

УДК 911.2[581.9:582.736.3](477)

**А. Н. Полевой,**

доктор географических наук, профессор кафедры  
агрометеорологии и агрометеорологических прогнозов  
Одесского государственного  
экологического университета;

**А. В. Толмачева,**

инженер 1-й категории кафедры  
агрометеорологии и агрометеорологических прогнозов  
Одесского государственного экологического университета

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРИРОСТОВ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УРОЖАЙНОСТИ СОИ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ УКРАИНЫ

**Введение.** Главная зернобобовая культура мирового земледелия – соя культурная. Ее называют культурой XXI столетия. Она относится к растениям короткого дня, с продолжительным вегетационным периодом. Тепловой режим является одним из важнейших факторов жизни растений. Если влага влияет на продуктивность культур, ограничивая при недостатке или избытке жизнедеятельность растений, то от теплового состояния среды зависит интенсивность всех биологических процессов в растительном организме, которые в итоге определяют его урожайность [1; 3, с. 40–50].

В настоящее время в работах [1–2; 6–7] представлены некоторые результаты научных исследований по влиянию погодных условий, сроков сева, густоты стояния, агротехнических мероприятий на рост, развитие, урожайность и масличность данной культуры. Вместе с тем представляет научный и практический интерес дальнейшее развитие новых методов и оценок по выращиванию сои в Украине.

**Целью** настоящей работы является оценка влияния агроклиматических условий на динамику приростов агроэкологических параметров урожайности сои в степной зоне Украины.

### **Материалы и методы исследований.**

В качестве теоретической основы исследования была использована базовая модель оценки агроклиматических ресурсов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур А. Н. Полевого [4], основанная на концепции Х. Г. Тооминга [5] о максимальной продуктивности посевов. Параметры этой модели определены нами применительно к культуре сои. При выполнении исследований были использованы материалы агрометеорологических наблюдений за соей сети гидрометеорологических станций степной зоны Украины.

На этой основе выполнены оценки агроэкологических категорий урожайности в условиях Степи Украины.

Предложенная модель имеет блочную структуру и содержит шесть блоков: блок входной информации; блок показателей солнечной радиации и влажно-температурного режима с учетом экспозиции поля; блок функций влияния фазы развития и метеорологических факторов на продукционный процесс растений; блок плодородия почвы и обеспеченности растений минеральным питанием; блок агроэкологических категорий урожайности; блок обобщающих оценочных характеристик. Рассмотрим более подробно блок агроэкологических категорий урожайности.

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

$$\frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} = \alpha_\phi^j \frac{\eta \cdot Q_{\text{фар}}^j \cdot d v^j}{q}, \quad (1)$$

где  $\frac{\Delta ПУ}{\Delta t}$  – прирост потенциальной урожайности за декаду, г/м<sup>2</sup>;

$\alpha_\phi$  – онтогенетическая кривая фотосинтеза, отн. ед;

$\eta$  – КПД посевов, отн. ед;

$Q_{\text{фар}}$  – интенсивность ФАР, кал/см<sup>2</sup>;

$q$  – калорийность.

Прирост метеорологически возможной урожайности (МВУ) представляет собой прирост потенциальной урожайности (ПУ), который будет ограничен влиянием влажно-температурного режима:

$$\frac{\Delta МВУ^j}{\Delta t} = \frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} \cdot FTW^j, \quad (2)$$

где  $\frac{\Delta MBV}{\Delta t}$  – прирост метеорологически возможной урожайности;  
 $FTW$  – обобщенная функция влияния влаготемпературного режима.

