

Исследование временных вариаций ионосферных параметров в регионе Сибири и Дальнего Востока

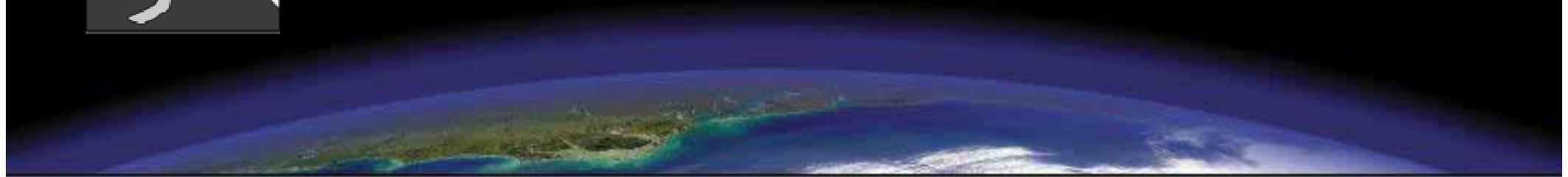
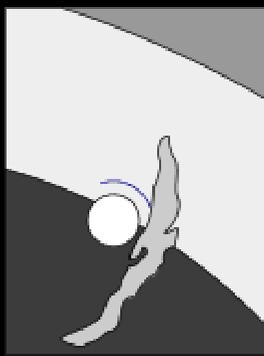
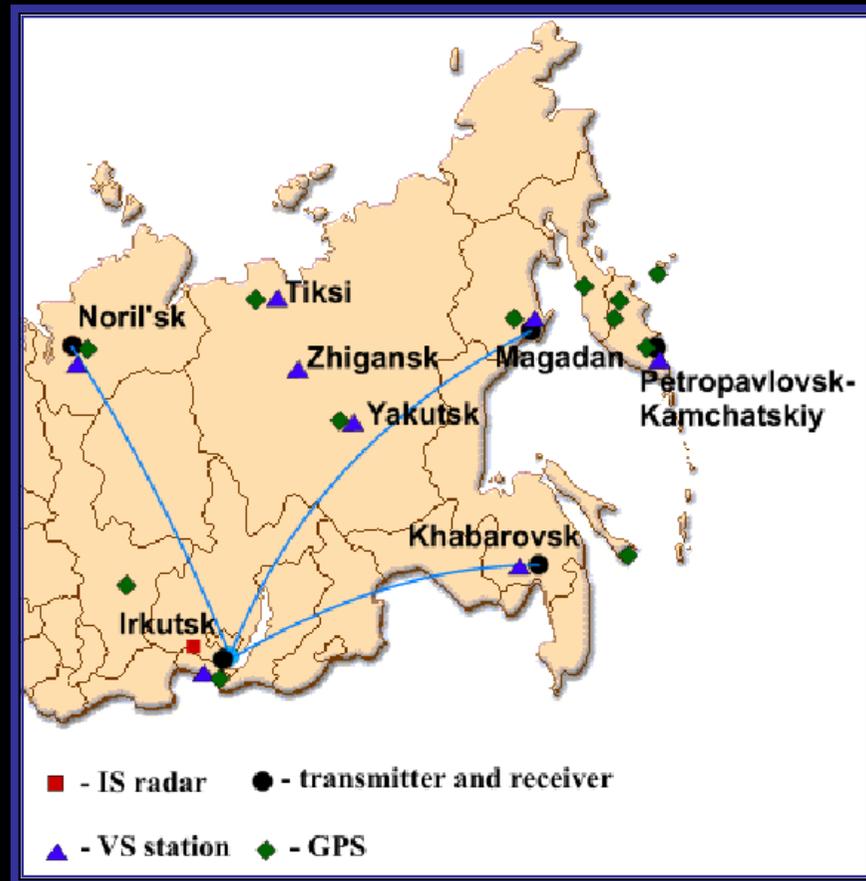
Черниговская М.А.¹, Шарков Е.А.², Куркин В.И.¹,
Орлов И.И.¹, Покровская И.В.²

¹ *Институт солнечно-земной физики СО РАН*

² *Институт космических исследований РАН*

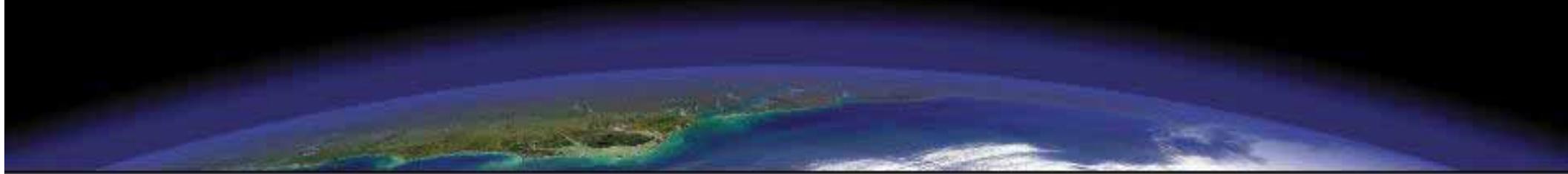


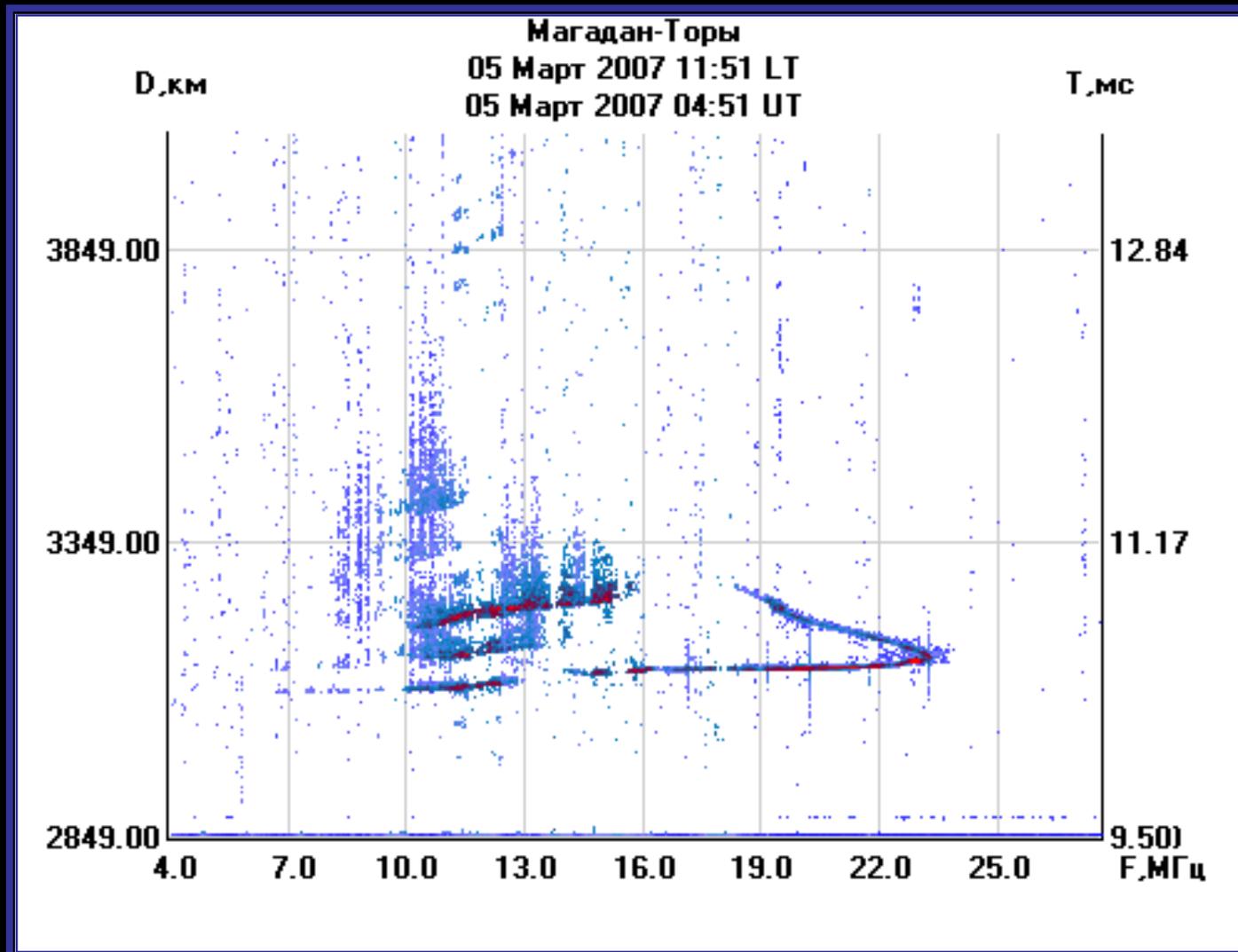
Одним из основных инструментов радиофизических исследований, проводимых в Отделе физики атмосферы, ионосферы и распространения радиоволн ИСЗФ СО РАН является пространственно-распределенный ЛЧМ-ионозонд, работающий в режимах вертикального (ВЗ), наклонного (НЗ) и возвратно-наклонного зондирования (ВНЗ).



