

ДИНАМИКА НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВАРИАЦИЙ КР-ИНДЕКСА ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ И ЧИСЛА СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН ДЛЯ 8 ЦИКЛОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ (1932-2018 г).

И.П. Безродных, Е.И. Морозова, А.А. Петрукович (ИКИ РАН)

Введение.

В работе проведен анализ временной структуры амплитуды вариаций числа солнечных пятен SSN и величин K_p - индекса геомагнитной активности в частотном диапазоне $1.0E-3 - 4.5E-3$ 1/сут. (периоды $\sim 2.7 - 0.6$ лет) для 1932-2018 г. Вариации для периодов 0.6 - 4 года. в литературе обычно называют квазипериодическими двухлетними вариациями (quasi-biennial oscillation - QBO). Эти вариации отражают основные базисные процессы развития солнечной активности, возникновение и развитие магнитного поля Солнца. Открытые магнитные потоки передают солнечные QBO в гелиосферу. Уровень геомагнитной активности, определяемый по величине геомагнитных индексов, во многом, определяют параметры солнечного ветра (магнитное поле, скорость, плотность, температура). Коэффициенты корреляции между величиной магнитного поля Солнца и геомагнитными индексами K_p , Dst и AE достаточно высокие, $\sim 70-80\%$. Однако, корреляция между временной динамикой амплитуды вариаций солнечных и гелиосферных параметров QBO низкая. Основные свойства QBO, такие как отсутствие циклической периодичности, переменная амплитудная и временная шкалы вариаций (стохастичность вариаций) регистрируются как для солнечных, так и для гелиосферных QBO. Подробный анализ экспериментальных результатов исследования солнечных магнитных QBO представлен в работе [1]. Изучение вариаций величины aa- геомагнитного индекса для периодов 0.75-2.3 г. (1830-1990 г.) проведено в [2]. Временная динамика вариаций числа солнечных пятен (1873-2000 г.), Ap- индекса геомагнитной активности (1932-1995 г.) и скорости солнечного ветра и межпланетного магнитного поля (1964-2000 г.) рассмотрены в [3]. Изучение вариаций параметров солнечного ветра (скорости, плотности, давления, температуры), межпланетного магнитного поля (B , B_x , B_y , B_z) и вариаций геомагнитных индексов (Dst, AE, Ap и K_p) проведено в [4]. Спектральный анализ числа солнечных пятен, B_z компоненты межпланетного магнитного поля и Ap- индекса геомагнитной активности (1965-2018 г.) в связи с вариациями ГКЛ проведен в [5]. Сравнение вариаций солнечного радио потока на частоте

2800 Мгц (F10.7 см), числа солнечных пятен и потоков ГКЛ для нейтронных мониторов в 22-24 солнечных циклах дано в [6]. Спектральный анализ показал, что в вариациях солнечных параметров (площадь и число солнечных пятен, индексы солнечной активности) и параметров солнечного ветра (магнитное поле, скорость, плотность, температура), в вариациях потоков галактических космических (ГКЛ) и магнитосферных параметров (индексов геомагнитной активности) можно выделить некоторые фундаментальные периоды, периоды QBO. Наиболее характерные вариации регистрируются вблизи периодов: ~ 0.7 г., 1.1г., 1.3 г., 1.7 г., 1.9 г. 2.5 г., 3-4 года. Вопрос о корреляционных связях для амплитудных вариаций между отдельными параметрами остается открытым. В работе рассчитаны спектры мощности вариаций числа солнечных вспышек (SSN) и величин Кр-индекса геомагнитной активности для 1932-2018 г. и проведен сравнительный анализ временной структуры амплитуды вариаций числа солнечных пятен (δSSN) и величин Кр индекса геомагнитной активности (δKp) для 6 выделенных периодов вариаций: 2.36 года. (частота $1.2E-3$ 1/суток.), 1.72 г ($1.6E-3$), 1.44 г. ($1.9E-3$), 1.09 г. ($2.5E-3$), 0.72 г. ($3.8E-3$), 0.61 г. ($4.5E-3$).

Вариации солнечной и геомагнитной активности 1932-2018 г.

Динамика солнечной и геомагнитной активности в 1932-2018 г. для среднегодовых величин солнечных пятен и Кр индекса представлена на рис. 1. Отметим некоторые особенности динамики SSN и Кр индекса, важные для сравнительного анализа динамики амплитуды вариаций δSSN и δKp [7]. Солнечная активность (динамика числа солнечных пятен в максимуме цикла) постепенно растет с 17 до 19 цикл и постепенно спадает между 21 и 24 циклами, среди 7 циклов (17-23) в 20 цикле самое маленькое число солнечных пятен, в 24 цикле число SSN ~ на 45% меньше среднего числа SSN за 7 циклов Циклы солнечной активности и геомагнитной активности по времени не совпадают. Минимум геомагнитной активности наблюдается в начале очередного цикла на фазе подъема (запаздывание ~ 1 год), максимум Кр наблюдается ~ через 4 года после максимума цикла. В среднем максимальная в цикле геомагнитная активность не зависит от числа солнечных пятен в максимуме цикла и от полного пятен в цикле. Практически постоянная геомагнитная активность наблюдается с 1938 г. по 1942 (17 цикл) и с 1967 г. по 1972 г. (20 цикл), максимальная величина Кр индекса зарегистрирована в 2003 г. (23 цикл).

