

**С.М. Свидерская, к.г.н.**

*Одесский государственный экологический университет*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ КАРТОФЕЛЯ И РАЗВИТИЕ ПОПУЛЯЦИИ КОЛОРАДСКОГО ЖУКА В ПОЛЕСЬЕ**

*Представлены результаты численных экспериментов по оценке влияния засушливых, влажных и среднемноголетних условий на развитие популяции колорадского жука и формирование урожайности картофеля применительно к условиям Черниговской области. В основу численных экспериментов положена модель формирования урожайности картофеля и развития популяции колорадского жука при различных агрометеорологических условиях.*

**Ключевые слова:** колорадский жук, популяция, модель, картофель, осадки, температура воздуха, развитие, особь.

**Введение.** Картофель – многолетнее травянистое растение, но в культуре используется как однолетнее, потому что весь его жизненный цикл, начиная от прорастания клубня и кончая образованием и развитием новых клубней, проходит в один вегетационный период. Культура картофеля является для Украины одной из ведущих сельскохозяйственных культур. Многочисленными исследованиями установлено, что картофель культурных сортов является растением умеренного климата, обладает большой пластичностью, наиболее устойчивые его урожаи получают в районах средних широт, имеющих относительно невысокую температуру в период вегетации. Значительные колебания урожайности картофеля определяются как влиянием погодных условий на фотосинтетическую продуктивность растений, так и влиянием этих же условий на степень развития популяции вредителей и различных инфекций, определяющих их вредоносность. Наиболее распространенным вредителем картофеля является популяция колорадского жука, степень развития которой зависит от складывающихся агрометеорологических условий.

**Цель** этой работы – оценить развитие популяции колорадского жука и формирование урожайности картофеля при засушливых, влажных и среднемноголетних условиях в Черниговской области.

К **задачам** данной работы следует отнести проведение численного эксперимента по оценке развития популяции колорадского жука и формирования урожайности картофеля при засушливых, влажных и среднемноголетних условиях в Черниговской области.

**Материалы и методы исследования.** В основу исследования положены численные эксперименты с моделью формирования продуктивности картофеля и развития популяции колорадского жука [8]. Культурный картофель является излюбленной пищей колорадского жука. Собственно с переходом этого насекомого с дикого картофеля на культурный и начинается история его распространения как сельскохозяйственного вредителя. Роль колорадского жука по силе отрицательного влияния не уступает таким неблагоприятным факторам, как недостаток или избыток влаги, почвенная и атмосферная засуха, недостаток питательных веществ. Механизм отрицательного влияния колорадского жука на формирование урожая картофеля заключается в уничтожении части или всего фотосинтетического потенциала личинками и взрослыми особями в процессе питания. Колорадский жук относится к видам с полным циклом превращения. Развитие этих видов сопровождается прохождением четырех фаз: яйца, личинки, куколки и взрослой фазы [1]. В течение своего индивидуального развития, или онтогенеза, насекомое проходит два периода - внутри яйца

(эмбриональное) и после выхода из яйца (постэмбриональное) [2]. После выхода из яйца в постэмбриональный период развитие колорадского жука протекает с превращением одной фазы в другую, а не является простым ростом и увеличением размеров тела. Такой тип онтогенеза получил название метаморфоз, или развитие с превращением [1].

Срок выхода жуков из почвы имеет важное биологическое и хозяйственное значение. В зависимости от него в значительной мере находится возможность реализации самками полового потенциала, продолжительность периода активности молодых жуков и интенсивность их ухода в диапаузу.

Как показали специальные опыты, основная масса жуков выходит в сравнительно сжатые сроки. Сопряженный анализ динамики выхода жуков из почвы и хода среднесуточных температур воздуха позволяет установить, что начало устойчивого выхода совпадает с установлением среднесуточной температуры воздуха, близкой к  $10^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, для определения начала весеннего выхода жуков из почвы может использоваться дата устойчивого перехода среднесуточной температуры через  $10^{\circ}\text{C}$ , которая устанавливается общепринятым способом - по сумме положительных и отрицательных отклонений [5].

После выхода с зимовки поведение жуков определяется их физиологическим состоянием и условиями среды, среди которых решающее значение принадлежит температурному фактору. Большое значение для возобновления активной жизнедеятельности жуков имеет также влажность почвы, а при созревании и откладывании яиц - условия питания и длина дня [11].

