

ISSN 2304-9081

Учредители:
Уральское отделение РАН
Оренбургский научный центр УрО РАН

Бюллетень
Оренбургского научного центра
УрО РАН



2015 * № 4

Электронный журнал
On-line версия журнала на сайте
<http://www.elmag.uran.ru>

© А.А. Неверов, 2015

УДК 004.94:551.58:633.171:631.559/470.56

А.А. Неверов

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ ПРОСА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЕ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

Оренбургский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Оренбург, Россия

Цель. Разработать математические модели связи урожайности зерна проса с погодно-климатическими условиями центральной зоны Оренбургской области.

Материалы и методы. Для решения поставленных задач использована информация длительных рядов урожайности проса Оренбургского района Оренбургской области (1891-2013 гг.), а так же материалы агрометеорологических бюллетеней Оренбургского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Применялись методы нейросетевого и многомерного регрессионного анализа.

Результаты. Впервые разработаны математические модели связи: тренда урожайности проса с климатическими факторами и отклонений урожайности проса от тренда с погодными факторами, определившими эти отклонения.

Заключение. Наблюдаемая в последние 30 лет тенденция роста температуры воздуха в июле отрицательно влияет на формирование урожая зерна проса. С большой долей вероятности в ближайшие 10-15 лет можно будет рассчитывать на среднюю урожайность проса в степной зоне Оренбуржья на уровне 7-8 центнеров с гектара.

Ключевые слова: климат, тенденция, температура, осадки, колебания, сельскохозяйственная культура, просо, урожайность, регрессия, нейронная сеть.

A.A. Neverov

THE INFLUENCE OF WEATHER AND CLIMATIC CONDITIONS ON THE FORMATION HARVEST OF MILLET IN THE CENTRAL ZONE OF THE ORENBURG REGION

Orenburg Scientific Research Institute of Agriculture, Orenburg, Russia

Purpose. To develop the mathematical model of grain yield of millet with the weather and climate conditions of the Central zone of the Orenburg region.

Materials and methods. To solve the set tasks was used information for a long period the yield of millet of the Orenburg district of Orenburg region (1891-2013 years), as well as materials agrometeorological bulletins of the Orenburg regional center for Hydrometeorology and environmental monitoring. We have applied the methods of neural network and multivariate regression analysis.

Results. First developed a mathematical model of communication: trend productivity with climatic factors and deviations of productivity from trend with weather factors that determined these variations.

Conclusion. In recent 30 years, the growth trend of air temperature in July has a negative effect on the formation of grain yield of millet. Very likely in the next 10-15 years, you can count on the average yield of millet in a steppe zone of Orenburg region on the level of 7-8 quintals per hectare.

Keywords: climate, trend, temperature, precipitation, fluctuations, agricultural crop, millet, yield, regression, the neural network.

Введение

Анализ развития во времени какого-либо фактора, например урожайности сельскохозяйственных культур и (или) погоды, требует многолетних рядов наблюдений. Однако подобные анализы, особенно по урожайности, проблематичны из-за отсутствия достаточной информации, ее достоверности в прошлом, различий в уровне агротехники, плодородия почвы и т.д.

Существуют различные инструменты анализа причинно-следственных связей между явлениями. В настоящее время широко используется в статистическом анализе метод множественной регрессии, а в последнее десятилетие во многих странах применяют аналитически-синтетический инструментарий на основе обучения нейронных сетей и создания из них ансамблей.

Нами были поставлены задачи исследовать связи тенденций некоторых климатообразующих факторов и урожайности зерна проса в Оренбургском районе Оренбургской области за весь период инструментальных наблюдений по метеоусловиям региона (1891-2013 гг.) и выделить основные факторы климата, определившие тенденции формирования урожая в указанный период времени.

Материалы и методы

Для решения поставленных задач была использована информация длительных временных рядов урожайности проса Оренбургского района Оренбургской области (1891-2013 гг.), а так же материалы агрометеорологических бюллетеней Оренбургского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (метеостанция - г. Оренбург). На основе архивной информации ГМЦ по г. Оренбургу (1891-2013 гг.) была создана База данных погодных условий, которая включала в себя: среднесуточные значения температуры воздуха, осадков, дефицита влажности воздуха за различные периоды времени и др. (всего более 300 переменных).

