

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИИ ЗЛАКОВЫХ ТЛЕЙ И ЕЁ ЭНТОМОФАГОВ (ПАРАЗИТОВ И ХИЩНИКОВ) В РАЗНЫЕ ПЕРИОДЫ ОНТОГЕНЕЗА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ И ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Глазунова Н.Н., Безгина Ю.А., Устимов Д.В.

ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет», г. Ставрополь, Россия (355017, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12) E-mail: juliya.bezgina@mail.ru

Применены статистические методы (регрессионный и корреляционный анализы) с использованием базовой компьютерной программы «Статистика-6» для обработки массива экспериментальных данных, связывающих численность популяции злаковых тлей кокцинеллид, сирфид, хризопид, афидиид, с погодно-климатическими условиями в разные фазы развития озимой пшеницы (трубкавание, колошение, цветение, молочная спелость, восковая спелость и полная спелость) в зависимости от температуры и осадков в зоне Центрального Предкавказья. Установлена количественная взаимосвязь между численностью популяций насекомых и паразитов в виде графических зависимостей и эмпирических уравнений первого, второго и третьего порядков в разные фазы развития озимой пшеницы за период 1998-2005 гг. Показано комбинированное влияние погодно-климатических факторов на развитие популяций насекомых в виде уравнений поверхности, связывающих численность популяций с температурой и количеством осадков, выпадающих в разные периоды онтогенеза озимой пшеницы. По результатам предложено математическое моделирование изменения численности популяции злаковых тлей и её энтомофагов (паразитов и хищников) в разные периоды онтогенеза озимой пшеницы и погодно-климатических факторов в виде эмпирических уравнений первого и второго порядков для региона исследований.

Ключевые слова: злаковые тли, кокцинеллиды, сирфиды, хризопиды, афидииды, температура, осадки, фазы развития озимой пшеницы.

MATHEMATICAL MODELING OF POPULATIONS CEREAL APHIDS, AND ITS ENTOMOPHAGES (PARASITES AND PREDATORS) AT DIFFERENT STAGES OF ONTOGENESIS WINTER WHEAT AND WEATHER AND CLIMATE FACTORS

Glazunova N.N., Bezgina Y.A., Ustimov D.V.

FSBEI HPE «Stavropol State Agrarian University», Stavropol, Russia (355017, h.12, cross-street Zootechnicheskoy, town Stavropol) E-mail: juliya.bezgina@mail.ru

Applied statistical methods (regression and correlation analyzes) using basic computer programs "Statistics-6" for the processing of experimental data linking population numbers of cereal aphids lady beetles, flower flies, hrizopid, afidiid, with climatic conditions in different phases of development of winter wheat (booting, earing, flowering, milk ripeness, waxy ripeness and full ripeness) depending on temperature and precipitation in the area of the Central Caucasus. The quantitative relationship between the size of populations of insects and parasites in the form of plots and empirical equations of the first, second and third orders in different phases of development of winter wheat during the period from 1998-2005. Shows the combined effect of climatic factors on the development of insect populations in the form of surface equations linking populations with temperature and amount of precipitation in different periods of ontogenesis of winter wheat. According to the results of mathematical modeling of the proposed changes population of cereal aphids and its entomophages (parasites and predators) at different stages of ontogenesis of winter wheat and climatic factors in the form of empirical equations of first and second order for the region studies.

Keywords: cereal aphids, coccinellids, flower flies, hrizopidy, afidiidy, temperature, precipitation, phase of development of winter wheat

Влияние на организмы абиотических факторов разнообразно и зависит от интенсивности воздействия каждого отдельно взятого фактора и сочетания их между собой. Численность и распределение определенного вида живого организма в пределах

данной территории (ареал обитания) обусловлены воздействием лимитирующих абиотических факторов, которые жизненно необходимы [5, 6, 8-10].

От температуры и количества выпадаемых осадков будет зависеть и складывающийся гидротермический коэффициент (влажность воздуха и почвы, испаряемость и прогреваемость посевов и т.д.).

