

Г. А. Мазохин-Поршняков

ПОЧЕМУ НАСЕКОМЫЕ ЛЕТАТ НА СВЕТ

[G. A. MAZOKHIN-PORSHNIAKOV. WHY INSECTS FLY TO LIGHT BY NIGHT]

Общеизвестно, что насекомых привлекает горящая ночью лампа. Этим издавна пользуются для изучения энтомофауны, сроков лёта вредных видов, а в последнее время — и для истребления некоторых насекомых-вредителей. Для ночного лова созданы специальные световые ловушки, новейшие образцы которых оснащены ртутной лампой — мощным источником коротковолновых лучей (Мазохин-Поршняков, 1956а, 1956б, 1958; Frost, 1957; Pfrimmer, 1957).

Почему же насекомые летят на свет, особенно предпочитая богатое ультрафиолетом излучение ртутной лампы? На этот, как может показаться, простой вопрос нет прямого ответа.

В процессе многолетних наблюдений за прилетом насекомых к лампам накоплен ряд фактов, которые все вместе не укладываются, однако, ни в одну из высказанных гипотез механизма привлекающего действия света. Перечислим главные факты.

Летят на свет, по-видимому, все ночные виды и виды, активные круглосуточно (самцы бабочек *Liparidae*, шершень, совка-гамма и др.), но далеко не равномерно: одни в большем количестве, другие в меньшем. Дневные насекомые прилетают редко и, вероятно, только в тех случаях, когда чем-либо нарушен их ночной покой. Насекомые в равной мере слетаются как непосредственно к источнику света, так и к освещенному экрану, например к освещенной белой стене. Иногда они летят к лампе по кратчайшему направлению — по прямой, обычно же проделывают сложный и беспорядочный путь. Реакция насекомых на спектральные лучи избирательна: чем короче длина волны света, тем больше его привлекающее действие. Для большинства видов наиболее «привлекательны» ультрафиолетовые, фиолетовые и синие лучи, наименее привлекательны — красные. Прилет на свет резко снижается в лунные ночи. В северных широтах лёт на свет несравненно беднее, чем в более южных, особенно в степных и пустынных ландшафтах. Подлетев к источнику света, насекомые в большинстве случаев теряют активность и усаживаются в пределах освещенной зоны. Часто они не долетают до лампы, а опускаются на некотором расстоянии, оставаясь сидеть, пока не погасят свет. При прочих равных условиях интенсивность лёта на свет зависит от ряда метеорологических факторов (температуры и влажности воздуха, скорости ветра), но на этом мы не будем останавливаться.

Среди биологов популярна теория В. Будденброка (Buddenbrock, 1917), согласно которой насекомые механически, помимо своей воли оказываются у лампы, описав вокруг нее путь по логарифмической спирали. Попав в зону света лампы, насекомые при дальнейшем движении сохраняют постоянным угол φ между направлением падения лучей и осью тела (менотаксис). При некоторых углах вхождения в зону света сохра-

нение угла φ неизбежно приведет к тому, что насекомое из-за радиального расхождения лучей совершит путь по логарифмической спирали и приблизится к лампе. Впоследствии В. Будденброк (1937) ссылаясь на результаты опытов В. Людвига (Ludwig, 1933) с гусеницами как на экспериментальное подтверждение своей теории. В лабораторных опытах гусеницы действительно сохраняли угол φ и двигались к точечному источнику света по логарифмической спирали, хотя сам В. Людвиг (1933, 1954) отнюдь не пытался объяснять подобным же образом светокмассные реакции других насекомых.

Изящную теорию В. Будденброка, однако, не подтверждают наблюдения в природе. Насекомые прилетают не только к источнику радиально расходящихся лучей (лампа), но и на рассеянный свет экрана, а также на узкий параллельный пучок света. Путь их к лампе не постоянен: то прямолинейный, то зигзагообразный, то совсем, казалось бы, хаотичный. Лишь непосредственно у лампы насекомые иногда описывают круги или спирали.