Цель работы:

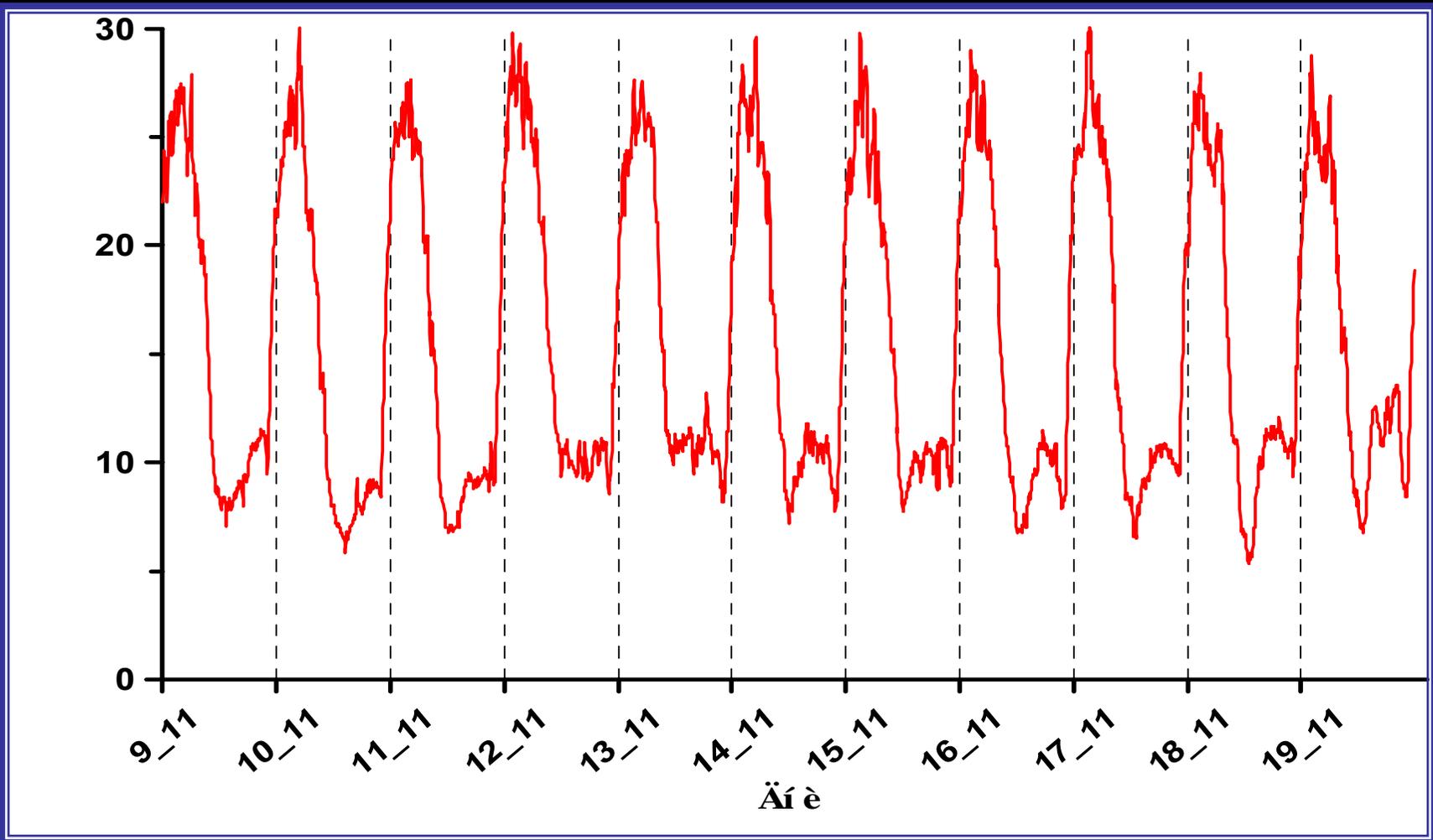
Исследование короткопериодных временных вариаций максимальных наблюдаемых частот (МНЧ) односкачковых сигналов наклонного зондирования, вызванных изменениями параметров верхней ионосферы вдоль среднеширотной трассы Магадан-Иркутск в ноябре 2005 г.





Вид ионограммы наклонного зондирования



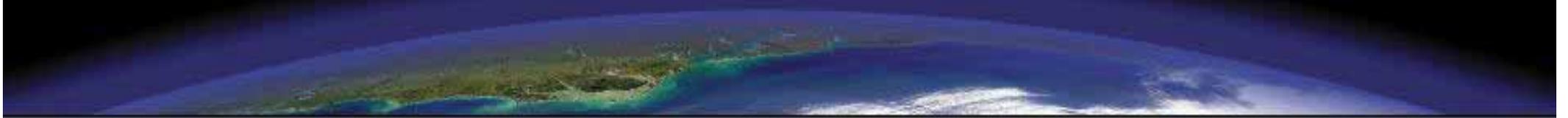


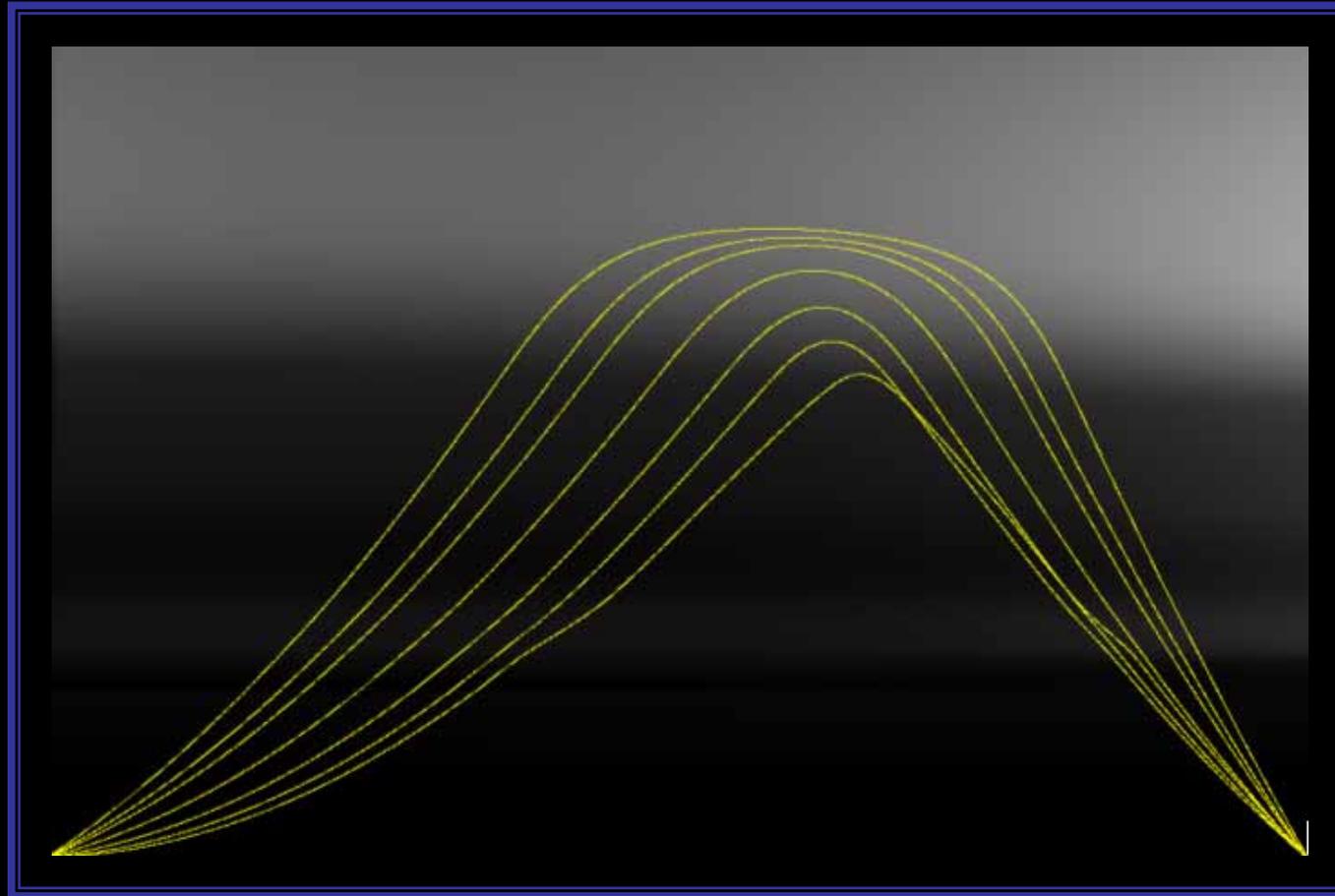
**Использовались данные МНЧ вдоль трассы Магадан-Иркутск
в период с 9 по 19 ноября 2005 г.**

Измерения проводились с периодом 5 мин.

