



ДВИЖЕНИЕ ЗЕМЛИ ВОКРУГ БАРИЦЕНТРА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ КАК ИНФОРМАЦИОННАЯ ОСНОВА ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ

В. Е. ТИХОНОВ,

доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник,

А. А. НЕВЕРОВ,

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник,

Оренбургский научно-исследовательский институт сельского хозяйства

(460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, д. 27, корп. 1; e-mail: nevalex2008@yandex.ru)

Ключевые слова: движение Земли вокруг барицентра Солнечной системы, лаговые переменные, прогноз урожайности, методы множественной регрессии.

Предложен новый метод долгосрочного прогнозирования урожайности на примере яровой пшеницы. Основным недостатком большинства методов прогнозирования временных рядов урожайности является отсутствие предикторов модели за пределами заканчивающегося ряда значений предиктанта (ряда, прогноз которого интересует исследователя). Проще говоря, предикторы на предстоящий год остаются неизвестными. В поиске решения данной проблемы обращено внимание на работы, посвященные исследованию многолетних изменений в системе Солнце – Земля, в частности движению Солнца и планет вокруг барицентра Солнечной системы. Под гравитационным воздействием со стороны планет Солнце вынуждено совершать сложное переменное движение вокруг центра масс Солнечной системы (барицентра). В результате орбиты планет не могут оставаться строго гелиоцентрическими, поскольку центр тяжести Солнца может не совпадать с фокусами эллиптических траекторий планет. Воздействие планет на Солнце приводит к модуляции солнечной активности. Планетам отводится роль первоисточника вариаций как солнечной активности, так и циклических процессов на Земле. Поскольку в различных природных явлениях, в том числе в колебаниях погоды и климата, было выявлено множество циклов, важно уяснить, какая реальность их обуславливает. На сегодня это наименее исследованная проблема. Впервые в прогнозах временных рядов урожайности предложено использование лаговых переменных, эффект от воздействия которых на показатели, характеризующие процесс, проявляется не сразу, а с запаздыванием. Считается, что большую роль во временных задержках погоды и климата может играть тепло, запасенное в Мировом океане. Установлена тесная связь многолетней динамики урожайности яровой пшеницы с изменениями во времени расстояния от барицентра Солнечной системы до Земли, что позволяет использовать значения предикторов за пределами имеющегося ряда урожайности. Показана необходимость учитывать влияние лаговых переменных при разработке моделей прогноза урожайности. Применены методы стандартной множественной регрессии и регрессии в нейронных сетях.

THE MOVEMENT OF THE EARTH AROUND THE BARYCENTER OF THE SOLAR SYSTEM AS AN INFORMATION BASIS FOR LONG-TERM YIELD FORECASTING

V. E. TIKHONOV,

doctor of geographical sciences, professor, chief research worker,

A. A. NEVEROV,

candidate of agricultural sciences, leading research worker,

Orenburg Scientific Research Institute of Agriculture

(b. 1, 27 Gagarina Str., 460051, Orenburg; e-mail: nevalex2008@yandex.ru)

Keywords: movement of the Earth around the barycenter of the Solar system, lag variables, crop yield forecasting, methods of multiple regression.

A new method of long-term yield forecasting on the example of spring wheat is proposed. The main drawback of most methods of forecasting time series of yields is the lack of predictors of the model outside the range of ending values of predictant (the number, the forecast of which the researcher interests). Simply put, the predictors for the coming year remain unknown. In finding a solution to this problem, attention is drawn to the works devoted to study of long-term changes in the system Sun – Earth and in particular the movement of the Sun and planets around the barycenter of the Solar system. Under the gravitational action of the planets from the Sun has to make rather complicated alternating motion around the center of mass of the Solar system (the barycenter). The result is that orbits of the planets cannot remain strictly heliocentric, because the center of gravity of the Sun may not coincide with foci of the elliptical trajectory of the planets. The influence of the planets on the Sun leads to the modulation of solar activity. Planets play the role of the original variations like solar activity and cyclical processes on Earth. Because of various natural phenomena, including variations in weather and climate, it was revealed many cycles, it is important to understand what the reality of their causes. Today is the least studied problem. For the first time in the forecasts of the time series yields proposed the use of lag variables, the effect of which on the indicators characterizing the process is not immediately, but with delay. It is considered that a very important role in temporal delays of weather and climate may play the heat stored in the World ocean. There was a close association of long-term dynamics of the spring wheat yield changes with the distance over time from the barycenter of the Solar system to the Earth, allowing to use the values of predictors outside the range of available yields. The necessity to consider the influence of lag variables in developing prediction models of crop yield is shown. The methods of standard multiple regression and regression with neural networks applied.