Высказывались и другие соображения о причинах лёта насекомых на свет. По мнению Ф. Мелля (Mell, 1954), яркий искусственный свет обладает для ночных насекомых (бабочек) высоким раздражающим действием, стимулирует их активность, следствием чего является прилет на свет.

В. Мартен (Marten, 1956) сравнивал сущность поведения насекомых, летящих к свету, с поведением их днем, когда ночных насекомых насильственно водворяют в темную коробку. Они при этом вылетают из коробки (на свет), а не уходят вглубь ее, в темноту. Иначе говоря, возбужденное насекомое устремляется к свету. То же имеет место и ночью, когда зажигают лампу. Попадая в зону света, насекомое, по мнению В. Мартена, возбуждается и, чтоб уйти из необычной ситуации, устремляется к свету, где ищет характерное для его дневного покоя темное укрытие.

Однако главная мысль В. Мартена (1956) и Ф. Мелля (1954) — стремление к свету в возбужденном состоянии, — призванная объяснить причину прилета насекомых на свет, не согласуется с фактами. Противоречат ей наблюдения, например, за тараканами или ухвертками. Если их неожиданно осветить, то они уходят в темные щели, а не ползут к свету. Вместе с тем, и те и другие прилетают ночью к лампе.

Плодотворнее другая мысль В. Мартена (1956), почти совпадающая с кратким и не получившим дальнейшего развития высказыванием Н. С. Дехтярева (1925). Они говорят о стремлении насекомых к свету как выходе из какого-то убежища, за пределами которого открыт путь для свободного полета.

Учитывая соображения двух последних авторов, попытаемся с нашей точки зрения объяснить механизм прилета насекомых на свет. Выяснению его поможет анализ такого известного всем примера. Если днем выпустить в комнате ночную бабочку, то она сразу же усядется в самом темном углу, но никогда не полетит к окну — наиболее светлой части комнаты. Дневная же бабочка будет вести себя в аналогичных условиях прямо противоположно: тотчас же устремится к свету и начнет биться о стекла рамы, пытаясь вырваться на свободу. Причина различного поведения этих бабочек ни у кого не вызывает сомнений. Ночная бабочка активна только ночью; день она проводит в укрытии, избегая света (отрицательный фототропизм). Дневная же бабочка активна только днем, она стремится к свету (положительный фототропизм). К окну ее привлекает свет как признак открытого пространства. Однако с наступлением вечера поведение бабочек изменится: дневная перестанет летать, а ночная устремится к окну — наиболее освещенному участку комнаты. Значит, при наличии в комнате общего рассеянного освещения обе бабочки все же стремятся

(одна днем, другая вечером) к наиболее светлому месту. Это же стремление проявится, если зажечь вечером в комнате свет: обе бабочки начнут кружиться у лампы — устремятся к более яркому, чем вечернее небо (видимое через окно), источнику света. Следовательно, у обеих бабочек вечером проявляется положительный фототропизм, причем для ночной бабочки положительный фототропизм в этих условиях — явление вполне обычное, а для дневной — ненормальное, вызванное резким нарушением ее ночного покоя.

Совершенно аналогично ведут себя ночные насекомые и в природе, когда неожиданно попадают в зону искусственного освещения. Они двигаются в сторону источника света, так как более яркое освещение — это признак простора, выхода на свободу. Это было ясно заметно по однажды поразившему нас поведению шершня: шершень бился на лету об освещенную (ночью) ртутной лампой простыню совершенно так же, как днем в оконное стекло.

Следовательно, ночных и дневных насекомых привлекает свет не сам по себе и не источник света как таковой, а как признак открытого пространства или как отсутствие преград. Открытое пространство освещено всегда ярче замкнутого, оно привлекает насекомых, так как в нем легче ориентироваться при отправлении тех или иных жизненных функций.

Более ярким освещением как индикатором простора насекомые постоянно пользуются в своей жизни. Так, о месте выхода из дупла или другого обычного для них убежища сигнализирует свет, проникающий через отверстие. Вылетая из густой растительности, насекомые ориентируются на пролеты (окна) между ветвей, через которые проникает свет неба. Таких примеров можно привести много.

