



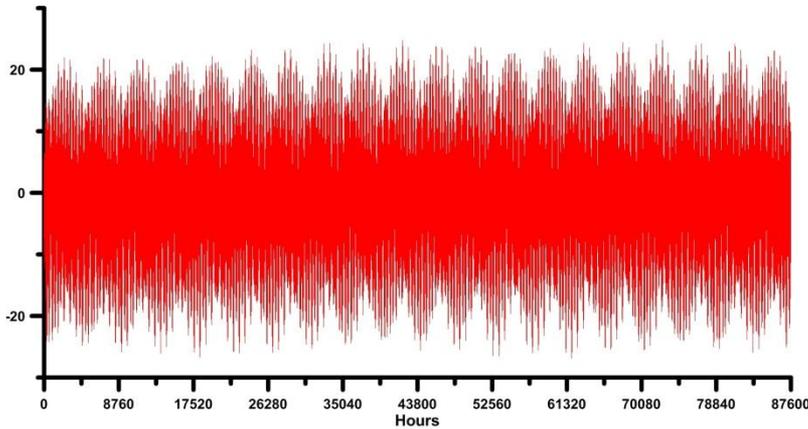
Влияние гравитационного прилива Солнца и Луны на динамику параметров атмосферы, ионосферы и океана

Хабитуев Д.С., Шпынев Б.Г., Татарников А.В., Щеглова Е.С.
ИСЗФ СО РАН

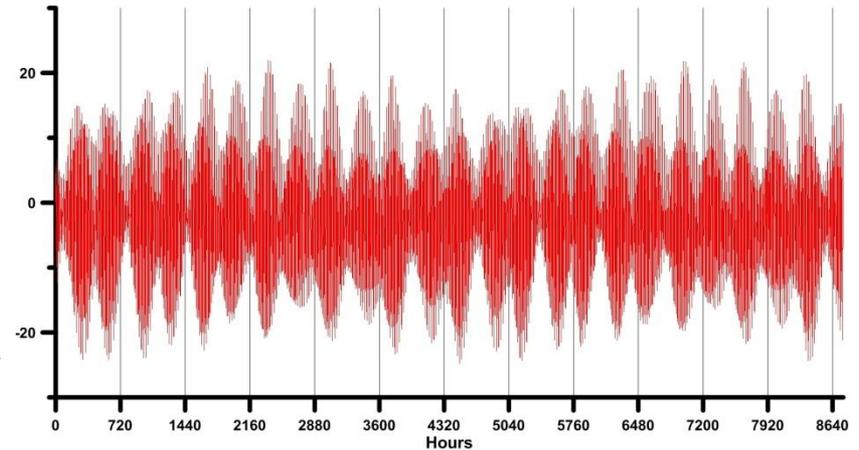
Введение

- Гравитационные приливы и отливы возникают в результате воздействия гравитации Луны и Солнца на вещество, составляющее разные геосферы, включая массы воды в океанах и морях, воздух и конденсированные примеси в атмосфере, твердые породы, составляющие земную кору и горячее жидкое магматическое тело Земли.
- Солнце многократно тяжелее Луны, но из-за меньшей удаленности от Земли гравитационное влияние Луны в 2,17 раз превышает солнечное.
- В атмосфере сильнее проявляется солнечный термический прилив, и его действие почти полностью определяет суточный и полусуточный ход таких атмосферных параметров как приземная температура воздуха и атмосферное давление.
- Ввиду сложной динамики лунной орбиты гравитационный прилив включает в себя несколько гармонических процессов, которые появляются в виде сложной модуляции суммарного гравитационного потенциала Луны и Солнца.
- Рассматриваемые нами межсуточные вариации включают периоды, начиная от лунной суточной и полусуточной гармоник, и заканчивая движением узлов лунной орбиты с периодом ~ 18.6 лет.
- В приливных вариациях большую роль играет эксцентриситет орбиты Луны $47-52R_3$, который изменяет приливной потенциал в 1.4 раза.

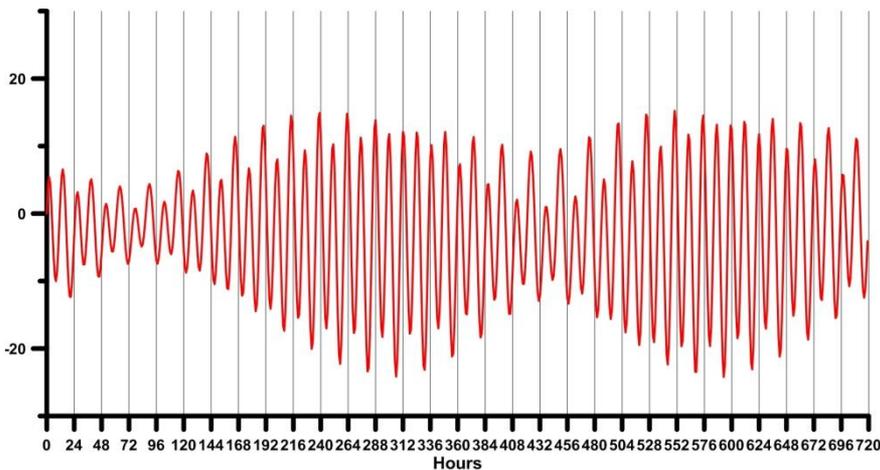
Приливные колебания гравитационного ускорения на поверхности Земли рассчитанные по эфемеридам Луны и Солнца.