Формирование действительно возможной урожайности ограничивается уровнем естественного плодородия почвы:

$$\frac{\Delta DBV^j}{\Delta t} = \frac{\Delta MBV^j}{\Delta t} \cdot B_{пл}, \quad (3)$$

где  $\frac{\Delta DBV}{\Delta t}$  – прирост действительно возможной урожайности, г/м<sup>2</sup>;

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

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

$$\frac{\Delta UP^j}{\Delta t} = \frac{\Delta DBV^j}{\Delta t} \cdot k_{земл} \cdot FW_{ef}^j, \quad (4)$$

где  $\frac{\Delta UP}{\Delta t}$  – прирост урожайности в производстве, г/м<sup>2</sup>;

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

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

Наконец, вычислим различные агроэкологические категории урожая зерна при его стандартной 14%-ной влажности:

$$PU_{зерна} = PU \cdot K_{хоз} \cdot 1,14 \cdot 0,1, \quad (5)$$

где  $PU_{зерна}$  – потенциальный урожай зерна (при стандартной влажности зерна 14 %), ц/га;

$K_{хоз}$  – доля зерна в общей массе урожая, отн. ед.

Аналогично определяются соответственно метеорологически возможный  $MBV_{зерна}$ , действительно возможный  $DBV_{зерна}$  и урожай в производстве  $UP_{зерна}$ . Анализ разнообразных агроэкологических категорий урожайности (ПУ, МВУ, ДВУ, УП), а также их соотношений и отличий позволяет судить о природных и антропогенных ресурсах сельского хозяйства, а также об эффективности хозяйственного использования этих ресурсов.

Определим величины различных агроэкологических категорий урожайности, с учетом внесенных нами модификаций, с привлечением более полной информации и наполнения этих категорий новым содержанием.

**Результаты.** Рассмотрим рассчитанные значения динамики приростов потенциальной урожайности (ПУ) сои и ход декадных сумм фотосинтетически активной радиации (ФАР) за вегетационный период в степной зоне Украины (рисунок 1).

Как видно из рисунка 1, в начале вегетации уровень сумм ФАР составляет 5,7 кДж/см<sup>2</sup> · дек, а прирост ПУ составляет 50,5 г/м<sup>2</sup> · дек. В следующей декаде сумма ФАР увеличивается до 12,3 кДж/см<sup>2</sup> · дек, соответственно увеличивается и прирост ПУ до 114,9 г/м<sup>2</sup> · дек. В третьей декаде наблюдается спад как одного, так и другого показателя. Далее сумма ФАР и прирост ПУ постепенно возрастают, в восьмой декаде достигают максимума и составляют 14,0 кДж/см<sup>2</sup> · дек и 154,8 г/м<sup>2</sup> · дек. Затем идет постепенное понижение, и в конце вегетации эти показатели составляют 10,6 кДж/см<sup>2</sup> · дек и 96,6 г/м<sup>2</sup> · дек.

Рассмотрим динамику показателей воднотеплового режима посевов сои в течение вегетации в степной зоне Украины (рисунок 2).