В зависимости от условий среды и качества пищи перезимовавшие самки могут откладывать яйца от весны до осени. Откладка яиц происходит при солнечной погоде, преимущественно в послеполуденные часы [10]. Опытным путем установлено, что в ночное время яйцекладка не происходит. Прекращалась она и в тех случаях, когда в дневное время самки перемещались в темноту. При частичном затемнении садков интенсивность яйцекладки снижалась [10].

Термические пороги яйцекладки примерно те же, что и термические пороги питания [12]. Однако, при температуре  $15-18^{\circ}\text{C}$  интенсивность яйцекладки бывает еще слабой [11]. Максимальная плодовитость колорадского жука проявляется при температуре  $25^{\circ}\text{C}$ , так как при более высокой температуре продолжительность жизни имаго сокращается [12]. По данным [9] оптимальная для яйцекладки температура колеблется от  $17$  до  $24^{\circ}\text{C}$ , а относительная влажность воздуха составляет  $60-75\%$ ; отрицательно сказывается температура до  $14^{\circ}\text{C}$  и выше  $26-27^{\circ}\text{C}$  и относительная влажность ниже  $45\%$  и выше  $80\%$ .

**Результаты исследования и их анализ.** Процесс разработки моделей развития вредителей можно выделить по аналогии с моделями, описывающими влияние гидрометеорологических условий на продуктивность сельскохозяйственных культур, три этапа.

Первый этап - описательный. На этом этапе для установления связи между вредителем и факторами среды происходит накопление фактического материала об особенностях их взаимодействия, дифференциация теорий, используемых для объяснения динамики популяций.

На втором этапе основное внимание уделяется поиску прямых эмпирических связей между входом и выходом системы вредитель - среда обитания. В этом направлении на протяжении последних 20 лет наиболее последовательно ведутся исследования в [4, 3, 7]. В качестве показателей, характеризующих вредителя, при таком подходе используются статистические данные заселенности вредителями сельскохозяйственных угодий, обработок, численности вредителя на определенной фазе

развития. Состояние среды обитания выражается в виде месячных, реже декадных значений метеорологических величин за предшествующий и текущий годы.

Теоретической базой моделей, разрабатываемых на третьем этапе исследований, являются развитые в математической экологии представления о популяциях - элементарных структурных единицах экосистем как о динамических системах, развивающихся под воздействием внутренних и внешних факторов [6]. При этом под внутренними факторами понимается физиологическая конституция, наследственно закрепленная у вида, а под внешними весь комплекс биологических и абиотических факторов, играющих для него роль условий жизни [1].

Фундаментальным свойством, присущим любой популяции и характеризующим ее способность к размножению, является приспособленность. Она определяется как удельная скорость роста численности ( $N$ ) или как среднее число потомков, произведенных одной особью в единицу времени ( $t$ )

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

В случае исследования динамики не в непрерывном, а в дискретном времени приспособленность определяется как отношение ее размеров в последовательные моменты времени

$$g(k) = \frac{N(k+1)}{N(k)}, \quad (2)$$

где  $g$  – приспособленность;

$k$  – момент времени ( $k=1,2,3 \dots, n$ ).

Скорость созревания жуков - суточные проценты развития -рассчитывается по уравнению

$$y^* = \frac{100}{0.22t^2 - 8.738t + 4.1\Delta\tau + 94.6}, \quad (3)$$

где  $y^*$  - скорость развития в процентах;

$t$  – температура воздуха;

$\Delta\tau$  - показатель календарного срока выхода жуков.

Суммарная плодовитость вычисляется по выражению

$$\sum F_{np} = \sum_{S_{ov}^*}^{S_{ov}^{**}} \sum F(t, \tau). \quad (4)$$

как сумма декадных сумм яиц, откладываемых за период продуктивной яйцекладки.

Понятие продуктивной яйцекладки вводится из-за следующих соображений. Самки колорадского жука откладывают яйца на протяжении довольно длительного периода времени, однако не из всех яйцекладок могут развиваться имаго, способные к перезимовке. Поэтому часть яиц, в ряде случаев весьма значительная, не играет ни какой роли в увеличении численности вредителя в следующем году. Следовательно, продуктивная плодовитость всегда меньше общей. Для учета этой особенности и введены пределы  $S_{ov}^*$  и  $S_{ov}^{**}$ . Предел  $S_{ov}^*$  зависит от срока выхода перезимовавших жуков и продолжительности их созревания. Предел  $S_{ov}^{**}$  является показателем конца периода продуктивной яйцекладки и определяется как дата той яйцекладки, из которой имаго появляются до перехода осенью температуры воздуха через  $12^{\circ}\text{C}$ . В этом случае период предпаузного питания составляет 10-15 дней и часть имаго сможет подготовиться к перезимовке.