← 10 лет



→ 1 год

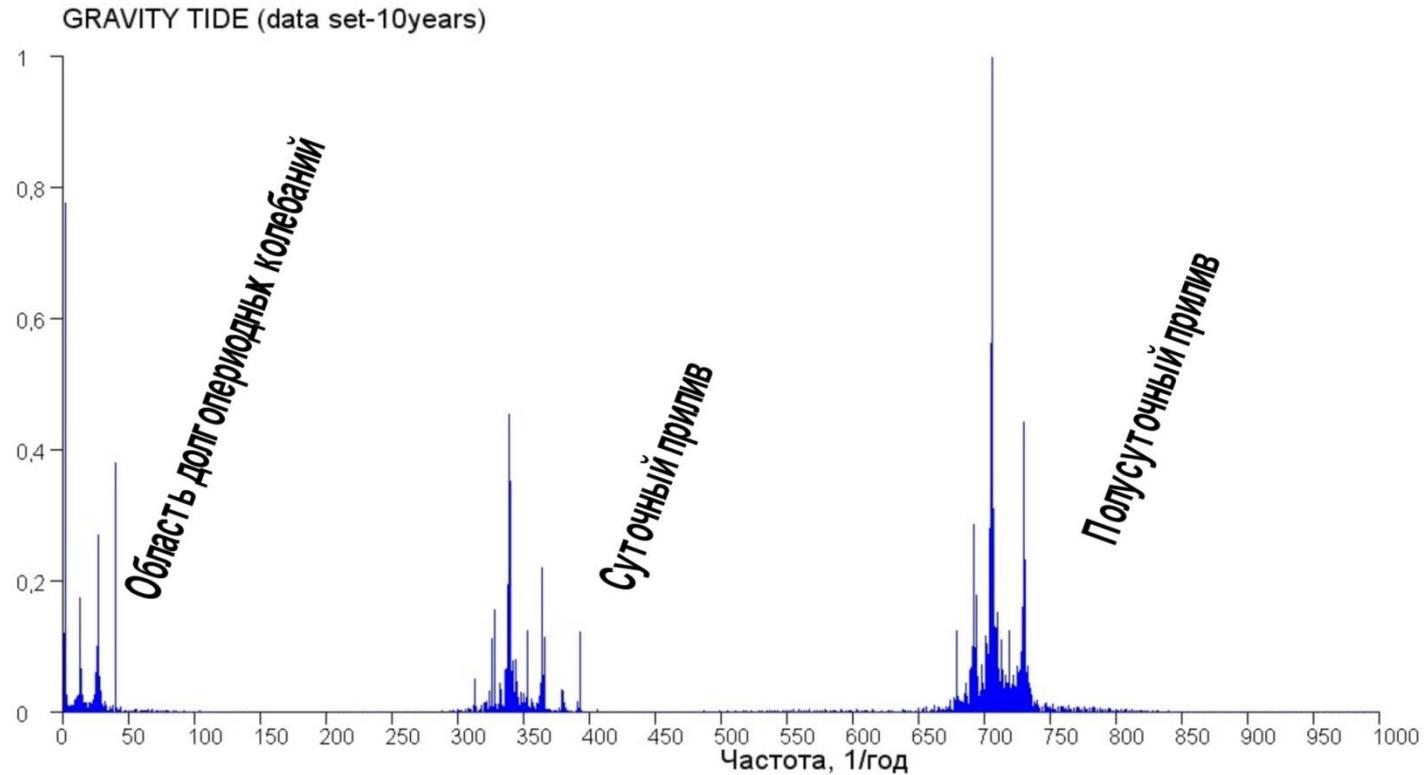


← 1 месяц

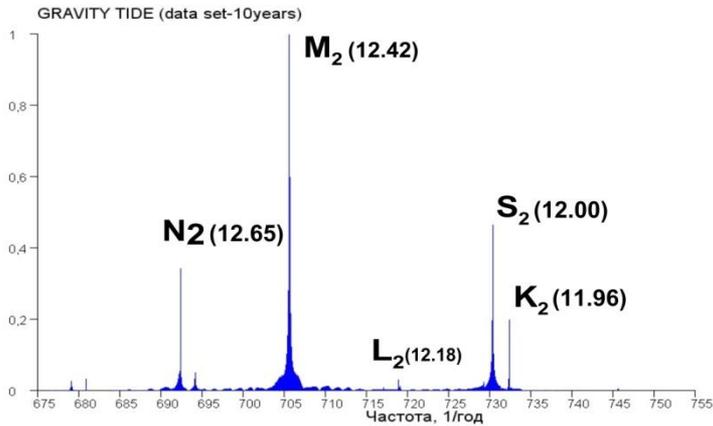
➤ В работе используется наиболее эффективный, классический алгоритм вычисления координат Луны и Солнца в топоцентрической системе координат, основанный на устоявшейся теории нутации [Wahr 1981], [Молоденский 1980].

➤ Хотя в настоящее время используются более точные алгоритмы [Mathews et al., 2002], для проводимых нами расчетов классическая теория нутации дает точность, существенно превышающую точность исследуемых нами вариаций геофизических параметров.