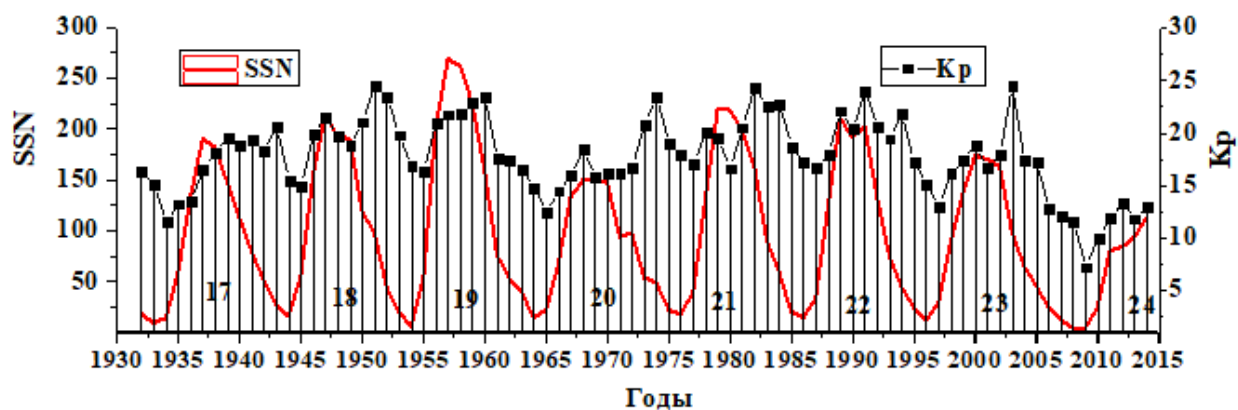
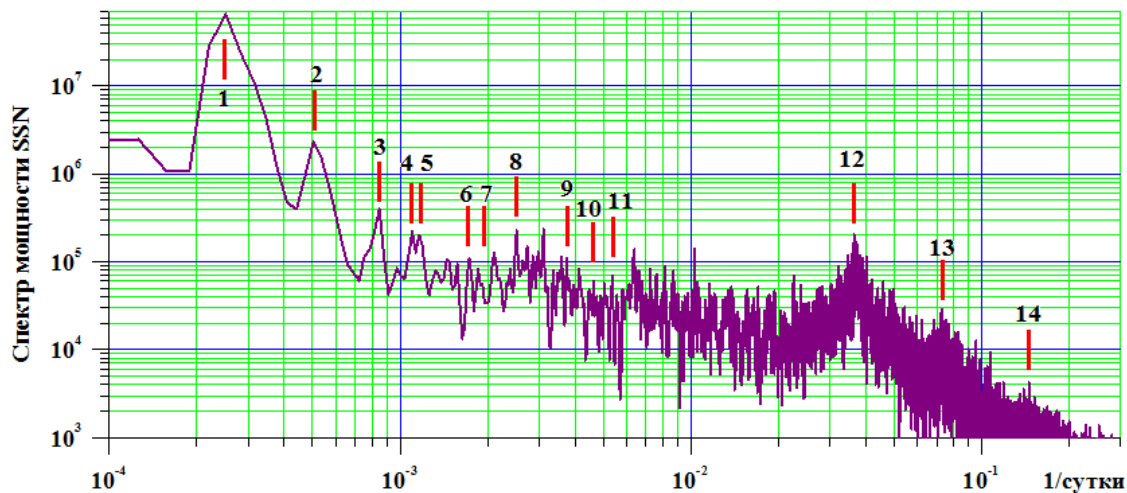


Рис.1. Среднегодовые величины числа солнечных пятен (SSN) и среднегодовые среднесуточные значения Kp-индекса за период с 1932 по 2019 г. (17-24 циклы).

Для выделения частотных характеристик вариаций SSN и kр-индекса была вычислена спектральная плотность мощности суточных величин числа солнечных пятен SSN и среднесуточных значений kр-индекса для 1932-2018 г. (рис.2). В частотных характеристиках вариаций спектральной мощности можно выделить ряд возрастаний мощности, регистрируемых на близких для обоих параметров частотах.

| 1932 - 2018 г | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| период | 3972.0 | 1986.0 | 1176.9 | 907.9 | 859.8 | 628.0 | 512.5 | 397.2 | 262.6 | 216.0 | 182.6 | 27.5 | 13.7 | 6.9 сут. |
| частота | 2.5E-4 | 5.0E-4 | 8.5E-4 | 1.1E-3 | 1.2E-3 | 1.6E-3 | 1.9E-3 | 2.5E-3 | 3.8E-3 | 4.6E-3 | 5.5E-3 | 3.6E-2 | 7.3E-2 | 1.5E-1 |



| 1932 - 2018 г | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| период | 3972.0 | 1986.0 | 1444.0 | 993.0 | 859.8 | 628.0 | 512.5 | 397.2 | 262.6 | 216.0 | 182.6 | 27.5 | 13.7 | 6.9 сут. |
| частота | 2.5E-4 | 5.0E-4 | 6.9E-4 | 1.0E-3 | 1.2E-3 | 1.6E-3 | 1.9E-3 | 2.5E-3 | 3.8E-3 | 4.6E-3 | 5.5E-3 | 3.6E-2 | 7.3E-2 | 1.5E-1 |

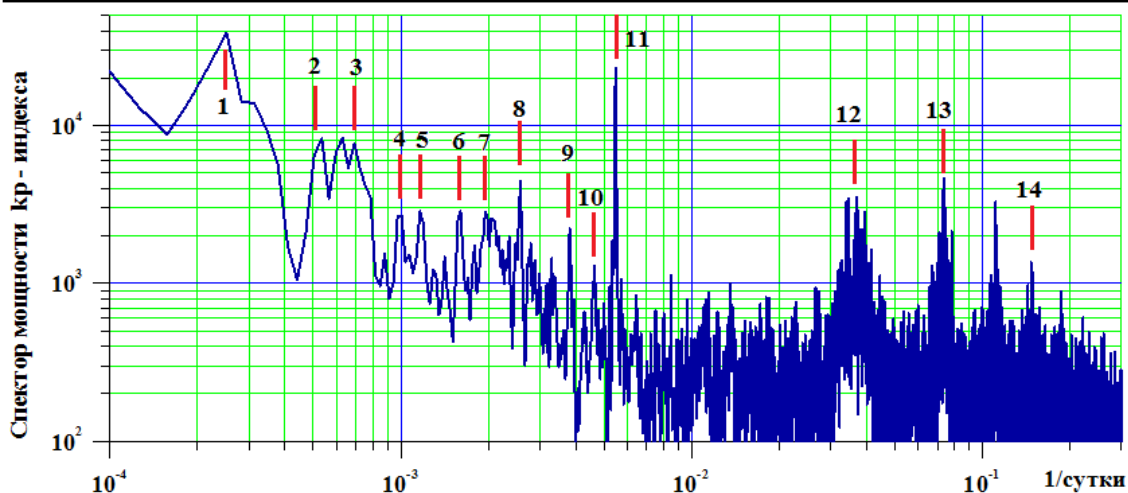


Рис.2. Спектральная плотность мощности среднесуточных величин числа солнечных пятен SSN и Кр-индекса геомагнитной активности для периода 1932-2018 г. Красным выделены возрастания мощности, зарегистрированные на близких для SSN и Кр-индекса частотах. Эти частоты пронумерованы, в верхней части рисунка указаны соответствующие частоты и периоды.

На рис. 2. эти частоты пронумерованы и выделены красным цветом, в верхней части рис. 2. указаны соответствующие частоты и периоды. Значительное усиление спектральной мощности для кр-индекса на частоте $5.5E-3$ 1/сут. (период 0.5 лет) связан с годовой динамикой ориентации

магнитного диполя Земли относительно гелиосферной топологии, что приводит к появлению полугодовых (сезонных) вариаций геомагнитной активности. Сравнительный анализ временной структуры вариаций числа солнечных пятен (δSSN) и величин Кр индекса (δKp) был проведен для 6 выделенных периодов вариаций: 2.36 г. (частота $1.2E-3$ 1/сут.) , 1.72 г.($1.6E-3$) , 1.44 г.($1.9E-3$), 1.09 г.($2.5E-3$), 0.72 г.($3.8E-3$), 0.61 года ($4.5E-3$).

