

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних занять з дисципліни

«Довгострокові агрометеорологічні прогнози»

за темою: «Розрахунки очікуваних врожаїв с/г культур з
використанням динамічних моделей (ярий ячмінь)»

для студентів денної та заочної форм навчання

спеціальності 103 «Науки про Землю»

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних занять з дисципліни

«Довгострокові агрометеорологічні прогнози»

за темою: «Розрахунки очікуваних врожаїв с/г культур з
використанням динамічних моделей (ярий ячмінь)»

для студентів денної та заочної форм навчання

спеціальності 103 «Науки про Землю»

Затверджено
на засіданні групи
забезпечення спеціальності
Протокол № 12
від «23» травня 2023р.

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Довгострокові агрометеорологічні прогнози» за темою «Розрахунки очікуваних врожаїв с/г культур з використанням динамічних моделей (ярий ячмінь)» для студентів I року навчання денної та заочної форм навчання за спеціальністю 103 «Науки про Землю», рівень вищої освіти магістрів/ Укладачі: Божко Л.Ю. канд. геогр. наук., доц., Барсукова О.А., канд. геогр. наук., доц., Одеса, ОДЕКУ, 2023, 41 с.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	5
1. Теоретична частина.....	7
1.1. Основні принципи прогнозування врожайності з використанням моделей.....	7
1.2 Прогнозування тенденції врожайності.....	8
1.3 Оцінка агрометеорологічних умов вегетації.....	9
1.4 Базова динамічна модель урожайності.....	10
1.5 Визначення параметрів моделей.....	12
1.6 Зміст і структура базової моделі «погода – урожай» УкрГМІ.....	16
2. Практична частина.....	28
2.1 Техніка розрахунків за динамічною моделлю А.М. Польового.....	28
2.2 Техніка розрахунку за моделлю Укр ГМІ.....	35
Контрольні питання.....	40
Список літератури.....	41

ВСТУП

Динаміко – статистичний підхід до прогнозування та оцінки агрометеорологічних умов вирощування сільськогосподарських культур розроблений і використовується для складання прогнозів середнього по області (регіону) урожаю із різною завчасністю. Динаміко – статистичний метод прогнозування врожайності засновується на теорії фотосинтетичної продуктивності посівів.

Метою методичних вказівок є:

1) методичне забезпечення виконання практичних завдань за темою «Розрахунки очікуваних врожаїв с/г культур з використанням динамічних моделей (ярий ячмінь), оволодіння студентами відповідними сучасним вимогам знаннями;

2) навчити студентів використовувати різні динаміко-статистичні моделі для складання прогнозів очікуваних врожаїв сільськогосподарських культур з різною завчасністю.

Виконання практичних завдань сприяє закріпленню теоретичних знань та надає студентам можливість набути практичні навички у виконанні розрахунків, їх аналізу та складанню текстів прогнозів..

Після виконання практичного заняття студенти повинні **знати**:

- Особливості розрахунків очікуваних врожаїв різних сільськогосподарських культур за моделями різного типу.
- Особливості використання розрахункових програм на ПЕОМ;

Після виконання завдань студенти повинні **вміти**:

- Збирати, аналізувати та систематизувати науково-технічну техніко-економічну та виробничу інформації;
- Критично оцінювати отримані розрахунки;
- складати тексти прогнозів.

При виконанні практичних завдань студенти повинні ознайомитись з теоретичною частиною, виконати практичні розрахунки з використанням відповідних програм для ПЕОМ, скласти текст прогнозу і відповісти на контрольні запитання.

В методичних вказівках наведені дві теми щодо розрахунків очікуваних врожаїв с/г культур з використанням динамічних моделей. Практичне завдання студент виконує по одній із вибраних тем (тобто завдання перше або друге).

Кожен студент отримує свій варіант, за яким необхідно буде зробити розрахунки.

Послідовність виконання практичних занять полягає у вивченні теоретичної частини, виконанні практичних занять і відповіді на контрольні питання.

Методика проведення та оцінювання контрольних заходів ЗМ-П2, полягає в оцінюванні результатів виконаних розрахунків, умінні студента узагальнювати результати розрахунків, складати відповідні тексти, повноті відповідей на запитання. Оцінюється виконання практичного заняття і відповіді на запитання. За виконання цього завдання студент отримує 4 бали.

1. Теоретична частина

1.1. Основні принципи прогнозування врожайності з використанням моделей

Динаміко – статистичні методи прогнозування врожайності засновуються на теорії фотосинтетичної продуктивності посівів.

Розробка теорії фотосинтетичної продуктивності посівів стимулювала інтенсивний розвиток робіт по моделюванню продукційного процесу рослин, серед яких особливий інтерес для практики становили довгоперіодні динамічні моделі формування урожаю (Є.П. Галямін, А.М. Польовий, Р.О. Полуєтков, О.Д. Сиротенко). Моделювання дозволило узагальнити значну кількість даних, що відображають вплив чинників зовнішнього середовища на ряд найважливіших процесів життєдіяльності рослин, складна сукупність яких являє собою процес формування урожаю. Динамічні моделі продуктивності дозволяють відтворити ефект впливу агрометеорологічних умов на основні показники фотосинтетичної діяльності посівів і реально оцінити міру цього впливу. Такий підхід виявився особливо плідним. На цій основі відкрилася можливість приступити до створення методів оцінки агрометеорологічних умов росту сільськогосподарських культур, прогнозування їх врожайності.

В сучасному прогнозуванні врожаїв виділяється два шляхи: перший – це екстраполяція тих тенденцій, що складаються в динаміці врожайності у попередній рік. При цьому умовно приймається, що рівень врожайності з часом змінюється за цілком визначеним законом. Другий шлях – це розрахунок тенденції зміни рівня врожайності і врахування динаміки факторів, від яких залежить врожайність. У цьому випадку є можливість отримати багатофакторні залежності, які дозволяють розраховувати очікувану величину врожайності у кожному конкретному році досліджуваного ряду. Тенденція врожайності розраховується під час розрахунку ліній трендів методом найменших квадратів, або методом гармонічних зважувань.

При розв'язуванні багатьох практичних питань виникає необхідність оцінки впливу на врожаї окремих факторів або їх груп. Для цього розглядають часовий ряд врожаїв. *Часовим рядом* називається послідовність спостережень, упорядкованих згідно з часом.

У загальному вигляді часовий ряд представляє собою вираз

$$y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n, \quad (1)$$

де y_i – значення i -го рівня часового ряду,
 n – довжина часового ряду.

Однією з найважливіших задач аналізу часових рядів є визначення основної закономірності зміни в часі (тенденції) явища, що вивчається. З цією метою розкладають ряд на дві складові, які характеризують різні групи факторів. При цьому за загальну статистичну модель часового ряду приймають модель:

$$y_t = f(t) + E_t, \quad (2)$$

де $f(t)$ – деяка не випадкова функція часу;

E_t – випадкова складова часового ряду (випадкова компонента).

Ці компоненти часового ряду не спостерігаються, вони – теоретичні величини. В цій моделі вважається, що з часом випадкова компонента не змінюється і будь-яка залежність від часу входить до стаціонарної складової.

Стаціонарна складова часового ряду обумовлюється рівнем культури землеробства, визначає загальну тенденцію зміни врожаю за розглядуваний період, і представляє собою плавну лінію – *тренд*. Форма тренда і його параметри визначаються через добір найкращої (за будь-яким із показників статистичних критеріїв) функції із числа наявних. При правильному виборі тренда відхилення від нього будуть мати випадковий характер. Якщо за певний відрізок часу спостерігається рівномірна зміна врожайності, то лінія тренда описується рівнянням прямої

$$y = a_0 + a_1 t \quad (3)$$

Якщо ж зміна врожайності нерівномірна то лінія тренда – це парабола другого порядку

$$y = a_0 + a_1 t + a_2 t^2, \quad (4)$$

де y – врожайність, ц./га;

a_0 – вирівняний рівень врожайності на початку даного періоду;

a_1 – середньорічний приріст врожайності, обумовлений культурою землеробства;

a_2 – прискорення приросту врожайності (тенденція зміни середнього річного приросту);

t – порядковий номер року в ряду врожайності.

1.2 Прогнозування тенденції врожайності

В порівнянні з вищеописаними методами розрахунку лінії тренда метод гармонічних зважувань, запропонований З.Хельвігом для прогнозу-

вання економічних показників, має ту перевагу, що відповідає необхідність вибору функції аналітичного порівнювання.

При використанні методу гармонічних зважувань за деяке наближення $f(t)$ дійсного тренда приймається ламана лінія, яка зрівнює чинну кількість даних часового ряду y_t .

Прогнозування значення часового ряду визначається з формули

$$\bar{y}_{t+1} = \bar{y}_t + \bar{\omega}_{t+1}, \quad (5)$$

де $\bar{\omega}_{t+1}$ – середнє прирощення функції $f(t)$.

Для прогнозу тенденції часового ряду методом гармонічних зважувань повинні виконуватись такі передумови:

- 1) часовий ряд повинен бути досить тривалим, щоб в середині цього ряду була можливість простежити закономірність процесу;
- 2) відхилення від поточного тренда повинні представляти стаціонарний випадковий процес.

Для екстраполяції тенденції врожайності використовуються щорічні дані середньої обласної врожайності сільськогосподарських культур усіх категорій господарств у центнерах з гектара.

