

УДК 911.2, 523.982.6

**А. В. ХОЛОПЦЕВ**, д-р геогр. наук, доц., **М. П. НИКИФОРОВА**, асп.

*Севастопольский национальный технический университет*

## **МЕТОДИКА СВЕРХДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ МНОЖЕСТВЕННОЙ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ**

Рассмотрена методика сверхдолгосрочного прогнозирования изменчивости среднегодовых чисел Вольфа с использованием модели множественной линейной регрессии. Идентифицированы параметры таких моделей, оценена ширина интервалов, в пределах которых с вероятностью 0,99 лежат истинные значения изучаемого процесса, а также построены прогнозы солнечной активности до 2050 г.

**Ключевые слова:** солнечная активность, числа Вольфа, моделирование, прогнозирование, множественная линейная регрессия

**Холопцев О. В., Никифорова М. П.**

### **МЕТОДИКА НАДДОВГОСРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІН СТАНУ СОНЯЧНОЇ АКТИВНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛІ МНОЖИННОЇ ЛІНІЙНОЇ РЕГРЕСІЇ**

Розглянута методика наддовгострокового прогнозування мінливості середньорічних чисел Вольфа з використанням моделі множинної лінійної регресії. Ідентифіковані параметри таких моделей, оцінена ширина інтервалів, у межах якої з вірогідністю 0,99 знаходяться достеменні значення процесу, що вивчається. Розроблені прогнози сонячної активності до 2050 р.

**Ключові слова:** сонячна активність, числа Вольфа, моделювання, прогнозування, множинна лінійна регресія

**Khloptsev A., Nikiforova M.**

### **METHODICS OF SUPERLONGTERM FORECASTS OF SUN ACTIVITY CHANGES USING MULTIPLY LINEAR REGRESSION MODEL**

Methodics of superlongterm forecasts of yearly mean Wolf numbers using multiply linear regression model is viewed. Models parameters are identified, the wide of intervals, in which with 99% probability lie real values of studied process is calculated. Sun activity forecasts till 2050 yr. are built.

**Key words:** sun activity, Wolf numbers, simulation, forecast, multiply linear regression

Солнечная активность является одним из глобальных процессов, воздействующих на ландшафтную оболочку Земли на всем протяжении эволюции, вследствие чего современное состояние и особенности развития многих компонентов живой и неживой природы нашей планеты во многом отражают предысторию изменений ее состояния [1]. Поэтому совершенствование методик моделирования и прогнозирования ее динамики является актуальной проблемой не только физики Солнца, но и физической географии.

Несмотря на то, что систематический мониторинг изменений состояния солнечной активности начался еще в XVIII веке, причины, обуславливающие этот процесс, до сих пор не установлены, а существующие мето-

ды его прогнозирования сводятся к той или иной математической обработке соответствующих временных рядов [2-8].

Методам прогнозирования изменений солнечной активности, с упреждениями на несколько циклов (которое принято называть сверхдолгосрочным [4]) посвящены сотни работ, как отечественных, так и зарубежных авторов. Наибольший вклад в развитие данного направления физики Солнца внесли работы М. Н. Гневьшева и А. И. Оля [7, 8], Ю. И. Витинского [2, 3], В. Ф. Чистякова [5] и др.

Обзор работ, опубликованных до 1970 г., представлен в [2], а наиболее значительные результаты, полученные в последующий период, представлены в [4-6]. Их анализ свидетельствует о том, что предпринимавшиеся попытки долгосрочного прогнозирования солнечной активности исходили из предпо-

ложения о том, что данную задачу можно решить с использованием относительно простых математических моделей этого сложнейшего процесса [2, 5].

Несмотря на существенный прогресс, достигнутый ныне в рассматриваемом научном направлении, общепризнанного метода, обеспечивающего эффективное сверхдолгосрочное прогнозирование солнечной активности, не разработано. Одной из причин этого является невозможность априорной оценки качества прогнозов, основанных на применении тех или иных методов.

