

УДК 632.782:632.9:633.18(597.1)

© А. Л. Монастырский и Е. С. Сугоняев

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ
ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ РИСА
В СЕВЕРНОМ ВЬЕТНАМЕ.****III. ОПЫТ РАСЧЕТА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОРОГА
ВРЕДНОСТИ РИСОВОЙ ЖЕЛТОЙ СТЕБЛЕВОЙ ОГНЕВКИ
SCIRPOPHAGA INCERTULAS WALK.
(LEPIDOPTERA, PYRALIDAE)**

[A. L. MONASTYRSKII a. E. S. SUGONYAEV.

ECOLOGICAL BASIS OF INTEGRATED PEST MANAGEMENT ON RICE IN NORTH VIETNAM.

III. A SUGGESTED METHOD OF COUNTING ECONOMICAL THRESHOLD
FOR YELLOW STEM BORER, SCIRPOPHAGA INCERTULAS WALK. (LEPIDOPTERA, PYRALIDAE)]

Экстенсивная технология возделывания риса, принятая в странах Юго-Восточной Азии, базируется на искусственном формировании и размещении на поле единиц растительной популяции — «гнезд», именуемых хиллами (hill). Количество растений на единице площади и количество получаемых от них репродуктивных элементов (метелок) регулируются агротехническими приемами, в силу чего эти показатели обладают высокой модификационной изменчивостью и низкой наследуемостью (Ока, 1956; Ляховкин, 1992). Такая специфика практики выращивания риса требует применения адекватного подхода в изучении вредоносности насекомых.

В предыдущей статье данной серии, посвященной разработке экономического порога вредоносности (ЭПВ) рисовой листовертки-огневки (*Sparganocrocis medinalis*), была продемонстрирована флуктуация стеблевого объема рисового хилла в процессе вегетации (Монастырский, Сугоняев, 1995). Фаза кущения характеризовалась интенсивным нарастанием стеблевого объема; в фазе выметывания—цветения наблюдалось сокращение количества стеблей. В результате среднее количество продуктивных стеблей в одном хилле несущественно отличалось от среднего количества стеблей в момент высадки хиллов. С одной стороны, данная картина свидетельствует о высоких потенциальных возможностях рисового растения, с другой — об ограниченной возможности их реализации в условиях принятой в Северном Вьетнаме технологии возделывания культуры. Поскольку сокращение стеблевого объема хилла происходило естественным путем, а не под влиянием вредоносной деятельности насекомых, можно предположить, что флуктуация является результатом взаимовлияния растений. Подтверждение данного предположения требует проведения специальных исследований. Однако сам факт динамики стеблевого объема хилла определяет необходимость учета вышеизложенных процессов при разработке ЭПВ стеблевых и других вредителей риса, что положено в основу

разработки ЭПВ желтой стеблевой огневки (ЖСО) и для чего проводилось сравнительное биометрическое исследование продуктивных объемов рисового хилла, неповрежденных и поврежденных ЖСО.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились на широко распространенном во Вьетнаме сорте риса CR-203 второго (летнего) сезона выращивания. Для получения статистически надежного материала выборка составляла более 600 хиллов. Анализ популяции хиллов проводился по количеству продуктивных стеблей как у «гнезд», поврежденных гусеницами ЖСО, так и без признаков повреждения, а также по массе семян одного хилла и массе семян одной метелки.

