

1
НОМЕР

БОИЦ

ISSN 2304-9081

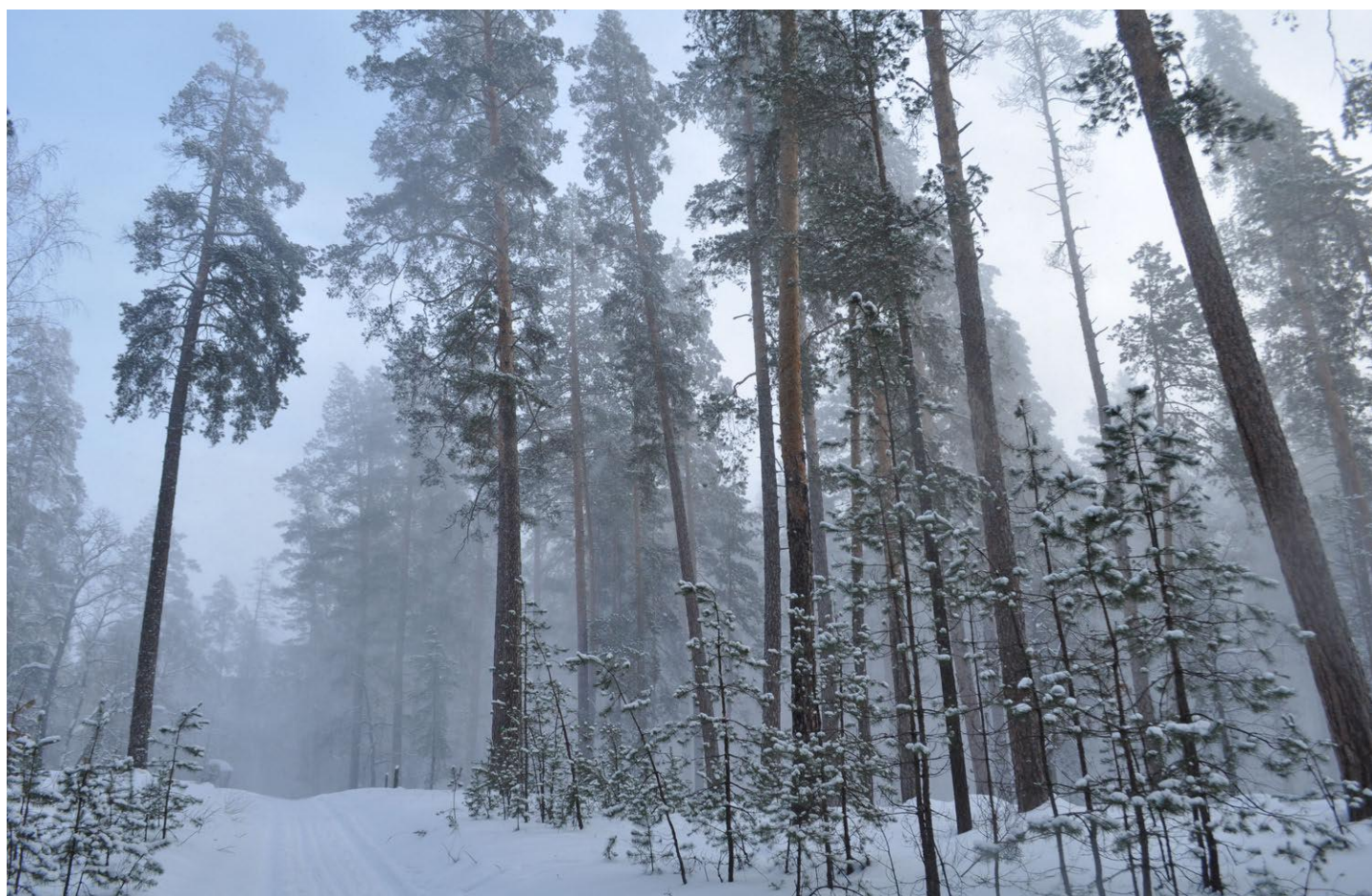
ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ

