

УДК 633.11«324»

Л.Ю. Божко, к.с. н., **О.А. Барсукова**, к.с.н.
Одеський державний екологічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ АГРОЕКОЛОГІЧНОГО РІВНЯ ПОТЕНЦІЙНОГО УРОЖАЮ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ НА ПІВДНІ УКРАЇНИ

Наводиться аналіз розрахунку потенційного врожаю озимої пшениці на півдні України в середньо багаторічних умовах вегетації з урахуванням агрохімічних особливостей основних типів ґрунтів зони. За проведеними розрахунками потенційний урожай озимої пшениці на ґрунтах півдня України може становити до 48 ц/га.

Ключові слова: потенційний урожай, озима пшениця, моделювання, типи ґрунтів/

Вступ. Однією з основних умов високої культури землеробства є найбільш повне використання агроекологічних ресурсів. В цьому аспекті вивчення агроекологічної забезпеченості формування врожаю сільськогосподарських культур з урахуванням ґрунтово – кліматичних особливостей конкретних територій має важливе наукове і практичне значення. На сучасному етапі розвитку суспільства у зв'язку зі зміною типу ведення сільськогосподарського виробництва актуальним є агрокліматично обґрунтоване раціональне використання ґрунтово-кліматичних ресурсів.

При визначенні впливу ґрунтово-кліматичних умов на ефективність сільськогосподарського виробництва головним є визначення агроекологічних ресурсів території, реалізоване шляхом їх кількісної оцінки та агроекологічного районування. Теоретичною основою вирішення цієї проблеми є математичне моделювання продуктивності агрокосистем, яке становить фундамент сучасної агрометеорології та агроекології.

Мета роботи та матеріали і методи досліджень. Мета роботи полягає в дослідженні процесу формування урожаю озимої пшениці в однакових кліматичних умовах південних областей України, але на різних типах ґрунтів. Для досліджень використані матеріали спостережень на різних типах ґрунтів (на прикладі Миколаївської області). В якості методики досліджень використано математичне моделювання формування агроекологічного рівня потенційної врожайності сільськогосподарської культури, засноване на концепції максимальної продуктивності рослин Х.Г. Тоомінга та результатах математичного моделювання формування урожаю рослин А.М. Польового [2, 4, 5].

Під агроекологічним рівнем потенційної врожайності розуміють величину врожаю, зумовлену у надходженням енергії фотосинтетичної активної радіації (*ФАР*) при оптимальному волого- та температурному режимі, біологічними особливостями сільськогосподарської культури і родючістю ґрунту, на якому вона вирощується.

Модель формування агроекологічного рівня потенційної врожайності сільськогосподарських культур має блочну структуру і містить п'ять блоків: 1 - блок вхідної інформації; 2 - блок показників сонячної радіації; 3 - блок функцій впливу фази розвитку на продуктивний процес рослин; 4 - блок родючості ґрунту; 5 - блок агроекологічного рівня потенційної врожайності (*ПУ*).

Блок вхідної інформації складається з даних стандартних метеорологічних і агрометеорологічних спостережень і містить в собі всі необхідні для виконання розрахунків характеристики. Вони поділяються на дві групи:

- перша група – середня декадна температура повітря, середня за декаду кількість годин сонячного сяйва, сума опадів за декаду, кількість днів в розрахунковій декаді.

- друга група - інформація про бали ґрунтового бонітету, вміст гумусу в ґрунті.

Блок показників сонячної радіації. Для розрахунку інтенсивності сумарної сонячної радіації використовується формула С.І. Сівкова

$$Q_o^j = 12,66 \cdot (SS^j)^{1,31} + 315 \cdot (A^j + B^j)^{2,1}, \quad (1)$$

де Q_o - сумарна сонячна радіація, яка надходить на горизонтальну поверхню, кал/(см²д);

SS - середня за декаду кількість годин сонячного сяйва, год;

j - номер розрахункової декади;

A і B - проміжні характеристики, які визначаються залежно від широти місцевості та нахил Сонця.