Положительная рецензия представлена М. П. Мордвицевым, доктором сельскохозяйственных наук, профессором Оренбургского государственного аграрного университета.

За последние семь лет (2009–2015 гг.) засуха различной интенсивности наблюдалась в Оренбургской области 6 лет. Ежегодный ущерб для агропромышленного комплекса составил несколько миллиардов рублей. Поэтому актуальность проблемы прогнозирования засух не подлежит сомнению [1].

Цель и методика исследований. Цель исследования – поиск новых предикторов для долгосрочного моделирования ожидаемой урожайности зерновых культур. Для решения поставленных задач была использована информация длительных рядов урожайности яровой пшеницы Саракташского района Оренбургской области, расположенного в степном Предуралье. В качестве предикторов моделей служили значения изменяющихся во времени расстояний от барицентра Солнечной системы до Земли.

Центром масс системы (барицентром) называется точка, радиус-вектор которой r_c задается уравнением [2]:

$$rc = \sum(mi * ri) / \sum mi = \sum(mi * ri) / M,$$

где m_i и r_i – масса и радиус-вектор i -й частицы системы; M – масса системы.

Это уравнение использовалось в нашей работе для расчета подекадного расстояния между Землей и барицентром солнечной системы (1, 11 и 21 числа каждого месяца).

Для анализа временных рядов применялись методы стандартной множественной регрессии и регрессии в нейронных сетях («Статистика 6.1»).

Результаты исследований. Фактически к настоящему времени сложился раздел научных знаний, называемый «солнечно-земные связи», который предполагает изучение совокупности всех возможных взаимодействий гелио- и геофизических явлений [3, 4].

Под гравитационным воздействием со стороны планет Солнце вынуждено совершать достаточно сложное переменное движение вокруг центра масс Солнечной системы (барицентра). В результате этого орбиты планет не могут оставаться строго гелиоцентрическими, поскольку центр тяжести Солнца может не совпадать с фокусами эллиптических траекторий планет [5]. Воздействие планет на Солнце приводит к модуляции солнечной активности.

В соответствии с работами О. В. Пономаревой [6, 7], планетам отводится роль первоисточника вариаций как солнечной активности, так и циклических процессов на Земле.

В большом количестве опубликованных работ уделяется внимание циклическим процессам активности Солнца, в частности статистике распределения крупных солнечных вспышек и мировых магнитных бурь и их связи с вариациями в температуре приземного воздуха и интенсивности осадков [8].

Поскольку в различных природных явлениях, в том числе в колебаниях погоды и климата, было вы-

явлено множество циклов, то важно уяснить, какая реальность их обуславливает. На сегодня это наименее исследованная проблема.

Основным недостатком большинства методов прогнозирования временных рядов урожайности является отсутствие предикторов модели за пределами заканчивающегося ряда значений предиктанта (т. е. ряда, прогноз которого интересует исследователя). Проще говоря, предикторы на предстоящий год остаются неизвестными.

В поиске решения данной проблемы мы обратили внимание на работы, посвященные исследованию многолетних изменений в системе Солнце – Земля [9], в частности движению Солнца и планет вокруг барицентра Солнечной системы [10].

Так, в работе [10] на основании проведенных расчетов и анализа полученных результатов была уточнена формулировка 1-го закона Кеплера: «Все планеты движутся по слабозмущенным эллипсам вокруг Солнца, участвуя вместе с ним в движении вокруг барицентра Солнечной системы.