ΔПУ, г/м<sup>2</sup> · дек

ΣФАР, кДж/см<sup>2</sup> · дек

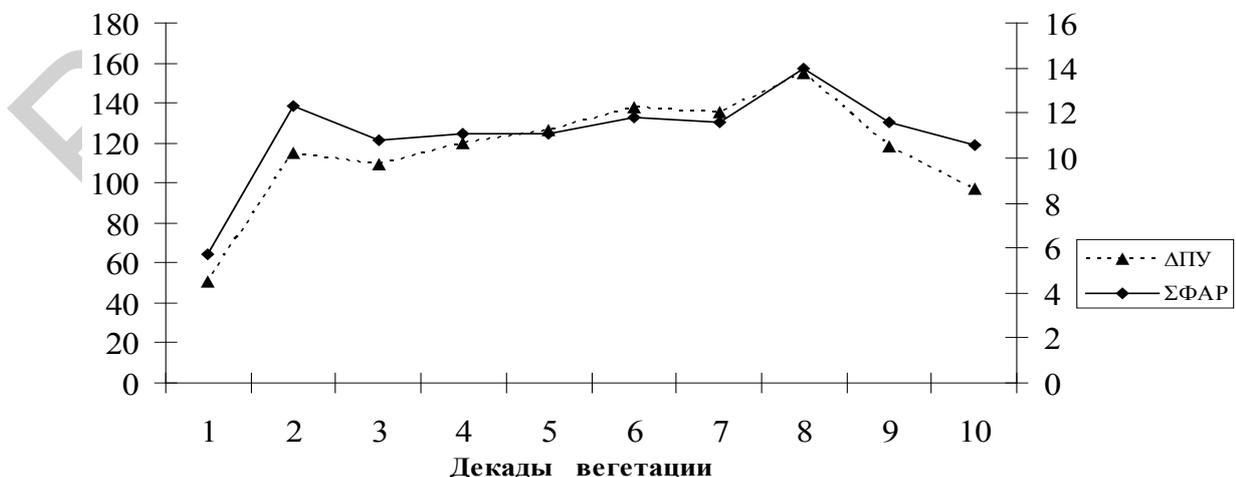


Рисунок 1 – Динамика декадных сумм ФАР (ΣФАР) и приростов ПУ сои в степной зоне Украины

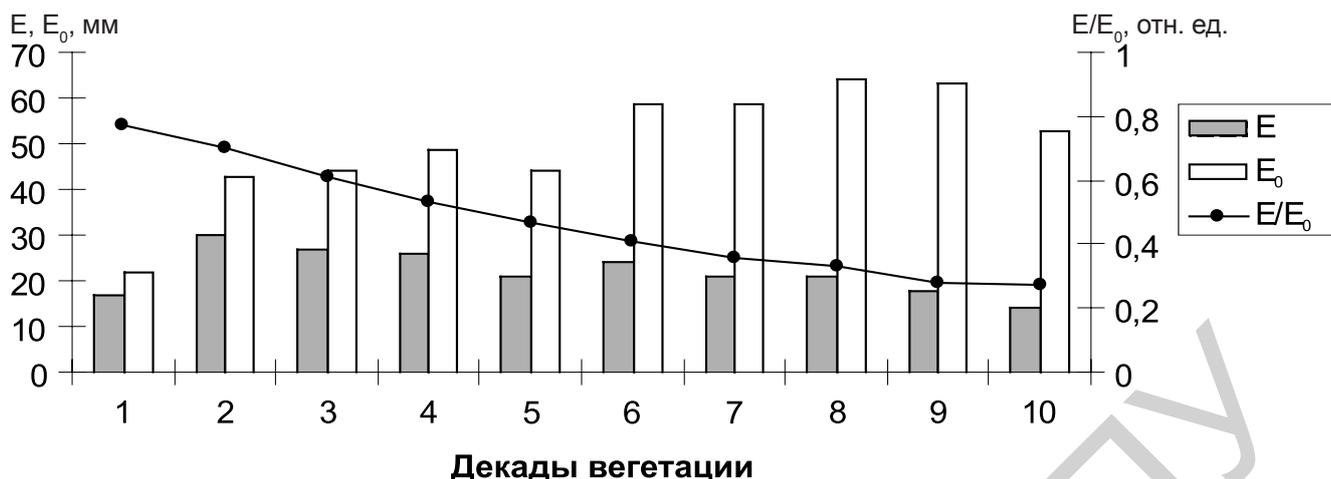


Рисунок 2 – Декадный ход характеристики водно-теплового режима посевов сои в степной зоне Украины

Суммарное испарение в посевах сои (E) имеет хорошо выраженную динамику в период вегетации. В начале вегетации суммарное испарение за декаду составляет 16,8 мм, по мере роста температуры воздуха суммарное испарение возрастает до 30,2 мм во второй декаде. Затем медленно снижается и к концу вегетации составляет 14,1 мм.

Испаряемость в начальный период вегетации сои (E<sub>0</sub>) составляет 21,2 мм. Далее во второй декаде происходит резкое повышение испаряемости до 42,9 мм. Затем в последующие декады идет плавное повышение испаряемости. В восьмой декаде эта величина достигает максимального значения и составляет 64,3 мм. В конце периода вегетации испаряемость снизилась до отметки 52,6 мм. Отношение суммарного испарения к испаряемости

(E/E<sub>0</sub>) характеризует влагообеспеченность посевов.

Уровень ПУ лимитируется фактором тепла и влаги. Эти два фактора определяют уровень следующей агроэкологической категории урожайности – метеорологически возможный урожай (МВУ). Рассмотрим декадный ход температуры воздуха и приростов МВУ сои в течение вегетации (рисунок 3).

