Московская школа на Юго-Западе № 1543

Кафедра биологии

Динамика лёта насекомых на свет в темное время суток

Научно-исследовательская работа

Работу выполнили:

Е. Тарасова (9Б)

Е. Мошкова (9Б)

Е. Флока (9Б)

Научный руководитель:

П. Н. Петров

Москва

2021

Введение

Насекомые (Insecta) — это класс членистоногих, считающийся самым богатым видами классом среди всех животных. Одной из интересных особенностей этой группы является активный полет, не свойственный другим представителям беспозвоночных, с которым и связано множество интересных и представляющих собой широкое поле для изучения явлений. В их числе состоит и фототаксис (лёт насекомых на свет), характер которого, несмотря на большое количество проведённых по этой теме исследований, до сих пор остаётся не до конца изученным. Этот феномен был известен человеку ещё с древних времён, но в научных целях (в основном для сбора насекомых) его стали применять лишь в конце XVII века, а активно привлекать внимание исследователей он стал ещё позже — с XIX века было сделано более чем 2.5 тысячи публикаций по этой теме (Горностаев, 1984).

На данный момент существует несколько гипотез, пытающихся объяснить поведение фотоксенов (насекомых, летящих на свет), но единой теории всё еще нет. Не исключено, что такая теория и невозможна, потому что в разных случаях причины лета на свет могут быть разными.

Предполагают, что насекомые летят на свет, сбиваясь со своего основного пути во время миграций. Одну из таких гипотез выдвинул Вольфганг Будденброк в 1917 году, опираясь на явление менотаксиса — в естественных условиях насекомые ориентируются на практически параллельно идущие лучи света от зари (как вечерней, так и утренней) или луны, всегда удерживая определённый угол полета по отношению к этим лучам, таким способом сохраняя нужное направление движения (Buddenbrock, 1917). Но в случае с источником искусственного света насекомое будет неизбежно двигаться к нему, пытаясь сохранить постоянный угол по отношению к радиально расходящимся лучам и начиная двигаться по спирали (рис. 1).

Подобная гипотеза рассматривается во многих работах (например, Eisenbeis, Hänel, 2009) и считается одной из основных. Правда, в ней есть некоторые несоответствия — например, Г. Н. Горностаев ставит под сомнение идею, что насекомые летят к светоловушке по спиральной траектории; он утверждает, что фотоксены вряд ли выдерживают определенный курс движения по отношению к источнику

света. Также Горностаев считает, что теория Будденброка не объясняет явление фототаксиса насекомых с точки зрения биологического смысла (Горностаев, 1984).

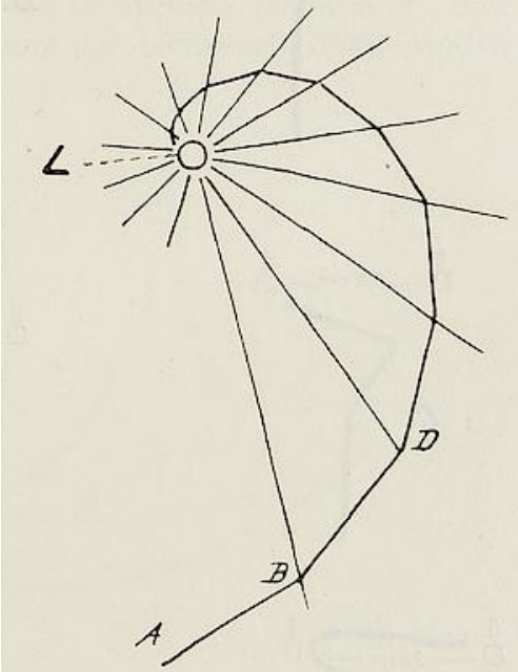

Рис. 1. Спиральная траектория полета насекомого по направлению к искусственному источнику света (Buddenbrock, 1917). На рисунке показано, каким образом насекомое начинает двигаться по радиально расходящимся от лампы лучам, при том сохраняя свой изначальный угол полета — вылетая из начальной точки A, оно сталкивается с лучом B. ∠ABL — это угол направления полета, который нужно поддерживать постоянно. Второй луч от лампы попадает в точку D, ∠LDB = ∠LBA. Из этого следует, что LB > LD; насекомое будет сталкиваться с каждым следующим лучом все ближе к источнику света и в конце концов прилетит к нему самому

Есть и другое предположение, выдвинутое Н.С. Дехтяревым в 1925 году и разработанное Г.А. Мазохиным-Поршняковым (1960) — согласно ему насекомые воспринимают свет как индикатор открытого пространства. Встречая на своем пути более яркие, чем естественные, лучи от искусственного источника света, насекомое сбивается со своего пути и начинает воспринимать всё остальное вокруг как более темную, следовательно и замкнутую, зону; далее включается стрессовая реакция, при которой оно стремится к «бегству» — ищет открытое пространство и летит к источнику света. Таким образом насекомое уже не может покинуть лампу или какой-либо ещё источник, оказываясь загнанным в ловушку.

Подобные исследования по изучению поведения фотоксенов в окрестностях поселка Борка в Ярославской области, где проходила летняя практика школы № 1543, ещё не проводились. Кроме того, по ранее проведённым работам можно отследить изменения в интенсивности лёта насекомых в зависимости от внешних условий, таких как температура, влажность воздуха, атмосферное давление и облачность, а также от времени. Но из-за многочисленности задействованных в упомянутых исследованиях факторов и сложностей в проявлении такого феномена, как фототаксис, многие данные и сделанные по ним выводы разнятся или даже противоречат друг другу, поэтому необходимо получить больше экспериментальных данных для более точного анализа результатов.

Цель нашей работы состояла в изучении динамики лёта на свет в темное время суток и численности насекомых-фотоксенов на стационаре «Сунога» в окрестностях поселка Борок Некоузского района Ярославской области. Для её достижения мы поставили перед собой следующие задачи:

1) Установить время пика численности прилетающих на свет насекомых.

2) Изучить состав и обилие насекомых, прилетающих на свет на территории стационара.

3) Сравнить данные о температуре, полученные из трех разных источников: термометра, мобильного приложения «Погода» и метеостанции.

4) Сравнить обилие и видовое разнообразие насекомых с данными предыдущих работ, проводившихся по сходной методике.

5) Сравнить результаты субъективной визуальной оценки количества насекомых с точным количественным подсчётом.

Материалы и методы

Наблюдения проводили с 30 июня по 4 июля 2021 года на стационаре «Сунога» Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН в Ярославской области, Некоузском районе, в 2.5 км к югу от поселка Борок (рис. 2).