Теперь необходимо объяснить, почему коротковолновые лучи привлекают насекомых сильнее длинноволновых. Можно было бы думать, что максимум спектральной чувствительности их глаза лежит именно в коротковолновой части спектра, т. е. ультрафиолетовые, фиолетовые и синие лучи для насекомых более ярки, чем зеленые и оранжево-красные. Именно такой вывод делают некоторые авторы, оценивая спектральную чувствительность глаза насекомых по привлекательности различных спектральных лучей. Но опыты с поведением насекомых не могут строго доказать, что реакция их пропорциональна возбуждению фоторецептора и что она не зависит от особенностей тех или иных рефлекторных актов. Известно, например, что самку бабочки-капустницы до периода яйцекладки наиболее привлекают красные и пурпурные цвета (окраска посещаемых ею цветков), но после созревания половых продуктов наиболее привлекательными становятся оттенки зеленого (окраска листьев, на которые она кладет яйца, — Ilse, 1937). Более надежные электрофизиологические эксперименты, в которых регистрируется реакция непосредственно фоторецепторов, говорят о том, что глаза насекомых максимально чувствительны к зеленым (490—550 $m\mu$) лучам. Для подтверждения существования второго максимума чувствительности в ультрафиолете, обнаруженного И. Вальтером (Walther, 1957) у мухи *Calliphora* и американского таракана, требуются дополнительные более тщательные измерения.

По нашему мнению, более энергичная реакция насекомых на ультрафиолетовые лучи связана не столько с высокой чувствительностью к ним глаз, сколько с особенностями жизни насекомых. Если сопоставить роль света для насекомых как индикатора простора со спектральным составом освещения днем и ночью, то можно заметить, что коротковолновые лучи, особенно ультрафиолетовые, являются наиболее характерным признаком открытого пространства: освещение свободных пространств богаче ультрафиолетом, чем пространств замкнутых. Дело в том, что земная поверхность (почва, растительность) сильно поглощает коротковолновые лучи,

отражая главным образом длинноволновые. Поэтому естественные земные объекты, кроме меловых обнажений, стволов берез, цветков некоторых растений, не могут быть источниками отраженной коротковолновой радиации. Источниками ее в природе являются только солнце и небо — ориентиры, которые обязательно выведут на простор. Если же ориентироваться на зеленые или оранжево-красные лучи, то они могут указать для насекомых ложный путь: вместо выхода на простор приведут к отражающим эти лучи поверхностям.

Днем источниками ультрафиолетовых, фиолетовых и синих лучей являются солнце и небо: атмосфера рассеивает главным образом коротковолновые лучи (начиная с λ 300—310 м μ). Ночью источником коротковолновой радиации является преимущественно небо, собственный свет которого содержит значительный процент ультрафиолета. Свечение ночного неба — главный источник ультрафиолетовой и вообще коротковолновой радиации в ночные часы (Хвостиков, 1937). Лунный свет, как отраженный красноватой поверхностью, содержит мало синих и других коротковолновых лучей, а прямой свет звезд и планет занимает вообще малую долю в ночном освещении ($\sim 25\%$ в новолуние).

Следовательно, когда солнца непосредственно не видно, то только свет неба может надежно ориентировать насекомых к выходу на простор. Поэтому ночных насекомых привлекает освещенное лампой пространство тем сильнее, чем больше коротковолновых (ультрафиолетовых в том числе) лучей содержит ее свет. Такое освещение близко к естественному ночному, но ярче его.

В опытах, когда ночных или дневных насекомых заключают в темную камеру, имеющую окна с различными цветными светофильтрами, это доказывается непосредственно. Почти все насекомые устремляются к черному для человека увиолевному фильтру, пропускающему только ультрафиолет, а не к ярким для человека зеленому или желтому, хотя бы через последние проникало в энергетическом выражении гораздо больше света, чем сквозь увиолевое стекло.