При розрахунках тенденції врожайності сільськогосподарської культури необхідно враховувати те, що часовий безперервний інтервал, в якому розглядається врожайність, повинен складати не менше 20 років. За цієї умови кількість років, що утворюють одну фазу поточного тренда, визначається для кожного ряду, виходячи із величини відхилень прогнозованого врожаю від фактичного (за звичай $k = 16$).

1.3 Оцінка агрометеорологічних умов вегетації

При прогнозуванні врожаїв оцінка відхилення поточних агрометеорологічних умов від середніх багаторічних вимагає кількісного вираження.

В основу кількісної оцінки агрометеорологічних умов вирощування сільськогосподарських культур покладено вираз

$$C = m_p / m_r, \quad (6)$$

де C – оцінка умов;

m_p – біомаса репродуктивних органів (господарсько цінної частини рослини), розрахована за моделлю з використанням інформації, яка характеризує умови періоду;

m_p - біомаса репродуктивних органів, розраховані за моделлю за середніми багаторічними даними.

Числове значення оцінки дозволяє надати кількісну характеристику умов формування врожаю. Якщо значення C становить близько 1, то агрометеорологічні умови поточного року близькі до середніх багаторічних, C більше 1 – умови більш сприятливі для формування врожаю ніж середні багаторічні, C менше 1 – умови поточного року гірші, ніж середні багаторічні.

Розрахунок середньої по області оцінки агрометеорологічних умов вегетації виконується за допомогою динамічної моделі формування врожаю, запропонованої А.М. Польовим.

1.4 Базова динамічна модель урожайності

Основні концептуальні положення моделі такі: розвиток рослин визначається генотипом і чинниками зовнішнього середовища; моделюється ріст рослин (накопичення сухої біомаси) шляхом розподілу продуктів фотосинтезу з врахуванням необхідності в асимілятах для росту надземної і підземної частин рослин; моделюється радіаційний, тепловий і водний режим системи ґрунт – рослина – атмосфера; моделюється природне старіння рослин і при стресових умовах – перетік асимілятів з листя, стебел, коренів у репродуктивні органи; моделюється вплив агрометеорологічних умов за основні міжфазні періоди розвитку рослин на формування врожаю, втрати врожаю за рахунок посухи та інших несприятливих агрометеорологічних умов.

Структура моделі визначається, виходячи з закономірностей формування гідрометеорологічного режиму в системі ґрунт – рослина – атмосфера та біологічних уявлень про ріст і розвиток озимої пшениці під впливом чинників зовнішнього середовища. В основі моделі лежить система рівнянь радіаційного, теплового і водного балансів та балансу біомаси у рослинному покриві.

Динамічна модель формування врожаю сільськогосподарських культур складається з п'яти блоків :

1. блок вхідної агрометеорологічної інформації;
2. блок початкових даних та шкали часу;
3. блок чинників навколишнього середовища;
4. біологічний блок;
5. блок урожайності.

Блок вхідної агрометеорологічної інформації

Передбачається використання стандартної декадної агрометеорологічної інформації: температура повітря; дефіцит насичення повітря; кількість опадів; кількість годин сонячного сяйва; запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0-20 та 0-100 см; рівень ґрунтових вод; термін та норма вегетаційного поливу (при зрошуванні); характеристик агрофізичного та агрохімічного стану ґрунту, водного режиму ґрунтів.

Блок початкових даних та шкали часу

Для виконання розрахунків початкових характеристик рослинного покриву (розмірів біомаси окремих органів рослин – листя, стебел, коренів, репродуктивних органів та площі асимілюючої поверхні); завдаються початкові значення оцінок екстремальних умов. Проводиться розрахунок часової шкали та суми ефективних температур. Модель має дві шкали часу: 1) декади від початку вегетації культури; 2) суми ефективних температур, що накопичуються від початку вегетації.

Сума ефективних температур розраховується з врахуванням середньої за декаду температури повітря, біологічного нуля сільськогосподарської культури та тривалості декад вегетації

$$\sum_{n.veg.}^{в.ст.} t_{ef.} = (t_{дек.} - t_{б.н.}) n_{дек.}, \quad (7)$$

де $\sum_{n.veg.}^{в.ст.} t_{ef.}$ – сума ефективних температур;

$t_{дек.}$ – середня за декаду температура повітря;

$t_{б.н.}$ – біологічний нуль культури;

$n_{дек.}$ – кількість днів в розрахунковій декаді вегетації.

Розраховується тривалість світлого часу доби.

Блок чинників навколишнього середовища

Цей блок складається з окремих підблоків.

Підблок радіаційного та водно-теплого режимів посіву.

Підблок комплексу оцінок умов формування врожайності в окремі міжфазні періоди, при посушливих явищах та інших несприятливих агрометеорологічних умовах.

Для розрахунку к комплексу оцінок умов формування врожайності в окремі міжфазні періоди, при посушливих явищах та інших несприятливих агрометеорологічних умовах вводиться додатковий підблок.

Кількісна оцінка агрометеорологічних умов формування врожаю зернових колосових розглядається в три періоди:

- 1) декада до виходу в трубку, декада виходу в трубку і наступна декада після виходу в трубку для озимої пшениці (сходи – вихід в трубку для ярого ячменю);
- 2) період вихід в трубку – колосіння;
- 3) період колосіння – воскова стиглість.

Біологічний блок складається з під блоків:

1. Підблок онтогенетичних кривих фотосинтезу та дихання.
2. Підблок фотосинтезу, дихання та приросту рослинної маси.
3. Підблок динаміки біомаси органів рослини.
4. Підблок площі листкової поверхні.

Блок врожайності

Урожай зерна знаходиться з врахуванням впливу несприятливих агрометеорологічних умов:

$$M_{\text{зерн.}} = 0,1m_g (C_{\text{носух.}} \cdot C_{\text{поляг.}} \cdot C_{\text{стік.}})^{0,333}. \quad (8)$$

Опис впливу агрометеорологічних умов на формування врожаю сільськогосподарської культури виконується за низкою рівнянь [1].

1.5 Визначення параметрів моделей

У відповідності з описаною структурою моделі її параметри поділені на чотири групи:

1. Параметри для розрахунку інтенсивності фотосинтезу;
2. Параметри для розрахунку інтенсивності дихання;
3. Параметри для розрахунку динаміки біомаси окремих органів і всієї рослини, площі асимілюючої поверхні;
4. Параметри агрометеорологічного блоку, до якого входять значення коефіцієнтів рівнянь регресії для розрахунку середньої за світлу пору доби температури повітря.

Параметри блоку фотосинтезу. До групи параметрів блоку фотосинтезу входять параметри, які характеризують інтенсивність протікання процесу фотосинтезу під впливом факторів, що безпосередньо беруть участь у самому процесі, а також ті, що відображають умови

здійснення процесу. Останні є функціями впливу факторів середовища на інтенсивність процесу фотосинтезу.

Цю групу складають параметри світлової кривої фотосинтезу k , b та ψ_{δ} , γ_{δ} – функції впливу температури повітря і вологості ґрунту на інтенсивність фотосинтезу.

Параметр k характеризує плато світлової кривої, а параметр b – нахил світлової кривої фотосинтезу при незначних інтенсивностях ФАР і знаходиться як тангенс кута нахилу світлової кривої.

Для озимого жита: $k = 15 \text{ мг CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год.})$;

$b = 555,6 \text{ мг CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год.}) / (\text{кал} / \text{см}^2 \cdot \text{хв})$.

Для озимої пшениці, ярого ячменю та вівса $k = 25 \text{ мг CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год.})$;

$b = 581,4 \text{ мг CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год.}) / (\text{кал} / \text{см}^2 \cdot \text{хв})$.

Врахування впливу температури повітря на інтенсивність фотосинтезу проводиться через температурну криву фотосинтезу ψ_{δ} , яка будувалась по відношенню температури поточної доби до температури світлої пори доби, коли здійснюється фотосинтез ..

Крайні та оптимальні середньодобові температури повітря для фотосинтезу отримані для різних культур: озимого жита – 20 °С, озимої пшениці, ярого ячменю та вівса – 22°С.

Функції впливу вологості ґрунту на інтенсивність фотосинтезу визначені окремо для супіщаних та суглинистих ґрунтів..

Крім того, для розрахунку фотосинтезу використовується також параметр, який характеризує вплив зміни фізіологічного віку листа на інтенсивність фотосинтезу, – онтогенетична крива фотосинтезу α_{ϕ} , положення максимуму якої визначається темпами розвитку рослин на конкретній території.

Параметри блоку дихання. До цієї групи параметрів відноситься коефіцієнт витрат на підтримку структур $C_1 = 0,015$ та коефіцієнт витрат на конструктивне дихання $C_2 = 0,28$. Сюди також входить параметр, що характеризує вплив зміни віку органів на інтенсивність процесу дихання – онтогенетична крива дихання α_R , положення максимуму якої визначається темпами розвитку рослин на конкретній території.

Таблиця 1 - Числові значення коефіцієнта c_i для різних культур наведено нижче:

Культура	c_l	c_s	C_r	c_p
Озиме жито	0,22	0,42	0,13	0,23
Озима пшениця	0,25	0,36	0,11	0,28
Ярий ячмінь	0,23	0,33	0,11	0,33

Овес	0,23	0,33	0,15	0,29
------	------	------	------	------

Параметри агрометеорологічного блоку. Для здійснення розрахунків за моделлю необхідно розрахувати середню за декаду температуру повітря за світлу пору доби, яка визначається по середній максимальній за декаду температурі повітря.

