

Метеорологические эффекты ионосферной возмущенности над регионом Восточной Сибири по данным вертикального радиозондирования

Черниговская М.А., Сутырина Е.Н.,
Ратовский К.Г., Шпынев Б.Г.

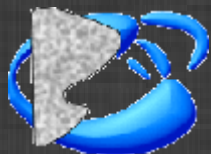
Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск



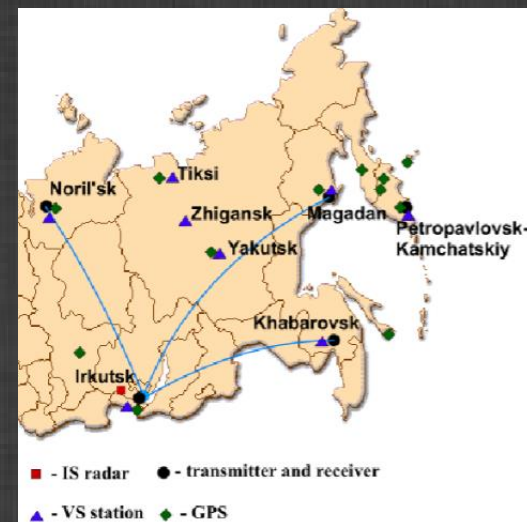
Двенадцатая Всероссийская открытая конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»
Москва, 10 - 14 ноября 2014 г.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Выявление эффектов сильных метеорологических возмущений в вариациях параметров ионосферы в условиях минимума солнечной активности в 2008–2010 гг. над среднеширотной станцией Иркутск (52° с.ш., 104° в.д.) и полярной станцией Норильск (69° с.ш., 88° в.д.)



ИСЗФ СО РАН, Отдел физики
околоземного космического
пространства

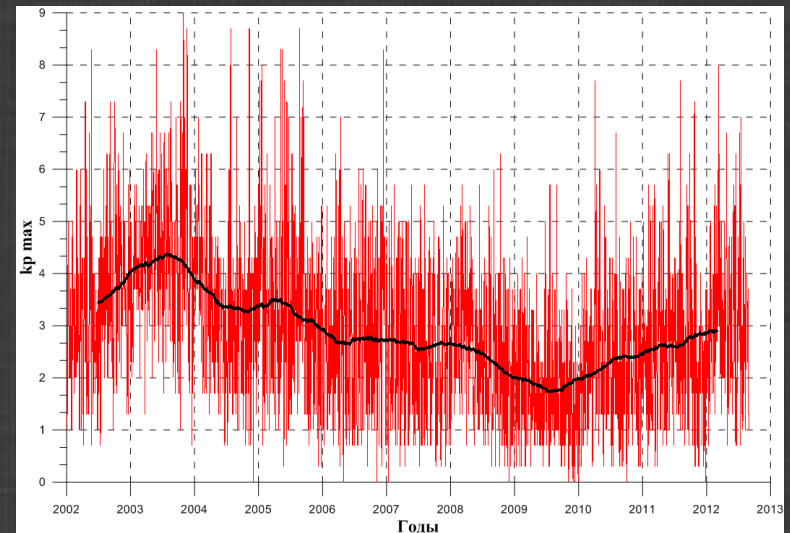
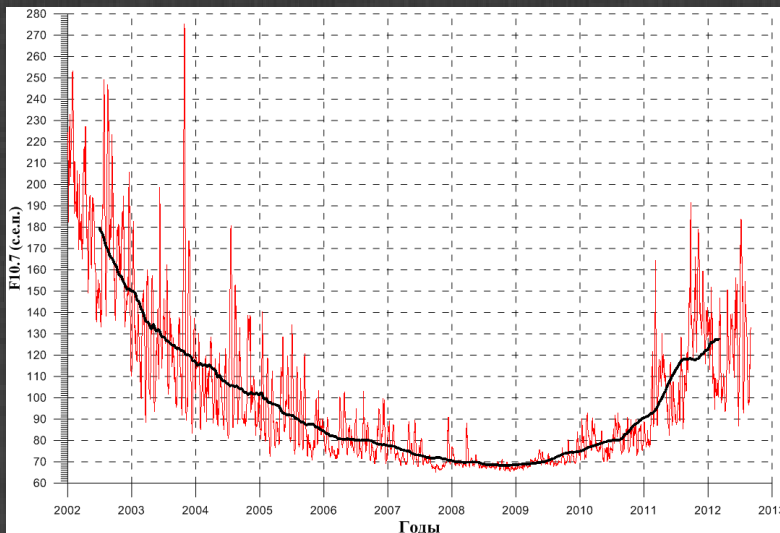


ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ:

- Данные архивов реанализа NCEP/NCAR и ECMWF ERA INTERIM, содержащие массивы значений компонент вектора скорости газа в стратосфере.
- Данные по максимуму электронной концентрации $N_m F_2$ ионосферы, полученные на основе непрерывных измерений на цифровых ионозондах вертикального зондирования (ВЗ) DPS-4 в Иркутске и Норильске.
- Данные по температуре средней атмосферы спутниковых измерений СВЧ-зондом MLS Aura.

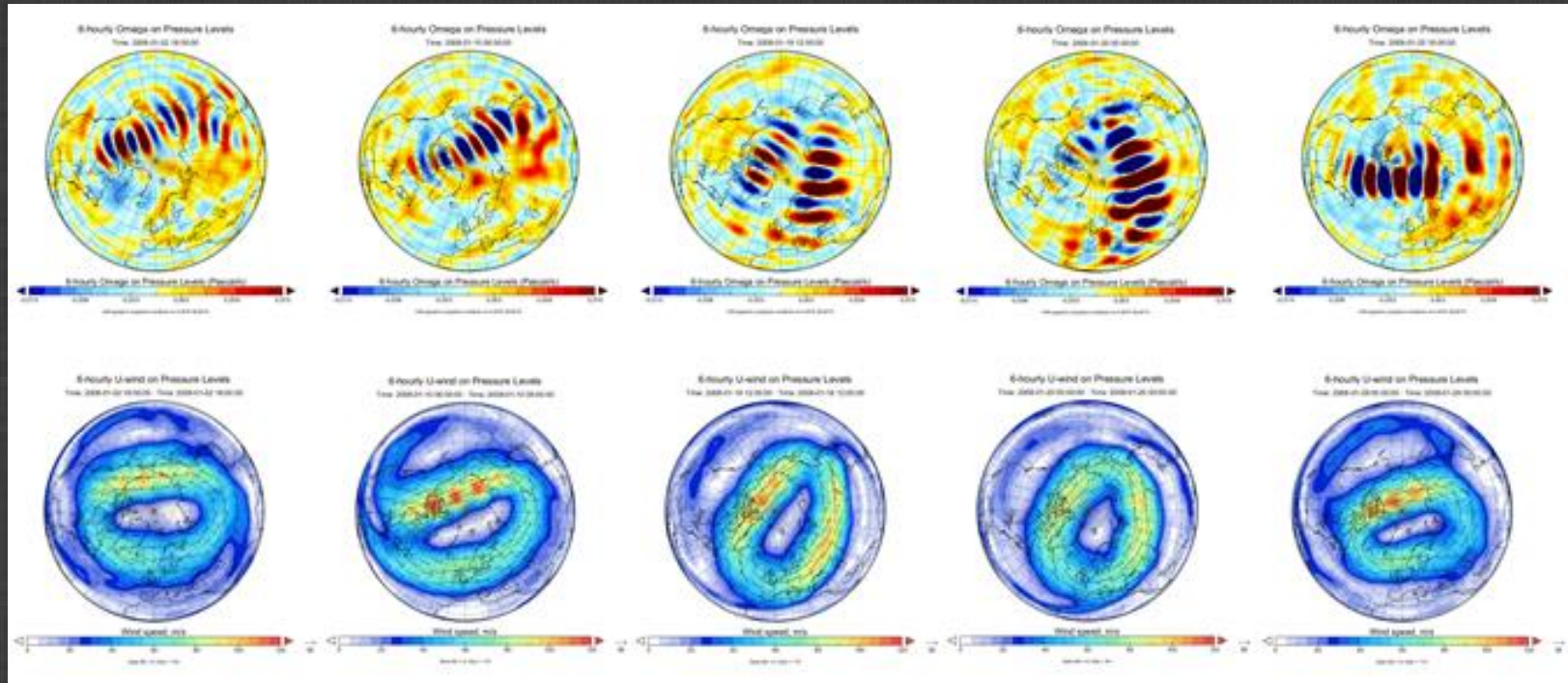
Особенность рассматриваемого периода:

