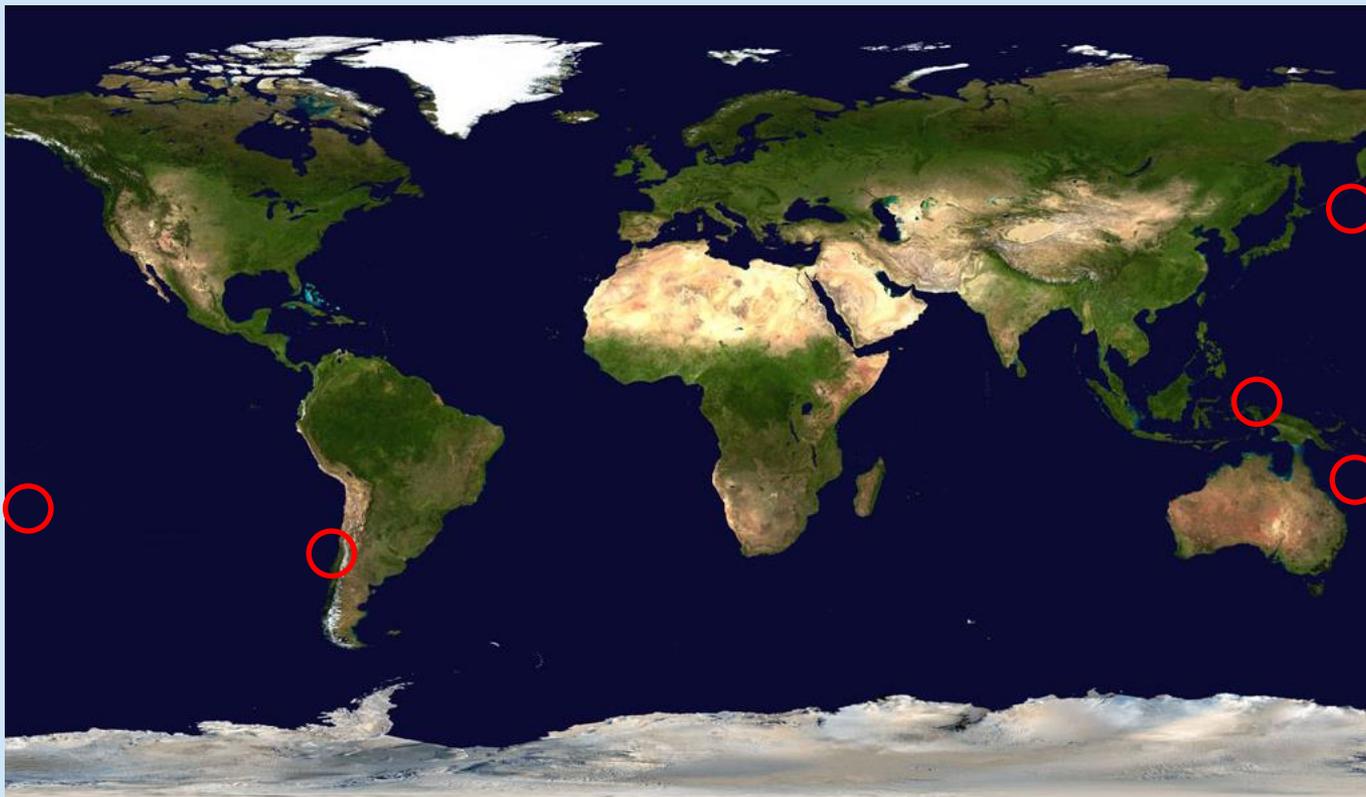
Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта  
№ 16-37-60019 мол\_a\_дк.

## Аннотация

Показаны результаты исследования облачных проявлений атмосферных гравитационных волн (АГВ), наблюдаемых над акваторией Курильских островов в моменты прохождения сильных трансокеанских цунами 2009 – 2010 года. Для определения их характеристик использовались данные с автономных глубоководных станций Института морской геологии и геофизики ДВО РАН в районе Южных Курильских островов и телеметрического регистратора Службы предупреждения о цунами на о. Парамушир. Представлены результаты дистанционного зондирования исследуемой территории из космоса спектрорадиометром MODIS и аэрологические измерения со станций Северо-Курильска и Немуро. Обсуждаются результаты анализа характеристик волновых процессов в атмосфере и океане, а также состояние окружающей среды. Излагаются возможные причины возникновения облачных проявлений атмосферных волн в исследуемом районе и перспективные направления развития данной работы.



# Цунамигенные события



Дата	Регион	Широта	Долгота	Фокальная глубина, км	Магнитуда
03.01.2009	Папуа (Индонезия)	0.4° ю.ш.	132.9° в.д.	10	7.5
15.01.2009	Курильские острова	46.9° с.ш.	155.2° в.д.	36	7.4
29.09.2009	Острова Самоа	15.6° ю.ш.	172.1° з.д.	18	8.1
07.10.2009	Острова Вануату	12.5° ю.ш.	166.3° в.д.	35	7.8
27.02.2010	Центральное Чили	35.8° ю.ш.	72.7° з.д.	35	8.8

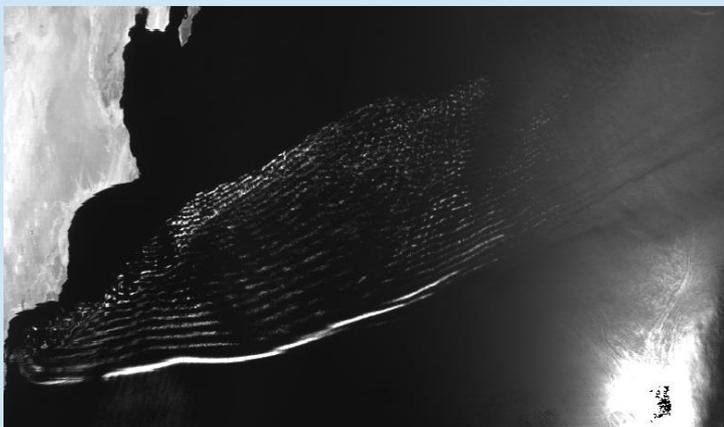
# Исследуемый регион



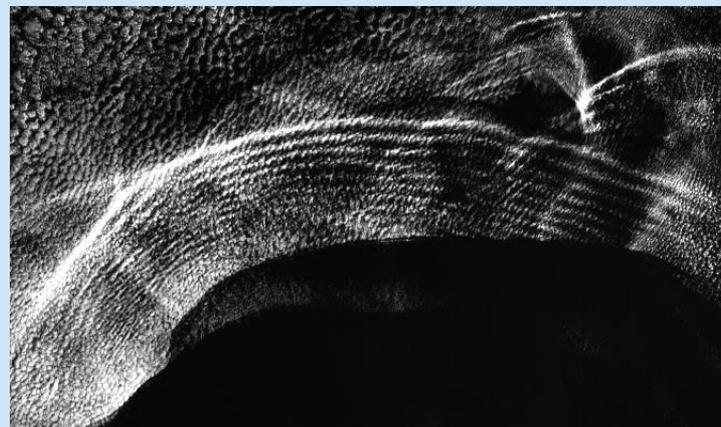
- – телеметрические регистраторы Службы предупреждения о цунами
- – автономные измерители придонного гидростатического давления ИМГиГ ДВО РАН
- △ – метеостанции, проводящие ежедневные аэрологические измерения

# Облачные проявления АГВ

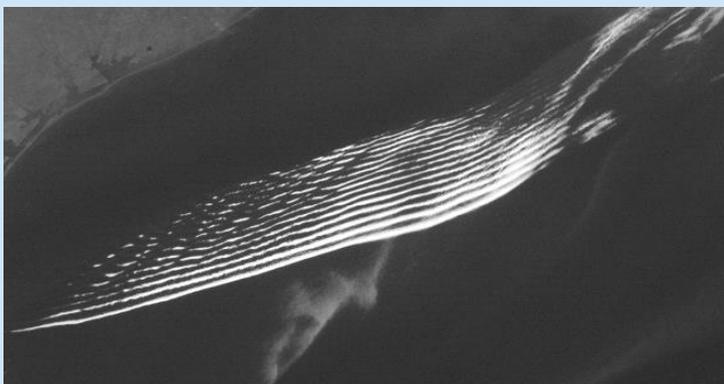
Атмосферные гравитационные волны представляют собой вид волновых движений в стратифицированной атмосфере. На спутниковых снимках АГВ проявляются в виде групп упорядоченных квазипараллельных полос протяженностью до нескольких сотен километров, образованных облаками различных типов.