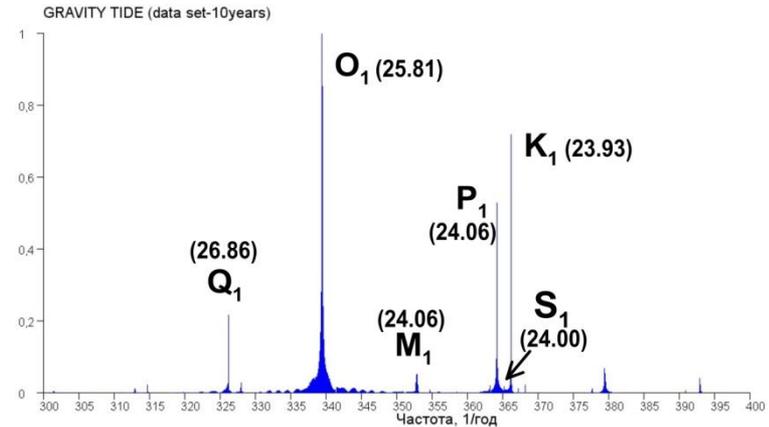
Полный спектр гравитационного прилива



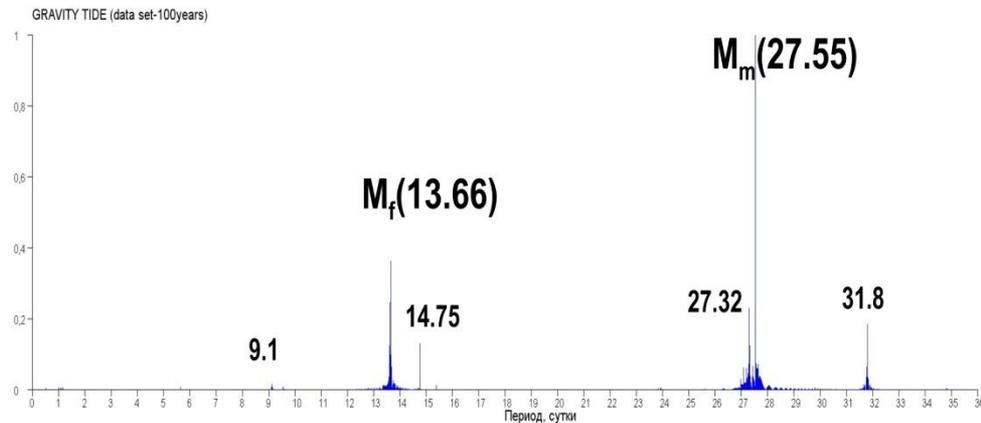
Полусуточный прилив



Суточный прилив

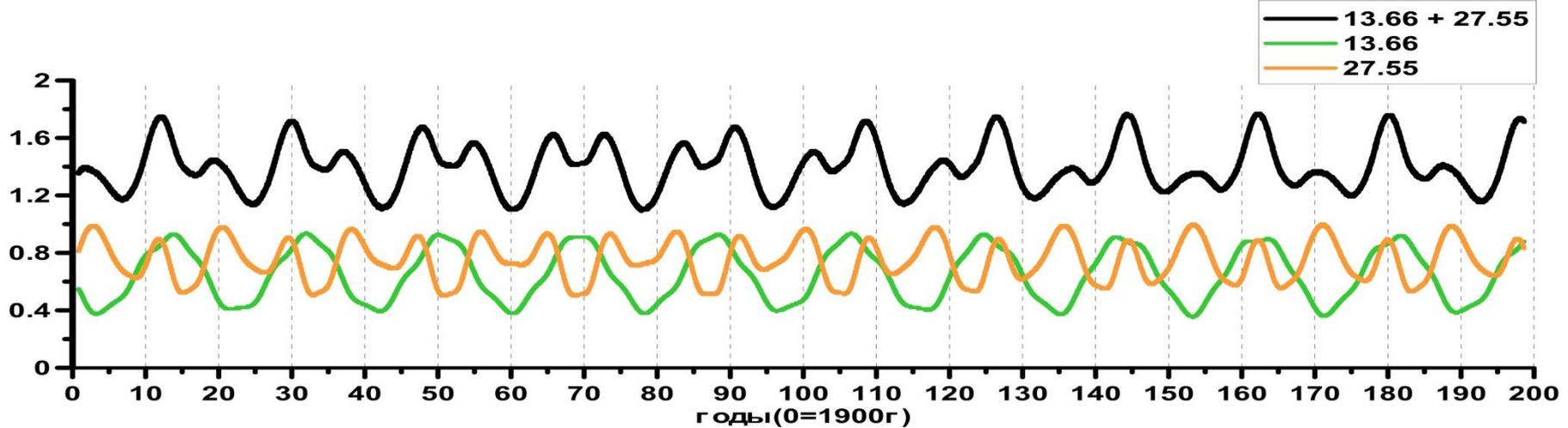
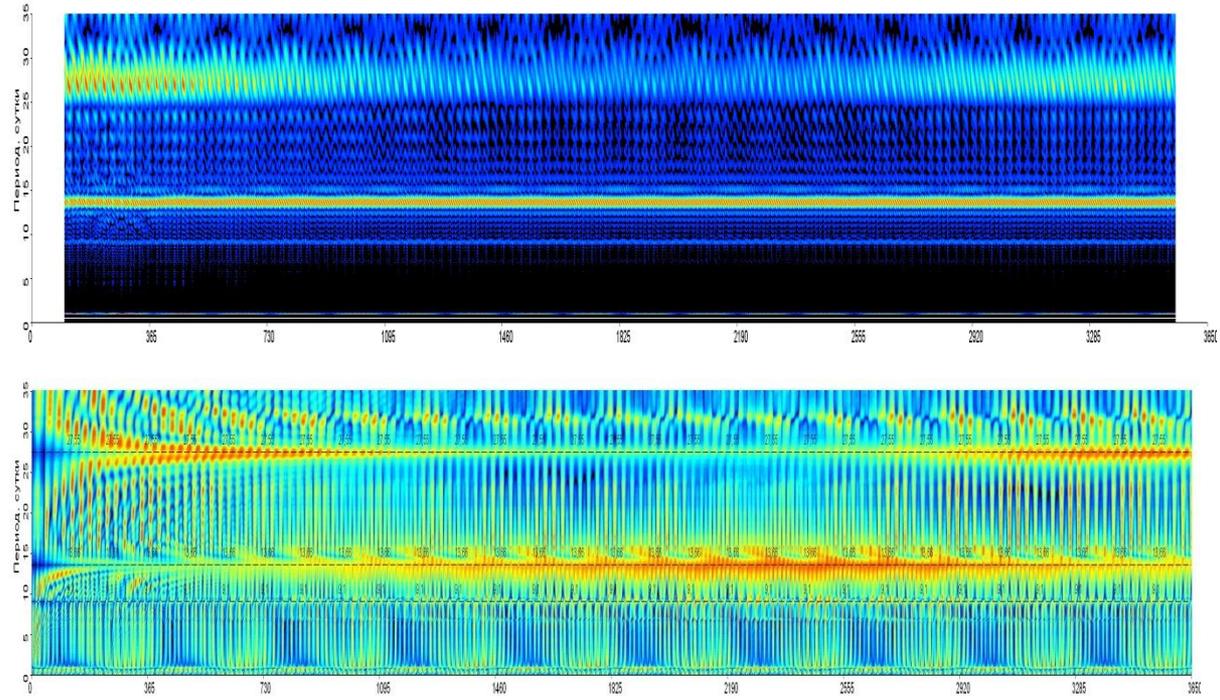


