

АГРОНОМИЯ

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение,
защита и карантин растений

Научная статья
УДК 630.453.630
doi: 10.28983/asj.y2025i4pp14-19

**Исследование распределения вредных насекомых в насаждениях
Нижнего Поволжья как одно из направлений совершенствования
энтмомониторинга (на примере зимней пяденицы)**

**Владимир Викторович Дубровин¹, Иван Дмитриевич Еськов¹, Алексей Иванович Силаев¹,
Виталий Алексеевич Курмышов¹, Николай Иванович Стрижков²**

¹Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова,
г. Саратов, Россия

²Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, г. Саратов, Россия
e-mail: dubrovinvv@vavilovsar.ru

Аннотация. Выявление пространственного распределения зимней пяденицы проводили в Нижнем Поволжье в насаждениях с различной лесоводственно-таксационной характеристикой с 2020 по 2023 г. На пробных площадях учитывали ее численность в различные фазы развития, изучали распределение в кроне деревьев, а также приуроченность к конкретным кормовым породам. Распределение вредителя изучали в насаждениях, сходных по полноте, в зависимости от удаленности деревьев от опушки: до 30 м, от 30 до 60 м и от 60 до 100 м. Исследования показали, что в насаждениях зимняя пяденица заселяла в основном ослабленные деревья. На 55 деревьях I категории состояния было в среднем 4,988 гусеницы, тогда как на 57 деревьях III категории – 10,838 на унифицированную единицу учета, или 100 точек роста. По мере удаления от опушки численность гусениц зимней пяденицы снижалась. По данным исследований, значительную заселенность пяденицей отмечали на дубе черешчатом (4,27 гусеницы на унифицированную единицу учета), а более низкую – на осине и клене (в среднем 0,52 и 0,63 гусеницы на унифицированную единицу учета соответственно). Путем статистического анализа найдены параметры, характеризующие особенности выявленных распределений. Распределение насекомых в насаждениях, в частности зимней пяденицы, позволяет повысить эффективность программы выборки, методов анализа данных и на основании этого разработать оптимизированные методы энтмомониторинга.

Ключевые слова: зимняя пяденица, пространственное распределение, параметры, модели, энтмомониторинг

Для цитирования: Дубровин В. В., Еськов И. Д., Силаев А. И., Курмышов В. А., Стрижков Н. И. Исследование распределения вредных насекомых в насаждениях Нижнего Поволжья как одно из направлений совершенствования энтмомониторинга (на примере зимней пяденицы) // Аграрный научный журнал. 2025. № 4. С. 14–19. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2025i4pp14-19>.

AGRONOMY

Original article

**Study of the distribution of harmful insects in plantations of the lower Volga region,
as one of the directions of improvement of entomological monitoring
(using the example of the winter moth)**

Vladimir V. Dubrovin¹, Ivan D. Eskov¹, Alexey I. Silaev¹, Vitaly A. Kurmyshov¹, Nikolai I. Strizhkov²

¹Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia

²Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, Saratov, Russia

e-mail: dubrovinvv@vavilovsar.ru

Abstract. The spatial distribution of the winter moth was studied in the Lower Volga region in plantations with different forestry and taxonomic characteristics from 2020 to 2023. On test plots, the population of the moth was counted at different stages of development, its distribution in the tree crowns was studied, as well as



its affinity for specific food species. The distribution of the pest was studied in plantations similar in density, depending on the distance of the trees from the edge of the forest: up to 30 m, from 30 to 60 m, and from 60 to 100 m. The research showed that in the plantations, the winter moth mainly settled on weakened trees. On 55 trees of the first health category, there were an average of 4.988 caterpillars, while on 57 trees of the third health category, there were 10.838 caterpillars per standardized accounting unit, or 100 growth points. As the distance from the edge of the forest increased, the number of winter moth caterpillars decreased. According to the research, significant infestation by the moth was observed on the English oak (4.27 caterpillars per standardized accounting unit), while lower infestation was observed on aspen and maple (an average of 0.52 and 0.63 caterpillars per standardized accounting unit, respectively). Through statistical analysis, parameters characterizing the features of the identified distributions were found. The distribution of insects in plantations, particularly the winter moth, allows for improving the efficiency of sampling programs, data analysis methods, and based on this, developing optimized entomological monitoring methods.