Рис. 2. Спутниковый снимок окрестностей поселка Борок, где проводили исследования. Изображение с сайта www.yandex.ru

Установка была собрана на восточной стене веранды с лабораторией. На стене в качестве экрана была размещена белая простыня, размером 67 × 173 см. На ней был начерчен чёрным маркером квадрат размером 50 × 50, центр квадрата обозначили точкой на высоте 177 см от земли. Под экраном в качестве столика на высоте 98 см от земли была закреплена пенопластовая панель с пластиковым покрытием, конец простыни накрывал эту поверхность. Лампа была подвешена на металлическом крючке, привязанным нерастяжимой верёвкой к закреплённому на краю карниза крюку и находилась на расстоянии 70 см от стола, 177 см от земли и 14 см от экрана (рис. 3).

Рис. 3. Расположение работающей установки на восточной стене веранды. Экран расположен рядом со входом в лабораторию, поверх окон, и закреплен с помощью крючков на краю карниза

В состав установки входил экран, столик и дроссельно-ртутная лампа высокого давления «TDM ELECTRIC» (ДРЛ) теплого света мощностью 250 Вт (рис. 4).

Р

ис. 4. Изображение установки во включенном (слева) состоянии

вечером, в 22:40, и в выключенном (справа) состоянии утром, после проведения эксперимента, в 03:35

Лампу включали каждый вечер в 21:30 и отключали в 03:30 по московскому времени; наблюдения проводили с 22:30 до 03:30. Каждые 15 минут мы записывали температурные данные с термометра, вывешенного на улице в тени и приложения «Погода» на iPhone, данные для остальных критериев, кроме облачности (относительная влажность в процентах, давление в мм рт. ст. , сила ветра в м/с), взяли позже с сайта ближайшей метеостанции (деревня Коптюшка, Мышкинский район, метеостанция № 27227). Данные за ночь с 3 на 4 июля в период с 21:00 до 00:00 и с 02:00 до 03:00 метеостанция не выложила, поэтому мы провели экстраполяцию и с помощью полученных результатов заполнили пропуски в бланке. Облачность определяли визуально по балльной шкале (1 – ясно, 2 – переменная облачность, 3 – пасмурно без дождя, 4 – дождь).

Также каждые 15 минут с помощью мобильного телефона мы фотографировали экран и делали примерные подсчёты насекомых, находящихся в пределах квадрата на нём, а каждый час мы оценивали приблизительное количество находящихся там же насекомых по отрядам.

Для получения более надёжных результатов мы поштучно считали каждое насекомое в рамках квадрата и на его правой и нижней границе с помощью приложения ImageJ, тем самым получая возможность вести точный количественный учёт всех прилетевших за определённый промежуток времени фотоксенов.

Во время дождя наблюдения не прекращали, в отличие от методик нескольких других работ— например, Дралкиной и др. (2014), где в течение двух ночей эксперимент прерывался по причине начала дождя, или Александрова и др. (2016), где соблюдался такой же принцип прекращения наблюдений, но их удалось провести в силу благоприятных условий.

Все полученные данные заносили в заранее распечатанные бланки, записывая сначала карандашом, а потом линером.

В первую ночь с 30 июня на 1 июля в 22:40 лампа вышла из строя, пробыв в нерабочем состоянии в течение 5 минут; проблему устранили в 22:45 и эксперимент продолжился.

Некоторых представителей, примечательных по той или иной причине, в особенности насекомых из отрядов Lepidoptera и Trichoptera, ловили сачком или руками и морили либо этилацетатом в морилках, либо с помощью инъекций этанола или нашатырного спирта; после этого насекомых временно помещали в чашки Петри.

Все пойманные особи были расправлены и позже смонтированы (рис. 5) или размещены на матрасике в систематическом порядке (по отрядам).

Аналогичная методика была задействована и в более ранних работах (Андреева и др., 2010; Иванова и др., 2013; Дралкина и др., 2014; Александров и др., 2016; Арасланова и др., 2020). В ходе совершённых ранее исследований была собрана похожая по строению установка — во всех примерах на стене растягивали простыню, край которой накрывал рядом находящийся стол или парту; на самой простыне был начерчен квадрат размером 50 × 50, напротив центра которого подвешивали лампу. А также применяли подобные методы проведения наблюдений — например, включение установки в определенное время, в течение которого за равные интервалы времени фиксировали погодные условия, а в некоторых исследованиях и раз в час отмечали число прилетевших насекомых по отрядам (Арасланова и др., 2019) или даже по семействам (Иванова и др., 2013) в пределах квадрата на простыне, или способ более точного подсчета насекомых по фотографиям, сделанным за некие промежутки времени (Иванова и др., 2013; Дралкина и др., 2014; Александров и др., 2016) и т. д.

Рис. 5. Расправленные представители отряда Lepidoptera (семейства Sphingidae и Erebidae), пойманные с помощью светоловушки на стационаре «Сунога»

Результаты

Результаты учета общего числа насекомых, прилетевших на искусственный источник света (ДРЛ) за 4 ночи наблюдений, представлены на рис. 6. Их максимальное количество составило 380 особей в первый день, 564 во второй, 873 в третий и 713 в четвертый.

Во время проведения наблюдений Луна находится в фазе убывания. 30 июня и 1 июля длится третья четверть фазы, со 2 июля начинается последняя четверть. Процент освещенности Луны падает с 65% (30 июня) до 27% (4 июля).

Сильное повышение численности фотоксенов, как это видно на рис. 6, происходило в третий день наблюдений, в ночь со 2 на 3 июля; в остальные дни число особей варьировалось от 400 до 600, в то время как в третью ночь оно достигало почти 900 (873) и изменялось в районе 200–650 — это самый большой разброс численности насекомых за весь эксперимент.

Суммарная численность фотоксенов составила 5657 особей в первый день, 9980 во второй, 9433 в третий и 9079 в последний.

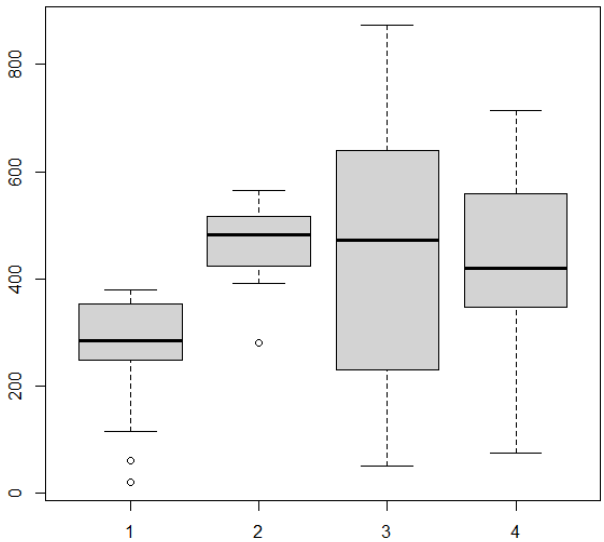

Рис. 6. Диаграмма размаха числа прилетевших насекомых за все четыре ночи наблюдений, составленная на основе учета количества фотоксенов в пределах квадрата на экране каждые 15 минут. Темная черта на каждом «ящике» означает медиану, сам «ящик» (серый прямоугольник) — межквартильный размах, верхний и нижний его края — верхний и нижний квартили, горизонтальные линии, лежащие перпендикулярно пунктирным полосам сверху и снизу от квартилей — максимум и минимум соответственно. Точки под «ящиками» 1 и 2 означают аномальные значения (те, которые отстоят от нижнего

квартиля больше, чем на полтора межквартильных размаха). В первую ночь они обусловлены прекращением работы установки на 5 минут, а во вторую их причины уже не так ясны. Предполагаем, что из-за того, что лампу только что включили и свет от неё еще не успел привлечь большое количество насекомых, либо из-за слегка повышенной влажности

Чтобы выявить, есть ли связь между числом прилетевших на свет насекомых и внешними условиями (температурой воздуха, относительной влажностью, атмосферным давлением), мы построили диаграммы рассеяния, приведенные ниже, и провели для каждой корреляционный тест Спирмена в онлайн-среде программирования «R».