Долгопериодная
часть спектра



- Наибольшую амплитуду имеют колебания суточной и полусуточной областей спектра, поэтому они несут основную энергию спектра.
- Колебания с периодами более суток возникают из-за разности фаз солнечного и лунного приливов, и основными линиями здесь являются линия M_m с периодом 27.55 суток (главная месячная волна) и линия M_f с периодом 13.66 суток (главная полумесячная волна).

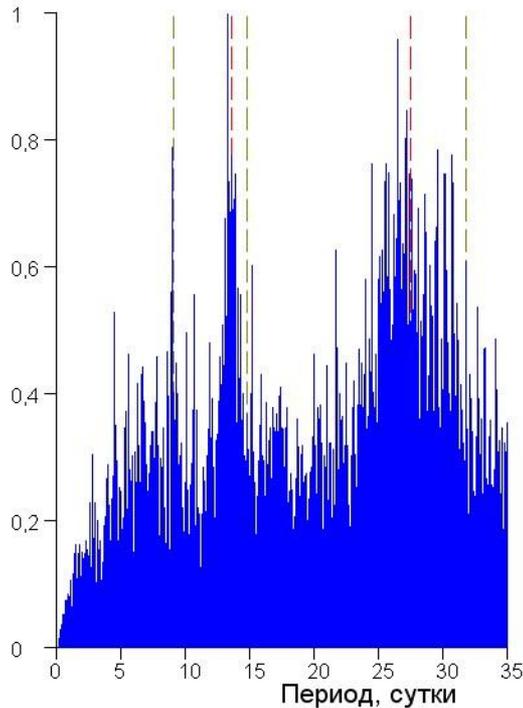
- Амплитуда волн Mm и Mf медленно меняется со временем.
- Месячная волна мигрирует с периодом 8.85 лет, а полумесячная волна Mf с периодом 18.6 лет.
- Эти периоды не являются кратными, поэтому происходит медленное изменение фаз, что приводит к максимумам и минимумам суммарной амплитуды этих двух волн с периодом около 200 лет.



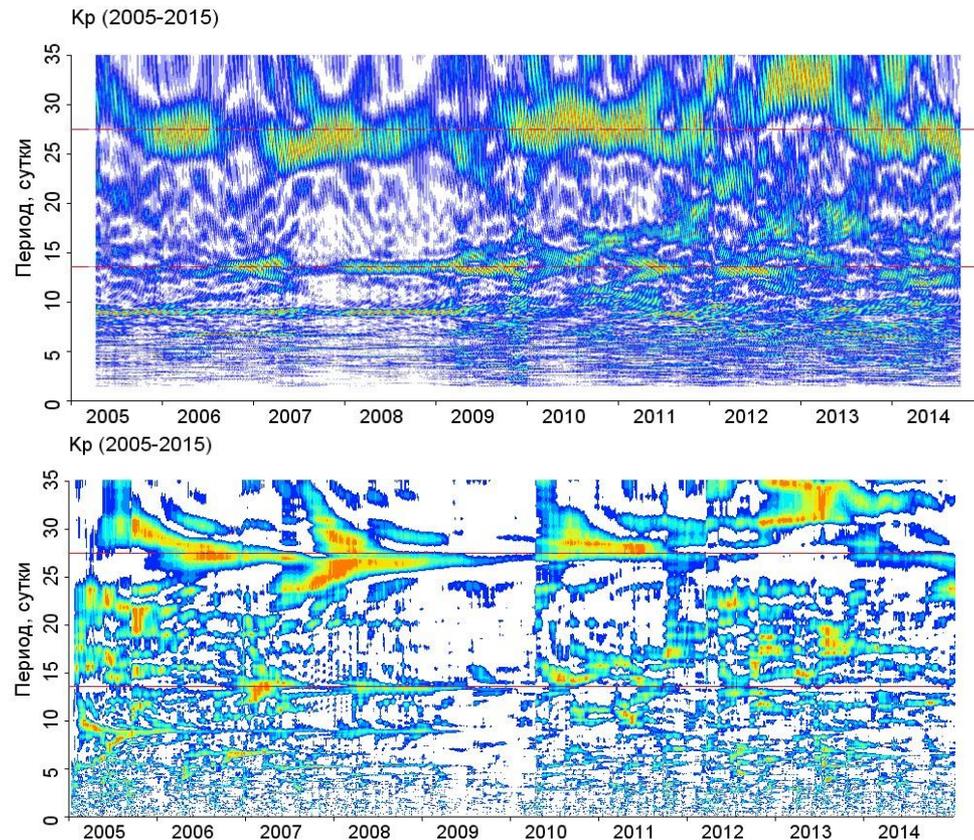
Приливные вариации в геофизических параметрах

- Основной целью нашего исследования был поиск проявлений гравитационного прилива в длинных рядах геофизических данных по океану, нейтральной атмосфере и ионосфере.
- В исследовании использовались длинные ряды метеорологических данных из базы данных NOAA по океану и атмосфере.
- Данные геомагнитной активности.
- Данные ионосферных измерений на ионозонде в Иркутске.
- Для всех длинных рядов данных проводилась спектральная обработка и статистический анализ основных периодичностей в каждой из рассматриваемых систем.

