

УДК 63.551.58

А.Н. Полевой, М.А. Дюльгер

ФОРМИРОВАНИЕ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ УРОЖАЯ ПОЖНИВНОГО ПРОСА В УКРАИНЕ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Установлены закономерности влияния агроклиматических условий на формирование агроэкологических уровней урожайности пожнивного проса на территории Украины в условиях изменения климата. На основании проведенных расчетов определены районы биологически возможного и экономически оправданного выращивания пожнивного проса на территории Украины.

Введение

Потепление климата в настоящее время позволяет более полно использовать земельные ресурсы с целью получения второго урожая, то есть, урожая пожнивных культур. Выращивание пожнивных культур способствует более производственному использованию агроклиматических ресурсов (осадки, тепло, свет), увеличивая тем самым интенсификацию земледелия.

Пожнивные культуры положительно влияют на плодородие почвы, поскольку в почве накапливается больше растительных остатков. Кроме того, находясь дольше под покровом живой растительности, почва меньше подвергается неблагоприятному воздействию ветра, осадков, колебаний температур. В почве дольше активно протекают биологические процессы с участием живых организмов, что также положительно влияет на почвообразовательный процесс.

Просо – одна из самых засухоустойчивых и жаростойких культур, что важно для засушливых районов и в засушливые годы. Просо, по сравнению с другими культурами, меньше страдает от вредителей и болезней. Это светолюбивое растение, которому необходимо накопить большое количество органических веществ за короткий период вегетации. Просо – типичное растение короткого дня. В отличие от других злаковых зерновых культур потребление питательных элементов продолжается почти до самого созревания [1]. Просо является одной из наиболее оптимальных культур для выращивания в пожнивный период. Его высокая производительность обусловлена тем, что при достаточной влажности в условиях сокращенного дня второй половины лета оно развивается быстрее, чем при обычных посевах.

Целью исследования является проведение оценки агроклиматических ресурсов второй половины лета по продуктивности проса на территории Украины с учетом изменения климата; определение районов биологически возможного и экономически оправданного выращивания пожнивного проса.

Анализ последних исследований и публикаций

В 1970-х годах возникло новое направление в оценке агроклиматических ресурсов для отдельных с/х культур, которое основывается на сформулированной Х.Г. Тоомингом концепции максимальной продуктивности посевов [2]. Суть этой концепции заключается в том, что в период вегетативного роста посев пытается максимизировать свою продуктивность и получению максимальных урожаев препятствует, в основном, несоответствие динамики факторов внешней среды (солнечная радиация, водный режим, температура и т.д.) динамике оптимальных значений факторов среды, регулирующих интенсивность процессов фотосинтеза, дыхания, роста, развития растений в течение вегетационного периода.

Концепция максимальной продуктивности была успешно использована в решении задач агроклиматического районирования в работах Х.Г. Тооминга [2], Ю.В. Сеппа, П.Х. Каринга [3], А.П. Федосеева [4], А.Н. Витченко, А.Н. Полевого, В.А. Жукова, С.А. Даниелова [6; 5] и др.

В Украине значительные разработки по созданию методов оценки агрометеорологических условий и прогнозированию урожайности сельскохозяйственных культур выполнены в рамках созданного В.П. Дмитренко [7] направления на основании предложенной им модели урожайности сельскохозяйственных культур.

Материалы и методы исследования

Для оценки изменений агроклиматических ресурсов при возможных изменениях климата были использованы сценарии изменения климата в Украине – сценарий А1В, региональная климатическая модель MPI-M-REMO [8], как наиболее достоверные на период до 2030 года.

Согласно [9] региональная модель REMO объединяет бывшую численную модель прогноза погоды EUROPA - MODELL для расчетов термодинамических характеристик и блока глобальной климатической модели ECHAM4, в котором рассчитываются процессы облако- и осадкообразования, прохождение потоков солнечной радиации в атмосфере, влияние подстилающей поверхности на тепловые потоки с учетом альbedo и типа поверхности [9].

Анализ тенденции изменения климата выполнен путем сравнения данных по климатическому сценарию и средних многолетних характеристик климатических и агроклиматических показателей за два периода: 1986–2005 гг. (базовый период) [10], 2011–2030 гг. (сценарный период изменения климата). Изменение агроклиматических условий возделывания проса привело к изменению показателей фотосинтетической продуктивности посевов и как следствие – изменению уровня урожая.

