

doi: 10.33249/2663-2144-2019-84-11-113-120

UDC 631.559

ASSESSMENT OF THE CLIMATE CHANGES IMPACT ON THE PRODUCTIVITY OF MAIZE WITHIN THE POLISSYA AND FOREST STEPPE ECOREGIONS WITHIN UKRAINE**A. Zymaroieva***e-mail: nastya.zymaroieva@gmail.com*Zhytomyr National Agroecological University
7, Stary Blvd, Zhytomyr, 10008, Ukraine

This paper investigates the impact of climate variability on maize yield in the Polissya and Forest-steppe zones of Ukraine. Precipitation and temperature were used as proxies for climate variability. The principal components analysis applied to the bioclimatic variables allowed us to identify four principal components that together account for 92,5% of the variability of the feature space. Principal component 1 describes 54,45% of the total dispersion. It is correlated with the majority of variables, but most with indicators that determine continental climate. Principal component 2 describes 23,78% of climatic variation and can be interpreted as temperature variability in extreme periods of the year. Principal component 3 describes 8,18% of the total variability of the feature space and indicates the degree of variability of the temperature regime. Principal component 4 describes 6,03% of the climatic variability and indicates the contrast of temperature conditions. Maize yield dynamic is best described by a logistic model that has the following characteristic points and indices: slope, lower limit, upper limit, and ED50 – the time it takes to achieve half of the maximum yield level. The regression analysis revealed a statistically significant correlation between maize yield and identified principal components. Thus, the lower yield limit (minimal yield) is determined by the principal component 1. The rate of recovery of yield potential depends on all four climate variables, but it has the greatest sensitivity to the principal component 1. Climate component 3 is the determinant of the upper maize yield limit, which indicates that the maximum maize yield is limited by the temperature regime of the territory. The time of a sharp increase in yield also depends on the variability of the temperature regime.

Key words: climate variables, climatic factors, yield, maize.**ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ В МЕЖАХ ПОЛІСЬКОЇ ТА ЛІСОСТЕПОВОЇ ЗОН УКРАЇНИ****А. А. Зимароєва***e-mail: nastya.zymaroieva@gmail.com*Житомирський національний агроекологічний університет
бульвар Старий, 7, м. Житомир, 10008, Україна

У роботі досліджено вплив мінливості клімату на врожайність кукурудзи на території Поліської та Лісостепової зон України. Оподи та температура використовувались як показники мінливості клімату. Аналіз головних компонент, що застосовувався відносно біокліматичних змінних, дозволив виділити чотири головних компоненти, які разом пояснюють 92,5% варіабельності кліматичних факторів. Головна компонента 1 описує 54,45% варіабельності простору ознак. З нею корелює більшість змінних, але найбільше ті показники, які визначають континентальність клімату. Головна компонента 2 описує 23,78% варіювання простору ознак та може бути інтерпретована як мінливість температурного режиму в екстремальній періоду року. Головна компонента 3 описує 8,18% загальної мінливості простору ознак та індукує рівень мінливості температурного режиму. Головна компонента 4 описує 6,03% мінливості кліматичних змінних та вказує на контрастність температурних умов. Динаміка урожайності кукурудзи на дослідженій території найкраще описується логістичною моделлю, яка має наступні характеристичні точки та показники: ухил, нижня границя, верхня границя та час, який потрібний для досягнення половинного, від максимального рівня, зростання урожайності. Провівши регресійний аналіз, встановили статистично значиму

кореляцію між урожайністю кукурудзи та виявленими головними компонентами. Так, показник найменшого рівня врожайності визначається головною компонентою 1. Швидкість відновлення потенціалу родючості залежить від усіх чотирьох кліматичних змінних, але найбільшу чутливість має до головної компоненти 1. Кліматична компонента 3 є детермінантом верхньої межі врожайності кукурудзи, що говорить про те, що максимум врожайності кукурудзи обмежується температурним режимом території. Час настання різкого зростання врожайності також залежить від мінливості температурного режиму.

Ключові слова: кліматичні змінні, кліматичні фактори, урожайність, кукурудза.