Урожайность зерна проса выбрана за периоды: 1935-1964 гг. – из годовых отчетов колхозов по Оренбургскому району; 1965-2013 гг. – из бюллетеней «Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур» Оренбургского областного комитета государственной статистики (МСХ и перерабатывающей промышленности Оренбургской области). Однако из-за отсутствия информации по урожайности зерна проса за период 1891-1934 гг. возникли большие сложности в построении непрерывного временного ряда.

В последнее время появилось достаточно много сообщений о многолетних (от сотен до тысяч и даже миллионов лет) реконструкциях различных параметров (региональная температура, осадки, активность Солнца, вариации атмосферной циркуляции) по концентрации ^{14}C в кольцах деревьев, содержанию континентальных и океанических аэрозолей в кернах льда и т.д. [1, 2].

Используя современные методы нейросетевого анализа, нами была проведена агрометеорологическая реконструкция ряда урожайности за последние 124 года для последующего анализа связей тенденций урожая проса и климатических факторов. Для этого применялись методы нейросетевого и многомерного регрессионного анализа программы «Statistica», использовались различные стохастические алгоритмы аппроксимации. В созданных нейронных сетях (многослойный персептрон) использовались логистические функции активации нейронов.

Для расчёта тренда и отклонений от него использовался метод гармонических весов [3] в авторской программе «Prognostics v. 4-1»

Результаты и обсуждение

Для метеорологической реконструкции временного ряда урожайности за этот период нами была предпринята попытка создания математической модели, в которой агротехника соответствовала бы современному усредненному уровню второй половины XX века. При этом мы использовали наиболее объективную информацию по метеоусловиям региона за период (1891-2013 гг.) и урожайности зерна проса более позднего периода (1950-2013 гг.).

Преимущества нейронных сетей в построении прогностических моделей перед множественной регрессией очевидны. В них отсутствуют ограничения присущие последним. Если во множественной регрессии исключаются коррелируемые между собой предикторные переменные, и их количество существенно ограничивается, то в нейронных сетях при использовании логистических функций активации эти ограничения устранены. Поэтому в нашем анализе множественная регрессия рассматривается как некая схема взаимосвязи наиболее существенных переменных, а более полную картину воспроизводит многослойный персептрон по принципу распознавания образов.

Из большого массива моделей (более 1 млн.) урожайности проса нами выбраны две наилучших (№1649 и №1676), из которых был создан ансамбль,

в котором прогнозируемая урожайность наиболее близка к фактическому ряду наблюдений (рис. 1).

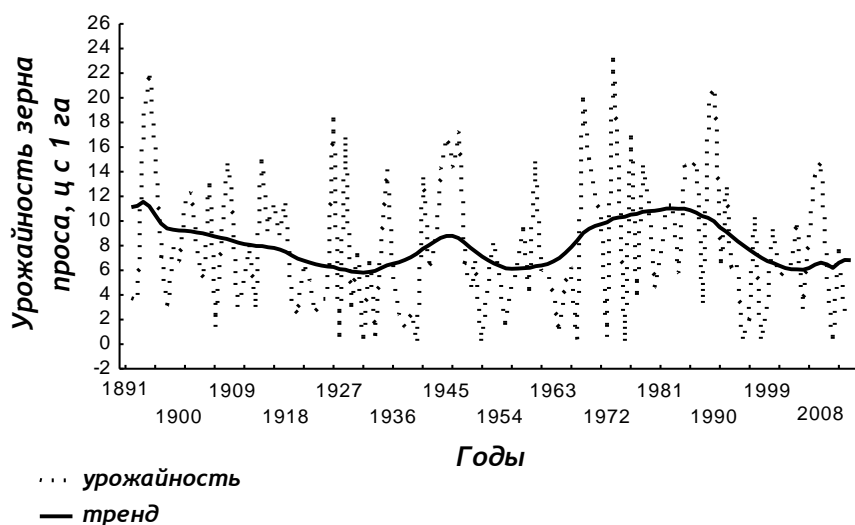


Рис. 1. Агрометеорологическая реконструкция урожайности зерна проса и её тенденция с 22-летней фазой скользящего осреднения (1892-2013 гг.).

В результате реконструкции получены близкие к фактическим значениям величины урожайности зерна проса в независимой тестовой выборке, подтверждающие работоспособность моделей (табл. 1).