Фенологическая фаза развития характеризует состояние озимой пшеницы: количество биомассы, определяет рост растения, активность азотного обмена и формирование структуры будущего урожая, а также расселение и формообразование популяции злаковой тли, место её питания на растении, а также порог вредоносности для самого растения озимой пшеницы [1-4, 7].

Целью наших исследований было проведение анализа и установление взаимосвязи численности популяций злаковых тлей и её энтомофагов (паразитов и хищников) в разные периоды онтогенеза озимой пшеницы и погодно-климатических факторов (температура и количество осадков) в виде эмпирических уравнений первого и второго порядков.

В расчетах были приняты следующие показатели: длительность фазы, τ , дни; средняя точка продолжительности фазы, дата месяца; средняя температура фазы, °C (x) и средняя величина осадков фазы, мм (y).

Для начала мы провели анализ погодно-климатических факторов. Он был выполнен для условий временного интервала исследований и шести фаз развития озимой пшеницы: кущение, трубкование, колошение, цветение, молочная спелость, восковая спелость и полная спелость.

Полученные данные были обработаны с использованием базовой компьютерной программы «Статистика-6». Результаты хода изменений средних фазовых температур и объема осадков в различные периоды онтогенеза озимой злаковой тли и её энтомофагов (кокцинеллиды, сирфиды, хризопиды и афидиды) в 1998-2005 годы.

С помощью программы «Статистика б» мы рассчитали и аналитические зависимости функции температуры « $t = f(\tau)$ » для всех периодов онтогенеза озимой пшеницы за исследуемый временной интервал и для каждого года начиная с 1998 по 2005 гг. включительно.

Рассчитанные программой уравнения хода изменений средних фазовых температур имеют следующий вид:

$$t, \text{ }^{\circ}\text{C}(1998) = 17,58 - 0,3904\tau + 0,0197\tau^2 - 0,0002\tau^3 + 6\text{E}-07\tau^4, \quad (1)$$

$$t, \text{ }^{\circ}\text{C}(1999) = 13,718 - 0,364\tau + 0,0202\tau^2 - 0,0002\tau^3 + 6\text{E}-07\tau^4, \quad (2)$$

$$t, \text{ }^{\circ}\text{C}(2000) = 9,3214 + 0,3583\tau - 0,0125\tau^2 + 0,0003\tau^3 - 2\text{E}-06\tau^4, \quad (3)$$

$$t, \text{ }^{\circ}\text{C}(2001) = 13,42 + 0,1911\tau - 0,0064\tau^2 + 0,0002\tau^3 - -1\text{E}-06\tau^4, \quad (4)$$

$$t, \text{ }^{\circ}\text{C}(2002) = 9,2325 + 0,6506\tau - 0,0262\tau^2 + 0,0005\tau^3 - 3\text{E-}06\tau^4, \quad (5)$$

$$t, \text{ }^{\circ}\text{C}(2003) = 10,25 + 1,1537\tau - 0,0504\tau^2 + 0,0008\tau^3 - 4\text{E-}06\tau^4, \quad (6)$$

$$t, \text{ }^{\circ}\text{C}(2004) = 13,558 + 0,029\tau - 0,0007\tau^2 + 3\text{E-}05\tau^3 - 4\text{E-}07\tau^4, \quad (7)$$

$$t, \text{ }^{\circ}\text{C}(2005) = 11,167 + 0,7529\tau - 0,0318\tau^2 + 0,0005\tau^3 - 3\text{E-}06\tau^4, \quad (8)$$

Также были получены и аналитические зависимости функция осадков « $V_{oc} = f(\tau)$ » для 6 фаз онтогенеза озимой пшеницы за исследуемый временной интервал для каждого года.

