

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

з дисципліни «Моделювання продуктивності агроecosистем та появи
шкідників та хвороб»
до виконання практичної роботи
«Моделювання впливу агрометеорологічних умов на формування
продуктивності картоплі та популяції колорадського жука»

Рівень підготовки - магістр
Спеціальність –103 Науки про Землю
Освітня програма - «Агрометеорологія»

Одеса –2019

Методичні вказівки з дисципліни «Моделювання продуктивності агроєкосистем та появи шкідників та хвороб» до виконання практичної роботи «Моделювання впливу агрометеорологічних умов на формування продуктивності картоплі та популяції колорадського жука» для магістрів гідрометеорологічного інституту, за спеціальністю 103 Науки про Землю, освітньої програми «Агрометеорологія» //Укладачі: к.геогр.н., доц. Свидерська С.М., к.геогр.н. Костюкевич Т.К. Одеса, ОДЕКУ, 2019. – 31 с.

Передмова

Підвищення врожайності сільськогосподарських культур неможливе без надійного захисту рослин від шкідливих організмів - вони часто погіршують якість продукції, а інколи призводять до повної її загибелі.

Усі сільськогосподарські рослини пошкоджують багато видів комах, гризунів, молюсків та ін. Найбільшої шкоди завдають комахи, які складають основну масу шкідників, відзначаються великою плодючістю, пересуванням на значні відстані та заселенням великих площ. Основні чинники зовнішнього середовища, які визначають стан і розмноження шкідників, а також ефективність боротьби з ними – це агрометеорологічні умови (температура та вологість повітря та ґрунту, інтенсивність і спектральний склад світла, довжина світлового дня у різні періоди їхнього розвитку).

Втрати урожаю від шкідників повсюдні і значні. В багатьох роботах, присвячених вивченню методів боротьби з шкідниками і хворобами рослин, надається увага моделюванню динаміки популяції відповідних організмів, проте, при цьому процеси зростання і розвитку самих рослин залишаються за межами таких досліджень. Щоб правильно оцінити нанесений посівам збиток, необхідно стикувати моделі шкідників і моделі зростання сільськогосподарських культур.

Система захисту рослин від хвороб є невід'ємною частиною технології вирощування кожної культури. При її здійсненні обов'язково потрібно враховувати довгостроковий і короткостроковий прогнози і сигналізацію розвитку шкідників, що дає можливість мати більш ефективні і економічно вигідні наслідки в роботі.

Моделювання впливу агрометеорологічних умов на формування продуктивності картоплі та популяції колорадського жука вивчаються у відповідній дисципліні і мають за мету:

– забезпечити відповідні сучасним вимогам знання студентів про закономірності впливу погодних умов на формування продуктивності картоплі та популяції колорадського жука, привити навички розрахунків за відповідними програмами на ПЕОМ.

Після виконання завдань чинних методичних вказівок студенти повинні володіти:

Знаннями: теоретичних положень моделювання впливу агрометеорологічних умов на формування продуктивності картоплі та популяції колорадського жука:

- закономірностей впливу агрометеорологічних умов на формування продуктивності картоплі та популяції колорадського жука;
- правил користування ПЕОМ.

Вміннями: користуватись агрометеорологічною інформацією:

- визначати головні інерційні фактори та їх вплив на формування продуктивності картоплі та популяції колорадського жука;
- аналізувати отримані розрахунки та складати тексти агрометеорологічних прогнозів.

Навичками:

- виконання розрахунків на ПЕОМ агрометеорологічних показників продуктивності картоплі та популяції колорадського жука;
- користування довідковою літературою, щорічниками та іншими матеріалами;
- аналізу виконаних розрахунків.

1. Теоретична частина

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ НА ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КАРТОПЛІ ТА ПОПУЛЯЦІЇ КОЛОРАДСЬКОГО ЖУКА

1.1 Теоретичні основи моделювання та динаміки чисельності шкідників

Одна з найперших моделей динаміки популяцій, яка дійшла до нас, описана в книзі "Трактат про рахунок" одного з найбільших італійських вчених Леонардо Фібоначчі.

Наступною математичною моделлю, яка розглядала задачу про динаміку чисельності популяції і стала всесвітньо відомою, є *класична модель необмеженого зростання популяції* - дискретна геометрична прогресія. Дана модель була описана Томасом Мальтусом в 1798 році в його класичній праці "Про зростання народонаселення". Мальтус, зокрема, звернув увагу на той випадок, що чисельність популяції зростає по експоненті (в геометричній прогресії), в той час як виробництво продуктів продовольства зростає з часом лінійно (в арифметичній прогресії), з чого зробив справедливий висновок, що рано чи пізно експонента обов'язково "обійде" лінійну функцію, і неминуче настане голод.

Перше розуміння, що власні ритми можливі в багату енергією системі за рахунок специфіки взаємодії її компонентів прийшло після появи найпростіших нелінійних моделей взаємодії хімічних речовин в рівняннях Лотки, і взаємодії видів - в моделях Вольтерра. Рівняння Лотки розглянуто їм в 1925 році в книзі «Елементи фізико-хімічної біології». Базовою моделлю незатухаючих коливань є класичне рівняння Вольтерра, що описує взаємодія видів типу хижак-жертва. Як і в моделях конкуренції, взаємодія видів описується відповідно до принципів хімічної кінетики: швидкість убутку кількості жертв (x) і швидкість прибутку кількості хижаків (y) вважається пропорційними їх множенням.

На рис. 1 представлені фазовий портрет системи, по осях якого відкладені чисельності жертв (x) і хижаків (y) - (а) і кінетика чисельності обох видів - залежність чисельності від часу - (б). Видно, що чисельності хижаків і жертв коливаються в протифазі. Найпростіша модель Вольтерра має один істотний недолік: параметри коливань її змінних змінюються при флуктуаціях параметрів і змінних системи (негруба система).

З середини 20 століття в зв'язку з розвитком інтересу до екології і з швидким удосконаленням комп'ютерів, що дозволило чисельно

вирішувати і досліджувати системи нелінійних рівнянь, стало розвиватися напрямком популяційної динаміки, присвячене виробленню загальних критеріїв з метою встановити, якого виду моделі можуть описати ті чи інші особливості поведінки чисельності взаємодіючих популяцій, зокрема, стійкі коливання.

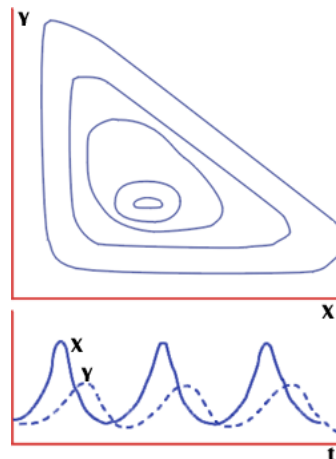


Рисунок 1. Модель хижак - жертва Вольтерра, що описує незгасаючі коливання чисельності: а - фазовий портрет; б - залежність чисельності жертви і хижака від часу.