Качество прогнозов принято оценивать [2-8] лишь апостериорно – сравнивая их с результатами наблюдений. Такие оценки весьма адекватны, убедительны и объективны. Поэтому подобная методика их получения вполне приемлема, если речь идет о прогнозах краткосрочных или среднесрочных, с упреждениями, не превышающими единиц месяцев.

Если же рассматриваются прогнозы сверхдолгосрочные (с упреждениями десятки лет), такой подход к оценке их качества удовлетворительным признан быть не может, поскольку для его осуществления авторам может не хватить остатков их жизни.

Как простую и понятную характеристику качества прогнозов можно было бы также использовать априорную оценку ширины интервала, к которому в тот или иной момент будущего времени с заданной вероятностью будет относиться истинное значение прогнозируемой характеристики. Тем не менее, при разработке прогнозов авторы [2-8] ограничиваются расчетом лишь наиболее вероятных, по их мнениям, значений того или иного индекса солнечной активности.

Сравнение результатов сверхдолгосрочного прогнозирования изменений солнечной активности [5], основанного на упомянутых относительно простых их моделях, с фактической динамикой этого процесса, показало, что реальная его эффективность не всегда удовлетворительна. Вследствие этого представляет интерес изучение возможностей построения более точных сверхдолгосрочных прогнозов рассматриваемого процесса с использованием более сложных его математических моделей.

К числу последних относятся математические модели случайных процессов, описывающие их с помощью уравнения множественной (линейной или нелинейной) регрессии [9]. Их недостатками являются сложность, как самих моделей, так и процедур их идентификации, которая увеличивается по мере увеличения требований к точности.

Вместе с тем положительными особенностями упомянутых моделей являются универсальность, возможность априорной оценки эффективности основанных на них прогнозов, а также повышения ее до пределов, ограниченных лишь длиной рассматриваемых временных рядов.

Временные ряды непрерывных наблюдений за изменениями такого индекса солнечной активности, как относительные числа Вольфа, имеют рекордную длину (ряды их среднемесячных значений начинаются в 1745 г., а ряд среднегодовых значений, надежность которых ниже [10], в 1700 г.). Это позволяет предполагать, что использование упомянутого метода позволит достичь весьма высоких точностей их прогнозов, а также оценить их качество априорно.

Ранее возможности применения множественно-регрессионных (далее МР) моделей при сверхдолгосрочном прогнозировании солнечной активности были исследованы недостаточно.

Учитывая это, в качестве объекта данного исследования, выбраны изменения среднегодовых значений относительных чисел Вольфа за весь период их наблюдений, а также в будущем – до 2050 г.

Предметом исследования является изучение возможностей их прогнозирования с использованием МР моделей.

Целью данной работы являлась разработка МР модели динамики среднегодовых значений относительных чисел Вольфа, обеспечивающей их эффективное сверхдолгосрочное прогнозирование.

Для достижения данной цели решены следующие задачи:

1. Идентификация МР моделей изучаемого процесса, учитывающих различные количе-

ства наиболее эффективных процессов – аргументов.

2. Априорная оценка качества разработанных прогнозов.

3. Анализ особенностей вероятной динамики прогнозируемых процессов в будущем.

**Фактический материал и методика исследования**

В качестве исходных данных при прогнозировании использован цюрихский ряд несглаженных, среднемесячных, относительных чисел Вольфа за период с 1747 г. (за циклы 1-23), полученный из [11].

При решении первой задачи, в качестве математической модели динамики среднегодовых значений относительных чисел Вольфа рассматривалось уравнение линейной множественной регрессии случайного процесса  $y[j]$ , которое имеет вид [9]:

$$Y \bar{\mathbf{f}} = c_0 + \sum_{i=1}^N c_i x_i \bar{\mathbf{f}}, \quad (1)$$

где  $Y \bar{\mathbf{f}}$  – математическая модель процесса  $y \bar{\mathbf{f}}$ , наблюдения которого производились в дискретные моменты времени  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, M$ );

$x_i \bar{\mathbf{f}}$  – временные ряды изменений состояния процессов-аргументов;