Из этого следуют два важных вывода:

1) движение каждой планеты передается Солнцу, а от него – всем другим планетам. Можно сказать, что Солнце выступает в качестве ретранслятора гравитации для всей Солнечной системы;

2) активизация однотипных физических процессов должна происходить одновременно во всей Солнечной системе».

Эти выводы побудили нас обратиться к базисным первопричинам цикличности всех процессов в Солнечной системе, минуя такие проявления их следствий, как динамика активности Солнца, солнечные пятна, вспышки на Солнце, возмущенность магнитного поля Земли и др.

Не меньшее значение в прогнозах временных рядов урожайности имеет поиск лаговых переменных, эффект от воздействия которых на показатели, характеризующие процесс, проявляется не сразу, а с запаздыванием. Считается, что большую роль во временных задержках погоды и климата может играть тепло, запасенное в Мировом океане [8].

В нашей работе для определения количества лаговых переменных использован подход последовательного включения в модель предикторов предыдущих сельскохозяйственных годов. Критерием остановки процесса служили: уровень адекватности модели (R-квадрат более 90 %), значимость коэффициентов регрессии и минимально возможное количество переменных в модели. Основная трудность состоит, как и во всяком моделировании временных рядов, в отыскании единственной модели из их подмножества, адекватно отражающей воздействие физических полей на динамику временного ряда урожайности в заданной географической точке Земли.

В табл. 1 и 2 представлены результаты моделирования в рамках множественной регрессии прогнозных оценок урожайности яровой пшеницы Саракташского района на 2015 и 2016 гг. В качестве предикторов использованы подекадные показатели расстояния (в астрономических единицах, а. е.) между Землей и барицентром Солнечной системы (движение Земли вокруг барицентра Солнечной системы). Наблюдения по ряду урожайности заканчиваются 2014 г., значения предикторов рассчитаны на много лет вперед.

Используя опцию (предсказать зависимую переменную) программы «Статистика 6.1», в полученную модель заводятся предикторы 2015 г. На выходе

программа выдает прогноз урожайности с учетом допустимых пределов.

Продлив ряд урожайности спрогнозированным значением на 2015 г., на тех же предикторах можно рассчитать новую модель множественной регрессии. В полученную модель заводятся предикторы 2016 г. На выходе предсказывается урожайность яровой пшеницы на 2016 г.

На следующем этапе мы продублировали разработку прогноза урожайности яровой пшеницы для Саракташского района в нейронных сетях (использование принципа множественности моделей). Моделирование в нейронных сетях, в сущности, представляет собой аппроксимацию огромного количества

Таблица 1

Предсказанное значение урожайности яровой пшеницы в Саракташском районе на 2015 г. на основе модели множественной регрессии с учетом лаговых переменных и изменения расстояния от барицентра Солнечной системы до Земли (ряд урожайности 1966–2014 гг.)