Блок функцій впливу фази розвитку на продуктивний процес рослин. В основі продуктивного процесу рослин лежить фотосинтез. Його інтенсивність зумовлюється фазою розвитку рослин та умовами навколишнього середовища. Для розрахунку онтогенетичної кривої фотосинтезу використовується формула

$$\alpha_\phi^j = \exp \left[-a_\phi \left(\frac{TS_2 - \Sigma t_1}{10} \right)^2 \right], \quad (2)$$

де величина α_ϕ знаходиться за виразом

$$\alpha_\phi = \frac{-100 \cdot \ln \alpha_\phi^o}{(\Sigma t_1)^2}, \quad (3)$$

де α_ϕ - онтогенетична крива фотосинтезу, відн. од.;

α_ϕ^o - початкове значення онтогенетичної кривої фотосинтезу, відн. од.;

Σt_1 - сума ефективних температур повітря від сходів, при якій спостерігається максимальна інтенсивність фотосинтезу рослин, °С;

TS_2 - сума ефективних температур, °С.

Блок родючості ґрунту. Родючість ґрунту характеризується вмістом в ньому гумусу

$$F_{Gum} = \frac{G_{um}}{G_{umopt}}, \quad (4)$$

де F_{Gum} - відношення вмісту гумусу в ґрунті до величини оптимального для вирощування сільськогосподарської культури вмісту гумусу в ґрунті, відн. од.

G_{um} - вміст гумусу в ґрунті, %;

G_{umopt} - вміст гумусу в ґрунті, який забезпечує високий рівень урожайності сільськогосподарських культур залежно від типу ґрунтів, %.

Функція впливу вмісту гумусу в ґрунті визначається за формулою О.С.Образцова для розрахунку забезпеченості рослин елементами мінерального живлення

$$FW_{Gum} = (F_{Gum})^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_{Gum})], \quad (5)$$

де FW_{Gum} - функція впливу вмісту гумусу в ґрунті на формування врожаю, відн. од.

Блок *агроекологічної категорії врожайності (ПУ)*- потенційної врожайності. Збільшення ПУ загальної біомаси за декаду визначається залежно від інтенсивності фотосинтетичної активної радіації (ФАР) і біологічних особливостей культури з урахуванням зміни здатності рослин до фотосинтезу протягом вегетації, а також родючості ґрунту

$$\frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} = \alpha_\phi^j \frac{\eta \cdot Q_{\text{фар}}^j \cdot d\nu^j}{q} B_{\text{пл}} FW_{Gum} 10, \quad (6)$$

де $\frac{\Delta ПУ}{\Delta t}$ - приріст потенційного врожаю загальної біомаси за декаду, г/(м²дек.);

α_ϕ - онтогенетична крива фотосинтезу, відн. од.;

η - коефіцієнт корисної дії (ККД) посівів, відн. од.;

$Q_{\text{фар}}$ - середня декадна за добу сума ФАР, кал/(см²д);

$B_{\text{пл}}$ - бал ґрунтового бонітету (бал родючості ґрунту), відн. од.;

q - калорійність сільськогосподарської культури, ккал/г;

10 - розмірний коефіцієнт.

Рівень ПУ господарсько - корисної частини врожаю (зерна, коренеплодів, бульбоплодів) при його стандартній вологості визначається за виразом

$$ПУ_{\text{госп}} = ПУ \cdot K_{\text{госп}}^{ПУ} \cdot 0,1 \cdot V_{\text{госп}}, \quad (7)$$

де $ПУ_{\text{госп}}$ - потенційний урожай господарсько-корисної частини врожаю при його стандартній вологості, ц/га;

$K_{\text{госп}}^{ПУ}$ - частка господарсько-корисної частини врожаю в загальній масі потенційного врожаю, відн. од.;

$V_{\text{госп}}$ - стандартна вологість господарсько-корисної частини врожаю (зерна, коренеплодів, бульбоплодів), відн. од.

Підвищення рівня ПУ забезпечується головним чином шляхом селекції нових сортів, які матимуть вищий рівень урожайності за рахунок ефективного використання сонячної радіації.

Формули (1 - 7) дозволяють визначити агроекологічну категорію ПУ - сільськогосподарських культур, яка формується під впливом ґрунтово-кліматичних умов досліджуваної території.