$c_i$  ( $i = 0, 1, \dots, N$ ) – действительные константы, значения которых выбраны так, чтобы обеспечить минимум  $P$ , определяемого соотношением:

$$P = \sum_{j=1}^M \left( \bar{\mathbf{f}}_j - y \bar{\mathbf{f}}_j \right)^2, \quad (2)$$

Значения  $c_i$  находятся с помощью метода наименьших квадратов [12, 13], согласно которому:

$$C = A^{-1} \cdot B, \quad (3)$$

где  $C$  – вектор коэффициентов модели  $c_i$ , содержащий  $(N + 1)$  компонентов;

$$B = \left\{ \begin{array}{c} \sum_{i=1}^M y_i \\ \sum_{i=1}^M y_i x_{i,1} \\ \dots \\ \sum_{i=1}^M y_i x_{i,N} \end{array} \right\} - \text{вектор, включающий } (N + 1) \text{ компонентов;}$$

$A^{-1}$  – квадратная матрица размером  $(N + 1) \times (N + 1)$ , которая является обратной, по отношению к матрице  $A$  [14]. При этом матрица  $A$ , также имеет размеры  $(N + 1) \times (N + 1)$  и определяется как:

$$A = \left\{ \begin{array}{cccc} M & \sum_{i=1}^M x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,2} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N} \\ \sum_{i=1}^M x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,1} x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,2} x_{i,1} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N} x_{i,1} \\ \sum_{i=1}^M x_{i,2} & \sum_{i=1}^M x_{i,1} x_{i,2} & \sum_{i=1}^M x_{i,2} x_{i,2} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N} x_{i,2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=1}^M x_{i,N} & \sum_{i=1}^M x_{i,1} x_{i,N} & \sum_{i=1}^M x_{i,2} x_{i,N} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N} x_{i,N} \end{array} \right\} \quad (4)$$

Одной из характеристик качества модели (1) является значение  $P$ , при условии, что ее коэффициенты определены из соотношения (3). В таком случае физический смысл  $P$  – дисперсия ошибки моделирования.

Нетрудно видеть, что процедура идентификации модели (1) не проста, поскольку для ее реализации необходимо обращать матрицу размером  $(N + 1) \times (N + 1)$ . При этом необходима максимально возможная точность вычислений, поскольку в их процессе приходится многократно осуществлять операции деления [14]. Вычислительные трудности возрастают тем больше, чем больше количество аргументов, учитываемых в модели (определяющее ранг матрицы  $A$ ).

При разработке МР модели, предназначенной для сверхдолгосрочного прогнозирования динамики среднегодовых значений чисел Вольфа предполагалось, что факторами, обуславливающими их изменения на отрезке времени с 1806 по 2005 г., либо других интервалах продолжительностью 200 лет, включающих, в том числе, и будущее, являются их изменения, на отрезках времени такой же продолжительности, начинающихся на  $\tau$  лет раньше ( $\tau = 1, 2, \dots, T$ ). Предполагалось также, что  $T$  может лежать в пределах от 11 до 60.

При решении второй задачи в качестве априорных характеристик качества идентифицированных моделей рассматривались не только точность вычисляемых на их основе

прогнозов и подобие прогнозируемых и фактических зависимостей от времени среднегодовых значений чисел Вольфа, но и их робастность к временным сдвигам рядов, используемых при прогнозировании, по отношению к рядам, использовавшимся при идентификации.

Временные ряды ошибок прогнозирования были протестированы на нормальность с помощью критерия Пирсона [15]. Тестирование показало, что с достоверностью не ниже 95% законы распределения их вероятностей могут полагаться гауссовыми. Вследствие этого, как характеристика точности прогнозирования, обеспечиваемого при использовании рассматриваемой МР модели, вычислялось на соответствующем отрезке времени значение среднеквадратического отклонения, прогнозов среднегодовых чисел Вольфа, относительно их фактических величин.

Как мера подобия фактической и прогнозируемой зависимостей от времени среднегодовых чисел Вольфа, рассматривалось значение их коэффициента парной корреляции.

