

Геннадий Александрович Стародворов

Луганский государственный аграрный университет, старший преподаватель кафедры экологии и природопользования, Луганск, Луганская Народная Республика, starodvorow@mail.ru

Сабир Вагидович Кадыров

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, профессор кафедры земледелия, растениеводства и защиты растений, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Воронеж, Россия, plant@agronomy.vsau.ru

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ
НА ИЗМЕНЕНИЕ УСЛОВИЙ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ДОНЕЦКОГО КРЯЖА**

По результатам исследований 1995–2019 гг. наблюдается высокая вариативность урожайности озимой пшеницы в условиях изменения внешней среды – от 8,9 до 50,1 ц/га. За 25 лет исследований произошло существенное повышение температуры атмосферного воздуха – на 1,7 °C (21,5 %) и увеличение количества осадков на 89,3 мм (21,3 %) в сравнении со среднемноголетними значениями. Для определения величины совместного влияния осадков и температуры воздуха на урожайность и вычисления теоретических значений урожайности была построена модель на основе уравнения множественной регрессии. Наблюдалась отрицательная парная корреляция между зависимой переменной и температурой воздуха октября, апреля, мая и положительная корреляция в ноябре и марте. Установлена максимально значимая связь между урожайностью озимой пшеницы и осадками сентября: $r \geq 0,67$ при $p = 0,001$. За промежуток времени, равный 24 годам, урожайность озимой пшеницы сильнее всего зависела от недостатка осадков в сентябре. Выпадение осадков в сентябре очень сильно изменяется по годам: от 1 мм в 1998 г. до 142 мм в 2001 г., коэффициент вариации превышает 79 %. Детерминация урожайности озимой пшеницы с осадками и температурами превышает 75 %. Взаимное влияние ежемесячного количества осадков и среднемесячной температуры воздуха оказывает лимитирующее воздействие на формирование урожая озимой пшеницы в степных условиях северной части Донецкого края. Вместе с тем наблюдается тенденция снижения урожайности тестовой культуры в условиях изменения внешней среды.

Ключевые слова: корреляция, озимая пшеница, осадки, температура воздуха, урожайность.

Gennady A. Starodvorov

Lugansk State Agrarian University, Senior Lecturer at the Department of Ecology and Nature Management, Lugansk, Lugansk People's Republic, starodvorow@mail.ru

Sabir V. Kadyrov

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, Professor at the Department of Agriculture, Crop Production and Plant Protection, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Voronezh, Russia, plant@agronomy.vsau.ru

**WINTER WHEAT ECOLOGICAL RESPONSE TO CHANGES
IN THE DONETSK RIDGE NORTHERN PART ENVIRONMENTAL CONDITIONS**

According to the research results of 1995–2019 there is a high variability of the yield of winter wheat in conditions of changes in the external environment – from 8.9 to 50.1 centners/ha. Over 25 years of research, there was a significant increase in atmospheric temperature – by 1.7 °C (21.5 %) and an increase in precipitation by 89.3 mm (21.3 %) in comparison with the long-term average values. To determine the magnitude of the combined effect of precipitation and air temperature on yield and calculate the theoretical

values of yield, a model was built based on the multiple regression equation. There was a negative pairwise correlation between the dependent variable and air temperature in October, April, May and a positive correlation in November and March. The most significant relationship was established between the yield of winter wheat and precipitation in September: $r \geq 0.67$ at $p = 0.001$. Over a period of 24 years, the yield of winter wheat most strongly depended on the lack of precipitation in September. The precipitation in September varies greatly from year to year: from 1 mm in 1998 to 142 mm in 2001, the coefficient of variation exceeds 79 %. Determination of the yield of winter wheat with precipitation and temperatures exceeds 75 %. The mutual influence of the monthly amount of precipitation and the average monthly air temperature has a limiting effect on the formation of the winter wheat yield in the steppe conditions of the northern part of the Donetsk Ridge. At the same time, there is a tendency towards a decrease in the yield of the test crop under conditions of changes in the external environment.

Keywords: correlation, winter wheat, precipitation, air temperature, yield.

Введение. Климатические изменения в мире вызвали повсеместный и быстрый рост стоимости продуктов питания. По результатам экспертной оценки специалистов ФАО ООН, происходит ухудшение ситуации и распространение голода в большинстве стран.