2008–2010 гг. характеризовались минимумом солнечной активности и сопутствующей низкой геомагнитной возмущенностью. Это способствовало эффективности исследования ионосферных возмущений, связанных с влиянием внутренних атмосферных процессов.



Для описания волновой активности в стратосфере использовался параметр Ω , характеризующий вертикальную скорость движения атмосферного газа, по данным архива реанализа NCEP/NCAR с пространственным разрешением 2.5° по долготе и широте

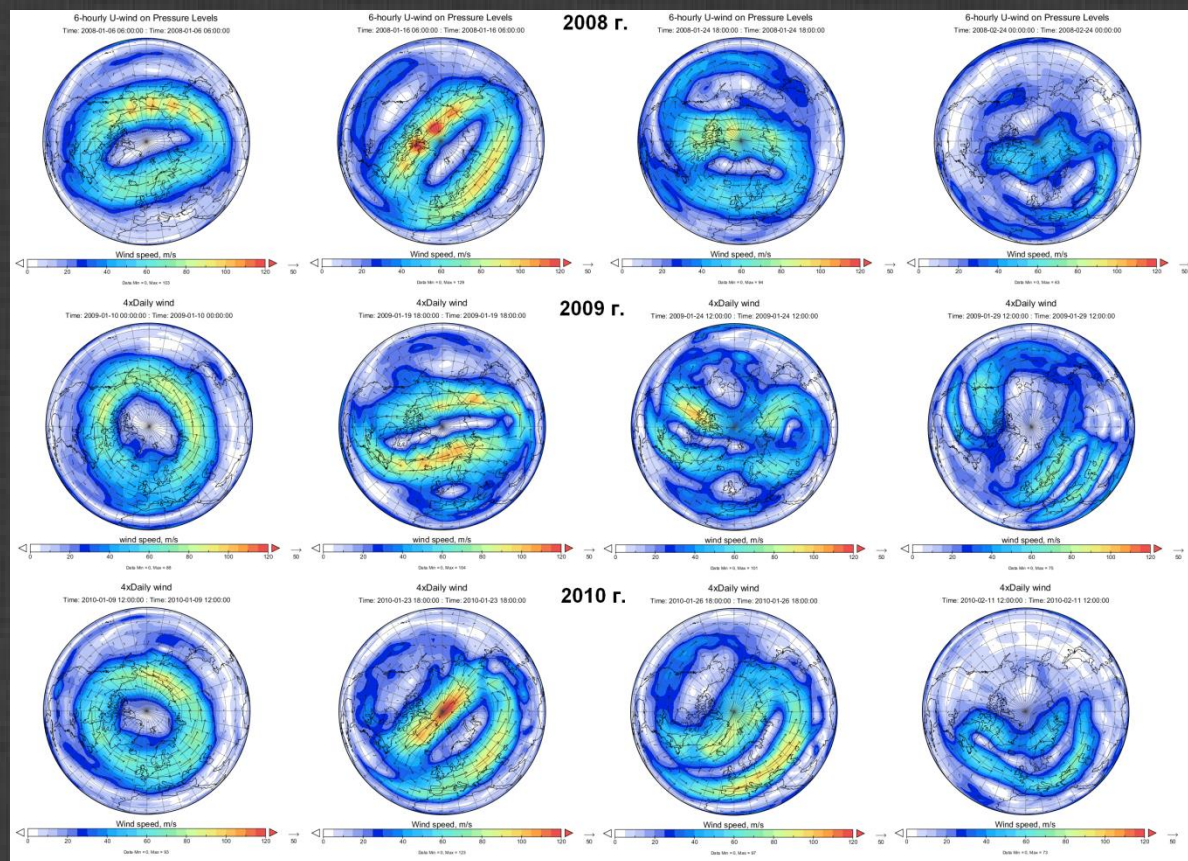
$$\Omega = (dp/dt)_{\max} - (dp/dt)_{\min}, \text{ Па/с}$$



На рисунке показаны вариации параметра Ω и горизонтальной скорости ветра на уровне 10 мб для января-февраля 2008 г. Волновые движения ассоциированы со струйным течением (СТ) на высотах стратосферы. В среднем, длина волн составляет 1000÷1500 км.

Выявлены волновые движения в высотах стратосферы в зимние сезоны (ноябрь-февраль) всех анализируемых лет, связанные со стратосферными СТ.

