

ПРОГНОЗ И ЭПИГНОЗ ДОЛГОПЕРИОДНЫХ ВАРИАЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ ИНДЕКСОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

© 2004 г. А. В. Белов, Р. Т. Гущина, В. Н. Обридко, Б. Д. Шельтинг, В. Г. Янке
Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН

На основе модели, связывающей модуляцию космических лучей (КЛ) с индексами солнечной активности дан прогноз потока КЛ на следующий солнечный цикл и восстановлено поведение КЛ в 17-20 веках. Прогноз потока КЛ выполнен на основе прогноза основных характеристик магнитного поля Солнца. Для восстановления поведения КЛ в прошлом использованы числа солнечных пятен и индексы геомагнитной активности.

FORECASTING AND EPIGNOZ OF LONG TERM COSMIC RAYS VARIATIONS BASED ON DIFFERENT INDECES OF SOLAR ACTIVITY

A.V.Belov, R.T.Gushchina, V.N. Obridko, B.D. Shelting and V.G.Yanke

Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS, Moscow region, Russia

Using the model of cosmic rays (CR) modulation, which considers a relation between long-term CR variations with indecex of the solar activity, CR variations for the next solar cycle are predicted and the time history of CR variations for the past (17-20 centuries) recovered. The forecast of the CR variations based on the predicted values of the global characteristics of the solar magnetic field are realised. Long-term 10 GV cosmic ray behavior in the past reconstructed from the data of solar and geomagnetic activities .

Введение.

Для диагностики состояния гелиосферы и последующего прогноза космической погоды необходимо знание временных изменений важной составляющей космической среды - потока КЛ и соответственно его прогноз. Цель работы – на основании имеющейся информации о связи модуляции галактических КЛ с характеристиками солнечной (СА) и геомагнитной (ГА) активности дать прогноз вариаций потока КЛ на следующий цикл СА и восстановить временной ход вариаций КЛ в прошлом. Ставить и решать такую задачу позволяют данные непрерывного мониторинга КЛ сетью станций, работающих как единый многонаправленный и

высокоточный прибор в течении более полувека. В данной работе как для прогноза вариаций КЛ, так и для их эпигноза, использована многопараметрическая модель модуляции КЛ, разработанная в наших предшествующих работах [например, 1-4 и ссылки к ним]. Нами показано, что достаточно адекватное модельное описание вариаций КЛ можно получить, используя структурные и количественные характеристики глобального магнитного поля Солнца (ГМПС), а именно, наклон гелиосферного токового слоя и среднюю напряженность магнитного поля, рассчитанную для поверхности источника солнечного ветра. Модель именно с этими параметрами мы использовали, прогнозируя поток КЛ на следующий цикл. К сожалению, в достаточно отдаленном прошлом отсутствовали не только наблюдения КЛ, но и большая часть современных солнечных и геофизических наблюдений. Мы можем рассчитывать только на числа солнечных пятен, известные с 1749 г. (а для периода с 1610 г.- на числа групп солнечных пятен). С оговорками к ним можно добавить (с 1868 г.) АА-индекс и количество внезапных начал магнитных бурь N_{SSC} . Однако даже такой ограниченный набор индексов СА и ГА дает, возможно, наилучшую возможность для восстановления вариаций КЛ в прошлом. Полученные предлагаемым способом ретроспективные данные о вариациях КЛ можно сравнить с изотопными данными и долгосрочными изменениями климатических параметров. Как сейчас известно, измерения концентрации космогенных (в первую очередь ^{10}Be) изотопов позволяют получить количественные данные о модуляции КЛ в прошлом, но эти косвенные данные о потоке КЛ сами нуждаются в независимой поддержке.

Данные и метод.