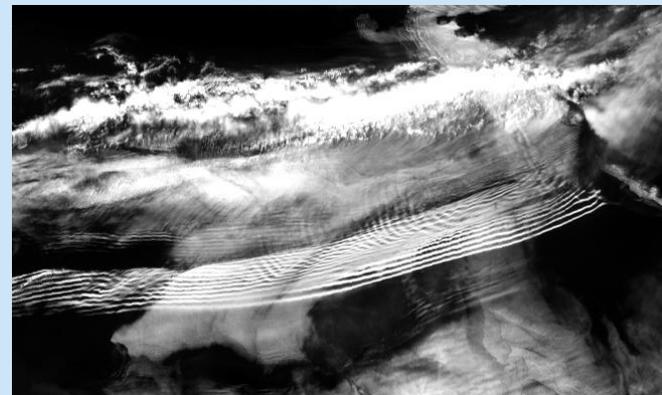
Аравийский полуостров



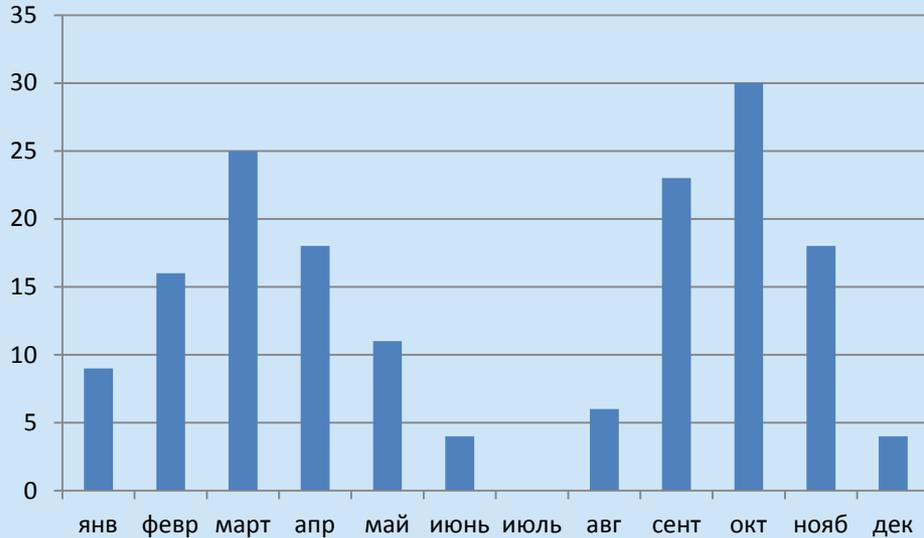
Австралия



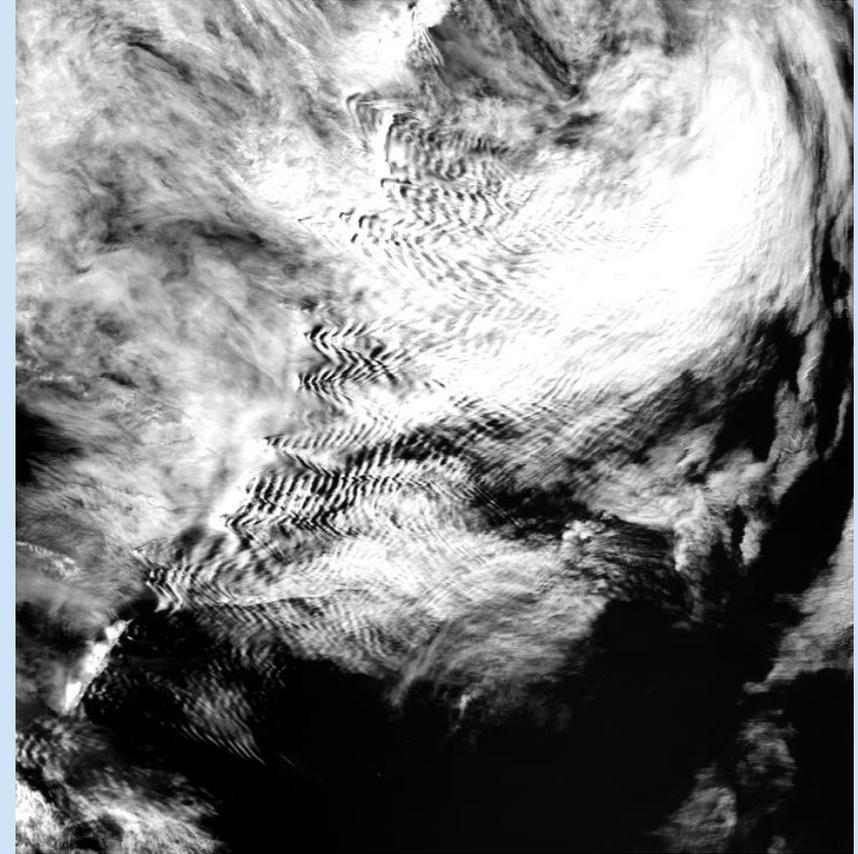
Мексика



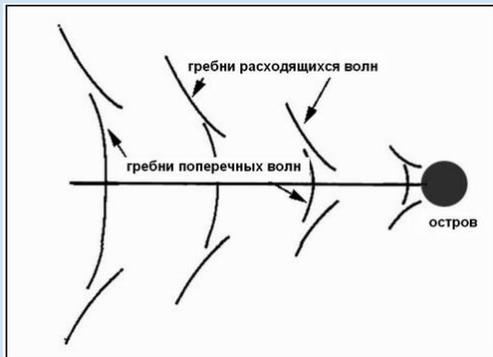
Япония



Повторяемость АГВ над акваторией Курильских островов в 2007 – 2015 годах



Типовые облачные структуры АГВ над Курильскими островами имеют форму клина



## Условия возникновения АГВ

- устойчивая стратификация, о чем свидетельствует рост потенциальной температуры  $W$  с высотой  $h$ ,
- наличие слоев температурной инверсии в атмосфере,
- присутствие сильных струйных течений, что подтверждается неравномерным (скачкообразным) изменением скорости ветра  $V$  с высотой  $h$ ,
- наличие конвективных процессов.