On-line версия журнала на сайте

<http://www.elmag.uran.ru>

БЮЛЛЕТЕНЬ

ОРЕНБУРГСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРО РАН



2017

УЧРЕДИТЕЛИ

УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН

ОРЕНБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР УРО РАН

© А.А. Неверов, 2017

УДК: 004.94:551.58:633.171:631.559/470.56

А.А. Неверов

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЯЗИ УРОЖАЯ ПРОСА С ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ ЗАПАДНОЙ ЗОНЫ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

Оренбургский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Оренбург, Россия

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

Материалы и методы. Для решения поставленных задач была использована информация длительных рядов урожайности проса Бузулукского района Оренбургской области (1940-2015 гг.), а так же материалы агрометеорологических бюллетеней Оренбургского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (метеостанция - г. Бузулук). Применялись методы многомерного регрессионного анализа.

Результаты. Впервые разработаны математические модели связи: тренда урожайности проса с климатическими факторами и урожайности с погодными факторами Бузулукского района Оренбургской области.

Заключение.

Наибольшую силу воздействия на урожайность проса показали факторы дефицита влажности воздуха и температуры 3-ей декады августа, температуры воздуха минимальной 2-ой декады марта, суммы дефицитов влажности воздуха июля, дефицита влажности воздуха 3-ей декады июля. Вклад климатических факторов июля в 91% случаев определил тренд урожайности проса.

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

A.A. Neverov

COMPUTER SIMULATION OF WHEN THE HARVEST OF MILLET WEATHER-CLIMATIC CONDITIONS OF WESTERN ZONE OF THE ORENBURG REGION

Orenburg scientific research Institute of agriculture, Orenburg, Russia

Purpose. To develop mathematical models of the relationship of grain yield of millet weather-climatic conditions of Western zone of Orenburg region.

Materials and methods. To solve the set tasks were used the information of long series of yield of millet Buzuluk district of Orenburg region (1940-2015.), as well as materials of agrometeorological bulletins of the Orenburg regional center for Hydrometeorology and environmental monitoring (weather station - Buzuluk). We have applied the methods of multivariate regression analysis.

Results. First developed a mathematical model of communication: trend in the yield of millet with the climatic factors and yield with weather factors Buzuluk district of Orenburg region.

Conclusion. The greatest impact on yield of millet showed the factors of the deficit of air humidity and temperature of the 3rd decade of August, air temperature, minimal-Noah 2-nd decade of March, the sum of deficits of air humidity, air humidity deficit of the 3rd decade of July. The contribution of climatic factors July in 91% of cases identified the trend in the yield of millet.

Key words: climate, trend, temperature, precipitation, agricultural crop, millet, yield, regression.

Введение

В ранее опубликованных работах [1-6] нами показаны принципы математического (статистического) моделирования связей урожайности сельскохозяйственных культур с погодно-климатическими условиями центральной зоны Оренбургской области. Аналогичные методы анализа были применены нами в настоящей работе применительно к такой культуре, как просо.

Цель – разработка математических моделей связи урожайности зерна проса с погодно-климатическими условиями западной зоны Оренбургской области.

Материалы и методы

Для решения поставленных задач использована информация длительных временных рядов урожайности проса Бузулукского района Оренбургской области (1940-2015 гг.), а так же материалы агрометеорологических бюллетеней Оренбургского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (метеостанция - г. Бузулук). Применялись методы многомерного регрессионного анализа программы «Statistica» и «NCSS». В качестве независимых переменных определены осадки, температура воздуха: среднесуточная, максимальная и минимальная, дефицит влажности воздуха. Показатели погодных условий рассчитывались по декадам и месяцам, а также использовались их преобразованные значения за различные периоды сельскохозяйственного года – интегральные значения, а также квадратичная форма предиктантов. Общее количество независимых переменных составило около 300 шт. Для расчёта тренда и отклонений от него использовался метод гармонических весов в авторской программе «Prognostics v.5»

Результаты и обсуждение

Проведенный пошаговый регрессионный анализ в программе NCSS, а также графическое построение зависимостей в программе Statistica 6.1 позволили отобрать наиболее значимые в данных условиях региона факторы погоды, детерминирующие урожайность проса, и определить силу воздействия и долю влияния каждого фактора на результативный признак.