Исходными данными для долгосрочного прогноза вариаций КЛ являются долговременные наблюдения потока КЛ и характеристик ГМПС. В последние годы в качестве тестового ряда при моделировании модуляции мы использовали вариации КЛ с жесткостью 10 ГВ. Характеристиками ГМПС, использованными ниже для прогноза КЛ, являются наклон гелиосферного токового слоя - α , средняя напряженность магнитного поля - B_{ss} и его полярность p . Все параметры рассчитаны для поверхности источника солнечного ветра. Подробное обоснование такого выбора индексов СА дано в работах [1-2]. Характеристики магнитного поля Солнца получены по методике, разработанной и усовершенствованной для описания модуляции КЛ в работах [5, 6]. Для анализа использованы данные измерений фотосферного крупномасштабного магнитного поля с относительно низким разрешением магнитографа ($3'$), проведенные в Стэнфорде [7] за период 1976 – 2003 гг. После рекалибровки этого магнитографа возникли сомнения в однородности его измерений и они были дополнены

наблюдениями в 1975 – 2003 гг. на магнитографе в обс. Китт-Пик [8] (его разрешение – 1"). Сравнительный анализ данных о напряженности поля, полученной в двух обсерваториях, выявил большие различия между ними. Из-за существующего различия в особенностях наблюдений магнитографами обсерваторий Стэнфорд и Китт-Пик трудно сделать выбор в пользу одной из них, поэтому в данной работе для расчета V_{ss} использованы оба ряда наблюдений. Предположительно, различие в данных можно объяснить тем, что обсерватории регистрируют поля разного пространственного масштаба. Магнитограф с низким разрешением (3') в обс. Стэнфорд регистрирует преимущественно крупномасштабное поле Солнца. Магнитограф обс. Китт-Пик, имеющий более высокое разрешение (1"), наиболее полно регистрирует сильные локальные поля на Солнце. Выявленные нами при модельном описании отличия модуляции КЛ в периоды с разным направлением ГМПС могут быть связаны с изменением влияния на вариации КЛ циклических изменений локальных и крупномасштабных полей Солнца, регистрируемых на указанных обсерваториях.

Значения наклона гелиосферного токового слоя, используемые в предлагаемой модели модуляции КЛ, получены по результатам обс. Стэнфорд (1976-2003 гг.) Изменения полярности ГМПС p получены из наблюдений на фотосфере и расчетов на поверхности источника солнечного ветра. Ожидаемые вариации КЛ определялись с помощью многопараметрического регрессионного анализа, позволяющего оценить вклад в прогнозируемую модуляцию КЛ от изменений каждой характеристики ГМПС с учетом собственного максимального времени запаздывания τ . Вклад в полную рассчитанную модуляцию от вариаций величины поля различен: по данным Стэнфорда этот вклад в несколько раз больше, чем по данным Китт-Пика. Влияние напряженности поля V_{ss} на модуляцию КЛ по наблюдениям обс. Стэнфорда предполагает участие более удаленной области гелиомагнитосферы, чем влияние наклона токового слоя. Для этих данных модуляция КЛ определяется не только изменениями наклона α , но заметно зависит и от напряженности поля V_{ss} .

Предложенный в [4] вариант прогноза КЛ опирался исключительно на уже измеренные к моменту выдачи прогноза солнечные характеристики, и позволял делать оценку поведения КЛ не более, чем на 6-7 мес. Здесь рассмотрена другая возможность прогноза КЛ: он делается на основе прогноза основных характеристик ГМПС. Прогноз параметров магнитного поля Солнца (α и V_{ss}) был сделан по наблюдениям на обсерваториях Стэнфорд (V_{ss} -ST) и Китт-Пик (V_{ss} -KP). Для основной части времени прогноз полярности поля p прост. Известно, что в ближайшие несколько лет (до максимума следующего цикла) полярность будет отрицательной.

Результаты

Для прогнозирования индексов СА сейчас используются различные подходы, основанные на анализе поведения индексов СА и ГА. Шаттен К. в своих работах [например, 9] полагает, что наиболее физически обоснованным является предложенный им Solar Dynamo Amplitude метод, основанный на учете солнечного динамо и структуры магнитного поля в гелиосфере. Для выполнения прогноза характеристик ГМПС α и B_{ss} нами был применен статистический подход, изложенный в [10]. Модель поведения КЛ, основанная на изменениях структурной (α) и количественной (B_{ss}) характеристик солнечного магнитного поля физически обоснована и проверена на данных за последние 50 лет. Выполненный с её помощью прогноз поведения КЛ до 2012 г. показывает: по результатам обсерватории Китт-Пик следующий минимум КЛ должен быть в конце 2006 г. - начале 2007 г., по данным обсерватории Стэнфорд – в середине 2006 г. (рис.1). Описание поведения КЛ в прошлом основано на той же модели модуляции, что