Диаграммы, отражающие предполагаемую связь числа прилетевших на свет насекомых в пределах экрана с температурой воздуха (рис. 7), однозначных результатов не показали. В одной половине случаев выявлена отрицательная связь, в другой — положительная, но все положительные значения по модулю ближе к нулю; следовательно, связь между температурой воздуха и количеством насекомых (в тех случаях, когда она есть) можно считать отрицательной. Но из-за того, что наблюдается она не постоянно, мы считаем, что однозначных

выводов о ее наличии сделать на данный момент нельзя.

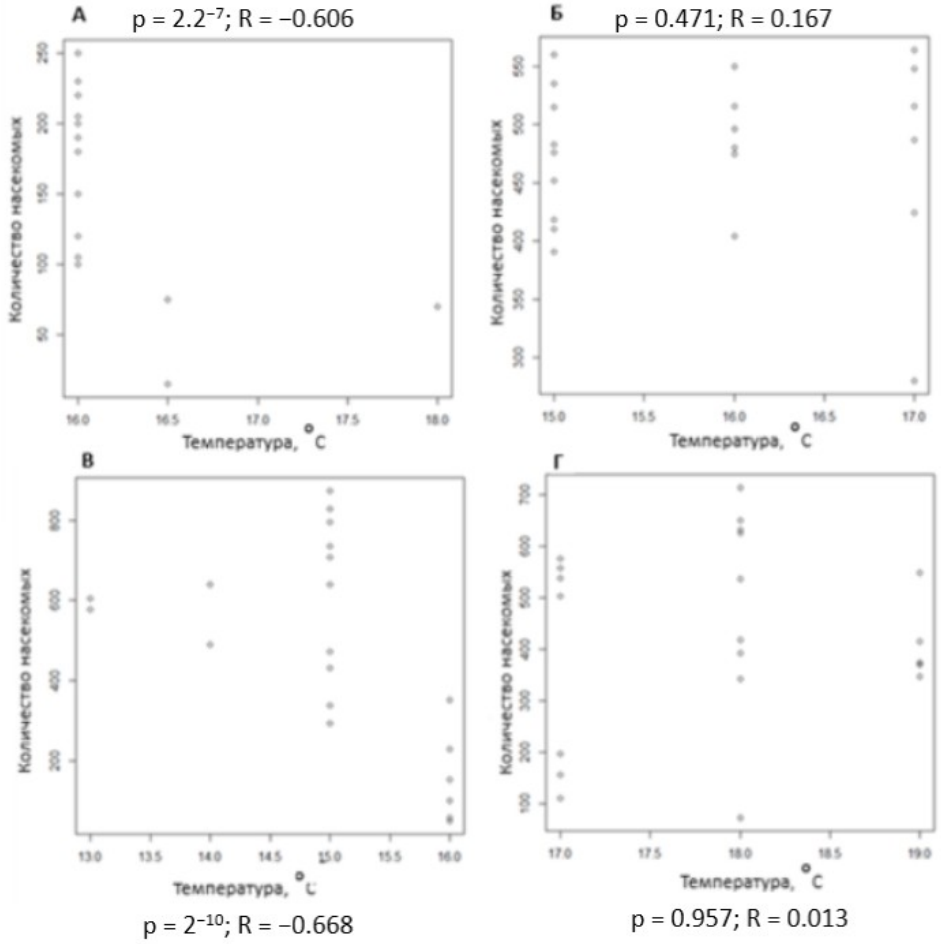

Рис. 7. Соотношение числа прилетевших на свет насекомых в пределах экрана с температурой воздуха (источник — термометр) во все дни наблюдений (А — первая ночь, Б — вторая ночь, В — третья ночь, Г — четвертая). Рядом с каждой диаграммой приведены результаты корреляционных тестов Спирмена для этой ночи, где p — вероятность статистической ошибки первого рода, R — коэффициент корреляции

По результатам сравнения температурных данных, представленных на рис. 8, можно заметить, что все они довольно сильно разнятся в своих значениях. Совпадения есть, но они очень редки; по большей части три разных линии на каждом графике практически не пересекаются. В целом, несмотря на большие колебания между данными из трех разных источников, каждый график приблизительно отражает суть температурных изм ений за ночь.