Keywords: winter moth, spatial distribution, parameters, models, entomological monitoring

For citation: Dubrovin V. V., Eskov I. D., Silaev A. I., Kurmyshov V. A., Strizhkov N. I. Study of the distribution of harmful insects in plantations of the lower Volga region, as one of the directions of improvement of entomological monitoring (using the example of the winter moth). *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2025;(4):14–19. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2025i4pp14-19>.

Введение. Зимняя пяденица широко распространена в Нижнем Поволжье, что приводит к вспышкам массового размножения, нанося большой ущерб насаждениям [1]. Поэтому ее развитию, размножению, распространению исследователи уделяют большое внимание. Однако многие вопросы ее стациального распределения изучены недостаточно, хотя это имеет большое значение. Именно изучение характера распределения насекомых, в том числе и зимней пяденицы, дает возможность выявить их экологические особенности, найти устойчивые популяционные параметры, построить статистически обоснованные методики учета и прогноза численности конкретных видов вредителей [4, 5, 8, 9, 12, 18].

Цель данной работы – изучение распределения вредных насекомых в пространстве древостоев Нижнего Поволжья (на примере зимней пяденицы) для совершенствования методов выборки их количественного запаса и оптимизации энтомомониторинга.

Материалы и методы. Исследования распределения зимней пяденицы (*Operophtera brumata* L.) в насаждениях Нижнего Поволжья проводили с 2020 по 2023 г. На пробных площадях учитывали численность зимней пяденицы в различные фазы развития, изучали распределение вредителя в кроне деревьев, а также приуроченность его к конкретным кормовым породам.

Учет численности гусениц проводили на концевых ветвях, куколок – на пробных площадках размером 50×50 см² (0,250 м²). Бабочек отлавливали на модельных деревьях с клевыми кольцами.

Количественные учеты определяли по следующей формуле [12]:

$$y = 38,9d + 7,2d^2, \quad (1)$$

где y – количество побегов в кроне дерева, шт.; d – средний диаметр дерева, см.

Распределение вредителя изучали в насаждениях, сходных по полноте, в зависимости от удаленности деревьев от опушки: до 30 м, от 30 до 60 м и от 60 до 100 м.

Расположение пробных единиц имело случайный и систематический характер [2, 6, 7, 15, 16]. Анализ полученных данных выполняли по программе Statistika.

Учет пяденицы осуществляли на основании найденных моделей, характеризующих ее распределение в насаждениях.

Результаты исследований. В результате исследований было установлено, что в насаждениях зимняя пяденица предпочитала заселять ослабленные деревья. Так, на 55 деревьях I категории состояния было обнаружено в среднем 4,988 гусеницы, на 43 деревьях II категории – 6,258, на 57 деревьях III категории – 10,838 на унифицированную единицу учета, или 100 точек роста. По мере удаления от опушки численность гусениц зимней пяденицы снижалась (таблица 1).

Была проведена сравнительная оценка запаса гусениц вредителя на различных древесных породах (таблица 2).





Таблица 1 – Заселенность деревьев зимней пяденицей в зависимости от расстояния от опушки

Table 1 – Infestation of trees with winter moths depending on distance from forest edge

Расстояние от опушки, м	Количество модельных деревьев, шт.	Среднее число гусениц на 100 точек роста
До 30	28	18,387±0,67
30–60	28	12,846±1,24
60–100	28	10,146±1,78