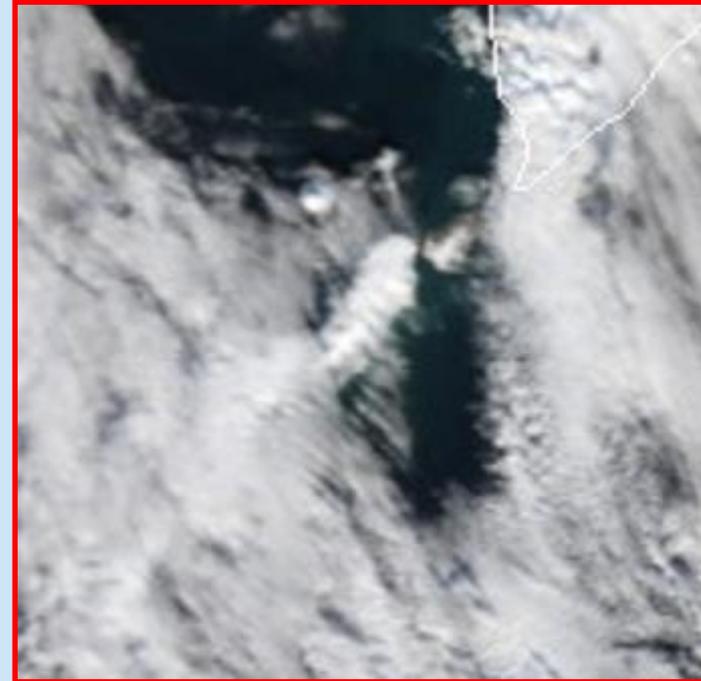
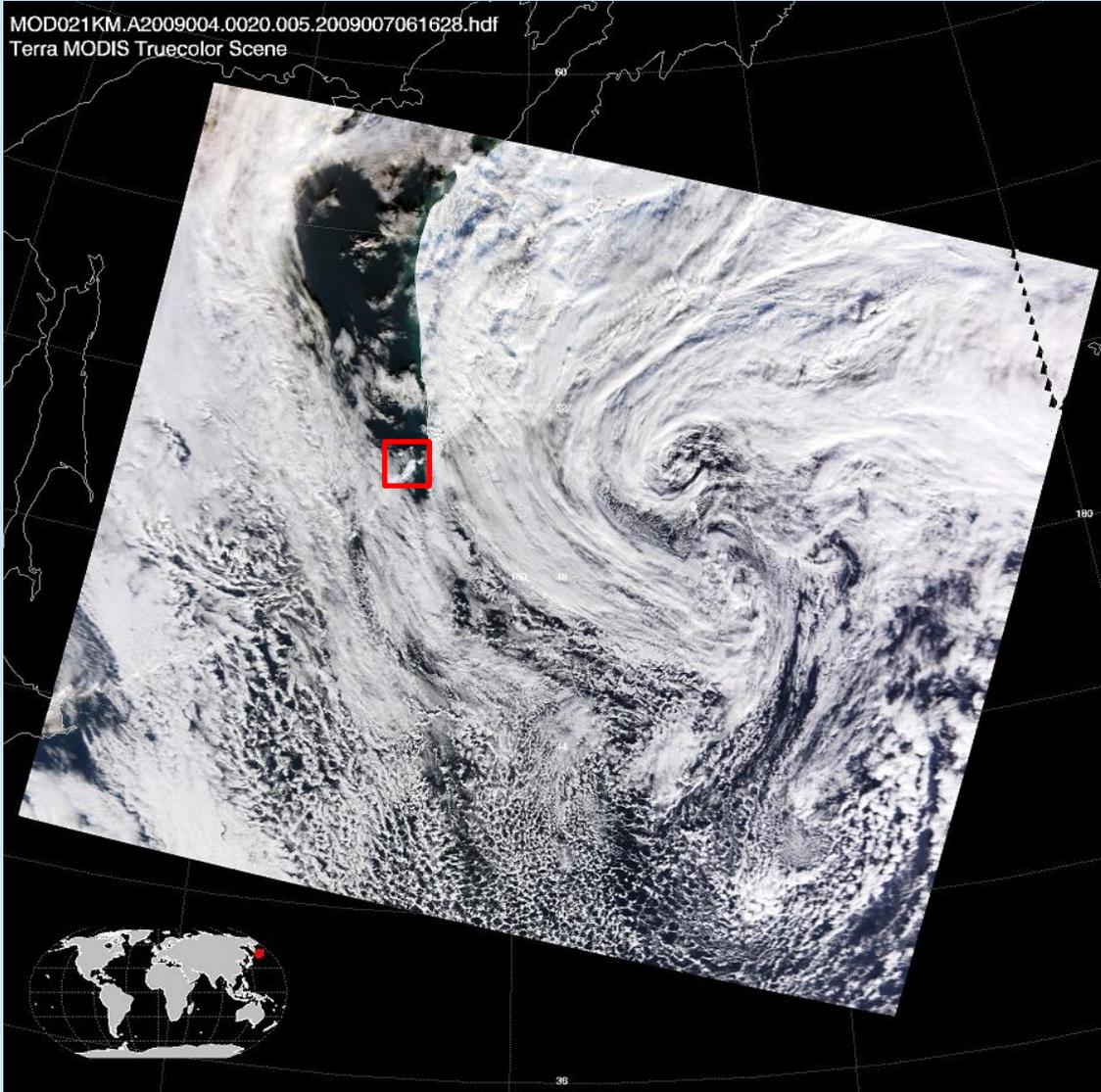
<sup>1</sup> Госсард Э.Э., Хук У.К. Волны в атмосфере. М: Мир, 1978. 532 с.

<sup>2</sup> Иванов А.Ю. О распознавании поверхностных проявлений океанских внутренних волн и атмосферных гравитационных волн на радиолокационных изображениях морской поверхности // Исследование Земли из космоса. 2011. № 1. С. 70-85.

<sup>3</sup> Кашкин В.Б. Внутренние гравитационные волны в тропосфере // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 10. С. 908-916.

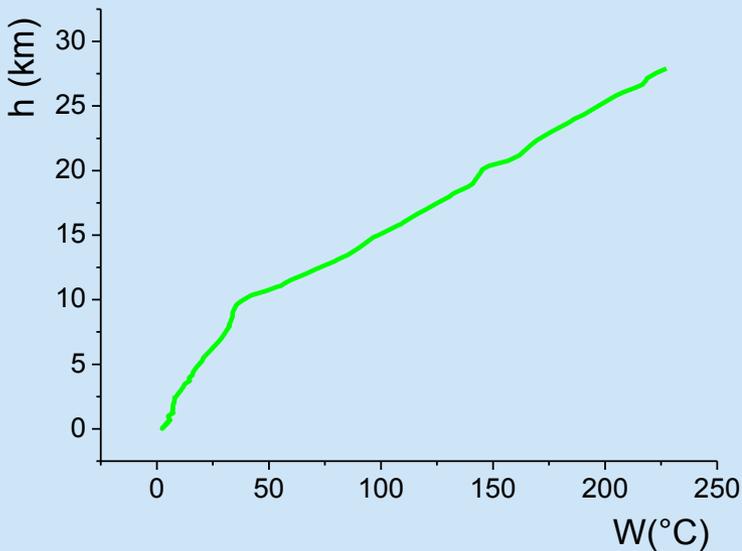
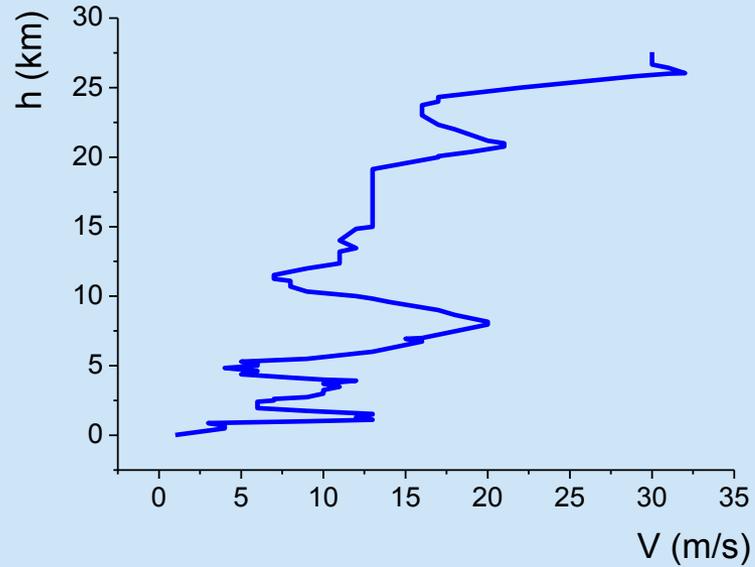
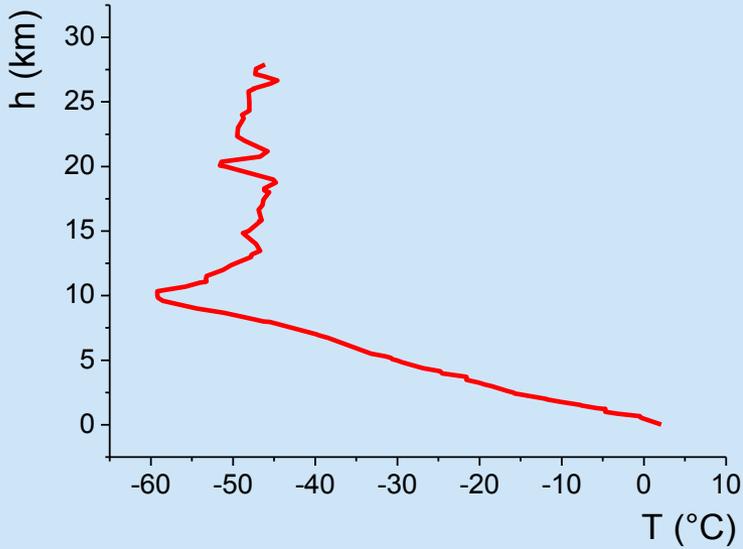
<sup>4</sup> Камардин А.П., Одинцов С.Л., Скороходов А.В. Идентификация внутренних гравитационных волн в атмосферном пограничном слое по данным содара // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 7. С. 812-818.