Використання комп'ютерної техніки дозволило застосувати результати, отримані на моделях до конкретних популяціям, зокрема, до завдань оптимального промислу і розробці біологічних методів боротьби з комахами-шкідниками. Особливий інтерес для практики представляє вироблення критеріїв близькості системи до небезпечних меж, при переході через які система перестає існувати або переходить в якісно інший стан. При цьому характер динаміки популяції різко змінюється, наприклад, популяція переходить від монотонного зростання до різких коливань чисельності, або просто вимирає.

Основні біологічні параметри, що задають зростання чисельності, виражені в елементарній абстрактній моделі необмеженого зростання чисельності, де вихідна популяція даного виду знаходиться в умовах абсолютно необмежених (нескінченних) життєвих ресурсів (Варлі, 1978).

У цій ситуації відбувається нескінченне зростання чисельності в геометричній прогресії, по параболічній кривій, що описується функцією

$$N_1 = N_0 e^{\pi t}, \quad (1)$$

де N_1 - чисельність в даний час;

N_0 - вихідна чисельність;

t - час.

Головним специфічним показником цієї моделі є r - коефіцієнт швидкості росту чисельності або біотичний потенціал розмноження, що визначає кут нахилу кривої. У даній моделі r вважається константою, яка визначається біологічними властивостями даного виду:

$$r = b - d \pm m \quad (2)$$

де b - народжуваність;

d - смертність;

m - поправка на міграції.

У моделі необмеженого зростання чисельності смертність нівелюється і обмежується середніми термінами біологічного старіння організмів, міграціями нехтують. Таким чином, рівень і темпи зростання чисельності задає народжуваність. У свою чергу, народжуваність лінійно залежить від плодючості особин і експоненціально (певною мірою) - від швидкості розвитку, наприклад від кількості поколінь, що розвиваються за рік. Саме ці біологічні параметри насамперед визначають рівень динаміки чисельності.

У кілька більш реалістичної моделі обмеженого зростання чисельності популяція знаходиться в умовах обмежених (кінцевих) життєвих ресурсів, які можуть відтворюватися, але тільки до певної межі. Відповідно в модель вводиться граничний рівень чисельності K , званий також ємністю середовища і що означає максимальну чисельність особин, яку популяція цього виду може досягти в даних умовах. При цьому характер зростання чисельності принципово змінюється. Спочатку чисельність зростає по параболічній кривій, лише трохи відстаючи від кривої необмеженого зростання. У міру наближення до межі зростання чисельності сповільнюється, крива дає перегин і далі гіперболічно прагне до рівня K . В результаті утворюється логістична або S-подібна крива, характерна для даної моделі. Тут помітний регулює ефект щільності (тобто відносної чисельності популяції) на зростання чисельності.

Дані динаміки популяцій висловлюють кривими динаміки популяцій, кривими поколінь, гістограмами, лінійними і логарифмічними шкалами, у вигляді рішень ЕОМ.

Погода і клімат впливають на фізіологію і поведінку комах, вони можуть визначати зміни популяцій (Танський, 1988). Тому зміни показань температури, вологості, вітру, опадів обов'язково враховують при складанні прогнозів шкідливих комах і складанні моделей їх динаміки і шкодочинності. Виявляють кореляції між чисельністю популяції конкретного виду комах і метеорологічними даними. Більш складні моделі враховують також взаємодія шкідників з популяціями хижаків і паразитів. У моделях популяцій комах широко використовують таблиці

виживання, в яких різні фактори смертності поступово діють на послідовні стадії розвитку.

Подібні таблиці виживання враховують в моделях застосування інсектицидів, причому вони дозволяють врахувати побічна дія препаратів, здатних знищувати ефективного природного ворога комах-шкідника і запобігти несподіваній спалах розмноження шкідника. Взаємодія різних факторів смертності один з одним дуже складно, щоб результат можна було передбачити, не користуючись математичною моделлю. Змінюючи належним чином параметри моделі і субмоделей, можна математично перевірити наслідки введення додаткових факторів смертності для шкідливого виду, для його паразитів і хижаків і уникнути таких заходів, які не забезпечать ефективного захисту від шкідника.

У захисті сільськогосподарських культур і лісових порід широко використовуються моделі-прогнози динаміки популяцій багатьох шкідливих комах (колорадський картопляний жук, злакові попелиці, трипси, зимовий п'ядун) і вибору заходів боротьби з ними в конкретних умовах. Крім того, моделювання дозволяє оптимізувати системи захисту конкретних культур від найбільш шкідливих комах-шкідників і вибрати найкращі варіанти для конкретного господарства і навіть ділянки (Поляков, 1995).

1.2 Моделювання розвитку популяції колорадського жука та його вплив на продуктивність рослин

Процес розробки моделей розвитку шкідників можна виділити за аналогією з моделями, що описують вплив гідрометеорологічних умов на продуктивність сільськогосподарських культур, три етапи. Перший етап - описовий. На цьому етапі для встановлення зв'язку між шкідником і факторами середовища відбувається накопичення фактичного матеріалу про особливості їх взаємодії, диференціація теорій, використовуваних для пояснення динаміки популяцій. На другому етапі основна увага приділяється пошуку прямих емпіричних зв'язків між входом і виходом системи шкідник - середовище проживання. В цьому напрямку протягом останніх-20 років найбільш послідовно ведуться дослідження. Як показники, що характеризують шкідника, при такому підході використовуються статистичні дані заселеності шкідниками сільськогосподарських угідь, обробок, чисельності шкідника на певній фазі розвитку.

Стан середовища проживання виражається у вигляді місячних, рідше декадних значень метеорологічних величин за попередній і поточний роки. Теоретичною базою моделей, які розробляються на третьому етапі

досліджень, є розвинені в математичній екології уявлення про популяції - елементарні структурні одиниці екосистем, як і динамічні системи, що розвиваються під впливом внутрішніх і зовнішніх факторів. При цьому під внутрішніми факторами розуміється фізіологічна конституція, спадково закріплена у виду, а під зовнішніми весь комплекс біологічних і абіотичних факторів, що грають для нього роль умов життя.

Основним інструментом дослідження динаміки розвитку популяцій є математичні моделі. При цьому створення математичних моделей будь-якого об'єкту передбачає необхідність виділення найбільш існуючих рис або властивостей об'єкту і подальшого формалізованого їх опису. У задачі моделювання зазвичай присутній два аспекти, перший пов'язаний з самим процесом конструювання моделей, заснованим на використанні як загальних теоретичних, так і конкретних експериментальних даних; другий полягає в дослідженні уже побудованих моделей і поясненні одержуваних на їх основі результатів.

Найчастіше прикладні моделі, розроблені для вирішення задач прогнозування розвитку шкідників, оцінюються тільки за одним критерієм - точності. Водночас, можливість побудови моделей з високою здатністю, може бути досягнуто тільки за умови достатньої їх спільності та реалістичності. Що застосовуються при моделюванні підходи діляться на дві групи: моделювання з використанням ЕОМ і побудова аналітичних моделей. При побудові прикладних моделей переважає перший з названих підходів, що дозволяє, завдяки використанню обчислювальних можливостей ЕОМ, враховувати максимальну кількість факторів і особливостей конкретного об'єкту.