Таблица 2 – Запас гусениц зимней пяденицы на различных древесных растениях

Table 2 – Stock of winter moth caterpillars on various woody plants

Древесная порода	Число деревьев	Среднее количество гусениц на унифицированную единицу учета
Дуб черешчатый ранней формы (<i>Quercus robur</i> L.)	10	4,27±0,24
Ясень зеленый (<i>Fraxinus excelsior</i> Borkh.)	10	0,8±0,32
Осина обыкновенная (<i>Populus tremula</i> L.)	10	0,52±0,18
Яблоня лесная (<i>Malus sylvestris</i> L.)	10	0,4±0,21
Вяз обыкновенный (<i>Ulmus laevis</i> L.)	10	1,15±0,67
Клен (<i>Acer platanoides</i> L.)	10	0,63±0,83

Из таблицы 2 видно, что значительная заселенность пяденицей была зарегистрирована на дубе черешчатом – 4,27 гусеницы на унифицированную единицу учета. Более низкую численность отмечали на осине и клене, запас гусениц здесь составил в среднем 0,52 и 0,63 гусеницы на унифицированную единицу учета соответственно.

Бабочки насекомого в период лёта стремились к более освещенным участкам леса. Насекомые в пространстве могут быть размещены случайно, агрегативно (скупенно) и равномерно. Случайное распределение описывается с помощью закона Пуассона. Пуассоновское распределение наблюдается в том случае, когда насекомые размещены в пространстве с одинаковой средней плотностью и вероятность нахождения того или иного их количества на учетной площадке зависит от расположения на учитываемой площади.

Иногда дисперсия меньше среднего. Это означает, что размещение более равномерное, чем при распределении Пуассона. Гораздо чаще в экологических исследованиях дисперсия превосходит среднее, что характеризует неслучайные распределения агрегативного типа. Насекомые при этом размещены в пространстве скоплениями или «пятнами». Биологическим основанием распределения насекомых в пространстве являются отклик на неоднородность действия в пространстве физическими факторами внешней среды (освещенности, влажности, температуры) [3–5, 10, 13, 17, 18].

Зимняя пяденица концентрировалась на этих участках леса, а также на породах с установленными признаками, что влечет агрегированность распределения насекомого в насаждениях. Это было подтверждено биометрическим анализом данных, полученных при количественных учетах зимней пяденицы (таблица 3).

Таблица 3 – Параметры распределения гусениц зимней пяденицы в различных насаждениях

Table 3 – Distribution parameters of winter moth caterpillars in different plantings

Таксационные характеристики	Количество лет	Высота, м	Диаметр ствола, см	Степень сомкнутости крон	Количество гусениц на унифицированную единицу учета	S^2	$\frac{S^2}{x}$
10Д ед. Гр. Яб.	35	12	14	0,6	11,910	33,735	2,8
9Д 1 Лп	45	14	20	0,7	7,935	21,455	2,7
10Д + Яс + Ос	40	14	16	0,6	15,345	59,630	3,9
10Дп	35	16	18	0,7	31,295	189,295	6,0
9 Яс 1Д	13	6	6	0,9	68,650	414,250	6,0
9Д 1 Яс+ОС	35	12	12	0,6	6,855	14,450	2,1
9 Яс+ 1Д	35	12	14	0,7	9,870	10,570	1,1
3Д + 5Ос + 1Яб + 1Гш	20	7	8	0,4	5,305	11,330	2,1
9Д + 10с	22	9	8	0,6	8,675	13,935	1,6
10 Ил	30	15	16	0,7	7,860	10,145	1,3

Из таблицы 3 видно, что в насаждениях распределение насекомого в основном носило агрегированный характер, т.к. дисперсия превосходила численность гусениц на единицу учета. Куколки и бабочки пяденицы распределялись в насаждениях также агрегативно (таблица 4).