Для построения множественной линейной модели связи урожайности зерна проса с погодными условиями в Бузулукском районе были использованы ряды средней по району урожайности и основных метеофакторов за период 1951-2015 гг. (табл. 1).

Таблица 1. Влияние погодных условий на урожайность зерна проса (1951-2015 гг.)

Предикторы	Стандартизованный β -коэффициент регрессии	Доля влияния фактора - Δ - коэффициент, %	Регрессия		
			Коэффициенты регрессии	T - критерий оценки коэффициентов	P - уровень достоверности
Начальная ордината	-	-	27,93±2,9	9,6	0,000
Сумма дефицитов влажности воздуха июля, мб	-0,29±0,13	8,0	- 0,012±0,005	-2,2	0,031
Сумма осадков за январь-август предшествующего года, мм	-0,24±0,07	7,0	- 0,015±0,004	-3,4	0,001
Осадки 1-ой декады ноября предшествующего года, мм	0,2±0,06	5,2	0,093±0,03	3,1	0,003
Осадки 1-ой декады сентября предшествующего года, мм	0,16±0,07	1,5	0,058±0,02	2,4	0,018
Температура воздуха мин. 2-ой декады марта, град. С	0,46±0,07	15,9	0,33±0,05	6,5	0,000
Температура воздуха макс. 2-ой декады мая, град. С	-0,37±0,07	4,5	-0,501±0,09	-5,3	0,000
Температура воздуха 3-ей декады июня в квадрате, град. С ²	0,21±0,08	0,3	0,008±0,003	2,7	0,009
Осадки 1-ой декады октября предшествующего года, мм	0,15±0,07	0,1	0,065±0,03	2,3	0,026
Осадки января предшествующего года, мм	-0,39±0,08	0,4	-0,106±0,02	-5,0	0,000
Дефицит влажности воздуха 3-ей декады августа в квадрате, мб ²	-0,52±0,12	4,4	- 0,027±0,007	-4,2	0,000
Температура воздуха минимальная 2-ой декады декабря предшествующего года, град. С	-0,18±0,06	2,5	-0,12±0,04	-2,7	0,009
Температура воздуха среднесуточная 3-ей декады августа в квадрате, град. С ²	0,38±0,17	1,8	0,017±0,005	3,0	0,004
Температура воздуха среднесуточная 1-ой дек. ноября предшествующего года, град. С	-0,21±0,07	1,0	- 0,3856±0,12	-3,2	0,002
Осадки 1-2 декад июня, мм	0,18±0,07	5,4	0,04±0,015	2,8	0,008
Дефицит влажности воздуха 3-ей декады июля, мб	-0,27±0,12	25,5	-0,267±0,11	-2,2	0,030
Коэффициент - $R^2 = 0,84$ $F = 16,4$ Стандартная ошибка оценки - $\pm 2,0$ ц с 1 га					

При анализе полученного уравнения множественной регрессии закономерно встал вопрос: какой фактор из числа рассмотренных оказывает наибольшее влияние на исследуемый параметр. К сожалению, однозначного ответа на него нет. Это связано с наличием возможной взаимосвязи между не-

зависимыми переменными (например, парное взаимодействие, тройное и т.д.), что сильно усложняет ситуацию. В результате становится принципиально невозможным выяснить, какой именно из предикторов в действительности отвечает за поведение параметра [7].

Тем не менее, в статистике [7, 8] даются полезные рекомендации, позволяющие получить хотя бы оценочные представления по этому поводу. В качестве возможного метода рекомендуется сравнение стандартизованных коэффициентов регрессии.

Стандартизованные β -коэффициенты (бэта-коэффициент) регрессии показывают на сколько сигм (стандартных отклонений) изменится в среднем результат, если соответствующий фактор X_j изменится на одну сигму при неизменном среднем уровне других факторов. В силу того, что все переменные заданы как центрированные и нормированные, стандартизованные коэффициенты регрессии сравнимы между собой. Сравнивая их друг с другом, можно ранжировать факторы по силе их воздействия на результат.