Для ґрунтово-кліматичних умов України динамічна модель екологічних взаємодій у системі "середовище - інфекція - шкідник - рослина" розроблена Свидерською С.М.. В ній моделюється вплив чинників зовнішнього середовища на формування продуктивності культури картоплі, розвиток популяції колорадського жука та розвиток фітофтори в їхньому складному взаємозв'язку. За допомогою чисельних експериментів вона встановила кількісні показники чинників середовища, що визначають швидкість розвитку досліджуваних у системі явищ та процесів і їх взаємодію.

Аналітичний підхід, при якому в силу відомих причин число врахованих факторів не може бути достатньо великим, дозволяє отримувати якісну картину поведінки системи і є теоретичною основою для імітаційних моделей. Фундаментальною властивістю будь-якої популяції це здатність до розмноження та пристосованість. Вона визначається як питома швидкість росту чисельності (N) або як середнє число нащадків, вироблених однією особиною в одиницю часу (t):

$$\omega(t) = \frac{1}{N} \frac{dN}{dt}, \quad (3)$$

У випадку дослідження динаміки не в безперервному, а в дискретному часі пристосованість визначається як відношення її розмірів у послідовні моменти часу:

$$g(k) = \frac{N(k+1)}{N(k)}, \quad (4)$$

де g - пристосованість;

k - момент часу ($k = 1, 2, 3 \dots, n$).

Моделювання життєвого циклу шкідника починається з виходу жуків з ґрунту, які перезимували. В якості початку виходу приймається дата стійкого переходу температури повітря через 10°C .

З моменту початку масового виходу імаго з ґрунту і до його закінчення велике значення в динаміці чисельності шкідника відіграють міграції жуків, що визначають швидкість і інтенсивність заселення шкідником посівів картоплі в поточному вегетаційному сезоні.

Для оцінки інтенсивності міграцій в цей час використовуються термінові або найбільші значення температури повітря. Інтенсивність і швидкість заселення пропорційні числу днів з сприятливими для польотів жуків умовами. Швидкість дозрівання жуків - добові відсотки розвитку - розраховуються за рівнянням:

$$y^* = \frac{100}{0.22t^2 - 8.738t + 4.1\Delta\tau + 94.6}, \quad (5)$$

де - швидкість розвитку в процентах;

t - температура повітря;

$\Delta\tau$ - показник календарного терміну виходу жуків.

В якості початку відкладання яєць приймається дата накопичення суми добових відсотків розвитку, рівний 100 %. При нормальних термінах посадки картоплі, тобто з моменту переходу температури ґрунту на глибині 10 см через 7°C , сходи з'являються раніше дат початку відкладання яєць жуками масового виходу. У зв'язку з цим терміни їх дозрівання можуть вважатися початком періоду продуктивної яйцекладки. До того часу основна маса фізіологічно однорідних імаго встигає вийти з ґрунту, розселитися на посадках картоплі поточного року і підготуватися до розмноження.

Подальша поведінка жуків і їх розмноження визначається щільністю заселення та погодними умовами.

При щільності заселення імаго не вище 2 екз./м² інтенсивність відкладання яєць визначається рівнем температури, вологістю повітря і довжиною дня. В цей час картопляні рослини знаходяться у фазі репродуктивного росту і мають для шкідника максимальну живильну цінність. Сумарна плодючість обчислюється за виразом:

$$\sum F_{np} = \sum_{S_{ov}^*}^{S_{ov}^{**}} \sum_{10} F(t, \tau), \quad (6)$$

як сума декадних сум яєць, що відкладаються за період продуктивної яйцекладки. Поняття продуктивної яйцекладки вводиться через наступні міркування.

Самки колорадського жука відкладають яйця протягом досить тривалого періоду часу, проте не з усіх яйцекладок можуть розвиватися імаго, здатні до перезимівлі. Тому частина яєць, в ряді випадків досить значна, не грає жодної ролі в збільшенні чисельності шкідника в наступному році. Отже, продуктивна плодючість завжди менше загальної. Для обліку цієї особливості і введені межі. Межа залежить від терміну виходу жуків, які перезимували і тривалості їх дозрівання.

Межа є показником кінця періоду продуктивної яйцекладки і визначається як дата тієї яйцекладки, з якої імаго з'являються до переходу восени температури повітря через 12°C. В цьому випадку період предпаузного харчування становить 10-15 днів і частина імаго зможе підготуватися до перезимівлі.

Для визначення числа особин колорадського жука котрі гинули за період їх розвитку, від яєць до імаго, обчислюється середня кількість опадів що випадає за один день періоду від початку масової яйцекладки до переходу температури повітря через 12°C восени. Середня добова кількість опадів множиться на середню тривалість розвитку генерації і за рівнянням обчислюється середній відсоток загибелі:

$$\mu_1 = 34.54 \ln Q + 20.29 \ln \sum W - 141.0, \quad (7)$$

де Q- середня тривалість розвитку генерації;

$\sum W$ - сума опадів за період.

Загибель імаго за період зимівлі, що залежить від фізіологічного їх стану, визначається за рівнянням:

$$\mu_2 = 74 - 5.6(t - 17.3), \quad (8)$$

де μ_2 - відсоток загибелі;

t - середня температура періоду додаткового харчування жуків в межах від 14 до 20,5°C.

З рівняння випливає що відсоток загибелі може змінюватися від 0,8 до 57. На заключному етапі розрахунків проводиться обчислення за виразом:

$$\frac{N_{t+1}}{N_t} = K = \int_{t_0}^{t_1} F(x_i) d\tau \left(1 - \frac{\mu_1(C)}{100}\right) \left(1 - \frac{\mu_2(z)}{100}\right)^i, \quad (9)$$

де N_{t+1} і N_t - чисельність популяції шкідника в два послідовних моменту розмноження;

$\int_{t_0}^{t_1} F(x_i) d\tau$ - середня сумарна плодючість однієї самки, як функція

метеорологічних факторів і тривалості розвитку генерації;

$\mu_1(C)$ - середній сумарний відсоток загибелі особин за період розвитку генерації, як функція погодних умов;

$\mu_2(t)$ - сумарний відсоток загибелі імаго за період зимівлі, як функція фізіологічного їх стану;

i - статевий індекс.

В цьому випадку показник K , можна розглядати як екологічний коефіцієнт розмноження чисельно рівний пристосованості популяції в дискретному часі.

Вираз (9) являє собою узагальнену модель для опису змін чисельності шкідника під впливом коливань метеорологічних умов в якій структурно об'єднані характеристики динаміки - розмноження і загибель - також у зв'язку з метеорологічними умовами.

Колорадський жук зимує в стадії імаго. При зимівлі шкідника найбільш сприятливі умови складатимуться в легких за механічним складом ґрунтах. В цих умовах загибель особин буде найменшою. Для важких ґрунтів характерна більш висока загибель жуків за період зимівлі. Слід зазначити що основна загибель жуків спостерігається в Україні не в період настання низьких негативних температур.