Временная динамика амплитуды вариаций числа солнечных пятен и величин Кр - индекса.

Для выделения динамических характеристик амплитуды вариаций на определенной частоте мы применили несколько частотных фильтров. Обычно, для каждой частоты данные фильтровались несколькими фильтрами (в зависимости от частоты от двух до пяти фильтров) с разной шириной полосы пропускания и с ~ 95 % эффективностью для выделенной частоты.

На рис. 3-10 для 6 выделенных частот представлена временная динамика амплитуды вариаций δSSN и δKp и указана полоса пропускания фильтра.

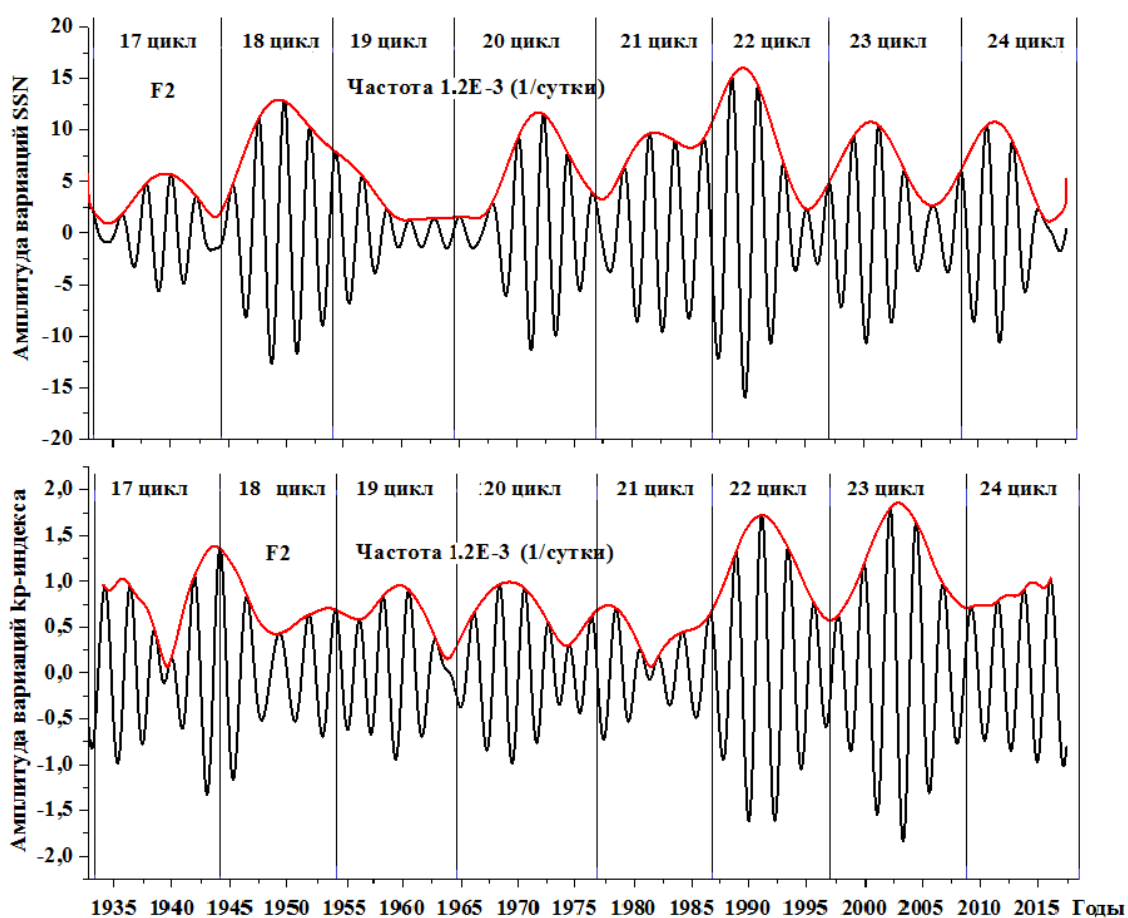


Рис.3. Амплитуда вариаций на частоте $1.2E-3$ 1/сут. среднесуточных величин числа солнечных пятен SSN и величин Кр-индекса геомагнитной активности для периода 1932-2018 г. Полоса пропускания фильтра От $1.0E-3$ до $1.4E-3$ 1/сут.

Частота $1.2E-3$ 1/сут (период ~ 2.36 год)

В течение 8 солнечных циклов временная динамика амплитуды вариаций δSSN имеет достаточно регулярный характер: регистрируется значительная ~ 11 лет модуляция амплитуды вариаций и более слабая модуляция ~ 22 лет. В 18, 20-23 солнечных циклах амплитуда δSSN достигает максимума вблизи максимума числа солнечных пятен и уменьшается на фазе спада активности. Максимальная амплитуда δSSN фиксируется в 1988-1990 г. (максимум 22 цикла). Временная динамика амплитуды вариаций δKp , в основном, повторяет динамику среднегодовых величин Kp индекса, повторяет динамику цикла геомагнитной активности. Локальные максимумы амплитуды δKp внутри циклов регистрируются \sim через 4 года после максимума солнечной активности, в периоды максимальной геомагнитной активности. Максимальная амплитуда δKp зарегистрирована в 2003 г.