Для проведения анализа использовались методы математической статистики, принятые в биометрических исследованиях. Для определения закономерностей случайных вариаций признаков применялись: 1) методика построения вариационных рядов и определения характера распределения; 2) методика сравнения эмпирических вариационных рядов с теоретическими при помощи критерия соответствия χ^2 ; 3) методика корреляционного и регрессионного анализов (Рокицкий, 1973; Глотов и др., 1982). Расчеты производились с использованием вычислительного устройства fx 6300G GASIO.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Необходимо отметить, что вероятность обнаружения хилла с поврежденными гусеницами ЖСО стеблями невысока. Даже во втором (летнем) сезоне выращивания риса, когда поколения вредителя более многочисленны, появление в случайно взятом хилле признаков повреждений является редким событием. Так, в нашем эксперименте из 633 просмотренных хиллов в 70 случаях был поврежден один стебель, у 19 хиллов наблюдалось два поврежденных стебля, у 5 — 3 и у одного — по 4 и 5 стеблей, пораженных гусеницами огневки. Исследование данного вариационного ряда свидетельствует о явной асимметрии в характере распределения и крайне невысокой вероятности обнаружения хилла с признаками повреждений. Биометрические характеристики полученного распределения ($n = 633$, $\bar{x} = 0.208$, $\sigma = 0.322$, $P = 0.00033$ или 0.033%) указывают на особенности, присущие распределению Пуассона. Однако использование установленного характера распределения поврежденных хиллов не позволяет подойти к расчету ЭПВ в силу того, что поврежденные и неповрежденные вредителем хиллы имели весьма варьирующий объем продуктивных стеблей, от которого зависела степень их поврежденности. Приняв во внимание данный факт, мы провели исследование характера распределения стеблевых объемов хиллов, включая поврежденные ЖСО.

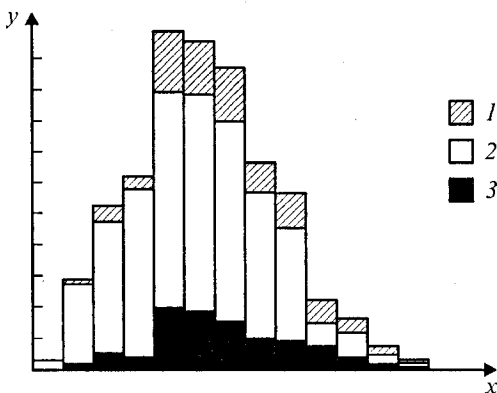
На рис. 1 изображены гистограммы вариационных рядов для общего количества продуктивных стеблей в генеральной совокупности (1); для хиллов без признаков повреждений (2) и для хиллов, несущих продуктивные стебли, поврежденные ЖСО (3). Основные статистические показатели составляли: 1) для генеральной совокупности: $n = 633$, $\bar{x} = 9.11$, $\sigma = 2.29$, $S_{\bar{x}} \cdot t_{0.05} = \pm 0.194$; 2) для хиллов без признаков повреждения: $n = 537$, $\bar{x} = 9.01$, $\sigma = 2.29$, $S_{\bar{x}} \cdot t_{0.05} = \pm 0.194$; 3) для хиллов, в которых хотя бы один стебель поврежден ЖСО: $n = 96$, $\bar{x} = 9.65$, $\sigma = 2.25$, $S_{\bar{x}} \cdot t_{0.05} = \pm 0.450$. Важно отметить, что средние значения объемов хиллов трех групп не различались.

Последующий анализ строился на определении типа распределения стеблевых объемов хиллов в приведенных выше вариационных рядах. В данном случае полученные эмпирические значения сравнивались с теоретическими, характерными для биномиального и нормального распределений.

Кроме того, приведенные на рис. 1 вариационные ряды проверялись на идентичность присущего им нормального распределения. Сравнение

Рис. 1. Гистограммы вариационных рядов по количеству стеблей в выборке рисовых хиллов.

1 — общее количество продуктивных стеблей; 2 — количество стеблей, неповрежденных гусеницами ЖСО; 3 — количество стеблей, поврежденных гусеницами ЖСО. По оси абсцисс — количество стеблей в одном хилле; по оси ординат — частота встречаемости хиллов.



параметров распределений проводилось по критерию χ^2 . Расчеты показали, что все ряды значений очень близки $\sigma^2 = 11.21$, $0.5 < P < 0.25$. Как будет показано далее, установленный факт идентичности распределений является весьма важным условием для расчета ЭПВ ЖСО.