Недостаточная информированность специалистов сельского хозяйства о величине влияния абиотических факторов на продуктивность культурных фитоценозов, игнорирование возможностей моделирования привели к тому, что практическая реализация адаптации сельскохозяйственного производства к условиям глобального изменения климата в большинстве случаев не выполняется.

Цель исследований. Установление объективной зависимости между климатическими факторами и продуктивностью озимой пшеницы в северной части Донецкого края.

Методы исследований. За период исследований в агрокомплексе «Колос» выращивались различные сорта озимой пшеницы: Антоновка, Дриада-1, Одесская 267 и Селянка.

Для анализа связей между переменными – урожайностью озимой пшеницы и независимы-

ми переменными (среднемесячной температурой воздуха и количеством осадков) – применяли методы математического моделирования и математическо-статистического анализа, обработку данных проводили на ПК в системе «STATISTICA 10» [1].

Результаты исследований и их обсуждение. Влияние погодных и климатических факторов на урожайность полевых культур изучалось многими исследователями [5–8].

В ходе исследований нами были проанализированы статистические данные урожайности озимой пшеницы в учебно-научно-производственном аграрном комплексе (УНПАК) Луганского государственного аграрного университета (ЛГАУ) «Колос» в период с 1995 по 2019 г. (исключение – 2014 г.) и данные Центра гидрометеорологии МЧС ЛНР с 1838 по 2019 г. [3]. Вначале сравнивали показатели осадков и температуры за долгосрочный период. Значения среднегодовой температуры воздуха и суммы осадков за год изучались два периода: 1838–1994 и 1995–2019 гг. (табл. 1).

Таблица 1

Динамика среднегодовой температуры воздуха и суммы осадков

Фактор	Годы		+/-	%
	1838–1994	1995–2019		
Среднегодовая температура, °С	7,9	9,6	+1,7	21,5
Сумма осадков, мм	419,4	508,7	+89,3	21,3

В сравнении с первым периодом (1838–1994 гг.) во втором периоде (1995–2019 гг.), т.е. за 25 лет, заметно повысилась среднегодовая температура воздуха – на 1,7 °С, или на 21,5 %, и увеличилась среднегодовая сумма осадков на 89,3 мм, что составляет 21,3 %. Мы являемся

свидетелями того, какими стремительными темпами изменяются показатели внешней среды, при этом сохраняется вероятность снижения температуры и уменьшения количества осадков в будущем.

Для установления зависимости продуктивности озимой пшеницы от агроэкологических факторов (осадков и температуры воздуха) определяли статистические параметры распределения значений урожайности. Средняя урожайность

озимой пшеницы составляла 25,95 ц/га, значение коэффициента вариации – 41,5, что свидетельствует о сильной изменчивости урожайности. Размах изменчивости – от 8,9 до 50,1 ц/га (табл. 2).

Таблица 2

Основная статистика урожайности озимой пшеницы

Средняя урожайность, ц/га	Размах изменчивости	Стандартное отклонение	Коэффициент		
			вариации, %	экссесса	асимметрии
25,95	8,9–50,1	10,76	41,5	1,0	0,4

Стандартное отклонение показывает величину отклонения тестового показателя от своего многолетнего значения, в данном случае оно составляет 10,76. Значения коэффициентов эксцесса и асимметрии невелики и незначимы, что позволяет рассматривать данное распределение как нормальное.

Для построения адекватной модели зависимости урожайности озимой пшеницы подбирали независимые переменные – значения количества осадков за месяц и среднемесячной температуры воздуха. Основные требования к модели: высокие значения коэффициентов множественной корреляции и детерминации (количественные показатели), а также надежность связи или значимость (p-уровень) (качественный показатель связи между переменными) [4, 12]. Результаты парной корреляции урожайности

озимой пшеницы от 10 независимых переменных – среднемесячной температуры октября, ноября, марта, апреля и мая (x_1-x_5) и ежемесячного количества осадков августа, сентября, апреля, мая и июня (x_6-x_{10}) – представлены в таблице 3.