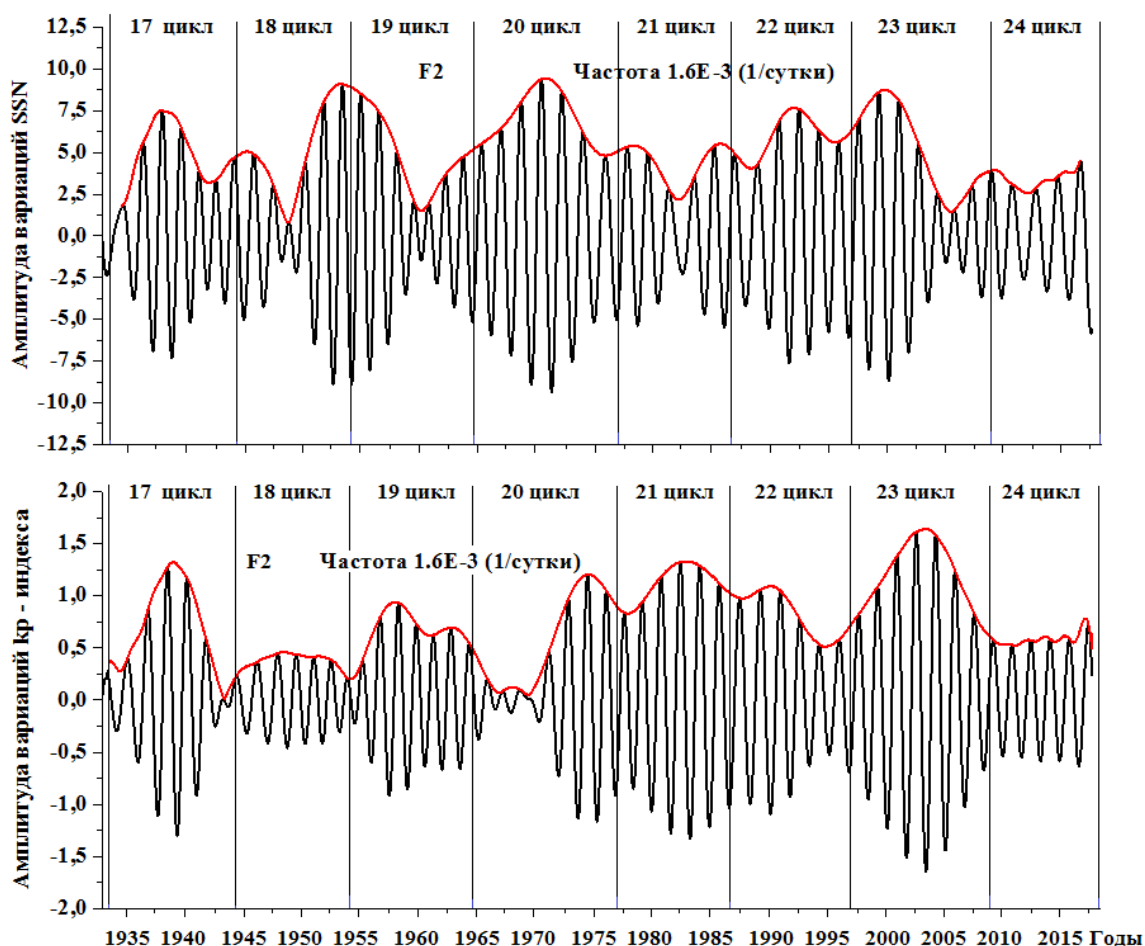


Рис. 4. Амплитуда вариаций на частоте $1.6E-3$ 1/сут. среднесуточных величин числа солнечных пятен SSN и величин Kp индекса геомагнитной активности для периода 1932 - 2018 г. Полоса пропускания фильтра $1.4E-3$ - $1.8E-3$ (1/сут).

Частота $1.6E-3$ 1/сут (период ~ 1.7 года.)

Во временной динамике амплитуды локальных максимумов и минимумов вариаций δSSN регистрируются некоторые квазициклические вариации с периодами в среднем ~ 14 лет, для максимумов амплитуды с периодом ~ 16 лет, для минимумов с периодом ~ 12.6 лет. На данной частоте нет прямой связи динамики амплитуды δSSN с динамикой числа солнечных пятен в циклах. В 17, 20 и 23 циклах максимальные амплитуды δSSN регистрируются вблизи максимумов активности, в 18, 19 и 21 циклах вблизи максимумов циклов регистрируются минимальные амплитуды δSSN .

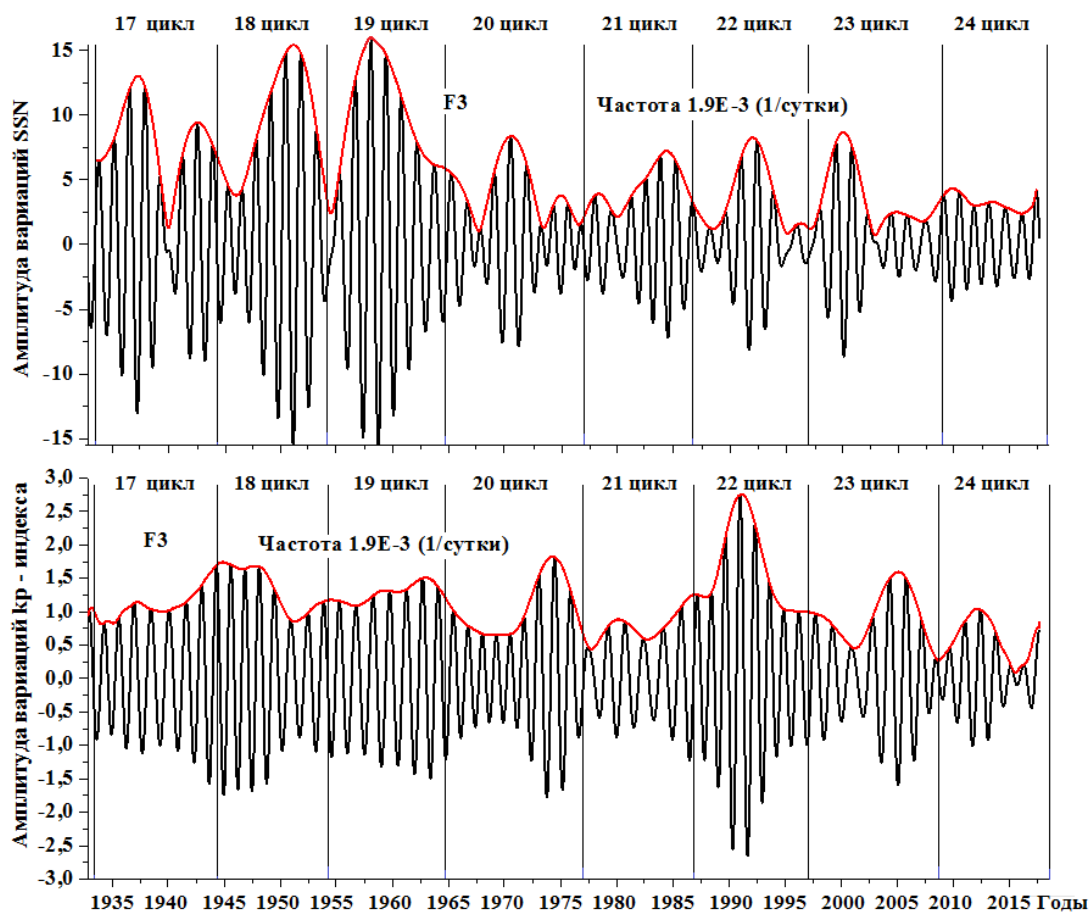


Рис.5. Амплитуда вариаций на частоте $1.9E-3$ 1/сут. Средне-суточных величин числа солнечных пятен SSN и величин Kp индекса геомагнитной активности для периода 1932- 2018 г. Полоса пропускания фильтра от $1.6E-3$ до $2.1E-3$ (1/сут).