Результати досліджень та їх аналіз. Зональними ґрунтами півдня України є чорноземи звичайні, південні та каштанові ґрунти. Миколаївська область розташована на півдні України, в Північному Причорномор'ї, в басейні річки Південний Буг.

Більша частина області знаходиться в Причорноморській низовині, на півночі захоплює Придніпровську височину. Північно-західна частина лежить в лісостеповій зоні, південно-східна – в степовій.

Клімат області помірно континентальний з м'якою малосніжною зимою і жарким посушливим літом.

Кліматичні умови та характер рослинності зумовили на території області

формування ґрунтів різних типів: чорноземів, каштанових, солонців, по берегах річок – заплавлених. Але основні площі сільськогосподарських культур займають ґрунти двох основних типів - чорноземи і каштанові [1]. Ці ґрунти відрізняються різною потенційною родючістю і мають два найбільш поширені підтипи, чорноземів: чорнозем звичайний і чорнозем південний, а також темно-каштанові ґрунти. Чорноземи займають більшу частину області, а каштанові – незначну південну частину області вздовж чорноморського узбережжя.

Така відмінність забезпечується, насамперед, завдяки природним властивостям ґрунтів: вмістом гумусу, гранулометричним складом, потужністю гумусового горизонту.

Найбільш родючими серед описуваних підтипів є чорноземи звичайні. Потужність гумусового шару їх становить від 50 см до 100см, при цьому вміст гумусу досягає 6...9 %. Кількість гумінових кислот на звичайних чорноземах перевищує вміст фульвокислот. Також вміст іонів Ca^{2+} значно перевищує вміст іонів Mg^{2+} , що позитивно позначається на структурі ґрунту.

Чорноземи південні мають менший за потужністю гумусовий горизонт (від 25...30 см до 60...70 см), при більш низькому вмісті гумусу – 4...5%. Вміст гумінових і фульвокислот рівний, реакція ґрунтового розчину у верхніх горизонтах ґрунту нейтральна, рН = 7.0...7.3, а нижні горизонти на глибині 60-70см часто мають слабо лужну реакцію з рН = 7.5...8.0. Бал ґрунтової родючості становить 0.6.

Темно-каштанові ґрунти відрізняються значно меншою родючістю порівняно з чорноземами. Це виявляється і в потужності гумусового горизонту (до 40 см) і у вмісті гумусу - 1.5 % ... 3.5 %. Крім того, каштанові ґрунти характеризуються слабо лужною реакцією, вже починаючи з поверхні ґрунту. Відповідно нижче і бал ґрунтової родючості цих ґрунтів - 0.5.

Чорноземи звичайні на території Миколаївської області поширені у північній частині. Вони сформувалися під різнотравно-типчакково-ковиловою рослинністю. В даний час ґрунти майже повсюдно розорані. Незважаючи на високу природну родючість ґрунтів, чорноземи звичайні бідні на рухливі форми фосфору. Ґрунти мають оптимальний водно-повітряний режим, добре оструктурені, структура водотривка. Основою отримання стійких урожаїв є спільне внесення органічних і мінеральних добрив, снігозатримання, ранньовесняне боронування та щільування полів, боротьба з ерозією ґрунтів.

Для розрахунків потенційного врожаю на чорноземах звичайних нами використовувалися середні багаторічні показники росту і розвитку озимої пшениці на станції Первомайськ, де вони найбільш поширені. В середньому багаторічному відновлення вегетації культури відбувається в третій декаді - 27 березня. Повна стиглість відзначається 10 липня. Таким чином, тривалість періоду вегетації становить 113 днів. Середня температура повітря за період вегетації становить 15.3 °С, сума ефективних температур - 1161 °С, сума опадів – 221 мм. ГТК складає 1.3.

У табл. 1 представлені узагальнені результати розрахунків показників, що формують потенційний урожай озимої пшениці на чорноземах звичайних.

Найбільші прирости *ПУ* на чорноземах звичайних, згідно з проведеними розрахунками, припадають на шосту-восьму декади вегетації. Вони становлять 158, 194 і 171 г/м² відповідно.

