

С. М. Свидерская, к.г.н.

Одесский государственный экологический университет

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА РАЗВИТИЕ ПОПУЛЯЦИИ КОЛОРАДСКОГО ЖУКА

Излагаются результаты численных экспериментов с моделью по оценке влияния факторов внешней среды на развитие популяции колорадского жука.

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

Введение. Процесс разработки моделей развития вредителей можно по аналогии с моделями, описывающими влияние гидрометеорологических условий на продуктивность сельскохозяйственных культур, разделить на 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.[2,3,10] В качестве показателей, характеризующих вредителя, при таком подходе используются статистические данные о заселенности вредителями сельскохозяйственных угодий, объеме 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 [9]. При этом под внутренними факторами понимается физиологическая конституция, наследственно закрепленная у вида, а под внешними – весь комплекс биотических и абиотических факторов, играющих для него роль условий жизни [1].

Колорадский жук зимует в стадии имаго. При зимовке вредителя наиболее благоприятные условия будут складываться в легких по механическому составу почвах. В этих условиях гибель особей будет наименьшей. Для тяжелых почв характерна более высокая гибель жуков за период зимовки.

Следует отметить, что основная гибель жуков наблюдается в Украине не в период наступления низких отрицательных температур. В работе [4] отмечается, что даже при температуре почвы $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ на глубине зимовки жуков не наблюдается повышенной их гибели. Наибольшее количество жуков погибает в поздний осенний и ранний весенний периоды.

Весенний выход жуков из почвы наблюдается в течение длительного периода. Несмотря на растянутость этого периода во времени основная масса жуков выходит из почвы за сравнительно короткий период времени.

Начало и интенсивность весеннего выхода перезимовавших жуков из почвы зависит от многих факторов и в особенности от погодных условий. В южных районах

нашей страны он отмечался в марте, начале апреля, в центральных районах – в апреле–начале мая, а в более северных районах – еще позже – в мае–июне. В одной и той же точке сроки появления перезимовавших жуков в разные годы также изменяются в значительных пределах.

Начало устойчивого выхода жуков совпадает с установлением среднесуточной температуры воздуха близкой к 10 °С.

Цель этой работы – оценить влияние агрометеорологических условий на развитие популяции колорадского жука.

К **задачам** данной работы следует отнести проведение численного эксперимента по оценке влияния агрометеорологических условий на развитие популяции колорадского жука.

Материалы и методы исследования.

Для установления продолжительности периода созревания перезимовавших жуков (период от выхода до начала яйцекладки) используется следующее уравнение [5]:

$$y = 94,6 + 0,22 t^2 - 8,738t + 14,5\Delta t$$

$$R = 0,92, S_y = \pm 3,4 \text{ дня}, \quad (1)$$

где y – продолжительность периода созревания перезимовавших жуков, дни;

t – средняя за период температура воздуха;

Δt – показатель календарного срока выхода жуков из почвы в виде разности в часах между максимальной длиной дня (21 июня) и длиной дня на дату выхода жуков из почвы;

R – коэффициент множественной корреляции;

S_y – ошибка уравнения.

Поведение перезимовавших жуков после выхода зависит от их физиологического состояния и условий окружающей среды. Показателем физиологического состояния является срок выхода жуков из почвы.

До того как приступить к питанию и размножению, перезимовавшие жуки должны полностью восстановить физиологическое состояние, свойственное периоду активной жизнедеятельности. Продолжительность восстановительного периода зависит от температуры и влажности почвы, в которой зимовали жуки [6,7]. По данным [6], весенний восстановительный период продолжается до двух–трех недель. В это время в организме имаго восстанавливается водный баланс и повышается тканевый обмен. Период от выхода жуков из почвы до начала откладки яиц называется периодом созревания перезимовавших жуков.

Температура и влажность влияют на продолжительность периода созревания в обычном для биологических процессов направлении – весенние дожди и тепло сокращают его, холод и засуха – удлиняют[6].

В [7] обращено внимание на зависимость продолжительность периода созревания от календарного срока выхода жуков из почвы – чем раньше жуки появляются на поверхности почвы, тем через больший срок они приступают к питанию и яйцекладке, и наоборот.