Во временной динамике амплитуды локальных максимумов и минимумов вариаций δKp регистрируются некоторые нерегулярные вариации с периодами в среднем ~ 14 лет, для максимумов амплитуды с

пери-одом ~ 12 лет, для минимумов с периодом ~ 16 лет. Временная структура амплитуды вариаций δKp частично повторяет динамику среднегодовых величин Kp индекса. Локальные минимумы амплитуды вариаций δKp для 17 - 23 циклов регистрируются \sim через 1-2 года после минимумов солнечной активности. В течение ~ 7 лет (1967-1972 г.) в 20 цикле регистрируются минимальные амплитуды вариаций δKp . Максимальная амплитуда вариаций δKp зарегистрирована в 2003 г.(23 цикл).

Частота $1.9E-3$ 1/сут (период ~ 1.4 года)

Во временной динамике амплитуды локальных максимумов и минимумов вариаций δSSN регистрируются некоторые квазициклические вариации с периодами в среднем $\sim 11,8$ лет, для максимумов амплитуды с периодом ~ 10.4 лет, для минимумов с периодом ~ 13.2 лет, регистрируются также вариации с периодами ~ 22 лет и ~ 29 лет (два периода). В 17, 19 и 23 циклах локальные максимумы амплитуды δSSN регистрируется вблизи максимумов солнечных циклов, в 18, 21 и 22 циклах на фазе спада солнечной активности, \sim через 3 года после максимума. Локальные минимумы амплитуды δSSN регистрируется вблизи минимумов 18, 20 и 22 циклов. В течение 17-23 циклов регистрируются достаточно хаотические вариации амплитуды δKp с периодом ~ 14 г. На данной частоте нет прямой связи динамики амплитуды δKp с динамикой числа солнечных пятен в циклах. В 18, 21 и 22 циклах локальные максимумы амплитуды δKp регистрируется вблизи максимумов солнечных циклов, в 19, 20 и 23 циклах \sim через 4 часа после максимума солнечного цикла при максимальных величинах Kp индекса. Локальные минимумы амплитуды δKp регистрируется в 1969 г.(максимум 20 цикла) и через 31 г. в 2000 г. (максимум 23 цикла)

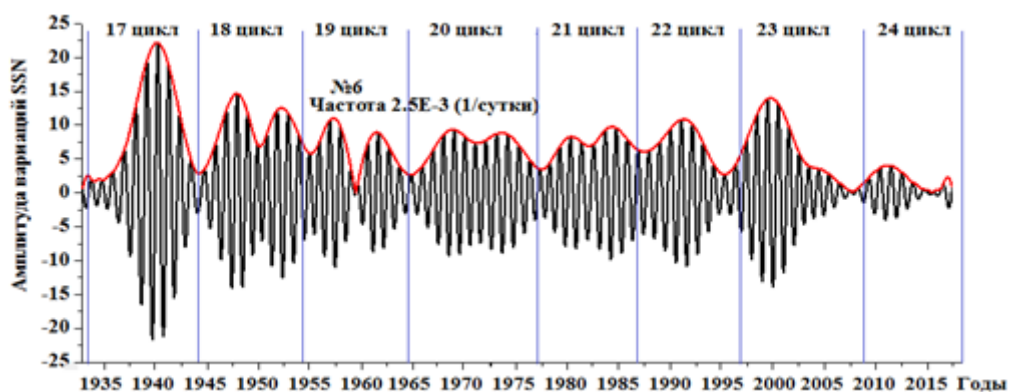


Рис.6. Амплитуда вариаций на частоте $2.5E-3$ (1/сут). среднесуточных величин числа солнечных пятен SSN и величин Kp -индекса геомагнитной активности для периода 1932 - 2018 г. Полоса пропускания фильтра от $2.2 \cdot E-3$ до $2.8 \cdot E-3$ (1/сут).

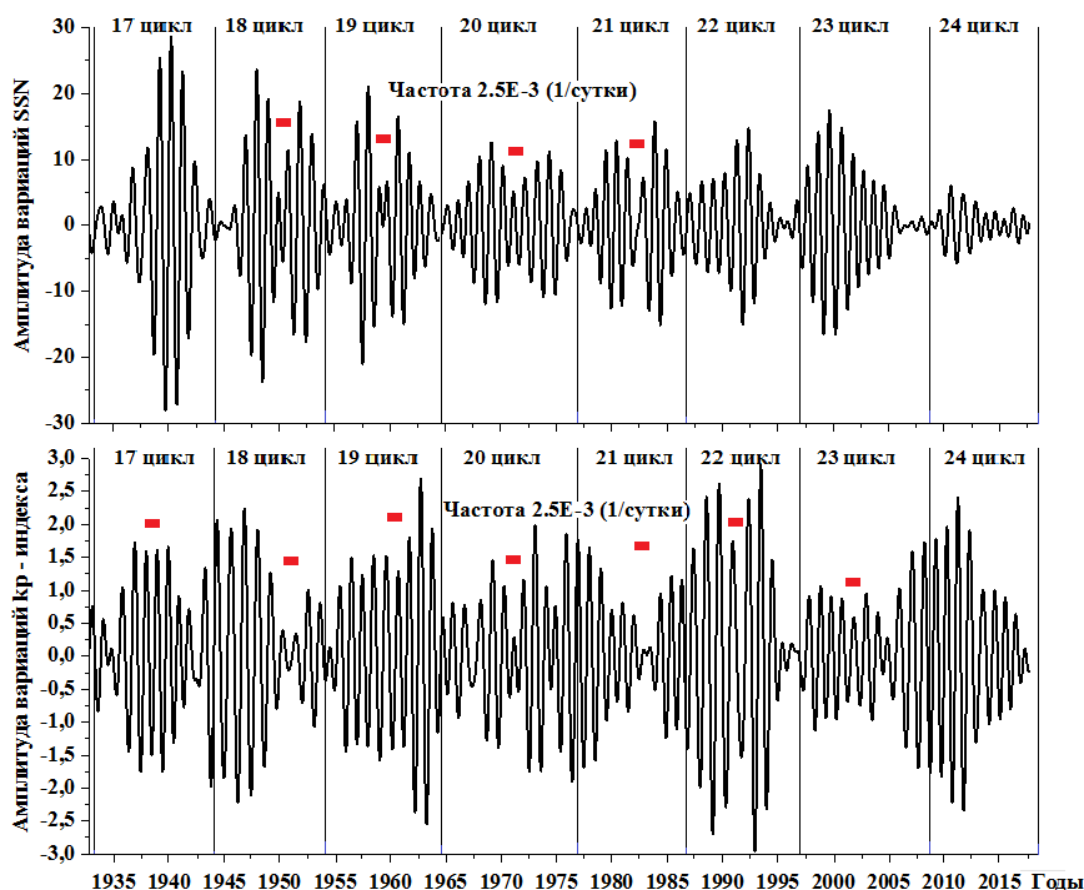


Рис.7. Амплитуда вариаций на частоте $2.5E-3$ (1/сут). среднесуточных величин числа солнечных пятен SSN и величин Kp индекса геомагнитной активности для периода 1932 - 2018 г. Полоса пропускания фильтра от $2.0E-3$ до $3.0E-3$ (1/сут). Красным отмечены периоды регистрации сдвоенных максимумов вариаций δSSN и δKp вблизи максимумов солнечных циклов.