Для определения числа гибнущих особей колорадского жука за период их развития от яиц до имаго вычисляют среднее количество осадков, выпадающих за один день периода от начала массовой яйцекладки ( $S_{ov}^*$ ) до перехода температуры воздуха через  $12^{\circ}\text{C}$  осенью. Среднее суточное количество осадков умножается на среднюю продолжительность развития генерации и вычисляется средний процент гибели  $\mu_1$

$$\mu_1 = 34.54 \ln Q + 20.29 \ln \sum W - 141.0, \quad (5)$$

где  $Q$ - осредненная продолжительность развития генерации;  
 $\sum W$  - сумма осадков за период.

Гибель имаго за период зимовки, зависящая от физиологического их состояния, определяется по уравнению

$$\mu_2 = 74 - 5.6(t - 17.3), \quad (6)$$

где  $\mu_2$  - процент гибели;

$t$  – средняя температура периода дополнительного питания жуков в пределах от  $14$  до  $20,5^{\circ}\text{C}$ .

Из уравнения (6) следует, что процент гибели может изменяться от 98 до 57.

В основу работы положенная нами модель формирования урожая картофеля, которая включает описание влияния засушливых, влажных и среднепогодных условий на популяцию колорадского жука и формирование урожайности картофеля в условиях Черниговской области. Численные эксперименты выполнены с использованием материалов многолетних агрометеорологических наблюдений за условиями формирования продуктивности картофеля.

Оптимальные условия для жизнедеятельности имаго колорадского жука складываются при температуре около  $25^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности воздуха 60-75 %. Максимальное количество яиц самка жука откладывает при температуре  $23-25^{\circ}\text{C}$ . Неблагоприятными для размножения условиями являются температура выше  $27^{\circ}\text{C}$  и ниже  $14^{\circ}\text{C}$  и влажность воздуха выше 80 и ниже 40 %.

Наиболее устойчивыми к действию отрицательных температур являются жуки, прошедшие преддиапаузную подготовку, заключающуюся в накоплении жирового запаса, снижении содержания свободной воды в организме и увеличении их массы в результате активного питания. Недостаточно подготовленной к зимовке оказывается та часть популяции вредителя, которая уходит в почву под действием понижения температуры.

Рассмотрим, как происходит гибель колорадского жука от температуры. На рис. 1 представлена гибель колорадского жука от температуры в Черниговской области.

Из рисунка видно, что гибель колорадского жука после зимовки при температуре  $11^{\circ}\text{C}$  составляет 100 %. При увеличении температуры гибель колорадского жука значительно снижается, так при температуре  $17^{\circ}\text{C}$  гибель колорадского жука уменьшается и составляет 75 %. При дальнейшем увеличении температуры гибель колорадского жука снижается, так, при температуре  $21^{\circ}\text{C}$  гибель колорадского жука составляет 53 %. Рис. 1 говорит о том, что, при устойчивой благоприятной температуре, а из рисунка видно, что такая температура это  $21^{\circ}\text{C}$ , гибель колорадского жука после зимовки будет минимальной.