# Папуа (Индонезия) (03.01.2009 г)



Количество полос: 11  
Тип облачности: кучевая  
Верхняя граница: 0.5 – 1.9 км  
Оценка длины волны: 4.7 км  
Длительность колебаний: 3 ч

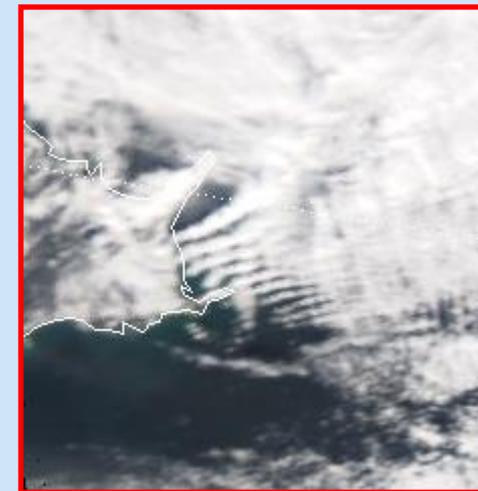
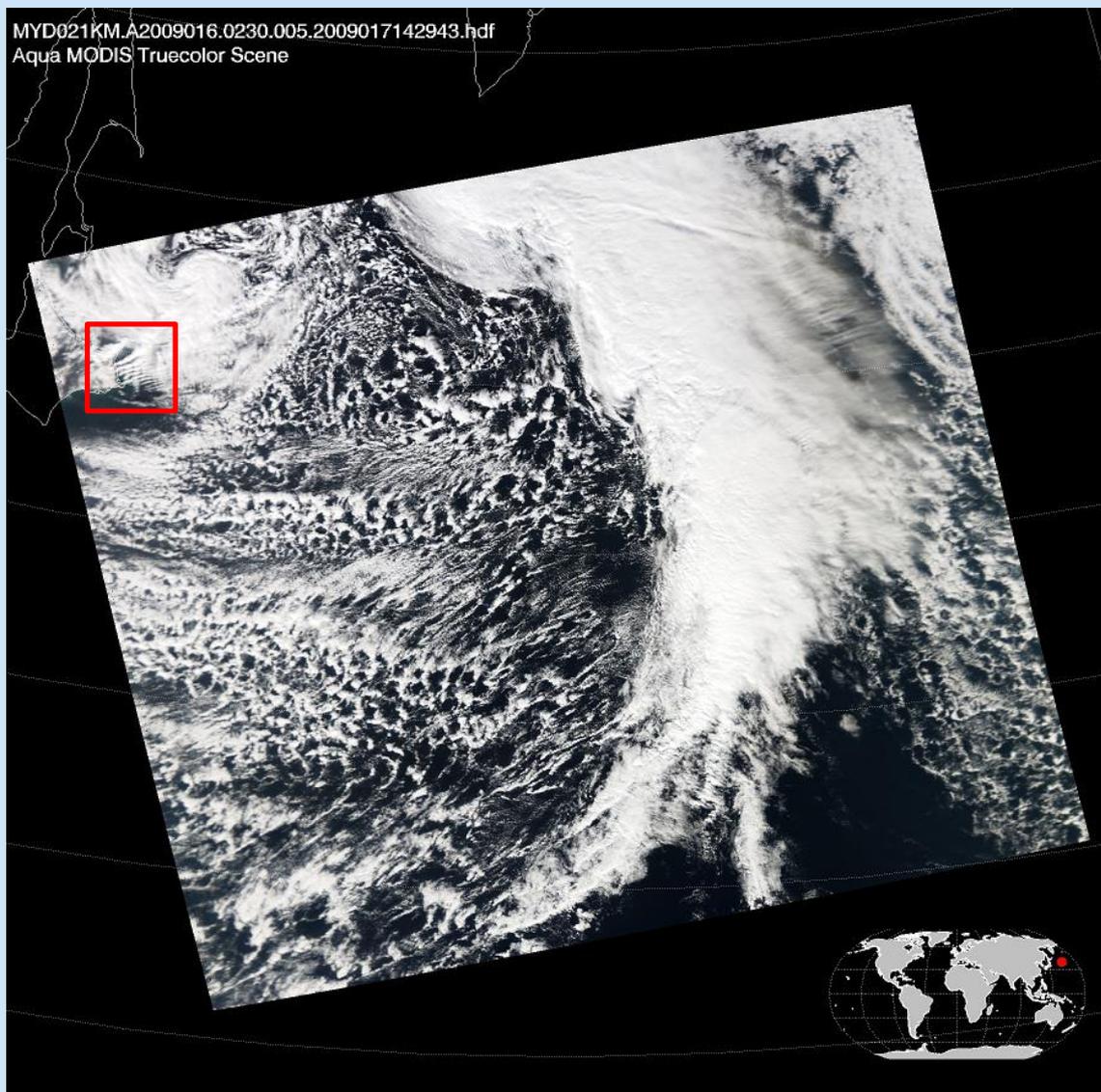
# Папуа (Индонезия) (03.01.2009 г)



Устойчивая стратификация	Да
Температурные инверсии	0.8 – 1.2 км
Струйные течения	0.6 – 1.7 км 2.5 – 4.0 км
Конвективные процессы	Развитие кучевых облаков
Оценка периода АГВ	562 с

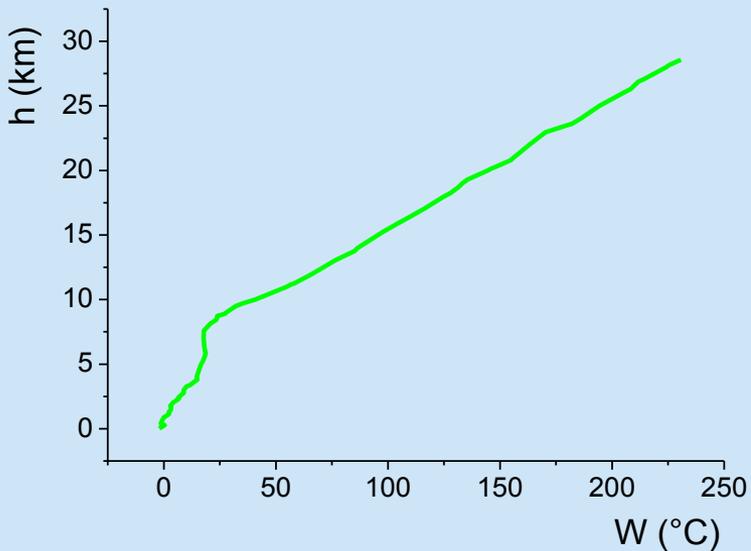
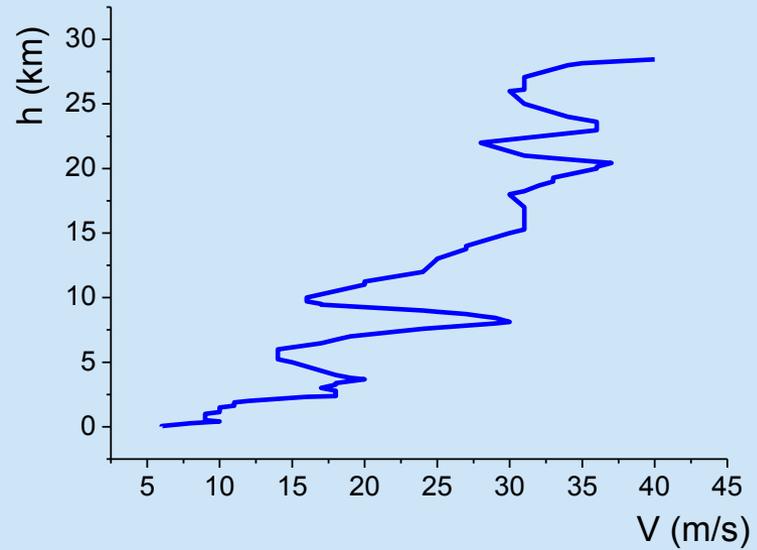
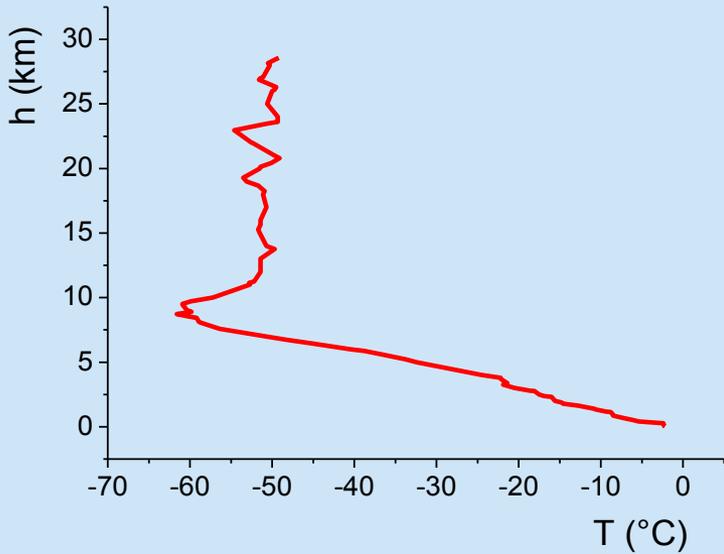