Моделирование развития популяции колорадского жука проведем по методу [5].

Расчет декадной плодовитости самок колорадского жука ведется по следующему уравнению с учетом температурных пределов яйцекладки:

$$K_{pest}^j = 4,87TS1_j + 156,7\tau_g^j - 4,77(\tau_g^j)^2 - 1313, \quad (2)$$

K_{pest} – количество вредителя;

$TS1$ – средняя декадная температура воздуха;

τ_g – продолжительность светлого времени суток.

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 до перехода температуры воздуха через 12 °С осенью. Среднее суточное количество осадков умножается на среднюю продолжительность развития генерации и по следующему уравнению вычисляется средний процент гибели:

$$\begin{aligned} \mu_1 &= 34,54 \ln Q + 20,29 \ln \Sigma W - 141,0, \\ R &= 0,89, S\mu_1 = \pm 5 \%. \end{aligned} \quad (3)$$

где μ_1 – процент гибели особей за осредненный период (O_v – $I_{мл}$);

Q – осредненная продолжительность развития генерации;

ΣW – сумма осадков за осредненный период (O_v – $T_{мл}$).

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

$$\mu_2 = 74 - 5,6 (t - 17,3), \quad (4)$$

где μ_2 – процент гибели;

t – средняя температура за период дополнительного питания жуков в пределах от 14 до 20,5 °С.

Из уравнения (4) следует, что процент гибели может изменяться от 0,8 до 57.

Продолжительность развития колорадского жука зависит от температуры воздуха и ее можно определить по уравнению:

$$\begin{aligned} n_{dev} &= 0,213 (TS1)^2 - 9,77 \cdot TS1 + 126,6, \\ n_{pu} &= 14-25 \text{ } ^\circ\text{C}, \end{aligned} \quad (5)$$

где n_{dev} – продолжительность развития вредителя;

$TS1$ – средняя декадная температура воздуха.

Указание на то, что жуки передвигаются к поверхности почвы при температуре воздуха 9-10 °С, а выходят на поверхность при температуре 14°С и выше, имеется в [6,12]. Поднимаются жуки к поверхности почвы с остановками и потому долго. Так, с глубины 30 см колорадский жук поднимается в течение 4 дней и более.

По данным [12] определенная температура воздуха не всегда является показателем начавшегося выхода жуков, так как при наступлении похолодания и других неблагоприятных условий вышедшие жуки снова уходят в почву. Такие условия наблюдаются при понижении температуры до 12 °С и ниже.

На выживаемость колорадского жука за время зимовки отрицательно сказываются резкие колебания температуры в ранне-весенний период.

Анализ температурных данных о гибели колорадского жука за период развития от яиц до имаго говорит о том, что на размеры суммарной гибели наибольшее влияние оказывают температурные условия и увлажнение.

Отрицательное влияние пониженных температур воздуха на развитие яиц заключается в значительном удлинении периода их развития, что ведет к увеличению гибели в связи с нарушением нормального использования желтка в зародыше [13,14].

Пониженные температуры оказывают отрицательное влияние на все процессы жизнедеятельности личинок младших возрастов. У них нарушается ритм питания, снижается потребление корма, увеличивается расход энергии на поддержание жизнедеятельности за счет снижения расходов на рост. Влияние пониженных температур усиливается повышенной влажностью и действием осадков. Устойчивость личинок третьего и четвертого возраста повышается за счет более интенсивного питания, однако, если в период развития личинок первого и второго возраста условия были неблагоприятными, это сказывается на гибели последующих фаз. Гибель куколок

зависит от влажности почвы, причем влажность, близкая к полной влагоемкости, приводит к гибели до 80-90 % [12].

Результаты исследования и их анализ. В основу работы положена разработанная нами модель формирования урожая картофеля, которая включает описание влияния агрометеорологических условий на развитие популяции колорадского жука и ее вредоносное воздействие на посевы картофеля и формирование урожая в целом [8,11].