Вольвач В.В. зазначає, що навіть при температурі -13°C на глибині зимівлі жуків не спостерігається підвищеної їх загибелі. Найбільша кількість жуків гине в пізній осінній та ранній весняний періоди.

Весняний вихід жуків з ґрунту спостерігається протягом тривалого періоду. Незважаючи на розтягнутість цього періоду в часі основна маса жуків виходить з ґрунту за порівняно короткий період часу.

Початок і інтенсивність весняного виходу жуків з ґрунту, які перезимували залежить від багатьох факторів і особливо від погодних

умов. У південних районах нашої країни він відзначався в березні на початку квітня, в центральних районах - в квітні-початку травня а в більш північних районах - ще пізніше - в травні-червні. В одній і тій же точці терміни появи жуків, які перезимували в різні роки також змінюється в значних межах.

Початок стійкого виходу збігається з встановленням середньодобової температури повітря близькою до 10°C. Для встановлення тривалості періоду дозрівання жуків, які перезимували (період від виходу до початку яйцекладки) використовується наступне рівняння:

$$y = 94.6 + 0.22t^2 - 8.738t + 14.5\Delta\tau, \quad (10)$$

$$R = 0.92, S_y = \pm 3,4 \text{ дні},$$

де y - тривалість періоду дозрівання жуків, які перезимували дні;

t - середня за період температура повітря;

$\Delta\tau$ - показник календарного терміну виходу жуків з ґрунту у вигляді різниці в годинах між максимальною довжиною дня (21 червня) і довжиною дня на дату виходу жуків з ґрунту;

R - коефіцієнт множинної кореляції;

S_y - помилка рівняння.

Поведінка жуків, після виходу з ґрунту залежить від їх фізіологічного стану і умов навколишнього середовища. Показником фізіологічного стану є термін виходу жуків з ґрунту. До того як приступити до харчування і розмноження, жуки повинні повністю відновити свій фізіологічний стан властивий періоду активної життєдіяльності.

Тривалість відновного періоду залежить від температури і вологості ґрунту в якому зимували жуки. За даними настанови гідрометеорологічним станція та постам, весняний відновний період триває до двох-трьох тижнів. В цей час в організмі імаго відновлюється водний баланс і підвищується тканинний обмін. Період від виходу жуків з ґрунту до початку відкладання яєць називається періодом дозрівання жуків, які перезимували. Температура і вологість впливають на тривалість періоду дозрівання в звичайному для біологічних процесів напрямку - весняні дощі та тепло скорочують його, а холод і посуха - подовжують.

Франк Дж. та Торнлі Дж. звернули увагу на залежність тривалості періоду дозрівання від календарного терміну виходу жуків з ґрунту - чим раніше жуки з'являються на поверхні ґрунту, тим через більший термін вони приступають до харчування та яйцекладці і навпаки. Розрахунок

декадної плодючості самок колорадського жука ведеться за наступним рівнянням з урахуванням температурних меж яйцекладки:

$$K_{pest}^j = 4.87TS1_j + 156.7\tau_q^j - 4.77(\tau_q^j)^2 - 1313, \quad (11)$$

K_{pest} - кількість шкідника;

$TS1$ - середня декадна температура повітря;

τ_q - тривалість світлого часу доби.

Тривалість розвитку колорадського жука залежить від температури повітря і її можна визначити за рівнянням:

$$n_{dev} = 0.213(TS1)^2 - 9.77 \cdot TS1 + 126.6, \quad (12)$$

$$n_{pu} = 14 - 25^0 C,$$

де n_{dev} - тривалість розвитку шкідника;

$TS1$ - середня декадна температура повітря.

При моделюванні фотосинтезу вплив колорадського жука на цей процес може бути введено через зміну параметрів формули розрахунку фотосинтезу:

$$\frac{\Delta\Phi_{pest}}{\Delta t} = \frac{1}{\frac{1}{\Phi_{pot}^j K_{NPK}(1-\rho_{pest})} + \frac{1}{\alpha_c C_0(1-\rho_{pest})} + \frac{1}{\alpha_\phi^i \Pi^i(1-\rho_{pest})}} \times \min \left\{ \alpha_\phi^i, \psi_\phi^j, \frac{E^0}{E_0^j} \right\}, \quad (13)$$

де $\frac{\Delta\Phi_{pest}}{\Delta t}$ - інтенсивність фотосинтезу листя ураженої рослини;

ρ_{pest} - частка пошкодженої тканини рослини.

Зміна частки пошкодженої шкідниками тканини рослини є по суті кількістю листової поверхні, якою харчуються шкідники і її можна визначити за виразом:

$$\frac{\Delta\rho_{pest}^j}{\Delta t} = \frac{\Delta L_{pest}^j}{\Delta t} \cdot \frac{1}{L^j}, \quad (14)$$

де $\frac{\Delta L_{pest}}{\Delta t}$ - площа листової поверхні, якою харчуються шкідники;

L - площа зеленої функціонуючої листової поверхні.

Площа листової поверхні, якою харчуються шкідники визначається кількістю шкідників та їх харчової потребою. Її можна описати виразом:

$$\frac{\Delta L_{pest}^j}{\Delta t} = \frac{K_{pest}^j \cdot F_{req}^j}{\sigma_1}, \quad (15)$$

де K_{pest} - кількість колорадських жуків;

F_{req} - харчова потреба одного шкідника;

σ_1 - питома поверхнева щільність листків.

Пошкодження рослин шкідниками призводить до зниження як площі листової поверхні так і загальної біомаси листа. Рівняння для розрахунку біомаси листа ураженої шкідником рослини можна записати в наступному вигляді:

$$\frac{\Delta m_{i(pest)}^j}{\Delta t} = \frac{\beta_i^j (\Phi^j + P^j + S^j)}{1 + C_{G1}} - \frac{\alpha_{R1}^j (C_{m1} \varphi_R^j + \vartheta_i^j) \tilde{m}_i^j}{1 + C_{G1}} - K_{pest}^j \cdot F_{req}^j, \quad (16)$$

Рівняння (14) дозволяє визначити динаміку біомаси листа рослин картоплі при розвитку популяції колорадського жука.

1.3 Загальна підготовка початкової інформації для виконання розрахунків

Для виконання розрахунків необхідно підготувати середню по області (або ж по окремій станції) агрометеорологічну інформацію, яка має чотири групи (Додаток А):

- 1) опис області (станції);
- 2) середня багаторічна агрометеорологічна інформація;
- 3) поточна агрометеорологічна інформація конкретного року;
- 4) параметри моделі.