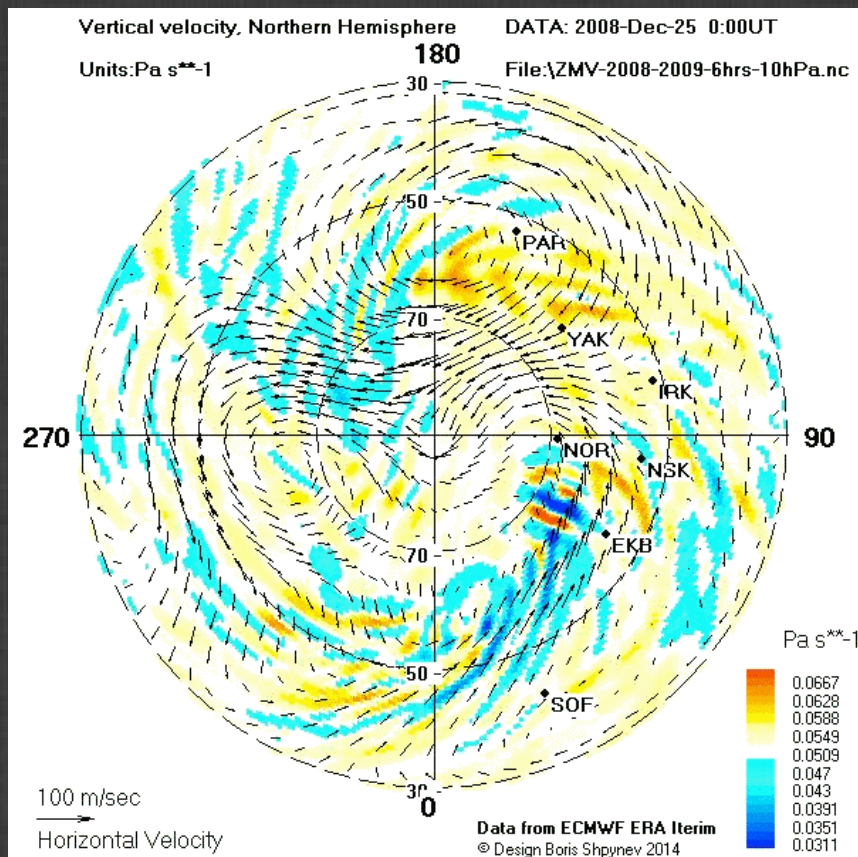
Стратосферное СТ возникает на границе полярной ночи, где в местах столкновения теплых и холодных масс газа в течение зимы образуется наибольший температурный градиент. В результате формируется западное стратосферное СТ со скоростями ветра, превышающими 120 м/с (более 400 км/ч) на высоте ~30 км. Оно опоясывает полюс широкой полосой между 50 и 80° с.ш., формируя циркумполярный вихрь (ЦТВ).



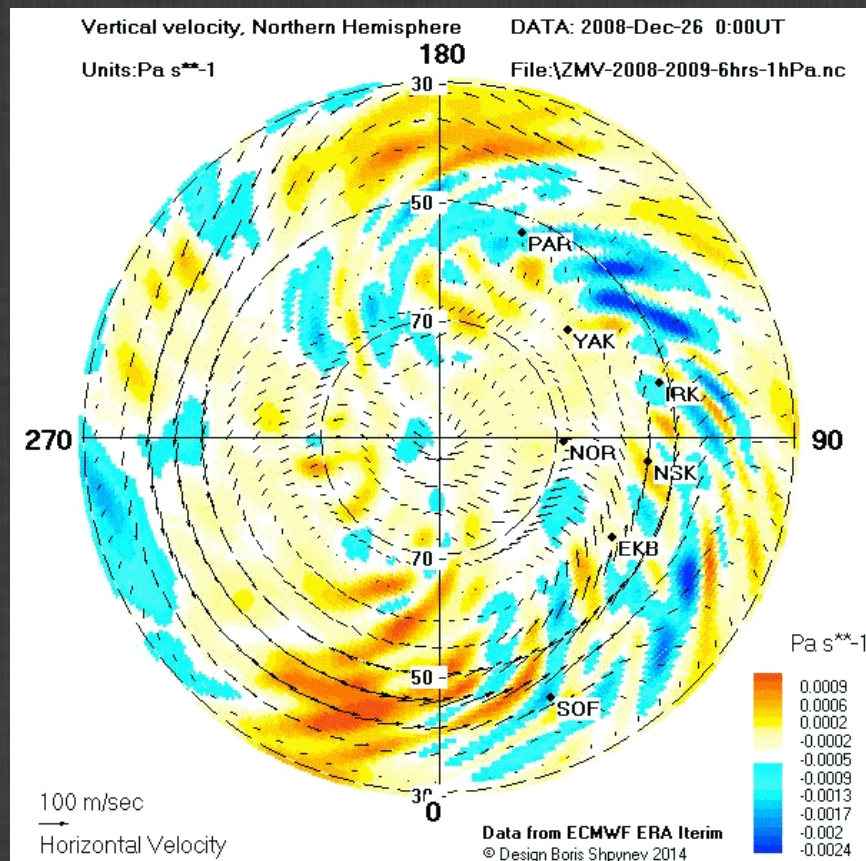
Каждую зиму анализируемых лет развивались внезапные стратосферные потепления (ВСТП), во время которых нарушается обычная для зимы схема циркуляции в стратосфере с направленным с запада на восток ЦТВ. В период развития ВСТП сильные возмущения из тропосферы, трансформируют полярное СТ (разделяют вихрь на несколько вихрей или сплюсывают его и перемещают к югу), заметно ослабляют западные ветры и даже обращают их в случае ВСТП типа "major".

По данным архива реанализа ECMWF ERA INTERIM с пространственным разрешением 0.75° по долготе и широте также выявлены волновые движения на высотах стратосферы и нижней мезосферы в зимние сезоны (ноябрь-февраль) всех анализируемых лет, связанные со стратосферными СТ.

Поле скоростей на уровне 10 мб (~30 км)
25 декабря 2008 г. – 30 января 2009 г.