Рассмотрим влияние осадков на фоне различного температурного режима на гибель особей. Из рис.1 видно, что при осадках 10 мм и температуре 21,5 °С гибель особей составляет 22 %, при температуре 18,5 °С гибель особей возрастает и составляет 36 %, при понижении температуры до 15,5 °С гибель особей увеличивается до 61 %. При увеличении осадков наблюдается рост гибели особей. Так, например, при увеличении количества осадков с 10 до 70 мм и температуре 21,5 °С гибель особей возрастает от 22 до 60 %, при температуре 18,5 °С и сумме осадков 70 мм гибель особей составляет 75 %, при температуре 15,5 °С и таком же количестве осадков гибель особей достигает 90 %. В условиях, когда осадки свыше 110 мм и температура воздуха 21,5 °С гибель особей составит уже 70 %, при дальнейшем понижении температуры процент гибели увеличивается и при температуре 15,5 °С гибель особей составляет 100 %. Максимальная гибель наблюдается при осадках свыше 180 мм: при температуре 21,5 °С гибель особей составляет 83 %, при температуре 18,5 °С и ниже наблюдается полная гибель особей.

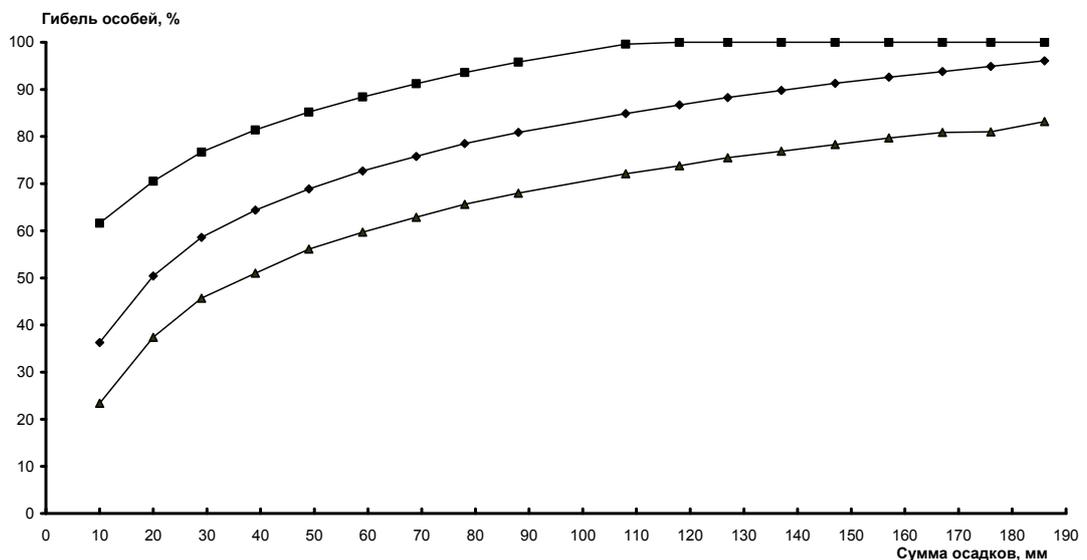


Рис.1. Влияние количества осадков на фоне различного температурного режима на процент гибели особей.

◆—18,5°С ■—15,5°С ▲—21,5°С

Полученные нами количественные характеристики хорошо согласуются с литературными данными. Например, В. В. Вольвач [5] считает, что при сумме осадков 110 мм процент гибели особей составляет 95 %, что существенно образом ограничивает и подавляет рост численности вредителя. Он также считает, что если сумма осадков не превышает 50 мм, создаются благоприятные условия для размножения колорадского жука и его массовой вредоносности.

Представляет интерес оценка влияния средней длины периода развития жуков первой кладки на процент гибели особей. На рис.2 представлена эта зависимость при разных количествах осадков. При осадках 200 мм и длине периода 35 дней, гибель особей составляет 76 %. При уменьшении количества осадков до 50 мм гибель особей составляет 48 %, а при дальнейшем их уменьшении до (10 мм) гибель особей снижается до 15 %. Если длина периода увеличивается, то увеличивается и процент гибели особей. Так, например, при осадках 200 мм увеличение длины периода от 35 до 80 дней вызывает увеличение гибели особей от 75 до 100%. При сумме осадков 50 мм и такому же увеличению длины периода гибель особей возрастает на 47%. Наиболее значительное увеличение гибели особей с ростом длины периода наблюдается на фоне незначительного количества осадков (10 мм). Рост длины периода от 35 до 75 дней вызывает увеличение гибели от 15 до 75%.