Даты учета расстояния (месяц, декада), вошедшие в модель множественной регрессии	Коэффициенты регрессии (В-Вес)	р-уровень	Значение предикторов 2014–2015 с.-х. года, а. е.	Произведение (В-Вес) на значение предикторов 2014–2015 с.-х. года
Свободный член	64820,2	0,0000	–	–
Текущий сельскохозяйственный год: сентябрь 2014 – август 2015				
Январь, декада 2	–38198,1	0,0000	0,991820	–37885,7
Февраль, декада 2	88229,7	0,0000	0,995021	87790,4
Май декада 1	19870,9	0,0038	1,015986	20188,5
Июнь декада 1	–48689,1	0,0000	1,022978	–49807,8
Октябрь, декада 3	–28677,2	0,0000	1,005136	–28824,5
Декабрь, декада 1	87286,8	0,0000	0,995125	86861,3
Декабрь, декада 2	–36925,0	0,0000	0,993590	–36688,3
Декабрь, декада 3	–33482,2	0,0005	0,992559	–33233,1
Лаговые переменные, сельскохозяйственный год: сентябрь 2013 – август 2014				
Январь, декада 3	12444,6	0,0442	0,992132	12346,7
Февраль, декада 1	–87103,3	0,0000	0,993462	–86533,8
Февраль, декада 2	–27750,4	0,0014	0,995111	–27614,7
Февраль, декада 3	36687,8	0,0000	0,997179	36584,3
Апрель, декада 1	–39665,9	0,0000	1,007763	–39973,8
Июнь, декада 1	–47234,9	0,0000	1,023252	–48333,2
Июнь, декада 2	42261,0	0,0000	1,024649	43302,7
Ноябрь, декада 1	18449,8	0,0228	1,001290	18473,6
Лаговые переменные, сельскохозяйственный год: сентябрь 2012 – август 2013				
Февраль, декада 1	–73912,0	0,0000	0,993640	–73442,0
Февраль, декада 2	86948,2	0,0000	0,995444	86552,1
Март, декада 3	19899,3	0,0229	1,004963	19998,1
Июнь, декада 2	26837,7	0,0034	1,024804	27503,3
Июль, декада 3	22467,3	0,0026	1,025646	23043,5
Август, декада 3	–25349,6	0,0023	1,021120	–25885,0
Лаговые переменные, сельскохозяйственный год: сентябрь 2011 – август 2012				
Январь, декада 3	–19812,3	0,0209	0,992556	–19664,8
Февраль, декада 2	26190,8	0,0005	0,995590	26075,3
Июнь, декада 2	–44547,0	0,0000	1,024644	–45644,8
Предсказанное на 2015 г.				8,4 ц с 1 га
–0,95 % – допустимый предел				5,4 ц с 1 га
+0,95 % – допустимый предел				11,4 ц с 1 га
Для полной регрессии: $R^2 = 0,958$, $p = 0,000$. Стандартная ошибка оценки = 1,39 ц с 1 га				



Таблица 2

Предсказанное значение урожайности яровой пшеницы в Саракташском районе на 2016 г. на основе модели множественной регрессии с учетом лаговых переменных и изменения расстояния от барицентра Солнечной системы до Земли (ряд урожайности 1966–2015 гг.)

Даты учета расстояния (месяц, декада), вошедшие в модель множественной регрессии	Коэффициенты регрессии (В-Веса)	р-уровень	Значение предикторов 2015–2016 с.-х. года, а. е.	Произведение (В-Веса) на значение предикторов 2015–2016 с.-х. года
Свободный член	64841,3	0,0000	–	–
Текущий сельскохозяйственный год: сентябрь 2015 – август 2016				
Январь, декада 2	–38194,6	0,0000	0,992294	–37900,3
Февраль, декада 2	88219,3	0,0000	0,995272	87802,2
Май декада 1	19883,4	0,0027	1,015967	20200,8
Июнь декада 1	–48719,4	0,0000	1,022811	–49830,7
Октябрь, декада 3	–28667,7	0,0000	1,005604	–28828,3
Декабрь, декада 1	87294,3	0,0000	0,995697	86918,7
Декабрь, декада 2	–36925,3	0,0000	0,994160	–36709,7
Декабрь, декада 3	–33498,2	0,0004	0,993014	–33264,2
Лаговые переменные, сельскохозяйственный год: сентябрь 2014 – август 2015				
Январь, декада 3	12459,6	0,0349	0,992432	12365,3
Февраль, декада 1	–87111,3	0,0000	0,993460	–86541,6
Февраль, декада 2	–27745,5	0,0011	0,995021	–27607,4
Февраль, декада 3	36695,3	0,0000	0,997006	36585,4
Апрель, декада 1	–39662,3	0,0000	1,007376	–39954,9
Июнь, декада 1	–47238,4	0,0000	1,022978	–48323,8
Июнь, декада 2	42286,9	0,0000	1,024507	43323,2
Ноябрь, декада 1	18449,8	0,0200	1,002013	18486,9
Лаговые переменные, сельскохозяйственный год: сентябрь 2013 – август 2014				
Февраль, декада 1	–73919,8	0,0000	0,993462	–73436,6
Февраль, декада 2	86930,7	0,0000	0,995111	86505,6
Март, декада 3	19880,1	0,0178	1,004442	19968,4
Июнь, декада 2	26836,1	0,0028	1,024649	27497,6
Июль, декада 3	22447,6	0,0015	1,025828	23027,3
Август, декада 3	–25362,4	0,0016	1,021588	–25909,9
Лаговые переменные, сельскохозяйственный год: сентябрь 2012 – август 2013				
Январь, декада 3	–19801,9	0,0176	0,992335	–19650,1
Февраль, декада 2	26202,0	0,0003	0,995444	26082,6
Июнь, декада 2	–44531,9	0,0000	1,024804	–45636,4
Предсказанное на 2016 г.				11,5 ц с 1 га
–0,95 % – допустимый предел				9,3 ц с 1 га
+0,95 % – допустимый предел				13,7 ц с 1 га
Для полной регрессии: $R^2 = 0,958$, $p = 0,000$. Стандартная ошибка оценки = 1,36 ц с 1 га				