Установлено, что за последние 64 года (1951-2015 гг.) в Бузулукском районе пятнадцать погодных факторов, вошедших в уравнение множественной регрессии, определяли 84% дисперсии урожайности ($R^2 = 0,84$). Оценка параметров коэффициентов регрессии независимых переменных показывает их высокую достоверность на уровне $p < 0,05$ (с учетом фактических значений t -критерия Стьюдента от 2,2 до 9,6).

Желательно, чтобы коэффициент детерминации в идеальном случае приближался к $R^2 = 1,0$ (функциональная зависимость), однако при этом число предикторов, вошедших в уравнение может значительно возрасти до 30 и более, что нарушит общепринятое в статистическом анализе соотношение длины ряда наблюдений к количеству предиктантов, которое не должно быть меньше 6-7 единиц, хотя наш многолетний опыт говорит о большой условности этого постулата. Тем не менее, считаем, что в данном случае важно выделить наиболее значимые факторы погодных условий, определяющие урожайность проса, и проследить тенденции развития этих факторов во времени.

Также важно принять во внимание и другой ряд обстоятельств: в разные годы посеvy проса занимали различную площадь, изменялась технология возделывания этой сельхозкультуры (способы обработки почвы, сорта, сроки сева, плодородие почвы и т.д.); мог влиять и субъективный фактор ошибки учёта урожая: с посевной или с уборочной площадей, и просто в результате

механической ошибки при написании отчётов. Неучтённые случайные факторы в той или иной мере вносили свой вклад в дисперсию урожайности.

Наибольшую силу воздействия на урожайность проса показали следующие погодные факторы: дефицит влажности воздуха и температура 3-ей декады августа, температура воздуха минимальная 2-ой декады марта, сумма дефицитов влажности воздуха июля, дефицит влажности воздуха 3-ей декады июля (стандартизированные коэффициенты 0,27-0,52). Наиболее высокие стандартизированные коэффициенты регрессии наблюдались, в основном, в июле-августе, когда сила воздействия погодных условий на растения была наибольшей.

В статистическом анализе важно знать не только силу воздействия фактора, но и частоту его воздействия (долю влияния) на результирующий признак.

Авторы [7,8] рекомендуют долю влияния фактора в суммарном влиянии всех факторов оценивать по величине *дельта - коэффициентов* (Δ_j):

$$\Delta_j = r_{y,x_j} \cdot \beta_j / R^2,$$

где r_{y,x_j} – коэффициент парной корреляции между фактором j ($j = 1, \dots, m$) и зависимой переменной.

Ранжирование погодных факторов по доле влияния в объяснённой дисперсии урожайности в порядке убывания может не совпадать с силой воздействия фактора на урожай.

Чаще других погодных факторов за последние 64 года в изменчивость урожайности проса внесли условия июля: дефицит влажности воздуха 3-ей декады июля – 25,5% и суммарный дефицит июля - 8%, в сумме 33,5%. Большое влияние на колебания урожая проса в Бузулукском районе имел фактор минимальной температуры воздуха во 2-ой декаде марта (15,9%).

Следующие по частоте влияния на урожайность проса - погодные факторы: сумма осадков за январь-август предшествующего года - 7%, осадки 2-3-ей декад июня - 5,4%, осадки 1-ой декады ноября предшествующего года - 5,2%, температура воздуха максимальная 2-ой декады мая - 4,5%.

Вошедшие в модель независимые переменные (предикторы) охватывают различные этапы роста и развития растений проса (табл. 2).

За весь период наблюдений (1940-2015 гг.) урожайность проса в Бузулукском районе варьировала от 0,3 в 1998 г. до 20,7 ц с 1 га в 1989 г., при среднем значении равным 7,4 ц с 1 га.

Таблица 2. Описательная статистика предикторов регрессионной модели (1940-2015 гг.)