Частота $2.5E-3$ 1/сут (период 1.06 г.)

Временная динамика амплитуды вариаций δSSN и δKp показывает ~11-летние циклические вариации, минимальные величины δSSN регистрируются вблизи минимумов солнечных циклов. Внутри солнечных циклов регистрируется два максимума интенсивности амплитуды для δSSN (18-21 циклы) и для δKp (17-23 циклы), один вблизи максимума активности, другой через 2-3 года, в промежутке между ними амплитуды вариаций значительно снижаются. Такие разделенные максимумы вариаций для δSSN и δKp вероятно отражают эффект Гневешева для вариаций числа солнечных пятен вблизи максимумов солнечной активности [8, 9]. Максимальные амплитуды δKp зарегистрированы в 1962г. (19 цикл) и через ~ 30 лет в 1992 г. (22 цикл) при максимальных величинах Kp индекса на фазе спада солнечной активности в 19 и 22 солнечных циклов.

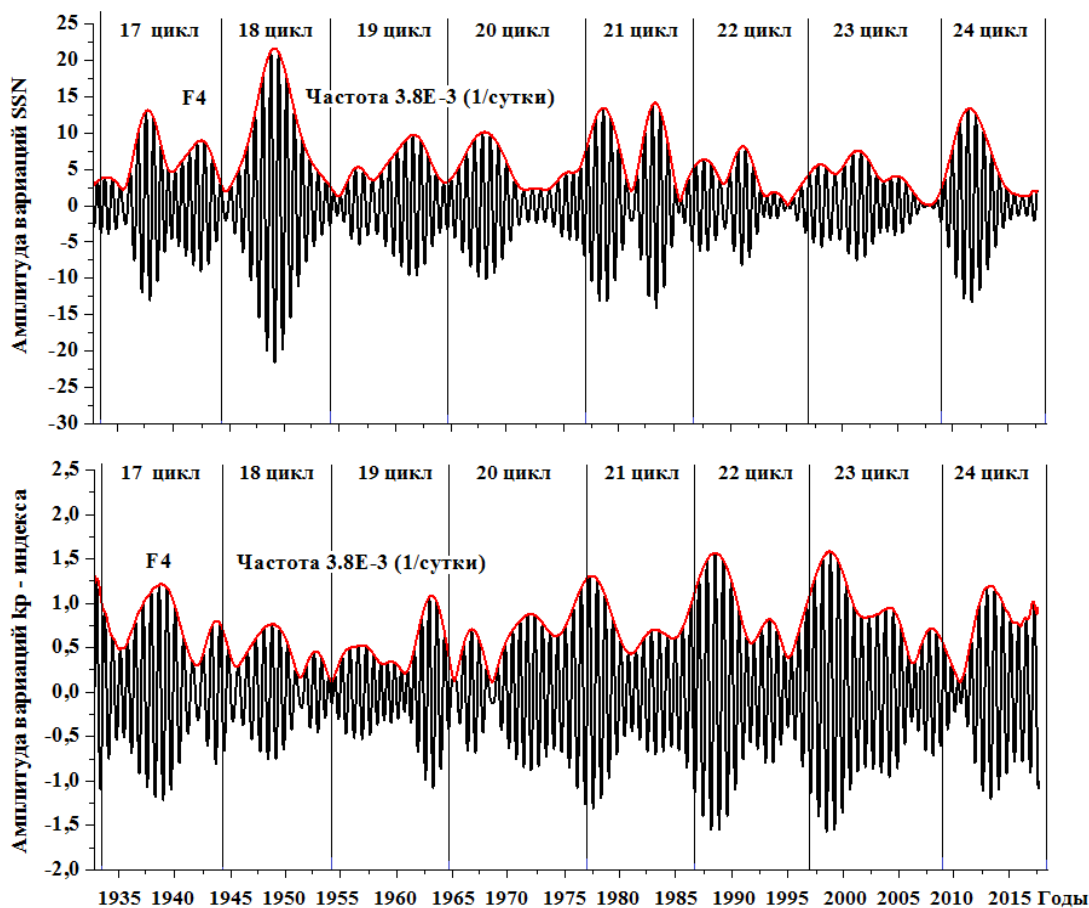


Рис.8. Амплитуда вариаций на частоте $3.8E-3$ (1/сут). среднесуточных величин числа солнечных пятен SSN и величин Kp индекса геомагнитной активности для периода 1932- 2018 г. Полоса пропускания фильтра $3.4E-3 - 4.2E-3$ (1/сут).

Частота $3.8E-3$ 1/сут. (период 0.72 г.)

Временная динамика локальных минимумов и максимумов амплитуды вариаций δSSN показывает циклические вариации с периодом 11 лет, можно выделить также нерегулярные вариации амплитуды с периодами ~ 22 и ~ 32 года (два периода). Локальные минимумы амплитуды δSSN зарегистрированы вблизи минимумов солнечных циклов, максимальная амплитуда — вблизи максимума 18 цикла солнечной активности (1947 г.). В структуре вариаций δSSN внутри 17, 19, 21, 22 и 23 циклов регистрируются вариации с периодом ~ 4.2 года, регистрируются два локальных максимума амплитуды δSSN , первый вблизи максимума цикла, второй \sim через 4.2 года. Временная динамика локальных минимумов и максимумов амплитуды δKp показывает нерегулярные вариации с периодами ~ 10 , 22 и 31 г. (один период). Максимальная амплитуда δKp зарегистрирована в 23 цикле. В структуре амплитуды вариаций δKp внутри 17-23 циклов регистрируются два локальных максимума амплитуды δKp с периодом ~ 4.5 года.