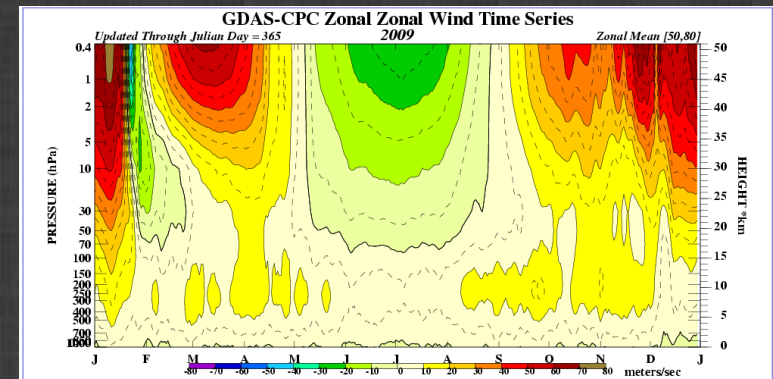
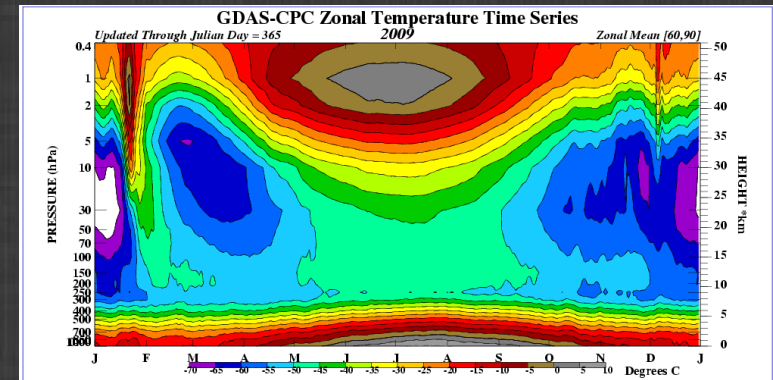
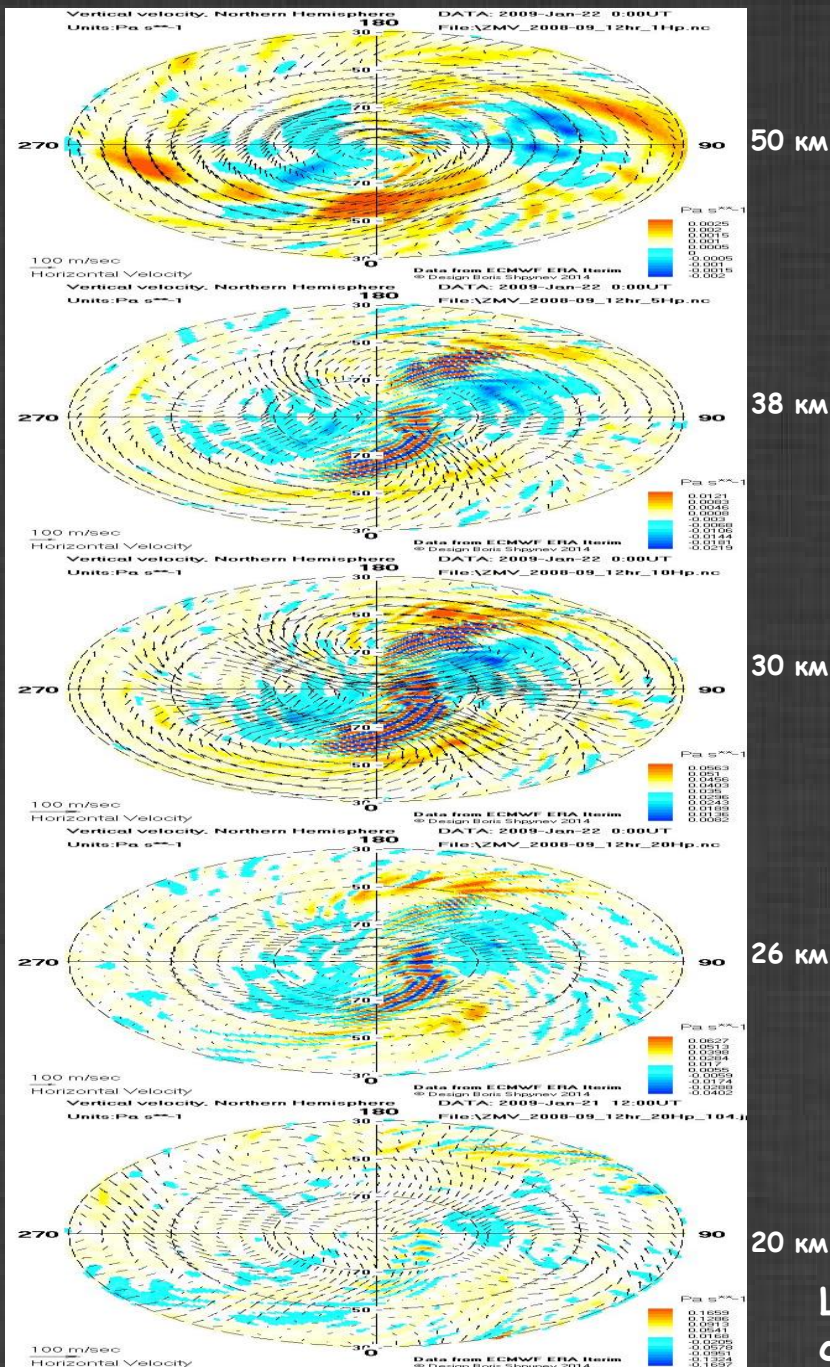


Поле скоростей на уровне 1 мб (~50 км)
25 декабря 2008 г. – 30 января 2009 г.

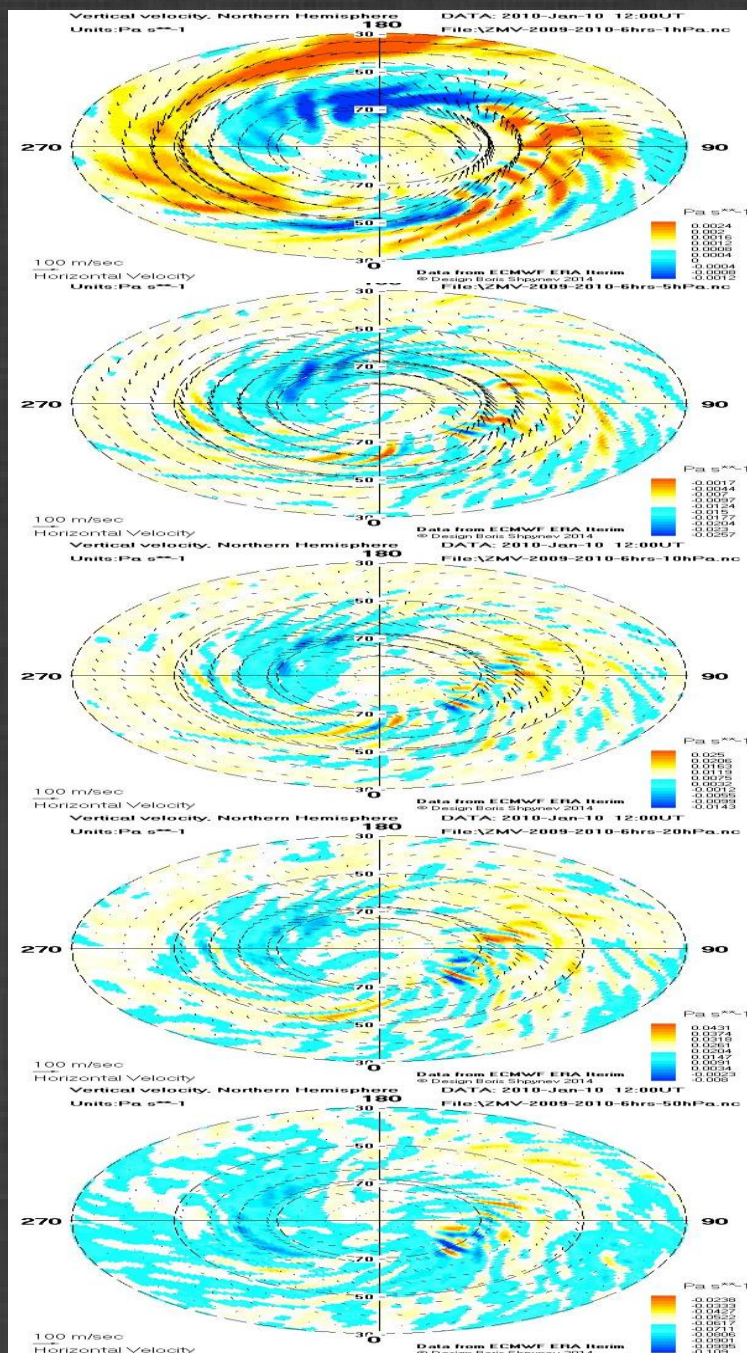


Цвет – вертикальная скорость; стрелки – горизонтальная скорость

Волновые движения по данным архива реанализа ECMWF ERA INTERIM на высотах стратосферы и нижней мезосферы для 22 января 2009 г. (пик развития ВСП типа "major")

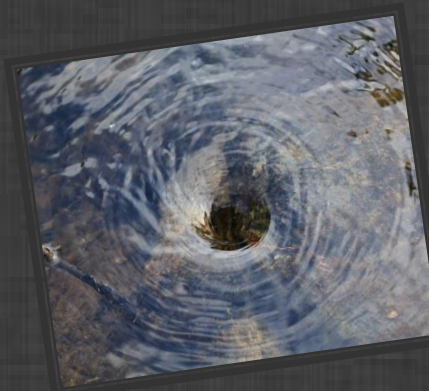


Цвет - вертикальная скорость;
стрелки - горизонтальная скорость



Волновые движения по данным архива реанализа ECMWF ERA INTERIM на высотах стратосферы и нижней мезосферы для 10 января 2010 г.