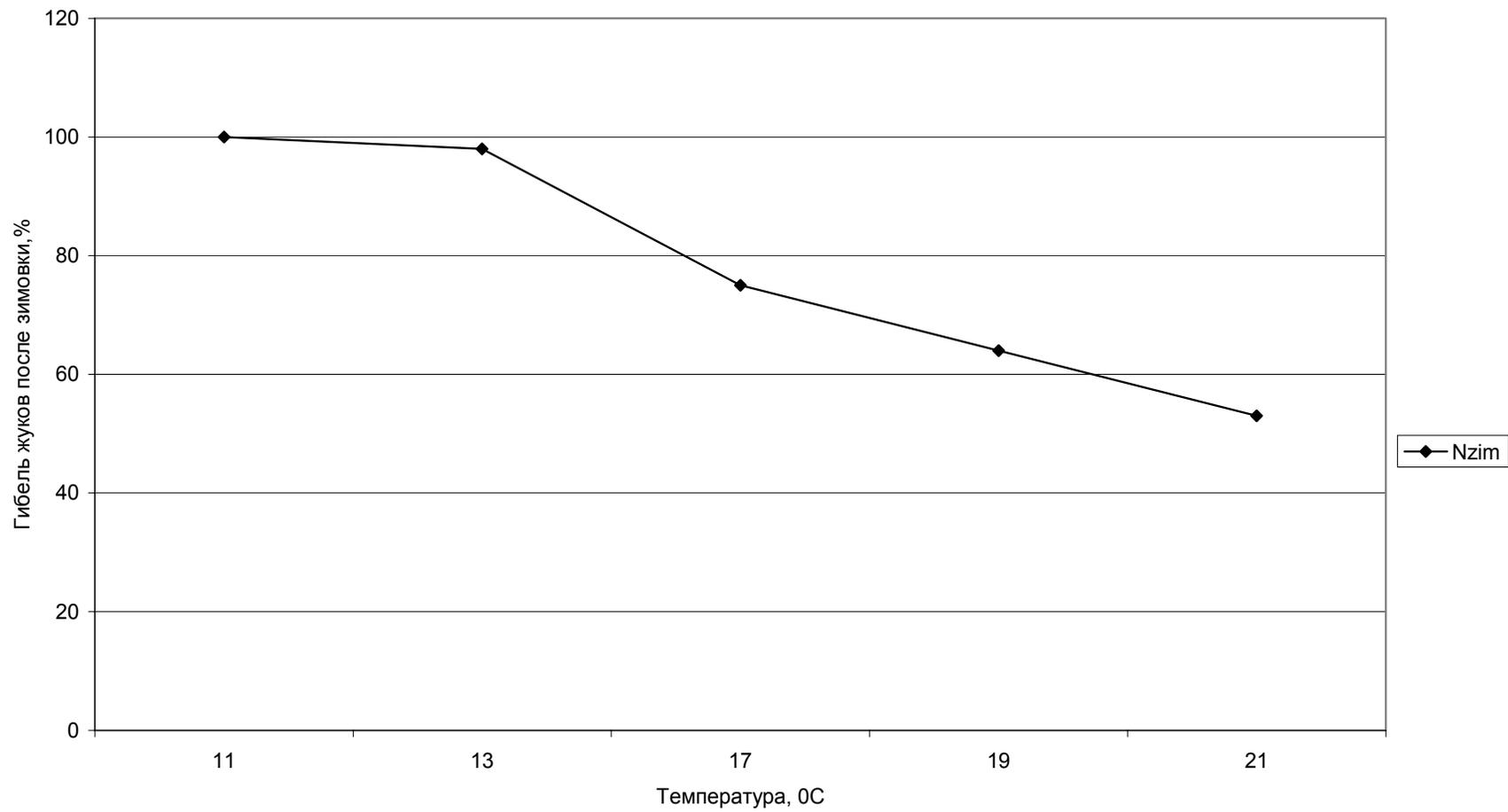


Рис. 1 - Зависимость гибели колорадского жука после зимовки от температуры в Черниговской области.

На рис. 2 представлена динамика площади листьев картофеля в Черниговской области при засушливых, влажных и среднемноголетних условиях. Из рисунка видно, что засушливые условия отрицательно влияют на площадь листьев картофеля, максимум составляет  $0,50 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . В течение всей вегетации площадь листьев при засушливых условиях очень плохо развивается, что нельзя сказать о влажных условиях. При влажных условиях площадь листьев картофеля довольно хорошо развивается, даже лучше, чем при среднемноголетних условиях. Максимум при влажных условиях замечен в шестую, седьмую и восьмую декаду и равен  $1,81 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . Это говорит о том, что влажные условия хорошо влияют на площадь листьев картофеля. При среднемноголетних условиях в Черниговской области площадь листьев нормально развивалась в течение всей вегетации и достигла максимума в пятую декаду вегетации, затем немного снизилась. Максимум замеченный в пятую декаду вегетации равен  $1,76 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . Из рисунка можно сделать вывод, что на площадь листьев картофеля хорошо влияют влажные условия и губительно влияют засушливые условия.

На рис.3 представлена биомасса клубней картофеля при засушливых, влажных и среднемноголетних условиях в Черниговской области. Из рисунка видно, что засушливые условия губительно влияют на биомассу клубней картофеля, биомасса клубней картофеля в течение всей вегетации очень плохо развивается и не набирает массу, даже в конце вегетации биомасса клубней картофеля всего составляет  $251,264 \text{ г}/\text{м}^2$ . При влажных условиях биомасса клубней развивается хорошо, в конце вегетации биомасса клубней картофеля составляет  $1312,9 \text{ г}/\text{м}^2$ . При среднемноголетних условиях биомасса клубней картофеля нормально развивается в течение всей вегетации и в конце вегетации набирает массу и составляет  $509,8 \text{ г}/\text{м}^2$ . Из рисунка можно сделать вывод, что губительными для биомассы клубней картофеля являются засушливые условия, а нормальными условиями являются влажные и среднемноголетние условия в Черниговской области.