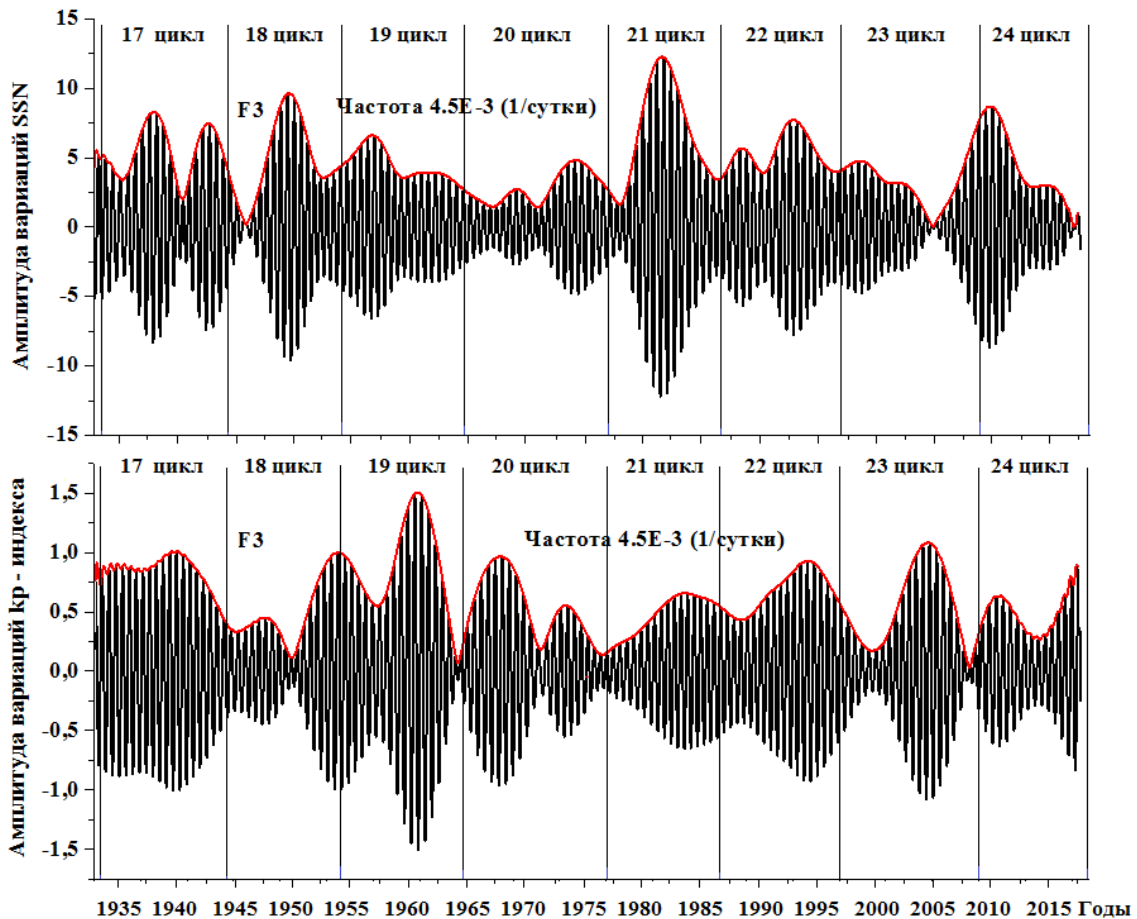


Рис. 9. Амплитуда вариаций на частоте $4.5E-3$ (1/сут). среднесуточных величин числа солнечных пятен SSN и величин Kp-индекса геомагнитной активности для периода 1932 - 2018 г. Полоса пропускания фильтра от $4.2 \cdot E-3$ до $4.8 \cdot E-3$ (1/сут).

Частота $4.5E-3$ 1/сут (период 0.61 года)

Временная динамика локальных минимумов и максимумов амплитуды δSSN показывает нерегулярные вариации с периодами ~ 12 , ~ 23 и ~ 33 года. Максимальные амплитуды δSSN зарегистрированы в 1950, 1981 г. (вблизи максимумов 18 и 21 циклов) и в 2010 г. (минимум 23 цикла), в среднем с периодом ~ 30 лет. Внутри цикла, как правило, амплитуды δSSN увеличиваются при увеличении активности, достигают максимума вблизи максимума цикла и далее постепенно уменьшаются. Следует отметить, в 17, 19, 20 и 22 циклах внутри циклов регистрируются два максимума амплитуды δSSN , первый вблизи максимума цикла, второй \sim через ~ 3 года (возможен эффект Гневьева в амплитуде вариаций). Временная динамика локальных минимумов и максимумов амплитуды δKp показывает нерегулярные вариации с периодом ~ 11 и ~ 21 года. Локальные максимумы амплитуды δKp регистрируются в среднем через ~ 3.6 г. после максимумов активности в 17, 19-23 солнечных циклов в

периоды максимальной геомагнитной активности. В 20 цикле зарегистрировано 2 максимума амплитуды δK_p , по времени совпадающих с двумя максимумами амплитуды δSSN (возможно отклик на эффект Гладышева в амплитуде δK_p).

На рис.10 для трех периодов вариаций (~ 0.6 г., 0.7 г. и 1.4 г.) показана временная структура вариаций числа солнечных пятен δSSN , полученная с использованием фильтров с узкой полосой пропускания. Отметим, некоторый особый характер динамики амплитуды вариаций до и после 20 цикла, после ~ 1970 г. (20 цикл) значительно меняется динамика амплитуды вариаций: для периодов 1.4 г. и 0.7 г. амплитуды вариаций уменьшаются, для периода 0.6 г. повышаются. Локальные минимумы вариаций амплитуды для периодов 1.7 г. и 0.7 г. регистрируются ~ через 26 лет, для периода 0.6 г. ~ через 34 г. Вероятно, этот эффект связан с общей динамикой солнечной активности: рост солнечной активности от 17 до 19 циклов и спад после 20 солнечного цикла (рис.1).