моделей (тысячи и десятки тысяч) и выбор оптимального варианта. Ряд наблюдений делится на выборки: обучающая, контрольная и тестовая. Из большого количества моделей прогноза урожайности зерна выбирались лучшие, в которых предсказанная урожайность во всех выборках наиболее близка к фактическому ряду наблюдений. Из них создавался ансамбль.

Наиболее важным показателем оценки работы сети (модели) является отношение стандартных отклонений. Оно представляет собой отношение стандартного отклонения ошибки прогноза к стандартному отклонению обучающих данных. Это регрессионное отношение (точнее, величину «единица

минус это отношение») называют долей объясненной дисперсии модели. В представленных моделях эта доля составила более 80 %. Результаты моделирования представлены в табл. 3. В нейронных сетях 2014 г. прогнозируется при уже известной величине урожайности и исполняет роль внешнего теста. Поскольку предикторы рассчитаны до 2020 г., полученная модель без коррекции проецируется до 2016 г.

Согласно данным всех таблиц получены близкие результаты прогнозных оценок урожайности на 2015 и 2016 гг. при использовании разных математических алгоритмов. Это повышает вероятность соответствия ожидаемой и фактической урожайности.

Таблица 3
Результаты моделирования в нейронных сетях в рамках многомерной регрессии ожидаемой урожайности яровой пшеницы в Саракташском районе на 2015 и 2016 гг.

№ модели	Урожайность, ц с 1 га		
	проекция на 2014 г. (факт = 6,1)	экстраполяция	
		(прогноз) на 2015 г.	(прогноз) на 2016 г.
1123	7,3	11,3	14,3
1124	6,6	11,5	14,5
1127	6,8	12,3	15,0
2055	5,25	9,24	10,8
2056	5,66	8,99	11,36
2077	5,75	9,48	10,34
2095	6,17	9,96	10,06
2871	6,57	8,60	11,27
2884	6,73	8,77	11,45
2933	6,50	8,34	11,50
Среднее	5,8	9,8	12,1

Таблица 4
Итоговая статистика для выборок моделей прогноза урожайности яровой пшеницы в Саракташском районе на проецируемый 2014 г.

№ модели	Выборка					
	обучающая		контрольная		тестовая	
	среднее абсолютной ошибки	отношение стандартных отношений	среднее абсолютной ошибки	отношение стандартных отношений	среднее абсолютной ошибки	отношение стандартных отношений
1123	0,256	0,069	0,563	0,187	0,941	0,215
1124	0,327	0,090	0,654	0,174	0,747	0,152
1127	0,241	0,067	0,859	0,177	1,191	0,262
2055	0,338	0,088	0,603	0,162	0,677	0,172
2056	0,302	0,092	0,483	0,109	0,912	0,166
2073	0,245	0,063	0,731	0,228	0,427	0,152
2095	0,166	0,047	0,408	0,169	0,569	0,127
2871	0,347	0,088	0,509	0,157	0,787	0,197
2884	0,268	0,079	0,486	0,116	0,853	0,153
2933	0,306	0,081	0,354	0,096	0,677	0,156

Выводы.

1. Разработан новый метод моделирования долгосрочного прогноза урожайности на примере яровой пшеницы. Установлена тесная связь многолетней динамики урожайности яровой пшеницы с изменениями во времени расстояния от барицентра Солнечной системы до Земли, что позволяет использовать

значения предикторов за пределами имеющегося ряда урожайности.