Наблюдалась отрицательная парная корреляция между зависимой переменной и температурой воздуха октября, апреля, мая и положительная корреляция в ноябре и марте. Установлена максимально значимая связь между зависимой переменной и осадками сентября $r \geq 0,67$ при $p = 0,001$, это означает, что за промежуток времени, равный 24 годам, урожайность озимой пшеницы сильнее всего зависела от количества выпавших осадков в сентябре – месяце посева этой важной продовольственной культуры.

Таблица 3

Результаты парной корреляции и множественной регрессии урожайности озимой пшеницы с температурой и осадками

Переменные (x_1-x_5)	Коэффициент		Переменные (x_6-x_{10})	Коэффициент	
	парной корреляции	регрессии		парной корреляции	регрессии
Температура воздуха, °C			Осадки, мм		
1) октябрь	-0,03	3,8344	6) август	0,33	0,1136
2) ноябрь	0,17	1,4620	7) сентябрь	0,67*	0,3011
3) март	0,22	1,6064	8) апрель	0,08	-0,0106
4) апрель	-0,20	2,8496	9) май	0,05	0,1470
5) май	-0,17	0,4315	10) июнь	-0,02	0,1234

* Значим при $p = 0,001$.

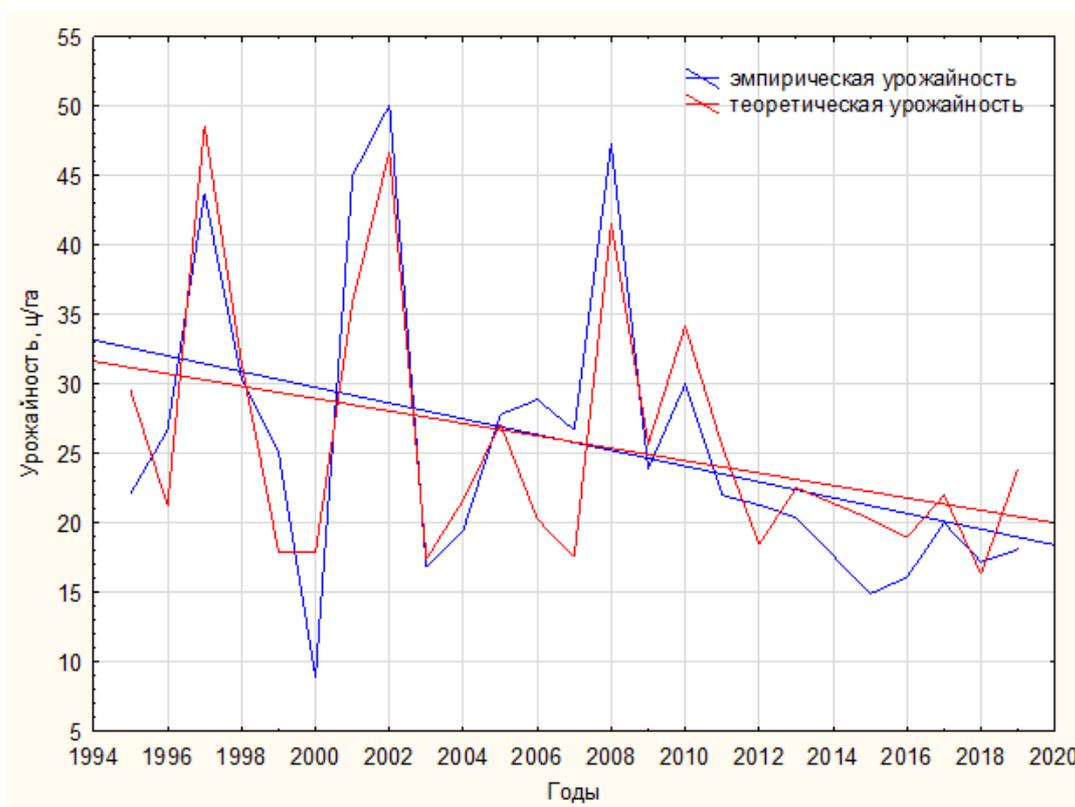
Следует отметить, что выпадение осадков в сентябре очень сильно изменяется по годам – от 1 мм в 1998 г. до 142 мм в 2001 г., коэффициент вариации превышает 79 %. Высокая из-

менчивость выпадения осадков в месяц посева является ключевым фактором, определяющим уровень урожайности озимой пшеницы в степных условиях северной части Донецкого края.