Характерной особенностью размножения колорадского жука является растянутость периода яйцекладки до двух-трех месяцев. За это время одна самка вредителя может отложить до 1000-1500 яиц, из которых при благоприятных условиях может развиваться до 50 % личинок старших возрастов и молодых жуков.

Рассмотрим, плодовитость самок колорадского жука при различных условиях в Черниговской области. На рис. 4 дана плодовитость самок колорадского жука при засушливых, влажных и среднемноголетних условиях в Черниговской области. Из рисунка видно, что плодовитость самок колорадского жука при засушливых условиях в начале вегетации составляет 23 особи на  $1 \text{ м}^2$ . В дальнейшем происходит дальнейшая плодовитость самок колорадского жука, увеличивается и к пятой декаде уже наблюдается 37 особей на  $1 \text{ м}^2$ . Затем после пятой декады вегетации плодовитость самок колорадского жука прекращается. Это говорит о том, что при высокой температуре и небольших осадках плодовитость самок колорадского жука увеличивается. Из рисунка видно, что при влажных условиях плодовитость самок колорадского жука начинается с первой декады вегетации и составляет 13 особей на  $1 \text{ м}^2$ . В дальнейшем происходит дальнейшая плодовитость самок колорадского жука, увеличивается и к пятой декаде уже наблюдается 27 особей на  $1 \text{ м}^2$ . Затем после пятой декады вегетации плодовитость самок колорадского жука прекращается. Это говорит о том, что низкая температура и высокие осадки отрицательно влияют на плодовитость самок колорадского жука. Из рисунка видно, что при среднемноголетних условиях плодовитость самок колорадского жука начинается с первой декады вегетации и составляет 18 особей на  $1 \text{ м}^2$ . В дальнейшем происходит дальнейшая плодовитость самок колорадского жука, увеличивается и к пятой декаде уже наблюдается 32 особи на  $\text{м}^2$ . Затем после пятой декады вегетации плодовитость самок колорадского жука прекращается.