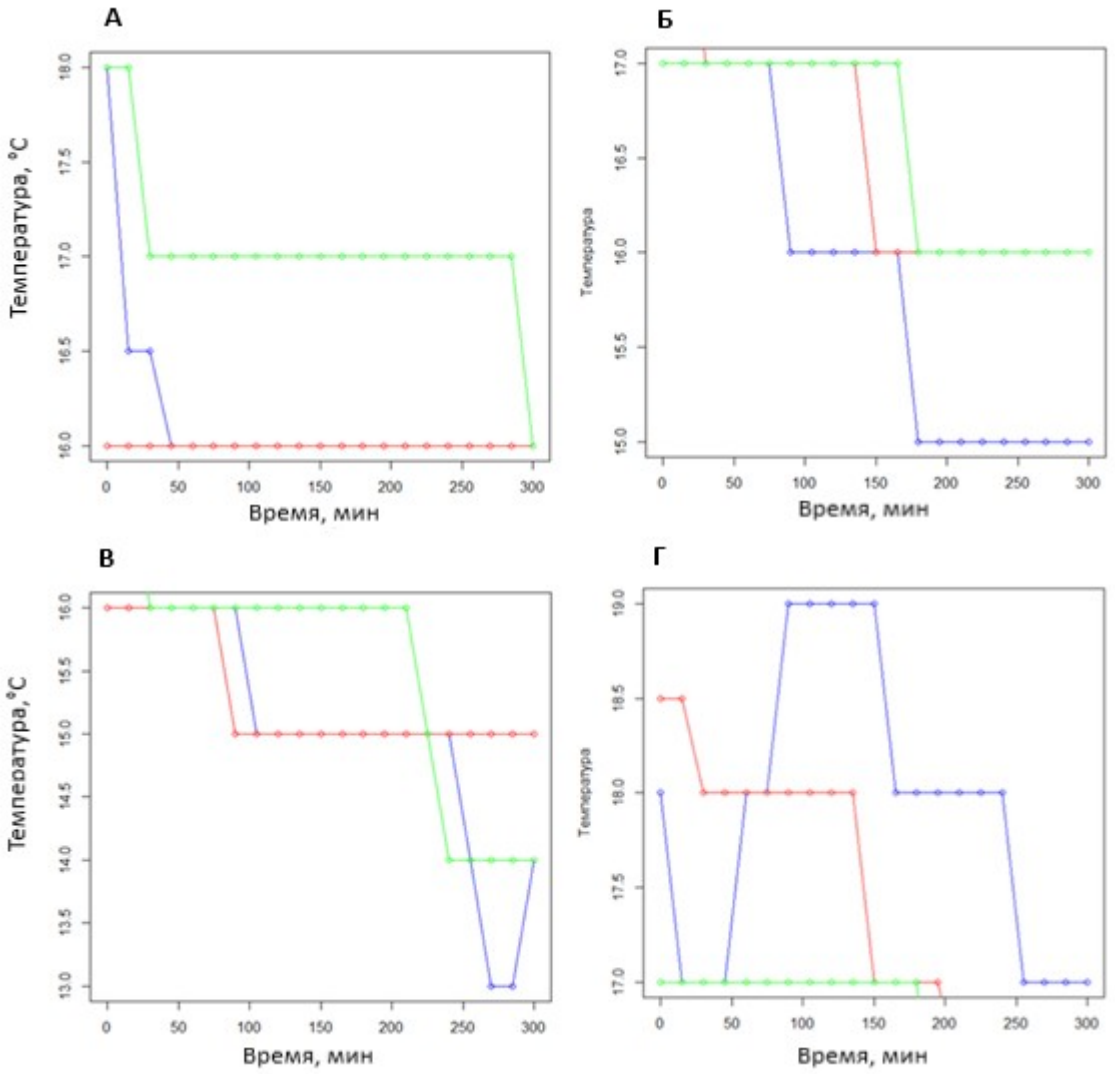

Рис. 8. Сравнение температурных данных, взятых из трех разных источников, за все дни наблюдений (А — первая ночь, Б — вторая ночь, В — третья ночь, Г — четвертая). Синим обозначена температура, измеренная с помощью термометра, красным — температура по данным ближайшей метеостанции, зеленым — значения температуры по приложению «Погода» на мобильном телефоне. Температура измеряется в цельсиях и расположена на оси ординат, на оси абсцисс обозначено время от начала эксперимента, составленное из пятнадцатиминутных промежутков и измеряемое в минутах

На рис. 9 показана корреляция между числом прилетевших на свет насекомых и относительной влажностью воздуха. В этом случае все по-прежнему неопределенно; в 50% случаев выявлена отрицательная связь, в 50% — положительная.

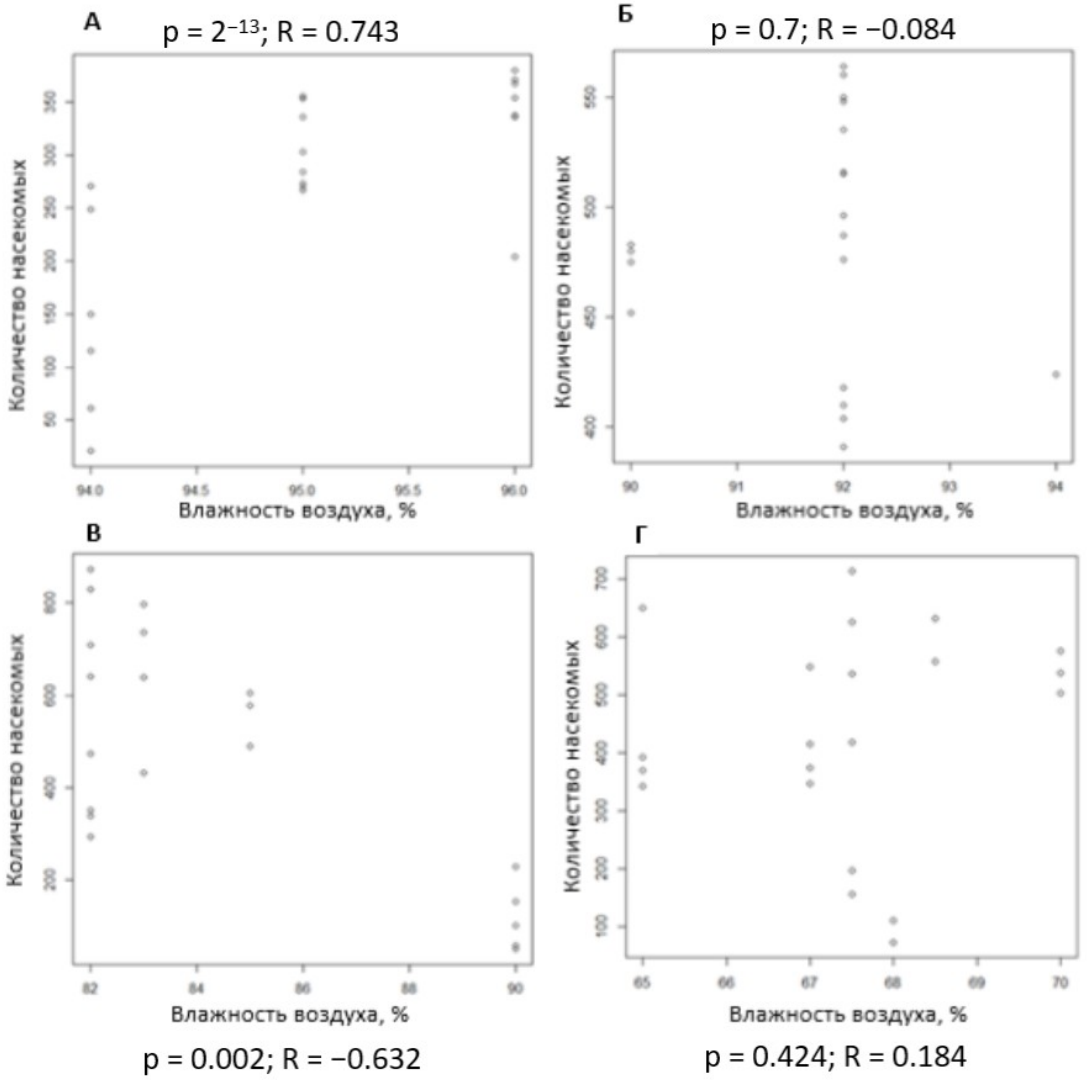

Рис. 9. Соотношение числа прилетевших на свет насекомых в пределах экрана с влажностью воздуха (в процентах) во все дни наблюдений (А — первая ночь, Б — вторая ночь, В — третья ночь, Г — четвертая). Рядом с каждой диаграммой приведены результаты корреляционных тестов Спирмена для этой ночи, где p — вероятность статистической ошибки первого рода, R — коэффициент корреляции

На рис. 10 представлена связь между числом прилетевших на свет насекомых и атмосферным давлением. Тут определенного итога тоже нет; хоть доля положительного коэффициента корреляции составляет 75%, коэффициент за третью ночь очень близок к нулю, что свидетельствует о довольно малой степени связи между этими двумя значениями.