Протяженность трассы Магадан–Иркутск составляет 3000 км.

Средняя точка трассы находится южнее Якутска.





**Траектории прохождения радиоволн на
различных частотах (6-30 МГц) при НЗ**



Методика анализа:

Анализ выполнялся с помощью разработанных в ИСЗФ СО РАН методики и алгоритма поиска периодичностей для временных рядов.

Использовался скользящий режим обработки для поиска периодичностей в определенном диапазоне периодов (порядка десятков минут, часов).



Пусть задан набор данных $\{f_k\}_1^n$, которые получены в моменты времени $\{x_k\}_1^n$. Тем самым имеется временной ряд данных, относящихся к определенным моментам времени, не обязательно равноотстоящим друг от друга.

Аналитическое описание данных (временного ряда) может быть основано на использовании приближающих функций

$$f(x) = c + \sum_{k=1}^m \{a_k \cos(\omega_k x) + b_k \sin(\omega_k x)\}$$

В конечной сумме стандартных слагаемых, в отличие от ряда Эйлера-Фурье, частоты не обязаны быть кратны друг другу.



Для аппроксимации экспериментальных данных следует определить параметры приближающей функции, то есть набор величин $\{c, a_k, b_k, \omega_k\}$. Константа, являющаяся средним значением, определяется из условия

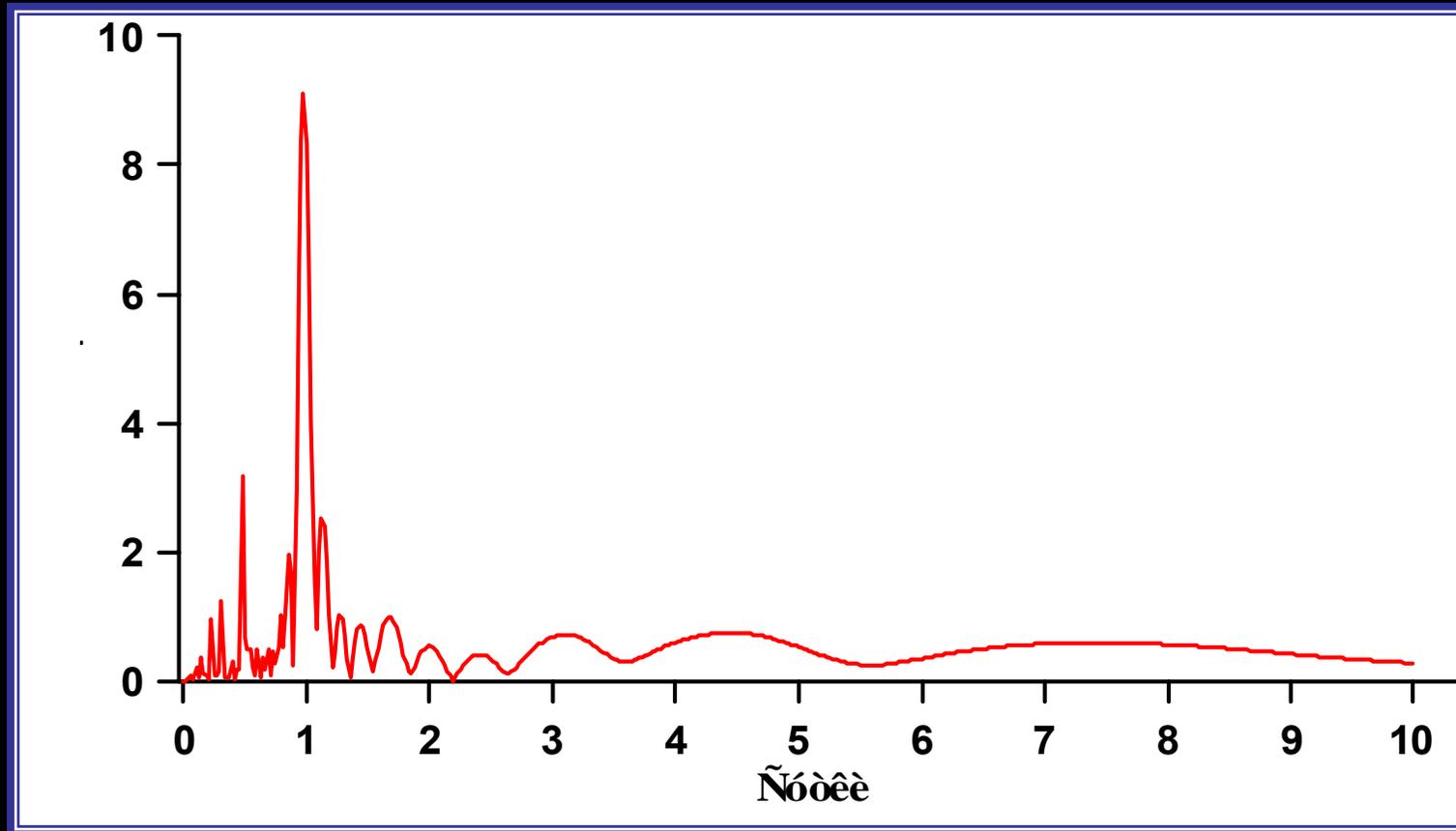
$$c = \sum_{k=1}^n f_k,$$

а остальные характеристики $\{a_k, b_k, \omega_k\}$ приближающей функции $f(x)$ получаются из условия минимизации функционала

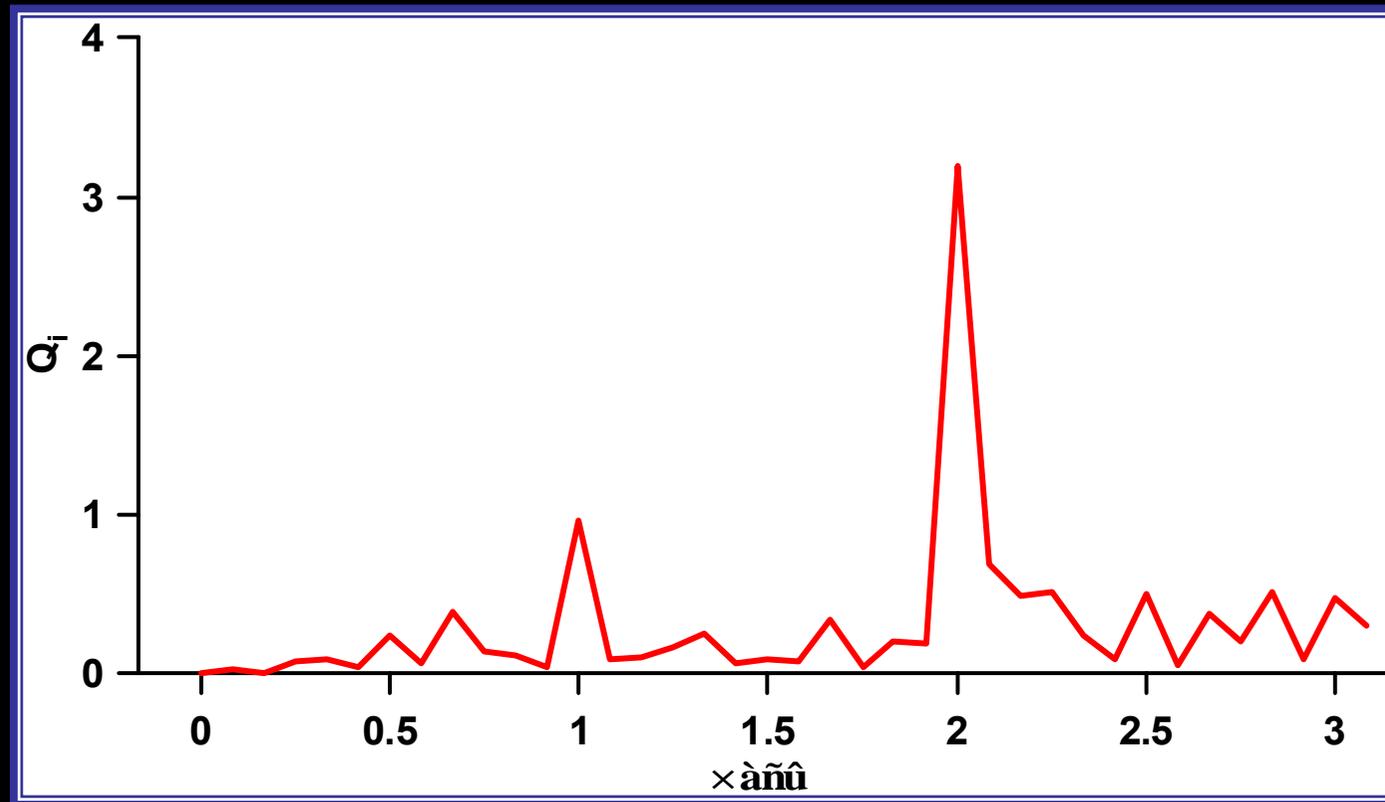
$$\Omega(a, b, \omega) = \sum_{k=1}^n P_k (f_k - c - a \cos(x_k \omega) - b \sin(x_k \omega))^2 \quad (1)$$