Таблиця 2 - Параметри a_0 , a_1 окремо для кожного місяця вегетації визначені стосовно умов нечорноземної зони і наводяться нижче:

Параметр	Місяць вегетації					
	березень	Квітень	травень	Червень	Липень	серпень
a_0	-3,0	-1,365	-1,008	-1,081	0,559	-0,686
a_1	1,0	0,835	0,856	0,891	0,823	0,873

Різниця у добовому ході температури повітря не дозволяє без уточнення використовувати значення цих параметрів при розрахунках в інших ґрунтово-кліматичних умовах.

Таблиця 3 - Параметри a_0 , a_1 окремо для кожного місяця вегетації і наводяться нижче:

Параметр	Місяць вегетації					
	березень	Квітень	травень	Червень	Липень	серпень
a_0	-3,0	-1,365	-1,008	-1,081	0,559	-0,686
a_1	1,0	0,835	0,856	0,891	0,823	0,873

Параметри блоку дихання. До цієї групи параметрів відноситься коефіцієнт витрат на підтримку структур $C_1 = 0,015$ та коефіцієнт витрат на конструктивне дихання $C_2 = 0,28$. Сюди також входить параметр, що характеризує вплив зміни віку органів на інтенсивність процесу дихання – онтогенетична крива дихання α_R , положення максимуму якої визначається темпами розвитку рослин на конкретній території.

Для визначення положення максимуму онтогенетичної кривої дихання, тобто суми температур, яка визначає це положення ($\sum t_l^3$), необхідно скористуватись сумою ефективних температур за період від відновлення вегетації (сходів) до воскової стиглості. Четверта частка цієї суми буде складати $\sum t_l^3$. Сума $\sum t_l^3$ дорівнює $\sum t_l^1$.

Параметри блоку росту. Головним блоком прикладних динамічних моделей формування урожаю є блок росту. Параметри цього блоку

визначаються по кожній культурі для конкретної території. Ця група параметрів об'єднує функції періоду вегетативного росту β_i та функції періоду репродуктивного росту v_i .

Положення функцій періодів вегетативного та репродуктивного росту, що описують перерозподіл між органами рослин, визначається сумами температур, які необхідні для закінчення росту листя, стебел, коріння, початку росту колосу, настання воскової стиглості.

Для визначення цих сум необхідно розрахувати середні по області багаторічні дати настання фази виходу у трубку, появи нижнього вузла соломини, колосіння, цвітіння та підрахувати середні багаторічні суми ефективних температур вище 5 °С за періоди: відновлення вегетації (сходи) – вихід у трубку Σt_1 ; відновлення вегетації (сходи) – колосіння Σt_2 ; відновлення вегетації (сходи) – цвітіння Σt_3 . Тоді сума температур, яка визначає положення ростової функції будь-якого органу, тобто сума Σt_i^2 , буде становити для листя $(\Sigma t_l^2) - 1/2$ суми ефективних температур за період від відновлення вегетації до колосіння; стебел – $(\Sigma t_s^2) - 1/2$ суми ефективних температур за період від відновлення вегетації до цвітіння; коріння – (Σt_r^2) подібно до стебел. Сума Σt_r^2 дорівнює Σt_s^2 .

Таблиця 4 -Числові значення коефіцієнта c_i для різних культур наведено нижче:

Культура	c_l	c_s	c_r	c_p
Озиме жито	0,22	0,42	0,13	0,23
Озима пшениця	0,25	0,36	0,11	0,28
Ярий ячмінь	0,23	0,33	0,11	0,33
Овес	0,23	0,33	0,15	0,29

Параметри агрометеорологічного блоку. Для здійснення розрахунків за моделлю необхідно розрахувати середню за декаду температуру повітря за світлу пору доби, яка визначається по середній максимальній за декаду температурі повітря. Параметри цього виразу a_0 , a_1 окремо для кожного місяця вегетації визначені стосовно умов нечорноземної зони і наводяться нижче:

Таблиця 5- Параметри агрометеорологічного блоку

Параметр	Місяць вегетації					
	березень	Квітень	травень	Червень	Липень	серпень
a_0	-3,0	-1,365	-1,008	-1,081	0,559	-0,686
a_1	1,0	0,835	0,856	0,891	0,823	0,873

Різниця у добовому ході температури повітря не дозволяє без уточнення використовувати значення цих параметрів при розрахунках в інших ґрунтово-кліматичних умовах.

Час сходу та заходу Сонця визначається за даними Довідника по клімату. За годинними спостереженнями розраховується середня за світлу пору доби температура повітря та виписується максимальна температура за день. Після цього визначається залежність середньої за день температури повітря від максимальної. Параметри a_0 і a_1 можуть бути визначені або з використанням методу найменших квадратів, або графічно після побудови графіка зв'язку T_g з T_{\max} . a_0 – як відрізок, що відсікається на осі ординат T_g , a_1 – як тангенс кута нахилу прямої зв'язку T_g з T_{\max}

1.6 Зміст і структура базової моделі «погода – урожай» УкрГМІ

Біологічні основи базової моделі «погода і урожай» вміщують ознаки спадкових властивостей рослин, засоби періодизації онтогенезу, характеристики взаємодії густоти рослин їх маси та ін. До біологічних основ належить визначення провідних факторів середовища та уявлень про потенціал урожаю.

Базова модель «погода і урожай» вміщує такі ознаки як багатофакторність, багатофункціональність та універсальність. Багатофакторність моделі охоплюється положеннями: біологічні властивості рослин, характеристики плодотворності клімату, ознаки родючості ґрунту, властивості антропогенного впливу на формування врожаю.

Багатофункціональність моделі вміщує її можливість власними засобами формувати цілеспрямовану інформацію про вплив агрометеорологічних умов на формування урожаю за видовими, просторовими, часовими ознаками для розв'язування моніторингових, технологічних та економічних завдань

Напрями застосування моделі «погода і урожай» УкрНДГМІ розділяються за двома принципами – оцінкою і прогнозом. Оцінку становить наближене значення величини, яку визначають, на підставі вибірових спостережень досліджуваного об'єкта. Прогнози є науково обґрунтованим припущенням про майбутній стан або його зміни на підставі аналізу умов у попередній, нинішній час та у майбутньому.

Математична модель «погода і урожай» УкрНДГМІ має блокову структуру і описується виразом

$$Y = Y \sum F_i(g, N) S(T, R, W) \eta_y \{1 - S_n / S_{yk}\}, \quad (9)$$

де Y – розрахункова урожайність;

Y_1 – блок потенціалу урожайності;

F – родючість ґрунту;

g – складова родючості ґрунту;

N – щільність ґрунту;

$S(T, R, W)\eta_y$ – плодотворність клімату, яка уявляє собою сумарний коефіцієнт продуктивності польової культури за температурою повітря, кількістю опадів та запасами продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту;

S_n – площа посівів польової культури, охоплена впливом епізодичних та локальних факторів;

S – загальна площа посівів;

uk – зміна урожайності під впливом дії неврахованих факторів.

За описаною вище моделлю можна виконувати оцінку агрометеорологічних умов формування урожаю та складати прогнози очікуваних врожаїв.

На основі базової моделі «погода і урожай» УкрНДГМІ розроблені методи прогнозів урожаю озимої пшениці (В.П.Дмитренко), озимого жита, озимого ріпака (В.П. Дмитренко, А.Я. Короткова), багаторічних сіяних трав (І.Г.Грушка), ячменю та кукурудзи (В.П.Дмитренко), вівса (А.Я. Короткова), проса (В.В. Бібік), цукрових буряків (І.П. Галюк, В.П.Дмитренко, Н.А. Перельот, Л.В.Щербак) картоплі (В.П.Дмитренко, А.О. Вількенс), соняшника (Н.К. Строкач), сої (В.П.Дмитренко, Н.К. Строкач).

Для спрощення розрахунків розроблені таблиці визначення вагового множника a (табл. 6), оптимальних значень температури повітря (табл. 7), суми опадів (табл.8) та параметрів моделі урожайності польових культур (табл. 9).

Відмінності прогнозних інтервалів та інтервалів надходження вихідних даних визначаються за біологічними властивостями рослин.

В моделі враховується вплив на формування врожаїв деяких несприятливих факторів: сильні та тривалі дощі, суховії тощо.

Умови визначення депресивної тривалості суховії за значеннями сумісних коефіцієнтів продуктивності у суховійний період наведені у табл. 10 .

Значення параметра не депресивної тривалості суховіїв n_0 залежить від біологічних особливостей культури та розвитку її кореневої системи.

Істотний вплив на урожайність польових культур спричиняє дощове літо. Врахування цього фактора здійснюється за допомогою кількості днів з опадами більше 0.1 мм за виразом

$$Y = Y_1 (1 - Y_{on}), \quad (10)$$

де U – урожайність, розрахована з врахуванням кількості днів із опадами;

$U_{оп}$ – показник збитковості за кількістю днів з опадами;

U_1 – урожайність, розрахована за базовою моделлю без урахування кількості днів із опадами.