На границе раздела между потоками газа с различными скоростями и/или направлениями (такими как, например, стратосферный ЦТВ с высокими скоростями и окружающая атмосфера с относительно слабыми ветрами) формируются неустойчивости и могут генерироваться атмосферные волны различных масштабов, в том числе волны Кельвина и ВГВ, при достижении определенных критических скоростей ветра в СТ. Эти волны распространяются вверх и приводят к изменению структуры и внутренней динамики нижней термосферы и далее ионосферы, которые проявляются в виде перемещающихся атмосферных и ионосферных возмущений.



Цвет – вертикальная скорость;
стрелки – горизонтальная скорость

Метод обработки ионосферных данных:

В качестве характеристики ионосферной возмущенности использован коэффициент вариации максимума электронной концентрации F2-слоя ионосферы ($VrNmF2$), который представляет собой нормированную дисперсию $NmF2$ в дневное время:

$$VrN_mF2 = 100\% \cdot \sqrt{\langle (N_mF2 - \langle N_mF2 \rangle)^2 \rangle} / \langle N_mF2 \rangle ,$$

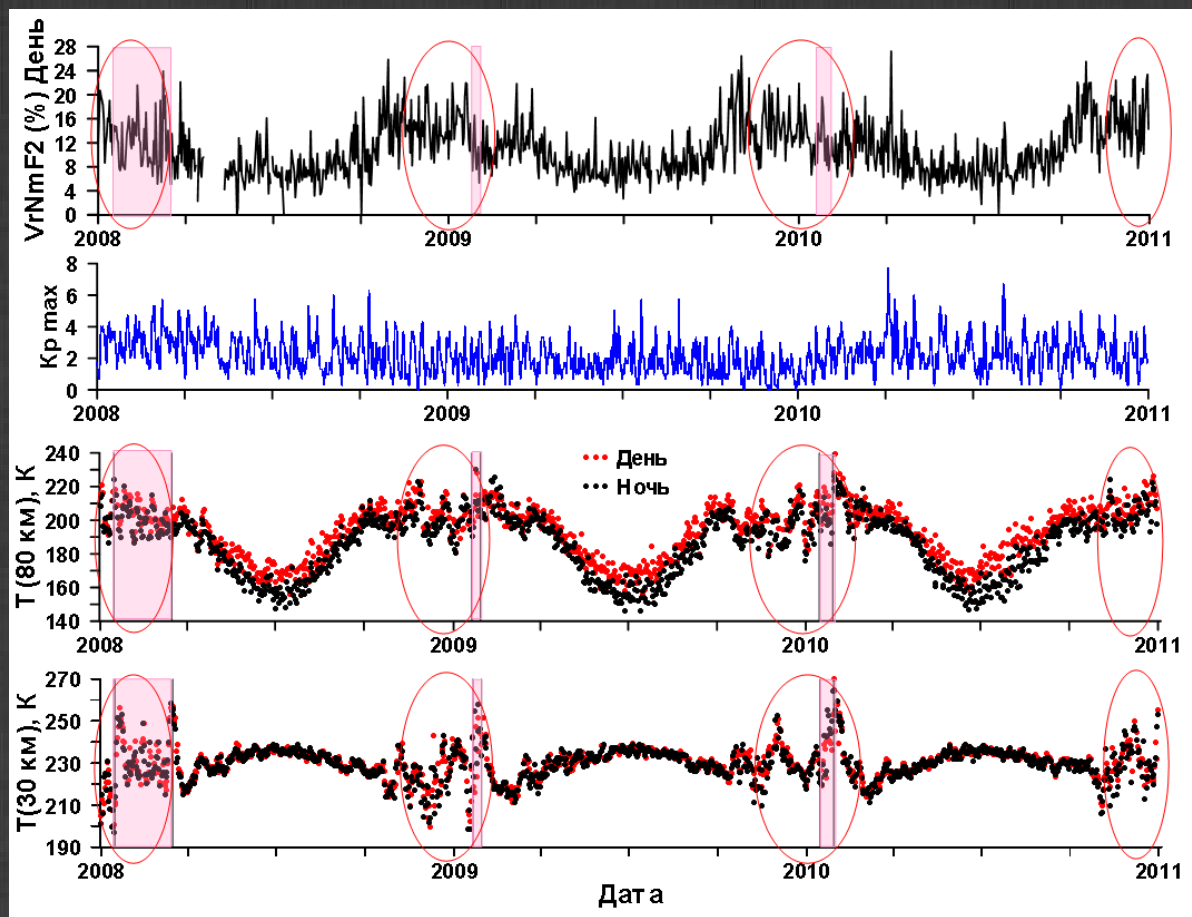
где $\langle \rangle$ означает усреднение по времени на интервале длительностью T , центрированном относительно местного полудня.

Из определения видно, что коэффициент VrN_mF2 пропорционален вариациям $NmF2$ в диапазоне периодов T , не превышающих период усреднения. Если T порядка нескольких часов, то коэффициент VrN_mF2 описывает вариации максимума электронной концентрации F2-слоя ионосферы в диапазоне периодов внутренних гравитационных волн (BGB).

Опыт обработки длинных рядов ионосферных данных показал, что $VrNmF2$ имеет наибольшие значения в периоды волновой активности, связанной с процессами в нижней и средней атмосфере.

На предыдущем этапе исследования вариативности ионосферы над Иркутском по данным ВЗ период усреднения T был выбран равным 6 часам (09-15 LT), что соответствует длительности дня в зимнее время над Иркутском

(М.А. Черниговская, Е.Н. Сутырина, К.Г. Ратовский Метеорологические эффекты ионосферной возмущенности над Иркутском по данным вертикального радиозондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2014. Т. 11. № 2. С. 264-274).



