

Чувствительность озимой пшеницы и кукурузы к возможным изменениям климата для трех временных интервалов, согласно моделям глобальной циркуляции атмосферы CSIRO-Mk2, HadCM2 и ECHAM4

*Цэрану Лилия, доктор биологических наук,
старший научный сотрудник, Института экологии и географии АНМ, Кишинёв, Молдова*

Vulnerability of Winter Wheat and Grain Maize to Possible Climate Changes for Three Basic Time Series, According to Global Atmospheric Circulation Models CSIRO-Mk2, HadCM2 and ECHAM4

*Taranu Lilia, PhD in Biology,
Senior Scientific Researcher, Institute of Ecology and Geography, Chisinau, Moldova*

There were assessed the potential modifications of the productivity of some basic grain crops in the Republic of Moldova, without undertaken any adaptation measures to the new climate conditions. It was revealed, that due to enough insurance of the country territory with sun shine, the negative impact of the increased air temperatures, in accordance with the three climate scenarios taken into consideration (CSIRO-Mk2, HadCM2 and ECHAM4), will not be compensated by the increase of precipitations, therefore without taken any adaptation measures, by 2099 year it should be expected a significant decrease of productivity for winter wheat (by 38-54%) and moderate decrease of productivity for grain maize (by 20-30%) in comparison with the basic period (1960-1990), according the HadCM2 and ECHAM4 scenarios.

В Европе выращиваются зерновые различных видов, сортов и гибридов. Потепление климата будет способствовать расширению ареала возделывания зерновых (таких как озимая пшеница и кукуруза) севернее [1-4]. Исследованиями [5, 6] показано, что рост температур приведет к снижению урожайности пшеницы, в то время как увеличение концентрации CO₂ будет способствовать росту урожайности. Действие обоих изученных факторов приведет при средних изменениях климата в большинстве случаев к росту урожайности. Засушливые условия и рост температур в Средиземноморском регионе и части восточной Европы, возможно, приведут к снижению урожайности и необходимости использования засухоустойчивых сортов, внедрения влагосберегающих технологий. В последующие годы варьирование урожайности будет увеличиваться, особенно в степных регионах [7, 8]. Наибольший рост урожайности озимой пшеницы при изменении климатических условий и содержания CO₂ к 2050 году будет иметь место по сценарию HadCM2 в Южной Европе, на севере Испании, южной части Франции, Италии и Греции. Относительно высокая прибавка урожая (3-4 т/га) прогнозируется для Скандинавии. В остальной части Европы предполагаемый рост урожайности составит 1-3 т/га. В части Европы (южная Португалия, южная Испания и юг Украины) прогнозируется снижение урожайности до 3 т/га. Наибольший рост связанной с климатом урожайности озимой пшеницы ожидается на севере Европы от +2 до +9% к 2020 году, от +8 до +25% к 2050 году, от +10 до +30% к 2080 году. Тогда как на юге ожидается снижение урожайности пшеницы от +3 до +4% к 2020 году, от -8 до +22% к 2050 году, от -15 до +32% к 2080 году [4]. Анализ воздействия климатических изменений на урожайность кукурузы показал возможный рост урожайности в северных районах и уменьшение в южных. Данный результат является следствием меньшего эффекта повышенной концентрации CO₂ на рост (кукуруза является растением C₄ типа и в меньшей степени реагирует на повышенное содержание CO₂ в воздухе, чем озимая пшеница, которая является растением C₃ типа) и негативным эффектом температур на продолжительность периода вегетации [9]. Впервые оценка воздействия изменения климата на растениеводство Молдовы проводилась группой авторов в рамках Первого национального сообщения [10]. В дальнейшем [11] был сделан прогноз по эффекту прямого воздействия повышенных концентраций CO₂ в атмосфере на урожайность озимой пшеницы и кукурузы смоделированный с помощью имитационной модели EРIS, для различных временных срезов.

Целью наших исследований была оценка чувствительности озимой пшеницы и кукурузы к возможным изменениям климата для трех временных интервалов, согласно моделям глобальной циркуляции атмосферы CSIRO-Mk2, HadCM2 и ECHAM4.