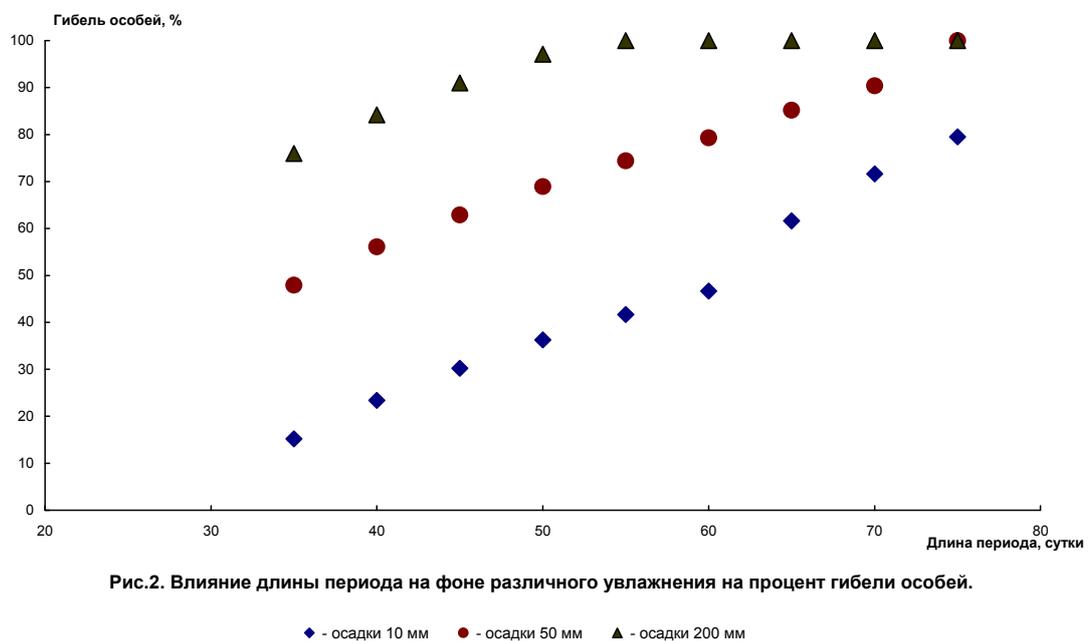


Рис.2. Влияние длины периода на фоне различного увлажнения на процент гибели особей.

◆ - осадки 10 мм ● - осадки 50 мм ▲ - осадки 200 мм

Рассмотрим как влияет температура на процент гибели особей. На рис.3 представлена эта зависимость на фоне различного увлажнения. Общей закономерностью влияния температуры воздуха на гибель особей является уменьшение гибели при повышении температуры воздуха за первую половину вегетации. Однако, эта закономерность имеет свои различия на фоне разного количества осадков за этот период. Как видно из рисунка, уменьшение гибели особей по мере роста температуры более интенсивно идет на фоне небольшого количества осадков. Так, если при осадках 200 мм повышение температуры от 13 до 23 °С приводит к уменьшению гибели от 100 до 80 %, то при осадках около 50 мм в этом же диапазоне изменения температур гибель особей изменяется от 100 до 45 %. В засушливых условиях (при количестве осадков 10 мм за первую половину вегетации) рост температуры вызывает очень значительные уменьшения гибели особей. При повышении температуры на 10 °С (от 13 до 23 °С) гибель особей уменьшается от 75 до 13 %.