Таблиця 6 – Значення вагового множника a за місяці вегетаційного періоду і в передпосівний період польових культур

Культура	Місяці	Значення вагового множника a , %											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Озима пшениця	VII-VII	10	10	13	10	13	9	4/7	3	3	4	5	9
Озиме жито	VII-VII	10	10	12	10	10	7	4/7	3	7	7	6	7
Ярий ячмінь	XII-VII	3	3	9	21	27	22	12					3
Овес	XII-VII	6,6	6,6	6,6	6,6	11	17	27					6,6
Кукурудза ранньостигла			3										
середньостигла	XII-IX	3	4	10	13	16	18	19	12	7			10
пізньостигла	XII-IX	2,1		10	11	15	28	20	14	7			0,9
	XII-IX	0,6	1	3	8	15	24	28	14	6			0,4
Просо	X-VIII	3	5	5	10	14	29	20	11				3
Горох	XII-VII	7	11	3,6	10-45	23-36	15-26	7-14					5
Соняшник	XII-VIII	5	5	5	5	7	12	19	37				5
Цукровий буряк	III-IX			7	7	8	12	17	24	25			
Картопля	V-IX					13	25	28	21	13			

Таблиця 7- Оптимальні значення температури повітря впродовж вегетаційного та передпосівного періоду

Культура	Місяці	Значення оптимальної температури за місяць, °С											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Озима пшениця	УІІ-УІІ		-2,6	2,2	8,6	13,4	17,0	22,0/18,5	17,5	14,8	10,7	5,0	2,0
Озиме жито	УІІ-УІІ	-6,0	-5,5	0,0	9,6	14,0	18,0	20,0/18,0	17,2	13,8	9,6	2,0	-3,4
Ярий ячмінь	ХІІ-УІІ	-3,0	-0,6	2,5	6,4	13,0	18,0	19,0					0,7
Овес	ХІІ-УІІ	-2,7	-1,0	3,0	9,0	15,0	16,0	22,0					-1,4
Кукурудза ранньостигла середньостигла пізньостигла	ХІІ-ІХ	-3,7	-1,6	3,3	8,6	13,0	16,0	17,2	16,0	11,0			-2
		-3,7	-1,6	3,3	8,6	13,5	16,8	18,7	18,0	12,0			-2
		-3,7	-1,6	3,3	9,0	14,4	17,5	18,5	18,0	14,0			-2
Просо	Х-УІІІ	-1,5	1,2	4,5	8,4	14,0	18,0	20,0	19,0				-1,7
Гречка	ІІ-УІІІ			0,0	9,0	15,5	17,0	18,6	18,0				-2,5
Соняшник	ХІІ-УІІІ	-1,8	-0,3	3,2	9,0	14,5	19,4	22,0	21,0				-1,0
Горох	ХІІ-УІІ	-2,6	0,3	3,9	8,0	12,3	17,4	17,0					-2,5
Цукровий буряк	ІІІ-ІХ	-	-	3,0	3,0	14,0	18,0	19,0	16,6	14,0	-	-	-
Картопля Лісостеп Полісся Степ Лісостеп західний	У-ІХ					15,5	17,5	17,5	17,5	12,5			
						15,5	17,5	17,5	17,5	11,5			
					11,5	15,5	18,5	19,5	17,5	13,5			
		-	-	-	-	14,5	18,5	18,5	18,5	11,5			

Продовження табл. 7

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Люпин	ХП –УП	-6,0	-3,5	1,0	10,0	13,0	16,0	18,0	-	-	-	-	-4,0
Однорічні трави													
<i>Полісся</i>													
<i>Лісостеп</i>	Ш-УП	-	-	3,5	8,0	12,0	15,0						
	Ш-УП	-	-	5,0	10,0	14,0	17,0						
Багаторічні трави													
<i>Полісся</i>													
<i>Лісостеп</i>													
<i>Степ</i>													
	УП-УП	-1,5	-1,0	3,5	8,0	12,0	15,0	17,0	16,0	12,0	8,0	5,0	3,0
		-2,3	-2,0	4,5	9,0	13,0	16,0	18,0	17,0	13,0	8,0	5,6	3,5
		-3,0	-3,5	6,0	10,8	15,0	17,0	19,0	18,0	14,3	10,0	6,5	4,0

Таблиця 8- Оптимальні значення кількості опадів за місяці вегетаційного та передпосівного періоду

Культура	Місяці	Значення оптимальної кількості опадів за місяць, мм											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Озима пшениця	УІ-УІІ	50	60	70	60	40	17	10/65	65	70	100	120	50
Озиме жито	УІ-УІІ	50	70	57	58	65	70	40/65	65	75	65	50	50
Ярий ячмінь	ХІІ-УІІ	35	35	30	70	120	90	10					30
Овес	ХІІ-УІІ	50	50	40	65	125	90	10					50
Кукурудза ранньостигла середньостигла пізньостигла	ХІІ-ІХ	50	50	50	50	60	88	95	70	10			60
		43	39	45	40	60	86	95	70	10			43
		43	39	45	55	75	85	95	90	40			43
Просо	ХІІ-УІІІ	26	35	46	35	75	90	100	90				23
Гречка*, Полісся	ІІ-УІІІ			65	65	60	140	100	70				
Горох	ХІІ-УІІ	30	31	40	50	80	140	100					29
Соняшник*	ХІІ-УІІІ			60	70	90	85	30	10				
Цукровий буряк	ІІІ-ІХ			60	70	95	100	137	133	80			
Картопля <i>Полісся</i> <i>Лісостеп</i> <i>Степ</i>	У-ІХ					50	75	95	105	70			
						80	95	135	110	55			
					85	80	95	95	65	55			

Продовження табл. 8

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Люпин	ХП-УП		70*(ХП-П)	40	60	50	50	55					
Однорічні трави													
<i>Полісся</i>	Ш-УП	20	20	20	45	45	50	50	40	30	20	20	20
<i>Лісостеп</i>		20	20	20	40	40	40	40	40	20	20	20	20
Багаторічні трави													
<i>Полісся</i>	УП-	34	33	46	64	75	75	70	60	48	41	36	37
<i>Лісостеп</i>	УП	29	28	45	64	75	75	70	60	48	41	36	33
<i>Степ</i>		23	25	44	67	78	75	70	60	48	40	34	28

Примітка: дані за зонами

Таблиця 9 – Параметри моделі урожайності польових культур

Період, місяці	Оптимальна температура, T_0	Параметри a при		Оптимальна кількість опадів, R_0	Максимальна кількість опадів R_{max}	Ваговий множник, a , %	Параметри	
		$T_{менше} T_0$	$T > T_0$				g	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Озима пшениця								
УІІ-УІІІ	18	-1	-2	130	526	7	0,247	0,753
ІХ-Х	13	-1	-2	170	411	7	0,414	0,586
ХІ	5	-1	-2	120	243	5	0,494	0,506
ХІІ-ІІ	-0,5	-1	-2	160	552	29	0,290	0,700
ІІІ-У	8	-1	-2	176	709	36	0,240	0,760
УІ	17	-1	-2	17	224	9	0,076	0,924
УІІ	22	-1	-2	10	224	7	0,045	0,955
Озиме жито								
УІІ-УІІІ	18	-1	-2	130	520	7	0,250	0,750
ІХ-Х	11	-1	-2	140	400	14	0,350	0,650
ХІ	3	-1	-2	50	360	6	0,139	0,861
ХІІ-ІІ	-3	-1	-2	170	552	27	0,309	0,691
ІІІ-У	10	-1	-2	170	720	32	0,236	0,764
УІ	18	-1	-2	70	440	7	0,159	0,841
УІІ	21	-1	-2	40	320	7	0,125	0,855
Ярий ячмінь								
ХІІ-ІІ	-1	-1	-2	100	450	9	0,222	0,778
ІІ-ІУ	4	-1	-2	100	340	30	0,294	0,706
У-УІІ	13	-1	-2	120	300	27	0,400	0,600
УІІІ	18	-1	-2	90	430	22	0,209	0,791
ІХ	19	-1	-2	≤ 10	420	12	0,024	0,976
Овес								
ХІІ-ІІ	-1	-2	-4	185	450	20	0,411	0,589

Продовження табл.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
III-IV	6	-2	-4	100	340	13	0,294	0,706
У-	15	-2	-4	125	300	11	0,417	0,593
УІ	18	-2	-4	100	350	19	0,286	0,714
УІІ	22	-2	-4	10	420	37	0,024	0,976
Кукурудза середньостигла								
ХІІ-ІІІ	-1	-2	-4	170	480	15	0,354	0,596
ІУ-У	11	-2	-4	100	340	26	0,294	0,706
УІ-УІІ	18	-2	-4	180	480	38	0,375	0,625
УІІІ	18	-2	-4	70	300	14	0,233	0,767
ІХ	12	-2	-4	10	220	7	0,046	0,954
Кукурудза пізньостигла								
ХІІ-ІІІ	-1	-2	-4	170	480	5	0,354	0,646
ІУ-У	12	-2	-4	130	450	23	0,289	0,711
УІ-УІІ	18	-2	-4	180	480	52	0,375	0,625
УІІІ	18	-2	-4	90	300	14	0,300	0,700
ІХ	12	-2	-4	40	220	16	0,182	0,828
Горох								
ХІІ-ІІІ	-1	-1	-2	130	370	17	0,352	0,648
ІУ-У	10	-1	-2	130	540	23	0,241	0,759
УІ	17	-2	-4	140	430	24	0,325	0,674
УІІ	16	-1	-1	100	420	36	0,238	0,762
Просо								
ХІІ-ІІІ	-1,5	-0,5	-2	130	590	16	0,236	0,764
ІУ-У	14	-1	-6	160	365	24	0,438	0,562
УІ	18	-1	-2	90	265	29	0,340	0,660
УІІ	20	-2	-4	100	280	20	0,357	0,643
УІІІ	20	-2	-4	90	240	11	0,375	0,625
Гречка Лісостеп центральний								