Основной вывод, который можно сделать по результатам вышеприведенного анализа стеблевых объемов рисовых хиллов, сводится к следующему.

Руководствуясь установленными частотой встречаемости рисовых хиллов определенного объема или вероятностью, с которой они присутствуют в случайно взятой репрезентативной выборке, всегда можно определить количество поврежденных хиллов. Если при этом принять во внимание, что каждый хилл, пораженный ЖСО, несет один поврежденный стебель и вероятность встречи двух поврежденных стеблей крайне мала, то для хиллов определенного объема можно рассчитать степени повреждения. Полученные значения вероятности встречи хиллов определенного объема и степени их повреждения представлены в табл. 1.

Использование настоящей таблицы можно проиллюстрировать на гипотетической ситуации. Например, в выборке, содержащей N хиллов, количество пораженных гусеницами ЖСО составляет n хиллов. Это означает, что среди хиллов, объем которых составляет, например 8 продуктивных стеблей и численность которых будет равна $0.159 \cdot N$, количество поврежденных составит $0.136 \cdot n$ хиллов. Общее количество продуктивных стеб-

Таблица 1

Вероятность появления хиллов разного стеблевого объема в случайно взятой выборке и степень их повреждения гусеницами ЖСО

Количество продуктивных стеблей	Вероятность встречи хиллов без признаков повреждения ЖСО, P	Вероятность встречи хиллов с признаками повреждения ЖСО, P	Степень повреждения хиллов разного объема (в долях), d
4	0.016	0.007	0.25
5	0.038	0.021	0.2
6	0.074	0.048	0.17
7	0.124	0.089	0.143
8	0.159	0.136	0.125
9	0.175	0.171	0.111
10	0.159	0.177	0.1
11	0.12	0.149	0.091
12	0.074	0.103	0.083
13	0.038	0.058	0.077
14	0.016	0.027	0.071
15	0.006	0.01	0.067
16	0.002	0.003	0.063

Фактическая продуктивность хиллов разного стеблевого объема без признаков повреждения и поврежденных гусеницами ЖСО (в г)

Количество продуктивных стеблей в хилле, $x = l$	Хиллы без признаков повреждений ЖСО		Хиллы, поврежденные ЖСО	
	масса семян в 1 хилле	масса семян 1 метелки	масса семян в 1 хилле	масса семян 1 метелки
4	5.97	1.49	—	—
5	8.32	1.66	3.76	0.75
6	9.43	1.57	6.1	1.02
7	10.25	1.46	7.71	1.1
8	12.13	1.52	8.53	1.07
9	12.71	1.41	9.73	1.08
10	13.21	1.32	10.97	1.1
11	14.37	1.3	11.18	1.02
12	15.45	1.28	15.12	1.26
13	16.89	1.3	13.34	1.03
14	19.73	1.41	15.64	1.12
15	20.66	1.33	17.06	1.13
16	20.03	1.25	—	—

лей в хиллах данного объема определится как $8 \cdot 0.136 \cdot n$ или $1.088 \cdot n$, а количество поврежденных — $1.088 \cdot n \cdot d$.

Дальнейшие исследования касались анализа продуктивности хиллов разного стеблевого объема и определения потерь массы семян по причине вредоносной деятельности ЖСО. В табл. 2 представлены данные по продуктивности одного хилла, имеющего разный стеблевой объем, и одной метелки. Показатели приведены для хиллов без признаков вредоносной деятельности огневки, а также для хиллов, в которых хотя бы один стебель поврежден этим вредителем.