Рассчитанные программой уравнения изменения количества осадков в эти же периоды имеют следующий вид:

$$V_{oc, \text{ мм}}(1998) = 17,581 - 0,3904\tau + 0,0197\tau^2 - 0,0002\tau^3 + 6\text{E-}07\tau^4 \quad (9)$$

$$V_{oc, \text{ мм}}(1999) = 173,03 - 10,061\tau + 0,4215\tau^2 - 0,0072\tau^3 + 4\text{E-}05\tau^4 \quad (10)$$

$$V_{oc, \text{ мм}}(2000) = 235,39 - 17,51\tau + 0,7605\tau^2 - 0,012\tau^3 + 6\text{E-}05\tau^4 \quad (11)$$

$$V_{oc, \text{ мм}}(2001) = 185,36 - 3,8552\tau + 0,13\tau^2 - 0,0027\tau^3 + 2\text{E-}05\tau^4 \quad (12)$$

$$V_{oc, \text{ мм}}(2002) = 9,2325 + 0,6506\tau - 0,0262\tau^2 + 0,0005\tau^3 - 3\text{E-}06\tau^4 \quad (13)$$

$$V_{oc, \text{ мм}}(2003) = -48,035 + 6,5934\tau - 0,2714\tau^2 + 0,0044\tau^3 - 2\text{E-}05\tau^4 \quad (14)$$

$$V_{oc, \text{ мм}}(2004) = 109,25 + 16,32\tau - 0,317\tau^2 + 0,0018\tau^3 \quad (15)$$

$$V_{oc, \text{ мм}}(2005) = 48,91 + 4,9541\tau - 0,2368\tau^2 + 0,0036\tau^3 - 2\text{E-}05\tau^4 \quad (16)$$

Для установления графических и аналитических зависимостей изменения численности популяций злаковых тлей, кокциnellид, сирфид, златоглазок и афидиид в различные периоды онтогенеза озимой пшеницы за 1998-2005 гг. полученные эмпирические данные за восемь лет исследований (1998-2005 гг.) были также обработаны с использованием базовой компьютерной программы «Статистика-6». Результаты графической зависимости изменения численности популяций злаковых тлей, кокциnellид, сирфид, златоглазок и афидии в различные периоды онтогенеза озимой пшеницы за 1998-2005 гг. представлены на рисунках.

Статистическая обработка экспериментальных данных позволила установить зависимости «Численность популяции злаковых тлей и ее энтомофагов – различные периоды онтогенеза» по исследуемым годам и получить уравнения линейной регрессии.

Проведенный анализ показал, что аналитические зависимости численности популяции злаковых тлей в различные фазы онтогенеза за период 1998-2005 гг. имеют вид уравнений линейной регрессии третьей степени для первого временного интервала $P_{zt} = a + vt + ct^2 + dt^3$, который характеризует рост численности популяции в посевах озимой пшеницы в среднем он длится до фазы восковой спелости зерна (середины июня), т.е. пока суммарная численность энтомофагов низка. С наступлением восковой спелости зерна численность популяции злаковых тлей описывается уравнением линейной регрессии второй степени $P_{zt} = a + vt + ct^2$. Второй временной интервал приходится на спад численности злаковых тлей в

посевах пшеницы, так как к этому моменту численность её афидофагов увеличивается настолько, что они не только ограничивают рост численности популяции, но и приводят к ее снижению.

При статистической обработке эмпирических данных по численности кокцинелл в процессе онтогенеза озимой пшеницы по годам выявлено, что аналитические зависимости численности их популяции за период 1998-2005 гг. имеют вид уравнений линейной регрессии четвертой степени $P_k' = a' + b'\tau + c'\tau^2 + d'\tau^3 + f'\tau^4$ и характеризуются одним временным интервалом. А это значит, что рост численности популяции данных хищников в посевах озимой пшеницы длится на протяжении всего онтогенеза озимой пшеницы, и лишь с уборкой они покидают агроценоз.

Статистическая обработка эмпирических данных по численности сирфид в процессе онтогенеза озимой пшеницы по годам показала, что аналитические зависимости численности их популяции за период 1998-2005 гг. имеют вид уравнений линейной регрессии четвертой степени $P_k' = a' + b'\tau + c'\tau^2 + d'\tau^3 + f'\tau^4$ и характеризуются одним временным интервалом, как и в случае с кокцинеллами. Численность популяции сирфид так же нарастает в посевах озимой пшеницы на протяжении всего её онтогенеза.