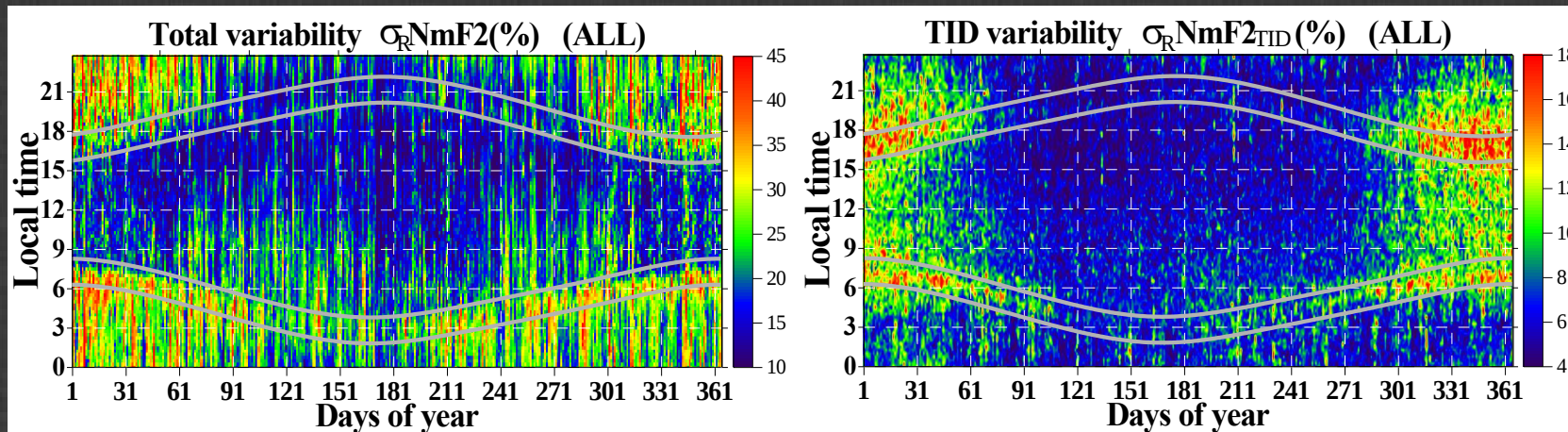
Из рисунка видно, что в периоды стратосферной волновой активности наблюдалось заметное повышение ВГВ-активности на высотах F2-слоя ионосферы. С повышением уровня геомагнитной возмущенности связаны лишь отдельные пики в величине V_rNmF2 . Однако в эти же периоды отмечаются сильные вариации в температуре на уровнях стратосферы и мезосферы по данным спутниковых измерений MLS Aura.

Суточно-сезонное распределение возмущенности NmF2 над Иркутском

Годы 2003-2012

Полная возмущенность. Усиление возмущенности весной и осенью в дневное время.

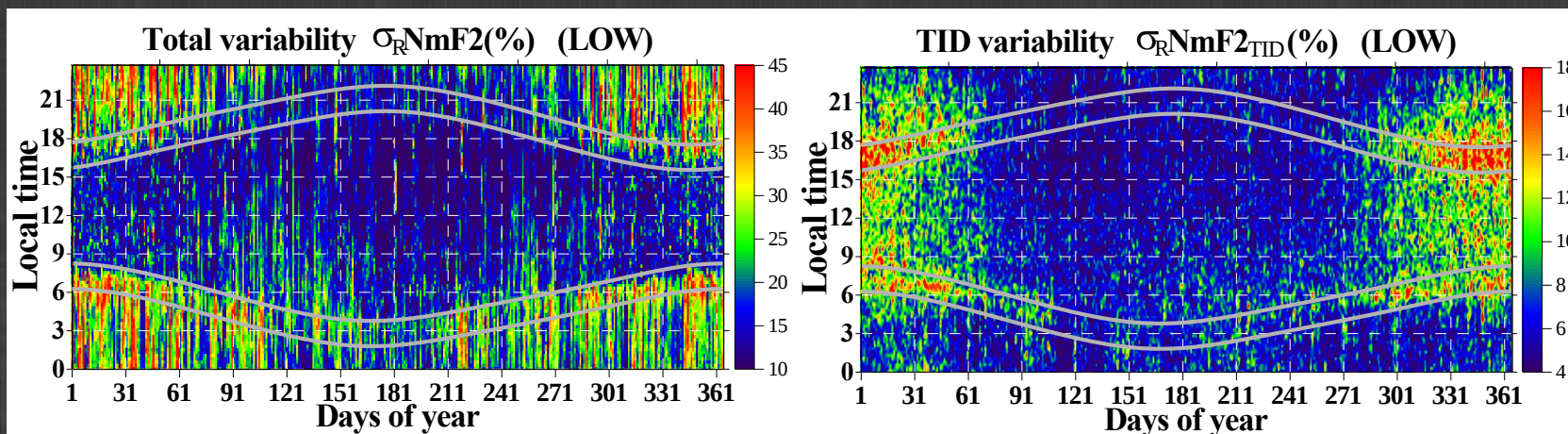
Высокочастотная составляющая. Высокая возмущенность зимой и низкая летом. Наибольшая возмущенность вблизи терминаторов.



Годы низкой солнечной активности (2006-2011)

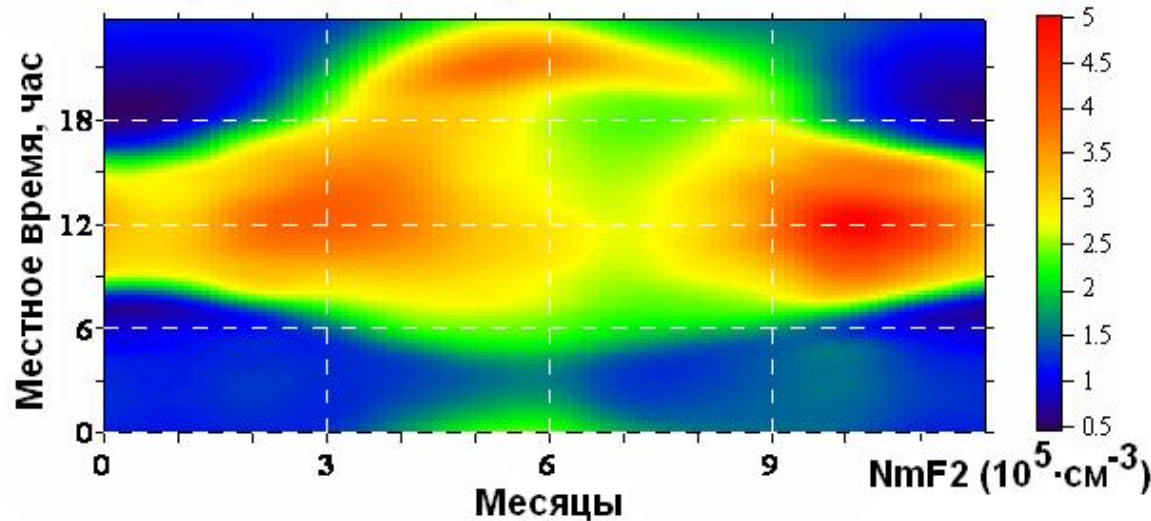
Полная возмущенность. Отчетлива разница между дневной и ночной возмущенностью с границей по терминатору. Ночью высокая возмущенность зимой и низкая летом.

Высокочастотная составляющая. Высокая возмущенность зимой и низкая летом. Наибольшая возмущенность вблизи терминаторов.