Установлен ряд биометрических закономерностей, присущих рисовым хиллам. Так, средняя масса семян хилла возрастает с увеличением объема продуктивных стеблей, что находит вполне естественное объяснение. Вместе с тем коррелятивные связи между объемом продуктивных стеблей (X) и массой семян (Y) различались у хиллов, имеющих поврежденные (2) и неповрежденные (1) стебли (рис. 2). Представленные на рис. 2 теоретические линии регрессии параллельны вследствие одинакового коэффициента наклона b , а доверительные интервалы $S_{\text{бых}}$ указывают на существенность различий между установленными связями. С одной стороны, это позволяет видеть различия между средней массой семян, полученных от одного продуктивного стебля в поврежденных ($\bar{x} = 1.06 \pm 0.087$) и неповрежденных

($\bar{x} = 1.41 \pm 0.079$) хиллах, а с другой (и это является наиболее существенным моментом) — позволяет определить потери продуктивности, присущие хиллам разного стеблевого объема. Чтобы придать результатам анализа прогностический характер было реше-

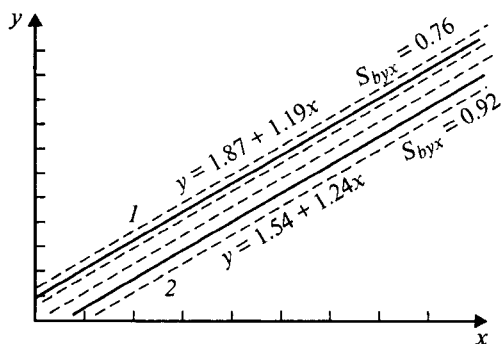


Рис. 2. Связь между количеством продуктивных стеблей (x) и массой семян (y) в хиллах, неповрежденных (1) и поврежденных (2) ЖСО.

Теоретические и эмпирические вариационные ряды массы семян в хиллах без признаков повреждения и поврежденных ЖСО

Количество продуктивных стеблей в хилле, $x = i$	Масса семян в хиллах без признаков повреждений ЖСО (в г)		Масса семян в хиллах, поврежденных ЖСО (в г)	
	эмпирический вариационный ряд массы семян в f хиллах i -го объема	теоретический вариационный ряд массы семян в f хиллах i -го объема	эмпирический вариационный ряд массы семян в f хиллах i -го объема	теоретический вариационный ряд массы семян в f хиллах i -го объема
4	23.88	58.12	—	2.64
5	239.96	158.77	7.52	9.97
6	452.64	357.98	36.6	29.39
7	604.75	675.18	38.55	65.77
8	1103.83	967.27	162.07	117.65
9	1143.9	1176.84	175.14	170.29
10	1070	1169.92	164.55	197.65
11	804.72	955.09	111.8	186.09
12	710.7	639.54	136.08	141.64
13	253.35	350.07	93.38	87.19
14	256.49	161.04	46.92	44.3
15	103.3	59.3	34.12	18.01
16	20.03	18.79	—	6.11

но воспользоваться теоретическими значениями массы семян для хиллов разного объема, которые определялись по линиям регрессии (рис. 2). Одновременно была использована теоретическая частота встречаемости хиллов разного стеблевого объема, рассчитанная на основании значений вероятности, представленных в табл. 1.

Таким образом, в табл. 3 приведены теоретический и эмпирический ряды семян в хиллах разного стеблевого объема без признаков повреждения и поврежденных гусеницами ЖСО. Сравнение обоих рядов по критерию χ^2 показало их сходство на очень высоком уровне значимости ($\chi^2 = 0.126$, $P > 0.99$), что позволяет использовать теоретическую массу семян хиллов разного объема для расчета потерь продуктивности, вызванных вредоносной деятельностью ЖСО.

Последовательность вычислений представлена в табл. 4.

Потери выражаются суммой произведений разницы между массой семян неповрежденного хилла (M_i) и поврежденного (m_i) каждого стеблевого объема (i) на теоретическую частоту (вероятности, с которой встречаются поврежденные хиллы (f_i)). Следовательно, $\sum f_i (M_i - m_i) = 0.71 (6.68 - 3.72) + 1.97 (7.86 - 5.06) + \dots + 0.31 (20.88 - 19.7) = 203.1$.

Относительная величина потеря урожая в виде долей или процентов определяется отношением полученной суммы к общей массе семян выборки так, если бы все они не были повреждены огневкой, а именно $\sum M_i (F_i + f_i)$, где F_i — частота, с которой встречаются хиллы i -го объема, неповрежденные гусеницами ЖСО.