## Курильские острова (15.01.2009 г)



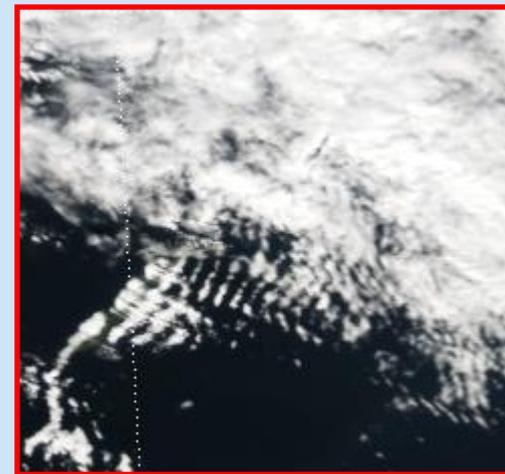
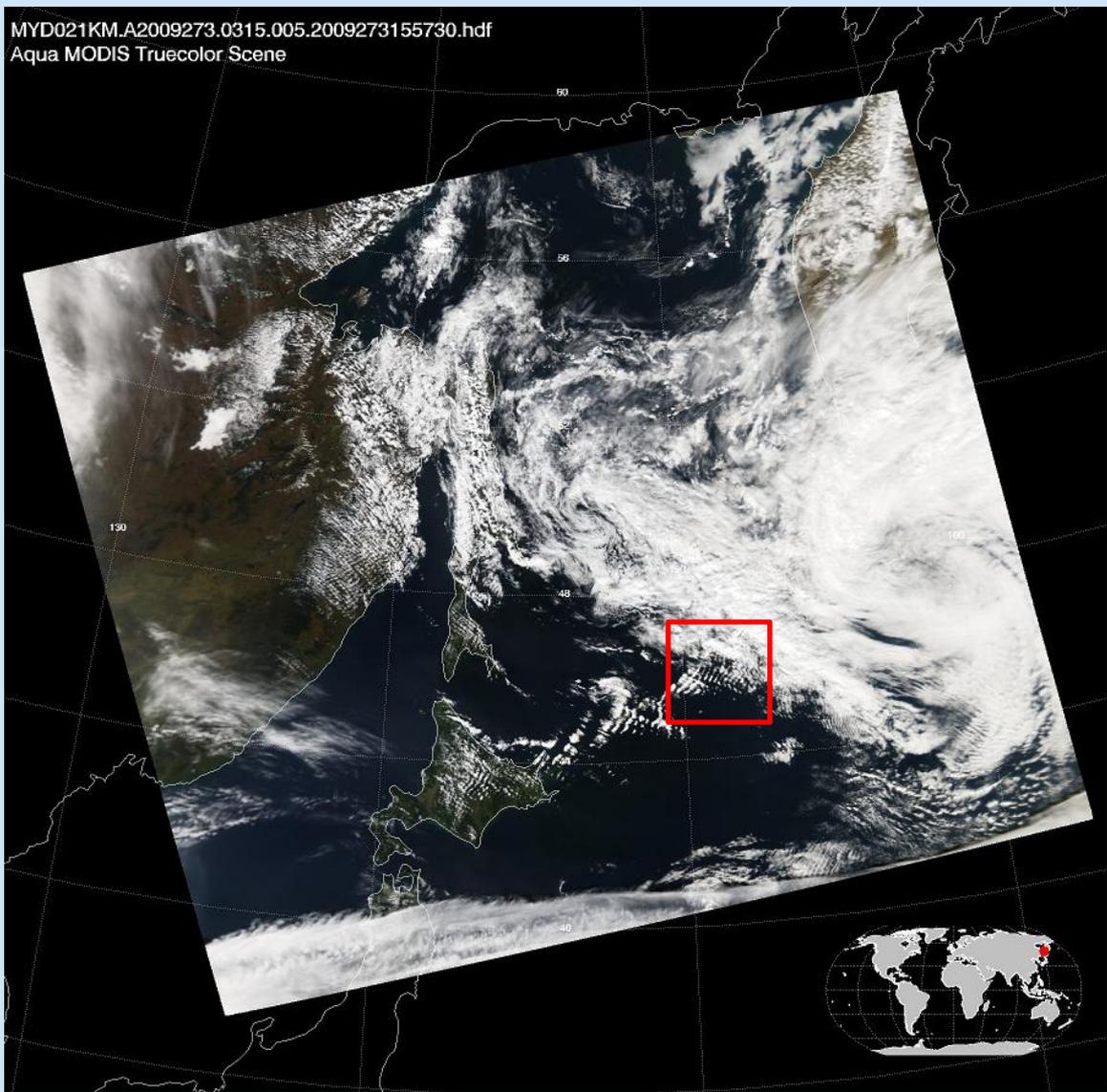
Количество полос: 11  
Тип облачности: высококучевая  
Верхняя граница: 2.9 – 3.7 км  
Оценка длины волны: 10.3 км  
Длительность колебаний: 5 ч

# Курильские острова (15.01.2009 г)



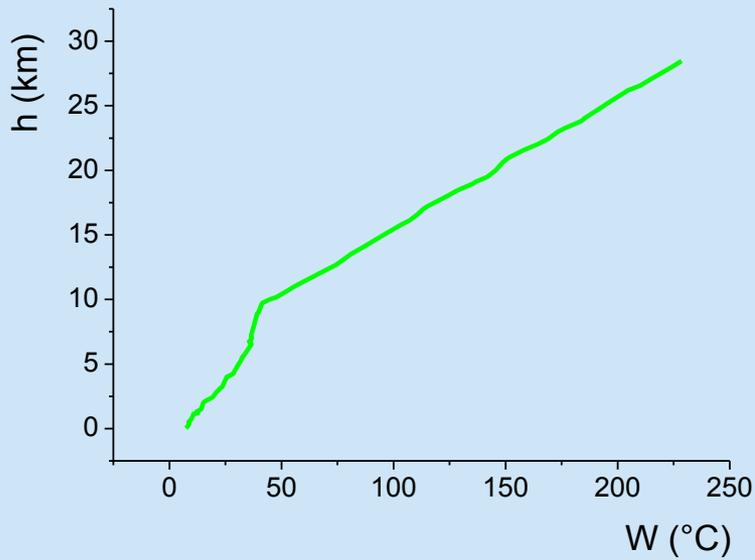
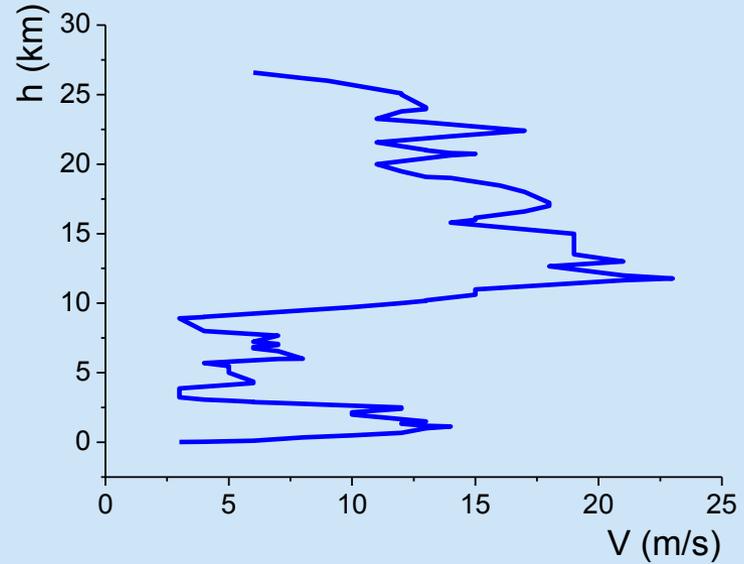
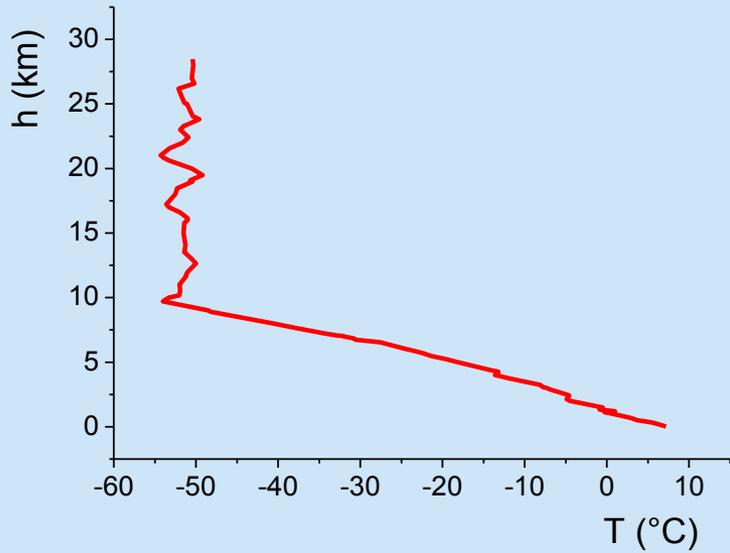
Устойчивая стратификация	Да
Температурные инверсии	3 – 4 км
Струйные течения	2 – 3.7 км
Конвективные процессы	Высококучевые облака
Оценка периода АГВ	572 с