III-IV	4,8	-2	-6	98	296	28	0,314	0,696
У	15,4	-2	-4	57,5	200	10	0,288	0,712
УІ	17	-4	-5	83,5	264	18	0,316	0,684
УІІ	18,4	-3	-5	90,5	316	34	0,286	0,714
УІІІ	17,5	-2	-4	77,5	248	10	0,313	0,687
Гречка Лісостеп західний								
III-IV	4	-3	-5	117,5	332,4	22	0,353	0,647
У	14,1	-3	-5	62	248,8	14	0,249	0,751
УІ	16,2	-1	-3	80,5	352,8	17	0,228	0,782
УІІ	17,6	-3	-4	107,5	388	23	0,277	0,723
УІІІ	16,6	-2	-4	68	297,2	24	0,229	0,771
Гречка Степ північний								
III-IV	4,7	-3	-6	100	273	10	0,366	0,636
У	16,3	-4	-4	70	185	16	0,377	0,623
УІ	18,2	-4	-5	73,5	226	34	0,324	0,675
УІІ	19,8	-4	-5	77,5	216	24	0,386	0,641
УІІІ	19,5	-2	-4	86	179,8	16	0,479	0,521
Гречка Степ південний								
III-IV	4,9	-6	-5	120	240	10	0,500	0,500
У	15,4	-4	-6	61,5	200	16	0,308	0,692
УІ	17,4	-4	-6	90	212	34	0,425	0,575
УІІ	18,7	-4	-5	83,5	204	24	0,409	0,591
УІІІ	19,2	-2	-4	82,5	168	16	0,491	0,509
Гречка (Полісся)								
III-IV	3,8	-1,0	-3	110,5	290,4	33	0,381	0,619
У	15,2	-2	-4	59	220	14	0,268	0,732
УІ	16,4	-3	-4	103,5	254	17	0,407	0,593
УІІ	17,9	-3	-4	92,5	323,6	23	0,286	0,714
УІІІ	17,7	-1	-6	79	282,2	24	0,279	0,721
Цукровий буряк								
III-IV	5	-2	-4	130	340	16	0,382	0,618

У	15	-2	-4	85	300	12	0,283	0,717
УІ	21	-2	-4	100	430	20	0,233	0,767
УІІ-УІІІ	19	-2	-4	270	610	34	0,443	0,557
ІХ	14	-2	-4	80	300	18	0,267	0,733
Картопля								
У	14,5	-1	-2	50	120	13	0,417	0,583
УІ	17,5	-1	-2	80	140	25	0,571	0,429
УІІ	19	-1	-2	100	160	28	0,625	0,375
УІІІ	17,5	-1	-2	75	150	21	0,5	0,5
ІХ	11,5	-1	-2	55	130	13	0,423	0,577
Багаторічні трави Лісостеп								
УІІ-УІІІ	18	-3	-3	130	260	12	0,5	0,5
ІХ-ХІ	8	-5	-5	120	250	18	0,478	0,522
ХІІ-ІІ	2	-4	-4	140	360	41	0,389	0,611
ІУ-У	11	-4	-4	140	300	18	0,467	0,533
УІ	16	-4	-4	75	150	11	0,5	0,5
Полісся								
УІІ-УІІІ	17	-3	-3	130	260	17	0,5	0,5
ІХ-ХІ	8	-5	-5	120	250	14	0,478	0,522
ХІІ-ІІ	1	-4	-4	150	370	38	0,405	0,595
ІУ-У	10	-4	-4	140	300	21	0,467	0,533
УІ	15	-4	-4	75	160	10	0,469	0,531
Степ								
УІІ-УІІІ	19	-3	-3	130	350	21	0,371	0,629
ІХ-ХІ	10	-5	-5	120	250	5	0,48	0,52
ХІІ-ІІ	3	-3	-3	120	060	30	0,4	0,6
ІУ-У	13	-5	-5	145	300	27	0,483	0,517
УІ	17	-3	-3	75	150	17	0,5	0,5

Таблиця 10 – Умови оцінки параметра не депресивної тривалості суховіїв n_0 для різних культур у суховійні періоди

Сумісний коефіцієнт продуктивності у суховійний період	Ярий ячмінь				Кукурудза	Картопля					
	Параметр n_0 днів	березень-квітень		Травень		червень-липень	а-ра-метр n_0 днів	квітень		травень	
		$T, ^\circ\text{C}$	$R, \text{мм}$	$T, ^\circ\text{C}$	$R, \text{Мм}$			параметр n_0 днів	$T, ^\circ\text{C}$	$R, \text{мм}$	$T, ^\circ\text{C}$
0,66 -1,00	0	<5,6	>79	<17	>37	0	0	будь-який			
<0,65	15	<5,6	>79	<17	>37	-	12	<11,4	<90	>18,3	<40
<0,65	30	>5,6	<79	>17	37	-	22	>11,4	<90	>18,3	<40
0,36-0,64						10	-				
<0,35						20	-				

Таблиця 11 – Значення параметрів для визначення збитковості кількості днів із опадами для різних культур у різних ґрунтово-кліматичних зонах

Культура, зона	Параметри			Період врахування
	a	B	n_0	
Озима пшениця	0,01	-	8	червень
Ярий ячмінь	5,5	15	8	червень
Кукурудза				
Полісся і				
Лісостеп	0,011		50	червень-вересень
Степ			30	
Картопля				
Полісся і	0,015		52	липень-вересень
Лісостеп				
Степ	0,01		25	

Значення параметрів наводяться у табл. 12.

В.П. Дмитренко відзначає, що головні відмінності опрацювання прогнозів і оцінок урожайності польових культур за базовою моделлю «погода і урожай» зумовлені біологічними властивостями рослин та зональними особливостями їх розміщення.

Таблиця 12 – Параметри визначення кількості днів із опадами у прогнозований період

Прогнозований період	Попередній час	Параметри		Коефіцієнт кореляції
		<i>a</i>	<i>b</i>	
Полісся, Лісостеп				
Липень - вересень	Червень	2,7		0,72
Серпень - вересень	червень-липень	1,2	-5	0,74
Вересень	червень-серпень	0,3	-	0,75
Степ				
Липень-серпень	Червень	1,4	2,5	0,70
Серпень	червень-липень	0,5	-2,5	0,72

2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

2.1 Техніка розрахунків за динамічною моделлю А.М. Польового

Необхідно визначити параметри моделі із табл. 13, 14,15.

Таблиця 13 – Дата настання фаз розвитку та суми ефективних температур вище 5°C за міжфазні періоди основних сільськогосподарських культур

Культура	Дата настання фаз розвитку					$\sum t_1$	$\sum t_2$	$\sum t_3$	$\sum t_4$
	відновлення вегетації (сходи)	вихід в трубку	цвітіння	колосіння	воскова стиглість				
Озиме жито	6,05	10,06	22,06	–	10,08	70	150	150	640
Ярий ячмінь	3,06	29,06	14,07	–	14,08	180	330	215	640
Овес	4,06	4,07	20,07	27,07	23,08	230	390	505	700

Таблиця 14 – Середня багаторічна температура повітря за декаду

Травень			Червень			Липень			Серпень		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
3,1	5,1	7,1	9,5	11,7	13,8	14,9	15,4	15,3	14,5	13,0	11,3

Таблиця 15 – Суми ефективних температур вище 5 °С, параметри моделі

Суми ефективних температур	Озиме жито	Яровий ячмінь	Овес
$\Sigma t_l^1 = 1/4 \Sigma t_4$	160	160	175
$\Sigma t_l^2 = 1/2 \Sigma t_2$	75	165	195
$\Sigma t_s^2 = 1/2 \Sigma t_3$	150	215	245
$\Sigma t_r^2 = \Sigma t_s^2$	150	215	245
$\Sigma t_p^2 = (\Sigma t_p^2 - \Sigma t_p^2) / 2 + \Sigma t_p$	110	255	310
$\Sigma t_p = (\Sigma t_1 - \Sigma t_2) / 2$	310	455	505
$\Sigma t_l^3 = \Sigma t_l^1$	160	160	175

Для виконання оцінки за моделлю необхідні такі середні по області дані:

1. Географічна широта центру області, в градусах з десятими.
2. Середня багаторічна дата відновлення вегетації (сходів) сільськогосподарської культури, відносно якої встановлюється кількість днів у першій декаді розрахунку та кількість днів від 20 березня до дня відновлення вегетації (появи сходів).
3. Середня багаторічна дата воскової стиглості культури, для якої встановлюється кількість днів у останній декаді розрахунку вегетаційного періоду.
4. Інформація за встановлений середній багаторічний вегетаційний період по розрахункових декадах:
 - кількість днів в декаді;
 - середня температура повітря за декаду;
 - максимальна температура повітря за декаду;
 - середня кількість годин сонячного сяйва за декаду;

– середні багаторічні запаси продуктивної вологи у півметровому шарі ґрунту за декаду.