Предикторы	Количество наблюдений	Среднее	Минимум	Максимум	Стд. откл.	Kv
Урожайность проса, ц с 1 га	76	7,4	0,3	20,7	4,5	60,8
Сумма дефицитов влажности воздуха июля, мб	76	347,4	165,0	709,0	106,0	30,5
Сумма осадков за январь-август предшествующего года, мм	76	252,2	111,4	424,0	71,9	28,5
Осадки 1-ой декады ноября предшествующего года, мм	77	9,2	0,1	47,0	9,3	101,8
Температура воздуха среднесуточная 1-ой дек. ноября предшествующего года, °С	77	-1,6	-7,8	6,8	2,4	152,9
Осадки 1-ой декады сентября предшествующего года, мм	77	11,3	0	47,2	12,1	106,9
Темп воздуха мин. 2-ой декады марта, °С*	64	-18,6	-30,9	-4,0	6,3	33,9
Темп. воздуха макс. 2-ой декады мая, °С	64	25,8	19,5	32,7	3,3	12,8
Температура воздуха 3-ей декады июня, С	76	20,6	15,6	27,7	2,8	13,6
Осадки 1-ой декады октября предшествующего года, мм	77	11,4	0	44,3	10,9	96,1
Осадки января предшествующего года, мм	76	24,9	1,7	86,0	16,7	67,2
Дефицит влажности воздуха 3-ей декады августа, мб	76	9,2	4	22,1	3,9	42,7
Температура воздуха минимальная 2-ой декады декабря предшествующего года, °С	65	-22,1	-37,0	-7,8	6,7	30,5
Температура воздуха среднесуточная 3-ей декады августа, °С	76	17,5	12,8	24,5	2,9	16,5
Осадки 1-2 декад июня, мм	76	27,3	0,9	88,2	19,5	71,5
Дефицит влажности воздуха 3-ей декады июля, мб	76	11,3	3,9	29	4,6	40,3

Примечание: *- Минимальная и максимальная температура воздуха показаны за период 1951-2015 гг.

Уровень вариации признака характеризует коэффициент вариации (K_v), вычисляемый как отношение стандартного отклонения к среднеарифметическому значению по ряду наблюдений. По данному критерию независимые переменные можно сравнивать между собой по степени вариации фактора.

Значительной вариацией характеризуются осадки: 1-ой декады сентября прошлого года - 106,9%, 1-ой декады ноября - 101,8%, 1-ой декады октября прошлого года - 96,1%, сумма осадков 1-ой и 2-ой декад июня прошлого

года - 71,5%, осадки января прошлого года - 67,2%.

Но самая высокая вариация наблюдалась по показателю температуры воздуха в 1-ой декаде ноября прошлого года - 152,9%. В этот период температурный режим варьировал от -7,8 до +6,8°C, что в сочетании с другими погодными факторами, предшествующими году урожая может создавать благоприятные или, наоборот, негативные условия для фильтрации осадков холодного периода в почву, что косвенно влияет на формирование запасов продуктивной влаги в почве.

В меньшей степени изменялся температурный режим - от 12,8% во 2-ой декаде мая до 33,9% во 2-ой декаде марта.

Для временного ряда урожайности тренд рассматривается как детерминирующая составляющая, в отличие от случайной компоненты этого ряда, изменения которой определяются, главным образом, агрометеорологическими условиями вегетационного периода конкретных лет. Для построения и анализа взаимосвязи трендов климатических факторов и урожайности проса нами использовался метод гармонических весов с фазой скользящего осреднения равной 22-м годам (табл. 3).

Таблица 3. Зависимость тенденции урожайности проса от климатических факторов (1954-2015 гг.)

Предикторы	Доля влияния фактора - Δ - коэффициент, %	Коэффициенты регрессии	Критерий Стьюдента	p - уровень достоверности
Начальная ордината	-	14,93±0,4	33,6	0,000
Дефицит влажности воздуха 3-ей декады июля, мб	81,8	-1,47±0,04	-36,1	0,000
Сумма дефицитов влажности воздуха июля, мб	8,9	0,04±0,00	17,9	0,000
Температура воздуха минимальная 2-ой декады марта, °C	6,7	0,15±0,01	12,6	0,000
Коэффициент - $R^2 = 0,98$ F (3,58) = 761,8 Стандартная ошибка оценки - ±0,18 ц с 1 га				

С помощью множественной регрессии установлены основные факторы климата в Бузулукском районе, во многом определившие тенденцию урожайности за период (1954-2015 гг.).