В цілому за вегетаційний період *ПУ* сухої маси рослин озимої пшениці на станції Первомайськ склав 1260 г/м², а господарсько-корисної частини - 47.8 ц / га.

Таблиця 1 - Результати розрахунків характеристик потенційного врожаю озимої пшениці на чорноземах звичайних (ст. Первомайськ)

Декади вегетації	Afl, відн. од.	Q кал/(см ² · д)	FAR кал/(см ² · хв)	T _s , °C	ΣT _{ефект.} °C	ΔPY, г/м ²
1	0,50	312	0,218	4,6	0,0	27,5
2	0,53	330	0,221	8,4	34,0	61,6
3	0,59	352	0,225	8,9	73,0	73,0
4	0,68	433	0,267	11,6	139,0	103,2
5	0,80	475	0,283	14,1	230,0	133,5
6	0,92	487	0,281	16,4	344,0	158,4
7	0,99	503	0,284	16,9	474,0	193,9
8	0,95	510	0,283	18,5	609,0	171,4
9	0,80	506	0,278	18,7	746,0	143,5
10	0,58	507	0,278	20,2	898,0	103,6
11	0,35	511	0,282	20,0	1048,0	63,6
12	0,20	541	0,302	21,1	1161,0	26,6

Каштанові ґрунти поширені в південній підзоні сухих степів під полинно-типчаквою і полинно-типчакво-ковиловою рослинністю на лесовидних суглинках. Каштанові ґрунти глинистого і суглинного механічного складу у верхньому горизонті містять 2,5...4,0 % гумусу, а легко суглинного і супіщаного - 1,5...2,5 %. У складі гумусу міститься приблизно рівна кількість фульвокислот і гумінових кислот, нерідко фульвокислоти переважають над гуміновими кислотами. Каштанові ґрунти використовуються під пасовища, сіножаті і рілля. З сільськогосподарських культур вирощуються пшениця, кукурудза, просо, соняшник та ін. Ґрунти потребують заходів з накопичення і збереження вологи, а також внесення органічних і мінеральних добрив.

Результати розрахунків формування агроєкологічного рівня ПУ озимої пшениці на каштанових ґрунтах наведено в табл. 2. В середньому багаторічному тривалість періоду вегетації озимої пшениці становить 103 дні при середній температурі повітря за весняно-літній період вегетації 15,4 °C. Сума опадів, яка випадає за вегетаційний період озимої пшениці, становить 194 мм, а ГТК - 1,2.

На ст. Миколаїв максимальні прирости потенційного врожаю також припадають на шосту-восьму декади вегетації, що відповідає фазі максимального розвитку листової поверхні рослин - утворення нижнього вузла соломини-колосіння. Але максимальний приріст врожаю на темно-каштанових ґрунтах менше, ніж на чорноземах звичайних -161 г/м² проти 194 г/м². В цілому, потенційний урожай сухої маси озимої пшениці склав 1050 г/м². А потенційний урожай господарсько-корисної частини врожаю - 40 ц/га.

Чорноземи південні формувалися під типчакво-ковилового рослинністю в

південній частині степової зони, яка характеризується дефіцитом вологи. Ґрунти мають високу природну родючість, широко використовуються в сільському господарстві. На них вирощуються такі важливі в сільськогосподарському виробництві України культури як пшениця, цукровий буряк, соняшник, кукурудза, бобові та ін.

Таблиця 2 - Результати розрахунків характеристик потенційного врожаю озимої пшениці на каштанових ґрунтах (ст. Миколаїв)

Декади вегетації	Afl, відн. од.	Q кал/(см ² д)	FAR кал/(см ² хв)	T _s , °C	T _{ефект.} °C	ΔPY, г/м ²
1	0,50	319	0,22	5,4	2	23,2
2	0,54	337	0,23	9,1	43	52,6
3	0,61	358	0,23	9,6	89	63,5
4	0,72	440	0,27	12,1	160	90,3
5	0,84	481	0,28	14,5	255	116,3
6	0,96	493	0,28	17,0	375	135,8
7	0,99	509	0,29	17,6	513	160,7
8	0,90	515	0,29	19,6	656	134,3
9	0,70	512	0,28	20,0	802	103,7
10	0,45	512	0,28	21,1	963	67,0
11	0,26	517	0,28	21,0	1075	27,6

Середня багаторічна дата відновлення вегетації озимої пшениці припадає на 22 березня, дата повної стиглості - на 7 липня. Тривалість періоду вегетації становить 108 днів (дані ст. Т.- Березанка).