С точки зрения нашей гипотезы объясняются и другие стороны поведения насекомых, связанные с прилетом на свет. Именно: насекомые не улетают прочь от лампы потому, что даже кратковременное пребывание в освещенной зоне вызывает адаптацию глаз к свету. Ультрафиолетовые лучи, как и другие более длинноволновые, энергично переводят защитный пигмент омматидиев из ночного положения в дневное: пигмент перемещается вверх к диоптрическому аппарату омматидиев и как бы сужает их входные отверстия (Merker, 1929). Чувствительность адаптированных к свету глаз снижается в сотни раз и они уже не способны различать предметы при низкой освещенности. Горящая лампа через посредство механизма адаптации «не пускает» насекомых уйти в сторону, в темноту ночи. При этом ночные виды становятся вялыми, теряют активность, что соответствует их обычному состоянию при дневном положении защитного пигмента глаз.

Не всех ночных насекомых привлекает лампа одинаково сильно. Интенсивнее летят, по-видимому, наиболее светлюбивые формы, обитающие в открытых, более освещенных биотопах (степные виды, обитатели водных и прибрежных пространств). Например, водяные насекомые (плавунцы, *Corixidae*) часто на лету бросаются со всего размаха на блестящие крыши домов, асфальтированные дороги или парниковые рамы, принимая их за поверхность воды, также зеркально отражающую ночное небо. Более темнотлюбивые ночные виды (уховертки, тараканы, крылатые жуки-чернотелки, *Tineidae*) прилетают на свет редко.

В степях и пустынях по сравнению с лесной зоной свет распространяется на большее расстояние из-за сглаженности рельефа и сухос

воздуха. Поэтому в степных и пустынных ландшафтах радиус привлекающего действия лучей наиболее велик, и прилет насекомых, собирающихся к лампе с большей площади, грандиозен: в ловушку попадают за ночь сотни тысяч особей (Богущ, 1951). В районах с очень влажным климатом, например в Абхазии, преимущество в ловушках ртутных ламп перед обычными (полувааттными) менее ощутимо, так как пары воды сильно задерживают ультрафиолетовые лучи, ограничивая их распространение (Миляновский, 1957).

Массовому прилету на свет в степях и пустынях способствует также приуроченность этих ландшафтов к более южным широтам, где ночи темнее, чем на севере. В светлые ночи контраст между искусственным и естественным освещением заметен с гораздо меньшего расстояния, отсюда радиус привлекающего действия лучей в светлые ночи сокращается. Лунный свет сам по себе не стимулирует активности насекомых (кроме поденок), но и не угнетает ее, как иногда полагают (Williams, Singh a. Ziady, 1956).

Наша гипотеза, однако, не претендует на объяснение всего многообразия реакций насекомых на свет. Так, мы не касаемся частных особенностей отношения к свету некоторых групп насекомых, которые, по-видимому, имеют иные причины (кроющиеся в различных физиологического состояния популяций и т. д.). Например, крылатых тлей, алейродид и других насекомых в период поисков кормовых растений для потомства наиболее сильно привлекают желтые лучи, а «белый» свет с ультрафиолетом обладает отталкивающим действием (Moericke, 1955).¹ Мерике полагает, что во время переселения, совершая далекие перелеты, тли и другие насекомые устремляются вверх к свету неба. Когда же наступает время яйцекладки, реакция изменяется: тли начинают летать низко над землей в поисках кормовых растений, особенно сильно реагируя на желтые и зеленые лучи. Толчком к ориентации вниз, к почве, в этот период является отрицательная реакция на свет солнца и неба.

Обнаружено, что яйцекладущие совки *Heliothis zea* (Boddie) неодинаково реагируют на одни и те же лучи в различные часы суток: по мере наступления темноты (ночи) привлекающее действие зеленых лучей уменьшается, а голубых увеличивается (Callahan, 1957). По данным Дюфе (Dufay, 1957), при равных, но высоких энергетических освещенностях некоторые совки сильнее реагируют на зеленые лучи, а при низких (равных) освещенностях наиболее привлекательными для них становятся синие. В двух последних случаях стимуляция активности бабочек коротковолновыми (синими) лучами вечером все же может быть поставлена в связь с преобладанием таких лучей при сумеречном и ночном освещении.