5. Густина рослин на квадратний метр, яка необхідна для визначення початкових біомас окремих органів рослин та площі листя на декаду відновлення вегетації (сходів).

6. Інформація поточного року, така ж як і середня багаторічна, пунктів 1, 2, 3, 4. Інформація поточного року використовується відповідно до термінів оцінки: для озимих культур – від відновлення вегетації до 26 травня та 2 червня, для ранніх ярих – від сходів до 23 – 30 червня та 24 – 31 липня.

Середня по області оцінка агрометеорологічних умов вирощування культури та відповідне прогнозування середньої по області врожайності здійснюється за умови, що інформація усіх станцій, які ведуть спостереження за вологістю ґрунту, охоплює не менш ніж 70% загальної посівної площі. Майже завжди обмежений обсяг саме цієї інформації ускладнює прогнозування урожаїв сільськогосподарських культур на великих площах (область, край, республіка тощо).

Середні по області вологозапаси розраховуються як середньозважене з врахуванням відсотка площі P_i , яка зайнята культурою у кожному сільськогосподарському мікрорайоні області (по відношенню до загальної посівної площі культури в області).

Для одержання середньозважених по області вологозапасів \bar{W} необхідно:

– для кожного сільськогосподарського мікрорайону підрахувати середні вологозапаси шляхом звичайного осереднення даних усіх агрометеорологічних та гідрометеорологічних станцій $\bar{W}_i, i = 1, 2, \dots, n$;

– середні вологозапаси по кожному мікрорайону помножити на відсоток площі P_i , яка зайнята культурою в цьому мікрорайоні.

Тоді середньозважені вологозапаси по області можна одержати як результат поділу суми отриманих перемножень на суму відсотків площі, яка зайнята культурою:

$$\bar{W} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{W}_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}. \quad (11)$$

Приклад: В області 5 мікрорайонів. Площі посіву по районах : 1–6; 2–22; 3–9; 4–44,5; 5–8,5 га. Для першого мікрорайону середні вологозапаси визначались за даними спостережень 2 станцій. Для другого мікрорайону – за даними 4 станцій. Для 3, 4 та 5 районів – по одній станції. У такому випадку середньозважені по області вологозапаси визначаються так

$$\begin{aligned} \bar{W} &= 6,0 \cdot \bar{W}_1 + 22,0 \cdot \bar{W}_2 + 9,0 \cdot \bar{W}_3 + 44,5 \cdot \bar{W}_4 + 18,5 \cdot \bar{W}_5 = \\ &= 6,0 + 22,0 + 9,0 + 44,5 + 18,5 \end{aligned}$$

У цьому прикладі є інформація про зволоження ґрунту на 85 % посівної площі.

Розрахунок середніх по області значень дат настання фаз розвитку, густоти рослин, середньої за добу та максимальної за декаду температури повітря, кількості годин сонячного сяйва виконується шляхом простого осереднення даних спостережень усіх агро- та гідрометеорологічних станцій.

Таблиця 16 – Початкові дані
 Географічна широта області 64,30° півн. ш.

Інформація	Озиме жито	Ярий ячмінь	Овес
Дата відновлення вегетації (сходи)	6,05/11,04	3,06/2,06	4,06/13,06
Дата воскової стиглості	10,08/10,08	14,08/14,08	23,08/23,08
Густота стояння рослин на 1м ²	263/263	424/424	448/448
Найбільші за перші три декади запаси вологи у ґрунті	109/97	95/95	95/94

Для виконання розрахунків слід також підготувати середні по області багаторічні дані: середня за декаду максимальна температура повітря, середня кількість годин сонячного сяйва (табл.17) та запаси продуктивної вологи у 0 – 50 см шарі ґрунту. Тут і в табл.16 чисельник – середнє багаторічне, знаменник – поточна інформація на 20 червня 2013 р.

Підготовка вхідних даних для розрахунків за моделлю

Для виконання розрахунків створюється файл «modell.dat» .

Він складається наступним чином:

1. Перший рядок складається із чотирьох чисел:

- 1.1. назва пункту, для якого виконується розрахунок, пишеться буквами, починаючи з другої позиції;
- 1.2. рік виконання розрахунку, пишуться дві останні цифри року через одну позицію після назви пункту;
- 1.3. дата розрахунку, пишеться цифрами через одну позицію після року;
- 1.4. місяць розрахунку, пишеться цифрами через одну позицію після дати.

Таблиця 17– Початкова агрометеорологічна інформація

Вид інформації	Травень			Червень			Липень			Серпень		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Середня декадна температура повітря, °С	<u>3,1</u> –	<u>5,1</u> 7,9	<u>7,1</u> 8,2	<u>9,5</u> 9,4	<u>11,7</u> 8,8	<u>13,8</u> 13,8	<u>14,9</u> 14,9	<u>15,4</u> 15,4	<u>15,3</u> 15,3	<u>14,5</u> 14,5	<u>13,0</u> 13,0	<u>11,3</u> 11,3
Середня за декаду максимальна температура повітря, °С	<u>8,2</u> –	<u>10,4</u> 13,6	<u>12,5</u> 14,4	<u>14,6</u> 15,4	<u>16,9</u> 16,4	<u>17,8</u> 17,9	<u>18,9</u> 18,9	<u>20,0</u> 20,0	<u>19,2</u> 19,2	<u>18,2</u> 18,2	<u>17,5</u> 17,5	<u>16,8</u> 16,8
Середня за декаду кількість годин сонячного сйва	<u>7,1</u> –	<u>7,5</u> 14,9	<u>8,1</u> 12,0	<u>8,7</u> 5,3	<u>9,3</u> 6,7	<u>9,4</u> 9,4	<u>9,5</u> 9,6	<u>9,6</u> 9,6	<u>8,9</u> 8,9	<u>8,0</u> 8,0	<u>7,0</u> 7,0	<u>6,3</u> 6,3
Кількість днів у розрахункових декадах:												
озиме жито	<u>5</u> –	<u>10</u> 10	<u>11</u> 11	<u>10</u> 10	<u>10</u> 10	<u>10</u> 10	<u>10</u> 10	<u>10</u> 10	<u>11</u> 11	<u>10</u> 10		
ярий ячмінь				<u>7</u> 9	<u>10</u> 10	<u>10</u> 10	<u>10</u> 10	<u>10</u> 11	<u>11</u> 10	<u>10</u> 4	<u>4</u> –	
овес				<u>6</u> –	<u>10</u> 8	<u>10</u> 10	<u>10</u> 10	<u>10</u> 10	<u>11</u> 11	<u>10</u> 10	<u>10</u> 10	<u>3</u> 3
Запаси продуктивної вологи (мм) в шарі ґрунту 0-50 см:												
озиме жито	<u>109</u> –	<u>95</u> 95	<u>97</u> 97	<u>86</u> 86	<u>83</u> 83	<u>76</u> 76	<u>75</u> 75	<u>73</u> 73	<u>68</u> 68	<u>72</u> 72		
ярий ячмінь				<u>95</u> 95	<u>94</u> 94	<u>85</u> 85	<u>76</u> 76	<u>65</u> 65	<u>67</u> 67	<u>65</u> 65	<u>73</u> 73	
овес				<u>95</u> –	<u>94</u> 94	<u>85</u> 85	<u>76</u> 76	<u>65</u> 65	<u>67</u> 67	<u>65</u> 65	<u>73</u> 73	<u>75</u> 75

2. Другий рядок складається з п'яти чисел:
 - 2.1. n – кількість розрахункових декад, число ціле, записується в трьох позиціях;
 - 2.2. t_0 – кількість днів від 1 січня (начало відліку) до дня сходів (відновлення вегетації), число ціле, записується в трьох позиціях;
 - 2.3. $N1$ – дата сходів (відновлення вегетації), число ціле, в трьох позиціях;
 - 2.4. $N2$ – місяць сходів (відновлення вегетації), пишеться арабськими цифрами (1 – січень, 2 – лютий, 3 – березень, 4 – квітень, 5 – травень и т. д.), ціле число, в трьох позиціях;
 - 2.5. φ – географічна широта пункту в градусах, хвилини виражаються в долях градуса. Десяткове число в шести позиціях з двома знаками після коми.
3. Третій рядок: t_s – масив середніх за декаду максимальних температур повітря ($^{\circ}\text{C}$), число ціле, в п'яти позиціях з одним знаком після коми.
4. Четвертий рядок: W_{m0} – масив запасів продуктивної вологи в півметровому шарі ґрунту (мм), число ціле, в п'яти позиціях з одним знаком після коми.
5. П'ятий рядок: t_s – масив середньої за декаду температури повітря ($^{\circ}\text{C}$), число ціле, в п'яти позиціях з одним знаком після коми.
6. Шостий рядок: ss – масив інформації про кількість годин сонячного сяйва (середнє за один день декади), число ціле в п'яти позиціях з одним знаком після коми.
7. Сьомий рядок: інформаційний масив – inf :
 - 7.1. $\text{inf} (1) - m_1^0$ – початкова маса листя на дату сходів (відновлення вегетації) ;
 - 7.2. $\text{inf} (2) - m_s^0$ – початкова маса стебел на дату сходів -(відновлення вегетації) ;
 - 7.3. $\text{inf} (3) - m_r^0$ – початкова маса коренів на дату сходів (відновлення вегетації) ;
 - 7.4. $\text{inf} (4)$ – початкова маса колосся;
 - 7.5. $\text{inf} (5) - LL^0$ – початкова площа листя;
 - 7.6. $\text{inf} (6)$ – нуль;
 - 7.7. $\text{inf} (7)$ – найменша вологомiсткiсть ґрунту в півметровому шарі ґрунту, мм;
 - 7.8. $\text{inf} (8) - \sum t_l^1$ – сума ефективних температур для розрахунку онтогенетичної кривої фотосинтезу, $^{\circ}\text{C}$;
 - 7.9. $\text{inf} (9) - \sum t_l^3$ – сума ефективних температур для розрахунку онтогенетичної кривої дихання, $^{\circ}\text{C}$;
 - 7.10. $\text{inf} (10) - \sum t_l^2$ – сума ефективних температур для розрахунку ростової функції листя, $^{\circ}\text{C}$.