1.1. Опис області (станції). До складу цієї групи входять:

1.1.1. φ – географічна широта центра області (станції), дається в градусах з десятими;

1.1.2. W_{HB} – найменша вологоємність метрового шару ґрунту, мм.

1.2. Середня багаторічна агрометеорологічна інформація. До складу цієї групи входить:

1.2.1. $W(0)$ – запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0-50 см на

початок розрахунків;

1.2.2. Фенологічні дані – дати настання фаз розвитку: сходи, утворення бокових пагонів, поява суцвіть, цвітіння, в'янення бадилля. На основі цієї інформації визначається:

1.2.3. n – кількість розрахункових декад від садіння до в'янення бадилля;

np – кількість днів в кожній розрахунковій декаді;

n_0 – кількість днів від 21 березня до сходів;

$N1$ – дата сходів – дата місяця, коли наступила фаза;

$N2$ – порядковий номер місяця, коли наступила фаза сходів: 1 – січень, 2 – лютий і т.д.;

1.2.4. – щодакні за весь період метеорологічні дані:

t_s – середня за декаду температура повітря, °C;

t_{ps} – середня за декаду температура поверхні ґрунту;

ss – середня за декаду кількість годин сонячного сяйва;

os – сума опадів за декаду, мм;

dww – середній за декаду дефіцит насичення повітря, мб;

dv – кількість днів у розрахунковій декаді.

Поточна агрометеорологічна інформація конкретного року - до складу цієї групи входить поточна агрометеорологічна інформація, яка щодакно поповняється за вегетаційний період конкретного року.

Параметри моделі - складу цієї групи входять наступні характеристики:

1. W_{HB} – найменша вологемність шару ґрунту 0-50 см, мм;

2. T_0 – біологічний нуль культури, для якої ведеться розрахунок;

3. $\sum t_{ef}$ – сума ефективних температур за період вегетації;

4. $\sum t_{max1}$ – сума ефективних температур за період від сходів до появи суцвіть;

5. $\sum t_{max2}$ – сума ефективних температур за період від сходів до цвітіння;

6. LAI_{max} – максимальна площа листової поверхні, м²/м²;

7. $W(0)$ – запаси продуктивної вологи на початок вегетації (початок розрахунків), мм;

8. SW_{req} – сумарна потреба культури у волозі за вегетаційний період, мм.

Для розрахунків на ПЕОМ створюється файл даних, імя файла «Guk7.dat», використовуючи дані **додатків Б та В**.

Вхідна інформація вводиться в програму для розрахунку в такому порядку:

- 1 рядок складається з чотирьох чисел: 1- назва пункту спостережень пишеться буквами, починаючи з другої позиції; 2 – рік проведення розрахунків, пишеться дві останні цифри року через одну позицію після назви пункту; 3 – дата розрахунку, пишеться цифрами через одну позицію після року; 4 - місяць розрахунку, пишеться через одну позицію після дати. (*приклад запису першого рядка: Chernigov SR 24.11*)

- 2 рядок складається з п'яти чисел: n - кількість розрахункових декад, ціле число записується в трьох позиціях; $t_{об}$ - кількість днів від 21 березня до сходів, число ціле записується у трьох позиціях; $N1$ - дата сходів ціле число в трьох позиціях; $N2$ - місяць відновлення вегетації, пишеться арабськими цифрами, ціле число, в трьох позиціях; Ψ - географічна широта пункту спостережень, хвилини виражені в частках градуса. Десятиричне число в шести позиціях, з двома знаками після коми (*приклад запису другого рядка: . 09 41 01 4 47.40*)

- 3 рядок : $W(0)$ – масив запасів продуктивної вологи в напівметровому шарі ґрунту, число ціле, в шести позиціях з одним знаком після коми (*приклад запису третього рядка : 075.000 72.000 67.000 63.000 58.000 53.000 47.000 41.000 38.000*)

- четвертий рядок: t_s - масив середніх за декаду температур повітря, число в шести позиціях з одним знаком після коми (*приклад запису четвертого рядка: 16.5 17.2 17.8 18.7 19.2 19.4 19.1 18.1 16.7*);

- 5 рядок – ss –масив кількості годин сонячного сяйва в розрахункових декадах (в середньому за один день декади), число в шести позиціях з одним знаком після коми (*приклад запису п'ятого рядка: 9.0 9.0 9.1 9.4 9.4 10.1 08.2 08.0 08.4*).

- шостий рядок : R – масив кількості опадів в розрахункових декадах, число ціле в трьох позиціях (*приклад запису шостого рядка: 23.0 25.0 30.0 35.0 30.0 23.0 20.0 25.0 22.0*).

- сьомий рядок : dv – масив кількості днів в розрахункових декадах, число ціле в трьох позиціях (*приклад запису шостого рядка: 10 10 10 10 10 11 10 10 11*).

- восьмий рядок: інформаційний масив (масив inf) містить дев'ять чисел, кожне число кодується у восьми позиціях з двома знаками після коми: (*приклад запису:*).

inf (1) – T_0 – біологічний ноль культури;

inf (2) - $\sum t_{эф}$ - сума ефективних температур за період вегетації;

inf (3) - $\sum t_{max1}$, сума ефективних температур від сходів до появи суцвіть;

inf (4) - $\sum t_{max2}$, сума ефективних температур від сходів до цвітіння;

inf (5) - LAI_{max} – максимальна площа листя;

inf (6) – κ – інтенсивність фотосинтезу при світловому насиченні та нормальній концентрації;

inf (7) – b – початковий нахил світлової кривої фотосинтезу;

inf (8) - $W_{\text{нв}}$ – найменша волого місткість шару ґрунту 0-50 см;

inf (9) - t_{opt}^{ϕ} – оптимальна температура процесу фотосинтезу.

1.4 Результати розрахунків виводяться у вигляді файлу «Guk7. res» (Додаток А). Він містить у собі початкову інформацію, а також результати розрахунків по програмі за кожну декаду вегетаційного періоду.

Узагальнення одержаних результатів повинне містити аналіз розрахованих величин характеристик розвитку популяції колорадського жука та його впливу на продуктивність культури картопля.

II. Практична частина

2.1 Підготовка загальної агрометеорологічної інформації:

- Підготувати агрометеорологічну інформацію згідно з пунктом 1.3 (назва культури, область та станція надається викладачем з додатку Б або В);

- Дати коротку фізико-географічну та агрокліматичну характеристику району вирощування картоплі; характеристику біологічних особливостей та її вимог до умов навколишнього середовища;

- Підготувати файл вхідної інформації (додаток А);

2.2 Провести розрахунки за допомогою ПЕОМ та отримати вихідну інформацію (базову) (додаток А).

2.3 Провести розрахунки за двома наступними варіантами:

- варіант I – збільшення середньої температури повітря на 20 % та зменшення суми опадів на 20 %;

- варіант II – зменшення середньої температури повітря на 20 % та збільшення суми опадів на 20 %.

2.4 Побудувати наступні графіки (на одному графіку три лінії: 1- за базовими умовами, 2 – за розрахунковими даними I-го варіанту, 2 – за розрахунковими даними II-го варіанту):

- динаміки сухої біомаси листя;

- динаміки сухої біомаси коренеплідів;

- динаміки сухої біомаси цілої рослини;

- динаміки площі листя;

- динаміки інтенсивності фотосинтезу;

- динаміку сумарної плодючості всіх жуків в першій декаді.

- динаміки радіаційного балансу рослинного покриву.

2.5 Провести порівняльну характеристику отриманих результатів. Зробити висновки та скласти текст.

2.6 Студенти після виконання роботи повинні оформити її належним чином та відповісти на контрольні запитання. Після цього завдання вважається виконаним.