Уравнения линейной регрессии, характеризующие зависимости численности популяции златогазок в процессе онтогенеза озимой пшеницы по годам за период 1998-2005 гг., имеют вид такой же, как и у других хищников: $P_k' = a' + b'\tau + c'\tau^2 + d'\tau^3 + f'\tau^4$ и характеризуются также одним временным интервалом. Значит, и численность популяции златогазок нарастает в посевах озимой пшеницы на протяжении всего её онтогенеза.

При статистической обработке эмпирических данных по динамике численности паразитов злаковых тлей – афидид выявлен общий характер нарастания численности популяции с хищниками. Аналитические зависимости численности их популяции за период 1998-2005 гг. имеют вид уравнений линейной регрессии четвертой степени $P_k' = a' + b'\tau + c'\tau^2 + d'\tau^3 + f'\tau^4$ и характеризуются одним временным интервалом, как и в случае с хищниками (кокцинеллы, сирфиды и златогазки).

Итак, статистическая обработка эмпирических данных по численности афидофагов злаковых тлей в процессе онтогенеза озимой пшеницы по годам показала, что все они имеют одинаковые аналитические зависимости численности их популяций уравнений линейной регрессии четвертой степени $P_k' = a' + b'\tau + c'\tau^2 + d'\tau^3 + f'\tau^4$ и характеризуются одним временным интервалом, и их численность популяций нарастает в посевах озимой пшеницы на протяжении всего её онтогенеза. Отличия наблюдаются лишь в величинах коэффициентов, которые отражают скорость нарастания популяции в агроценозе озимой пшеницы.

Аналитические зависимости численности популяции насекомых и паразитов в различные фазы развития озимой пшеницы позволяют выполнить анализ изменения указанных зависимостей для разных фаз по годам в пределах используемого временного интервала.

Полученные аналитические зависимости изменения численности популяций злаковых тлей, кокцинелл, сирфид, златоглазок и афидии в различные периоды онтогенеза озимой пшеницы за 1998 – 2005 гг. были разбиты по исследуемым фазам (трубкование, колошение, цветение, молочная спелость, восковая спелость и полная спелость) и проанализированы по годам с использованием базовой компьютерной программы «Статистика-6».

Развитие популяций злаковых тлей и ее энтомофагов во всех фазах характеризуется уравнениями линейной регрессии четвертой степени типа

$$y = a + vx + cx^2 + dx^3 + fx^4, \quad (17)$$

где y – численность популяции, P , экз/м²;

x – среднее значение фазы развития, t , дни.

Принимая во внимание тот факт, что численность популяций насекомых и паразитов зависит от двух факторов: температуры, t , °С и количества осадков, V_{oc} , мм, то эти зависимости можно представить в виде поверхности, определяемой уравнениями типа

$$P, \text{ экз/м}^2 = a + v*t + c*V_{oc} \quad (18)$$

$$P, \text{ экз/м}^2 = a - v*t + c*V_{oc} + d*t^2 - e*t*V_{oc} - f*V_{oc}^2, \quad (19)$$

На рисунке представлено графическая зависимость « $P = f(t; V_{oc})$ » в виде поверхности второго порядка для злаковых тлей в период трубкования за 1998-2005 гг., полученные согласно базовой компьютерной программе «Статистика-6».

Изменение численности злаковых тлей, кокцинелл, сирфид, златоглазок и афидий в фазу трубкования в зависимости от температуры и количества осадков происходит по следующим уравнениям:

$$P_{zt} = 4,2393 - 0,7042*t - 0,0644*V_{oc} + 0,0324*t^2 + 6,4406E-5*t*V_{oc} - 0,0004*V_{oc}^2 \quad (20)$$

$$P_k = 4,5927 - 0,5408*t - 0,0103*V_{oc} + 0,0164*t^2 + 0,0008*t*V_{oc} - 1,2169E-5*V_{oc}^2 \quad (21)$$

$$P_c = 12,7143 - 1,5675*t - 0,0278*V_{oc} + 0,0483*t^2 + 0,0019*t*V_{oc} - 7,2263E-6*V_{oc}^2 \quad (22)$$

$$P_3 = 2,7322 - 0,3497*t - 0,0022*V_{oc} + 0,0116*t^2 + 0,0005*t*V_{oc} - 3,4302E-5*V_{oc}^2 \quad (23)$$

$$P_a = 4,6927 - 0,5408*t - 0,0103*V_{oc} + 0,0164*t^2 + 0,0008*t*V_{oc} - 1,2169E-5*V_{oc}^2 \quad (24)$$