Таблица 4 – Параметры распределения куколок и бабочек зимней пяденицы

Table 4 – Characteristics of sample plots and distribution parameters of winter moth pupae and butterflies

№ пробной площади	Таксационные характеристики	Количество лет	Высота, м	Диаметр ствола, см	Степень сомкнутости крон	Количество куколок на площадку 0,0625 м ² , \bar{x}	S^2	$\frac{S^2}{\bar{x}}$	Количество бабочек на дерево, \bar{x}	S^2	$\frac{S^2}{\bar{x}}$
1	10Д ед. Гр. Яб.	35	12	14	0,6	1,48	4,050	2,7	16,9	94,100	5,6
						1,50	4,615	3,1			
						0,85	1,002	1,2			
						0,86	0,830	1,0			
2	9Д 1Лп	45	14	20	0,7	1,78	3,307	1,9	9,5	11,167	1,2
						1,78	3,307	1,9			
						0,44	0,577	1,3			
						0,31	0,544	1,8			
3	10Д + Яс + Ос	40	16	16	0,6	1,58	3,481	2,2	3,6	3,822	1,1
						1,23	2846	2,3			
						0,89	1,448	1,6			
						0,71	1,076	1,5			
4	10Дп	35	16	18	0,7	1,47	3,153	2,1	11,1	77,433	6,9
						1,75	6,935	4,0			
						3,38	23,112	6,8			
						1,45	2,202	1,5			

Наиболее используемым распределением агрегативного типа является отрицательное биномиальное распределение. Вероятность появления частных значений численности зимней пяденицы в выборке часто описывается моделью отрицательного бинома. В связи с этим важно установить, насколько выявленное распределение зимней пяденицы на различных фазах развития соответствует модели отрицательного бинома.

Характеристика отрицательного биномиального распределения складывается из двух параметров: (\bar{x}) и экспоненты « k », которая изменяется. Исходя из этого использовали уравнение 2:

$$P_{(x)} = \frac{\Gamma(k+x)}{x!\Gamma(x)} \left(\frac{\bar{x}}{\bar{x}+k} \right)^{\bar{x}} \cdot \left(\frac{k}{k+\bar{x}} \right)^k, \quad (2)$$

где $x = 0, 1, 2, \dots, n$; Γ – гамма-функция; k – экспонента.

Предварительная оценка экспонента « k » была получена из уравнения 3:

$$k = \frac{\bar{x}^2}{S^2 - \bar{x}}, \quad (3)$$

где \bar{x} – среднее число насекомых на пробе; S^2 – дисперсия.

При больших значениях « k » (более 8) размещение насекомого в пространстве случайное, при малых значениях « k » – агрегированное. Уточнение экспоненты « k » было проведено с использованием уравнения максимального правдоподобия (4):

$$n \ln 1 + \frac{\bar{x}}{k} = \sum_{xi} \left(\frac{A_{\bar{x}}}{k + \bar{x}} \right), \quad (4)$$

где $A_{\bar{x}}$ – накопленные для каждого класса (i) частоты; n – объем выборки.

Отрицательное биномиальное и его теоретические частоты были рассчитаны по уравнению 5:

$$P_{(x)} = \left(1 + \frac{\mu}{k} \right)^{-k} \cdot \frac{(k + \bar{x} - 1)!}{x!(k-1)!} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu + k} \right)^{\bar{x}}, \quad (5)$$





где $P_{(x)}$ – вероятность обнаружения особей в выборке; \bar{x} – средняя численность; k – экспонента отрицательного бинома.

При биномиальном распределении необходимое количество проб устанавливали по уравнению 6:

$$n = (1/\bar{x} + 1/k)/\varepsilon^2, \quad (6)$$

где \bar{x} – средняя плотность по результатам выборки; k – экспонента отрицательного бинома; ε – ошибка выборки в долях единицы.

Полученные результаты были помещены в формулу расчета теоретических частот отрицательного биномиального распределения (таблица 6).

Таблица 5 – Показатели распределений зимней пяденицы в насаждениях на различных фазах развития

Table 5 – Indicators of winter moth distribution in plantations at different stages of development

Показатель	Фаза развития		
	гусеница	куколка	бабочка (самка)
Объем выборки n	180	80	80
Средняя численность на единицу учета \bar{x}	1,24±0,14	1,38±0,21	1,10±0,21
Дисперсия S^2	3,52	3,78	3,76
Экспонента k	0,687	0,820	0,787

Сравнение эмпирических и теоретических частот проводили с помощью критерия χ^2 , который определяли по уравнению 7:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}, \quad (7)$$

где O_i – эмпирическая частота, характерная для класса i ; E_i – теоретическая частота, характерная для класса i ; k – число классов.