Материалы и методы

В качестве основных объектов исследования выбраны: озимая пшеница и кукуруза, которые в 2007 году совместно занимали 51.1% всех посевных площадей в республике (озимая пшеница – 20%; кукуруза – 31,1%) [12]. Прогноз воздействия климатических изменений на урожайность основных зерновых культур Молдовы сделан на основе проекций изменения температуры воздуха и осадков, полученных регионализацией глобальных экспериментов трех наиболее достоверных для условий Молдовы моделей Глобальной Циркуляции атмосферы и океана CSIRO-Mk2 (Australian Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization), HadCM2 (UK Hadley Center for Climate Prediction and Research) и ECHAM4 (German Climate Research Centre). Сценарии GCM доступны в архиве Hadley Center for Climate Prediction and Research http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/is92/gcm_data.html (DDC GCM Data Archive). В качестве метода исследований выбран поиск взаимосвязей между изменчивостью климата и урожайностью указанных культур, с помощью регрессионного анализа [13].

Результаты и обсуждение

Для оценки чувствительности культур к изменению климата использованы статистические подходы, увязывающие колебания производственной урожайности посевов с погодными условиями года. Статистический анализ возможного воздействия изменения климата на урожайность зерновых и технических культур проводился в несколько этапов:

Этап 1. По статистическим данным урожайности сельскохозяйственных хозяйств построены тренды урожайности основных зерновых культур (озимой пшеницы и кукурузы) в Молдове за базовый период 1960-1990 годы (Рис. 1-2.).

Этап 2. Построены уравнения множественной регрессии, с наибольшим уровнем статистической значимости, увязывающие изменчивость урожайности со среднемесячными температурами и осадками в течение вегетации (с помощью пакета прикладных программ STATGRAPHICS Plus и Microsoft Office Excel).

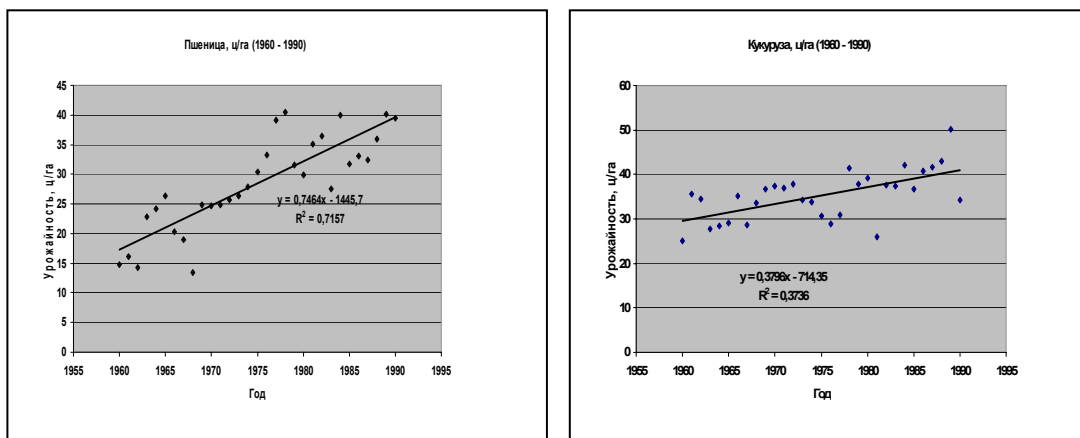


Рис. 1-2. Тренды изменчивости урожайности озимой пшеницы и кукурузы, в Молдове за 1960-1990 годы

В Таблице 1 приведены полученные уравнения регрессии, зависимости урожайности изучаемых культур от метеорологических условий года (температуры, осадков, а также совместное действие осадков & температуры).

Показатели температуры и осадков включенные в модели отобраны: методом пошаговой регрессии с учетом их вклада в процесс формирования урожая; последовательным вводом каждого показателя в модель или его выводом из модели; анализом всех возможных комбинаций для поиска

наиболее достоверной модели. Коэффициенты регрессии для оставшихся месяцев показывают, в каком направлении и на какую величину меняется урожайность в ответ на изменение температуры и осадков соответствующего месяца.

Анализ данных представленных в Таблице 1 показывает, что влияние климатических условий на урожайность пшеницы в 1962-1990 годах было статистически достоверным при 95% уровне значимости $p \leq 0.05$. Коэффициент детерминации R^2 показывает, что совместное действие осадков и температуры определяло около 37% вариабельности среднегодовой урожайности озимой пшеницы. Зависимость изменчивости урожайности озимой пшеницы от отдельных факторов температуры и осадков была более слабая и составила соответственно 21,17 и 22,36%.