В качестве меры робастности математической модели среднегодовых чисел Вольфа, оценивалось изменение значений указанных характеристик, при сдвиге  $\delta$  фрагментов временных рядов, по которым производилось прогнозирование, по отношению к их фрагментам, используемым для ее идентификации.

Значения указанных мер оценивались при значениях  $\delta$  от 0 до 45 лет.

Поскольку законы распределения вероятностей ошибок прогнозирования рассматриваются как нормальные, располагая оценками значений их среднеквадратического отклонения, соответствующих тому или иному  $\delta$ , с помощью таблиц интеграла вероятностей вычислялись значения нижней и верхней границ интервалов, в пределах которых с вероятностью 0,99 в соответствующие моменты будущего могут располагаться истинные значения среднегодовых чисел Вольфа.

При решении третьей задачи изучались особенности зависимостей от времени нижней и верхней границ подобных интервалов, а также наиболее вероятных значений прогнозируемых характеристик. Также произво-

дилось их сопоставление с прогнозами других авторов и фактическими данными.

### Результаты и их анализ

С помощью изложенной методики идентифицированы прогностические МР модели динамики среднегодовых значений чисел Вольфа на отрезке времени с 1806 по 2005 гг., с использованием в качестве их аргументов фрагментов их временных рядов такой же длины, начинающихся ранее на 1 – 60 лет. При этом полагалось, что временной ряд, рассматриваемый как функция, отстает от временных рядов аргументов модели (1) на 1 год, а количество ее аргументов может лежать в пределах от 11 до 60 лет.

В качестве примера, в табл. 1 приведены значения коэффициентов идентифицированной при этом МР модели динамики среднегодовых значений чисел Вольфа в период с 1806 г. по 2005 г., учитывающей 44 аргумента. Как видно из табл. 1, абсолютные величины коэффициентов  $C_i$  по мере увеличения их номера, равного временному сдвигу в прошлое начала фрагмента ряда чисел Вольфа, рассматриваемому как соответствующий аргумент модели (1), по отношению к началу его фрагмента, рассматриваемого как функция, убывают и при  $i > 26$  не превышают 0,1.

Значения среднеквадратических ошибок прогнозирования динамики среднегодовых значений чисел Вольфа, а также коэффициентов корреляции прогнозных и фактических их зависимостей, обеспечиваемых идентифицированными ее МР моделями с различным числом  $T$  (учитываемых аргументов) приведены в табл. 2.

Как следует из табл. 2, значения СКО прогнозов среднегодовых значений чисел Вольфа, а также наибольшие значения коэффициентов корреляции между их прогнозными и фактическими зависимостями, существенно зависят от  $T$ .

Значения точности прогнозов возрастает (а СКО убывает) по мере увеличения  $T$  от 11 до 44. При этом характер зависимости СКО от  $T$  является не монотонным. Наименьшие значения СКО соответствуют  $T$ , кратным 11 годам.

При увеличении  $T$  свыше 44 значения СКО прогнозов начинают возрастать, что вероятно является следствием ограниченности

**Таблиця 1**

Коэффициенты идентифицированной МР модели динамики среднегодовых значений чисел Вольфа в период с 1806 г. по 2005 г., учитывающей 44 аргумента

Коэф.	Знач.	Коэф.	Знач.	Коэф.	Знач.	Коэф.	Знач.
$C_0$	8.397	$C_{12}$	-0.057	$C_{24}$	-0.024	$C_{36}$	-0.045
$C_1$	1.122	$C_{13}$	-0.094	$C_{25}$	0.007	$C_{37}$	-0.006
$C_2$	-0.237	$C_{14}$	0.093	$C_{26}$	-0.107	$C_{38}$	-0.011
$C_3$	-0.287	$C_{15}$	0.068	$C_{27}$	0.068	$C_{39}$	-0.001
$C_4$	0.151	$C_{16}$	0.020	$C_{28}$	0.097	$C_{40}$	0.010
$C_5$	-0.082	$C_{17}$	-0.143	$C_{29}$	-0.095	$C_{41}$	-0.013
$C_6$	0.049	$C_{18}$	-0.051	$C_{30}$	0.007	$C_{42}$	0.043
$C_7$	0.074	$C_{19}$	0.192	$C_{31}$	-0.016	$C_{43}$	-0.099
$C_8$	-0.143	$C_{20}$	-0.212	$C_{32}$	0.095	$C_{44}$	
$C_9$	0.199	$C_{21}$	0.060	$C_{33}$	-0.102		
$C_{10}$	0.231	$C_{22}$	0.069	$C_{34}$	-0.008		
$C_{11}$	-0.115	$C_{23}$	0.012	$C_{35}$	0.069		