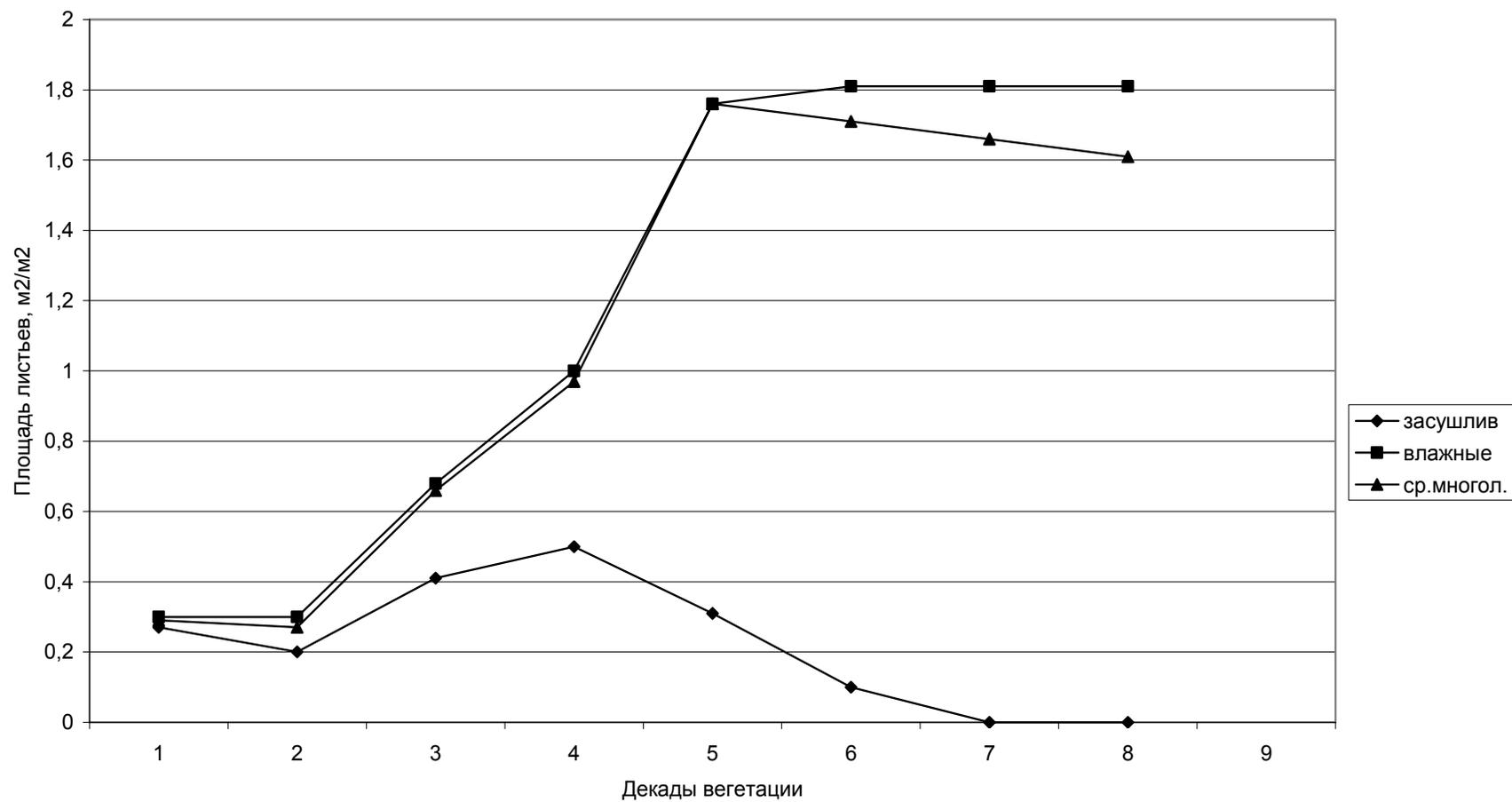


Рис. 2 - Динамика площади листьев картофеля в Черниговской области при засушливых, влажных и среднемноголетних условиях.