8. Восьмий рядок – містить десять чисел:

- 8.1. $\text{inf} (11) - \sum t_s^2$ – сума ефективних температур для розрахунку ростової функції стебел, °С;
8.2. $\text{inf} (12) - \sum t_{rl}^2$ – сума ефективних температур для розрахунку ростової функції коренів, °С;
8.3. $\text{inf} (13) - \sum t_{pl}^2$ – сума ефективних температур для розрахунку ростової функції колосся, °С;
8.4. $\text{inf} (14) - \sum t_p$ – сума ефективних температур для розрахунку часу початку росту колосся, °С;
8.5 $\text{inf} (15)$ – початок онтогенетичної кривої фотосинтезу, відн. од.;
8.6. $\text{inf} (16)$ – початок онтогенетичної кривої дихання, відн. од.;
8.7. $\text{inf} (17)$ – нуль ;
8.8. $\text{inf} (18)$ – нуль ;
8.9. $\text{inf} (19) - 2$;
8.10. $\text{inf} (20)$ – питома поверхнева щільність листя, г/м² .

9. Дев'ятий рядок – містить вісім чисел.:

- 9.1. $\text{inf} (21)$ – s_l доля листя в загальній масі урожаю, відн. од.;
9.2. $\text{inf} (22)$ – s_s доля стебел в загальній масі урожаю , відн. од.;
9.3. $\text{inf} (23)$ – s_r доля коренів в загальній масі урожаю, відн. од.;
9.4. $\text{inf} (24)$ – s_p доля колосся в загальній масі урожаю, відн. од.;
9.5. $\text{inf} (25)$ – k – інтенсивність фотосинтезу при світловому насиченні та нормальній концентрації CO₂ , мг CO₂/дм² год.;
9.6. $\text{inf} (26)$ – початковий схил світлової кривої фотосинтезу, (мг CO₂ /дм² год.) / (кал /см² хв);
9.7. $\text{inf} (27)$ – BN – біологічний нуль культури, °С;
9.8. $\text{inf} (28)$ – T_{opt} – оптимальна середньоденна за декаду температура повітря для фотосинтезу, °С;

Приклад створення файлу для виконання розрахунків.

```
1
Vinniza sr mn
Число декад; число днів от 1-го січня; дата відн. вегет.
місяць відн. вегет.; широта пункту 11 87 28 3 49.14
Sredn. za dekadu tempratura vozduxa (grad. C):'
03.7 07.1 08.5 10.9 13.3 15.2 15.5 16.9 18.2 18.2 19.9
Sredn. za dekadu defizit wlagnosti vozduxa (mb):'
4.0 04.0 04.0 05.0 07.0 07.0 07.0 07.0 07.0 07.0 08.0
Summa osadkov za dekadu (mm):'
10.0 13.0 17.0 17.0 12.0 15.0 26.0 30.0 27.0 29.0 33.0
Sredn. za dekadu chislo chasov solnechnogo sijnij (chasi):'
5.1 05.1 05.1 06.9 09.0 09.1 08.9 08.7 08.4 09.0 08.5
Chislo dnevy v raschetnoy dekadu:'
4 10 10 10 10 10 11 10 10 10 10
Informazionniy massiv, parametri modeli (inf):'
```

0.135 0.105 0.155 0.000 0.200 1700.000 184.000 550.000 425.000 350.000
 380.000 400.000 999.000 400.000 0.600 0.500 380.000 380.000 2.000 50.000
 0.270 0.360 0.170 0.200 30.000 330.000 05.000 18.000 174.000

- inf(1)-Inf(4) початкові маси листя, стебел, коріння, колосків;
- inf(5)-початкова площа листя;
- inf(6) сума температур за період сход (відн.вегет.) - воск стиглість
- inf(7)- Найм. вологомісткість в шарі 0-100 см;
- inf(8)-Сума т-р для альфа Ф;
- inf(9) - сума т-р для альфа Р;
- inf(10) -inf(13) -суми т-р для ростових функцій листя, стебел, коріння, колосся;
- inf(14)-сума т-р для початку росту колоса;
- inf(15)-начало кривої альфа Ф;
- inf(16)-начало кривої альфа Р;
- inf(17)- очікувана концентрація CO₂;
- inf(18) – поточна концентрація CO₂;
- inf(19) дорівнює 2;
- inf(20)- питома поверхнева щільність листя;
- inf(21)-inf(24)- доля листя, стебел, коріння, колосся при дозріванні;
- inf(25)-плато світлової кривої фотосинтезу;
- inf(26)- похил світової кривої фотосинтезу;
- inf(27) - біологічний нуль культури;
- inf(28) -оптимальна для фотосинтезу температура повітря;
- inf(29)- запаси вологи в ґрунті на початок розрахунків в шарі 0-100 см.

В оперативному режимі прогнози врожайності озимих і ярих зернових культур складаються 20 травня і уточнюються 20 червня. В Українському Гідрометеорологічному центрі складання прогнозів врожаїв сільськогосподарських культур включене в інформаційно-прогностичну схему та здійснюється в автоматизованому режимі.

2.2 Техніка розрахунку за моделлю Укр ГМІ

Техніка розрахунку за методом В.П. Дмитренка приводиться на прикладі прогнозу врожаю ярого ячменю.

За методикою В.П. Дмитренка розрахунок урожайності ярого ячменю виконується тричі: 1 – 1 травня, 2 – 1 червня, 3 – 1 липня. Розрахунки виконуються за моделлю В.П. Дмитренка , яка має вигляд для першого та другого терміну складання прогнозу

$$Y = Y_j (1-u) S(T, R)(1-\gamma_{cm}), \quad (12)$$

$$S(T, R) = \sum \eta_j (T) \eta_j (R) \alpha_j \quad (13)$$

$$Y_j = Y_c + At \quad (14)$$

де y – очікуваний врожай озимої пшениці, ц/га;

y_l – щорічний статистичний максимум врожаю, ц/га;

U – показник зрідження посівів;

$S(T,R)$ – сумарний коефіцієнт продуктивності, розрахований за гідрометеорологічними показниками весняно – літнього періоду.
де Y_c – статистичний максимум врожаю з ймовірністю 99,9 % щодо початкового року;
 A – середньорічний приріст врожаю;
 $t = t_l - t_c$ – відхилення даного року від реперного Y_c , яке визначається кількістю років у статистичному рядку.
де $\eta_i (T)$, $\eta_i (R)$, – відповідно коефіцієнти продуктивності розраховані відносно температури повітря T , опадів R в i -ий період розвитку культури;
 a_i – ваговий коефіцієнт, який враховує вклад наступних періодів розвитку (a_i) в урожай. Значення вагового множника a_i для різних сільськогосподарських культур наводиться в табл.19.

Розрахунок параметрів статистичного максимуму ($Y_{ст}$).

Для розрахунку статистичного максимуму потрібен ряд врожайності не менше, ніж 30 років. Для розрахунку вибирається урожайність за останні 30 років – Y .

- розраховується середнє значення врожаю за 30 років – $Y_{ср}$;
- для кожного року розраховується $(Y - Y_{ср})$;
- розраховується $(Y - Y_{ср})^2$
- визначається сума $\sum(Y - Y_{ср})^2$
- розраховується середнє значення як $\sum(Y - Y_{ср})^2 / 30$;
- розраховується $\sigma = \sqrt{\sum(Y - Y_{ср})^2 / 30}$;
- розраховується 3σ ;
- розраховується статистичний максимум $Y_{ст} = Y_{ср} + 3\sigma$.

Приклад розрахунку статистичного максимуму $Y_{ст}$ в табл.18

Таблиця 18 - Розрахунок статистичного максимуму ($Y_{ст}$)

Рік	Y	$Y - Y_{ср}$	$(Y - Y_{ср})^2$
1975	29,6	-4,1	16,81
1976	34,9	1,2	1,44
1977	36,4	2,7	7,29
1978	39,7	6,0	36,00
1979	30,1	-3,6	12,96
1980	27,1	-6,6	43,56
1981	30,2	-3,5	12,25
1982	29,5	-4,2	17,64
1983	31,0	-2,7	7,29
1984	31,8	-1,9	3,61
1985	30,6	-3,1	9,61
1986	37,8	4,1	16,81

1987	45,8	12,1	146,41
1988	37,6	3,9	15,21
1989	45,9	12,2	148,84
1990	40,7	7,0	49,00
1991	30,4	-3,3	10,89
1992	34,4	0,7	0,49
1993	45,8	12,1	146,41
1994	36,0	2,3	5,29
1995	35,0	1,3	1,69
1996	32,0	-1,7	2,89
1997	28,0	-5,7	32,49
1998	37,0	3,3	10,89
1999	25,0	-8,7	75,69
2000	27,0	-6,7	44,89
2001	30,6	-3,1	9,61
2002	34,0	0,3	0,09
2003	16,4	-17,3	299,29
2004	41,6	7,9	62,41
сума	1011,9	0,9	1247,75
середнє	33,7		41,59
σ			6,45
3σ			19,35
Y_{стат}			53,1

Розрахунок приросту за трендом

A – щорічний приріст урожайності, ц/га ;

t – відхилення поточного року від реперного, визначеного кількістю років ($t = t_j - t_c$).