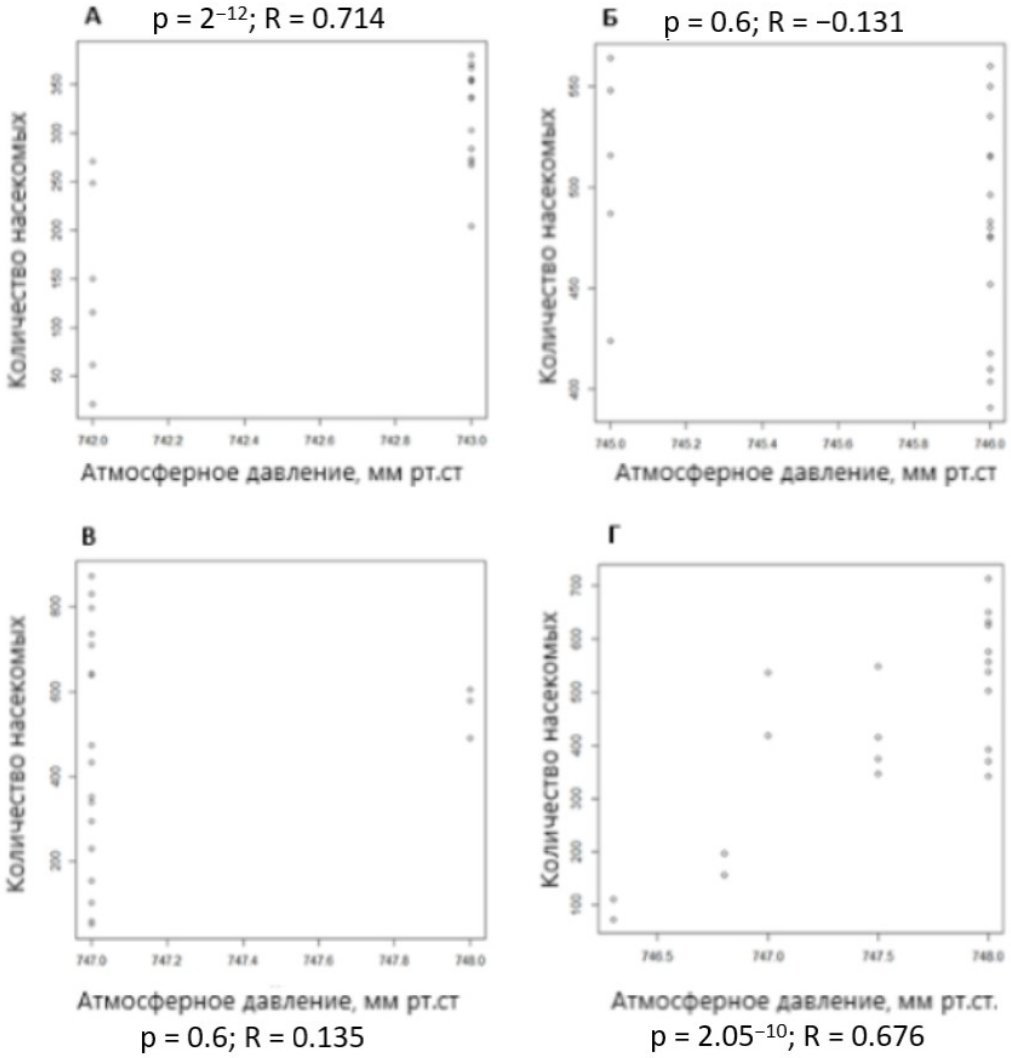

Рис. 10. Соотношение числа прилетевших на свет насекомых и атмосферного давления (в мм рт. ст.) во все дни наблюдений (А — первая ночь, Б — вторая ночь, В — третья ночь, Г — четвертая). Рядом с каждой диаграммой приведены результаты корреляционных тестов Спирмена для этой ночи, где p — вероятность статистической ошибки первого рода, R — коэффициент корреляции

Дата	Время	Ephemeroptera	Hemiptera	Coleoptera	Neuroptera	Lepidoptera	Hymenoptera	Diptera	Diptera Chironomidae	Trichoptera	Blattodea
30.06.21	22:30	—	1	1	—	3	30	20	—	—	—
	23:30	—	6	—	—	10	3	85	7	—	—
01.07.21	00:30	—	0	—	2	40	2	50	20	—	—
	01:30	—	3	—	1	25	4	60	15	—	—
	02:30	—	5	1	1	45	—	65	11	—	—
	03:30	—	4	—	1	40	1	50	6	—	—
	22:30	—	5	3	—	7	1	85	20	1	—
	23:30	—	3	2	—	17	2	50	100	—	—
02.07.21	00:30	—	3	3	—	45	2	65	100	—	—
	01:30	—	1	2	1	50	2	40	120	—	—
	02:30	—	2	—	—	65	3	50	60	—	—
	03:30	—	3	—	—	35	2	50	50	—	—
	22:30	—	—	1	—	3	4	30	15	—	—
	23:30	—	—	—	—	3	0	60	25	—	—
03.07.21	00:30	—	1	—	—	10	1	50	100	—	—
	01:30	—	—	—	—	20	1	50	80	—	—
	02:30	—	—	—	—	25	3	60	70	—	—
	03:30	—	—	—	—	20	1	40	50	—	—
	22:30	—	1	3	—	1	15	15	2	—	—
	23:30	—	3	2	—	7	4	80	80	2	—
04.07.21	00:30	—	3	3	—	7	1	50	100	1	—
	01:30	—	4	—	—	12	6	40	150	2	—
	02:30	—	3	1	—	13	1	80	120	3	—
	03:30	—	2	—	—	15	1	50	150	4	—

Таблица 1. Таксономический состав прилетавших на свет насекомых за всё время наблюдений

В табл. 1 отражен таксономический состав фотоксенов по отрядам за все четыре ночи наблюдений. Из нее можно понять, что за это время по каким-то причинам представители отрядов Blattodea и Ephemeroptera не прилетали на свет от ловушки ни разу, но они были всё равно внесены в таблицу по образцу предшествующей работы по лёту на свет (Арасланова и др., 2020). Наибольшая численность Neuroptera наблюдалась в первую ночь и в начале второй, представители отряда Hymenoptera прилетают на свет в большем количестве ближе к началу наблюдений, а также можно заметить многочисленность насекомых из семейства Chironomidae, появившуюся со второй ночи. Число насекомых из отряда Hemiptera довольно невилико, также наблюдали его резкое уменьшение в третий день проведения эксперимента (одно насекомое за всю ночь); схожая динамика прослеживается и у представителей отряда Coleoptera. Помимо этого, замечено небольшое повышение численности Lepidoptera во вторую ночь наблюдений; количество прилетевших на свет Diptera (кроме Chironomidae) можно назвать стабильным на протяжении всех четырех дней эксперимента. Насекомые из отряда Trichoptera на свет практически не прилетали, за исключением четвертой ночи и начала второй.