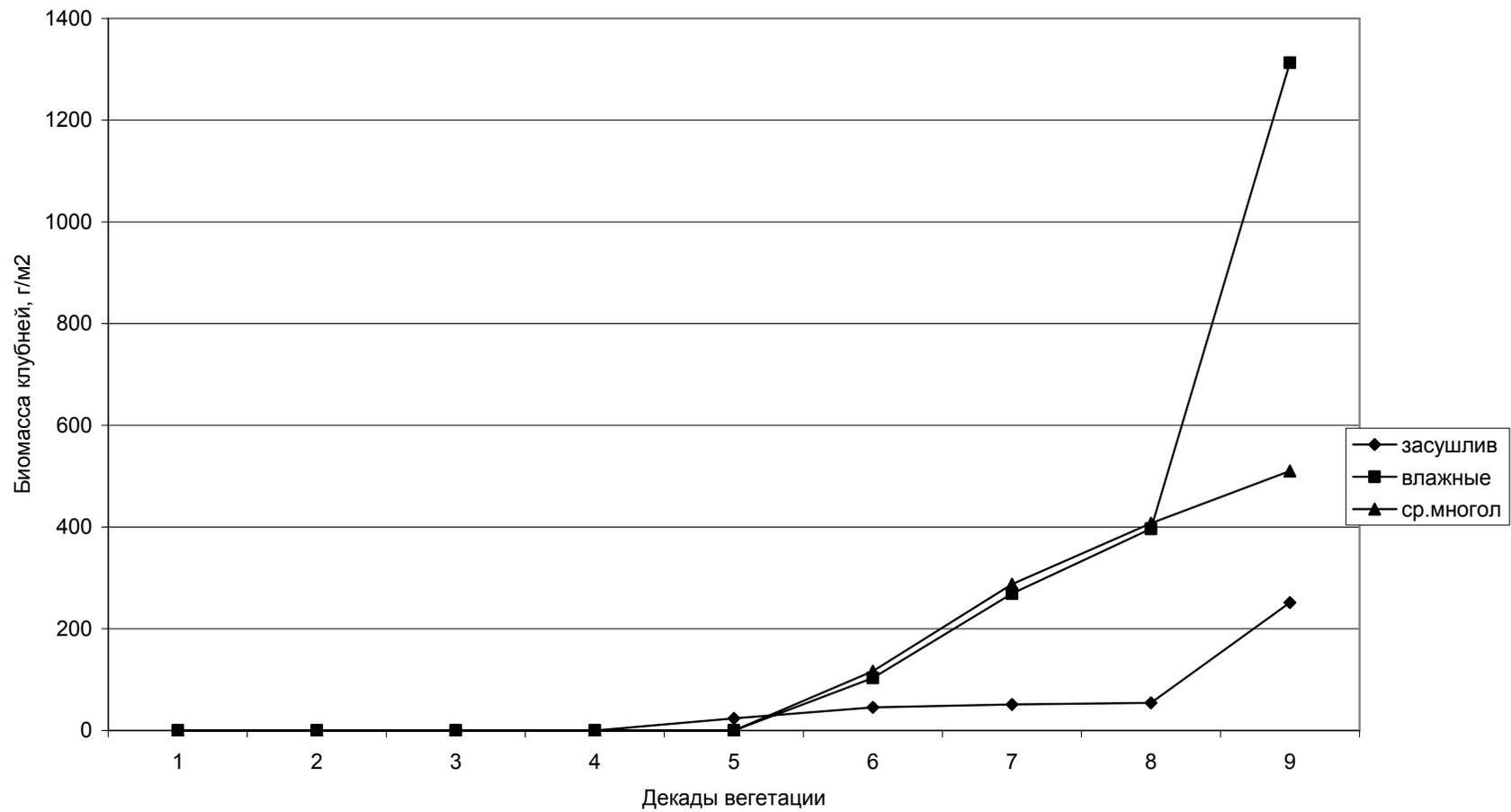


Рис. 3 - Биомасса клубней картофеля при засушливых, влажных и среднемноголетних условиях в Черниговской области.

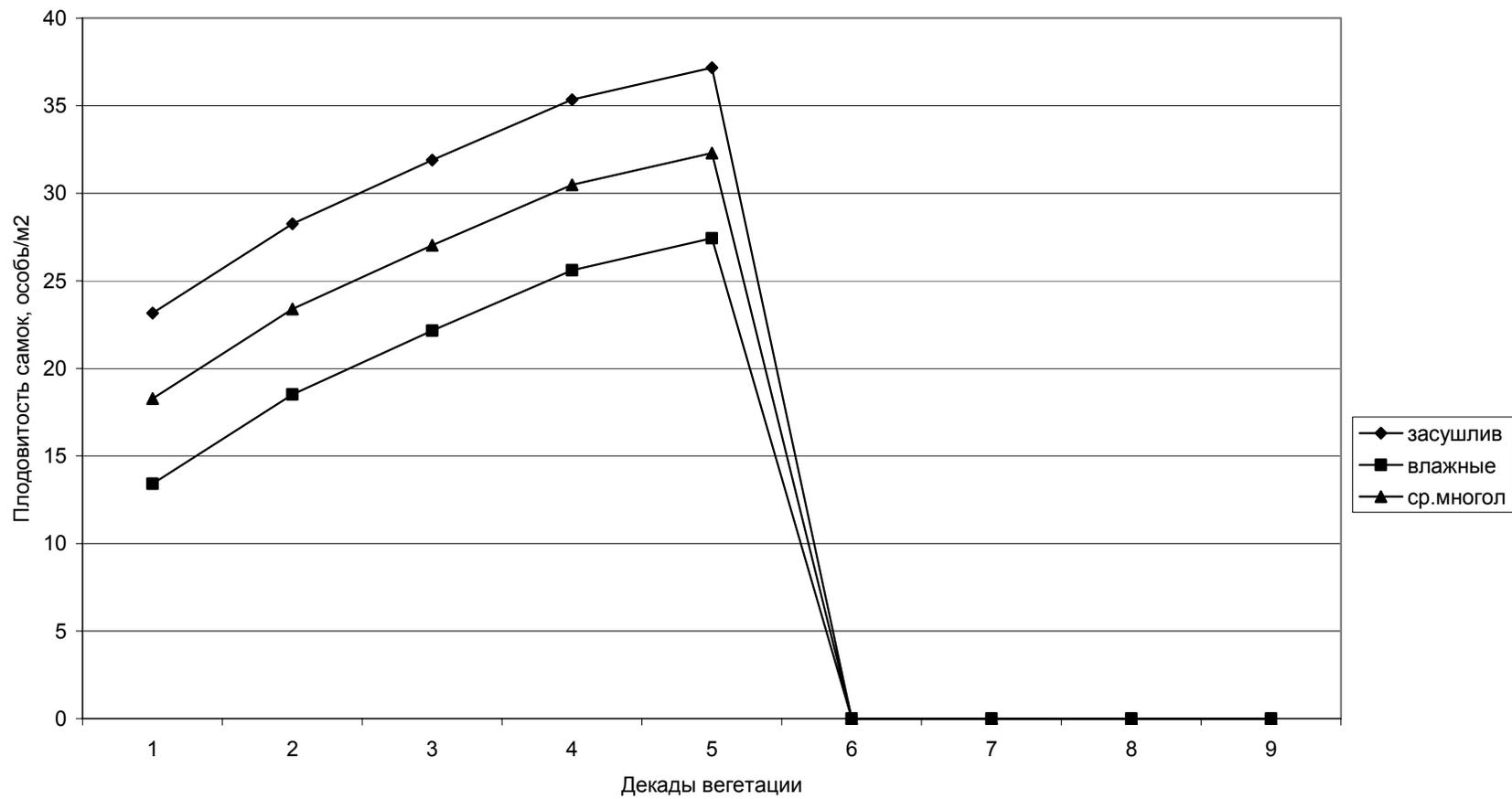


Рис. 4 - Плодовитость самок колорадского жука при засушливых, влажных и среднемноголетних условиях в Черниговской области.