Вариации геомагнитного поля

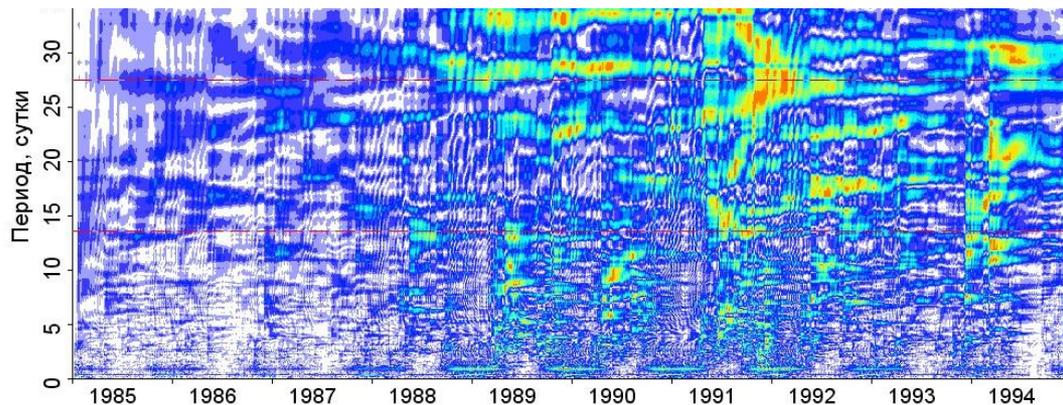
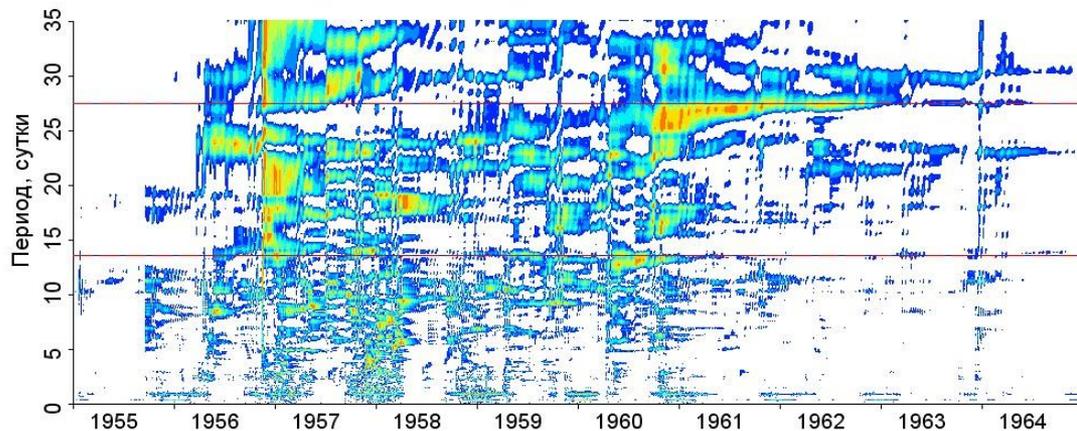
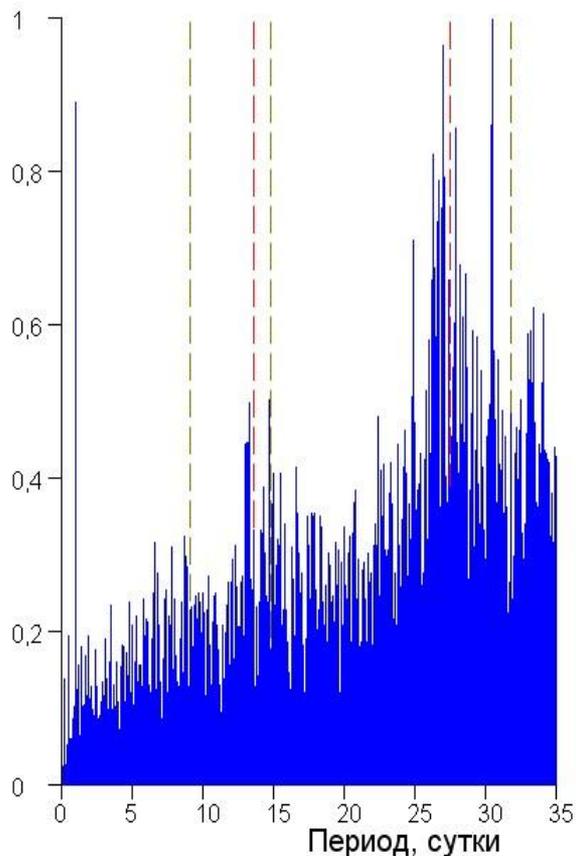