Для розрахунку щорічного приросту врожайності A_c використовуються дані урожайності за останні 11 років за формулою

$$y = \sum_{i=1}^n y_i / n, \quad (16)$$

Розраховується середня врожайність для цього відрізка часу і відхилення щорічно урожайності від середнього. Потім роки нумерують так, щоб середина інтервала відповідала початку відліку. Потім перемножується відхилення врожайності від середнього на номер року і визначається їх сума $\sum (y - \bar{y})t$. Ця сума ділиться на суму квадратів номерів року t_i^2 та розраховується A_c за формулою

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})t_i}{\sum_{i=1}^n t_i^2} \quad (17)$$

Приклад розрахунку приросту за трендом (А)

Рік	У	У-У _{ср}	t	T2	(У-У _{ср})t
1994	36,0	4,9	-5	25	-24,5
1995	35,0	3,9	-4	16	-15,6
1996	32,0	0,9	-3	9	-2,7
1997	28,0	-3,1	-2	4	6,2
1998	37,0	5,9	-1	1	-5,9
1999	25,0	-6,1	0	0	0,0
2000	27,0	-4,1	1	1	-4,1
2001	30,6	-0,5	2	4	-1,0
2002	34,0	2,9	3	9	8,7
2003	16,4	-14,7	4	16	-58,8
2004	41,6	10,5	5	25	52,5
сума	342,6	0,5	0	110	-45,2
середнє	31,1				
Ас					-0,41

Розрахунок зрідженості посіву ячменю *u*

$$u = 50 - 9c \quad (18)$$

c – оцінка стану посівів ячменю на момент складання прогнозу.

Розрахунок коефіцієнтів продуктивності $\sum \eta_j(T) \eta_j(R) \alpha_j$

$$\eta_i(T) = e^{-a \left(\frac{T - T_0}{10} \right)^2} \quad (19)$$

де *T* – фактична температура повітря в *i*-ий період вегетаційного циклу, °С;

*T*₀, *a* – дані визначаються з табл.19.

$$\eta_i(R) = \left(1 + \frac{R - R_0}{R_0 - R_{min}} O^{\alpha_1} \left(1 - \frac{R - R_0}{R_0 - R_{max}} O^{\alpha_2} \right) \right) \quad (20)$$

де *R* – фактична сума опадів в *i*-ий період вегетаційного циклу, мм;

*R*₀, *R*_{max} – береться із таблиці 19

*R*_{min} = 0.

α_i – ваговий коефіцієнт за i -ий період вегетаційного циклу, береться із табл. 19.

Розрахунок складової рівняння (21) - $(1-\gamma_{ст})$.

$$\gamma_{ст} = 0.01 (4 \sqrt[3]{D_{н.т.} - D_{к.сн}} - 10), \quad (21)$$

де $\gamma_{ст}$ – зміна врожайності ярого ячменю;

$D_{нт}$ – дата початку стійкого переходу температури повітря через $+5^\circ\text{C}$;

$D_{ннт}$ – дата закінчення стійкого переходу температури повітря через $+0^\circ\text{C}$;

Дата стійкого переходу температури повітря через $+5^\circ\text{C}$ визначається за спостереженнями гідрометеорологічної станції, яка перша відзначила цей перехід.

Дата закінчення стійкого переходу температури повітря через $+0^\circ\text{C}$ в області визначається за спостереженнями гідрометеорологічної станції, яка останньою відзначила цей перехід.

Таблиця 19 – Оптимальні значення температури повітря, опадів, тривалості сонячного сяйва, вагові множники і параметри до формул за кожний період вегетаційного циклу ярого ячменю

Міся- ці	$\eta_i(T) = e^{-a\left(\frac{T-T_o}{10}\right)^2}$				$\eta_i(R) = \left(1 + \frac{R-R_o}{R_o-R_{min}} 0^{a_1} \left(1 - \frac{R-R_o}{R_{o_{max}}} 0^{a_2}\right)\right)$					α
	Т факт.	Т _о , град	Параметри до рівняння		R факт	R _о	R _{max}	Параметри до рівняння		
			T ≤ T _о	T > T _о				a ₁	a ₂	
ХІІ-І		-1	1	2		100	450	0,222	0,778	0,09
ІІІ-ІV		4	1	2		100	340	0,294	0,706	0,30
V		13	1	2		120	300	0,400	0,600	0,27
VI		18	1	2		90	430	0,209	0,791	0,22
VII		19	1	2		10	420	0,024	0,976	0,12

Третій, уточнюючий прогноз урожаю складається 1 липня і розраховується теж за формулою 22, в яку додаються блоки $(1-\gamma_{сух})$ і $(1-\gamma_3)$.

Блок $(1-\gamma_{сух})$ через формулу

$$\gamma_{сух} = (n_{VI-VII} - n_0)_{сух} \cdot 0,01, \quad (22)$$

де n_{VI-VII} – число днів із суховіями в черні – липні.

Якщо суховії спостерігаються у квітні – травні, то розраховується очікувана кількість днів в червні-липні за формулою

$$n_{VI-VII} = 1,5 n_{IV-V} - 5, \quad (23)$$

де n_{VI-VII} – число днів із суховіями в червні – липні;

n_{IV-V} – число днів з відносною вологістю повітря менше або рівною 30% в квітні – травні;

n_0 – поправковий показник.

Значення поправкового показника n_0 за різних рівнів $S(T, R)$ з врахуванням температури повітря і опадів наводяться нижче.

Умови вибору поправкового показника n_0

$S(T, R)$	n_0
66-100	0
≤ 65	15

Блок $(1-\gamma_3)$ враховується за допомогою формули

$$\gamma_3 = (5,5 \sqrt[3]{(n_{VI} - 8)^2} - 15) 0,01, \quad (24)$$

де γ_3 – показник зміни врожайності;

n_{VI} – середнє по області число днів опадами більше за 1 мм за добу в червні.

Контрольні питання

1. Що представляє собою продукційний процес рослин?
2. Які основні складові продукційного процесу рослин?
3. Які існують підходи до моделювання процесу фотосинтезу?
4. Які фактори враховуються у формулі Міхаеліс-Ментен?
5. Які фактори враховуються у формулі Монсі і Саєкі?
6. Як розраховується інтенсивність дихання?
7. Як записується система ростових рівнянь?
8. Які процеси описуються динамікою моделлю формування урожаю?
9. Що таке функції періоду вегетативного росту?
10. Що таке функції періоду репродуктивного росту?
11. Як розраховується площа листя?
12. Яка початкова інформація використовується при розрахунках за моделлю?
13. Яка щоденна інформація використовується при розрахунках за моделлю?
14. Що складає вихідну інформацію моделі?

15. *За якими метеорологічними величинами розраховуються коефіцієнти продуктивності в моделі В.П. Дмитренка?*
16. *В які терміни складається основний прогноз врожаю озимої пшениці і в який уточнюючий?*
17. *Як розраховується ваговий множник «а»?*
18. *Які додаткові фактори входять в модель для розрахунку врожайів соняшника?*
19. *Які метеорологічні величини входять в модель для розрахунку врожайів картоплі?*

Список використаної літератури

Основна

1. Польовий А.М., Божко Л.Ю., Ситов В.М., Ярмольська О.Є. Практикум з сільськогосподарської метеорології. Одеса. Вид «ТЄС». 2003. 400 с.
2. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія. Одеса: «ТЄС». 2012. 626 с.
3. Польовий А.М., Божко Л.Ю., Адаменко Т.І. Агрометеорологічні прогнози: підручник. Харків, 2017. 508 с.
4. Дмитренко В.П. Погода, клімат і урожай польових культур. Київ: Ніка –Центр, 2010. 618 с.

Додаткова

1. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. Ленинград: Гидрометеоздат, 1988. 320 с.
2. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроecosистем. Київ : КНТ, 2007. 344 с.
3. Полевой А.Н. Методическое пособие по разработке динамико-статистических методов прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. Москва : Гидрометеоздат, 1981. 36 с.
4. Польовий А.М., Божко Л.Ю. Довгострокові агрометеорологічні прогнози. Київ: КНТ, 2007. 293 с

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних занять з дисципліни
«Довгострокові агрометеорологічні прогнози»
за темою: «Розрахунки врожаїв ярих зернових культур»
для студентів денної та заочної форми навчання.
спеціальності 103 «Науки про Землю»

Укладачі:

канд. геогр. наук., доц. Божко Л.Ю.,
канд. геогр. наук., доц., Барсукова О.А.

Підписано до друку . Формат .

Одеський державний екологічний університет
65016, вул. Львівська, 15