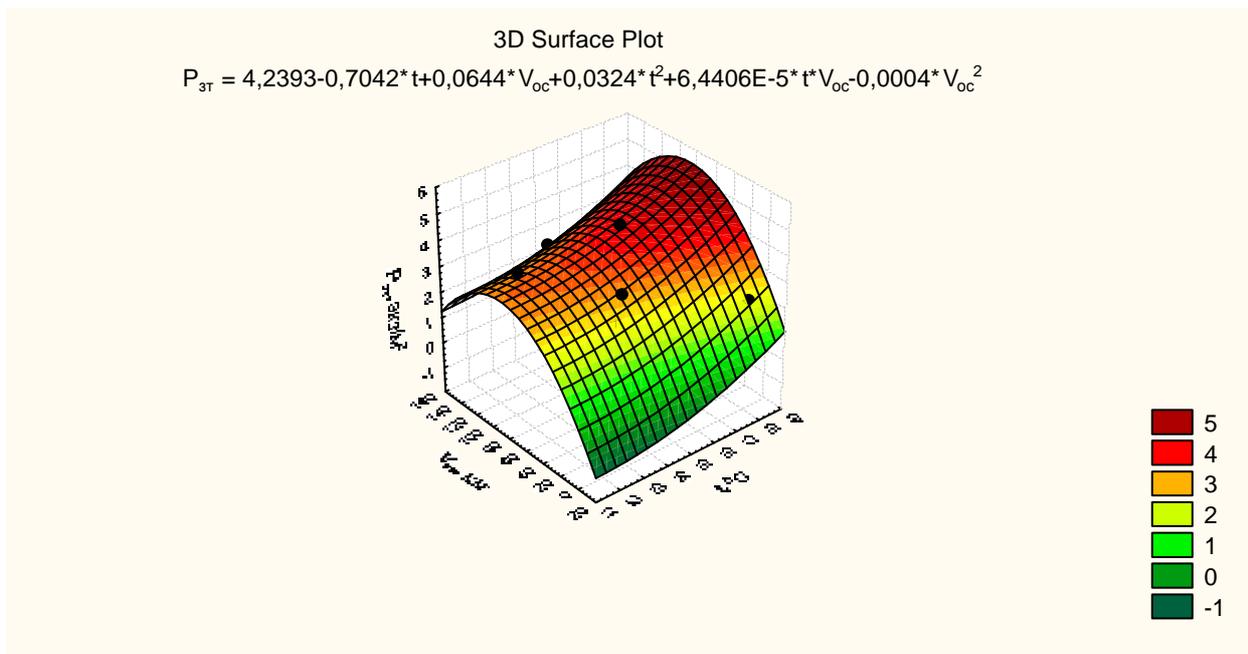


Рисунок – Изменение численности злаковой тли в период трубкования в зависимости от температуры и количества осадков

Изменение численности злаковых тлей, кокцинеллид, сирфид, златоглазок и афидиид в фазу колошения в зависимости от температуры и количества осадков происходит по следующим уравнениям:

$$P_{3T} = 256,1527-34,7261*t-0,2368*V_{oc}+1,1505*t^2+0,0564*t*V_{oc}-0,0035*V_{oc}^2 \quad (25)$$

$$P_K = 2,199-0,2411*t-0,0026*V_{oc}+0,0081*t^2+0,0005*t*V_{oc}-2,5708E-5*V_{oc}^2 \quad (26)$$

$$P_C = 5,5989-0,6922*t-0,0109*V_{oc}+0,022*t^2+0,0011*t*V_{oc}-2,8145E-5*V_{oc}^2 \quad (27)$$

$$P_3 = 9,0751-1,1143*t-0,019*V_{oc}+0,0347*t^2+0,0019*t*V_{oc}-5,2951E-5*V_{oc}^2 \quad (28)$$

$$P_a = 20,7799-2,4933*t-0,0491*V_{oc}+0,0758*t^2+0,0034*t*V_{oc}-7,3513E-6*V_{oc}^2 \quad (29)$$