Вступ

Сільськогосподарське виробництво критично залежить від погодних умов. Особливо сільське господарство чутливе до довгострокових трендів та змін кліматичних умов (Nelson et al. & 2014). Кількісне визначення залежності між погодними умовами та врожайністю є важливим для кращого розуміння та прогнозування реакцій росту рослин на довготривалі зміни погодних умов та для формування своєчасних заходів щодо адаптації та реагування на зміни клімату (Lobell, Burke, 2010).

Зміна клімату стає все більш визнаною загрозою для сільського господарства (Lesk et al., 2016; Ureta et al., 2019), оскільки викликає зміни температури, зміну структури опадів та частіші екстремальні погодні явища (Schlenker & Roberts, 2009). За прогнозами (Lobell et al., 2011; Ram, 2016), посухи і повені у найближчому майбутньому будуть виникати частіше і набуватимуть більш інтенсивного характеру. Наслідків впливу глобального потепління на сільське господарство є багато, зокрема, мінімальне підвищення температури може підвищити врожайність у місцях з помірним кліматом, тоді як екстремальне підвищення може призвести до поганих врожаїв (Lobell et al., 2011). Тому слід терміново зрозуміти потенційний вплив, який можуть мати зміни параметрів погоди на врожайність сільськогосподарських культур з метою адаптації до зміни клімату (Ureta et al., 2019).

Потенційний урожай культури визначається поглинутою сонячною радіацією (Asseng et al., 2014). Однак, урожайність сільськогосподарських культур, як правило, нижча від потенційної через різні абіотичні та біотичні стресові фактори, які пригнічують фотосинтез рослин і, таким чином, обмежують ріст врожаю (Lobell et al., 2011). Найважливіші фактори абіотичного стресу – температурний стрес і водний стрес. Наприклад, такі аномальні явища, як температура нижче нуля

восени або сильна спека навесні, можуть спричинити значні втрати врожаю (Tack et al., 2015). Екстремальні температурні умови також призводять до значного дефіциту виробництва зернових (Lesk et al., 2016). Існують вагомі докази того, що частота екстремальних температур збільшиться в багатьох регіонах світу (Schlenker & Roberts, 2009). Отже, виходячи з вищесказаного, стає зрозумілим, що велика кількість параметрів, пов'язаних з температурою та опадами, впливає на ріст сільськогосподарських культур, включаючи їх розподіл під час періоду вирощування, взаємозв'язки між температурою та опадами, а також екстремальні температури.

Україна у 2013 році (Müller et al., 2016) була четвертим найбільшим експортером кукурудзи в усьому світі (і утримує це звання з 2005 року до теперішнього часу), тому, вивчення питання продукційного потенціалу кукурудзи в Україні, з точки зору кліматичних загроз, є надзвичайно актуальним. На підставі вивчення історичних кліматичних даних зрозуміло, що в Україні вже спостерігається тенденція підвищення температури, а кліматичні прогнози передбачають подальше потепління, особливо щодо підвищення температури взимку. Більше того, зменшилася кількість опадів у південній степовій зоні України протягом 1961–2009 рр. (Morgounov et al., 2013). За прогнозами Міжурядової групи з питань зміни клімату (IPCC, 2013) – температура в зерновиробничих районах України зростає, а найбільший її приріст очікується в зимові місяці. Літні опади, ймовірно, зменшаться, а зимові опади навпаки посиляться; посухи можуть стати більш імовірними та теж посиляться (Lioubimtseva & Henebry, 2012). Однак, докази довготермінового впливу кліматичних змін на урожайність кукурудзи в Україні є недостатніми і потребують доповнення.

Краще розуміння взаємозв'язків між погодними даними та урожайністю у

просторовому масштабі може допомогти інформувати фермерів, інвесторів та політиків щодо формулювання стратегій адаптації, та як найкраще використовувати поточні та майбутні кліматичні умови.

Метою роботи є з'ясування впливу кліматичних змінних на показники продуктивності кукурудзи на території Поліської та Лісостепової зон України.