По всему массиву данных рассчитывалось значение величины $\sqrt{a^2 + b^2}$, которая характеризует "энергию" E_i на частоте ω_i .



Расчеты E_i проводились на сетке периодов с шагом, равным 0.5 часа. Минимальный период равен 30 минутам, а максимальный - 10 суткам.



После удаления из исходного ряда данных МНЧ приливных гармоник, был рассчитан спектр мощности Q_i гармоник короткопериодных вариаций.



Усиление мощности спектра на определенных частотах ω_i можно интерпретировать как проявление перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ), связанных с распространением внутренних гравитационных волн (ВГВ).

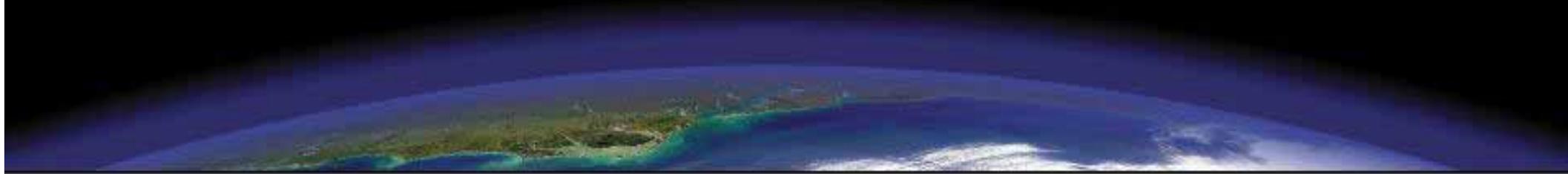
Источниками ВГВ могут быть:

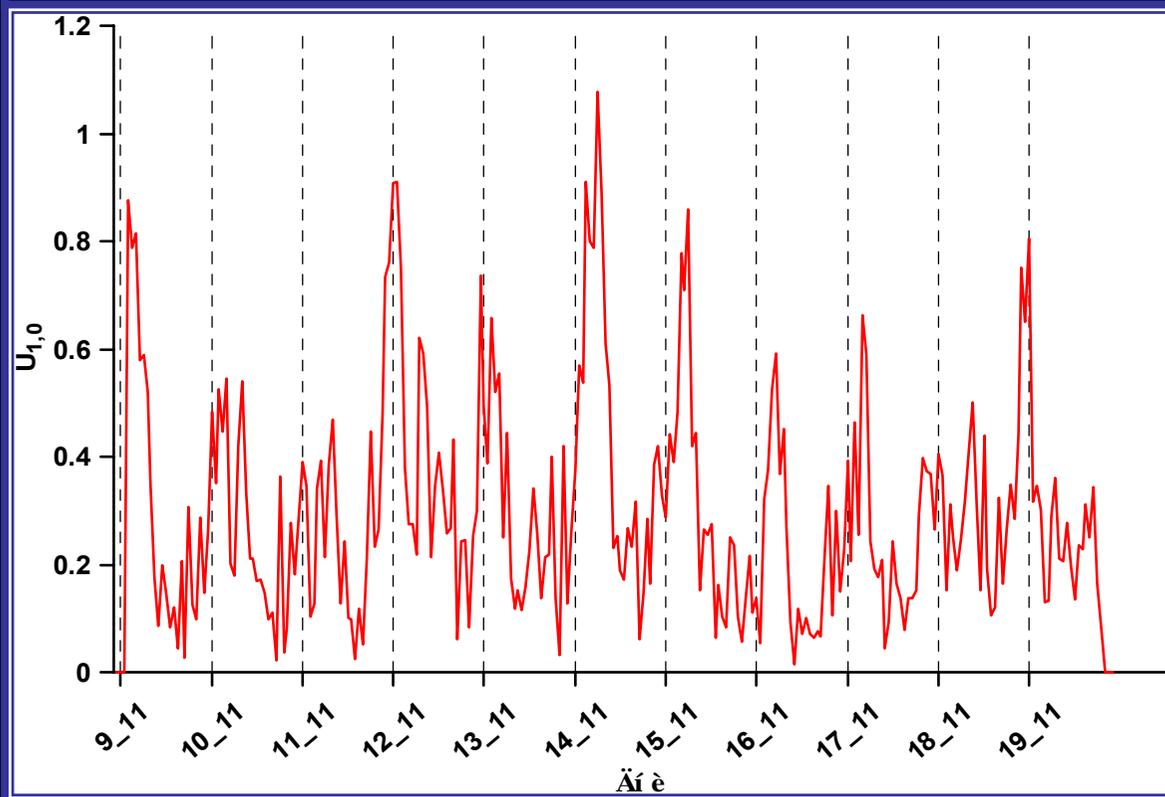
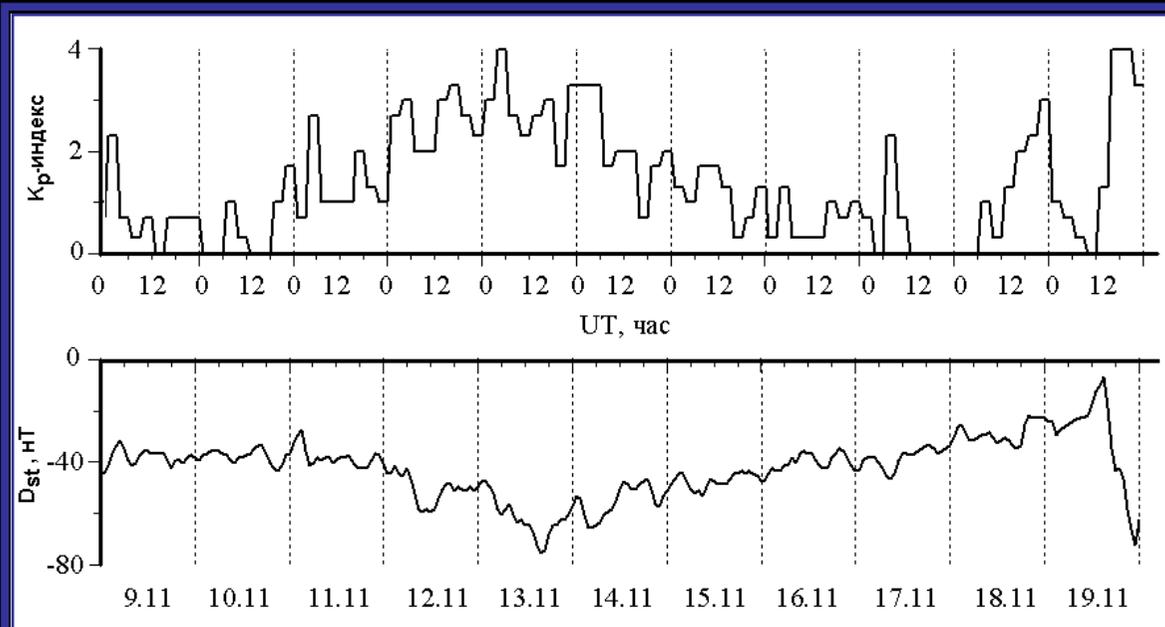
- ↖ возмущения гелио- и геомагнитной обстановки (внешний фактор);**
- ↖ атмосферные процессы (внутренний фактор) - тропосферные циклоны, фронтальные системы, струйные течения, полярная и экваториальная токовые системы, связанные с магнитными бурями, солнечный терминатор, ураганы, грозы, ядерные испытания, землетрясения, извержения вулканов, сверхзвуковой полет ракет и т.д. Эти источники в основном двух типов: природные и искусственные.**



Детали механизма влияния солнечных и геомагнитных факторов на процессы в атмосфере и ионосфере (воздействие «сверху»), достаточно хорошо разработаны.