Тогда относительные потери L (%) составят:

$$\frac{\sum f_i (M_i - m_i)}{\sum M_i (F_i + f_i)} \times 100,$$

или в нашем случае L (%) = $[203.1/6.68 (8.7 \pm 0.71) + 7.86 (20.2 + 1.97) + \dots + 20.88 (0.9 + 0.31)] \times 100 = (203.1/8027.03) \times 100 = 2.53$ %.

Расчеты показали, что в нашем эксперименте при среднем количестве продуктивных стеблей 9.01 на один хилл, поврежденности хиллов (d^h)

Определение потерь продуктивности рисовых хиллов
в результате повреждения их гусеницами ЖСО

Количество продуктивных стеблей в хилле, $x = i$	Теоретическая масса семян в одном неповрежденном хилле, г (M_i)	Теоретическая масса семян одного поврежденного хилла, г (m_i)	Теоретическая частота появления в выборке		Потери продуктивности, $f_i(M_i - m_i)$, г
			хилла i -го объема, неповрежденного ЖСО (F_i)	хилла i -го объема, поврежденного ЖСО (f_i)	
4	6.68	3.72	8.7	0.71	2.1
5	7.86	5.06	20.2	1.97	5.52
6	9.04	6.39	39.6	4.6	12.19
7	10.23	7.72	66	8.52	21.39
8	11.42	9.05	84.7	13	30.81
9	12.6	10.39	93.4	16.39	36.22
10	13.78	11.72	84.9	16.89	34.79
11	14.97	13.05	63.8	14.26	27.38
12	16.15	14.38	39.6	9.85	17.43
13	17.33	15.71	20.2	5.55	8.99
14	18.51	17.04	8.7	2.6	3.82
15	19.7	18.38	3	0.98	1.29
16	20.88	19.71	0.9	0.31	1.17
					Σ 203.1

15.17% ($96 \cdot 100/633$) и поврежденности стеблей (d^{st}) 1.68% ($96 \times 100/633 \cdot 9.01$) потери массы семян в результате вредоносной деятельности ЖСО составили 2.53%. Насколько данная величина приближается к пороговой можно судить по тому, что во многих странах допустимые потери урожая приняты в количестве 3—5% от массы урожая (Танский, 1988).

Для обоснования допустимых потерь могут быть привлечены и биометрические показатели продуктивности риса. Представленный в табл. 3 вариационный ряд по массе семян для неповрежденных хиллов характеризуется нормальным распределением ($\bar{x} = 12.64$, $\sigma = 2.63$; $\sigma^2 = 6.93$). Хиллы этого ряда, имеющие от 5.2 до 13.8 продуктивных стеблей ($\bar{x} \pm 1.96$ в соответствии с нормальным распределением), содержат 95% массы семян всей совокупности. С точки зрения математической статистики при наличии параметрического распределения изучаемого признака исключение из общей совокупности суммы отклонений от средней величины, не превышающей 5%, не оказывает существенного влияния на биометрические характеристики этого распределения.

Используя полученное соотношение между количеством поврежденных стеблей и соответствующей ему величиной потерь продуктивности можно определить уровень повреждения стеблей (D^{st}) и хиллов (D^h), при котором потери составят 5—7%:

$$D_{(\%)}^{st} = \frac{d^{st} \times A}{L},$$

где A — величина потерь, для которых производится настоящий расчет; d^{st} — уровень повреждения стеблей, для которого определены потери продуктивности (в %); L — потери продуктивности, установленные для поврежденности d в конкретном эксперименте.

Тогда для 5%-ного допустимого уровня потерь $D_5^{st} = \frac{1.68 \times 5}{2.53} = 3.32\%$;
для 7%-ного уровня потерь $D_7^{st} = \frac{1.68 \times 7}{2.53} = 4.65\%$.