Матеріали та методи

Дані по урожайності кукурудзи у Поліський та Лісостеповай зонах України представлені Державною службою статистики України (<http://www.ukrstat.gov.ua/>). Відомості охоплюють часовий період з 1991 по 2017 рр. Дані мають характер середньої врожайності культури по

адміністративному району. Територія охоплює 206 адміністративних районів з десяти областей України (Вінницька, Волинська, Житомирська, Київська, Львівська, Рівненська, Тернопільська, Хмельницька, Черкаська, Чернігівська).

Біокліматичні дані були застосовані відповідно до бази WorldClim version 2 (<http://worldclim.org/version2>) (Fick & Hijmans, 2017). Відомості про перебіг кліматичних процесів представлені у вигляді растрових карт з роздільною здатністю 1 км, що є цілком достатнім для вирішення поставлених завдань. Біокліматичні змінні представляють екологічно значимі аспекти варіювання температури та опадів протягом року (табл. 1). Дані інтегрують відомості про кліматичні процеси у період 1970–2000 рр.

Таблиця 1. Біокліматичні змінні

Умовне позначення	Характеристика
bio_1	Середня річна температура
bio_2	Середній добовий діапазон (середньомісячний (максимальна температура – мінімальна температура))
bio_3	Ізотермічність (BIO2/BIO7) (*100)
bio_4	Сезонність температури (стандартне відхилення *100)
bio_5	Максимальна температура найтеплішого місяця
bio_6	Мінімальна температура найбільш холодного місяця
bio_7	Річний діапазон температури (BIO5 – BIO6)
bio_8	Середня температура найбільш вологого кварталу року
bio_9	Середня температура найсухішого кварталу
bio_10	Середня температура найтеплішого кварталу
bio_11	Середня температура найбільш холодного кварталу
bio_12	Середньорічна кількість опадів
bio_13	Кількість опадів найвологішого місяця
bio_14	Кількість опадів у найбільш посушливий місяць
bio_15	Сезонність опадів (коефіцієнт варіації)
bio_16	Кількість опадів найбільш вологого кварталу року
bio_17	Кількість опадів найсухішого кварталу
bio_18	Кількість опадів у найтеплішому кварталі
bio_19	Кількість опадів у найбільш холодному кварталі року

Статистичний аналіз виконаний за допомогою програмного продукту Statistica 10. Нормальність розподілу є важливою передумовою для проведення багатьох статистичних методів. Якщо дані не розподілені нормально, застосування трансформації Вох-Сох дозволяє використати параметричні статистичні методи. Тому для оцінки даних досліджень застосовували перетворення Вох-Сох (Osman et al., 2014). Цей підхід є способом перетворення ненормальних залежних змінних у нормальну

форму. Перетворення Вох-Сох має вигляд:

$$y(\lambda) = \begin{cases} \frac{y^\lambda - 1}{\lambda}, & \text{if } \lambda \neq 0 \\ \log y, & \text{if } \lambda = 0 \end{cases}$$

де y – перетворювані дані, λ – показник перетворення.

В основі трансформації Вох-Сох лежить показник лямбда (λ), який коливається від -5 до 5 . Враховуючи всі значення, було обрано оптимальне значення, яке найкраще апроксимує дані до нормальної кривої розподілу. Процедура

пошуку оптимального значення лямбда проводилася за допомогою бібліотеки AID (Osman et al., 2014) для середовища статистичних обчислень R. Аналіз головних компонент був використаний для зменшення розмірності матриць клімату та властивостей ґрунту. Загальні лінійні моделі були використані для перевірки значущості впливу змінних клімату та ґрунту на параметри врожайності.