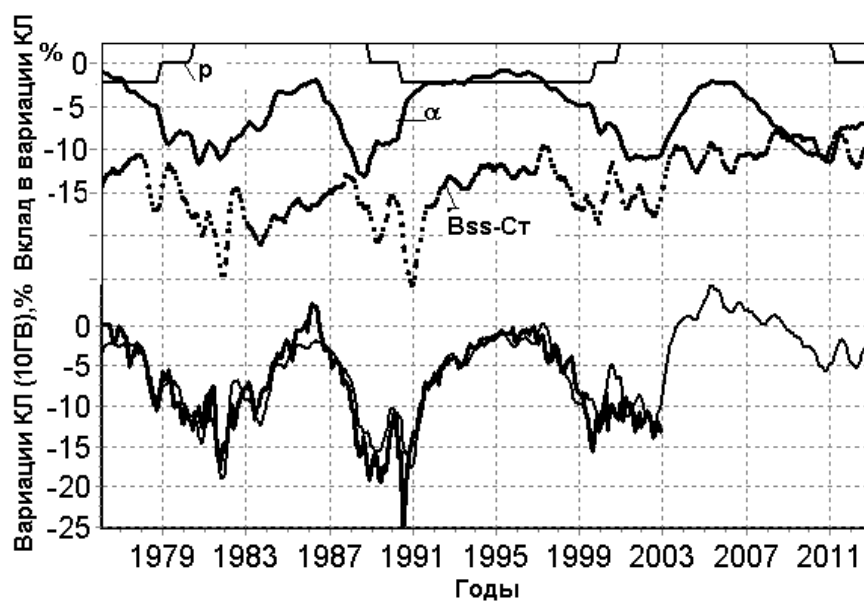


Рис.1. Наблюдаемые и рассчитанные среднемесячные вариации КЛ в 1976 – 2003 гг. вместе с прогнозом для 2004 - 2012 гг. (нижняя часть). В верхней части – вклады в рассчитанную вариацию от изменений B_{ss} (данные Стэнфорда), α и p .

использовалась при прогнозировании КЛ. Отличие состоит в выборе характеристик СА. При ретроспективном долговременном анализе величину поля B_{ss} приходится заменять на числа Вольфа W , а для самого раннего периода до 1749 г. на (хуже известные) числа групп пятен. Однако этого недостаточно, поскольку нельзя построить достаточно полную и надежную модель модуляции КЛ без данных о полярности магнитного поля Солнца и о наклоне токового слоя. Учитывая, что периоды переполюсовок связаны с периодами максимальных чисел пятен, достаточно легко восстановить изменения полярности p . Что же касается наклона α , то к

имеющимся с 1976 г. данным мы применили метод наложения эпох и нашли наиболее вероятные значения α для каждой фазы солнечного цикла. Параметры регрессионной связи вариаций КЛ с изменениями W , α и p были найдены для периода 1976-2003 гг., т.е. для периода, в который имеются прямые наблюдения необходимых солнечных характеристик. Используя найденные регрессионные параметры, числа солнечных пятен и закономерности поведения индексов СА в 11- и 22-летнем циклах, мы восстановили вариации КЛ за каждый месяц в прошлом, начиная с 1610 г. (рис.2). Для более недавнего периода (с 1868 г.) была

