

## ОТРАВЛЯЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ВОЗДУХА НА ДЕНДРОФИЛЬНЫХ МИКРОЧЕШУЕКРЫЛЫХ НА ОРГАНИЗМЕННОМ УРОВНЕ

Изложены результаты экспериментов по изучению воздействия сернистых и фтористых соединений на развитие микрочешуекрылых. Проанализированы результаты опытов по исследованию адаптаций и аккомодаций к отравляющему воздействию этих веществ.

The experimental results of studies into sulfurous and fluorides compounds on the growth of microlepidopterous have been presented. The results of the experiments on investigations into adaptations and accomodations to contaminating effect of those substances have been analysed.

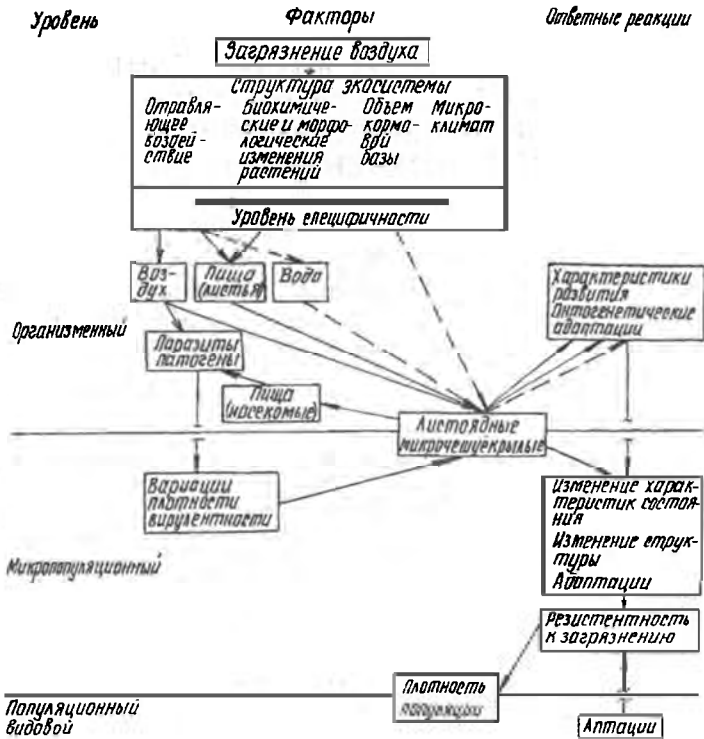
Основные факторы, влияющие на плотность популяций насекомых в условиях интенсивного промышленного загрязнения воздуха, существенно отличаются от таковых в незагрязненных или слабозагрязненных экосистемах. Распределение таких факторов представлено в виде общей схемы (см. рисунок).

Наибольшей специфичностью обладает отравляющее воздействие загрязняющих веществ, а затем сумма возникающих биохимических и морфологических изменений растений. Отравляющее воздействие может проявляться через различные среды, прежде всего воздух и пищу (в данном случае листья растений). В нашей работе приведены данные экспериментального анализа такого воздействия на организменном уровне и сделана попытка разделить непосредственное и опосредованное через изменение состояния растений отравляющее воздействие аэрополлютантов (сернистые и фтористые соединения).

Реакции разных видов и групп насекомых на воздействие сернистого загрязнения очень различны, но в целом концентрации порядка  $0,5 \text{ мг/м}^3$  оказывают отрицательное воздействие на развитие большинства видов [3, 4, 8].

Однако без дополнительных опытов трудно провести аналогию между микрочешуекрылыми, особенно минирующими, и другими группами насекомых, реакции которых более или менее известны.

Эксперименты по выкармливанию гусениц тополевой листовертки (*Gypsonoma minutana* Gbn.) и осиновой проворной моли (*Anacampsis populella* Cl.) листьями, загрязненными сернистыми соединениями, показали, что оба вида листоверток весьма устойчивы к воздействию аэрополлютантов [9]. Сернистый ангидрид оказывает значимое отрицательное воздействие при среднегодовой массовой концентрации в воздухе более  $0,06 \text{ мг/м}^3$ . Фтор приводит к резкому ухудшению



Воздействие загрязняющих веществ на листоядных микрожукикрылых

показателей развития гусениц, накапливаясь в листьях до  $(20...40) \cdot 10^{-5}$  долей сухого вещества. Это происходит при среднегодовой массовой концентрации фтористого водорода более  $0,005 \text{ мг/м}^3$ , превышающей предельно допустимую для человека. Эти концентрации существенно выше полученных для открытоживущих чешуекрылых-филлофагов [8, 9].