Спектр многолетних вариаций геомагнитного 3х часового индекса Kp 1965-2015гг



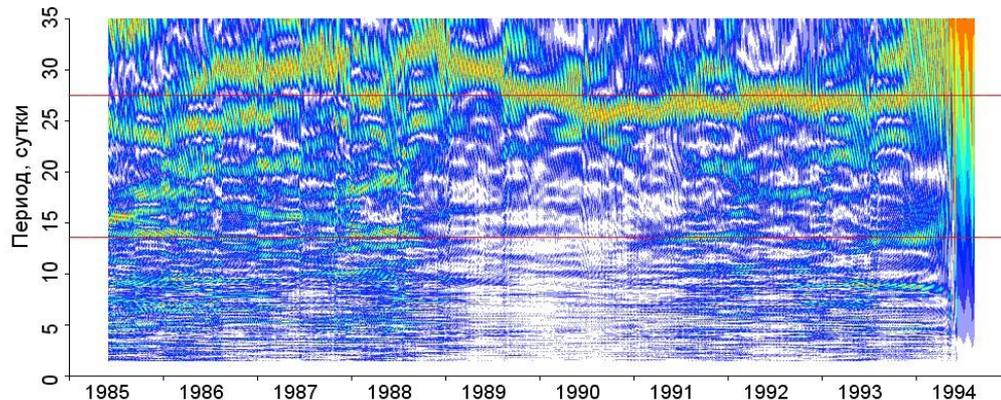
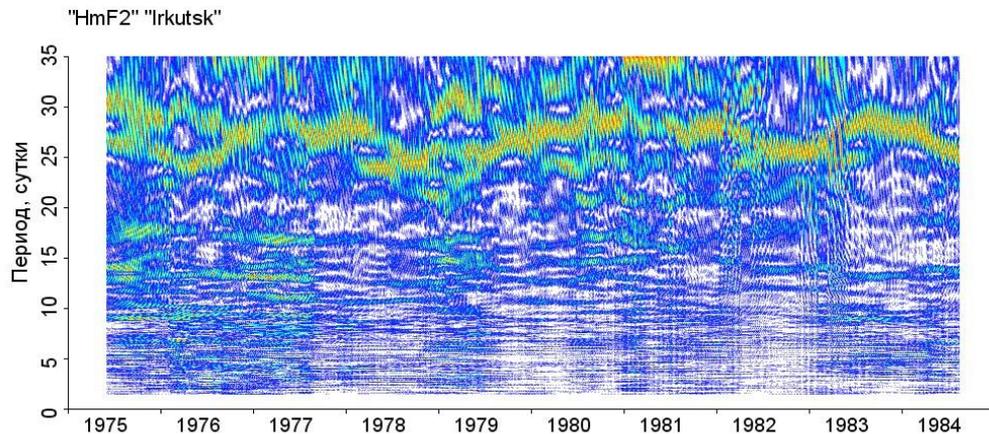
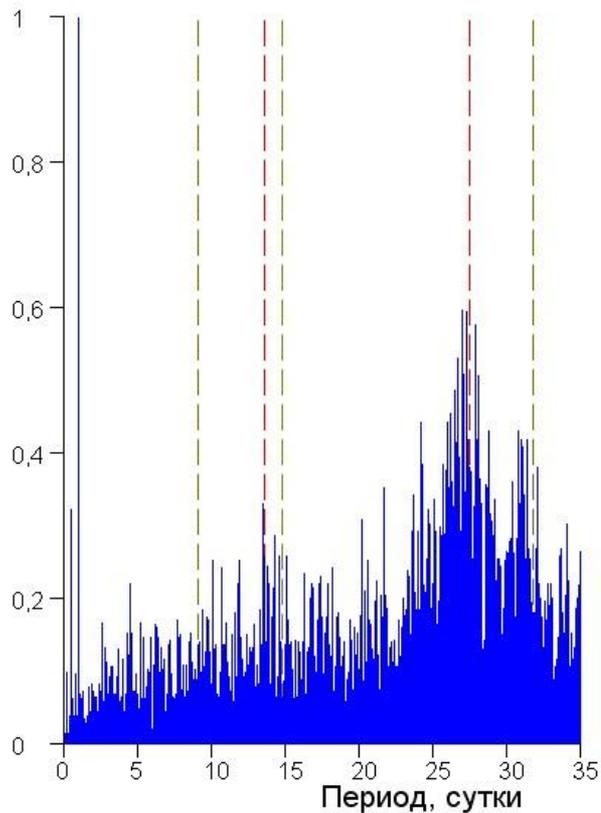
- Наиболее выражены приливные вариации проявляются в геомагнитном поле с периодами 13.66, 9.1, 27.55 суток.
- В годы высокой солнечной активности вариации с периодом ~ 27.55 суток могут маскироваться вариациями солнечной активности, имеющей периоды 25-30 суток.
- Вариации геомагнитного поля определяются большой массой магматического ядра Земли, участвующего в гравитационном взаимодействии.

Проявление гравитационного прилива в критической частоте ионосферного слоя F2 (Данные иркутского ионозонда)