Сравнение по критерию χ^2 показало, что фактическое значение χ^2 и предельное значение критерия χ^2 при $P>0,95$ значительно отличаются (таблица 6).

Таблица 6 – Фактические и предельные значения χ^2

Table 6 – Actual and limit values χ^2

Фаза развития	Фактическое значение χ^2	Предельные значения критерия χ^2 при $P>0,95$	Число степеней свободы n
Гусеница	2,28	11,07	5
Куколка	5,73	9,49	4
Бабочка (самка)	4,81	11,07	5

Следовательно, распределение зимней пяденицы в насаждениях хорошо аппроксимируется моделью отрицательного бинома.

Заключение. Знание типов (законов) распределения насекомых в пространстве позволяет повысить эффективность программы выборки, методов анализа данных, а также может быть применено для изучения динамики численности насекомых. При теоретическом изучении популяции насекомых иногда нужна более полная их характеристика (закон распределения). Между законом распределения плотности популяции насекомых и размещением их в пространстве нет взаимно-однозначного соответствия. Одному и тому же закону распределения могут отвечать несколько существенно различных типов размещения насекомых в пространстве [3, 11, 14]

Таким образом, представленный научный подход к изучению пространственного распределения насекомых, на примере зимней пяденицы, позволит повысить эффективность программы выборки, методов анализа данных, а также может быть применен для совершенствования энтомомониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болезни и вредители в лесах России. В 3 т. Т. 3. Методы мониторинга вредителей и болезней леса: справочник / под ред. В. К. Тузова. М.: ВНИИЛМ, 2004. 200 с.
2. Вольф В. Г. Статистическая обработка опытных данных. М.: Колос, 1966. 254 с.
3. Воронцов А. И. Патология леса. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 270 с.
4. Воронцов А. И., Голубев А. В., Мозолевская Е. Г. Современные методы учета и прогноза хвое- и листогрызущих насекомых // Тр. ВЭО, Лесная энтомология. Л.: Наука, 1983. С. 4–19.
5. Голубев А. В., Инсаров Г. Э., Страхов В. В. Математические методы в лесозащите. М., 1980. 100 с.
6. Грейг-Смит П. Количественная экология растений. М., 1967. 359 с.
7. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 416 с.
8. Дубровин В. В. Экологические аспекты пространственного распределения листогрызущих насекомых в насаждениях Саратовской области // Фундаментальные и прикладные исследования Саратовских ученых для процветания России и Саратовской губернии: сб. науч. работ. Саратов, 1999. С. 34–36.
9. Дубровин В. В. Особенности распределения дендрофильных насекомых в дубравах Саратовской области // Леса Евразии в третьем тысячелетии: материалы Междунар. конф. М., 2001. Т. 2. С. 44–46.
10. Дубровин В. В. Методика количественного учета зимней пяденицы в системе мониторинга за листогрызущими насекомыми // Лес – 2004: тез. докл. 5-й Междунар. конф. Брянск, 2004. С. 78–80.
11. Дубровин В. В. Организация защиты растений от вредных организмов. Саратов, 2016. 388 с.
12. Знаменский В. С., Белов А. Н. Оптимизация системы учета гусениц и куколок непарного шелкопряда // Охрана и защита леса: экспресс-информ. 1979. Вып. 2. С. 1–20.
13. Кокрен У. Методы выборочного исследования. М.: Статистика, 1976. 440 с.
14. Кудрин А. И., Завалишин Н. И. О применении статистических критериев при планировании крупномасштабного картографирования размещения беспозвоночных и оценке его результатов // Зоологический журнал. 1973. Т. 52. Вып. 12. С. 1866–1867.
15. Свалов Н. Н. Вариационная статистика. М.: Лесн. пром-сть, 1975. 83 с.
16. Снедекор Дж. У. Статистические методы в применении к исследованиям в сельском хозяйстве и биологии. М.: Сельхозгиздат, 1961. 503 с.
17. Kuno E. A. New method of sequential sampling to obtain the population estimator with a fixed level of precision // Res. Pop. Ecol. 1969. Vol. 11. No. 2. P. 127–136.
18. Morris R. F. A sequential sampling technique for spruce budworm egg surveys // Can. J. Zool. 1954. Vol. 32. No. 4. P. 302–313.