Анализ зависимости урожайности кукурузы от метеорологических условий вегетации показал статическую достоверность только одного фактора - температуры, в то время как действие другого изучаемого фактора – осадков, а также комплексного действия осадков и температуры не было статистически достоверным $p = 0,21$ и $0,16$ соответственно. Изменчивость урожайности кукурузы в 1960-1990 годах всего на 14,05% определялась влиянием среднемесячной температуры воздуха.

Таблица 1. Взаимосвязь изменчивости урожайности зерновых (озимая пшеница, кукуруза) с температурой и осадками периода вегетации

Уравнение регрессии		p – значение	$R^2\%$
Озимая пшеница			
Температура, °С	$R = 73.3808 - 1.500957 * T_{04} - 1.4831 * T_{06}$	0.0454	21.17
Осадки, мм	$R = 21.8681 + 0.0435407 * P_{09} + 0.129612 * P_{04}$	0.0372	22.36
Осадки & Температура	$R = 81.7588 + 0.155162 * P_{04} - 0.0849153 * P_{05} - 1.79527 * T_{09} - 1.5799 * T_{05}$	0.0221	36.77
Кукуруза			
Температура, °С	$R = 65.7333 - 1.55294 * T_{06}$	0.0415	14.05
Осадки, мм	$R = 31.1413 + 0.438927 * P_{05} + 0.0296567 * P_{06}$	0.2140	10.79
Осадки & Температура	$R = 75.1443 + 0.0451559 * P_{05} + 0.0247782 * P_{08} - 1.23132 * T_{06} - 0.913533 * T_{07}$	0.1625	22.25

Этап 3. Статистическое моделирование проводилось с помощью регрессионного анализа. Исходя из полученной оценки метеорологических факторов в формировании базовой урожайности для кукурузы (1961-1990гг.), озимой пшеницы (1962-1990гг.) и предполагая, что существующие взаимосвязи (зависимость урожая от климата), уровень агротехники, сортовой состав и т.д. останутся неизменными, был составлен прогноз изменения урожайности сельскохозяйственных культур в новых климатических условиях для трех временных горизонтов на основе сценариев будущего изменения климата CSIRO-Mk2, HadCM2, ECHAM4. Анализ данных представленных в Таблице 2 показывает, что к 2039 году урожайность озимой пшеницы в результате совместного действия осадков и температуры воздуха в период вегетации, возможно, снизится от 14,28% по сценарию HadCM2 до 15,59% CSIRO-Mk2 и/или 17,79% по сценарию ECHAM4. В то время как, для кукурузы снижение составит всего от 7,19% по сценарию CSIRO-Mk2 до 8,08% HadCM2 и/или 10,02% по сценарию ECHAM4. К 2069 снижению урожайности озимой пшеницы составит, согласно сценариям уже от 23,35 по сценарию CSIRO-Mk2 до 28,16% ECHAM4 и/или 33,99% по сценарию HadCM2. Для кукурузы прогнозируемое снижение составит от 13,52% по сценарию CSIRO-Mk2 до 14,55% ECHAM4 и/или 18,94% по сценарию HadCM2. К 2099 году возможное снижение урожайности озимой пшеницы достигнет от 38,13% по сценарию CSIRO-Mk2 до 48,88% HadCM2 и/или 53,59% по сценарию ECHAM4, в сравнении с урожайностью базового периода. Для кукурузы прогнозируемое снижение меньше от 20,07% по сценарию CSIRO-Mk2 до 28,41% HadCM2 и/или 29,77% по сценарию ECHAM4 (Таблица 2).

Проведенные исследования показали, что в силу высокой обеспеченности Молдовы теплом, для выращивания изученных сельскохозяйственных культур, отрицательное воздействие возросших температур воздуха не будет компенсироваться приростом осадков, (согласно трем сценариям изменения климата CSIRO-Mk2, HadCM2 и ECHAM4). Поэтому без применения мер адаптации

можно ожидать к 2099 году: значительного падения урожайности озимой пшеницы (38,13–53,59%) и среднего снижения урожайности кукурузы (20,07–29,77%).