Значительное влияние (почти 82 из 100%) на тенденцию урожайности проса в указанный период оказал дефицит влажности воздуха 3-ей декады июля. Совместно с суммой дефицитов влажности воздуха в июле (доля влия-

ния 8,9%) вклад климатических факторов июля в 91% случаев определил тренд урожайности проса. Зависимость урожайности проса от погодных условий в данный период обусловлена, прежде всего, биологическими особенностями этой культуры. В июле наступает критический период для проса - период наибольшей потребности растений в воде и элементах минерального питания, отсюда реакция растений на изменения экологических условий возделывания этой культуры.

На рисунке показаны линии трендов урожайности проса и дефицита влажности воздуха 3-ей декады июля, которые за весь период инструментальных наблюдений наблюдались в противофазе относительно друг друга.

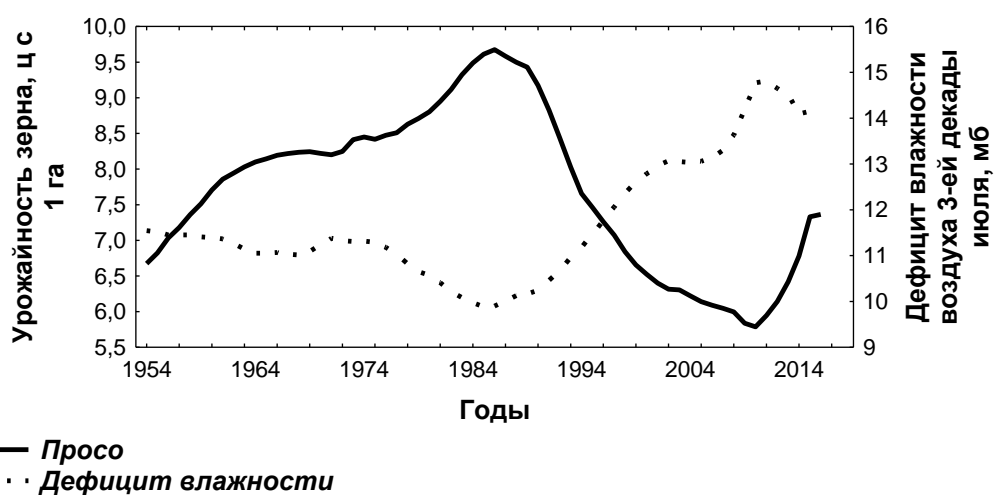


Рис. Влияние дефицита влажности воздуха 3-ей декады июля на тенденцию урожайности проса (1954-2015 гг.).

Увеличение дефицита влажности воздуха с 10 до 15 мб за период с 1984 по 2010 гг. привело к снижению урожайности проса с 9,5 до 6 ц с 1 га. Однако в последние годы наблюдается тенденция снижения дефицита влажности воздуха, и наметился рост урожайности проса в Бузулукском районе Оренбуржья.

Заключение

Урожайность поздней культуры – проса чаще всего зависит от погодных условий, складывающихся в самый тёплый месяц вегетационного периода, а именно в июле. Однако за период с 1940 по 2015 гг. в 90% случаев и более дисперсию урожайности определяли совокупности большого количества факторов.

По силе воздействия и частоте проявления погодные факторы в большинстве случаев не совпадали. Наибольшую силу воздействия на урожай-

ность проса показали факторы дефицита влажности воздуха и температуры 3-ей декады августа, минимальной температуры воздуха 2-ой декады марта, суммы дефицитов влажности воздуха июля, дефицита влажности воздуха 3-ей декады июля (стандартизированные коэффициенты регрессии 0,27-0,52). Наиболее высокие коэффициенты наблюдались в основном в июле-августе, когда сила воздействия погодных условий на растения была наибольшей.

Значительное влияние (почти 82%) на тенденцию урожайности проса оказал дефицит влажности воздуха 3-ей декады июля. Совместно с суммой дефицитов влажности воздуха в июле (доля влияния 8,9%) вклад климатических факторов июля в 91% случаев определил тренд урожайности проса.