В июне 1993 г. в Мурманской области (Кировский район) был поставлен эксперимент по фумигации гусениц беззубой моли (*Eriocrania setipurpurella* Steph.), развивающихся на листьях березы. На площадке с естественным возобновлением березы было подобрано 28 деревьев с минами, в которых находились гусеницы 1-го возраста. Исходное число мин – 178. Вокруг деревьев были размещены 20 фумигационных камер, в 16 из них вводили двуокись серы, 4 были контрольными. Концентрация на выходе дозатора зависела от температуры воздуха и варьировала от 0,1 (при температуре ниже  $10^\circ\text{C}$ ) до 2,5 (при  $25^\circ\text{C}$ ). Средние значения массовой концентрации составляли соответственно 0,2; 0,8 и  $1,5 \text{ мг/м}^3$  в различных вариантах и задавались с помощью дозаторов. Трижды в течение суток воздух внутри камеры перемешивали вентиляторами (скорость потока воздуха  $1,6...2,1 \text{ м/с}$  при диаметре потока 85 мм) и измеряли температуру и влажность. Это дало воз-

возможность рассчитать концентрации и сопоставить условия внутри камер и с условиями внешней среды. Исследования показали, что дисперсия температур внутри камер во всех вариантах с различными концентрациями газа была практически одинаковой. Температура и влажность наружной среды были существенно ниже. В течение всего периода фумигации эти показатели в камерах не выходили за пределы возможных в естественных условиях (максимальная температура 28 °С, влажность 70...100 %). Фумигацию проводили в течение семи суток, за это время большинство гусениц развилось от конца первого – начала второго возраста до момента выхода из мин.

Значимое увеличение смертности (в 3,5 раза) наблюдалось только при максимальной массовой концентрации двуокиси серы 1,5 мг/м<sup>3</sup> (табл. 1). Пять из семи гусениц погибли в период линьки из первого возраста во второй или из второго в третий [6, 8]. Это дает основание считать, что увеличение смертности при массовой концентрации 1,5 мг/м<sup>3</sup> обусловлено именно непосредственным действием газа.

Двуокись серы поступает в мину как непосредственно через погибшие или живые устьяца, так и в виде диссоциированных растворов сульфитов и сульфатов [2, 5]. Возможно, при максимальной концентрации газа поврежденный сернистыми соединениями эпидермис листа становится более проницаемым и не обеспечивает достаточной защиты гусениц от сернистых соединений. Существенного повышения смертности в естественных условиях можно ожидать уже при значениях массовой концентрации 0,9...1,1 мг/м<sup>3</sup> газа в воздухе.

Итак, сернистое загрязнение в целом оказывает отрицательное воздействие на развитие гусениц микрочешуекрылых, минирующих, сцепляющих или сворачивающих листья. Однако эта группа оказалась более устойчивой к воздействию двуокиси серы, чем большинство других групп насекомых-дендрофагов, исключая жуков [4, 8, 12]. Повышенная устойчивость связана со скрытым образом жизни гусениц как относительной защитой от прямого действия сернистого ангидрида.

Влияние фтора на микрочешуекрылых на организменном уровне практически не исследовано. Имеются данные о накоплении фтора в погибших особях рыжего побеговьяна *Rhyacionia buoliana* Den. et Shiff. (*Tortricidae*) в непосредственной близости к источнику

Таблица 1

Массовая концентрация, мг/м <sup>3</sup>	Число гусениц в эксперименте, экз.	Число погибших гусениц	
		экз.	%
1,5	44	7*	15,9*
0,8	46	2	4,3
0,2	46	2	4,3
0	42	2	4,8

\* Данное значение существенно отличается от всех прочих при  $P = 0,90$ .

фтористого загрязнения, из которых следует, что гусеницы могут содержать  $4,65 \cdot 10^{-3}$ , имаго – 1,36, куколки – 1,53...1,92 (куколичная шкурка – 0,91...0,99), а эндопаразиты гусениц –  $(0,68...0,98) \cdot 10^{-3}$  мг фтора на 1 г сухого вещества [15]. Накопление происходит в основном в процессе питания гусениц.

В 1990 и 1991 гг. в Братском районе были поставлены эксперименты по выкармливанию гусениц осиновой проворной моли листьями, загрязненными фтором [9, 10] с последующим анализом его содержания в листьях, гусеницах и экскрементах.

Процент погибших особей повышался по мере возрастания уровня загрязнения. Характерно и увеличение доли бабочек с выраженными уродствами. Наблюдалось также удлинение периода развития гусениц. Дисперсия этого показателя была очень большой, и достоверное увеличение периода развития гусениц (на 1,6 сут) наблюдалось только в варианте с использованием корма из зоны с наибольшим содержанием фтора. Удлинение сроков развития при действии фтора через пищу наблюдалось и в других экспериментах на непарном шелкопряде и сосновом коконопряде, но утяжеления куколок при этом не отмечалось [7, 8]. Возможно, такое явление связано с тем, что под действием загрязнения в растениях образуются соединения, ингибирующие образование гормонов линьки.