**Таблиця 2**

Среднеквадратические ошибки (СКО) прогнозирования динамики среднегодовых значений чисел Вольфа и коэффициенты корреляции (КК) прогнозных и фактических их зависимостей, обеспечиваемых ее идентифицированными МР моделями

<b>T</b>	<b>11</b>	<b>22</b>	<b>44</b>	<b>60</b>
СКО	37.15844	26.27679	15.20553	17.5116
КК	0.679371	0.786924	0.93343	0.916814

точности вычислений, производимых компьютером при обращении матрицы  $A$  (несмотря на то, что в разработанной программе последние осуществляются с удвоенной точностью).

С помощью таблиц интеграла вероятностей для каждой модели рассчитаны значения полуширины интервала, вероятность выхода за который истинных значений прогнозируемой величины не превосходит 0,01.

Полученные при этом зависимости от времени фактических значений среднегодовых чисел Вольфа в период с 1851 по 2005 гг., а также их прогнозов, на период с 1851 по 2050 гг., разработанных с использованием идентифицированной модели, приведены на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что в период с 1851 по 2005 гг. между фактическими и наиболее вероятными прогнозируемыми значениями среднегодовых чисел Вольфа имеет место удовлетворительное соответствие. Наибольшее

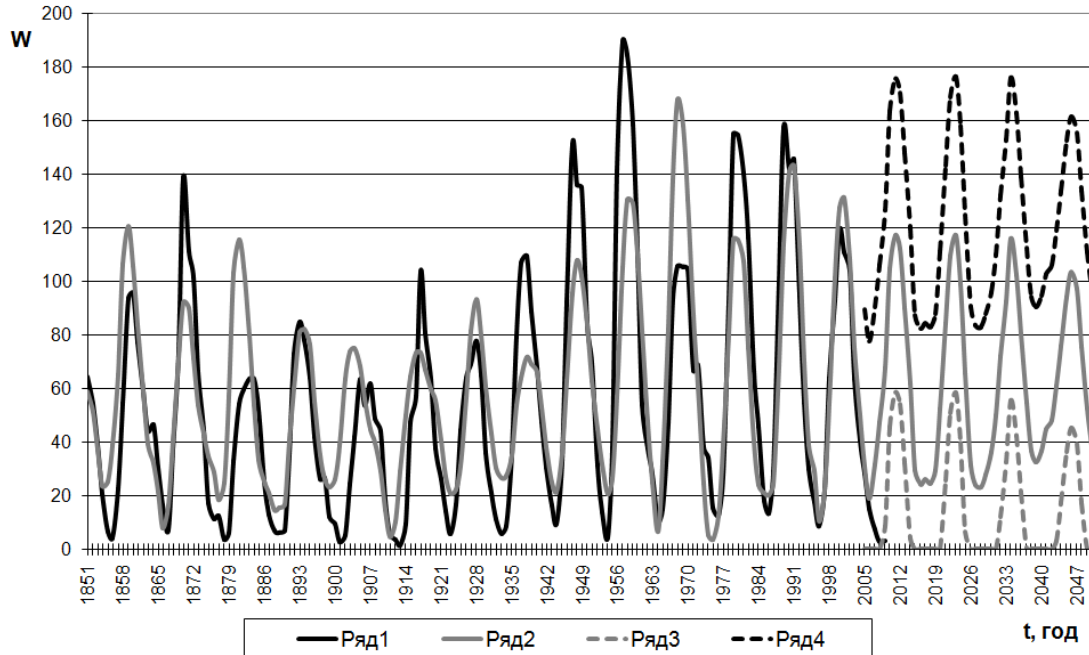
значение ошибок прогнозов за период с 1851 по 2005 гг., равное 57,4, имело место в 1956 г.