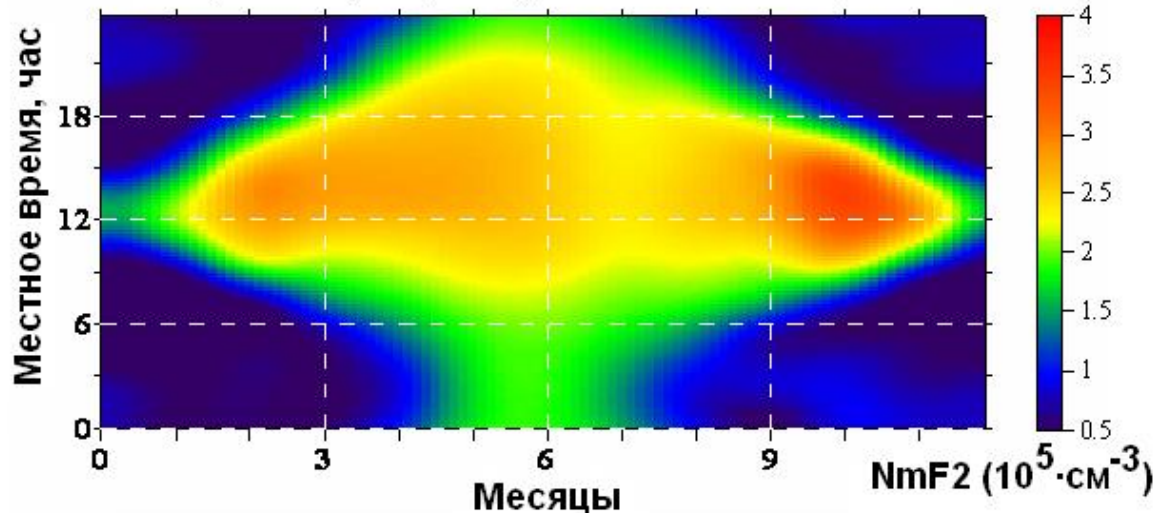


Эмпирическая модель суточно-сезонного распределения NmF2 над Иркутском и Норильском по данным за 2003-2008 гг. Условия низкой солнечной активности.

Иркутск (52N, 104E), геом.ш.=44 F10,7=70



Норильск (69N, 88E), геом.ш.=60 F10,7=70



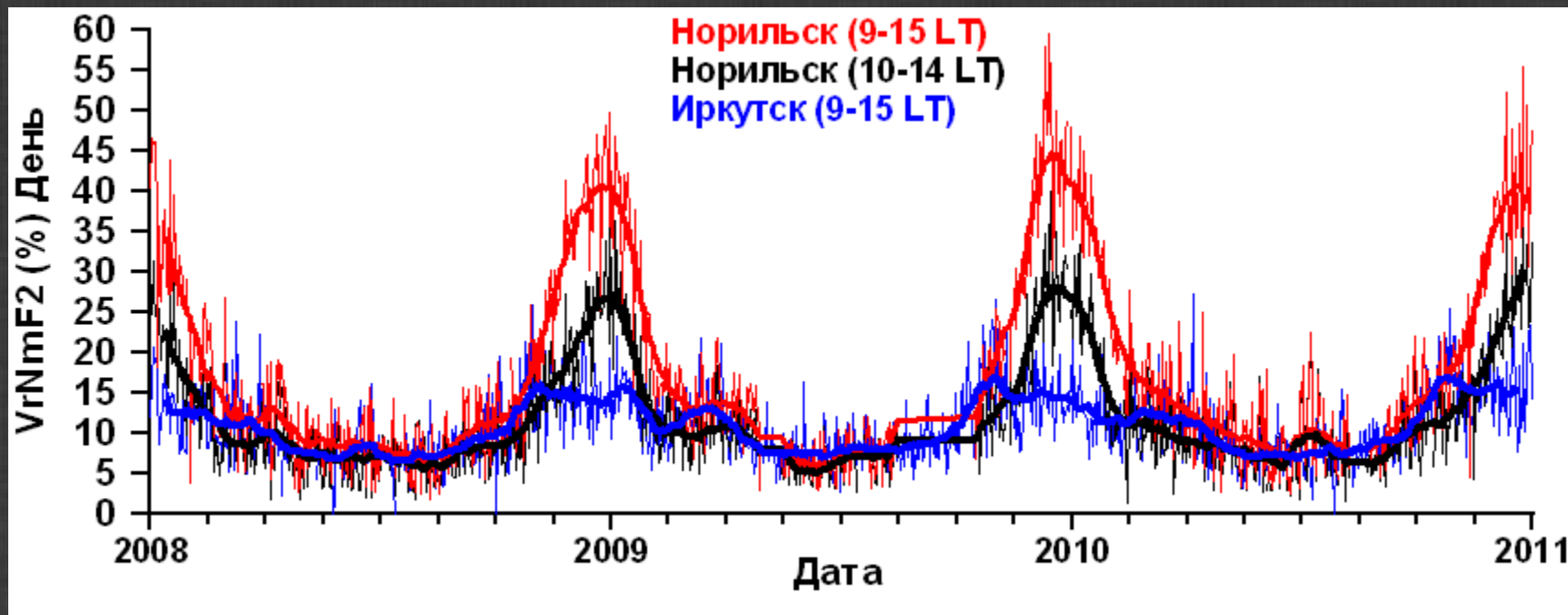
Основные сходства:

- наибольшие дневные значения наблюдаются в октябре и марте (полугодовая гармоника);
- наибольшие ночные значения наблюдаются летом (годовая гармоника);
- зимний суточный ход характеризуется ночным пиком.

Основные различия:

- превышение значений NmF2 в Иркутске по сравнению с Норильском для всех сезонов и времен суток;
- отсутствие зимней аномалии (превышение дневные зимние значения NmF2 над дневными летними значениями) в Норильске;
- Отсутствие вечернего летнего пика NmF2 в Норильске.

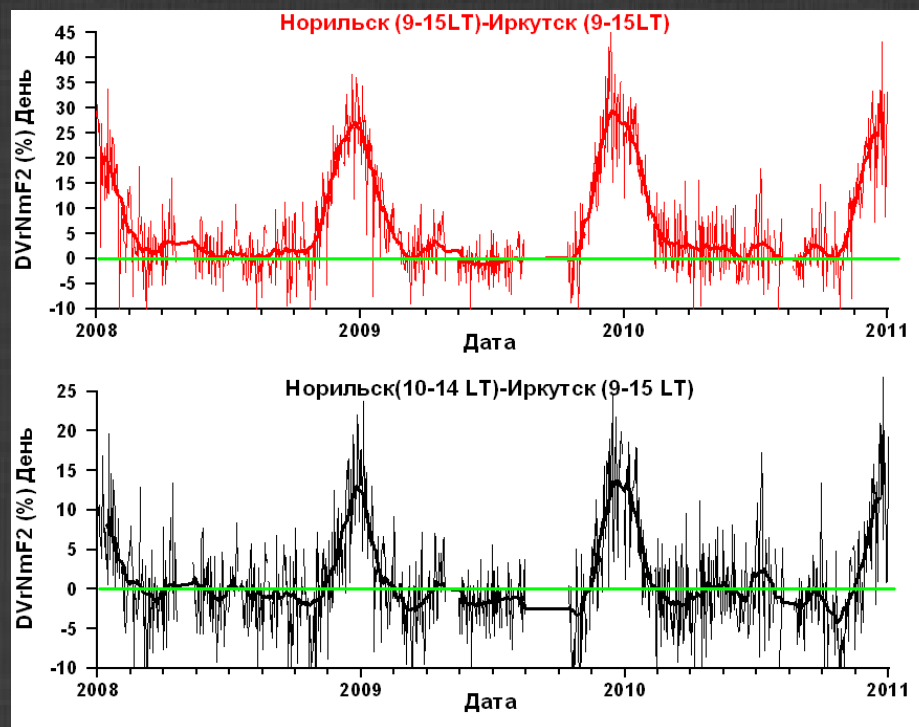
Над Норильском ионосфера на высоте максимума электронной концентрации F2-слоя частично освещена днем в зимнее время в течение ~4 часов. Поэтому для Норильска индекс $VrNmF2$ был рассчитан для 4-часового интервала (10-14 LT), а также для 6-часового интервала T (09-15 LT).