Изменение численности злаковых тлей, кокцинеллид, сирфид, златоглазок и афидиид в период цветения в зависимости от температуры и количества осадков происходит по следующим уравнениям:

$$P_{3T} = -9236,0332+848,9963*t+32,2469*V_{oc}-18,3929*t^2-1,7754*t*V_{oc}-0,0004*V_{oc}^2 \quad (30)$$

$$P_K = -197,183+18,597*t+0,4823*V_{oc}-0,4178*t^2-0,0279*t*V_{oc}+0,0001*V_{oc}^2 \quad (31)$$

$$P_C = -70,5921+6,6198*t+0,1831*V_{oc}-0,148*t^2-0,0106*t*V_{oc}+4,5388E-5*V_{oc}^2 \quad (32)$$

$$P_3 = -77,57+7,1849*t+0,2421*V_{oc}-0,1578*t^2-0,0134*t*V_{oc}+7,0641E-6*V_{oc}^2 \quad (33)$$

$$P_3 = -77,57+7,1849*t+0,2421*V_{oc}-0,1578*t^2-0,0134*t*V_{oc}+7,0641E-6*V_{oc}^2 \quad (34)$$

Изменение численности злаковых тлей, кокцинеллид, сирфид, златоглазок и афидиид в период молочной спелости в зависимости от температуры и количества осадков происходит по следующим уравнениям:

$$P_{3T} = -73394,3513+6633,8835*t+305,9637*V_{oc}-140,8992*t^2-16,228*t*V_{oc}-0,0771*V_{oc}^2 \quad (35)$$

$$P_K = -323,7326 + 29,6909 * t + 1,305 * V_{oc} - 0,6327 * t^2 - 0,07 * t * V_{oc} - 0,0003 * V_{oc}^2 \quad (36)$$

$$P_C = -124,9711 + 11,514 * t + 0,476 * V_{oc} - 0,2483 * t^2 - 0,0256 * t * V_{oc} - 7,9551E-5 * V_{oc}^2 \quad (37)$$

$$P_3 = -104,1444 + 9,5289 * t + 0,4268 * V_{oc} - 0,2026 * t^2 - 0,0229 * t * V_{oc} - 7,8502E-5 * V_{oc}^2 \quad (38)$$

$$P_a = -100,6538 + 9,275 * t + 0,4181 * V_{oc} - 0,1979 * t^2 - 0,0227 * t * V_{oc} - 5,5101E-5 * V_{oc}^2 \quad (39)$$

Изменение численности злаковых тлей, кокцинелл, сирфид, златоглазок и афидид в период восковой спелости в зависимости от температуры и количества осадков происходит по следующим уравнениям:

$$P_{3T} = 40530,4928 - 3568,0618 * t + 117,3716 * V_{oc} + 78,1158 * t^2 - 4,5169 * t * V_{oc} - 0,1421 * V_{oc}^2 \quad (40)$$

$$P_K = 12839,4598 - 1127,3316 * t + 33,7094 * V_{oc} + 24,6336 * t^2 - 1,2882 * t * V_{oc} - 0,0426 * V_{oc}^2 \quad (41)$$

$$P_C = 2843,6535 - 248,9442 * t + 6,6566 * V_{oc} + 5,4273 * t^2 - 0,2534 * t * V_{oc} - 0,0087 * V_{oc}^2 \quad (42)$$

$$P_3 = 4857,5898 - 425,7651 * t + 11,434 * V_{oc} + 9,2883 * t^2 - 0,4345 * t * V_{oc} - 0,015 * V_{oc}^2 \quad (43)$$

$$P_a = 1836,2989 - 161,1615 * t + 5,2621 * V_{oc} + 3,5282 * t^2 - 0,202 * t * V_{oc} - 0,0066 * V_{oc}^2 \quad (44)$$