Для всех административных областей Украины на основании средних многолетних метеорологических и агрометеорологических данных [10] были проведены расчеты с помощью базовой агроклиматической модели продуктивности с/х культур А.Н. Полевого [11]. В этой модели используется концепция Х.Г. Тооминга о потенциальной и действительно возможной урожайности, а также положения о моделировании влияния факторов внешней среды на урожайность сельскохозяйственных культур. Потенциальная урожайность (ПУ) представляет собой урожайность, которая обеспечивается приходом энергии фотосинтетически активной радиации (ФАР) при оптимальных значениях климатических факторов, а метеорологически возможная урожайность (МВУ) – урожайность, определяемая потенциальной урожайностью и лимитирующим действием режима климатических факторов в течение вегетации. При формировании действительно возможной урожайности (ДВУ) ее уровень ограничивается уровнем естественного плодородия почвы. Получение уровня хозяйственной урожайности (УП) лимитируется уровнем культуры земледелия.

Расчет этих четырех характеристик в несколько модифицированном виде составляет основу данной модели, ориентированной на оценку продуктивности агроклиматических ресурсов применительно к возделыванию пожнивного проса, а также на оценку изменения продуктивности растений при возможных изменениях климата.

В основе модели лежит оценка уровня потенциальной урожайности:

$$ПУ^{j+1} = ПУ^j + \frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t}, \quad (1)$$

где $\frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t}$ – прирост потенциальной урожайности за декаду, г/м²·дек;

j – номер расчетной декады.

Приращение потенциальной урожайности за декаду определяется в зависимости от интенсивности ФАР и биологических особенностей культуры с учетом изменения способности растений к фотосинтезу в течение вегетации:

$$\frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} = \alpha_{\phi}^j \frac{\eta \cdot Q_{\text{фар}}^j \cdot d\nu^j}{q}, \quad (2)$$

где α_{ϕ} – онтогенетическая кривая фотосинтеза;

η – КПД посевов, отн. ед.;

$Q_{\text{фар}}$ – сумма ФАР за один день расчетной декады, кДж/см²·сут.;

$d\nu$ – число дней в расчетной декаде, сут.;

q – калорийность, кДж/г.

Прирост метеорологически возможной урожайности (таблица) представляет собой прирост потенциальной урожайности, который будет ограничен влиянием влаготемпературного режима:

$$\frac{\Delta МВУ^j}{\Delta t} = \frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} \cdot FTW_2^j, \quad (3)$$

где FTW_2 – обобщенная функция влияния влаготемпературного режима, отн. ед.

Таблица – Обобщенные характеристики почвенных и агроклиматических ресурсов и характеристики фотосинтетической продуктивности пожнивного проса в Украине для базового (2005–2011) и сценарного (2011–2030) периодов

№ пп	Общие показатели за период вегетации	Районы							
		центральное Полесье		центральная Лесостепь		центральная Северная степь		центральная Южная степь	
		2005–2011	2011–2030	2005–2011	2011–2030	2005–2011	2011–2030	2005–2011	2011–2030
1	Сумма эффективных температур выше 10 °С	416	525	549	644	713	816	851	1153
2	Вегетационный период, сут-ки	-	51	59	50	43	40	38	37
3	Сумма осадков, мм	-	126	147	113	77	67	52	44
4	Потребность растений во влаге, E_o , мм	-	152	154	129	117	109	109	108
5	Суммарное испарение, E , мм	-	104	83	66	52	49	47	43
6	Влагообеспеченность, E/E_o , отн. ед.	-	0,70	0,54	0,51	0,44	0,43	0,43	0,40
7	ГТК, отн. ед.	1,5	1,2	1,4	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8
8	Максимальные приросты урожая на уровне ПУ, г/м ² ·декаду	-	154	161	161	185	186	181	181
9	Максимальные приросты урожая на уровне МВУ, г/м ² ·декаду	-	152	160	159	179	180	168	136

10	Максимальные приросты на уровне ДВУ, г/м ² декаду	-	91	97	97	109	110	108	87
11	Максимальные приросты урожая на уровне УП, г/м ² декаду	-	59	62	62	70	70	69	56

Формирование действительно возможной урожайности общей биомассы ограничивается уровнем естественного плодородия почвы:

$$\frac{\Delta ДВУ^j}{\Delta t} = \frac{\Delta МВУ^j}{\Delta t} B_{пл} F_{Gum} \quad (4)$$

где $\frac{\Delta ДВУ}{\Delta t}$ – прирост действительно возможной урожайности за декаду, г/м²;

$B_{пл}$ – балл почвенного бонитета, отн. ед.

F_{Gum} – функция влияния содержания гумуса в почве, отн. ед.