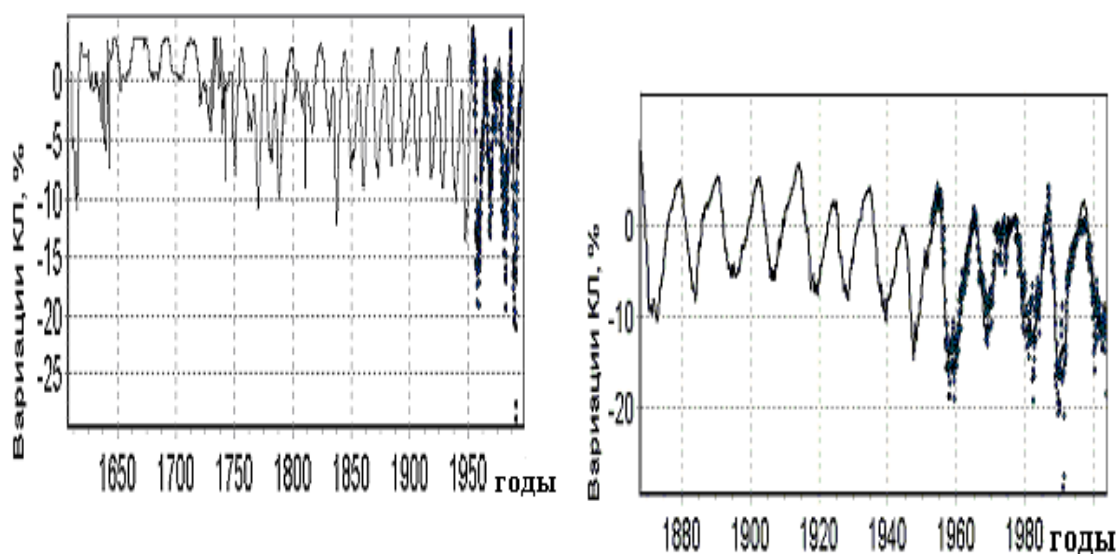


Рис. 2. Вариации КЛ с жесткостью 10 ГВ, восстановленные с 1610 г. по данным о числах групп пятен и с 1868 г. по данным о числах пятен и АА-индексе.

дополнительно использована другая модель, в которой кроме перечисленных участвовал еще и АА-индекс геомагнитной активности (правая часть рис. 2). Отметим, что наименьшая модуляция КЛ наблюдалась в период вторая половина 19 века – первая треть 20 века. Более поздний современный период, начинающийся с 18-го цикла, – это эпоха самой большой модуляции КЛ за последние 4 века.

Заключение.

Разработанная нами многопараметрическая модель модуляции КЛ в гелиосфере, позволяет рассчитать наблюдаемые вариации КЛ с хорошей точностью и перейти к их долгосрочному прогнозу. Для долгосрочного прогноза вариаций КЛ основным является прогноз характеристик магнитного поля Солнца. Прогноз поведения КЛ до 2012 г., выполненный с помощью статистического метода показывает: по результатам наблюдений в обс. Китт-Пик следующий минимум КЛ должен быть в конце 2006 г-начале 2007 г., по данным обс. Стэнфорд – в середине 2006 г. Прогноз выполнен с учетом данных двух обсерваторий в

связи с существующим различием в особенностях и результатах долговременных наблюдений магнитного поля магнитографами этих обсерваторий. Восстановленный (на основе изменения числа пятен и индексов геомагнитной активности) временной ход вариаций КЛ в прошлом свидетельствует о том, что в 5 последних солнечных циклах КЛ модулировались значительно сильнее, чем в предшествовавшие 300 лет.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 02-02-16992, 04-02-16763 и 02-02-16199) и государственного контракта N 10002-251/П-06/048-051/200404-046.

Список литературы

1. *Belov A.V. et al.* // J. Atmos. Terr. Phys. 2001.V.63. N18. P.1923.
2. *Belov A.V. et al.* // Proc. 27th ICRC, Hamburg. 2001. V.10. P.3911-3914.
3. *Белов А.В. и др.* // Геомагнетизм и аэрономия. 2002. Т.42. N.6. С.727.
4. *Белов А.В. и др.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2003.Т. 67. С.508.
5. Hoeksema J.T., & Sherrer P.H. //Report UAG-94. 1986. WDC-A for Solar Terrestrial Physics
6. Obridko V.N. and Shelting B.D. // Solar Phys. 1999. V. 184. P. 187.
7. Hoeksema J.T. // <http://quake.stanford.edu/~wso>, 2003.
8. National Solar Observatory Kitt Peak <http://www.nso.noao.edu/nsokp/dataarch.html>
9. Schatten K.H. //COSPAR D2.3/E3.3. Symp. Solar Variability and Climate Change 2002. Houston. USA.
10. <http://www.statsoft.com/textbook/sttimser.html>