Изменение численности злаковых тлей, кокцинелл, сирфид, златоглазок и афидид в период полной спелости в зависимости от температуры и количества осадков происходит по следующим уравнениям:

$$P_K = -668,1925 + 99,6727 * t - 4,386 * V_{oc} - 3,4885 * t^2 + 0,2683 * t * V_{oc} - 0,0011 * V_{oc}^2 \quad (45)$$

$$P_C = -70,6893 + 10,3104 * t - 0,4396 * V_{oc} - 0,3613 * t^2 + 0,0271 * t * V_{oc} - 0,0001 * V_{oc}^2 \quad (46)$$

$$P_3 = -81,1494 + 12,4285 * t - 0,5708 * V_{oc} - 0,4358 * t^2 + 0,0327 * t * V_{oc} + 0,0001 * V_{oc}^2 \quad (47)$$

$$P_a = -74,6584 + 11,4285 * t - 0,5295 * V_{oc} - 0,3991 * t^2 + 0,0316 * t * V_{oc} - 4,4489E-5 * V_{oc}^2 \quad (48)$$

На основании проведенного анализа и расчетов по комбинированному влиянию погодных-климатических факторов на развитие популяций злаковых тлей и ее энтомофагов в виде уравнений поверхности, связывающих численность популяций с температурой и количеством осадков, выпадающих в разные периоды онтогенеза озимой пшеницы по предложенному моделированию, можно проводить прогноз численности популяций в зависимости от погодных-климатических факторов в разные периоды онтогенеза и на основании полученных данных разрабатывать мероприятия по контролю численности популяций насекомых и их энтомофагов.

Список литературы

1. Взаимоотношения между видами в консорции озимой пшеницы / Глазунова Н.Н. // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2006. - № 5. – С. 65-70.
2. Влияние лесополос на энтомофауну в агроценозе озимой пшеницы / Глазунова Н.Н. // Защита и карантин растений. – 2007. - № 4. – С. 44-45.

3. Есаулко А.Н. Оптимизация систем удобрений в севооборотах Центрального Предкавказья как фактор повышения плодородия почвы и продуктивности сельскохозяйственных культур: диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук. – Ставрополь, 2006.
4. Пути сохранения ценных компонентов агробиоценозов / Глазунова Н.Н., Ченикалова Е.В. // Защита и карантин растений. – 2006. - №8. – С. 19-20.
5. Путь в большую науку / Морозов В., Сотникова С. // Высшее образование в России. – 2006. - № 2. – С. 125-128.
6. Трухачев В.И. Развитие науки – путь к успеху! // Достижения науки и техники АПК. – 2010. - № 9. – С. 3-4.
7. Фитосанитарное состояние и защита озимой пшеницы от сосущих вредителей в Центральном Предкавказье / Добронравова М.В., Глазунова Н.Н. // Современные проблемы науки и образования. – 2013. - № 3. – С. 425.
8. Устойчивость зерновых культур к вредителям и их вредоносность на современных сортах озимой пшеницы / Ченикалова Е.В., Мухина О.В., Щербакова С.А., Скребцова Т.И., Безгина Ю.А., Любая С.И. – Ставрополь, 2008.
9. Экологические аспекты получения и применения комплексных биопрепаратов растительного происхождения в технологиях возделывания зерновых культур / Безгина Ю.А. / диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. – Ставрополь, 2001.
10. Эффективность физических и биологических приемов при подавлении развития микроорганизмов на зерне озимой пшеницы / Безгина Ю.А., Авдеева В.Н. // В сборнике: Новые технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности с использованием электрофизических факторов и озона. – 2012. – С. 6-8.

Рецензенты:

Ченикалова Е.В., д.б.н., профессор кафедры химии и защиты растений ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет», г. Ставрополь.

Стародубцева Г.П., д.с.-х.н., профессор, заведующая кафедрой физики ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет», г. Ставрополь.