Анализ содержания фтора в гусеницах осиновой проворной моли, листьях, которыми они питались, и в экскрементах был проведен как в ходе описанного эксперимента, так и на материале, отобранном на участках с различным уровнем загрязнения (табл. 2). Концентрацию фтора определяли ионо-селективным методом [1, 11]. По мере увеличения содержания фтора в листьях происходило накопление его в гусеницах, возрастала смертность и продолжительность развития гусениц и куколок, процент бабочек с выраженными уродствами. Резко ухудшались показатели развития гусениц, не адаптированных к воздействию фтористых соединений (в зоне с относительно низким уровнем загрязнения), при питании сильно загрязненными листьями (более  $(30...40) \cdot 10^{-5}$  мг фтора на 1 г сухого вещества). При этом резко возрастало и накопление фтора в гусеницах (табл. 2). Следовательно, можно предполагать, что существующие у этого вида механизмы выведения фтора обеспечивают более или менее эффективную защиту гусениц от отравляющего воздействия фторсодержащих веществ при массовой концентрации, не превышающей  $30 \cdot 10^{-5}$  мг на 1 г сухого вещества. При более высоком содержании фтора в листьях существующих механизмов экскреции недостаточно, чтобы вывести его избыток, и в организм гусениц начинают поступать такие метаболиты фтора, которые либо сами, либо в преобразованном виде переходят в следующую онтогенетическую стадию и приводят к резкому увеличению смертности куколок. Концентрация фтора, приводящая к резкому ухудшению показателей развития у осиновой проворной моли, примерно в 5 раз больше, чем у непарного шелкопряда [11].

Таблица 2

Содержание фтора, $1 \cdot 10^{-5}$ долей сухого вещества				
в листьях в начале и конце развития гусениц	в гусеницах из зоны со средним уровнем загрязнения, питав- шихся листьями с различным уровнем загрязнения		в гусеницах из различных зон загрязнения, питав- шихся в естественных условиях	
	Гусеницы	Экскременты	Гусеницы	Экскременты
8,0...82,5	55,0	53,5	42,0	84,0
15,0...46,4	39,0	46,0	34,3	46,0
12,1...38,7	32,6	43,4	32,6	43,4
6,6...25,0	26,0	40,0	26,0	40,0
4,1...4,8	-	-	7,4	9,6

Примечание. Различия между всеми вариантами значимы при  $P = 0,85$ .

Итак, исследования показали, что высокая устойчивость микро-чешуекрылых связана с наличием аккомодаций [13] в виде физиологического механизма, обеспечивающего выживаемость гусениц старших возрастов за счет снижения чувствительности к сернистому ангидриду [8, 12] и усиления экскреции фтора в процессе развития гусениц [12]. Скрытый образ жизни, выраженный в той или иной степени у всех рассмотренных видов, и способность выведения значительного количества фтора, показанная экспериментально для осиновой проворной моли, могут выступать в качестве преадаптаций к воздействию аэро-поллютантов. С.Дж. Гулд и Е.С. Врба [14] для данного случая, т. е. для ситуации, когда биологические особенности конкретных видов обеспечивают им преимущества в условиях загрязнения, предложили специальный термин – аптации.

В популяции осиновой проворной моли в Братском районе была экспериментально установлена устойчивость к воздействию фтористых соединений [11, 12]. Адаптация способствует увеличению плотности популяции этого вида в условиях интенсивного промышленного загрязнения. Это позволяет допустить, что промышленные выбросы при достаточно длительном воздействии могут выступать как фактор эволюции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Аналитическая химия фтора / Н.С. Николаев, С.Н. Суворова, Е.И. Гурович и др. - М.: Наука, 1970. - 196 с. [2]. Гудерман Р. Загрязнение воздушной среды. - М.: Мир, 1979. [3]. Козлов М.В. Ответные реакции популяций насекомых на антропогенные воздействия. - Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1987. - 60 с. - (Препр.). [4]. Козлов М.В. Влияние антропогенных факторов на популяции наземных насекомых // Итоги науки и техники. Сер. Энтомология. Т. 13. - М., 1990. - 192 с. [5]. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / Под ред. В.А. Алексеева. - Л.: Наука, 1990. - 198 с. [6]. Селиховкин А.В. Воздействие некоторых атмосферных поллютантов на развитие непарного и соснового шелкопрядов // Экология и защита леса. - Л.: ЛТА, 1981.