Кривая хода среднедекадной температуры воздуха (T) начинается с отметки 16,4 °С, а прирост МВУ в начальный период составляет 48, 0 г/м<sup>2</sup> · дек. В течение вегетационного периода кривая хода среднедекадной температуры воздуха плавно поднимается, достигает максимума в восьмой декаде и составляет 23,3 °С.

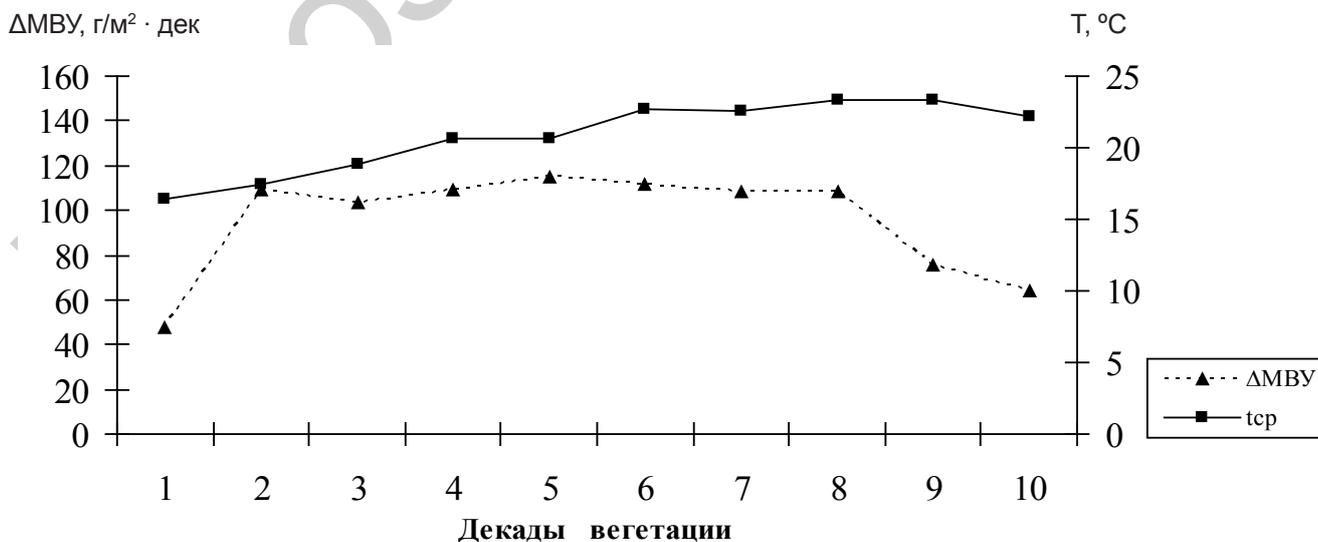


Рисунок 3 – Декадный ход температуры воздуха (T) и приростов метеорологически возможной (МВУ) сои в степной зоне Украины

**Таблица – Обобщенные характеристики агроклиматических условий возделывания и продуктивности сои в степной зоне Украины**

№ п/п	Обобщенные показатели за период вегетации	Районы возделывания	
		Северная Степь	Южная Степь
1	Сумма активных температур выше 10 °С	1857	2321
2	Сумма ФАР, кДж/см <sup>2</sup>	109	111
3	Продолжительность вегетационного периода, дни	99	96
4	Сумма осадков, мм	230	169
5	Потребность растений во влаге, мм	489	503
6	Коэффициент благоприятствия метеорологических условий ( $K_m$ ), отн. ед.	0,902	0,819
7	Коэффициент эффективности использования агроклиматических ресурсов ( $K_{акп}$ ), отн. ед.	0,258	0,255
8	ПУ зерна, ц/га	56	53
9	МВУ зерна, ц/га	51	43

Кривая приростов МВУ несколько отличается от кривой хода среднедекадной температуры воздуха. Так, во вторую декаду она резко поднимается до отметки 108,9 г/м<sup>2</sup> · дек, а в следующую декаду наблюдается плавный спад и только в пятой декаде максимум, достигая отметки 114,8 г/м<sup>2</sup> · дек. Затем приросты МВУ плавно снижаются, а в конце вегетации происходит резкое снижение приростов МВУ до 96,6 г/м<sup>2</sup> · дек.