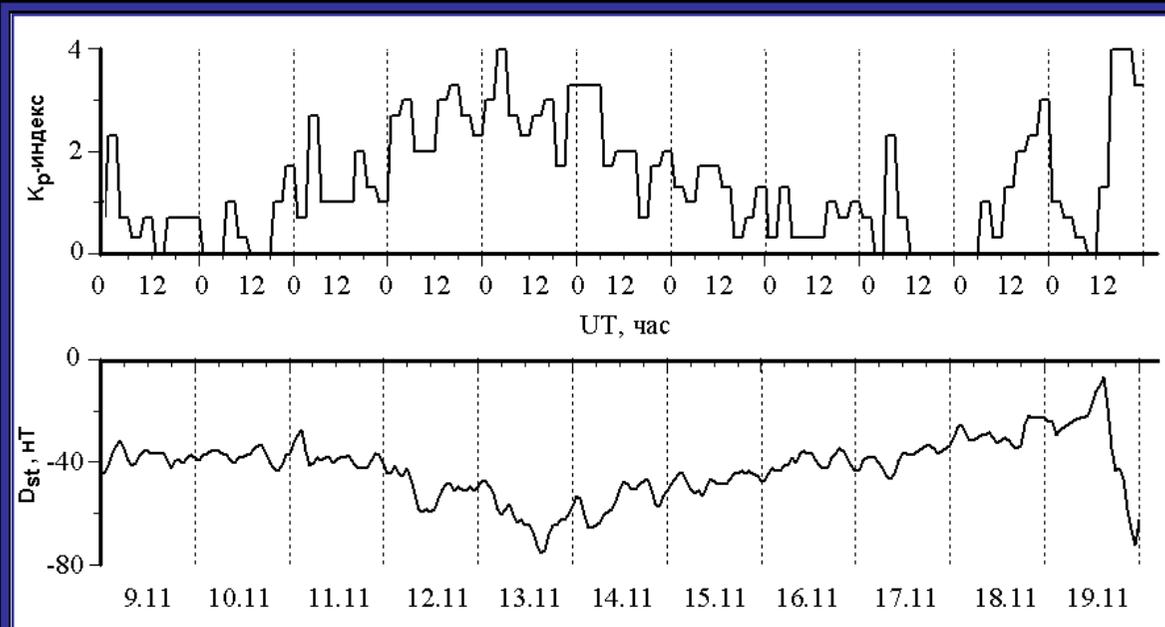
Воздействию же со стороны нижних слоев атмосферы (воздействие «снизу») до сих пор уделялось значительно меньше внимания.



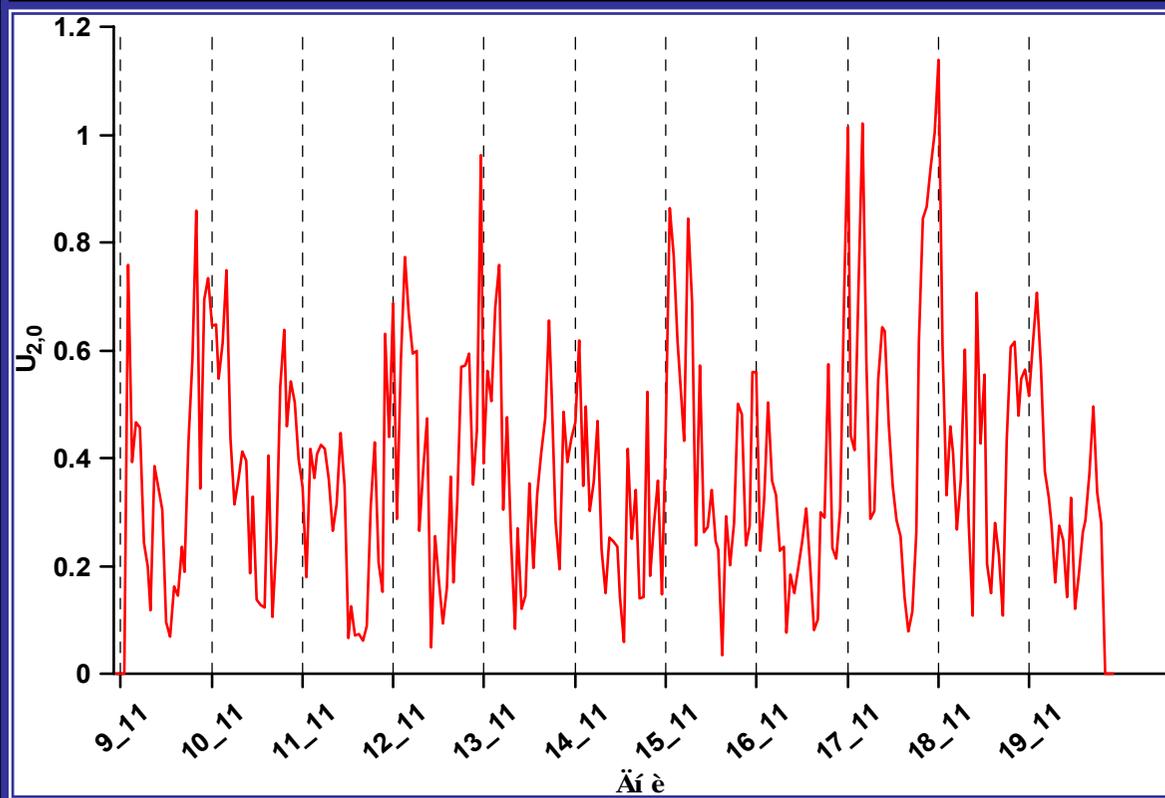


Вариации геомагнитных параметров.

Результаты расчета энергетики МНЧ для периода 1.0 час со скользящим окном 7 часов. Расчеты основаны на использовании функционала (1). Временной сдвиг скользящего окна равен 1 часу.



Вариации геомагнитных параметров.



Результаты расчета энергетике МНЧ для периода 2.0 часа со скользящим окном 7часов.

Одним из эффективных механизмов взаимодействия между слоями атмосферы и воздействия со стороны нижних слоев атмосферы является **волновой механизм**.

Локальные возмущения в нижней атмосфере возбуждают широкий пространственно-временной спектр ВГВ, который фильтруется по мере распространения волн в атмосфере. Распространяясь вверх по наклонным траекториям, ВГВ переносят энергию из тропосферы в среднюю атмосферу и ионосферу на многие сотни и даже тысячи километров. При этом амплитуда ВГВ растет.

Достигая мезосферы волны могут разрушаться, и это приводит к локальному нагреванию и движениям воздуха. Однако при определенных условиях ВГВ могут достигать высот максимума ионосферы (~300 км).