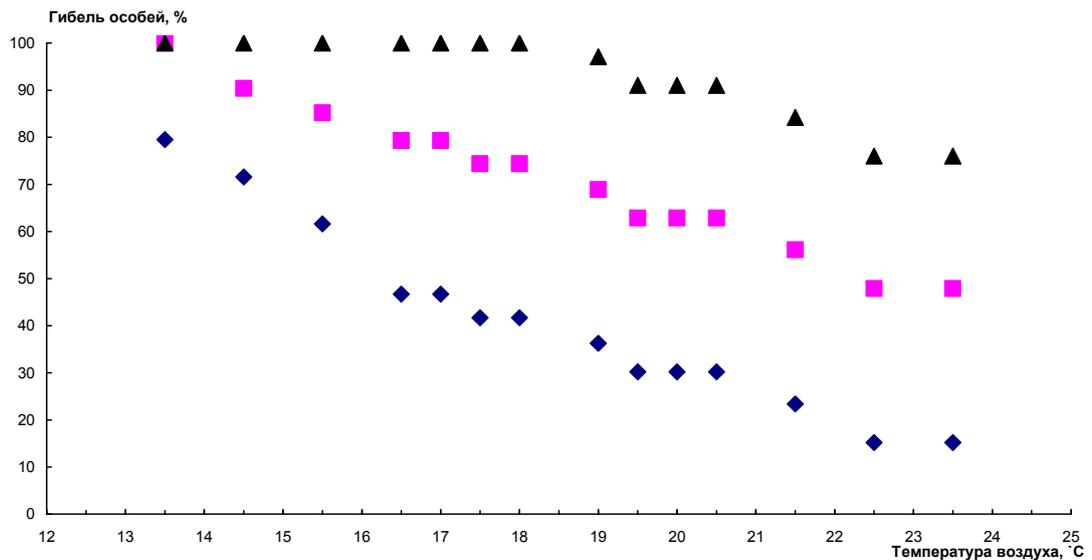


Рис.3. Влияние температуры воздуха за первую половину вегетации на фоне различного увлажнения на процент гибели особей.

◆ - осадки 10 мм ■ - осадки 50 мм ▲ - осадки 200 мм

Нами оценено совместное влияние температуры воздуха и суммы осадков за весенне-летний период на процент гибели особей колорадского жука (табл.1). Как видно из данных таблицы, минимальные значения гибели наблюдаются при высоких температурах (свыше 20 °C) и незначительном (около 10-20 мм) количестве осадков. Снижение температуры на фоне как большого, так и незначительного количества осадков вызывает рост процента гибели особей. Более сильно это проявляется при небольших количествах осадков, когда процент гибели при изменении температуры от 23,5-13,5 °C на фоне 10-30 мм осадков изменяется от 15,2-37,5 % до 79,5-88,8 %. При значительных количествах осадков (170-190 мм) снижение температуры от 23,5 до 18 C вызывает полную гибель особей (99-100%).

Выполненная нами количественная оценка влияния влаготемпературного режима первой половины периода вегетации на относительное количество особей (по отношению к их среднемноголетнему количеству) приведена в табл. 2. Как видно из данных таблицы минимальное количество особей (67-74 %) наблюдается при пониженных температурах воздуха (13,5-16,5 °C) и значительном количестве осадков (140-200 мм). Как уменьшение количества осадков за период, так и повышение температуры воздуха вызывают рост количества жуков. Более значителен этот рост при повышении температуры воздуха на фоне недостаточного увлажнения. Так, при обильных осадках (200 мм) повышение температуры воздуха с 13,5 до 23,5 °C вызывает увеличение количества особей от 67 до 114 %. На фоне малого количества осадков (10 мм) повышение температуры воздуха в этом же диапазоне приводит к росту количества жуков от 109 до 384 %. Наибольшее количество жуков наблюдается при высоких температурах (свыше 20 °C) и небольших количествах осадков (менее 40 мм).

Таблица 1 - Влияние температуры воздуха и суммы осадков за первую половину вегетации на процент гибели особей

Сумма осадков за период, мм	Средняя температура воздуха за период, °С										
	13,5	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5	19,5	20,5	21,5	22,5	23,5
10	79,5	71,6	61,6	46,7	41,7	36,3	30,2	30,2	23,4	15,2	15,2
20	84,7	78,2	70,5	60,8	55,8	50,4	44,3	44,3	37,4	29,3	29,3
40	100	87,1	81,4	74,8	69,8	64,4	58,4	56,4	51,6	43,4	43,3
60	100	93,3	88,4	83,1	78,1	72,7	66,6	66,6	59,7	51,5	51,6
80	100	98,0	93,6	88,9	83,9	78,5	72,4	72,4	65,6	57,4	57,4
100	100	100	98,7	93,4	88,5	83,0	76,9	76,9	70,1	61,9	61,9
120	100	100	100	97,1	92,2	86,7	80,6	80,6	73,8	65,6	65,6
140	100	100	100	100	95,3	89,8	83,8	83,8	76,9	68,8	68,8
160	100	100	100	100	98,0	92,6	85,3	86,5	79,7	71,5	71,5
180	100	100	100	100	100	94,9	87,4	88,9	82,0	73,9	73,7
200	100	100	100	100	100	97,1	91,0	91,0	84,2	84,2	76,0