Впродовж досліджуваного періоду урожайність кукурудзи демонструвала тренд до збільшення, за винятком початкового етапу досліджень (1991–1997 рр.), коли спостерігалася стрімке зниження врожайності культури (Zumaroiieva, 2019). Якщо брати до уваги динаміку зміни цього показника з середини 90-х років по поточний період часу, то вона може бути описана сигмоїдною кривою. Ця крива описує характерні етапи спостережуваної динаміки, а саме: повільна швидкість зростання на початковому етапі, різке зростання у середній частині періоду досліджень та стабілізація зростання в останній третині періоду досліджень та у деяких випадках – вихід на плато. Для описання сигмоїдної кривої застосована симетрична лог-логістична модель (рис. 1):

$$y = c + \frac{d - c}{1 + \exp(b(\log(x) + \log(ED50)))}$$

де y – відгук (врожайність культури); c – позначає нижній ліміт відгуку (найменший рівень врожайності), коли x наближається до нуля; d – верхній ліміт (найвищий рівень врожайності), коли x наближається до нескінченності; b – позначає нахил кривої відгуку у близькості до точки перегину, коли x набуває значення $ED50$

(час, який потрібний для досягнення половинного від максимального рівня зростання урожайності).

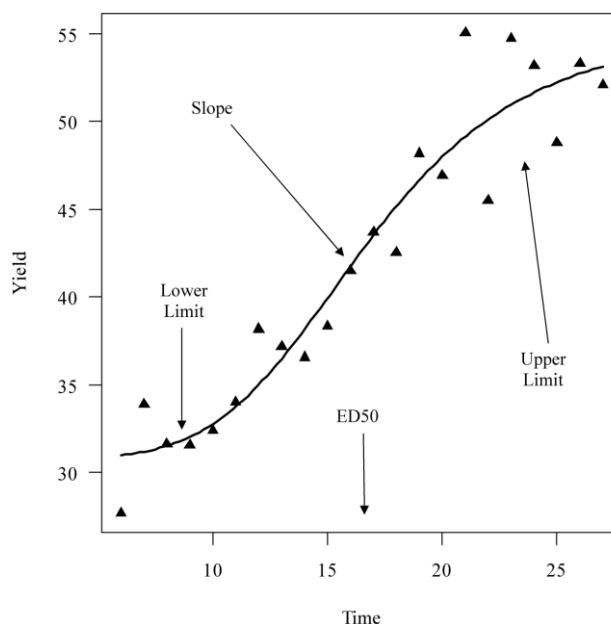


Рис. 1. Модель динаміки урожайності кукурудзи

Результати досліджень та обговорення

Обрахунок основних біокліматичних змінних регіону досліджень наведено у таблиці 2. Середньорічна температура у дослідженому регіоні наближається до нуля, середня температура найтеплішого місяця року в середньому становить $22,21 \pm 0,06^\circ\text{C}$, а найхолоднішого – $-10,33^\circ\text{C}$. У середньому за рік випадає $622,8 \pm 4,45$ мм опадів, причому у найбільш вологий місяць у середньому випадає $89,60 \pm 0,68$ мм опадів, а в найсухіший – $31,27 \pm 0,15$ мм.

Таблиця 2. Описові статистики біокліматичних змінних

Змінна	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Вох-Сох λ
1	2	3	4	5
bio_1	-0,0043±0,05	-2,28	1,94	0,65
bio_2	8,23±0,03	7,49	9,44	-2,50
bio_3	25,33±0,11	22,70	30,97	-4,15
bio_4	868,3±3,58	695,1	969,1	3,45
bio_5	22,21±0,06	17,66	23,91	4,90
bio_6	-10,33±0,06	-12,57	-8,32	0,90
bio_7	32,54±0,11	26,71	35,30	6,60
bio_8	17,17±0,08	13,39	19,35	3,35
bio_9	-2,60±0,05	-4,37	-0,42	-1,10

Закінчення таблиці 2

1	2	3	4	5
bio_10	17,54±0,06	13,59	19,35	3,10
bio_11	-3,70±0,05	-5,94	-2,06	1,20
bio_12	622,8±4,45	531,4	1137,2	-3,75
bio_13	89,60±0,68	68,50	152,14	-1,75
bio_14	31,27±0,15	25,28	38,00	-0,35
bio_15	36,80±0,31	25,62	46,14	0,75
bio_16	240,5±1,98	189,4	419,0	-1,90
bio_17	240,5±1,98	189,4	419,0	-1,90
bio_18	239,5±1,92	189,4	418,8	-1,90
bio_19	114,7±0,80	88,3	206,1	-2,05