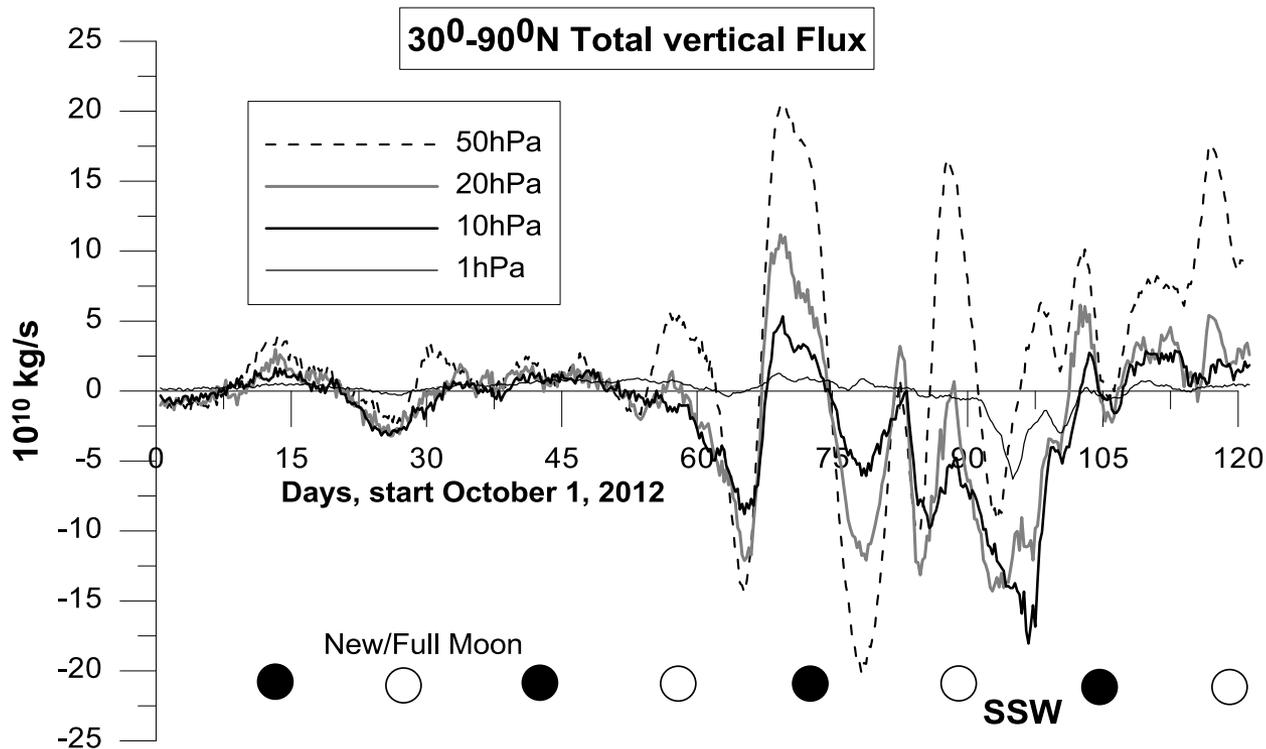
- По многолетним данным ионозонда в Иркутске 1955-1995гг установлено, что в спектре foF2 также присутствуют временные интервалы со значительным усилением гармоник гравитационного прилива.
- Временные периоды интенсификации приливных гармоник соответствуют вариациям гравитационного поля вследствие движения узлов лунной орбиты.
- Отметим присутствие выраженной гармоник с периодом ~31 сутки, которая не относится к приливному модам.

Проявление гравитационного прилива в высоте максимума ионосферного слоя F2 (данные Иркутского ионозонда)



- Аналогичные вариации наблюдаются в спектре hmF2 по данным иркутского ионозонда 1955-1995 гг.
- Наблюдается не приливная гармоника ~31-32 суток.