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. Неверов А.А. Влияние погодноклиматических условий на формирование урожая ячменя в центральной зоне Оренбургской области (цикл статей по теме «Исследования методами нейросетевого анализа влияния региональных изменений климата на продуктивность агрофитоценозов»). Вестник мясного скотоводства. 2015. 2(90): 114-118.
4. Неверов А.А. Математическое моделирование связей урожая озимой ржи с погодноклиматическими условиями в центральной зоне Оренбургской области (цикл статей по теме «Исследования методами нейросетевого анализа влияния региональных изменений климата на продуктивность агрофитоценозов») // Вестник мясного скотоводства. 2015. 3(91): 125-131.
5. Тихонов В.Е., Неверов А.А. Прогноз предикторов многомерной модели урожайности яровой пшеницы для оценки неблагоприятных условий вегетации: времени их наступления, интенсивности и продолжительности. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2015. 3: 1-13 [Электронный ресурс] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2015-3/Articles/VET-AAN-2015-3.pdf>).
6. Тихонов В.Е., Неверов А.А., Кондрашова О.А. Методология долгосрочного прогнозирования урожайности. Оренбург: ООО «Агентство «Пресса», 2014. 157 с.
7. Елисеева И.И., Курьшева С.В., Костеева Т.В. и др. Эконометрика: учебник / Под ред. И.И. Елисеевой. М.: Финансы и статистика, 2007. 576 с.
8. Айвазян С. А., Мхитарян В.С. Теория вероятностей и прикладная статистика. В кн.: Прикладная статистика. Основы эконометрики: Учебник для вузов: В 2 т. Т.1. М: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 656 с.

Поступила 09.01.2017

(Контактная информация: Неверов Александр Алексеевич - кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Оренбургского НИИ сельского хозяйства; адрес: Россия, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина 27/1; моб. тел. 8-922-621-72-36; 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. Neverov A.A. Vlijanie pogodnoklimaticeskikh uslovij na formirovanie urozhaja jachme-nja v central'noj zone Orenburgskoj oblasti (cikl statej po teme «Issledovanija metodami nejrosetevogo analiza vlijanija regional'nyh izmenenij klimata na produktivnost' agrofитocенозов»). Vestnik mjasnogo skotovodstva. 2015. 2(90): 114-118.
4. Neverov A.A. Matematicheskoe modelirovanie svjazej urozhaja ozimoi rzhii s pogodnoklimaticeskimi uslovijami v central'noj zone Orenburgskoj oblasti (cikl statej po teme «Issledovanija metodami nejrosetevogo analiza vlijanija regional'nyh izmenenij klimata na produktivnost' agrofитocенозов») // Vestnik mjasnogo skotovodstva. 2015. 3(91): 125-131.
5. Tihonov V.E., Neverov A.A. Prognoz prediktorov mnogomernoi modeli urozhajnosti jarovoi pshenicy dlja ocenki neblagoprijatnyh uslovij vegetacii: vremeni ih nastup-lenija, intensivnosti i prodolzhitel'nosti. Bjulleten' Orenburgskogo nauchnogo centra UrO RAN. 2015. 3: 1-13 [Elektronnyj resurs] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2015-3/Articles/VET-AAN-2015-3.pdf>).
6. Tihonov V.E., Neverov A.A., Kondrashova O.A. Metodologija dolgosrochnogo prognozirovanija urozhajnosti. Orenburg: OOO «Agentstvo «Pressa», 2014. 157 s.
7. Eliseeva I.I., Kurysheva S.V., Kosteeva T.V. i dr. Jekonometrika: uchebnik / Pod red. I.I. Eliseevoj. M.: Finansy i statistika, 2007. 576 s.
8. Ajvazjan S. A., Mhitarjan B.C. Teorija verojatnostej i prikladnaja statistika. V kn.: Prikladnaja statistika. Osnovy jekonometriki: Uchebnik dlja vuzov: V 2 t. T.I. M: JuNITI-DANA, 2001. 656 s.

Образец ссылки на статью:

Неверов А.А. Компьютерное моделирование связи урожая проса с погодноклиматическими условиями западной зоны Оренбургской области. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2017. 1: 10с. [Электронный ресурс] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2017-1/Articles/NAA-2017-1.pdf>).