Аналіз головних компонент дозволив пояснюють 92,5% варіабельності кліматичних виділити чотири головних компоненти, власні змінних (табл. 3). числа яких більші за одиницю і які разом

Таблиця 3. Аналіз головних компонент біокліматичних змінних

Змінна	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
bio_1	0,34	0,70	0,20	–
bio_2	–	0,29	0,80	0,62
bio_3	-0,70	0,64	0,48	–
bio_4	0,90	-0,59	–	0,22
bio_5	0,91	-0,17	0,16	0,26
bio_6	-0,55	0,85	-0,14	-0,49
bio_7	0,84	-0,59	0,17	0,43
bio_8	0,92	-0,31	–	–
bio_9	-0,42	0,86	0,15	-0,27
bio_10	0,91	–	–	–
bio_11	-0,53	0,94	–	-0,24
bio_12	-0,79	–	0,24	–
bio_13	-0,87	–	0,20	–
bio_14	-0,28	-0,62	0,42	–
bio_15	-0,70	0,50	–	0,44
bio_16	-0,90	–	0,20	–
bio_17	-0,90	–	0,20	–
bio_18	-0,89	–	0,19	–
bio_19	–	-0,54	0,35	-0,26
Власні значення	10,35	4,52	1,55	1,15
% загального варіювання	54,45	23,78	8,18	6,03

Головна компонента 1 описує 54,45% варіабельності простору ознак. З нею корелює більшість змінних, але найбільшою кореляцією характеризуються змінні bio 8 (середня температура найбільш вологого кварталу року), bio 4 (температурна сезонність), bio 5 (максимальна температура найтеплішого місяця), bio 10 (середня температура найтеплішого кварталу), bio 17 (опаді найсухішого кварталу) та bio 18 (опаді найтеплішого кварталу). Комплекс вказаних показників дозволяє змістовно інтерпретувати головну компоненту 1 як

характеристику континентальності клімату. Характер варіювання цієї ознаки у просторі (рис. 2) зі зміною значень головної компоненти у широтному напрямку підтверджує нашу інтерпретацію.

Головна компонента 2 описує 23,78% варіювання простору ознак. Ця компонента найбільшою мірою корелює з біокліматичними змінними 9 (середня температура найсухішого кварталу) та 11 (середня температура найхолоднішого кварталу), що дозволяє її інтерпретувати як мінливість температурного

режиму в екстремальні періоди року. За критерієм екстремальності температур чітко виділяється північно-східна та північна зони дослідженої території.

Головна компонента 3 описує 8,18% загальної мінливості простору ознак. Ця компонента найбільшою мірою корелює з біокліматичними змінними 2 (середній місячний діапазон добових температур) та 3 (ізотермальність), таким чином, вона вказує на

рівень мінливості температурного режиму.

Головна компонента 4 описує 6,03% мінливості простору ознак. Вона найбільшою мірою корелює з біокліматичними змінними 2 (середній місячний діапазон добових температур), 6 (мінімальна температура найхолоднішого місяця) та 7 (діапазон річних температур). Ця компонента вказує на контрастність температурних умов.