Поскольку один хилл, поврежденный ЖСО, в 99 % случаев несет один поврежденный стебель, процент хиллов (D^h), атакованных вредителем при этом составит $D^h = \frac{d^h \times A}{L}$, где d^h — поврежденность хиллов для 5 %-ного уровня потерь — $D_5^h = \frac{15.17 \times 5}{2.53} = 30 \%$, для 7 %-ного уровня потерь — $D_7^h = \frac{15.17 \times 7}{2.53} = 42$

Таким образом, варьирующий характер значений ЭПВ определяется средней величиной количества продуктивных стеблей в рисовом хилле, что можно проиллюстрировать на следующем примере. Установлено, что в зависимости от условий выращивания риса среднее количество продуктивных стеблей в одном хилле колебалось от 7 до 12. Используя ранее установленные теоретические значения массы семян, соответствующие хиллам разного объема, можно реально спрогнозировать пороговые значения поврежденности стеблей. Так, при среднем числе стеблей в одном хилле, равном 7, масса семян неповрежденного и поврежденного хиллов составляет соответственно 10.23 и 7.72 г. Если в выборке из 500 хиллов, содержащих в среднем 7 стеблей, 100 хиллов несут поврежденные стебли, тогда абсолютные потери $A_{\text{абс}}$ в объеме совокупности составляют $100 \times (10.23 - 7.72) = 251$ г, что соответствует относительным потерям, рассчитываемым как $A (\%) = \left(\frac{A_{\text{абс}}}{N \times M_i} \right) \times 100, = A \% = \frac{251 \times 100}{500 \times 10.23} = 4.91$, где $A_{\text{абс}}$ — абсолютные потери; N — объем учетной выборки; M_i — масса семян в хилле, неповрежденном ЖСО.

Поврежденность стеблей при этом составит $D_{\%}^{\text{ст}} = \left(\frac{n}{N \times x} \right) \times 100$, где n — количество хиллов в образце, несущих признаки повреждения; N — общее

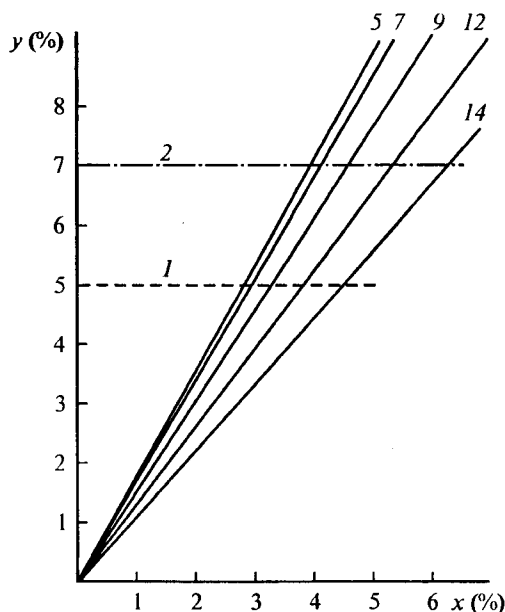


Рис. 3. Зависимость потерь массы семян (y , %) от поврежденности стеблей рисовых хиллов (x , %) разного объема: 5, 7, 9, 12 и 14 продуктивных стеблей.

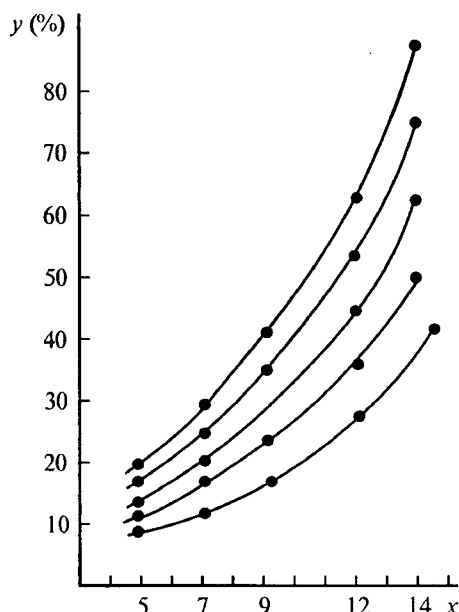


Рис. 4. Номограмма, представляющая зависимость поврежденности хиллов (y , %) от среднего количества продуктивных стеблей в хилле (x) для разных значений допустимых потерь продуктивности: 3, 4, 5, 6 и 7 %.