Таблица 1. Наблюдаемая и прогнозируемая урожайность зерна проса в тестовой выборке моделей, ц с 1 га

Модель №1649			Модель №1676		
Год	Урожайность фактическая	Урожайность прогнозируемая	Год	Урожайность фактическая	Урожайность прогнозируемая
1967	0,1	1,1	1951	0,7	0,2
1968	20,2	19,0	1953	8,4	9,1
1978	14,7	15,8	1972	0,5	0,9
1983	11,9	11,2	1981	7,3	6,1
2012	2,5	2,0	1984	5,9	6,4

В качестве критериев оценки качества моделей нами использовались следующие: высокий коэффициент корреляции (более 0,9) между наблюдаемыми и прогнозируемыми значениями временного ряда, минимальное отношение стандартного отклонения ошибки к стандартному отклонению данных по всем выборкам: обучающей, контрольной и независимой тестовой.

В качестве предикторов в различных моделях были выбраны от 32 до 92-х факторов, описывающих погодные условия.

Полученные результаты агрометеорологической реконструкции урожайности зерна проса представлены в таблице №2.

Таблица 2. Реконструкция урожайности зерна проса за период 1892-1951 гг. (ансамбль моделей в нейронных сетях)

Год	Реконструкция урожайности, ц с 1 га	Год	Реконструкция урожайности, ц с 1 га	Год	Реконструкция урожайности, ц с 1 га
1892	12,8	1912	19,3	1932	10,6
1893	2,2	1913	9,7	1933	1,6
1894	21,6	1914	14,6	1934	6,7
1895	18,7	1915	17,9	1935	10,9
1896	14,0	1916	11,9	1936	5,8
1897	5,3	1917	5,2	1937	8,2
1898	1,1	1918	12,5	1938	0,7
1899	9,5	1919	8,4	1939	0,1
1900	3,4	1920	5,2	1940	7,1
1901	10,1	1921	4,8	1941	10,0
1902	12,7	1922	12,3	1942	8,2
1903	7,2	1923	6,8	1943	10,2
1904	8,5	1924	3,4	1944	14,5
1905	16,1	1925	6,7	1945	21,8
1906	2,5	1926	20,5	1946	20,8
1907	10,4	1927	3,1	1947	20,5
1908	14,2	1928	13,6	1948	3,4
1909	8,3	1929	7,3	1949	3,2
1910	6,8	1930	6,5	1950	7,3
1911	7,1	1931	0,4	1951	0,6

Примечание: Неурожайные годы выделены жирным шрифтом.

Дополнительным косвенным подтверждением работоспособности данных моделей служит достаточно точное совпадение неурожайных лет, выделенных нами, с данными, приведенными В.Е. Тихоновым (2005) по урожайности яровой пшеницы в Бузулукском районе Оренбургской области за период с 1890 г. по 2000 г., а также – с описанием засушливых лет из отчетов по земледелию в ежегодных «Обзорах Оренбургской губернии» по Оренбургскому уезду (Государственный Оренбургский областной архив).

С помощью множественной регрессии выявлены основные факторы климата в Оренбургском районе (табл. 3), во многом определившие тенденцию урожайности за период (1891-2013 гг.).

За последние 100 лет наблюдалось существенное влияние тренда температуры воздуха в 3-ей декаде июля на тренд урожайности проса (рис. 3).

Таблица 3. Зависимость тенденции урожайности проса от климатических факторов (1891-2013 гг.)

$R^2 = 0,54$ $F(1, 120) = 143,7$				
	Доля влияния, %	Коэффициенты регрессии	Критерий Стьюдента	доверительный уровень
Начальная ордината		$41,03 \pm 2,7$	15,2	0,0000
Тренд температуры воздуха 3-ей декады июля, $^{\circ}\text{C}$	54,0	$-1,48 \pm 0,12$	-12,0	0,0000

Тренды урожайности зерна и температуры воздуха находились в противофазе относительно друг друга, рост температуры июля сопровождался синхронным снижением урожайности и, наоборот, понижение температуры самого жаркого летнего месяца способствовало её росту. Причем эти колебательные процессы были синхронизированы как по амплитуде, так и по фазе на протяжении всего периода наблюдений.