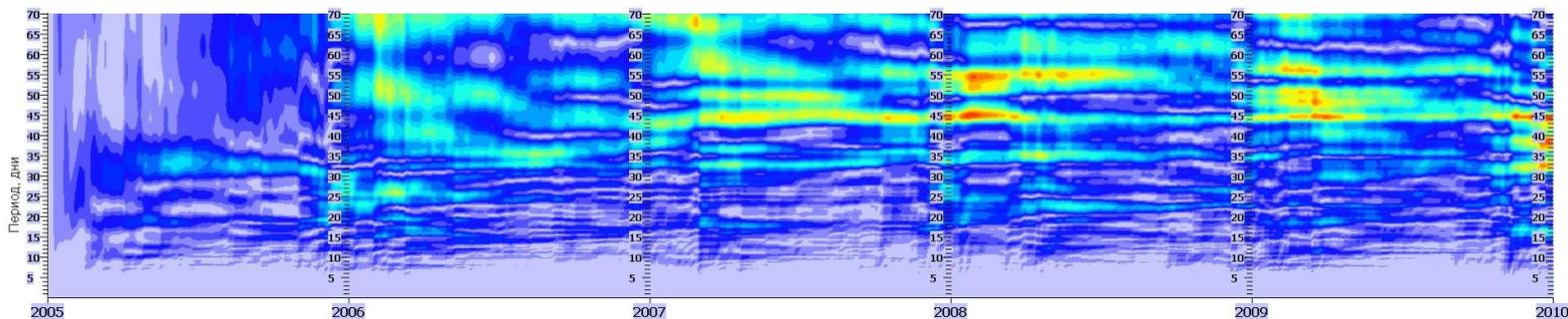
Долгопериодные вариации в стратосфере



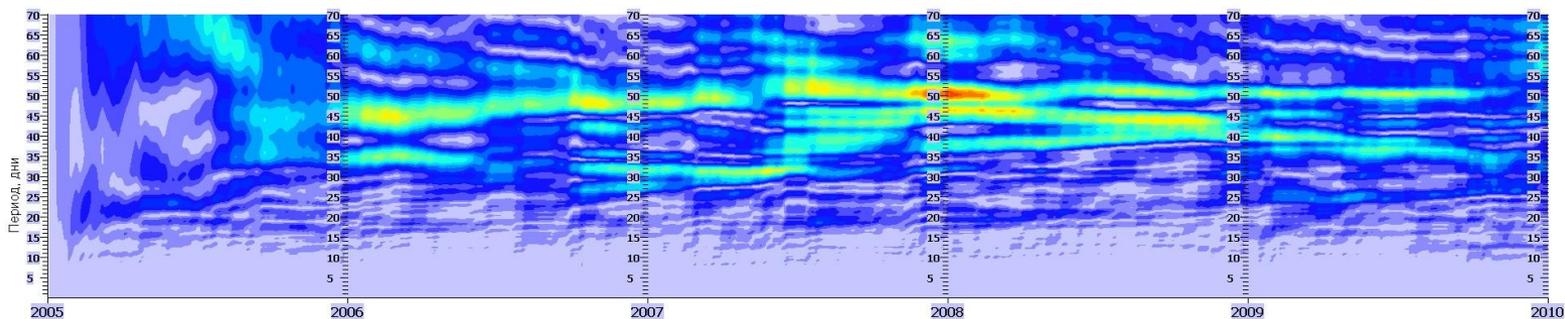
- Вариации полного вертикального потока на разных уровнях стратосферы показывают сильное влияние приливной моды M_f , которая изменяет знак глобальной циркуляции.
- При сизигийном приливе (новолуние и полнолуние) стратосферный воздух поднимается из полярного региона.
- При квадратурном приливе образуется направленный вниз поток, который является спусковым механизмом для изменения структуры стратосферной циркуляции и развития внезапных зимних стратосферных потеплений.

Долгопериодные вариации атмосферного давления.

Текущий амплитудный спектр. Атмосферное давление. Иркутск.

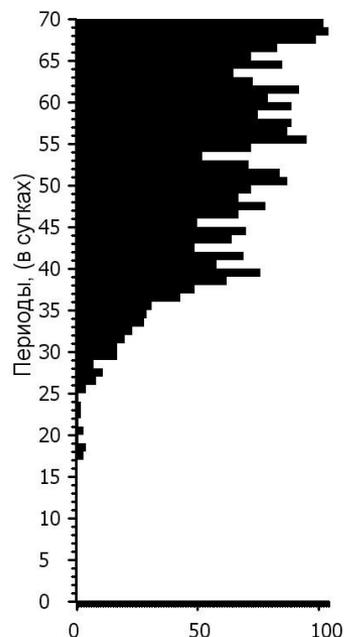


Текущий амплитудный спектр. Атмосферное давление. Чуук.

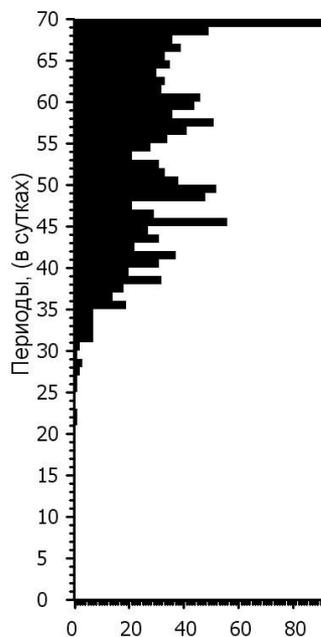


- В вариациях атмосферного давления в тропосфере определяющую роль играют собственные колебательные моды атмосферы, определяемые глобальной циркуляцией океанов.
- Гравитационный прилив для них является параметрическим усилителем на кратных гармониках.
- Атмосферные вариации имеют глобальный характер. Яркая выраженная гармоника 45 суток наблюдается в Иркутске и в восточной части Тихого океана (Chuuk)
- Вследствие наличия собственных колебательных мод океанов и атмосферы гравитационные моды Mf и Mm смещаются и имеют период ~15.5 и ~32 суток. Такие периоды также наблюдаются в ионосферных данных.

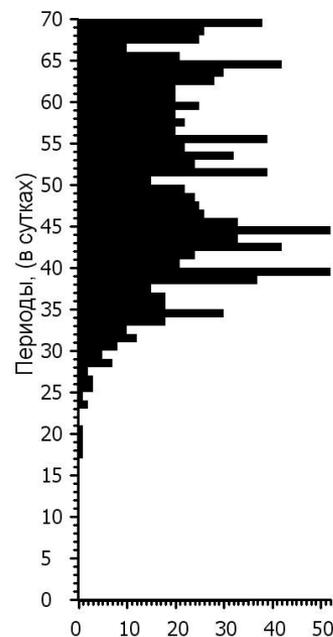
Характеристики океанских течений в Атлантике.



Температура воды выше 70м.



Температура воды ниже 70м.



Давление на глубинах 300-500м.

- В вариациях океанских течений определяющую роль играют собственные колебательные моды океанов, которые особенно ярко выражены ниже пикноклина.
- Гравитационный прилив для них является параметрическим усилителем на кратных гармониках.
- Наиболее выраженные моды ~39 и ~45 суток передаются в верхние слои океана и в тропосферу, где они определяют цикличность возникновения тропических циклонов.

Выводы:

- На основе комплексного анализа эфемерид Луны и Солнца проведено исследование влияния разных спектральных мод гравитационного прилива на долговременные вариации геофизических параметров.
- Выявлены долгопериодные (18.6 и 8.75 лет) вариации амплитуды главной полумесячной и месячной волны, которые объясняют наличие временных интервалов, когда полумесячная или месячная волны слабо проявляются в геофизических параметрах.
- Установлено сильное влияние гравитационного прилива на вариации геомагнитного поля, и на вариации зависящих от него ионосферных параметров h_mF2 и $foF2$.
- Полумесячная приливная мода ярко выражена в динамике стратосферной циркуляции и определяет развитие зимних стратосферных потеплений.
- В вариациях давления и температуры в тропосфере сильнее выражены собственные колебательные моды океанов, для которых гравитационный прилив играет роль параметрического усилителя колебаний.
- Одновременно с этим наблюдается проявление собственных колебательных мод тропосферы в ионосферных параметрах.

Спасибо за внимание!