Для вычисления теоретических значений урожайности подставляли в уравнение соответствующие значения. Уравнение имеет вид: $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_{10}x_{10}$, где y – урожайность озимой пшеницы (зависимая переменная); a_0 – свободный член в уравнении регрессии; a_1, \dots, a_{10} – параметры (коэффициенты) уравнения регрессии (табл. 3), начиная с a_1 (для температуры октября) и до a_{10} (для суммы осадков за июнь); x_1 – x_5 – температура за соответствующие месяцы; x_6 – x_{10} – осадки за соответствующие месяцы. Свободный член (от англ. «Intercept», a_0) в уравнении равен минус 83,5151.

Теоретическая урожайность в 2019 г. составила 23,9 ц/га, фактическое значение урожайности – 18,1 ц/га, отклонение составляет -5,8 ц/га (рис.).

Наибольшее отклонение фактического значения от теоретического в отрицательном направлении было в 2000 г. (-8,9 ц/га), в положительном – в 2007 г. (9,1 ц/га). Самая низкая фактическая урожайность отмечена в 2000 г.: 8,9 ц/га, наиболее высокая в 2002 – 50,1 ц/га. Максимальная теоретическая или предсказанная (от англ. «predicted») урожайность на основании модели в 1997 г. составила 48,6 ц/га, минимальная – 16,3 ц/га в 2018 г.



Временные ряды эмпирических и теоретических значений урожайности озимой пшеницы

Вместе с тем наблюдается тенденция снижения урожайности тестовой культуры (линия тренда) в условиях изменения внешней среды, аналогичные изменения замечены в Европе [2]. При этом увеличение выпадения количества осадков должно сопровождаться ростом урожайности. Причинами снижения урожайности в степной зоне могут быть: непродуктивное увеличение выпадения осадков в зимние месяцы на фоне повышения годовой суммы осадков, повышение температуры атмосферного возду-

ха, неадаптированные к изменению климата сорта культурных растений, сроки посева, агротехника и др.

В таблице 4 представлены коэффициенты множественной линейной корреляции и детерминации изменчивости продуктивности озимой пшеницы в УНПАК «Колос». Наблюдаются высокие значения коэффициентов множественной корреляции и детерминации: $R=0,8685$ и $R^2=75,4$; вероятность ошибки составляет 0,01 %.

**Результаты множественного корреляционно-регрессионного анализа
изменчивости урожайности озимой пшеницы**

Культура	Количество независимых переменных в модели	Коэффициенты множественной		Вероятность ошибки (p-уровень)
		корреляции (R)	детерминации (R ²), %	
Пшеница озимая	10	0,8685	75,4	0,01

Результаты исследований хорошо согласуются с предыдущими выводами о влиянии климатообразующих факторов на урожайность полевых культур в северной части Донецкого края [9–11].

Выводы

1. За прошедшие 25 лет произошло заметное повышение среднегодовой температуры воздуха на 1,7 °С, или на 21,5 %, и увеличение среднегодовой суммы осадков на 89,3 мм, что составляет 21,3 %.

2. Установлена максимально значимая связь между урожайностью озимой пшеницы и осадками сентября: $r \geq 0,67$ при $p = 0,001$.

3. Детерминация урожайности озимой пшеницы с осадками и температурой составляет 75,4 % ($p = 0,01$). Свыше 75 % изменчивости урожайности озимой пшеницы в годы исследований определяются осадками и температурой воздуха.

Список источников

1. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. 2-е изд. СПб.: Питер, 2003. 688 с.
2. Вайдал Д. Европа истощила свой потенциал увеличения урожайности зерновых. URL: http://journal.esco.co.ua/cities/2013_8/art52.html (дата обращения: 18.12.2017).
3. Климатические показатели экологических факторов Луганской гидрометеостанции в 1838–2015 гг. / сост. И.Д. Соколов, Е.Д. Долгих, Е.И. Соколова. Луганск: ЛНАУ, 2016. 24 с.
4. Компьютеризация агрономических и биологических расчетов / И.Д. Соколов, П.В. Шелихов, С.Ю. Наумов [и др.]. Луганск: Элтон-2, 2001. 133 с.
5. Кульбіда М.І. Оцінка фотосинтетическої

продуктивності озимі пшениці за різноманітними сценаріями зміни клімату: Рослинництво // Хранение и переработка зерна. 2002. № 4. С. 18–23.