На основании выполненных расчетов нами была сделана оценка обобщенных характеристик агроклиматических условий возделывания и продуктивности сои в степной зоне Украины, рассчитанные значения представлены в таблице.

Согласно данным таблицы, продолжительность вегетационного периода в Северной Степи составляет 99 дней, сумма активных температур выше 10 °С за вегетационный период – 1857 °С, а в районах Южной Степи продолжительность вегетационного периода составляет 96 дней, сумма активных температур – 2321 °С. Наименьшие значения суммы ФАР за вегетационный период возделывания сои составляют 109 кДж/см<sup>2</sup> в районах Северной Степи, наибольшие значения в районах Южной Степи – 111 кДж/см<sup>2</sup>.

Также важным фактором в жизни растений является и влага. Наименьшее количество осадков наблюдается в районах Южной Степи и составляет 169 мм, в районах Северной Степи – 230 мм, соответственно, что и потребность растений во влаге будет в районах Южной Степи (503 мм), где наблюдается наименьшее количество выпавших осадков. Для районов Северной Степи потребность растений во влаге составила 489 мм.

Рассчитанные значения позволили оценить распределения различных агроэколо-

гических категорий урожая зерна при его стандартной 14%-ной влажности (таблица). Наибольшие значения ПУ зерна, МВУ зерна наблюдаются в районах Северной Степи и составляют 56 ц/га, 51 ц/га соответственно. Для районов Южной Степи характерны наименьшие значения ПУ зерна – 53 ц/га, МВУ зерна – 43 ц/га.

Степень благоприятствия метеорологических условий ( $K_m$ ) для возделывания сои, согласно таблице, показал, что наибольшее значение (0,902 отн. ед.) характерно для Северной Степи, наименьшее значение (0,819 отн. ед.) наблюдается в Южной Степи. А оценка уровня эффективности использования агроклиматических ресурсов ( $K_{акп}$ ) для возделывания сои показал, что наиболее высокое значение (0,258 отн. ед.) наблюдается в Северной Степи, немного низкое значение (0,255 отн. ед.) отмечается в Южной Степи.

**Заклучение.** Таким образом, с помощью выполненного моделирования дана оценка влияния агроклиматических условий на динамику приростов агроэкологических параметров урожайности культуры сои и выполнена оценка агроэкологических категорий урожайности зерна, а также оценена степень благоприятствия агроклиматических условий для возделывания сои в районах Северной Степи Украины.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Соя / А. К. Лещенко [и др.]. – Киев : Наукова Думка, 1987. – 87 с.
2. Соя. Биология и технология возделывания / под ред. В. Ф. Баранова и В. М. Лукомца. – Краснодар, 2005. – 435 с.
3. Соя / под ред. Ю. П. Мякушко и В. Ф. Баранова. – М. : Колос, 1984. – 332 с.

4. Полевой, А. Н. Базовая модель оценки агроклиматических ресурсов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур / А. Н. Полевой // Метеорология, климатология и гидрология. – 2004. – № 48. – С. 195–205.
5. Тооминг, Х. Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов / Х. Г. Тооминг. – Л. : Гидрометеоиздат, 1984. – 264 с.
6. Dencescu, S. Cultura soia / S. Dencescu, E. Micles, A. Butica. – Illinois, 1982. – 227 p.
7. Scott, W. O. Modern soybean production / W. O. Scott, S. R. Aldrich. – S&A Publications, Illinois, 1983. – 230 p.

#### SUMMARY

*A model assessing the impact of agro-meteorological conditions on the agro-ecological categories formation of soybean yields is proposed. Based on the productivity increments assessment and the extent of agro-climatic resources the generalized description of agro-climatic conditions of cultivation and productivity of soybean in the steppe zone of the Ukraine was performed.*

Поступила в редакцию 25.09.2014 г.

Репозиторий БГПУ