Не трудно видеть также, что наиболее вероятные значения среднегодовых чисел Вольфа, а также верхние и нижние границы интервалов, в пределах которых с вероятностью 0,99 будут лежать истинные ее значения, в совпадающих фазах 24, 25, 26 и 27 циклов солнечной активности убывают с увеличением номера цикла. Это позволяет предполагать, что до 2050 г. средний за цикл уровень солнечной активности будет снижаться. Данный результат подтверждает мнение Х. Абдусаматова (Пулковская ГАО, РФ), согласно которому: «количество излучаемой Солнцем энергии с 90-х годов идет на спад и достигнет минимума нынешнего 200-летнего цикла к середине XXI в.» [19].

На 2012 г. прогнозируется максимум 24 цикла солнечной активности, значение кото-

рого лишь немного превысит ее наибольший уровень, соответствующий 23 циклу и будет существенно уступать аналогичным характеристикам 22, 21 циклов. Поэтому катастрофические прогнозы резкого усиления солнечной активности в 2012 г. [] представляются маловероятными.

Установление значений верхних и нижних границ интервалов, в пределах которых с вероятностью 0,99 будет лежать истинное значение среднегодовых чисел Вольфа, позволяет априорно оценить качества сверхдол-



**Рис. 1** – Залежності від часу фактичних значень середньорічних чисел Вольфа (ряд 1), найбільш вірогідних їх прогнозів, розроблених за допомогою ідентифікованої моделі (1) з  $T = 44$  (ряд 2), а також нижньої (ряд 3) і верхньої (ряд 4) меж інтервалів, в межах яких з ймовірністю 0,99 будуть лежати їх істинні значення

госрочних прогнозів розглянутого процесу, розроблених іншими авторами.

Як приклад, на рис. 2, з відповідними межами подібних інтервалів зображено розроблений прогноз змін середньорічних значень розглянутого індексу сонячної активності на 24-й цикл, а також аналогічний запропонований в роботі М. Н. Храмова і др. [4].

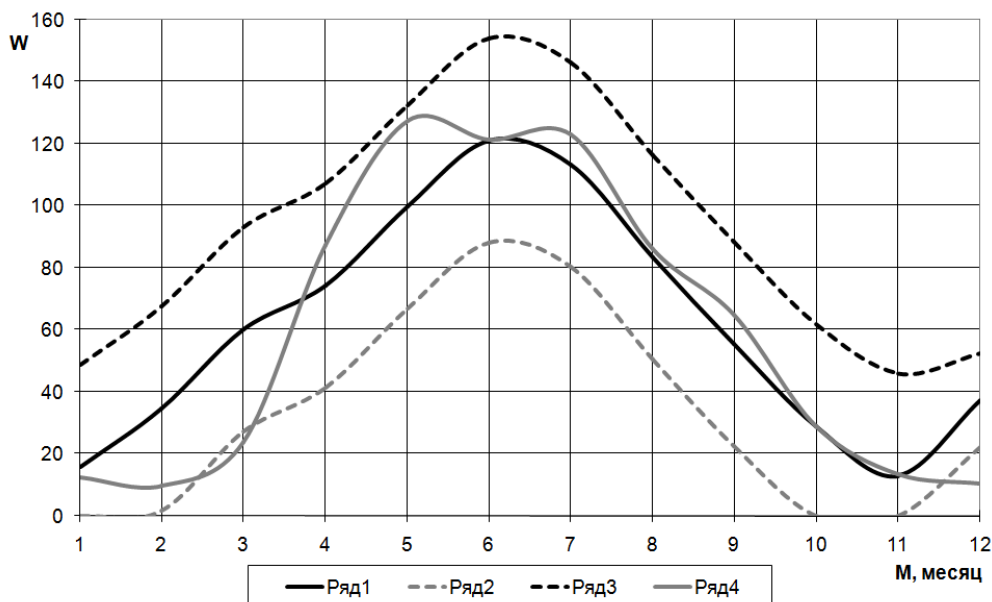
З рис. 2 випливає, що прогнозовані за обома методами найбільш вірогідні значення середньорічних чисел Вольфа в 24 циклі сонячної активності відрізняються між собою не більше ніж на 40 і практично всюди лежать в межах згаданих інтервалів. Це дозволяє передбачати ефективність запропонованої методики прогнозування, хоча і не доводить її. Подібним доказом могло б бути встановлення робастності ідентифікованої