Обсуждение

Время суток. После обработки всех данных, собранных в течение нашего эксперимента на стационаре «Сунога», мы выявили относительное время пика численности прилетающих на свет насекомых — это период ночи с 02:00 до 02:15. В первый день максимальное количество фотоксенов было отмечено в 02:00, во второй день — в 02:15 (хотя есть исключение — во вторую ночь мы обнаружили сразу два пика численности. Первый произошел ещё до полуночи, в 23:45; далее число фотоксенов начало снижаться, так продолжалось примерно до часу ночи. После этой отметки мы снова наблюдали его повышение и уже в 02:15 зафиксировали второй пик, за которым опять последовал спад числа насекомых), в третий и четвертый день опять в 02:00.

Подобное поведение фотоксенов можно объяснить тем, что два часа ночи — это тот период времени, когда естественное освещение становится минимальным. Вечерняя заря уже закончилась и насекомые больше не могут ориентироваться на лучи заходящего солнца, а утренняя ещё не занялась, так что они будут ориентироваться лишь на свет от луны; но в случае нашего эксперимента светоловушка будет сильнее приманивать фотоксенов, чем естественное освещение.

Также можно заметить, что погодные условия (температура, влажность, облачность, атмосферное давление, сила ветра) никак не повлияли на время пика численности насекомых. В течение всех наблюдений эти условия менялись, но на итог это никак не подействовало — наибольшее количество насекомых мы отмечали каждый день около 2 часов ночи.

Схожие итоги поиска времени максимального лёта на свет можно заметить у Андреевой и др., 2010 (пик численности — 02:30), у Дралкиной и др., 2014 (период времени с 02:00 до 03:00) и у Александрова и др., 2016 (период времени с 01:00 до 02:00). В работе Ивановой и др. (2013), конкретное время пика лёта не выявляли, но заметили похожую динамику — число насекомых увеличивается к середине ночи и снижается к концу. Это сходство мы объясняем тем, что все эти исследования проводились в примерно одинаковый промежуток лета

(конец июня – начало июля) и практически рядом — в соседней от Ярославской, Тверской области.

Состав и обилие насекомых, прилетающих на свет. По данным о таксономическом составе фотоксенов за все время проведения наших наблюдений, представленным выше в таблице 1, можно сделать выводы о динамике лета некоторых отрядов насекомых. Например, мы не зафиксировали ни одного представителя отрядов Blattodea и Ephemeroptera за все четыре ночи. Также, начиная со 2 июля, отмечен обильный рой комаров-звонцов из семейства Chironomidae. Мы предполагаем, что это связано с изменением погодных условий в ту ночь — до неё наблюдалась сильная облачность и мелкий дождь, но впоследствии погода улучшилась, стало более ясно и осадков почти не было (исключением является второй день эксперимента, когда мы отметили моросящий дождь в период с 00:30 до 02:30). С осадками за первые две ночи возможно связана еще одна особенность — лёт на свет насекомых из отряда Neuroptera, так как их мы наблюдали лишь в ночь с 30 июня на 1 июля в промежутке времени с 00:30 до 03:30, и в ночь с 1 июля на 2 — в 01:30; в это время, соответственно, шел дождь.

Помимо этого, мы заметили некую закономерность в динамике лёта на свет представителей отряда Hymenoptera — под конец ночи наблюдается спад их численности. Полагаем, что на это могло оказать влияние освещение — под утро начинало светать и насекомые больше не сбивались светом от лампы со своих изначальных миграций, так как он становился уже не таким сильным и позволял ориентироваться на естественный источник света. Интересен ещё и многочисленный лёт ос в ночь с 30 июня на 1 июля и с 3 июля на 4 июля — их количество достигало 30 особей! Примечательно то, что большое количество ос мы наблюдали в самом начале дежурства — с 22:30 до 23:30, а потом происходит резкое снижение; число перепончатокрылых опустилось до 1-4 штук.

Также отмечена одна особенность у Hemiptera — их количество резко сокращается в третий день наблюдений; за всю ночь со 2 на 3 июля мы заметили лишь одну особь! Посмотрев на все погодные условия в тот день, мы решили, что на это повлияла температура воздуха — в ту ночь она была, по сравнению с остальными, минимальной и достигала 15 °C (по данным термометра и ближайшей метеостанции).

Похожая ситуация и у Coleoptera — правда, снижение их численности в третью ночь не так заметно, так как представители этого отряда в принципе мало прилетали на свет на протяжении всего эксперимента — максимальное зафиксированное нами их количество равно трем.

Ещё можно выделить лёт на свет насекомых из отряда Lepidoptera, семейства Sphingidae — бабочек-бражников. Мы наблюдали их в основном в первой половине наших исследований — в ночь с 30 июня на 1 июля нам удалось поймать трех особей, а в ночь с 1 июля на 2 июля — семь; далее их численность, судя по всему, снизилась и мы поймали лишь одного бражника в ночь в 3 на 4 июля. Это явление мы объясняем тоже с точки зрения погодных условий — в те дни был дождь, что влечет за собой повышенную влажность, а также низкое атмосферное давление.

Представители отряда Trichoptera практически не прилетали на свет от установки, за исключением начала второй ночи наблюдений и почти всей четвертой. Мы можем предположить, что первый случай является чистой случайностью, а последний связан с температурой (по данным термометра, в ту ночь наблюдалась самая высокая температура — 19 °C и с атмосферным давлением (в ту ночь оно тоже отмечено, как наиболее высокое — 748 мм рт. ст.).

Как уже было упомянуто выше, наибольшая численность фотоксенов наблюдается в третий день проведения эксперимента, в ночь со 2 на 3 июля. Чем это вызвано, по-прежнему неизвестно; показатели всех погодных условий в ту ночь являются средними, нет никаких особенностей или аномалий. Возможно, это и является самыми благоприятными условиями для насекомых, а может быть, такой пик лёта был случайностью.