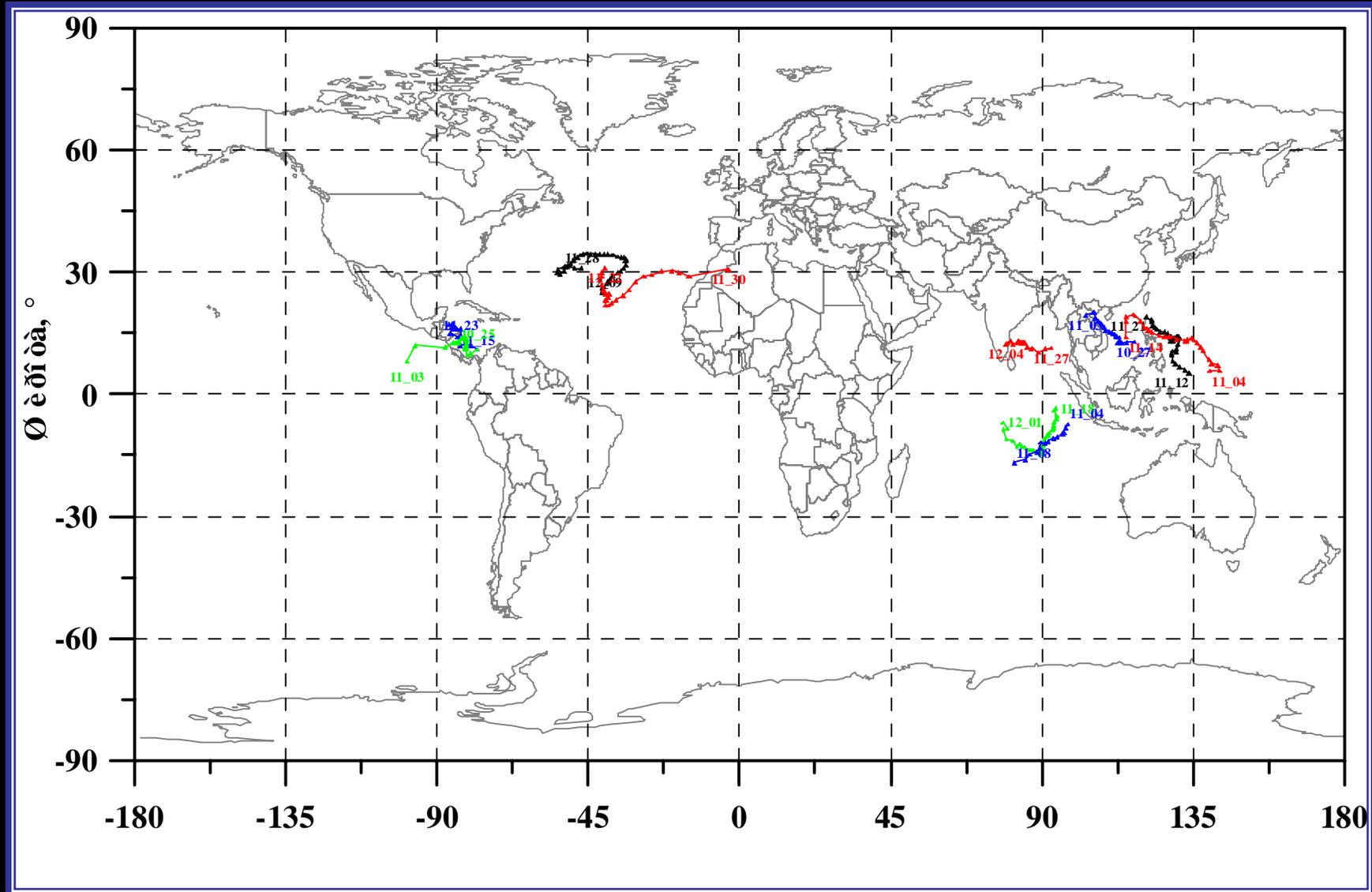


Одним из мощнейших потенциальных источников воздействия «снизу» могут быть **тропические циклоны**.

Гигантские атмосферные вихри, зарождающиеся в экваториальных широтах и получающие свое развитие в тропических зонах, представляют собой эффективный механизм сброса избыточной энергии атмосферы в условиях, когда действие обычных механизмов (конвективный перенос и глобальная циркуляция) становится недостаточным.

Прохождение мощного циклонического фронта сопровождается возбуждением широкого спектра ВГВ.

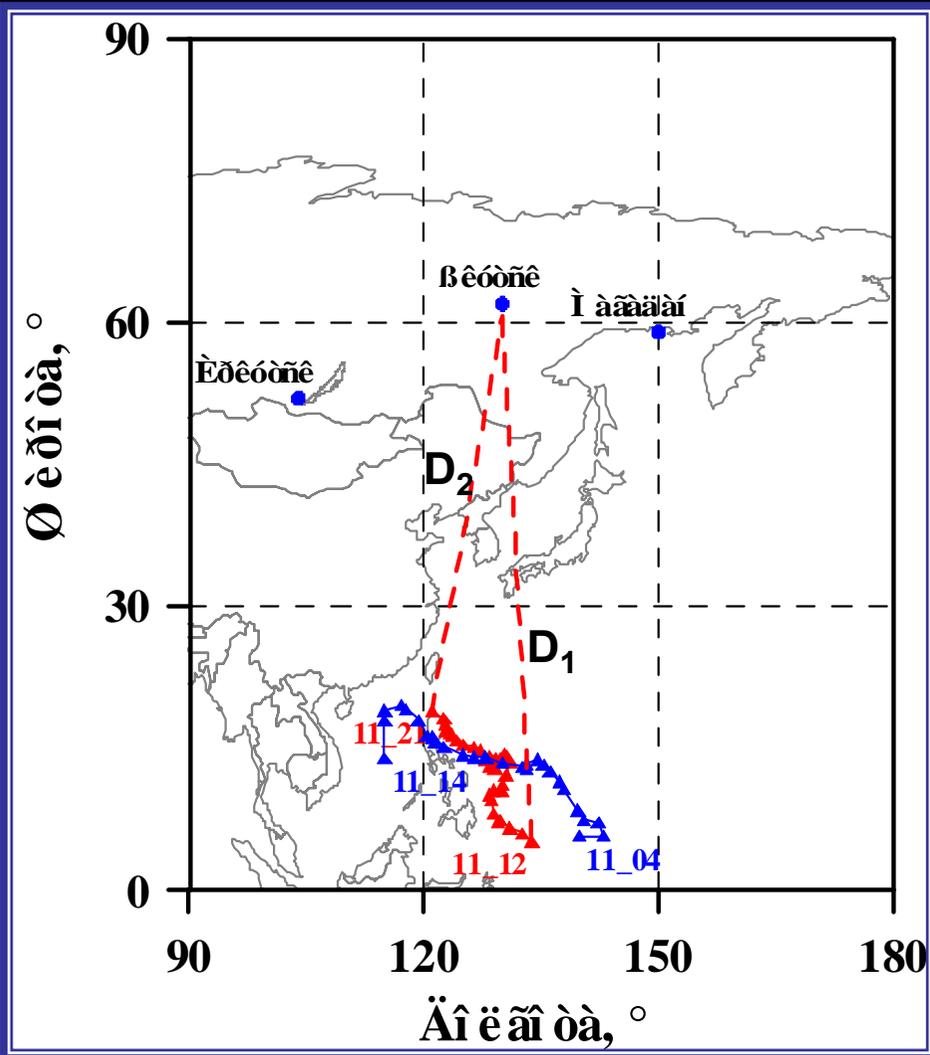




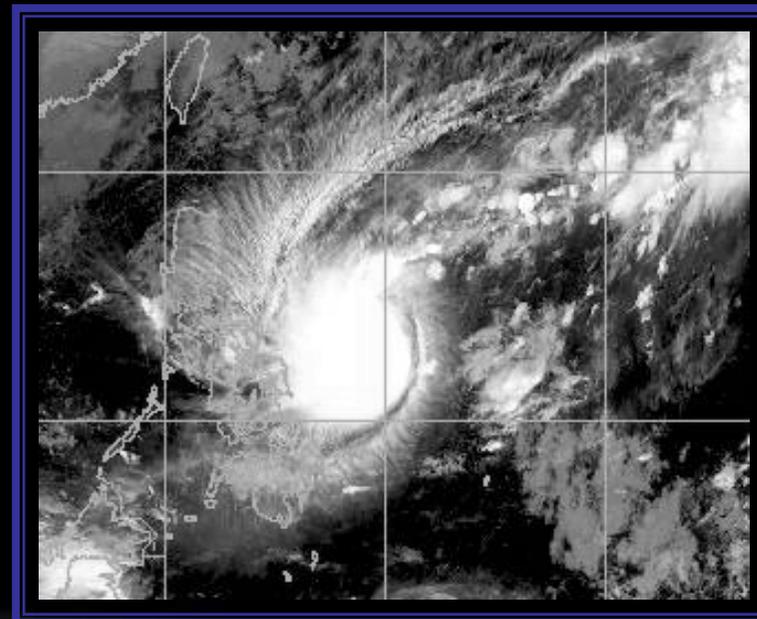
Траектории движения тропических циклонов в ноябре 2005 г.



Траектории движения тропических циклонов в период проведения радиофизических измерений 9-19 ноября 2005 г. на трассе наклонного зондирования Магадан-Иркутск.