Итак, в основе механизма прилета ночных насекомых на свет лежат, по-видимому, те же акты поведения, которые они постоянно совершают в естественных условиях. Нашу гипотезу все же нельзя признать доказанной, пока ее основное положение не получит экспериментального подтверждения. Мы предполагаем, что свет тем интенсивнее привлекает насекомых, чем ближе его спектральный состав к таковому рассеянного света неба. Проверкой этого могло бы быть сравнение привлекающего действия излучения, имитирующего по абсолютному спектральному составу свет неба (для определенного периода суток), со светом иного состава. Технически оно может быть получено подбором соответствующих люминофоров. Если нанести люминофоры на какой-либо экран и облучить их жестким ультрафиолетом, то экран будет сиять как ночное небо. Иными словами, можно создать люминесцентную «лампу для насекомых»

¹ На этом основан принцип действия самоловок для тлей, главным элементом которых является желтая липкая (или покрытая водой) поверхность.

по тому же принципу, по которому конструируют современные лампы дневного света.

Есть и более простое техническое решение: освещать белый экран фонарем с таким фильтром, который пропускает различные лучи пропорционально распределению энергии в спектре неба. При этом нужно учесть, что распределение энергии в спектре неба не постоянно: оно значительно изменяется в различные часы суток. Полетят ли насекомые к такому экрану наиболее интенсивно? Это покажут дальнейшие опыты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Причины прилета насекомых ночью на свет до сих пор не ясны. Не объясняет их и гипотеза В. Будденброка (1917, 1937), так как насекомые прилетают не только к источнику радиально расходящихся лучей — к лампе, но и на рассеянный свет, отраженный экраном.

Более вероятно, что свет привлекает насекомых только как признак открытого пространства, как отсутствие преград. В природе открытые пространства освещены всегда ярче замкнутых, они привлекают насекомых, так как там нет преград для перемещения и легче ориентироваться при отправлении тех или иных жизненных функций. Более ярким освещением как индикатором простора насекомые постоянно пользуются в своей жизни (выход из дупла, из густой растительности и т. п.).

Для открытого пространства наиболее характерно обилие коротковолновых, особенно ультрафиолетовых лучей. Источником их в ночное время является небо — ориентир, который обязательно выведет на простор. Поэтому ночных насекомых привлекает искусственное освещение тем сильнее, чем больше коротковолновых (ультрафиолетовых в том числе) лучей оно содержит. Такое освещение близко к естественному ночному, но ярче его.