Сравнение общего разнообразия фотоксенов показало, что наши данные о бражниках из отряда Lepidoptera приблизительно совпадают с работой Андреевой и др. (2009) — в отличие от нее, где наблюдалось шесть видов бражников, мы отметили пять. С помощью определителя насекомых (Горностаев, 1970) мы установили, что это были следующие виды: бражник амурский (*Laothoe amurensis* (Staudinger 1892)), бражник винный (*Deilephila elpenor* (Linnaeus 1758)), бражник глазчатый (*Smerinthus ocellatus* (Linnaeus 1758)), бражник липовый (*Mimas tiliae* (Linnaeus 1758)) и бражник тополевый (*Laothoe populi* (Linnaeus 1758)).

Но с работой Дралкиной и др. (2014) мы обнаружили явные различия — в ней зафиксировано всего два вида бражников, совпадающих с нашими (*Mimas tiliae* и *Laothoe populi*). Проанализировав данные последней работы и сравнив их с нашими, мы можем предположить, что такое различие связано с температурными условиями — в течение проведения нашего эксперимента температура воздуха не опускалась ниже 13 °C (причем это скорее исключительный случай, в среднем температура по данным термометра была около 16-17 °C), а во время наблюдений наших предшественников ее максимальное значение не превышало 12 °C. Из этого можно заметить, что активность лёта бражников на свет скорее всего имеет какую-то связь с температурой воздуха, но это предположение еще требует проведения дополнительных исследований.

С работой Волкова и др. (2013) у нас тоже возникли некоторые расхождения — большее количество насекомых, прилетающих на свет, зафиксировано именно в ней. Например, там за четыре дня наблюдений заметили девять Ephemeroptera; в нашем же случае, не удалось отметить ни одного представителя этого отряда. Похожая ситуация и с Hemiptera — их общее число в той работе не ниже 10; в течение трех ночей из четырех оно вообще превышало 40, в то время как по нашим данным максимальное их число равнялось шести. Аналогичная динамика прослеживается и с насекомыми из отряда Coleoptera. Но вот численность Diptera преобладает именно в нашей работе — полагаем, что это из-за появления роя комаров-звонцов из семейства Chironomidae.

Изучив данные работы Волкова и др. (2013) с целью выявить какие-то различия с нашими погодными условиями, мы смогли выделить только атмосферное давление — во время проведения наших наблюдений оно изменяется от 742 до 748 мм рт. ст., в то время как в работе 2013 года — от 766.5 до 774. Если учесть также замеченную нами особенность лёта на свет бражников, которую мы обосновали низким атмосферным давлением, можно предположить, что какая-то связь между численностью насекомых и давлением скорее всего присутствует.

В целом, подобные различия в количестве и составе фотоксенов являются вполне логичными. Сравнив данные ранее проведенных исследований с нашими, можно проследить некоторые совпадения с изменениями лёта

насекомых на свет и погодными условиями; исходя из этого, мы предполагаем, что при разных условиях и типах климата результаты учета фотоксенов будут разными.

Температура. После сбора и обработки всей информации о температуре, которую мы брали из трех разных источников (термометр во дворе рядом с лабораторией, данные с сайта ближайшей метеостанции, приложение «Погода» на мобильном телефоне), мы можем сделать некоторые выводы по этой теме.

Во-первых, четкой связи между температурой и численностью насекомых, прилетающих на свет, не выявлено. Корреляционный тест Спирмена, который мы провели для диаграмм на рис. 7, показал в некоторых случаях наличие отрицательной связи между этими двумя факторами; это логично, ведь понижение температуры зачастую вызвано потемнением, а чем меньше естественного света вокруг, тем больше насекомых будет прилетать на искусственный свет от лампы. О наличии связи также говорит множество отмеченных нами особенностей в лёте некоторых насекомых на свет, которые было бы вполне логично обосновать именно изменениями температурных условий (так как кроме них в данных о погоде ничего необычного не выделялось). Например, те случаи, которые мы приводили выше — лёт на свет представителей отрядов Hemiptera и Coleoptera. Но, с другой стороны, были зафиксированы и ночи, в течение которых связи между численностью насекомых и температурой не наблюдалось совсем, следовательно, никаких определенных выводов по этой теме мы сделать не можем.

Положительную связь между лётом насекомых на свет и температурой удалось выявить многим нашим предшественникам: Андреева и др. (2010), Александров и др. (2016), Иванова и др. (2013). Также аналогичные результаты получили при наблюдении за насекомыми из отряда Trichoptera (Андреева и др., 2010; Waringer, 1991) — было замечено, что динамика лёта этих фотоксенов зависит от температуры.

Полностью отрицательную связь выявляли намного реже (Бабиченко и др., 2016); есть также и случаи неопределенные, когда положительная связь выявлена не во все дни (Дралкина и др., 2016).

Во-вторых, одной из наших задач было сравнение температур, взятых из разных источников. По результатам, представленным на рис. 8, можно выяснить, что их разница не сильно заметна; у графиков есть общие очертания, схожая динамика. Различия, конечно же, есть, но мы считаем, что ими можно пренебречь в силу слегка отличающегося местоположения (в случае с метеостанцией, которая находилась не совсем рядом с местом проведения наших наблюдений) и технических нюансов (мы не знаем, откуда берет мобильный телефон данные о погоде и не можем утверждать, насколько они совпадают с реальностью).

Оценка количества насекомых. В ходе иссследований мы проводили два вида подсчета количества фотоксенов: субъективный визуальный и точный количественный, с помощью приложения ImageJ на компьютере. Позже, сравнив их результаты (табл. 2), мы пришли к следующим выводам: результаты нашей визуальной оценки нельзя считать достоверными, так как они слишком сильно отличаются от точных. В большинстве случаев при визуальной оценке мы округляли количество насекомых до сотен или десятков, не учитывая единицы; таким образом, результат этих подсчетов мог сильно отличаться от действительности. Роль в субъективной оценке количества фотоксенов также мог играть и человеческий фактор — насекомые могли быть просто нами не замечены. Были дни, когда по точным подсчетам численность насекомых оценивалась в 300–400 особей, а мы расценивали ее в 800 (четвертый день наблюдений); точно так же были и обратные ситуации, когда реальное количество насекомых оказывалось между 500 и 600, а нами оно было оценено в 200–300 (второй день наблюдений). Иногда, правда, значения этих двух подсчетов совпадали, но скорее всего это было случайностью. Исходя из этого, мы считаем, что способ оценивать количество насекомых «на глаз» — то есть визуально, приблизительно, — является недостоверным и результаты, полученные таким путем, не будут в достаточной степени отражать реальность.

Планы на будущее. Как уже говорилось ранее, такое явление, как фототаксис, еще недостаточно изучено; его причины по-прежнему не ясны, определенной схемы, по которой бы оно происходило, тоже нет. Поэтому мы считаем, что необходимо продолжать исследования на эту тему — в их ходе можно постепенно выявлять некие схожести с предыдущими результатами работ и из этого выводить

какие-либо закономерности, либо же наоборот, опровергать выдвинутые ранее гипотезы и строить новые.