**Висновки.** В чисельних експериментах з моделлю виконана оцінка впливу засушливих, вологих і середньоміжрічних умов на розвиток популяції колорадського жука і формування урожайності картоплі за умов Чернігівської області.

Оцінено розвиток популяції колорадського жука і формування урожайності картоплі в Чернігівській області. Таким чином, нами отримано комплекс кількісних показників, що характеризують вплив засушливих, вологих і середньоміжрічних умов на формування популяції колорадського жука і формування урожайності картоплі в цілому за умов Чернігівської області.

### Список літератури

1. Бей-Буенко Г.Я. Общая энтомология. –М.: Высшая школа, 1980. – 416 с.
2. Богданов-Катков Н.Н. Колорадский картофельный жук. – М.: Сельхозгиз, 1947. -200 с.
3. Васильев С.В., Поляков И.Я., Саулич М.И., Сергеев Г.Е. Алгоритм решения задач прогнозирования многофакторного процесса динамики численности популяции // Труды ВИЗР. – 1975. –Вып. 50. –С. 139-165.
4. Васильев С.В., Поляков И.Я., Сергеев Г.Е. Теория и методы использования моделирования и ЭВМ в защите растений // Труды ВИЗР. – 1973. –Вып. 39. –С. 61-119.
5. Вольвач В.В. Методическое пособие гидрометеорологическим станциям и постам по прогнозированию сроков развития колорадского жука / Под ред. док. геогр. наук А.П. Федосеева. – М.: Гидрометеиздат, 1975. –С.6.
6. Полуэктов Р.А., Пых Ю.А., Швытов Н.А. Динамические модели экологических систем. –Л.: Гидрометеиздат, 1981. -286 с.
7. Поляков И.Я., Семенов А.Я. Научные и организационные проблемы прогнозов в защите растений // Экологические основы стратегии и тактики защиты растений. –Л.: Гидрометеиздат, 1979. –С. 17-29.
8. Свидерская С.М. Оценка влияния агрометеорологических условий на развитие колорадского жука с помощью модели экологических взаимодействий в системе «среда – инфекция – вредитель – растение» // Метеорология, климатология и гидрология. -2001. -№ 43. с. 116-127.
9. Финаков В.К. Колорадский жук и меры борьбы с ним. – Киев: Изд-во АН УССР, 1956. -121 с.
10. Яковлев Б.В. Колорадский жук. – Рига, 1960. -152 с.
11. Яхимович Л.А. Особенности развития и размножения колорадского жука (литературный обзор) // Труды ВИЗР. – 1967. –Вып. 27. –С. 245-294.
12. Curry R.V. Dynamic simulation of plant growth. I. Development of a model // Trans. ASAE. -1971. – V.14 -№5. –Р. 946-959.

### **Моделювання впливу агрометеорологічних умов на формування продуктивності картоплі та розвиток популяції колорадського жука в Поліссі. Свидерська С.М.**

Були представлені результати чисельних експериментів з оцінки впливу посушливих, вологих і середньоміжрічних умов на розвиток популяції колорадського жука і формування врожайності картоплі в умовах Чернігівської області. В основу чисельних експериментів покладено модель формування врожайності картоплі та розвиток популяції колорадського жука при різних агрометеорологічних умовах.

**Ключові слова:** колорадський жук, популяція, модель, картопля, опади, температура повітря, розвиток, особь.

### **Modeling of influencing of agrometeorological terms on forming productivity of potato and development of population Colorado beetle in Polesje. Sviderskaya S.M.**

The results of numeral experiments as evaluated by influencing of droughty, moist and middle of long standing terms on development of population Colorado beetle and forming of productivity of potato as it applies to the terms of the Chernigov region. In the basis of numeral experiments the model of forming of productivity of potato and development of population Colorado beetle at different agrometeorological terms.

**Key words:** Colorado beetle, population, model, potatoes, precipitation, temperature of air, development, an individual.