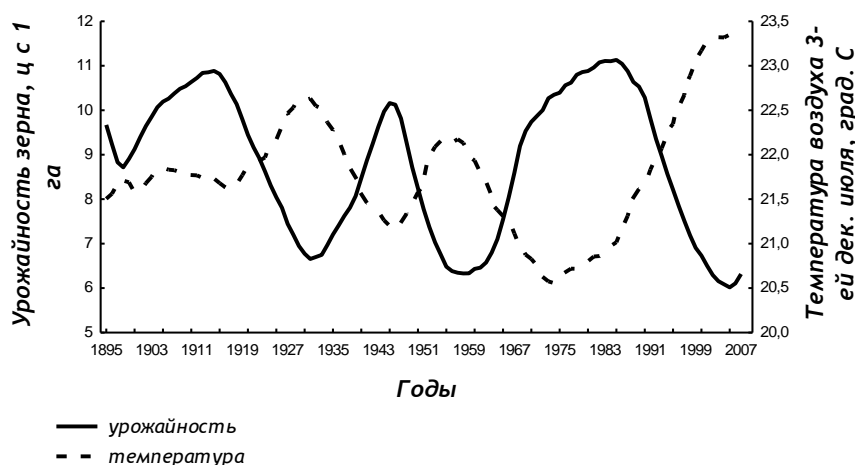


Рис. 2. Влияние тренда температуры воздуха 3-ей декады июля на тенденцию урожайности зерна проса (1892-2013 гг.).

Выводы статистического анализа хорошо согласуются с биологическими особенностями роста и развития проса как поздней яровой культуры. Для формирования хорошего урожая проса в условиях недостаточного увлажнения необходима умеренная температура в критический период развития растений – в фазу выметывания метелки и формирования зерна, что в условиях центральной зоны Оренбуржья приходится на третью декаду июля.

Наблюдаемая в последние 30 лет тенденция роста температуры воздуха в 3-ей декаде июля отрицательно влияла на формирование урожая зерна про-

са в многолетнем периоде. С большой долей вероятности в ближайшие 10-15 лет можно рассчитывать на урожайность проса в степной зоне Оренбуржья на уровне 7-8 центнеров с гектара.

Наряду с детерминирующей составляющей информация по отклонению ежегодной урожайности зерна проса от многолетнего тренда не менее важна для выявления оптимальных условий формирования его продуктивности. Для определения наиболее значимых факторов погоды и доли их влияния на колебания урожайности зерна проса относительно тренда проведена фильтрация предикторов путем пошаговой множественной регрессии.

Известно, что на продуктивность агроценоза оказывают влияние все факторы экосистемы: температура воздуха, осадки, дефицит влажности воздуха, направление и скорость ветра, солнечная инсоляция, освещенность и т.д. [3-6]. Важны значения этих параметров за каждый день и час и не только в период вегетации растений, но и в периоды, предшествующие их росту. Любой статистический анализ, выполненный в данном случае по установлению причинно-следственных связей, это всего лишь грубая схема той гармонии взаимосвязей, которую мы наблюдаем в природе.

Нами выделено семь независимых переменных – факторов погоды (табл. 4).

Таблица 4. Влияние погодных условий на отклонения от тренда урожайности зерна проса

Полное название	$R^2 = 0,61$	Регрессия		
	Доля влияния фактора, %	Коэффициенты регрессии	T - критерий оценки коэффициентов	P - уровень достоверности
Начальная ордината		426,7±55,8	7,65	0,000
Отклонения среднесуточной температуры воздуха в июле от тренда, %	29,3	-2,57±0,46	-5,62	0,000
Отклонения среднесуточной температуры воздуха в мае от тренда, %	11,4	-0,96±0,24	-3,96	0,000
Осадки 1-ой декады июня, мм	8,3	1,58±0,33	4,83	0,000
Осадки 2-ой декады мая, мм	3,0	1,04±0,24	4,37	0,000
Осадки 1-ой декады июля, мм	4,2	0,75±0,21	3,60	0,000
Осадки апреля, мм	4,1	0,70±0,18	3,84	0,000
Отклонения среднесуточной температуры воздуха в декабре прошлого года от тренда, %	1,1	-0,35±0,10	-3,44	0,000

Эти факторы почти в 61% случаев оказали доминирующее влияние на формирование урожайности проса в Оренбургском районе Оренбургской области за период с 1891 г. по 2013 г. Наибольшее влияние на отклонения урожайности зерна проса от тренда имели погодные условия июля: отклонения среднесуточной температуры воздуха в третьей декаде июля от тренда и осадки 1-ой декады июля (33,5% в сумме факторов). С температурой воздуха связь – отрицательная, с осадками – положительная.