Получение уровня хозяйственной урожайности ограничивается реально существующим уровнем культуры земледелия и эффективностью внесенных минеральных и органических удобрений:

$$\frac{\Delta УП^j}{\Delta t} = \frac{\Delta ДВУ^j}{\Delta t} \cdot k_{земл} \cdot FW_{ef}^j \quad (5)$$

где $\frac{\Delta УП^j}{\Delta t}$ – прирост урожайности в производстве, г/м² дек.;

$k_{земл}$ – коэффициент, который характеризует уровень культуры земледелия и хозяйственной деятельности, отн. ед.;

FW_{ef} – функция эффективности внесения органических и минеральных удобрений в зависимости от условий влагообеспеченности декад вегетации, отн. ед.

Результаты исследований и их анализ. В таблице представлены агроклиматические условия формирования агроэкологических категорий урожайности пожнивного проса.

Продолжительность вегетационного периода пожнивного проса определялась для основных почвенно-климатических зон Украины по суммам эффективных температур, необходимых для выращивания данной культуры при весеннем сроке сева, согласно [12]. Продолжительность вегетационного периода при летних сроках сева колеблется от 37 дней в Южной степи до 59 дней в Лесостепи (таблица). Для получения полноценного урожая раннеспелых сортов проса необходимо 480^{оС} эффективных температур. Данная сумма температур накапливается во всех зонах Украины, кроме полесской. При условии реализации сценария изменения климата суммы эффективных температур выше 10^{оС} на территории Украины увеличатся на 90–300 ^{оС}, что сделает возможным получение полноценного урожая пожнивного проса в зоне Полесья.

По всей территории Украины просо можно сеять после сбора хлебов уже в середине июля. Хорошо прогретая почва и наличие влаги в ней обеспечивают появление всходов в максимально короткие сроки – на 3–4-й день. Начальный период развития и роста в условиях повышенной температуры воздуха и почвы также происходит достаточно бурно и превышает прирост растений весеннего срока сева в два-три раза и больше.

В случае реализации сценария изменения климата (А1В) условия увлажнения заметно ухудшатся на территории Южной степи, где влагообеспеченность растений

составит всего 40%, а ГТК будет равен 0,8. Благоприятными условиями увлажнения будет характеризоваться зона Полесья (ГТК равен 1,2).

Анализ максимальных приростов урожая на уровне ПУ (таблица) показывает, что потенциальные урожаи самые высокие в центральной Северной степи ($185 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек.}$), а при условиях реализации климатического сценария на период с 2011 по 2030 гг. приросты ПУ увеличатся до $186 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек.}$ Лимитирующее влияние влагообеспеченности и термического режима приводит к снижению приростов на уровне МВУ до $179 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек.}$ в Северной степи для базового периода и до $180 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек.}$ для сценарного периода.

Уровень плодородия почвы приводит к снижению приростов на уровне ДВУ, а внесение минеральных и органических удобрений корректирует уровень УП. Следовательно, на уровне УП самые большие величины максимальных приростов урожая наблюдаются в Северной степи ($70 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек.}$), а минимальные приросты – в Полесской зоне ($59 \text{ г/м}^2 \cdot \text{дек.}$).

По размерам производственных урожаев проса для базового периода выделено три района (рисунок 1). Значения УП колеблются от 9 до 14 ц/га. Для районов центральной и восточной Лесостепи характерны максимальные урожаи порядка 14 ц/га. Территория восточной Лесостепи, западные районы центральной Лесостепи и Северная степь характеризуются урожаями порядка 11–12 ц/га. Минимальные урожаи наблюдаются в районах Южной степи (9–10 ц/га), кроме территории Одесской области.

Для наглядной картины распределения производственного урожая пожнивного проса по территории Украины составлены соответствующие карты-схемы (рисунки 1, 2).