Из анализа рисунка можно выделить следующие закономерности:

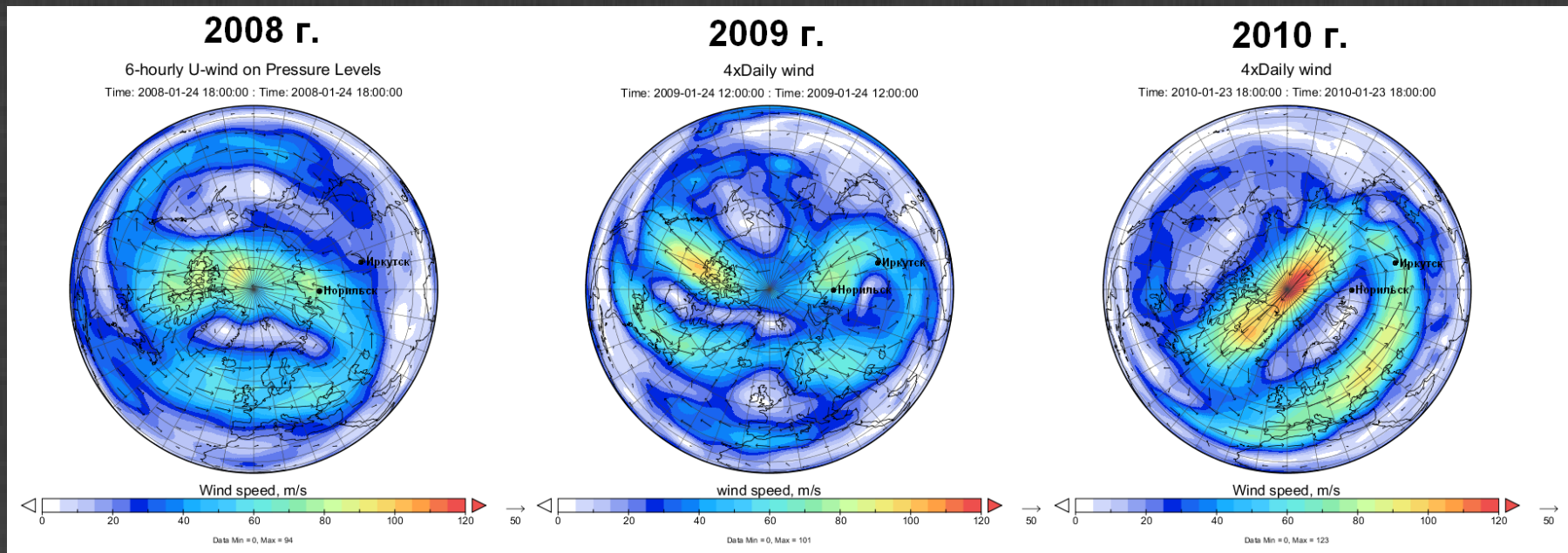
1. Для обеих станций независимо от интервала усреднения индекс $VrNmF2$ максимален в зимнее время и минимален в летнее время. Для Норильска разница зима-лето независимо от интервала усреднения больше, чем для Иркутска.
2. Сокращение интервала усреднения ведет к уменьшению индекса $VrNmF2$. Для 6-часового интервала усреднения индекс $VrNmF2$ для Норильска больше, чем для 4-часового интервала. Это различие максимально в зимнее время (~ 12%) и практически незаметно в летнее время.

При использовании 6-часового интервала усреднения T (9–15 LT) для расчета $VrNmF2$ вариативность $NmF2$ над Норильском, в целом, в течение всего года выше, чем над Иркутском. Максимальное различие между станциями наблюдается в начале года, когда индекс $VrNmF2$ для Норильска в среднем на 25% больше чем для Иркутска.



При использовании 4-часового интервала усреднения T (10–14 LT) для расчета $VrNmF2$ для Норильска, в течение года вариативность над Иркутском немного выше, чем над Норильском (наибольшая разница $\sim 4\%$ осенью 2010 г.). Вариативность над Норильском выше, чем над Иркутском, для интервала $\sim \pm 45$ дней относительно начала года при максимальной разнице $\sim 13\%$ в начале года.

Возможные причины различия в вариативности над Норильском и Иркутском в зимние сезоны



Над зоной стратосферного ЦТВ, который трансформируется в течение зимы (особенно существенно в периоды развития ВСТП) генерируются крупномасштабные волновые движения, которые распространяются вверх до высот термосферы и ионосферы. Волны, распространяясь в ионосфере, приводят к оттоку или притоку молекулярного газа на этих высотах, изменяя баланс $[O^+]/[N_2]$ и вызывая, как следствие, вариации ионосферных параметров.

ВЫВОДЫ:

- На основе данных архивов реанализа ECMWF ERA INTERIM и NCEP/NCAR выявлены периоды крупномасштабных волновых движений в стратосфере на высоте 10 мб в периоды с ноября по февраль 2008-2010 гг. Эти волны ассоциированы со стратосферными струйными течениями, в основном, локализованными на широтах 50-80° с.ш.
- На основе данных архива реанализа ECMWF ERA INTERIM показано распространение волновых возмущений со стратосферных высот вверх в мезосферу с увеличением амплитуды волн.
- В периоды стратосферной волновой активности отмечено существенное повышение ВГВ-активности на высотах F2-слоя ионосферы над регионом Восточной Сибири по данным станций ВЗ Иркутск и Норильск для всех анализируемых лет.
- Для обеих станций наибольшая изменчивость в ионосфере на высотах F2-слоя наблюдается в зимнее время, а наименьшая - в летнее (независимо от интервала усреднения). Разница зима-лето более контрастна для Норильска.
- Кроме общих особенностей существуют локальные различия в вариативности над Норильском и Иркутском в весенне-осенний и летний сезоны, которые обусловлены случаями локального возрастания вариативности только над одной станцией. Эти различия, возможно, связаны с особенностями в режимах сезонных перестроек термодинамического режима атмосферы и ионосферы над регионами Иркутска и Норильска, а также с различным влиянием метеорологической активности и/или с местоположением источника метеорологической активности.

Работа выполнена в рамках Проекта
№ ОНЗ-8.2 "Исследование отклика
ионосферы на экстремальные явления в
нейтральной атмосфере в азиатском
долготном секторе", а также при поддержке
гранта РФФИ № 12-05-00865_a

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

*Двенадцатая Всероссийская открытая конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»
Москва, 10 - 14 ноября 2014 г.*