Мы полагаем, что следовало бы уделить больше внимания связи динамики лёта на свет насекомых и погодных условий (таких как температура, относительная влажность, атмосферное давление и т. д.), так как во многих прошлых работах эта связь довольно-таки неоднозначна; в ходе некотрых исследований ее выявили, в некоторых — нет. При наличии большей базы данных можно будет сделать более точные выводы и, возможно, установить причины некоторых особенностей в поведении фотоксенов.

Выводы

1) На искусственный источник света в темное время суток на стационаре «Сунога» прилетают насекомые из отрядов Hemiptera, Coleoptera, Neuroptera, Lepidoptera, Hymenoptera, Diptera и Trichoptera.
2) Динамика, численность и особенности лёта насекомых на свет имеют частично отрицательную связь с температурой воздуха; численность насекомых возрастает к середине ночи и уменьшается к ее концу.
3) Максимальное число насекомых в пределах квадрата размером 50 × 50 см, находящегося на экране, составило 380 особей в первый день наблюдений, 564 во второй, 873 в третий и 713 в четвертый.
4) В период исследований пик численности прилетающих на свет насекомых выявлен в промежуток времени с 02:00 до 02:15 ночи.
5) Наши данные в целом совпадают в плане видового разнообразия семейства Sphingidae с данными работ, проведенных по сходной методике в Тверской области; при этом численность Ephemeroptera, Hemiptera и Coleoptera меньше, а численность Diptera больше, чем в тех исследованиях.
6) Результаты субъективной визуальной оценки количества насекомых существенно различаются с результатами точного количественного подсчета и не могут считаться достоверными.

Благодарности

Мы благодарны С. М. Глаголеву, П. А. Волковой и Е. В. Елисеевой за организацию летней биологической практики на стационаре «Сунога» в окрестностях поселка Борок, директору Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН А. В. Крылову за предоставленную возможность использовать территорию стационара в качестве места проведения исследований, а также Николаю Кнорре за помощь в процессе сборки установки.

Список литературы

- *Александров В., Коток А., Петрушкина Е., Прудник Н.,* 2016. Динамика численности насекомых, прилетающих на свет в темное время суток. [Электронный ресурс].

Режим доступа: https://bioclass.ru/files/konf16/light.pdf

- *Андреева А., Иванова А., Кременчугская Т.*, 2010. Динамика численности прилетающих на свет насекомых в темное время суток. [Электронный ресурс].

Режим доступа: https://bioclass.ru/files/konf11/babochki.zip

- *Арасланова К., Братчикова Ю., Калиниченко А., Леонова М., Самсонов Д., Соловей Д., Холдина А.*, 2020. Динамика лёта насекомых на искусственные источники света на Звенигородской биологической станции // Актуальные вопросы современной науки — С. 15-23.

- *Бабиченко Д.*, *Вольф-Троп А.,* 2016. Изучение динамики лета насекомых на искусственные источники света в Харьюском уезде Эстонии. [Электронный ресурс].

Режим доступа: https://bioclass.ru/files/konf17/volftrop.pdf

- *Волков Д., Пименов Т.*, 2013. Насекомые, прилетающие на свет в темное время суток: динамика численности и таксономический состав. [Электронный ресурс].

Режим доступа: https://bioclass.ru/files/konf14/Let_na_svet_F.doc

- *Горностаев Г. Н.,* 1970. Насекомые СССР. (Справочник-определитель географа и путешественника). // М.: Мысль. Табл. 40–41.

- *Горностаев Г. Н.*, 1984. Введение в этологию насекомых-фотоксенов (лет насекомых на искусственные источники света). Этология насекомых // Труды ВЭО. — Л.: Наука — Т. 66. — С. 101–167.

- *Дралкина М., Юркина А., Овчаренко Е.*, 2014. Динамика численности насекомых, прилетающих на свет в темное время суток в Удомельском районе Тверской области. [Электронный ресурс].

Режим доступа: https://bioclass.ru/files/konf15/light.pdf

- *Иванова О., Иванова Н., Степанов А.*, 2013. Динамика численности насекомых, прилетающих на лампы накаливания в темное время суток. [Электронный ресурс].

Режим доступа: https://bioclass.ru/files/konf13/light.doc

- *Eisenbeis G., Hänel A.,* 2009. Light pollution and the impact of artificial night lighting on insects // Ecology of Cities and Towns. — Cambridge University Press. Cambridge. P. 243–263
- *Buddenbrock W. von,* 1917. Die Lichtkompassbewegungen bei den Insekten, insbesondere den Schmetterlingsraupen // Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse B. — Bd. 1. — S. 1–26.
- *Waringer J.,* 1991. Phenology and the influence of meteorological parameters on the catching success of light-trapping for Trichoptera // Freshwater Biology. — Vol. 25, №2. — P. 307–319.

Приложение

Таблица 2. Сравнение субъективной визуальной оценки количества насекомых с точным количественным подсчётом за всё время наблюдений

Дата	Время	Визуальный подсчет	Точный подсчет
30.06.21	22:30	70	61
	22:45	15	21
	23:00	75	115
	23:15	105	150
	23:30	100	249
	23:45	120	271
01.07.21	0:00	100	267
	0:15	150	270
	0:30	180	284
	0:45	200	273
	1:00	190	303
	1:15	190	336
	1:30	205	355
	1:45	230	353
	2:00	220	380
	2:15	250	371
	2:30	230	354
	2:45	200	337
	3:00	180	367
	3:15	180	336
	3:30	150	204

	22:30	100	280
	22:45	135	424
	23:00	200	487
	23:15	215	516
	23:30	280	548
	23:45	270	564
02.07.21	0:00	200	550
	0:15	280	496
	0:30	305	516
	0:45	320	404
	1:00	340	475
	1:15	335	480
	1:30	350	452
	1:45	375	483
	2:00	380	515
	2:15	400	560
	2:30	410	418
	2:45	390	535
	3:00	380	410
	3:15	250	476
	3:30	220	391
	22:30	35	58
	22:45	50	58
	23:00	50	51
	23:15	70	101
	23:30	120	230
	23:45	160	154
03.07.	0:00	220	352

21			
	0:15	270	294
	0:30	350	339
	0:45	430	473
	1:00	500	432
	1:15	550	735
	1:30	560	796
	1:45	570	639
	2:00	590	873
	2:15	600	829
	2:30	580	708
	2:45	550	640
	3:00	460	577
	3:15	390	604
	3:30	250	490
	22:30	45	74
	22:45	80	111
	23:00	100	157
	23:15	150	198
	23:30	200	419
	23:45	500	537
04.07.21	0:00	560	549
	0:15	650	374
	0:30	750	415
	0:45	750	347
	1:00	800	370
	1:15	850	343

	1:30	810	392
	1:45	850	649
	2:00	850	713
	2:15	830	625
	2:30	670	632
	2:45	620	558
	3:00	600	538
	3:15	510	575
	3:30	550	503