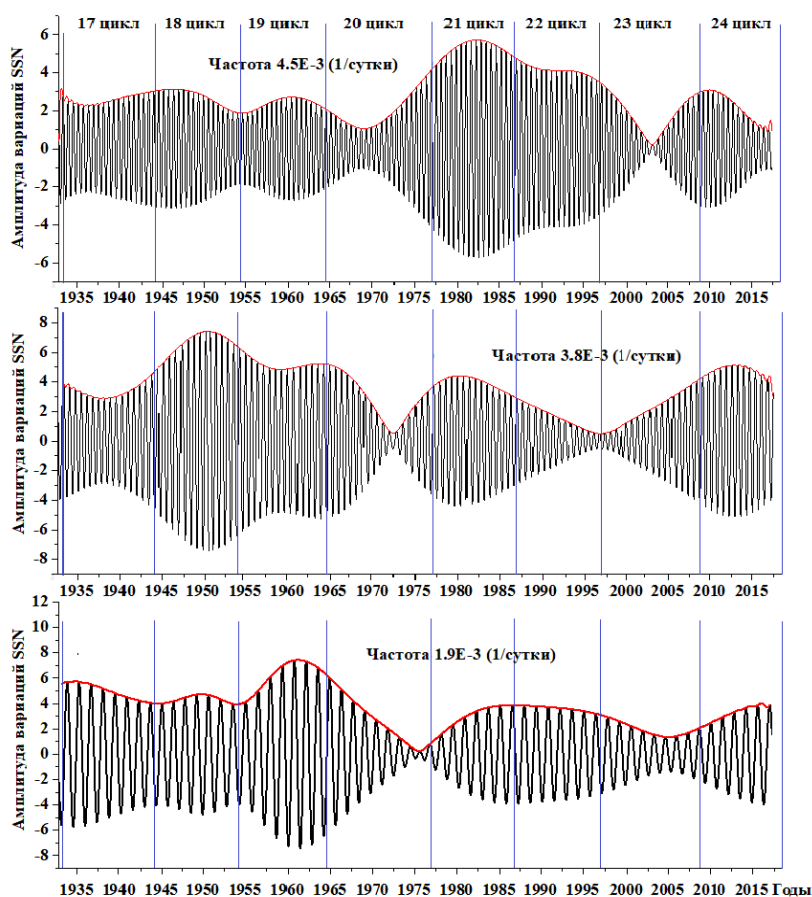


Рис.10. Амплитуда вариаций среднесуточных величин числа солнечных пятен SSN и величин K_p индекса геомагнитной активности (период 1932 - 2018 г.) для частоты $4.5E-3$ (1/сут). (полоса пропускания фильтра от $4.3E-3$ до $4.7E-3$ 1/сут), для частоты $3.8E-3$ 1/сут. (полоса пропускания фильтра от $3.6E-3$ до $4.0E-3$ 1/сут) и для частоты $1.9E-3$ 1/сут. (полоса пропускания фильтра от $1.7E-3$ до $2.1E-3$ 1/сут).

Основные результаты.

В работе проведен сравнительный анализ структуры временной динамики амплитуды вариаций числа солнечных пятен и величин K_p индекса в частотном диапазоне $\sim 1.2E-3 - 4.5E-3$ 1/сут. (периоды $\sim 2.4-0.6$ лет) для 1932-2018 г .

1.Переменная амплитудная и временная шкалы вариаций (стохастичность вариаций) являются характерной чертой вариаций δSSN и δK_p

2.Временная структура вариаций амплитуды δSSN и δK_p показывает квазициклические вариации с периодами в среднем ~ 11 лет, ~ 22 г. и ~ 31 г. Эти периоды по времени часто не совпадают с периодами вариаций числа SSN и величин K_p индекса. Временная динамика абсолютных величин локальных минимумов и максимумов амплитуды δSSN и δK_p почти не зависит от вариаций числа SSN и величин K_p индекса в солнечных циклах.

3.Эффект Гневышева (“Gnevyshev Gap”) зарегистрирован в динамике амплитуды вариаций δSSN и δK_p для 7 солнечных циклах (17-23 циклы) для частоты $2.5E-3$ (1/сут). Внутри солнечных циклов регистрируется два максимума амплитуды , один вблизи максимума активности, другой через 2-3 года, в промежутке между ними амплитуды вариаций значительно снижаются.

4. Изменения крупномасштабной временной структуры вариаций δSSN и δK_p после 20 солнечного

цикла отражают изменения общей динамикой солнечной активности.

Литература.

1. G. Bazilevskaya A.-M. Broomhall Y. Elsworth V. M. Nakariakov/ Combined Analysis of the Observational Aspects of the Quasi-biennial Oscillation in Solar Magnetic Activity//. Space Science Reviews December 2014, Volume 186, Issue 1–4, pp 359–386
2. K. Mursula B. Zieger J.H. Vilppola/Mid-term quasi-periodicities in geomagnetic activity during the last 15 solar cycles: Connection to solar dynamo strength//Solar Physics 2003, Volume 212, Issue 1, pp 201–207. Doi:10.1023/A:1022980029618
3. S. R. PRABHAKARAN NAYAR1, V. N. RADHIKA1, K. REVATHY2 and V. RAMADAS/ WAVELET ANALYSIS OF SOLAR, SOLAR WIND AND GEOMAGNETIC PARAMETERS//Solar Physics 2002, 208: 359–373.
4. C. Katsavrias · P. Preka-Papadema · X. Moussas/ Wavelet Analysis on SolarWind Parameters and Geomagnetic Indices// Solar Phys, 2012, DOI 10.1007/s11207-012-0078-6
5. M. Tsihla M., Gerontidou H., Mavromichalaki M. / Spectral Analysis of Solar and Geomagnetic Parameters in Relation to Cosmic-ray Intensity for the Time Period 1965 – 2018//Solar Physics 2019, 294:15
6. Prithvi Raj Singh · C.M. Tiwari · S.L. Agrawal · Tarun Kumar Pant/ Periodicity Variation of Solar Activity and Cosmic Rays During Solar Cycles 22 – 24//Solar Phys, 2019 294:118 <https://doi.org/10.1007/s11207-019-1511-x>
7. И. П. Безродных, Е. И. Морозова, А. А. Петрукович, М. В. Кожухов/Динамика солнечной и геомагнитной активности. II. Периодические вариации солнечной и геомагнитной активности// “Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ”, М.: АО «КОРПОРАЦИЯ ВНИИЭМ».-2019. Том 171 №4, с. 24-38
8. G.A. Bazilevskaya, M.B. Krainev, V.S. Makhmutov, E.O. Flückiger, A.I. Sladkova, M. Storini/ Structure of the maximum phase of solar cycles 21 and 22// Sol. Phys. 197, 157–174 (2000). Doi:10.1023/A:1026515520311

9. A. Kilcik, A. Ozguc, One possible reason for double-peaked maxima in solar cycles: is a second maximum of solar cycle 24 expected? Sol. Phys. 2014, 289, 1379–1386, doi:10.1007/s11207-013-0407-4

Иннокентий Петрович Безродных, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник,
т. (495) 333-20-00, e-mail: d54x@mail.ru.

Евгения Ивановна Морозова, кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник,
т. (495) 333-20-00, e-mail: morozova.evgeniya2014@yandex.ru.

Анатолий Алексеевич Петрукович, член-корреспондент РАН, директор
ИКИ РАН,
т. (495) 333-32-67, e-mail: apetruko@iki.rssi.ru.
(ИКИ РАН).

Полный текст доклада находится на сайте:

<http://www.d54x.ru>

в разделе Radiation belts(rus)