$D_1 \approx 6100 \text{ км}$ ($t_1 \approx 2 \text{ час}$)
 $D_2 \approx 4600 \text{ км}$ ($t_2 \approx 1,5 \text{ час}$)



Тайфун BOLAVEN

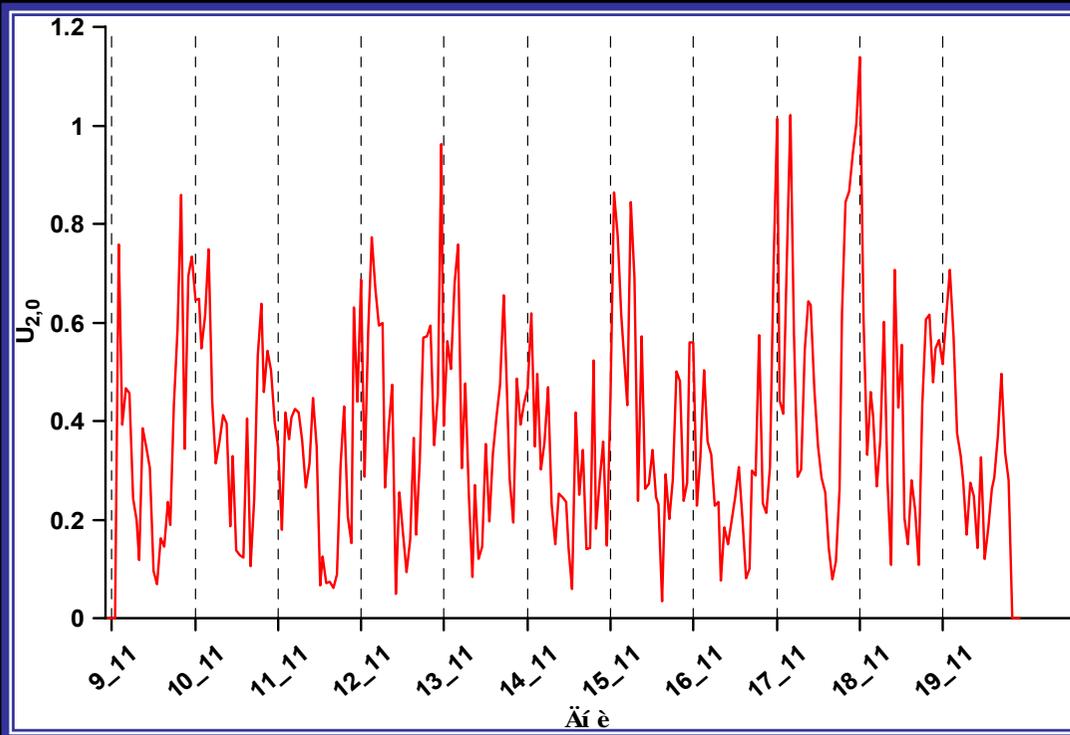
TC Number= NWP 0523 TC Name= BOLAVEN All Points= 33

N	Stage	Date	Time	Lat	Long	Pres	Wind	Shift	Vel
1	TL	11_12	1	5.2	133.8	1008	5	W	10
2	TL	11_12	14	6.1	132.5	1006	8	WNW	8
3	TL	11_13	0	6.7	131.0	1003	11	WNW	10
4	TD	11_13	12	7.5	129.8	1003	13	WNW	11
5	TD	11_13	18	7.3	129.5	1004	13	SW	7
6	TD	11_14	0	8.2	128.9	1004	15	NW	10
7	TS	11_14	6	9.6	128.6	1002	18	NNW	11
8	TS	11_14	12	10.2	128.4	1004	18	NNW	9
9	TS	11_14	18	10.6	128.9	1000	21	NE	7
10	TS	11_15	0	10.5	130.0	1000	21	N	5
11	TS	11_15	6	11.2	130.0	998	21	N	5
12	TS	11_15	12	12.3	130.5	998	21	NNE	9
13	TS	11_15	18	13.6	131.0	996	23	NNE	10
14	STS	11_16	0	14.1	130.7	996	26	NW	6
15	STS	11_16	6	14.4	130.2	994	31	NW	5
16	STS	11_16	12	14.0	129.1	992	31	NW	4
17	STS	11_16	18	13.9	129.8	990	28	W	5
18	T	11_17	0	13.6	129.1	985	33	WSW	6
19	T	11_17	6	13.0	129.1	980	33	S	4
20	T	11_17	12	13.2	128.3	975	38	WNW	7
21	T	11_17	18	13.6	129.5	975	36	WNW	8
22	T	11_18	0	13.8	128.0	975	33	WNW	4
23	T	11_18	6	14.1	128.5	975	33	WNW	5
24	T	11_18	12	14.9	127.3	975	33	WNW	10
25	STS	11_18	18	15.2	126.4	975	31	WNW	9
26	STS	11_19	0	15.4	125.1	980	31	WNW	11
27	STS	11_19	6	15.9	124.3	980	28	WNW	9
28	TS	11_19	12	16.5	123.6	990	23	NW	9
29	TS	11_19	18	16.6	123.4	992	23	NW	6
30	TS	11_20	0	16.9	122.9	996	21	NW	6
31	TD	11_20	6	17.7	122.7	1002	13	NNW	5
32	TL	11_20	12	18.2	122.6	1006	11	WNW	8
33	TL	11_21	0	19.0	121.0	1010	5	NW	5

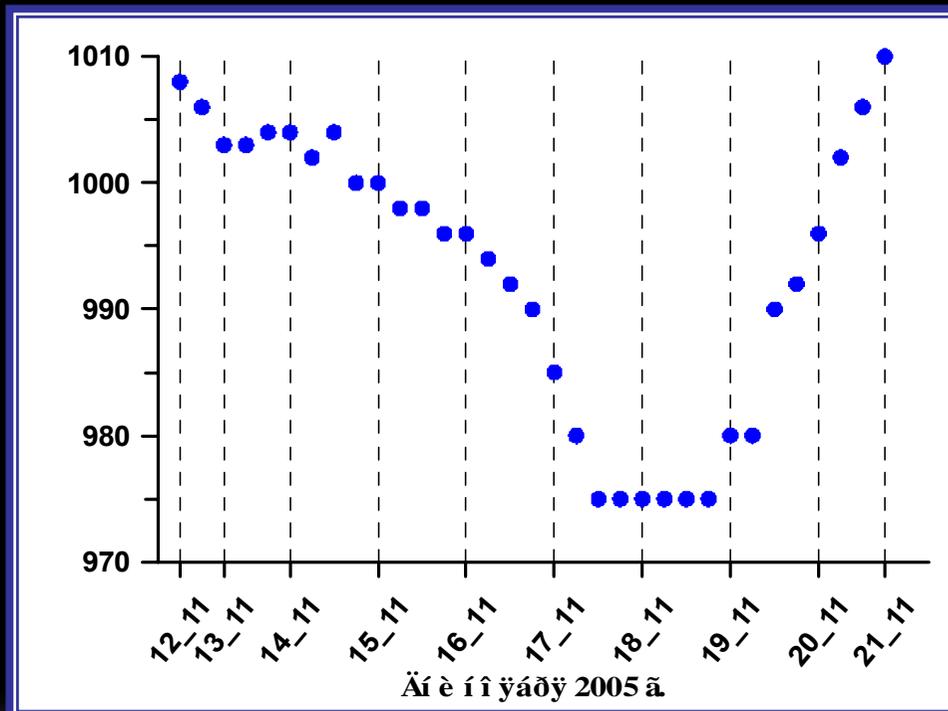
ТЦ разрушился над территорией Филиппин.

**Характеристика тропического циклона № NWP 0523,
действующего в период радиофизических измерений**





**Результаты расчета
энергетики МНЧ для
периода 2.0 часа.**



**Вариации давления в
период развития
тропического циклона
№ NWP 0523**

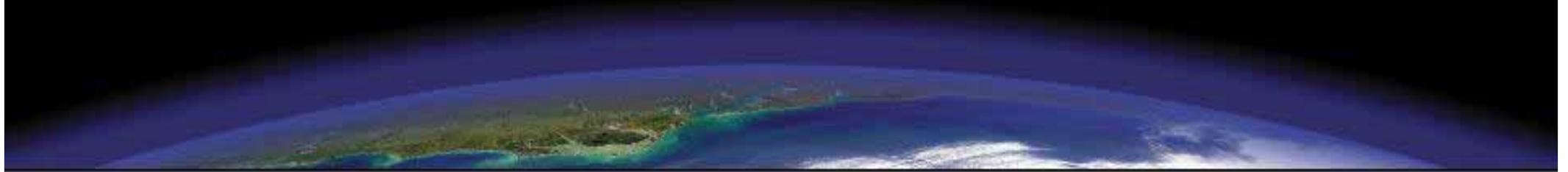
Выводы:

- **Анализ короткопериодных временных вариаций максимальных наблюдаемых частот (МНЧ) сигналов наклонного зондирования вдоль среднеширотной трассы Магадан-Иркутск в период с 9 по 19 ноября 2005 г. выявил наличие перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ), источниками которых являются ВГВ с периодами 1 и 2 часа.**
- **Усиление энергетике МНЧ для периода 1 час вероятно связано с ростом геомагнитной возмущенности 12-14 ноября 2005 г.**
- **Усиление энергетике МНЧ для периода 2 часа в спокойных геомагнитных условиях 17-18 ноября 2005 г. может быть связано с развитием во время анализируемого временного интервала тропического циклона.**



Выводы:

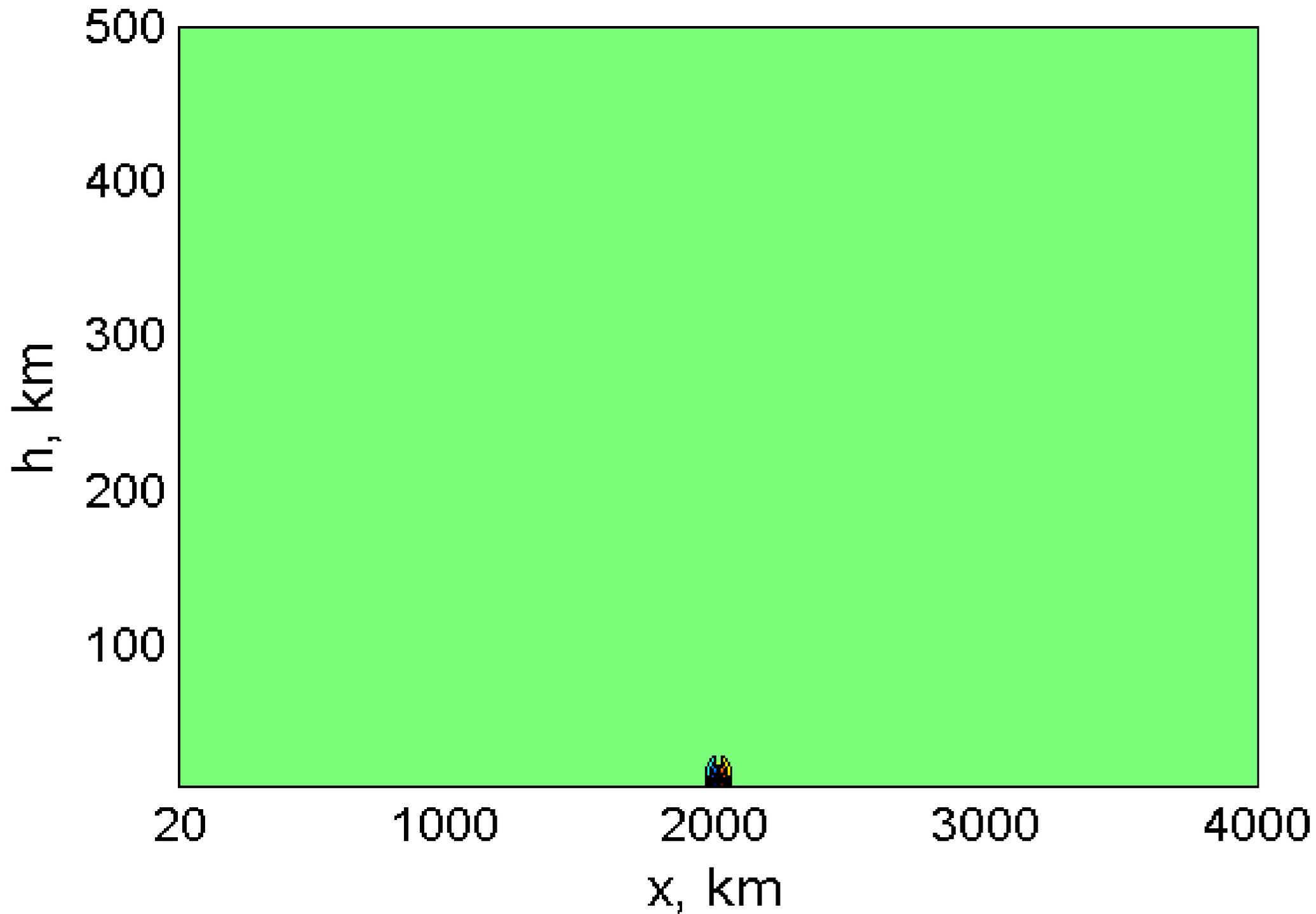
Сделанное предположение подтверждается выводами теоретических исследований о том, что над местом локального возмущения атмосферы будут наблюдаться акустико-гравитационные волны (АГВ) с периодами ~минут, а на больших горизонтальных расстояниях, в основном, внутренние гравитационные волны (ВГВ) с периодами ~ десятков минут-3 часа, поскольку мелкомасштабные АГВ по мере распространения на большие расстояния быстро затухают из-за вязкости и теплопроводности.



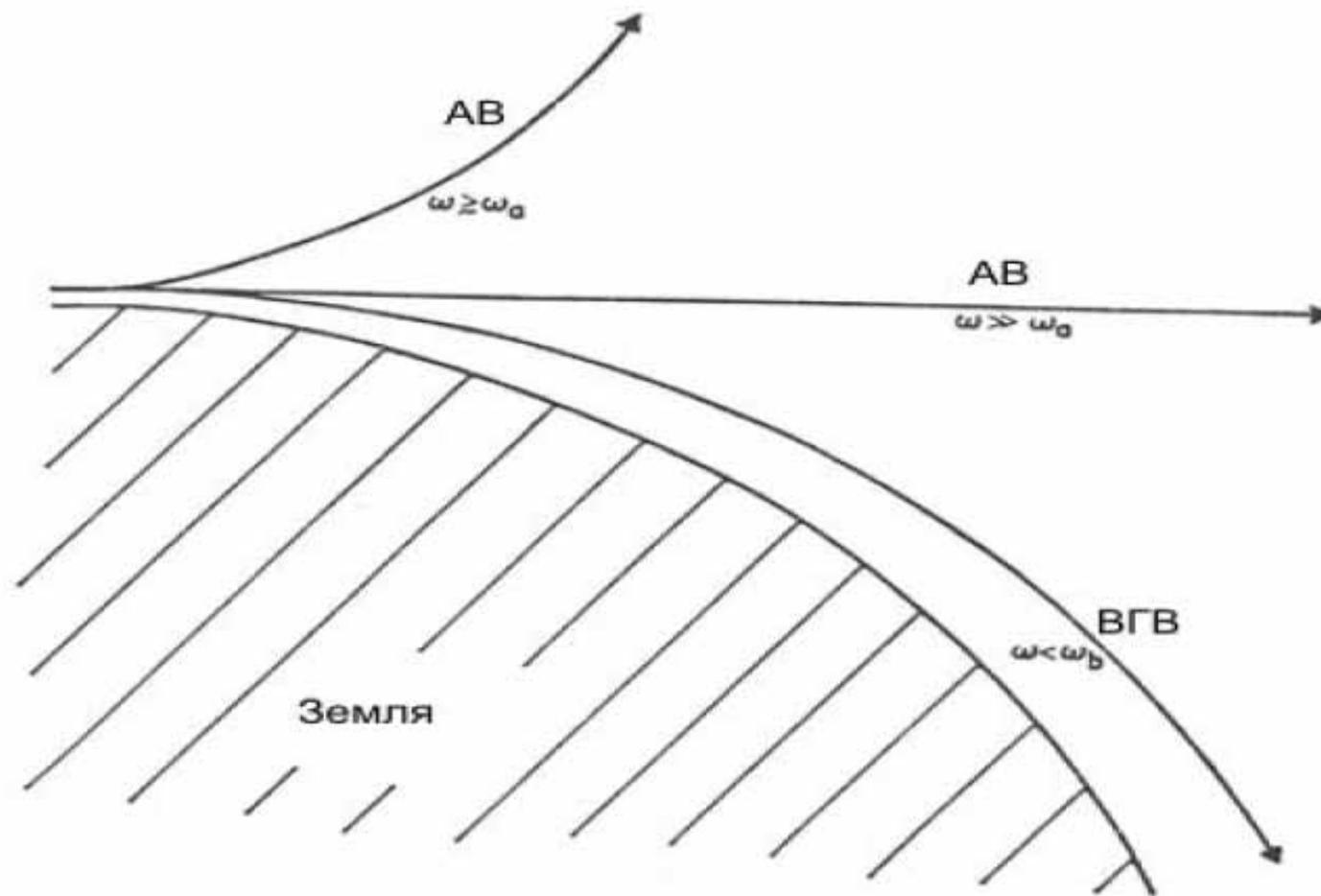
СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



t=20 s







Траектории распространения АГВ в изотермической атмосфере (Francis, 1975).