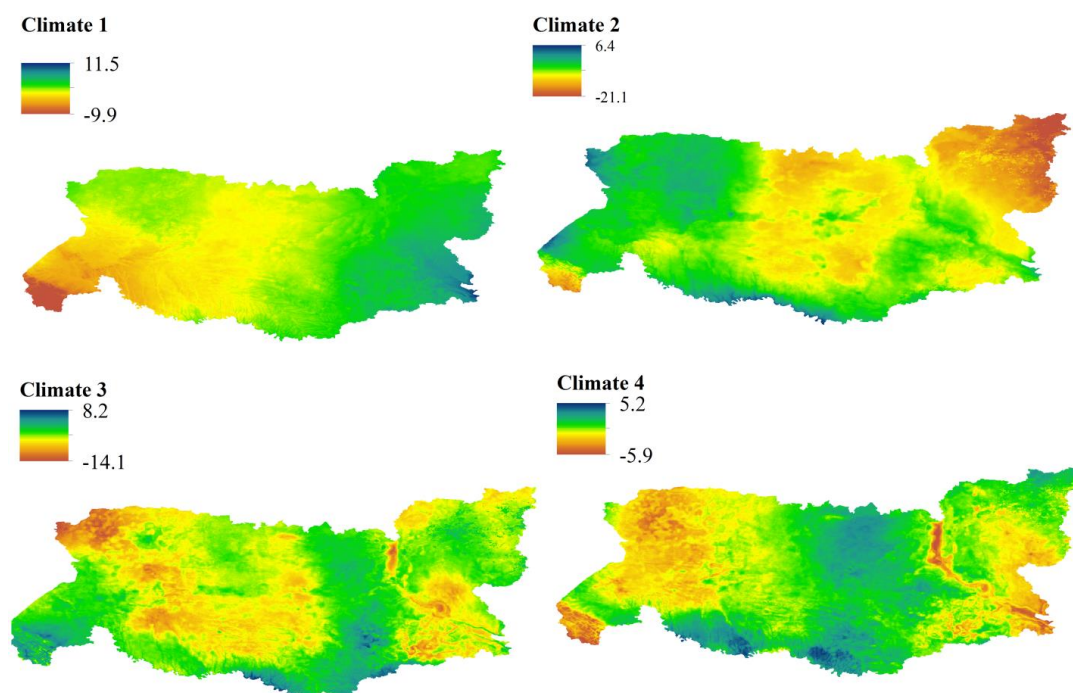


Рис. 1. Просторове варіювання біокліматичних головних компонент

Виявлено статистично значиму залежність кукурудзи та виявленими головними ($p < 0,05$) між параметрами урожайності компонентами (PC1 – PC4) (табл. 4).

Таблиця 4. Регресійна залежність параметрів урожайності кукурудзи від кліматичних змінних*

Предиктори	Ухил (slope)	Нижня границя (Lower Limit)	Верхня границя (Upper Limit)	ED50
Climate_1	$-0,80 \pm 0,14$	$0,26 \pm 0,11$	–	–
Climate_2	$0,38 \pm 0,08$	–	–	–
Climate_3	$0,46 \pm 0,06$	–	$0,23 \pm 0,06$	$0,23 \pm 0,07$
Climate_4	$-0,14 \pm 0,06$	–	–	–

*Примітка – наведені стандартизовані регресійні коефіцієнти, статистично вірогідні для $p < 0,05$.

Так, варіювання показників найменшого стаціонарного рівня врожайності найбільше визначається кліматичною змінною 1 (головна компонента 1). Отже, можна стверджувати, що нижній ліміт врожайності великою мірою

обумовлений континентальністю клімату. Швидкість відновлення потенціалу родючості (ухил кривої динаміки урожайності в часі) залежить від усіх чотирьох кліматичних змінних, але найбільшу чутливість має до головної

компоненти 1. Кліматична змінна 3 є детермінантом верхньої межі врожайності кукурудзи, що говорить про те, що максимум врожайності кукурудзи обмежується температурним режимом території. Час настання різкого зростання врожайності також залежить від мінливості температурного режиму (PC3).

Висновки

Для аналізу впливу кліматичних факторів на урожайність кукурудзи нами було використано 19 показників, які відбивають різноманітні режими температури та опадів. Щоб спростити інтерпретацію даних та виявити найбільш важливі детермінанти врожайності, нами був проведений аналіз головних компонент, у результаті якого ми виділили 4 головних компоненти, які разом пояснюють 92,5% варіабельності простору ознак. Головна компонента 1 описує 54,45% варіабельності простору ознак та є маркером континентальності клімату. Головна компонента 2 описує 23,78% варіювання простору ознак та є показником мінливості температурного режиму в екстремальні періоди року. Головна компонента 3 описує 8,18% загальної дисперсії та є індикатором рівня мінливості температурного режиму. Головна компонента 4 описує 6,03% дисперсії та вказує на контрастність температурних умов. Провівши регресійний аналіз, ми встановили статистично значиму кореляцію між урожайністю кукурудзи та виявленими головними компонентами. З'ясували, що мінімальна врожайність визначається континентальністю клімату, а максимальна врожайність кукурудзи та показник часу настання різкого зростання врожайності – рівнем мінливості температурного режиму. Швидкість відновлення потенціалу родючості залежить від усіх чотирьох кліматичних змінних, але найбільшу чутливість має континентальності клімату. В цілому, кліматичні фактори є визначальними у варіюванні урожайності кукурудзи.