3. Критерії оцінки знань при виконанні практичних занять

Виконання практичних робіт на тему «Моделювання впливу агрометеорологічних умов на формування продуктивності картоплі та популяції колорадського жука» сприяє закріпленню теоретичних знань та надає студентам можливість набути практичні навички у виконанні розрахунків.

На оцінку практичних занять відводиться 20 балів. Після виконання завдання студент повинен його захистити. При оцінці відповідей враховується правильність виконання розрахунків та їх аналізу, повнота відповіді на контрольні питання.

Оцінювання виконується за вказаними показниками: «розрахунки виконані вірно, відповіді повні» – 20-18 балів; «розрахунки з невеликою кількістю помилок, відповіді на питання повні» – 17-16 балів; «розрахунки з невеликою кількістю помилок, відповіді на питання не повні» – 15-13 балів; «розрахунки невірні, відповіді правильні, але неповні» – 12 балів.

Контрольні питання

1. Якими двома важливими властивостями володіє рівняння Ферхюльста?
2. Які основні вимоги до умов середовища колорадського жука?
3. Що враховує модель з віковою структурою, яка заснована на застосуванні матриці Леслі?
4. Що входить до блоку вхідної агрометеорологічної інформації?
5. Що уявляє собою процес формування врожаю?
6. Яка поточна агрометеорологічна інформація конкретного року використовується при розрахунках?
7. Що є фундаментальною властивістю будь-якої популяції?
8. Що обчислюється для визначення числа особин колорадського жука котрі гинули за період їх розвитку, від яєць до імаго?
9. Як визначається динаміка площі листової поверхні?
10. Яка інформація використовується для виконання розрахунків?
11. Яка отримується вихідна інформація?
12. Що враховують в розрахунку в моделі «жертва-хижак» для більшого реалізму та кращого узгодження з тими чи іншими спеціальними ситуаціями рівняння?

Список літератури

Основна

1. Вольвач В.В. Моделирование влияния агрометеорологических условий на развитие колорадского жука. –Л.: Гидрометеиздат, 1987. –С. 240.
2. Польовий А.М. Моделювання водно-теплового режиму та продуктивності агроecosystem /А.М. Польовий/- Одеса: ТЕС. 2010 р. -218 с.
3. Свидерська С.М. Моделювання продуктивності агрофітоценозів та впливу агрометеорологічних умов на розвиток шкідників та хвороб. Конспект лекцій. – Одеса, 2016. – 102 с.

Додаткова

1. Скоринкин А.И. Математическое моделирование биологических процессов / А.И. Скоринкин.– Казань: Казан. ун-т, 2015. – 86 с.
2. Бондарчук С.С. Математическое моделирование в популяционной экологии /С.С. Бондарчук, В.П. Перевозкин// Учебное пособие. Томск, Томский государственный педагогический институт, 2014. – 233 с.
3. Франк Дж., Торнли Дж Х. М. Математические модели в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1987. – 399 с.
4. Пеннинг де Фриз Ф.В.Г., Ван Лаар Х.Х. Моделирование роста и продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. –С. 319.
5. Сільськогосподарська ентомологія: Підручник / За ред. Б.М. Литвинова, М.Д. Євтушенка/ - К.: Вища освіта, 2005. - 511 с.: іл..

Додаток А.

Приклад створення файлу вхідної інформації «Guk7.dat» та «Guk7.res» для виконання розрахунків

Chernigov SR 24.11
09 41 01 4 47.40
075.000 72.000 67.000 63.000 58.000 53.000 47.000 41.000 38.000
16.5 17.2 17.8 18.7 19.2 19.4 19.1 18.1 16.7
9.0 9.0 9.1 9.4 9.4 10.1 08.2 08.0 08.4
23.0 25.0 30.0 35.0 30.0 23.0 20.0 25.0 22.0
10 10 10 10 10 11 10 10 11
7.000 910.000 550.000 650.000 2.800 0.370 25.000 240.000 22.000

Биомасса органов растения

i	dek	icyt	i	ml	i	ms	i	mr	i	mp	i	m	i

i	1i	10	i	0.026	i	0.089	i	0.094	i	0.001	i	0.301	i
i	2i	20	i	-0.126	i	0.077	i	0.089	i	0.001	i	0.210	i
i	3i	30	i	11.570	i	14.466	i	5.570	i	0.001	i	0.041	i
i	4i	40	i	20.763	i	28.085	i	9.947	i	0.001	i	31.606	i
i	5i	50	i	44.322	i	69.126	i	20.976	i	0.001	i	58.796	i
i	6i	61	i	43.921	i	69.307	i	21.016	i	116.886	i	134.424	i
i	7i	71	i	43.480	i	69.314	i	21.017	i	287.400	i	251.130	i
i	8i	81	i	43.036	i	69.314	i	21.017	i	407.153	i	421.211	i
i	9i	92	i	26.431	i	69.314	i	13.146	i	509.855	i	540.520	i

ml- сухая масса листьев, г/м2:
ms- сухая масса стеблей, г/м2 :
mr -сухая масса корней, г/м2:
mp- сухая масса клубней, г/м2:
m- сухая масса всего растения, г/м2:

Плодовитость жука

i	dek	icyt	i	sFpld1	i	Fplod1	i	vroz	i

i	1i	10i		23.819i		18.278i		13.015i	
i	2i	20i		30.479i		23.388i		13.015i	
i	3i	30i		35.224i		27.029i		13.015i	
i	4i	40i		39.717i		30.476i		13.015i	

i 5i 50i	42.087i	32.295i	13.015i
i 6i 61i	0.000i	0.000i	13.015i
i 7i 71i	0.000i	0.000i	13.015i
i 8i 81i	0.000i	0.000i	13.015i
i 9i 92i	0.000i	0.000i	13.015i

sFpld1- суммарная плодовитость всех жуков в первой декаде плодовитости:

Fpld1- декадная плодовитость в первую дек. :

vroz -время начала яйцекладки в днях от всходов:

 Leaf area index . Temperature. Soilmoisture

idek	icyt	i LL	q	i ts1	i ts2	FL	ksifl	gamf	i
i 1	i 10	i 0.29	453.240	i 11.500	i 115.000	i 0.000	0.959	0.83	i
i 2	i 20	i 0.27	465.198	i 12.200	i 237.000	i 3.965	0.980	0.80	i
i 3	i 30	i 0.66	477.427	i 12.800	i 365.000	i 3.805	0.996	0.74	i
i 4	i 40	i 0.97	493.450	i 13.700	i 502.000	i 9.086	1.000	0.69	i
i 5	i 50	i 1.76	496.863	i 14.200	i 644.000	i 11.732	1.000	0.62	i
i 6	i 61	i 1.71	521.102	i 14.400	i 802.400	i 17.628	1.000	0.53	i
i 7	i 71	i 1.66	456.319	i 14.100	i 943.400	i 12.158	1.000	0.42	i
i 8	i 81	i 1.61	444.826	i 13.100	i 1074.400	i 7.199	1.000	0.28	i
i 9	i 92	i 0.00	448.532	i 11.700	i 1203.099	i 4.523	0.966	0.21	i