ЛИТЕРАТУРА

- Б о г у ш П. П. 1951. Применение световых самоловов как метод изучения динамики численности насекомых. *Энтоม. обозр.*, 31, 3—4 : 609—628.
- Д е х т я р е в Н. С. 1925. Борьба с озимой совкой методом вылавливания бабочек на бродящую паутку. *Защит рослин*, 5—6 : 54—66.
- М а з о х и н - П о р ш н я к о в Г. А. 1956а. Сравнение привлекающего действия лучей различного спектрального состава на насекомых. *Энтом. обозр.*, 35, 4 : 752—759.
- М а з о х и н - П о р ш н я к о в Г. А. 1956б. Применение ультрафиолетовых лучей в борьбе с майским жуком. *Зоол. журн.*, 35, 9 : 1356—1361.
- М а з о х и н - П о р ш н я к о в Г. А. 1958. Устройство и использование ловушек для насекомых с излучателями ультрафиолета. *Энтом. обозр.*, 37, 2 : 364—371.
- М и л я н о в с к и й Е. С. 1957. Светоловушки как метод прогноза интенсивности размножения насекомых. *Тр. Сухумск. зон. оп. ст. эфиромасл. культур*, 2 : 85—98.
- Х в о с т и к о в И. А. 1937. Свечение ночного неба. *М.—Л.* : 1—250.
- B u d d e n b r o c k W. 1917. Die Lichtkompassbewegungen bei den Insekten, insbesondere den Schmetterlingsraupen. Heidelberg : 1—26.
- B u d d e n b r o c k W. 1937. Grundriss der vergleichenden Physiologie, Bd. I, Berlin.
- C a l l a h a n P. S. 1957. Oviposition response of the imago of the Corn earworm, *Heliothis zea* (Boddie), to various lengths of light. *Ann. Entom. Soc. Amer.*, 50, 5 : 444—452.
- D u f a y C. 1957. Etude du phototropisme des Noctuides (Lepidoptera). Influence de la longueur d'onde à energie égale. *C. R. Acad. Sci.*, 245, 18 : 1569—1571.
- F r o s t S. W. 1957. The Pennsylvania insect light trap. *Journ. Econ. Entom.*, 50, 3 : 287—292.
- I l s e D. 1937. New observations on responses to colours in egg-laying butterflies. *Nature*, 140 : 544.
- L u d w i g W. 1933. Seitenstetigkeit niederer Tiere im Ein- und Zweilichtversuch. *Zeitschr. wiss. Zool.*, 144, 4 : 469—495.

- L u d w i g W. und I. S c h n e i d e r - H e m p e l. 1954. Seitenstetigkeit niederer Tiere im Ein- und Zweilichtversuch. III. Versuche an geblendeten Tieren und bei verschiedenem Lichtgefälle. Zool. Jahrb., Abt. I, 65, 1 : 126—140.
- M a r t e n W. 1956. Beobachtungen beim Lichtfang. Ein Versuch zur Lösung der Frage nach dem «Warum» des Anfluges der Insekten an künstliches Licht. Entom. Zeitschr., 66, 11 : 121—133.
- M e l l F. 1954. Reizwirkung des künstlichen Lichtes auf Lepidopteren. Entom. Zeitschr., 64, 2 : 17—20.
- M e r k e r E. 1929. Die Pigmentverschiebungen im Netzauge der Insekten unter dem Einfluss von ultraviolettem Licht. Zool. Jahrb., Abt. f. allgem. Zool., 46, 2 : 297—374.
- M o e r i c k e V. 1955. Über das Verhalten phytophager Insekten während des Befallsflugs unter dem Einfluss von weissen Flächen. Zeitschr. Pflanzenkrankh., 62, 8—9 : 588—593.
- P f r i m m e r T. R. 1957. Response of insects to different sources of black light. Journ. Econ. Entom., 50, 6 : 801—803.
- W a l t h e r J. R. und E. D o d t. 1957. Elektrophysiologische Untersuchungen über die UV-Empfindlichkeit von Insektenaugen. Experientia, 13, 8 : 333—334.
- W i l l i a m s C. B., B. P. S i n g h and S. Z i a d y. 1956. An investigation into the possible effects of moon light on the activity of insects in the field. Proc. Roy. Entom. Soc. London, A 31, 10—12 : 135—144.

Институт биологической физики
АН СССР,
Москва.

SUMMARY

It is not clear hitherto why insects fly to light by night. The popular Buddenbrock's hypothesis (1917, 1937) does not explain this phenomenon either, since insects fly not only to the source of radial rays, to the lamp, but also to disperse light, reflected by the screen.

Very likely the light attracts insects only as a sign of the open space as an absence of any obstacles. In nature open spaces are lighted up usually brighter than closed ones, they attract insects since there are no obstacles or transference. Insects constantly use bright illumination as an indicator of a space (emergence from the hollow, from dense vegetation etc.).

The open space is characterized by an abundance of short-wave and especially ultra-violet rays. At night time the sky, orientator, that takes out to the space, is the source of rays. The more short-wave rays (including ultra-violet ones) the artificial illumination contains the stronger is the attraction of night insects to it. Such illumination is very close to natural night one but brighter than the latter.