В середньому багаторічному середня температура повітря за період весняно-літньої вегетації становить 14.3 °C, при цьому накопичується 1013 °C сум ефективних температур, сума опадів, що накопичилася за період вегетації, складає 159 мм, ГТК - 1.0.

Результати проведеного аналізу щодо формування потенційного врожаю озимої пшениці на чорноземах південних наведені в табл. 3.

Так, в першу половину вегетації спостерігається інтенсивний приріст сухої маси посівів, що пояснюється швидким наростанням вегетативної маси рослин озимої пшениці, особливо листової поверхні, потім накопичення уповільнюється. Максимальні прирости сухої маси спостерігаються в шостий – сьомий декаді, що відповідає фазам утворення нижнього вузла соломини і колосіння, потім разом зі зниженням інтенсивності фотосинтезу знижуються і прирости сухої маси. Вони становлять 154 - 186 г/м² в декаду.

В цілому за період вегетації до моменту повної стиглості накопичується 1147 г/м² сухої речовини, що відповідає 43.6 ц/га господарсько-корисної частини врожаю (зерна).

Нами була проведена порівнювальна оцінка потенційної врожайності озимої

пшениці на різних типах ґрунтів Миколаївської області.

У табл. 4 наведена порівняльна характеристика потенційного врожаю озимої пшениці, отриманого на різних ґрунтах.

Таблиця 3 - Результати розрахунків характеристик потенційного врожаю озимої пшениці на чорноземах південних (ст. Т.- Березанка)

Декади вегетації	Afl, відн. од.	Q кал/(см ² д)	FAR кал/(см ² хв)	T _s , °C	ΣT _{°C} ^{ефект.}	ΔPY, г/м ²
1	0,50	316,2	0,22	4,9	0,0	52,7
2	0,53	340,2	0,23	8,1	31,0	60,1
3	0,59	361,5	0,23	8,8	69,0	71,3
4	0,68	442,77	0,27	11,3	132,0	100,9
5	0,81	484,2	0,29	13,5	217,0	130,5
6	0,93	496,0	0,29	16,1	328,0	154,6
7	0,99	511,8	0,29	17,0	460,0	186,7
8	0,92	517,9	0,29	18,7	597,0	158,7
9	0,72	514,2	0,28	19,3	740,0	123,2
10	0,45	514,7	0,28	21,1	901,0	77,9
11	0,25	519,8	0,28	21,1	1013,0	30,6

Таблиця 4 - Порівняльна характеристика потенційного урожаю, отриманого на різних типах ґрунтів

Тип ґрунту	ΔPY _{max} г/м ²	ПУ _{сухої маси} , г/м ²	ПУ _{госп.} ц/га
Чорнозем звичайний середньо суглинковий	193	1260	47,8
Чорнозем південний важко суглинковий	186	1147	43,5
Темно-каштанові важко суглинкові ґрунти	160	975	37,0

Порівнюючи отримані результати, можна відзначити, що найбільші прирости ПУ озимої пшениці можна одержати на чорноземах звичайних – до 193 г/м² сухої маси за декаду. На цих же ґрунтах можна одержати і найвищі потенційні урожаї озимої пшениці - до 48 ц/га.

На чорноземах південних при середніх багаторічних умовах вегетації культури можна очікувати декадні прирости сухої маси ПУ до 187 г/м², а потенційний урожай зерна - до 43.6 ц/га.

Найменшу потенційну родючість мають темно-каштанові ґрунти. На них можна очікувати отримання 160 г/м² приростів сухої маси ПУ і 37 ц/га зерна. Це на 11 ц/га менше, ніж на чорноземах звичайних.