количество хиллов в образце; \bar{x} — среднее количество стеблей в одном хилле. Тогда $D^{st} = \left(\frac{100}{500 \times 7.0} \right) \times 100 = 2.86 \%$. В этом случае 5 %-ным потерям соответствует поврежденность стеблей, равная 2.86 или 20.4 % поврежденных хиллов.

При том же объеме выборки $N = 500$ и том же количестве поврежденных хиллов $n = 100$, но в среднем количестве стеблей в одном хилле $\bar{x} = 12$, абсолютные потери составят 177 г, что в относительном исчислении будет равно 2.19 %, а 5 %-ным потерям будут соответствовать 3.8 % поврежденных стеблей или 228 хиллов, что составляет 45.6 %.

На рис. 3 представлены результаты расчетов в виде зависимости изменения потерь урожая от степени поврежденности стеблей. Можно видеть, что при изменении средних величин продуктивного объема хилла от 5 до 14 для 5 %-ного уровня потеря урожая (1) поврежденность стеблей изменяется от 2.8 до 4.5 %. Для 7 %-ного уровня потерь (2) эта величина варьирует от 3.9 при $\bar{x} = 5$ до 6.3 % при $\bar{x} = 14$. Первый уровень — сигнальный, второй — оперативный уровень ЭПВ.

Аналогичная ситуация, но в ином ракурсе воспроизведена для определения ЭПВ по поврежденным хиллам. На рис. 4 представлена зависимость изменений поврежденности хиллов ($y, \%$) от среднего продуктивного объема хиллов (x) для разных значений потерь: 3, 4, 5, 6 и 7 %. Данные номограммы являются итогом настоящих исследований и могут быть использованы в прогностических целях для принятия решения о проведении защитных мероприятий против ЖСО.

Настоящий способ определения пороговой ситуации предлагается для фазы выметывания—цветения, когда компенсационные механизмы кущения завершены и все наносимые хиллу повреждения носят невосполнимый характер. В том случае, когда наблюдается активное нарастание стеблевой массы, необходимо учитывать восстановительные способности хилла. Решение данной задачи будет осуществляться в последующих публикациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Глотов Н. В., Животовский Л. А., Хованов Н. В. и др. Биометрия. Л., ЛГУ. 1982. 263 с.
- Ляховкин А. Г. Мировое производство и генофонд риса. Ханой: Сельское хозяйство, 1992. 344 с.
- Монастырский А. Л., Сугоняев Е. С. Экологические основы разработки интегрированной системы защиты риса в Северном Вьетнаме. I. Модель вредоносности рисовой листовой огневки (*Snaphalocrocis medinalis* Guenée) // Энтомол. обозр. 1995. Т. 74, вып. 1. С. 19—37.
- Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. Минск: Выш. школа, 1973. 320 с.
- Танский В. И. Биологические основы вредоносности насекомых. М.: Агропромиздат, 1988. 182 с.
- Ока Н. I. Inheritance of several agronomic characters in a varietal hybrid of rice // Ann. Rep. Nat. Inst. Genet. Japan. 1956. N 6. P. 73—78.

Российско-Вьетнамский тропический
центр РАН, Ханой;
Зоологический институт РАН,
Санкт-Петербург.

Поступила 16 XI 1995.

SUMMARY

Based on the study of the pest damage influence on rice yield loss, the economic threshold (ET) of yellow stem borer is established. The ET consists of the two levels: the 5 % yield loss admitted level, and 7 % yield loss which is of economic importance. The former is a signal level of ET, whereas the latter is an operative one.