2. Показана необходимость учитывать влияние лаговых переменных при разработке моделей прогноза урожайности.

3. Применены методы стандартной множественной регрессии и регрессии в нейронных сетях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Оренбургской области (Грант-постановление от 17 июня 2015 г. № 465-п).

Литература

1. Тихонов В. Е., Кондрашова О. А., Неверов А. А. Применение методов нелинейного описания солнечно-земных связей к прогнозированию урожайности в степном Предуралье // Докл. Рос. акад. с.-х. наук. 2014. № 2. С. 56–59.
2. Жаров В. Е. Сферическая астрономия. Фрязено, 2006. 480 с. URL : <http://www.astronet.ru/db/msg/1190817/node26.html>.
3. Петрукович А. А. Солнечно-земные связи и космическая погода // Плазменная гелиогеофизика : в 2 т. / под ред. Л. М. Зеленого, И. С. Веселовского. М. : Физматлит, 2008. Т. 2. С. 175–251.
4. Ермолаев Ю. И., Ермолаев М. Ю. Солнечные и межпланетные источники геомагнитных бурь: аспекты космической погоды // Геофизические процессы и биосфера. 2009. Т. 8. № 1. С. 5–35.
5. Константиновская Л. В. Солнечная активность. URL : <http://www.astronom2000.info>.



6. Пономарева О. В. О механизме возмущения периодического движения полюса Земли планетами Солнечной системы. URL : http://www.kscnet.ru/ivs/publication/volc_day/2007/art20.pdf.
7. Пономарева О. В. Роль планет и планетных групп в активности Солнца. URL : <http://www.emsd.ru/konf071112/pdf/t2/str212.pdf>.
8. Авакян С. В. Роль активности Солнца в глобальном потеплении // Вестник Рос. акад. наук. 2013. Т. 83. № 5. С. 425–436.
9. Кокоуров В. Д. Многолетние изменения в системе Солнце – Земля. URL : <http://www.kosmofizika.ru/irkutsk/kok/changes.htm>.
10. Хлыстов А. И., Долгачев В. П., Доможилова Л. М. Бариецентрическое движение Солнца и его следствия для Солнечной системы // Современные глобальные изменения природной среды. М. : Научный мир, 2012. Т. 3 : Факторы глобальных изменений. С. 62–77.

References

1. Tikhonov V. E., Kondrashova O. A., Neverov A. A. Application of methods of nonlinear description of solar-terrestrial relationships to the prediction of crop yields in the steppe Urals // The reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2014. № 2. P. 56–59.
2. Zharov V. E. Spherical astronomy. Fryazino, 2006. 480 p. URL : <http://www.astronet.ru/db/msg/1190817/node26.html>.
3. Petrukovich A. A. Solar-terrestrial connections and space weather // Plasma geliogeophysic : in 2 vol. / ed. by L. M. Zelenyi, I. S. Veselovsky. M. : Fizmatlit, 2008. Vol. 2. P. 175–251.
4. Yermolaev Y. I., Yermolaev M. Yu. Solar and interplanetary sources geomagnetic storms: space weather aspects // Geophysical processes and biosphere. 2009. Vol. 8. № 1. P. 5–35.
5. Constantinovskaja L. V. Solar activity. URL : <http://www.astronom2000.info/>.
6. Ponomareva O. V. On the mechanism of perturbation of the periodic polar motion of the Earth by planets of the Solar system. URL : http://www.kscnet.ru/ivs/publication/volc_day/2007/art20.pdf.
7. Ponomareva O. V. The value of planets and planet groups in the Solar activity. URL : <http://www.emsd.ru/konf071112/pdf/t2/str212.pdf>.
8. Avakyan S. V. The value of Solar activity in global warming // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2013. Т. 83. №5. P. 425–436.
9. Kokourov V. D. Long-term changes in the system Sun – Earth. URL : <http://www.kosmofizika.ru/irkutsk/kok/changes.htm>.
10. Khlystov A. I., Dolgachev V. P., Domozhilova L. M. The Barycentric motion of the Sun and its consequences for the Solar system // Modern global changes of natural environment. M. : Scientific world, 2012. Vol. 3 : Factors of global change. P. 62–77.