## Острова Самоа (29.09.2009 г)



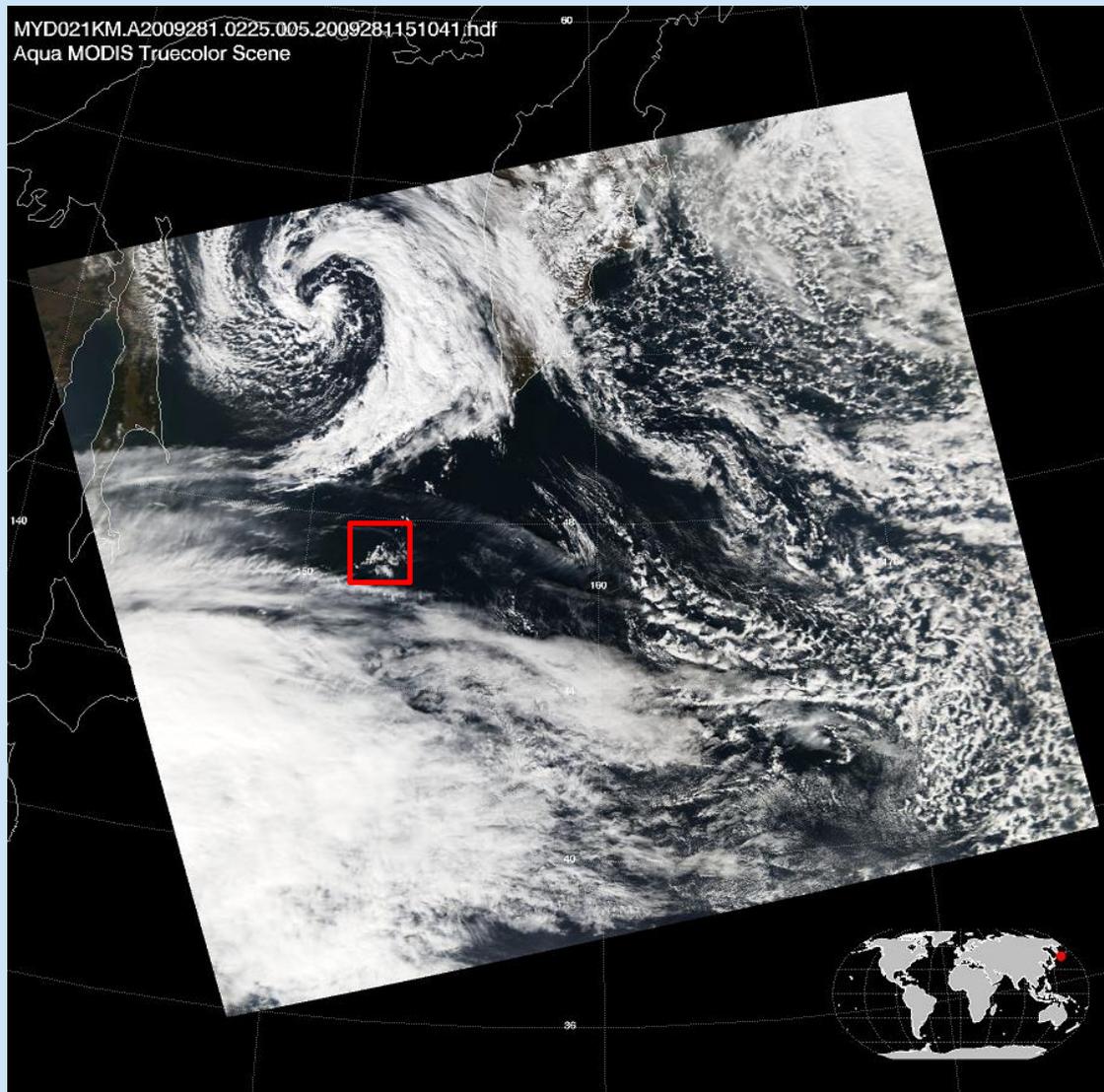
Количество полос: 11  
Тип облачности: высококучевая  
Верхняя граница: 2.5 – 3.4 км  
Оценка длины волны: 11.2 км  
Длительность колебаний: 19 ч

# Острова Самоа (29.09.2009 г)



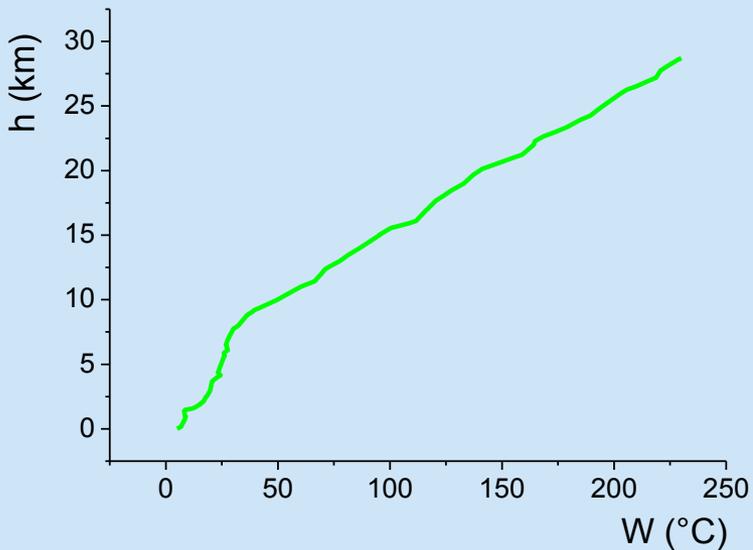
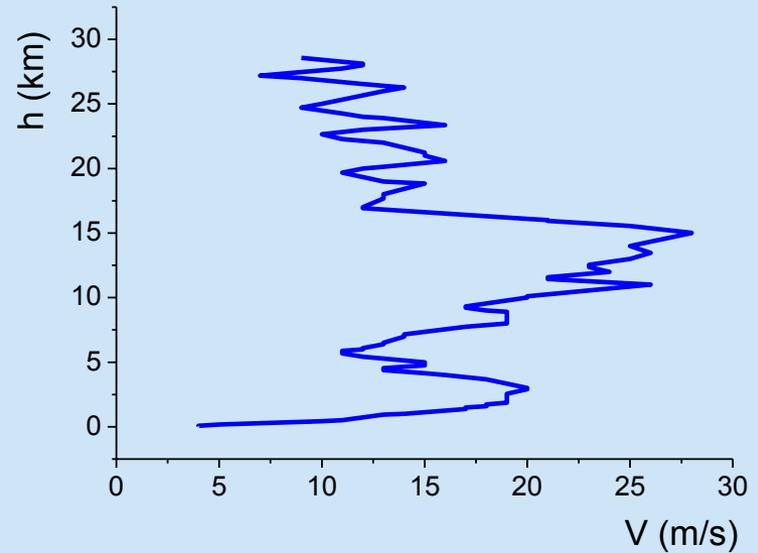
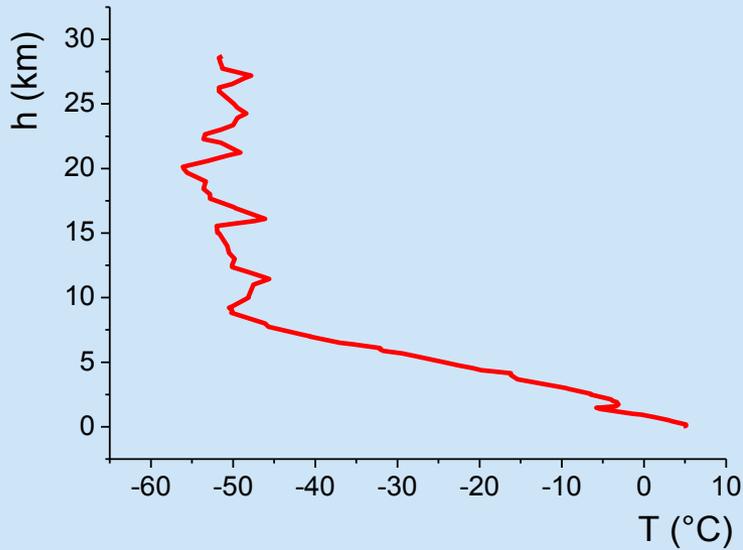
Устойчивая стратификация	Да
Температурные инверсии	1 – 1.5 км 2 – 2.8 км 3.7 – 4.2 км
Струйные течения	0.5 – 2.8 км
Конвективные процессы	Высококучевые облака
Оценка периода АГВ	1416 с