моделі до тем або інших часових зсувів в майбутньому. Оцінюваність подібних досліджень свідчить про порівняння результатів прогнозування середньорічних чисел Вольфа з їх фактичними значеннями, не враховуючи при ідентифікації моделей, звідки видно, що в 2006 г. і 2007 г. відповідність є задовільною, а прогнози на 2008 – 2009 гг. суттєво завищені.

Залежність, розрахована відповідно до запропонованої методики, більш симетрична і можливо не враховує деякі особливості структури циклу. Оцінюваність відповідно до неї, а також згідно [4], тривалість цього циклу, а також максимальне значення сонячної активності в ньому практично збігаються. В той же час запропонована методика дозволяє оцінити найбільш вірогідні значення

среднегодовых чисел Вольфа и границы интервала, в котором с любой требуемой вероятностью будут лежать их истинные значения на несколько циклов вперед.

Это подтверждает эффективность обеих методик прогнозирования и свидетельствует об адекватности разработанных в соответствии с предложенной методикой сверхдолгосрочных прогнозов.



**Рис. 2** – Разработанный (ряд 1) и предложенный в работе М. Н. Храмова и др. [4] (ряд 4) прогнозы изменений среднегодовых чисел Вольфа в 24 цикле солнечной активности, а также оценки значений нижней (ряд 2) и верхней (ряд 3) границ интервалов, в пределах которых с вероятностью 0,99 будут находиться ее истинные значения

### Выводы

1. Предложена новая методика сверхдолгосрочного прогнозирования изменений среднегодовых чисел Вольфа, позволяющая оценивать их наиболее вероятные значения, а также нижние и верхние границы интервала, в пределах которого с заданной вероятностью в будущем может лежать их истинные значения.

2. Сопоставление с существующими методиками, решающими ту же задачу, свидетельствует о качественном соответствии их результатам, прогнозов разработанных по предложенной методике.

3. Для доказательства эффективности предложенной методики моделирования и прогнозирования с использованием моделей множественной линейной регрессии необходимо установить робастность идентифицированной модели к тем или иным временным сдвигам в будущее.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Peter R. Wilson Solar and stellar activity cycles / Wilson P. R. // Cambridge astrophysics series, 1994. – 292 p.
2. Витинский Ю. И. Цикличность и прогнозы солнечной активности/ Ю. И. Витинский// Л.: Наука, 1973. – 258с.
3. Витинский Ю. И. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца./ Витинский Ю. И., М. Копецкий, Г. В. Куклин. // М.: Наука. 1986. – 296с.
4. Храмова М. Н. Прогнозирование солнечной активности методом фазовых средних./ М. Н. Храмова, С.А.Красоткин, Э.В.Кононович//Электронный журнал «Исследовано в России» <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2001/107.pdf>. – С.1169-1176
5. Чистяков В.Ф. Прогноз солнечной активности до 2030 года. Солнечные данные. 1983. №1. –С.97-100.
6. Obridko V.N. Some comments the problem of solar cycle prediction./ V.N. Obridko // Solar Physics. V. 156. 1995. – P.179-190.
7. Гневывшев М. Н. О 22-х летнем цикле солнечной активности/ М. Н. Гневывшев, А. И. Оль// Астрономический журнал. – 1948. – Т.25. – С.18-20.
8. Оль А. И. О долгосрочном прогнозе солнечной активности/ А. И. Оль// Бюллетень КИСО. №1(15). – 1949.

9. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия. / Н. Дрейпер, Г. Смит // *Applied Regression Analysis*. – 3-е изд. – М.: Диалектика, 2007. – 912С.
10. Витинский Ю. И. Преддюринская наблюдательная основа для изучения солнечной цикличности. / Витинский Ю. И. // В сборнике Проблемы солнечной активности. – Л.: 1991. – С.29-42.
11. <http://www.gao.spb.ru>
12. Рао С. Р. Линейные статистические методы и их применения / С. Р. Рао. – М.: Наука, 1968. – 376 с.
13. Рождественский А. В., Статистические методы в гидрологии / А. В. Рождественский, А. И. Чеботарев – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 424 с.
14. Голуб Д. Матричные вычисления. / Дж. Голуб, Ч. Ван Лоун// — М.: Мир, 1999. – 548с.
15. Айвазян С. А.. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности./ С. А. Айвазян, В. М. Бухштабер, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин // М.: Финансы и статистика. - 1989.— 607 с.
16. Полак Э. Численные методы оптимизации, Единный подход/ Э. Полак// – М: Мир, 1974. – С. 373.
17. Чипига А. Ф. Анализ методов случайного поиска глобальных экстремумов многомерных функций/ А. Ф. Чипига, Д. А. Колков // *Фундаментальные исследования*. – 2006. – № 2 – С. 24-26.

Надійшла до редколегії 23.11.2010

УДК 631.471

**А. Б. АЧАСОВ**, д-р с.-г. наук, **А. О. АЧАСОВА**, канд. с.-г. наук

*Харківський національний аграрний університет імені В. В. Докучаєва*

## МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ СУЧАСНОГО ПРОСТОРОВОГО МОНІТОРИНГУ ҐРУНТІВ

Викладена авторська методика ґрунтового картографування на основі дешифрування результатів інтегрального аналізу цифрових моделей рельєфу і космічних знімків у видимому діапазоні. В результаті чого на підготовчому етапі створюється попередній варіант ґрунтової карти, який об'єктивно відображає існуючу неоднорідність ґрунтового покриву. Подальше ґрунтове обстеження має уточнювальний характер та потребує значно менших, ніж при застосуванні традиційної методики витрат часу та праці.

**Ключові слова:** Картографування ґрунтів, цифрові моделі рельєфу, дистанційне зондування, ґрунтове обстеження

**Ачасов А. Б., Ачасова А. А.**

### МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВРЕМЕННОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА ПОЧВ

Изложена авторская методика почвенного картирования на основе дешифрирования результатов интегрального анализа цифровых моделей рельефа и космических снимков в оптическом диапазоне. Использование предложенной методики позволяет уже на подготовительном этапе картирования создавать предварительный вариант почвенной карты, который объективно отражает существующую неоднородность почвенного покрова. Дальнейшее полевое почвенное обследование носит уточняющий характер и требует значительно меньших, по сравнению с традиционным почвенным обследованием трудо-временных затрат.

**Ключевые слова:** Почвенное картирование, цифровые модели рельефа, дистанционное зондирование, почвенное обследование

### Achasov A. B., Achasova A. A. THE METHODOICAL BASIS OF MODERN SPATIAL SOIL MONITORING

Methodica of the automated large-scale mapping of soils is developed on the basis of quantitative integral analysis of topographical materials, remote sensing data and soil maps was showed. As a result of this analysis preliminary soil map is created. The field soil exploration in future to give a more precise definition in preliminary soil map.

**Key words:** soil mapping, digital elevation model, remote sensing, soil exploration.

Про необхідність охорони ґрунтів та відтворення їх родючості як на загальнодержавному так і світовому рівні говорено вже настільки багато, що це положення стало, фактично, "загальним місцем" екологічної проблематики. Достатньо згадати, що обидва Всесвітні форуми з проблем довкілля та ста-

лого розвитку (Ріо-де-Жанейро, 1992; Йоханесбург, 2002) назвали опустелювання та деградацію ґрунтів серед головних загальнопланетарних проблем Людства. Основою прогнозу розвитку деградації ґрунтів та розробки системи заходів по її попередженню та подоланню є, як відомо, моніторинг ґрунтового покриву.