Отклонения среднесуточной температуры воздуха от тренда в мае оказывали влияние на урожайность в 11,4% случаев, рост температуры приводил к снижению урожайности. Положительная связь между продуктивностью проса наблюдалась от осадков в апреле (4,1%), во 2-ой декаде мая (3,0%) и в 1-ой декаде июня (8,3%).

Заключение

Таким образом, наблюдаемая в последние 30 лет тенденция роста температуры воздуха в 3-ей декаде июля отрицательно влияет на формирование урожая зерна проса в многолетнем периоде. При этом с большой долей вероятности в ближайшие 10-15 лет можно рассчитывать на среднюю урожайность проса в степной зоне Оренбуржья на уровне 7-8 центнеров с гектара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неверов А.А. Современные тенденции изменения урожайности зернофуражных культур в Оренбургской области. Вестник мясного скотоводства. 2014. 3(86): 125-130.
2. Неверов А.А. Современные тенденции изменения климата в Оренбургской области. Вестник мясного скотоводства. 2015. 1(89): 117-121.
3. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. Л: Гидрометеиздат, 1988. 313с.
4. Тихонов В.Е., Неверов А.А., Кондрашова О.А. Применение методов нелинейного описания солнечно-земных связей к прогнозированию урожайности в степном Предуралье. Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. 2: 56-59.
5. Тихонов В.Е., Неверов А.А. Долгосрочное прогнозирование урожайности в степной зоне Урала на основе современных методов оценки солнечно-земных связей. Аридные экосистемы. 2014. Т.20. 2(61): 86-92.
6. Тихонов В.Е., Неверов А.А. Долгосрочное прогнозирование урожайности полевых культур на основе планетно-солнечно-земных связей в степном Предуралье. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2014. 4: 1-14 [Электронный ресурс]. (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2014-4/Articles/Tikhonov-Neverov-2014-4.pdf>).

Поступила 25.11.2015

(Контактная информация: Неверов Александр Алексеевич – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий кормовых культур Оренбургского НИИ сельского хозяйства; адрес: г. Оренбург, проспект Гагарина, 27/1; тел. 89226217236; E-mail: nevalex2008@yandex.ru)

LITERATURA

1. Neverov A.A. Sovremennye tendencii izmenenija urozhajnosti zernofurazhnyh kul'tur v Orenburgskoj oblasti. Vestnik mjasnogo skotovodstva. 2014. 3(86): 125-130.
2. Neverov A.A. Sovremennye tendencii izmenenija klimata v Orenburgskoj oblasti. Vestnik mjasnogo skotovodstva. 2015. 1(89): 117-121.
3. Polevoj A.N. Prikladnoe modelirovanie i prognozirovanie produktivnosti posevov. L: Gidrometeoizdat, 1988. 313s.
4. Tihonov V.E., Neverov A.A., Kondrashova O.A. Primenenie metodov nelinejnogo opisaniya solnechno-zemnyh svjazej k prognozirovaniju urozhajnosti v stepnom Predural'e. Doklady Rossijskoj akademii sel'skohozjajstvennyh nauk. 2014. 2: 56-59.
5. Tihonov V.E., Neverov A.A. Dolgosrochnoe prognozirovanie urozhajnosti v stepnoj zone Urala na osnove sovremennyh metodov ocenki solnechno-zemnyh svjazej. Aridnye jekosistemy. 2014. T.20. 2(61): 86-92.
6. Tihonov V.E., Neverov A.A. Dolgosrochnoe prognozirovanie urozhajnosti polevyh kul'-tur na osnove planetno-solnechno-zemnyh svjazej v stepnom Predural'e. Bjul'leten' Orenburgskogo nauchnogo centra UrO RAN. 2014. 4: 1-14 [Elektronnyj resurs]. (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2014-4/Articles/Tikhonov-Neverov-2014-4.pdf>).

Образец ссылки на статью:

Неверов А.А. Влияние погодно-климатических условий на формирование урожая проса в центральной зоне Оренбургской области. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2015. 4: 1-9 [Электронный ресурс]. (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2015-4/Articles/NAA-2015-4.pdf>).