## Острова Вануату (07.10.2009 г)



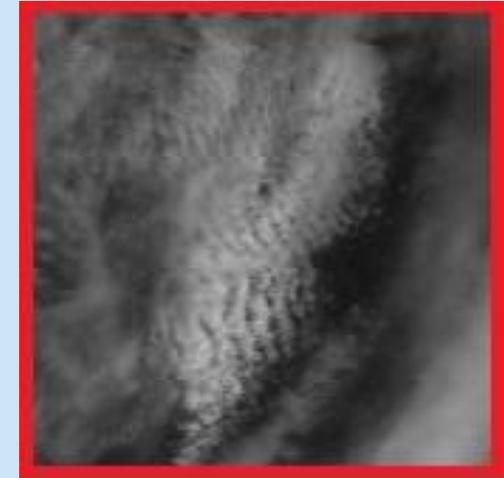
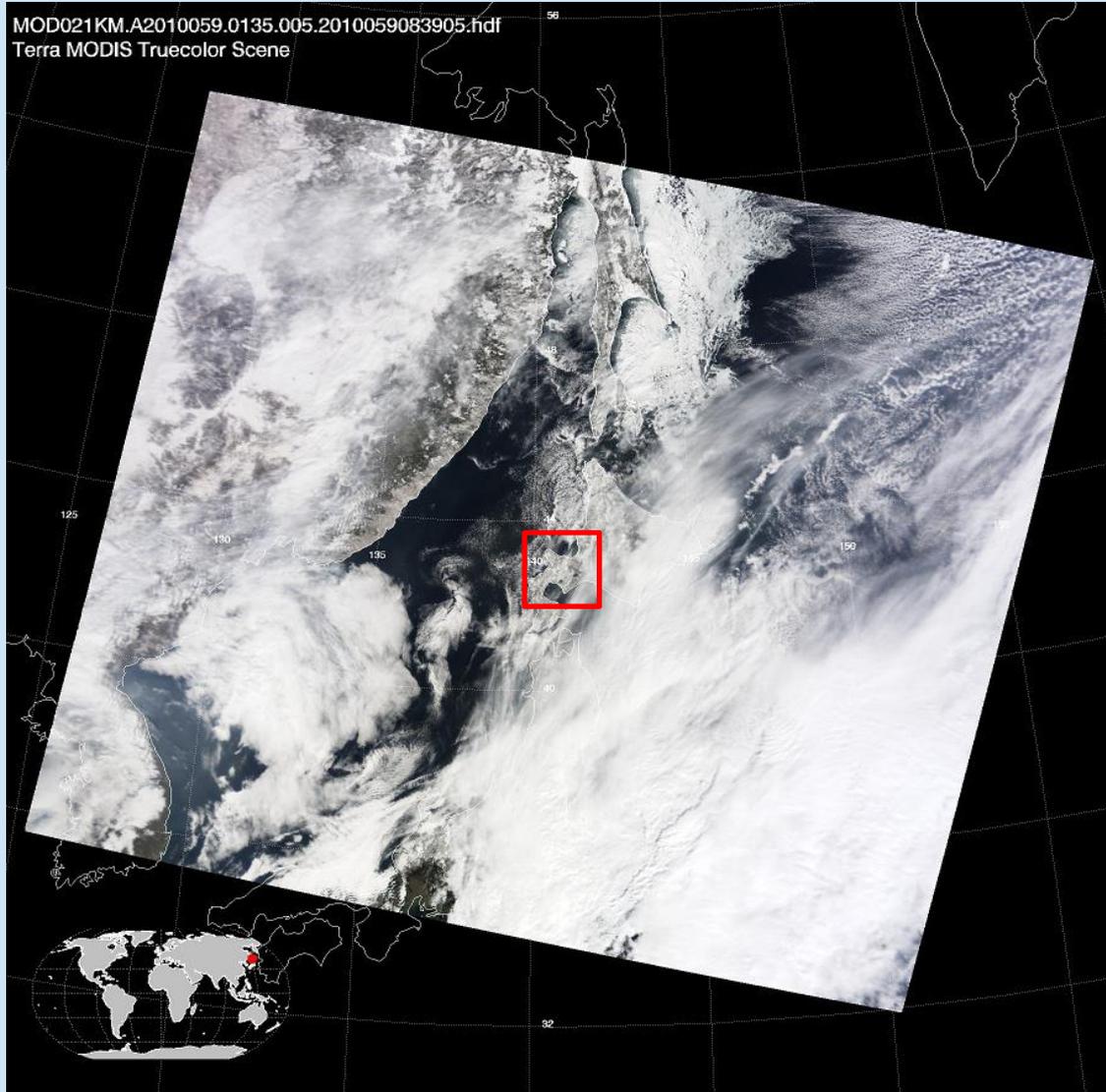
Количество полос: 9  
Тип облачности: слоисто-кучевая  
Верхняя граница: 1.2 – 2 км  
Оценка длины волны: 3.1 км  
Длительность колебаний: 13 ч

# Острова Вануату (07.10.2009 г)



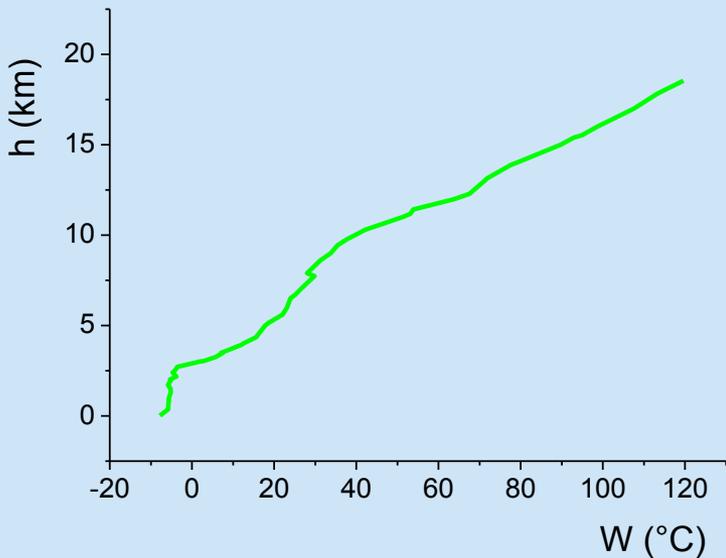
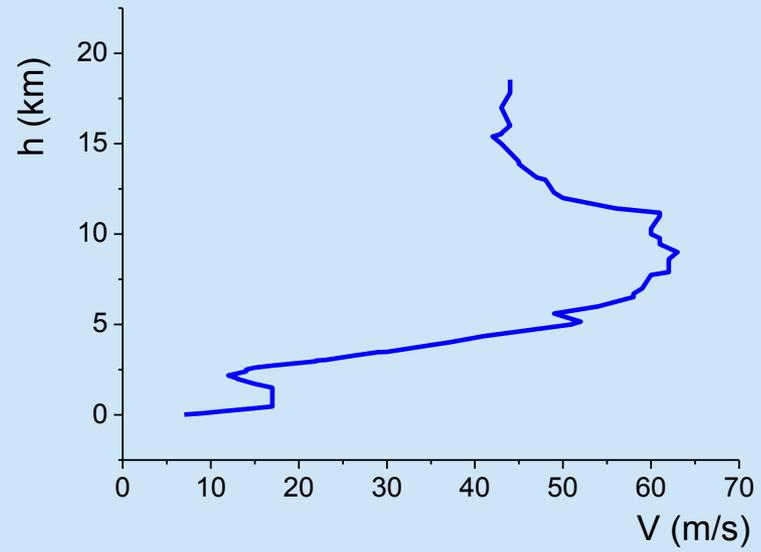
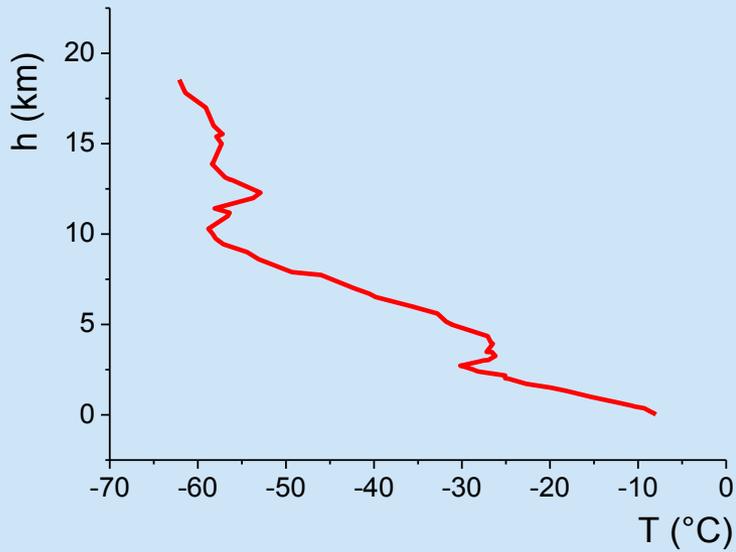
Устойчивая стратификация	Да
Температурные инверсии	1.3 – 2 км
Струйные течения	0.5 – 3 км 4.4 – 5.4 км
Конвективные процессы	–
Оценка периода АГВ	187 с