Таблица 2 - Влияние температуры воздуха и суммы осадков за первую половину вегетации на относительное количество жуков (процент от среднемноголетнего количества особей)

Сумма осадков за период, мм	Средняя температура воздуха за период, °С										
	13,5	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5	19,5	20,5	21,5	22,5	23,5
10	109	121	134	154	185	217	250	255	312	357	384
20	102	109	122	134	145	173	203	223	258	300	324
40	80	97	104	113	122	131	155	169	203	243	262
60	78	86	94	100	108	117	127	140	170	208	225
80	76	78	85	91	99	106	114	121	147	184	199
100	72	74	79	84	91	100	108	112	129	165	178
120	70	72	74	78	85	93	100	105	114	149	161
140	68	70	72	74	79	86	95	99	107	136	147
160	67	69	71	71	75	83	92	92	103	124	135
180	67	68	69	70	72	79	90	91	98	114	124
200	67	67	68	68	70	75	82	86	94	105	114

Выводы. В численных экспериментах с помощью расчетов по модели выполнена оценка влияния осадков на фоне различного температурного режима на гибель особей колорадского жука. Оценено влияние средней длины периода на процент гибели особей колорадского жука, а также изучено влияние температуры на процент гибели особей колорадского жука. Таким образом, нами получен комплекс количественных показателей, характеризующих влияние агрометеорологических условий на развитие популяции колорадского жука.

Список литературы

1. Бей-Биенко Г.Я. Общая энтомология. –М. : Высшая школа, 1980. –416 с.
2. 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.
3. 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.
4. Венгорек В.Г. Исследования зимовки колорадского жука на основе его физиологии // Колорадский жук и меры борьбы с ним. –М.: Изд-во АН СССР, 1958. –Сб.2. –С.53-65.
5. Вольвач В.В. Моделирование влияния агрометеорологических условий на развитие колорадского жука. –Л.: Гидрометеиздат, - 240 с.
6. Колорадский картофельный жук / Под ред. Р.С. Ушатинской. –М.: Наука, 1981. – 375 с.
7. Миндер И.Ф., Козаржевская Э.Ф. Экология зимней диапаузы колорадского жука / Экология и физиология диапаузы колорадского жука. –М.: Наука, 1966. –С. 45-68.
8. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. –Л.: Гидрометеиздат, 1988. –186 с.
9. Полуэктов Р.А., Пых Ю.А., Швытов Н.А. Динамические модели экологических систем. –Л.: Гидрометеиздат, 1981. –286 с.
10. 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.
11. Свидерская С.М. Оценка влияния агрометеорологических условий на развитие колорадского жука с помощью модели экологических взаимодействий в системе «среда-инфекция-вредитель-растение» // Метеорологія, кліматологія та гідрологія, 2001. -№ 43. –С. 116-126.
12. Финаков В.К. Влияние метеорологических факторов на колорадского жука и материалы для построения прогноза его размножения // Научные записки Львовского научно-природоведческого музея. –1954. –Вып. 3. –С. 13-51.
13. Яковлев Б.В. Колорадский жук. –Рига, 1960. –152 с.
14. Яхимович Л.А. Особенности развития и размножения колорадского жука (литературный обзор) // Труды ВИЗР. – 1969. –484 с.

Оцінка впливу агрометеорологічних умов на розвиток популяції колорадського жука. Свидерська С.М.

Викладаються результати чисельних експериментів з моделлю по оцінці впливу факторів навколишнього середовища на розвиток популяції колорадського жука.

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

Estimation of influence agrometeorological conditions on development of a population Colorado beetle. Sviderskaya S.M.

Results of numerical experiments with model are stated according to influence of factors of an environment on development of a population Colorado beetle.

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