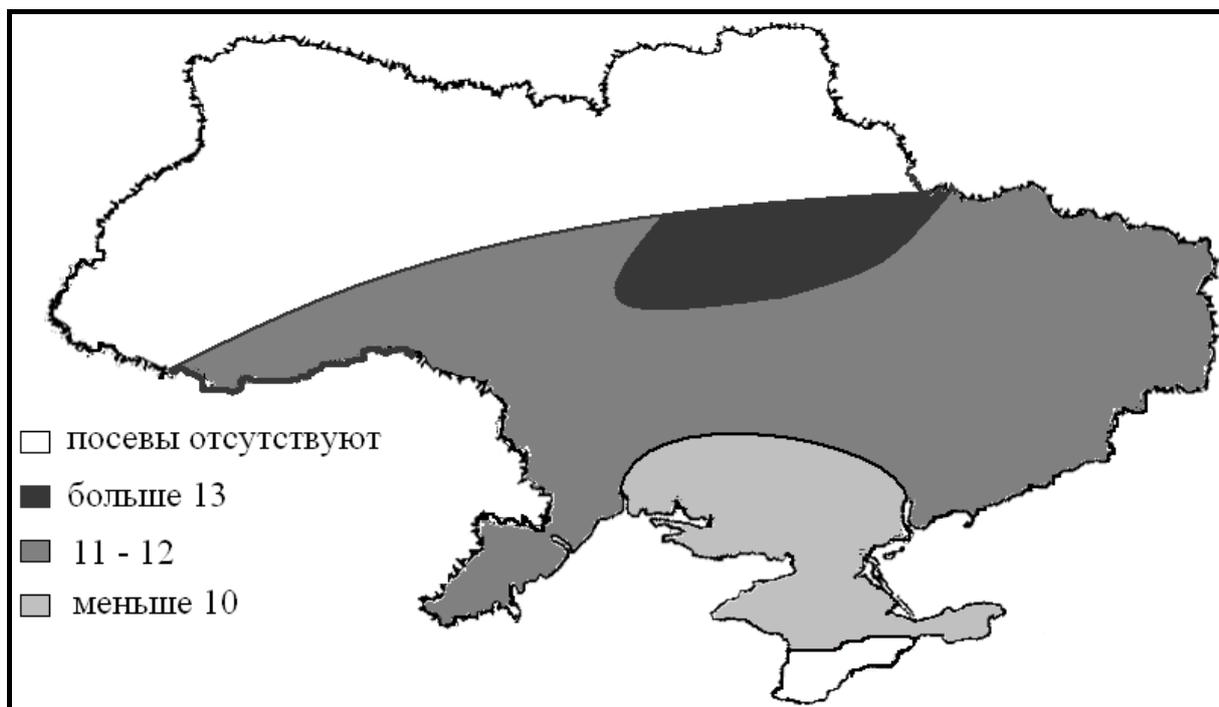


Рисунок 1 – Карта-схема распределения производственного урожая проса для базового периода (2005–2011), ц/га

Для распределения производственного урожая пожнивного проса в случае реализации сценария потепления климата характерным будет увеличение значений УП по всей территории Украины, кроме крайних южных районов Южной степи. На территории Крыма, а также Николаевской и Херсонской областей в силу значительного увели-

чения температур воздуха и уменьшения количества осадков урожаи в производстве составят 8–9 ц/га. Высокими урожаями (13–15 ц/га) будут характеризоваться территории Лесостепи, Северной степи (кроме района Донецкого кряжа) и центральные районы Полесья.