## Центральное Чили (27.02.2010 г)



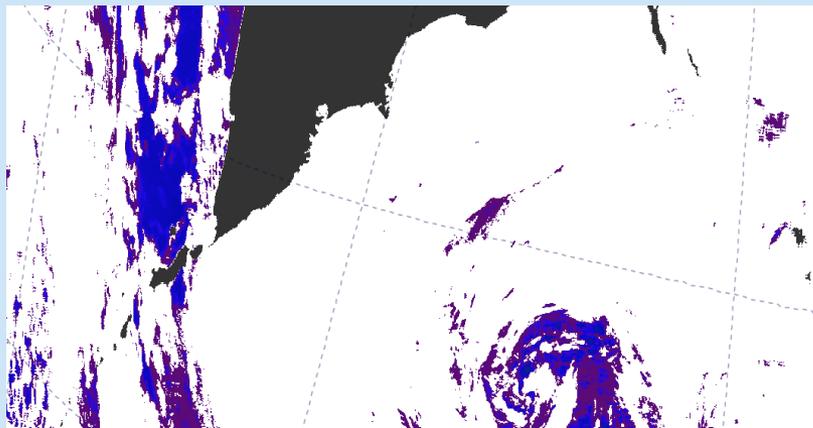
Количество полос: 9  
Тип облачности: слоисто-кучевые  
Верхняя граница: 0.9 – 1.9 км  
Оценка длины волны: 7.4 км  
Длительность колебаний: 11 ч

# Центральное Чили (27.02.2010 г)

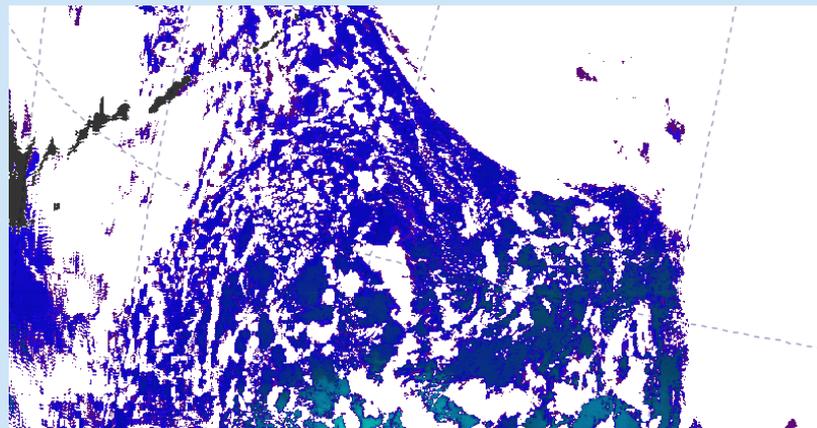


Устойчивая стратификация	Да
Температурные инверсии	1.7 – 2 км 2.9 – 4.4 км
Струйные течения	0.8 – 1.5 км
Конвективные процессы	–
Оценка периода АГВ	560 с

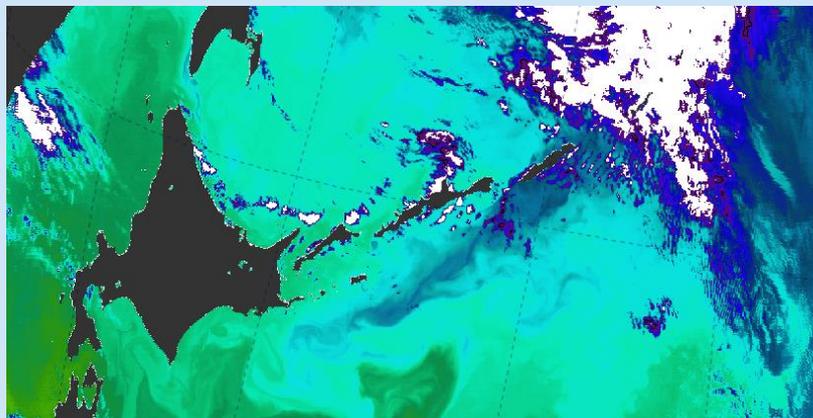
# Температура поверхности океана



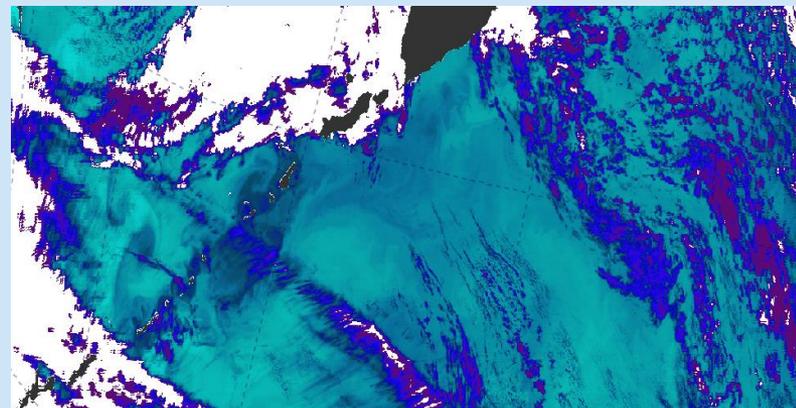
04.01.2009 г



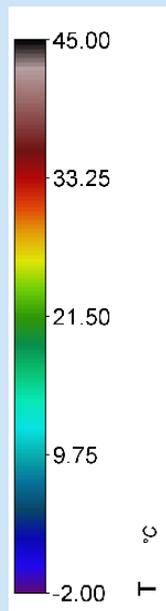
16.01.2009 г



30.09.2009 г



08.10.2009 г



## Результаты исследований

Параметры	Индонезия (03.01.2009 г)	Курильские о-ва (15.01.2009 г)	О-ва Самоа (29.09.2009 г)	О-ва Вануату (07.10.2009 г)	Чили (27.02.2010 г)
$M_W$	7.5	7.4	8.1	7.7 и 7.8	8.8
$t_{Ц}$ , ч	3	5	19	13	11
$H_{max}$ , см	19	7	36	42	186
$T_{Ц}$ , мин	15 – 20	15 – 20	8 – 25	14 – 21	7 – 30
$N_{AGB}$	11	11	11	9	13
$\lambda_{AGB}$ , км	4.7	10.3	11.2	3.1	7.4
$T_{AGB}$ , мин	9	9.5	23.5	3	9
$h_{BGO}$ , м	0.5 – 1.9	2.9 – 3.7	2.5 – 3.4	1.2 – 2	0.9 – 1.9
$h_{IT}$ , м	0.8 – 1.2	3 – 4	1 – 1.5 2 – 2.8 3.7 – 4.2	1.3 – 2	1.7 – 2 2.9 – 4.4
$h_{CT}$ , м	0.6 – 1.7 2.5 – 4.0	2 – 3.7	0.5 – 2.8	0.5 – 3 4.4 – 5.4	0.8 – 1.5
Устойчивая стратификация	+	+	+	+	+
Океанический апвеллинг	Не определено	Не определено	+	+	Не определено
Тип облачности	Кучевая	Высококучевая	Высококучевая	Слоисто-кучевая	Слоисто-кучевая

## Выводы

- в моменты прохождения всех рассмотренных в работе трансокеанских цунами наблюдались благоприятные условия для генерации и распространения атмосферных гравитационных волн над акваторией Курильских островов;
- диапазоны высот, на которых расположены верхние границы облаков, присутствуют значительные струйные течения и наблюдаются инверсии температуры хорошо согласуются между собой;
- результаты анализа параметров цунами и облачных проявлений АГВ не выявили каких-либо очевидных зависимостей между собой. Вероятно имеют место более сложные механизмы взаимодействия между подстилающей поверхностью и атмосферой, приводящие к генерации атмосферных волн;
- одним из предполагаемых факторов является то, что волны цунами индуцируют АГВ за счет продолжительности колебаний водной поверхности с более высокими амплитудами, чем при типичном состоянии исследуемой акватории. За это время возможно происходит усиление океанического апвеллинга с последующим охлаждением приводного слоя атмосферы, приводящему к возникновению конвективных процессов;
- перспективным направлением развития настоящей работы является использование данных геостационарных спутниковых систем (Himawari-8, Электро-Л №2) для оперативного мониторинга акватории Курильских островов во время прохождения трансокеанских цунами. Их применение позволит отследить то, как меняется состояние параметров окружающей среды со времени вступления цунами в бухты и до полного прекращения связанных с ними колебаний уровня океана.

Скороходов Алексей Викторович

*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*

*8 (3822) 49-22-56*

*E-mail: [vazime@yandex.ru](mailto:vazime@yandex.ru)*