LL-площ. листьев,м2/м2:

q-суммарная радиация,кал/см2сут :

ts1 -эффект. тем-ра воздуха:

ts2- сумма эффект. темп. нарост. итогом:

FL-интенсивн.фотосинтеза,мгСО2/дм2час:

ksifl-температ.крив.фотосинтеза,отн.ед.:

gamf-функц.влияния влажности почв. на фотосинт.:

 Ростовые функ.и онтоген. кривые фотосин. и дыхания

idek	icyt	i bl	i bs	i br	i bp	afl	arl	i
i 1	i 10	i 0.427	i 0.377	i 0.196	i 0.000	0.836	0.649	i
i 2	i 20	i 0.402	i 0.413	i 0.185	i 0.000	0.897	0.892	i
i 3	i 30	i 0.375	i 0.453	i 0.172	i 0.000	0.948	0.989	i
i 4	i 40	i 0.346	i 0.495	i 0.159	i 0.000	0.983	0.852	i

i 5 i	50 i	0.316 i	0.539 i	0.145 i	0.000 i	0.999 i	0.548 i
i 6 i	61 i	0.001 i	0.002 i	0.000 i	0.997 i	0.988 i	0.247 i
i 7 i	71 i	0.000 i	0.000 i	0.000 i	1.000 i	0.952 i	0.079 i
i 8 i	81 i	0.000 i	0.000 i	0.000 i	1.000 i	0.898 i	0.021 i
i 9 i	92 i	0.000 i	0.000 i	0.000 i	1.000 i	0.832 i	0.005 i

bl-ростов.функция листьев,отн.ед:

bs- ростов.функция стебл.,отн.ед:

br -ростов.функция корней,отн.ед:

bp- ростов.функция клубней,отн.ед:

afl-онтогенет.крив. фотосинтеза,отн.ед:

arl-онтогенет.крив. дыхания,отн.ед.:

Количество жуков первой кладки

idek i	cyt i	prsz i	prsz2 i	prsz1 i	Ngyk i	Nzim i	symgk i
i 1 i	10 i	***** i	18.734 i	19.295 i	2.606 i	86.880 i	1.234 i
i 2 i	20 i	***** i	18.734 i	19.295 i	2.606 i	86.880 i	2.814 i
i 3 i	30 i	***** i	18.734 i	19.295 i	2.606 i	86.880 i	4.640 i
i 4 i	40 i	***** i	18.734 i	19.295 i	2.606 i	86.880 i	6.698 i
i 5 i	50 i	***** i	18.734 i	19.295 i	2.606 i	86.880 i	8.879 i
i 6 i	61 i	***** i	18.734 i	19.295 i	2.606 i	86.880 i	8.879 i
i 7 i	71 i	***** i	18.734 i	19.295 i	2.606 i	86.880 i	8.879 i
i 8 i	81 i	***** i	18.734 i	19.295 i	2.606 i	86.880 i	8.879 i
i 9 i	92 i	***** i	18.734 i	19.295 i	2.606 i	86.880 i	8.880 i

prsz-средняя из prsz1 и prsz2:

prsz2-продолж.период.созр.жуков (число дней от выхода жуков до начала яйцекладки с 1 дек):

prsz1 -продолж.период.созр.жуков (число дней от выхода жуков до начала яйцекладки со 2 дек):

Ngyk- общее число жук.после выхода:

Nzim-гибель жуков после зимовки:

dv1-средняя длина периода разв.жуков 1 клад.:

symgk-сумма жуков:

Средняя длина периода развития жуков = 50.000

Сумма осадков за период разв.жуков 1-ой кладки=143.000

% гибели особей за период разв.жуков 1-ой клад.= 94.817

dv1 -средняя длина пера разв.жуков 1 клад.:
os1-сумма осадк.за период разв.жук.1 клад.:
mju1 -процент гиб.особ.за пер.разв.жук.1 кл.:

Додаток Б

Таблиця Б-1. Вихідна агрометеорологічна інформація Львівська область

Станції	Середня декадна температура повітря, °С														
	квітень			травень			червень			липень			серпень		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Рава-Руська	6,4	7,7	10,6	12,9	14,2	14,0	16,0	16,8	17,1	18,7	18,2	19,0	18,7	18,2	16,6
Кам'янка-Бузька	6,8	8,1	11,0	13,3	14,6	14,5	16,4	17,1	17,4	18,9	18,5	19,3	19,0	18,3	16,9
Броди	6,6	8,0	10,8	13,1	14,8	14,5	16,4	17,3	17,3	18,9	18,6	19,2	19,0	18,3	16,8
Яворів	6,7	8,0	11,1	13,4	14,3	14,3	16,3	16,9	17,2	18,9	18,4	19,2	19,0	18,5	16,9
Стрий	7,3	8,2	11,2	13,4	14,6	14,3	16,4	17,2	17,6	19,2	18,7	19,2	19,1	18,8	17,2
	Середня декадна кількість опадів, мм														
	квітень			травень			червень			липень			серпень		
	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2
Рава-Руська	18	16	14	16	23	35	24	28	26	27	25	28	26	25	23
Кам'янка-Бузька	15	12	12	17	20	40	26	30	30	28	24	33	27	20	21
Броди	16	15	17	15	20	41	28	35	31	31	36	42	28	24	19
Яворів	21	20	15	15	24	40	22	34	36	33	25	34	29	33	25
Стрий	16	20	18	23	22	43	29	36	31	25	29	43	30	30	30
	Дефіцит насичення вологістю повітря, мб														
	квітень			травень			червень			липень			серпень		
	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2
Рава-Руська	3	4	5	6	6	5	6	6	6	7	6	7	6	7	6
Кам'янка-Бузька	3	4	5	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Броди	3	4	5	7	7	6	7	6	6	7	7	7	7	7	6
Яворів	3	4	5	6	6	5	6	6	6	7	6	7	6	7	6
Стрий	4	4	5	6	6	5	6	6	6	7	6	6	6	7	6

Таблиця Б-2 – Дати садіння і настання фаз розвитку картоплі

Станція	Садіння	Сходи	Утворення бокових пагонів	Поява суцвіть	Цвітіння	Кінець цвітіння	В'янення бадилля
Рава-Руська	28.04	27.05	05.06	17.06	29.06	16.07	16.08
Кам'янка-Бузька	02.05	01.06	10.06	27.06	06.07	21.07	22.08
Броди	26.04	25.05	02.06	20.06	02.07	16.07	15.08
Яворів	27.04	26.05	04.06	21.06	01.07	20.07	11.08
Стрий	26.04	16.05	25.05	18.06	28.06	14.07	05.08
По області	28.04	25.05	03.06	21.06	01.07	17.07	14.08

Таблиця Б - 3 Тривалість сонячного сяйва (години)

Станції	Середня декадна температура повітря, °С														
	квітень			травень			червень			липень			серпень		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Яворів	49	57	71	86	79	84	84	78	84	87	78	87	75	83	79

Таблиця Б-4 – Сума фотосинтетично активної радіації, МДж/м² (за М. І. Гойсою, Н. А. Перелет)