References

Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rotter, R. P., Lobell, D. B., Cammarano, D., Kimball, B. A. ... Zhu, Y. (2014). Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change*, 5 (2), 143–147. doi: <https://doi.org/10.1038/nclimate2470>.
Fick, S. E. & Hijmans, R. J. (2017). Worldclim

2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37, 4302–4315. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.5086>.

IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York : Cambridge University Press.

Lesk, C., Rowhani, P. & Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529 (7584), 84–87. doi: <https://doi.org/10.1038/nature16467>.

Lioubimtseva, E. & Henebry, G. (2012). Grain production trends in Russia, Ukraine and Kazakhstan: New opportunities in an increasingly unstable world? *Frontiers of Earth Science*, 6 (2), 157–166. doi: <https://doi.org/10.1007/s11707-012-0318-y>.

Lobell, D. B. & Burke, M. B. (2010). On the use of statistical models to predict crop yield responses to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150 (11), 1443–1452. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.07.008>

Lobell, D. B., Schlenker, W. & Costa-Roberts, J. (2011). Climate Trends and Global Crop Production Since 1980. *Science*, 333 (6042), 616–620. doi: [10.1126/science.1204531](https://doi.org/10.1126/science.1204531).

Morgounov, A., Haun, S., Lang, L., Martynov, S. & Sonder, K. (2013). Climate change at winter wheat breeding sites in central Asia, eastern Europe, and USA, and implications for breeding. *Euphytica*, 194 (2), 277–292. doi: <https://doi.org/10.1007/s10681-013-0968-1>.

Müller, D., Jungandreas, A., Koch, F., Schierhorn, F. (2016). *Impact of Climate Change on Wheat Production in Ukraine: Agricultural Policy Report*. Kyiv: Institute for Economic Research and Policy Consulting.

Nelson, G. C., Valin, H., Sands, R. D., Havlik, P., Ahammad, H., Deryng, D., Elliott, J. ... Willenbockel, D. (2014). Climate change effects on agriculture: Economic responses to biophysical shocks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111 (9), 3274–3279. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1222465110>.

Osman, D., Ozgur, A. & Ozlem, I. (2014). A Methodology to Implement Box-Cox Transformation When No Covariate is Available. *Communications in Statistics- Simulation and Computation*, 43, 1740–1759. doi: [10.1080/03610918.2012.744042](https://doi.org/10.1080/03610918.2012.744042).

Ram, F. (2016). More uneven distributions

overturn benefits of higher precipitation for crop yields. *Environmental Research Letters*, 11 (2), 024004. doi: 10.1088/1748-9326/11/2/024004.

Schlenker, W. & Roberts, M. J. (2009). Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106 (37), 15594–15598. doi: 10.1073/pnas.0906865106.

Tack, J., Barkley, A. & Nalley, L. L. (2015). Effect of warming temperatures on US wheat yields. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112 (22), 6931–6936. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1415181112>.

Ureta, C., González, E. J., Espinosa, A., Trueba, A., Piñeyro-Nelson, A. & Álvarez-Buylla, E. R. (2019). Maize yield in Mexico under climate change. *Agricultural Systems*, 177, 102697. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102697>.

Zymaroieva, A. A. (2019). Prostorovo-chasovi zakonomirnosti variuvannia urozhainosti kukurudzy v Ukraini [Spatial-temporal patterns of maize yield variation within Ukraine]. *Naukovi horyzonty. Scientific horizons*, 2, 58–66 [in Ukrainian]. doi: <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2019-75-2-58-66>.