REFERENCES

1. Diseases and Pests in the Forests of Russia. In 3 vols. Vol. 3. Methods of Monitoring Forest Pests and Diseases: Handbook; ed. by V. K. Tuzov. Moscow: VNI Leningrad Institute of Forestry; 2004. 200 p.
2. Wolf V. G. Statistical Processing of Experimental Data. Moscow: Kolos; 1966. 254 p.
3. Vorontsov A. I. Pathology of the Forest. Moscow: Lesn. prom-st, 1978. 270 p.
4. Vorontsov A. I., Golubev A. V., Mozolevskaya E. G. Modern Methods of Accounting and Forecasting of Coniferous and Deciduous Insects. Tr. VEO, Forest Entomology. Leningrad: Nauka; 1983. P. 4–19.
5. Golubev A. V., Insarov G. E., Strakhov V. V. Mathematical Methods in Forest Protection. Moscow; 1980. 100 p.
6. Greig-Smith P. Quantitative Plant Ecology. Moscow; 1967. 359 p.
7. Dospikhov B. A. Field Experiment Methodology. Moscow: Kolos; 1985. 416 p.
8. Dubrovin V. V. Ecological Aspects of the Spatial Distribution of Leaf-Eating Insects in the Plantations of the Saratov Region. Fundamental and Applied Research by Saratov Scientists for the Prosperity of Russia and the Saratov Province: Collection of Scientific Works. Saratov; 1999. P. 34–36.
9. Dubrovin V. V. Features of the Distribution of Dendrophilous Insects in the Oak Forests of the Saratov Region. Forests of Eurasia in the Third Millennium: Proceedings of the International Conference. Moscow; 2001. Vol. 2. P. 44–46.
10. Dubrovin V. V. Methodology for Quantitative Accounting of the Winter Moth in the Monitoring System for Leaf-Eating Insects. Forest - 2004: Abstracts of the 5th International Conference. Bryansk; 2004. P. 78–80.
11. Dubrovin V. V. Organization of Plant Protection from Harmful Organisms. Saratov; 2016. 388 p.
12. Znamensky V. S., Belov A. N. Optimization of the System for Accounting for Gypsy Moth Caterpillars and Cocoons. *Forest Protection and Defense: Express Information*. 1979;2:1–20.
13. Cochran W. Methods of Sample Research. Moscow: Statistics; 1976. 440 p.
14. Kudrin A. I., Zavalishin N. I. On the Application of Statistical Criteria in the Planning of Large-Scale Mapping of Invertebrate Distribution and the Evaluation of Its Results. *Zoological Journal*. 1973;52;12:1866–1867.
15. Svalov N. N. Variational Statistics. Moscow: Lesn. prom-st; 1975. 83 p.
16. Snedecor G. W. Statistical Methods in Applications to Research in Agriculture and Biology. Moscow: Selkhozizdat; 1961. 503 p.
17. Kuno E. A. New method of sequential sampling to obtain the population estimator with a fixed level of precision. *Res. Pop. Ecol*. 1969;11(2):127–136.
18. Morris R. F. A sequential sampling technique for spruce budworm egg surveys. *Can. J. Zool*. 1954;32(4):302–313.

Статья поступила в редакцию 21.11.2024; одобрена после рецензирования 23.12.2024; принята к публикации 26.12.2024.
The article was submitted 21.11.2024; approved after reviewing 23.12.2024; accepted for publication 26.12.2024.