6. Лукин С.В. Влияние удобрений и погодных условий на урожайность озимой пшеницы // Зерновое хозяйство. 2004. № 3. С. 2–4.
7. Олійник О.В. Циклічність у динаміці урожайності сільськогосподарських культур // Економіка АПК. 2003. № 3. С. 52–57.
8. Селезнев К.Г. Погодные факторы урожая (осадки и температура) в XX столетии на юге Украины // Вісн. агр. науки. 1995. № 1. С. 64–73.
9. Соколов И.Д., Долгих Е.Д., Соколова Е.И. Изменение климата востока Украины и его прогнозирование. Оптимистическое руководство. Луганск: Элтон-2, 2010. 133 с.
10. Стародворов Г.А. Влияние температуры воздуха и осадков на урожайность зерновых в целом. Луганск: ЛНАУ, 2006.
11. Стародворов Г.А. Математическая модель зависимости урожайности озимой пшеницы от некоторых климатических факторов. Луганск: ЛНАУ, 2007.
12. Baier W. Note on the terminology of crop-weather models // Agric. Met., vol. 20 2, 1979. P. 37–145.

References

1. Borovikov V. STATISTICA. Iskusstvo analiza dannyh na komp'yutere: dlya professionalov. 2-e izd. SPb.: Piter, 2003. 688 s.
2. Vajdal D. Evropa istoschila svoj potencial uvelicheniya urozhajnosti zemovyh. URL: http://journal.esco.co.ua/cities/2013_8/art52.html (data obrascheniya: 18.12.2017).
3. Klimaticheskie pokazateli `ekologicheskikh faktorov Luganskoj gidrometeorostancii v 1838–2015 gg. / sost. I.D. Sokolov, E.D. Dolgih, E.I. Sokolova. Lugansk: LNAU, 2016. 24 s.

4. Komp'yuterizaciya agronomicheskikh i biologicheskikh raschetov / I.D. Sokolov, P.V. Shelihov, S.Yu. Naumov [i dr.]. Lugansk: `Elton-2, 2001. 133 s.
5. Kul'bida M.I. Ocinka fotosinteticheskoi produktivnosti ozimoj pshenicy za rizmomanitnimi scenariyami zmini klimatu: Roslinnictvo // Hranenie i pererabotka zerna. 2002. № 4. S. 18–23.
6. Lukin S.V. Vliyanie udobrenij i pogodnyh uslovij na urozhajnost' ozimoj pshenicy // Zernovoe hozyajstvo. 2004. № 3. S. 2–4.
7. Olijnik O.V. Ciklichnist' u dinamici urozhajnosti sil'skogospodars'kih kul'tur // Ekonomika APK. 2003. № 3. S. 52–57.
8. Seleznev K.G. Pogodnye faktory urozhaya (osadki i temperatura) v XX stoletii na yuge Ukrainy // Visn. agr. nauki. 1995. № 1. S. 64–73.
9. Sokolov I.D., Dolgih E.D., Sokolova E.I. Izmenenie klimata vostoka Ukrainy i ego prognozirovanie. Optimisticheskoe rukovodstvo. Lugansk: `Elton-2, 2010. 133 s.
10. Starodvorov G.A. Vliyanie temperatury vozduha i osadkov na urozhajnost' zernovyh v celom. Lugansk: LNAU, 2006.
11. Starodvorov G.A. Matematicheskaya model' zavisimosti urozhajnosti ozimoj pshenicy ot nekotoryh klimaticheskikh faktorov. Lugansk: LNAU, 2007.
12. Baier W. Note on the terminology of crop-weather models // Agric. Met., vol. 20 2, 1979. P. 37–145.

Благодарности: авторы выражают благодарность всем работникам (трактористам, водителям, комбайнерам, агроному, бухгалтерам, экономистам и др.) учебно-научно-производственного аграрного комплекса Луганского государственного аграрного университета «Колос», принимавшим участие в посеве и уборке озимой пшеницы в период с 1995 по 2019 г.