Показник	Місяці			
	V	VI	VII	VIII
Львів				
Середня	320	311	328	277

Таблиця Б-5 – Запаси продуктивної вологи (мм) у різних шарах ґрунту під картоплею

Шар ґрунту, см	IV			V			VI			VII			VIII		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Рава-Руська															
Дерново-слабопідзолистий супіщаний															
0-20			31	31	32	31	31	28	25	22	21	24	24	22	29
0-50			84	76	74	76	74	71	65	56	53	57	59	55	61
Кам'янка-Бузька															
Перегнійно-карбонатний глинистий															
0-20	33	34	29	26	26	30	23	25	25	26	24	24	21	21	24
0-50	87	87	80	72	72	78	65	68	70	69	67	66	61	58	60
Броди															
Дерново-підзолистий супіщаний															
0-20		45	45	45	43	44	43	43	42	43	39	38	39	39	37
0-50		119	118	117	113	114	113	112	110	113	106	104	106	104	100
Яворів															
Дерново-слабопідзолистий супіщаний															
0-20	36	30	31	27	26	26	23	25	23	23	21	23	24	25	
0-50	95	82	83	73	69	72	64	67	64	61	57	61	66	62	
Стрий															
Дерново-буроземний легкосуглинковий															
0-20				41	41	39	39	39	42	36	43	45	46	48	40
0-50				101	104	102	96	97	109	93	108	111	113	113	99

Додаток В

Таблиця В-1. Вихідна агрометеорологічна інформація Вінницька область

Станції	Середня декадна температура повітря, °С														
	квітень			травень			червень			липень			серпень		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Білопідля	6,3	8,1	10,5	13,0	14,8	15,2	16,7	17,9	17,8	19,5	19,0	20,1	19,7	18,6	17,0
Хмільник	6,6	8,1	10,6	13,0	14,8	15,0	16,4	17,8	17,7	19,3	18,8	19,7	19,4	18,5	16,9
Липовець	6,8	8,3	10,8	13,1	15,1	15,5	16,7	18,1	17,7	19,6	19,2	20,2	20,1	19,1	17,6
Жмеринка	6,8	8,0	10,5	13,0	14,8	15,1	16,5	17,8	17,8	19,4	19,0	20,0	19,7	18,9	17,2
Вінниця	6,6	7,9	10,3	12,9	14,7	15,0	16,4	17,7	17,6	19,3	18,9	19,8	19,6	18,7	17,1
	Середня декадна кількість опадів, мм														
	квітень			травень			червень			липень			серпень		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Білопідля	15	16	16	12	13	29	29	22	31	26	33	22	35	20	24
Хмільник	14	17	15	11	15	26	33	28	28	37	38	31	28	25	34
Липовець	14	20	19	11	13	27	33	36	33	32	31	20	36	15	31
Жмеринка	14	20	16	13	20	25	28	25	29	32	31	27	30	20	32
Вінниця	13	16	14	11	15	23	32	24	32	33	27	24	35	16	27
	Дефіцит насичення вологістю повітря, мб														
	квітень			травень			червень			липень			серпень		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Білопідля	3	4	5	7	7	6	7	7	6	7	8	8	8	8	7
Хмільник	4	4	5	7	7	6	7	7	6	7	7	7	7	7	6
Липовець	4	4	5	7	7	7	7	6	7	8	8	8	9	8	7
Жмеринка	4	4	5	7	7	7	7	7	7	8	7	8	8	8	7
Вінниця	4	4	5	7	7	6	7	7	6	7	7	8	8	8	7

Таблиця В-2 - Дати посадки і настання фаз розвитку картоплі

Станція	Посадка	Сходи	Утворення бокових пагонів	Поява суцвіть	Цвітіння	Кінець цвітіння	Вянення бадилля
Білопілля	29.04	26.05	06.06	18.06	03.07	18.07	15.08
Хмільник	02.05	28.05	06.06	20.06	04.07	17.07	11.08
Липовець	01.05	27.05	07.06	17.06	26.06	16.07	11.08
Жмеринка	03.05	31.05	09.06	18.06	04.07	20.07	06.08
Вінниця	22.04	19.05	30.05	10.06	19.06	07.07	28.07
По області	30.04	26.05	05.06	18.06	29.06	15.07	08.08

Таблиця В-3 - Тривалість сонячного сьйва (години)

Станції	Середня декадна температура повітря, °С														
	квітень			травень			червень			липень			серпень		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Вінниця	52	53	73	87	87	87	86	87	88	89	88	102	87	91	86
Хмільник	50	53	60	75	88	88	81	78	91	85	89	90	84	78	85
По області	51	53	67	81	87	88	84	83	90	87	89	96	85	84	85

Таблиця В-4 – Сума фотосинтетично активної радіації, МДж/м² (за М. І. Гойсою, Н. А. Перелет)

Показник	V	VI	VII	VIII
Вінниця				
Середня	272	329	319	281

Таблиця В-5 – Запаси продуктивної вологи (мм) в різних шарах ґрунту під картоплею

Шар ґрунту, см	IV			V			VI			VII			VIII		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Білопілля															
Ґрунт - чорнозем глибокий малогумусний середньосуглинковий															
0 – 20	41	39	39	34	33	34	33	33	33	29	28	26	27	24	23
0 – 50	102	97	96	87	86	85	85	83	78	68	64	58	59	54	56
Хмільник															
Ґрунт - чорнозем глибокий малогумусний середньосуглинковий															
0 – 20	31	35	35	31	30	29	30	26	26	23	21	23	20	21	20
0 – 50	88	87	91	86	84	82	82	75	70	61	59	57	55	54	53
Липовець															
Ґрунт - чорнозем глибокий середньосуглинковий															
0 – 20	33	34	33	28	27	25	28	28	29	27	17	18	21	13	20
0 – 50	81	83	82	73	70	65	69	68	65	62	37	38	44	33	39
Вінниця															
Ґрунт - сірий лісовий опідзолений середньосуглинковий															
0 – 20	43	42	42	42	39	38	37	36	36	34	28	26	24	26	23
0 – 50	102	102	100	96	94	92	89	89	88	82	69	64	55	58	53
Жмеринка															
Ґрунт - сірий опідзолений слабозмитий середньосуглинковий															
0 – 20	43	41	45	38	38	38	35	33	32	26	27	22	26	19	26
0 – 50	98	97	101	93	90	94	85	82	78	64	66	56	57	46	55

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

з дисципліни «Моделювання продуктивності агроecosистем та появи шкідників та хвороб»
до виконання практичної роботи
«Моделювання впливу агрометеорологічних умов на формування продуктивності картоплі та популяції колорадського жука»

Рівень підготовки – магістр
Спеціальність –103 Науки про Землю
Освітня програма - «Агрометеорологія»

Укладачі:
к.геогр. н., доц. Свидерська С.М.
к.геогр. н., Костюкевич Т.К.

Підписано до друку . Формат . Папір офсетний.
Друк офсетний. Ум друк. арк.
Тираж 25 прим. Зам. №

Одеський державний екологічний університет
65016, вул. Львівська, 15