На рис. 1 представлена порівняльна характеристика ПУ озимої пшениці на різних типах ґрунтів.

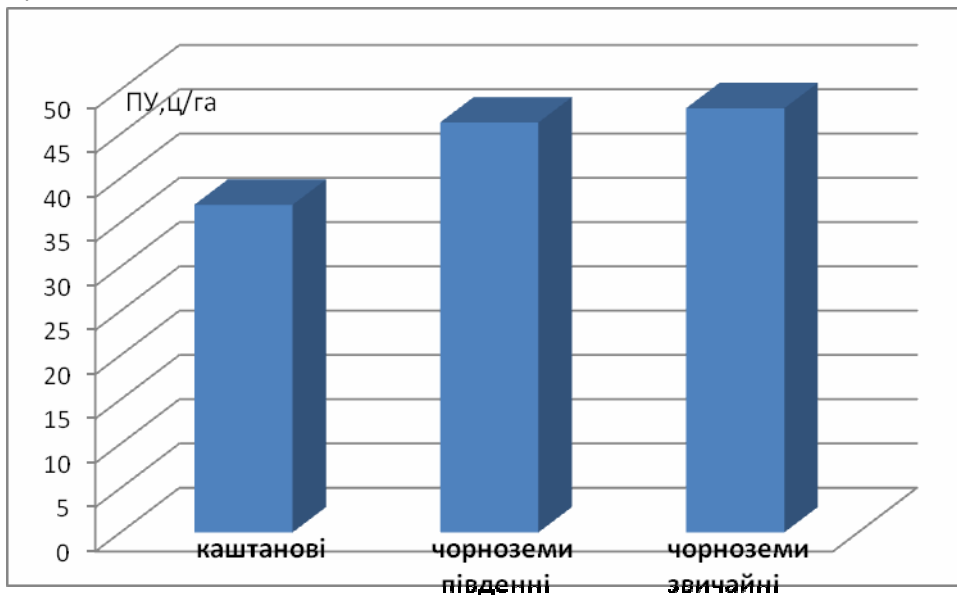


Рис. 1. Потенційні урожаї господарсько-корисної частини врожаю озимої пшениці на різних типах ґрунтів, ц/га

В середньому багаторічному в Миколаївській області середній урожай озимої пшениці становить близько 28 ц/га і коливається від 19 до 49 ц/га.

Висновки. На основі обробки матеріалів і аналізу отриманих результатів можна зробити висновки, що в південних областях України (на прикладі Миколаївської області) є достатньо високий потенціал для підвищення врожаїв та досягнення їх стійкості шляхом більш повного використання ґрунтово-кліматичних умов та правильного і раціонального використання агротехнічних заходів щодо обробки ґрунту та внесення органічних та мінеральних добрив.

Список літератури

1. Агроклиматический справочник Николаевской области. – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 104 с.
2. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 175 с.
3. Полевой А.Н. Сельскохозяйственная метеорология. – С-П.: Гидрометеиздат, 1992.
4. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроecosystem. – Київ: КНТ, 207
5. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 264с.
6. Уланова Е.С. Методы оценки агрометеорологических условий и прогноз урожайности зерновых культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1988.

Моделювання процесу формування агроecological рівня потенціального врожаю озимої пшениці на юге України. Божко Л.Е., Барсукова Е.А.

Приводится анализ расчета потенциального урожая озимой пшеницы на юге Украины в среднемноголетних условиях вегетации с учетом агрохимических особенностей основных типов почв зоны. Согласно проведенным расчетам потенциальный урожай озимой пшеницы на почвах юга Украины может составлять до 48 ц/га.

Ключевые слова: потенциальный урожай, озимая пшеница, моделирование, типы почв

Simulation of the formation of potential yield of winter wheat in southern Ukraine.

Bozhko L.E., Barsukova E.A.

An analysis of calculating the potential yield of winter wheat in the south of Ukraine in terms of mean growing season based on agrochemical characteristics of the main types of soil zone is given. According to our calculations, the potential yield of winter wheat on soils of the south of Ukraine may take up to 48 kg/ha.

Key words: a potential crop, winter wheat, modeling, soil types