Таблица 2. Реакция урожайности зерновых культур в Молдове на возможные изменения климата (в процентах к базовому периоду 1960–1990гг)

Сценарии, временной горизонт	Озимая пшеница			Кукуруза		
	Учитываемые факторы					
	T	P	T&P	T	P	T&P
2010-2039						
CSIRO-Mk2	-17,91	6,30	-15,59	-5,98	70,40	-7,19
HadCM2	-5,46	4,02	-14,28	-2,67	48,28	-8,08
ECHAM4	-13,25	2,61	-17,79	-5,63	51,14	-10,02
2040-2069						
CSIRO-Mk2	-26,68	6,62	-23,35	-10,56	67,93	-13,52
HadCM2	-22,01	5,39	-33,99	-13,04	57,49	-18,94
ECHAM4	-23,90	1,71	-28,16	-8,90	57,91	-14,55
2070-2099						
CSIRO-Mk2	-40,13	4,52	-38,13	-14,70	68,97	-20,07
HadCM2	-31,19	4,53	-48,88	-20,63	56,83	-28,41
ECHAM4	-45,47	1,61	-53,59	-18,59	49,03	-29,77

Выводы

Установлено, что в Молдове в результате изменения климатических условий в период вегетации (смоделированных для трех временных горизонтов на основе сценариев CSIRO-Mk2, HadCM2, ECHAM4), возможно снижение урожайности для основных зерновых культур, в сравнении с базовым периодом (1960-1990). Прогнозируемое снижение урожайности при оценке совместного влияния температуры и осадков достигнет к 2099 году для озимой пшеницы 53,59% ECHAM4 и/или 48,88% HadCM2; кукурузы 28,41% HadCM2 и/или 29,77% ECHAM4 относительно базового периода 1960-1990 годов.

Литература

- Kenny, G.J., P.A., Harrison, J.E. Olesen, and M.L. Parry. The effects of climate change on land suitability of grain maize, winter wheat and cauliflower in Europe. // *European Journal of Agronomy*. 1993. 2. P. 325-338.
- Harrison P.A. and R.E. Butterfield. Effects of climate change on Europe-wide winter wheat and sunflower productivity.// *Climate Research*. 1996. 7. P. 225-241.
- Carter T.R., M. Posch, and H. Tuomenvirta. The SILMU scenarios: specifying Finland's future climate for use in impact assessment.// *Geophysica*. 1996a. 32. P. 235-260.
- Изменения климата, 2007. Последствия, адаптация и уязвимость. Часть вклада Рабочей группы II в Четвертый доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата об оценках, 2007. 124с.
- Nonhebel, S. Effects of temperature rise and increase in CO₂ concentration on simulated wheat yields in Europe. // *Climatic Change*. 1996. 34. P. 73-90.
- Harrison P.A. and R.E. Butterfield. Modelling climate change impact son wheat, potato, and grapevine in Europe. In: *Climate Change, Climate Variability and Agriculture in Europe: An Integrated Assessment* [Butterfield, R.E., P.A., Harrison, and T.E. Downing (eds.)]. Environmental Change Unit, Research report No. 9, University of Oxford, Oxford, United Kingdom. 1999, 157p.
- Alexandrov, V. Vulnerability of agronomic systems in Bulgaria. // *Climatic Change*. 1997. 36. P. 135-149.
- Sirotenko, O.D., H.V. Abashina, and V.N. Pavlova. Sensitivity of the Russian agriculture to changes in climate, CO₂ and tropospheric ozone concentration and soil fertility.// *Climatic Change*. 1997. 26. P. 217-232.
- Wolf, J. and C.A. van Diepen. Effects of climate change on grain maize yield potential in the European community. // *Climatic Change*. 1995. 29. P. 299-331.
- Ministerul Mediului și Amenajării Teritoriului / PNUD Moldova (2000), Prima Comunicare Națională a Republicii Moldova elaborată în cadrul Convenției Națiunilor Unite privind Schimbarea Climei., Chișinău. 2000. 74 p.
- Коробов Р., Чалык С., Буюкли П. Оценка чувствительности растениеводства к возможному изменению климата. В кн.: Климат Молдовы в XXI веке: проекции изменений, воздействий, откликов. Кишинев. 2004. С. 213 – 253.
- Статистический ежегодник Республики Молдова. Кишинев. 2008. С. 333.
- Лакин Г.Ф. Биометрия. - Москва: - Высшая школа. 1990. 352 с.