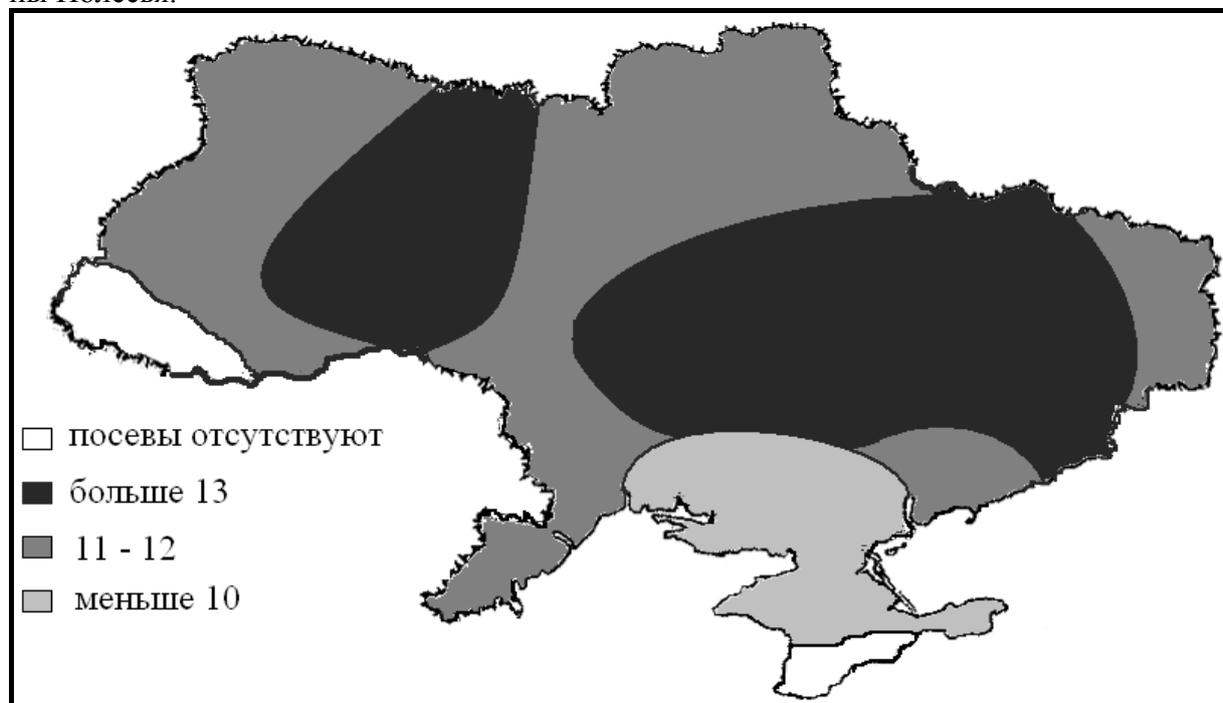


Рисунок 2 – Карта-схема распределения производственного урожая проса для сценарного периода (2011–2030), ц/га

Выводы

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что самыми благоприятными условиями для выращивания пожнивного проса обладает территория центральной и восточной Лесостепи, где УП составляет 14–15 ц/га. Наименее пригодными для выращивания пожнивного проса являются районы Южной степи, в особенности территория Крыма (УП равен 8 ц/га). На территории Полесья пожнивное просо может выращиваться только на зеленую массу, но при условии реализации климатического сценария А1В данная территория будет обладать благоприятными условиями для получения высоких урожаев (14 ц/га) данной культуры. Условия для пожнивного выращивания раннеспелых сортов проса значительно ухудшатся в южных районах Южной степи, где ожидаются засухи (ГТК равен 0,4).

Ожидаемый рост сумм температур воздуха выше 10°C (таблица) откроет возможности для возделывания более урожайных и позднеспелых сортов проса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вавилов, П.П. Растениеводство / П.П. Вавилов. – М. : Агропромиздат, 1986. – 512 с.
2. Тооминг, Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов / Х.Г. Тооминг. – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – 264 с.
3. Каринг, П.Х. Агроклиматическая оценка и методы использования ресурсов и микроклимата в сельском хозяйстве : автореф. дис. ... д.с.-х.н. – Л. : АФИ. – 1991. – 64 с.

4. Федосеев, А.П. Погода и эффективность удобрений / А.П. Федосеев. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 144 с.
5. Витченко, А.Н. Методика агроэкологической оценки сельскохозяйственной продуктивности ландшафтов Белоруссии / А.Н. Витченко, А.Н. Полевой // Вестник Белорусского университета. Сер. 2. Химия, биология, география. – 1986. – № 2. – С. 56–59.
6. Математические методы оценки агроклиматических ресурсов / В.А. Жуков [и др.]. – Л. : Гидрометеиздат, 1989. – 207 с.
7. Дмитренко, В.П. О моделях расчета урожайности сельскохозяйственных культур с учетом гидрометеорологических факторов / В.П. Дмитриенко // Метеорология и гидрология. – 1971. – № 5. – С. 84–91.
8. Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.). – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 2000. – 599 p.
9. Верифікація даних світового кліматичного центру (CRU) та регіональної моделі клімату (REMO) щодо прогнозу приземної температури повітря за контрольний період 1961–1990 рр. / С.В. Краковська [і інш.] // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2008. – № 257. – С. 42–60.
10. Агрокліматичний довідник по території України / за ред. Т.І. Адаменко, М.І. Кульбіді, А.Л. Прокопенка. – Кам'янець-Подільський : ПП Галагодза Р.С., 2011. – 108 с.
11. Польовий, А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем: навчальний посібник / А.М. Польовий. – К. : КНТ, 2007. – 348 с.
12. Рудник-Іващенко О.І. Залежність ознак урожайності проса від впливу кліматичних умов за фазами розвитку / О.І. Рудник-Іващенко, Л.В. Григоращенко // Селекція і насінництво. – 2010. – № 98. – С. 244–256.

A.N. Polevoy, M.A. Dyulger Formation of Agroecological Yield Levels of Stubby Peas in Ukraine in the Conditions of Climate Change

The analysis of the heat, light and moisture provision of crop cultivation of millet on the territory of Ukraine in the conditions of climate change were made. The calculations had received information on agro-climatic conditions of the four categories of agro-ecological productivity formation: potential yield, meteorologically possible yield, indeed possible yield, yield in production for the average long-term data (2005–2011) and based on the scenario climate change, the period 2011–2030. On the basis of these calculations the areas of biologically possible and economically viable cultivation of peas in the territory of Ukraine were identified.