

**Московская гимназия на Юго-Западе № 1543 им. народного учителя РФ
Ю. В. Завельского**

**Динамика ночного лёта насекомых
на свет летом 2025 года
в окрестностях поселка Борок
Некоузского района
Ярославской области**

Выполнили работу учащиеся 9-го «Б» класса:

Андрей Михайлович Игонин

Полина Сергеевна Сорокина

Научный руководитель:

к. б. н. Петр Николаевич Петров

Москва
2025

Введение

Феномен лета насекомых на свет известен человечеству с древнейших времен, вероятно, с самого момента открытия огня. Упоминания об этом интересном явлении встречаются у разных авторов, начиная еще с VI в. до н. э. Тем не менее, первые по-настоящему методические исследования «лета на свет» датируются только концом XVII в., когда в обиход массово стали входить искусственные источники света. В дальнейшем вместе с постепенным совершенствованием светоловушек и распространением и удешевлением электричества интерес сначала к самому методу сбора, а затем и к этологическому феномену в принципе начал стремительно расти и достиг расцвета к XX в (Горностаев, 1984).

Суть этого сложного и малоизученного явления, тем не менее, проста. Насекомое, заметив яркий источник света, стремительно приближается к нему. Поблизости от источника света у него резко нарушаются ориентация и координация движений, и оно может даже погибнуть, например, влетев в огонь (Чернышев, 1996). Динамика лёта насекомых на свет ночью имеет сложную временную структуру: максимальная активность, как правило, приходится на поздние ночные часы, когда естественное освещение минимально, и искусственный свет становится доминирующим ориентиром (Горностаев, 1984).

При приближении к искусственному источнику света его поведение меняется – он устремляется прямо к нему. В природе, при ориентации по естественным источникам света (Солнце и Луна) его интенсивность остается постоянной. В случае же лампы она резко возрастает. Окружение насекомого начинает быстро «темнеть», что, вероятно, воспринимается им как попадание в закрытое пространство; также высокая освещенность сбивает его координацию (временно ослепляет его). У насекомого запускается стрессовая реакция бегства, и он устремляется на «выход», то есть начинает лететь в сторону испускаемого света — прямо на лампу. Обычно на расстоянии 2-3 метра от лампы насекомые уже не могут улететь, что делает свет очень эффективным способом их привлечения (Горностаев, 1984).

С момента первой публикации на тему лёта на свет прошло почти 300 лет, однако сам феномен до сих пор считается малоизученным – научный консенсус по механизму его работы так и не был достигнут. Существуют разные гипотезы, объясняющие наблюдаемое движение фотоксенов (летающих на свет насекомых) к искусственному свету (Горностаев, 1984).

Самая первая гипотеза, предложенная биологом Ж. Лебом (Леб, 1924), предполагала существование корреляции между тонусом конечностей насекомого и интенсивностью светового потока, воздействующего на его глаза. Согласно данной теории, восприятие света левым глазом фотоксена способствует повышению тонуса мышц правой стороны его тела и наоборот. В результате на неосвещённой стороне мускулатура работает активнее, что и обеспечивает сам поворот насекомого в направлении источника света (тропотаксис).

В научном сообществе долгое время доминировала теория, предложенная Вольфгангом фон Будденброком, согласно которой для сохранения стабильной траектории полета насекомые стараются поддерживать постоянный угол относительно воспринимаемых ими световых лучей (рис. 1). Как следствие, путь, по которому они следуют к искусственному источнику света, будет проходить по логарифмической спирали, так как его лучи расходятся радиально (Buddenbrock, 1917).

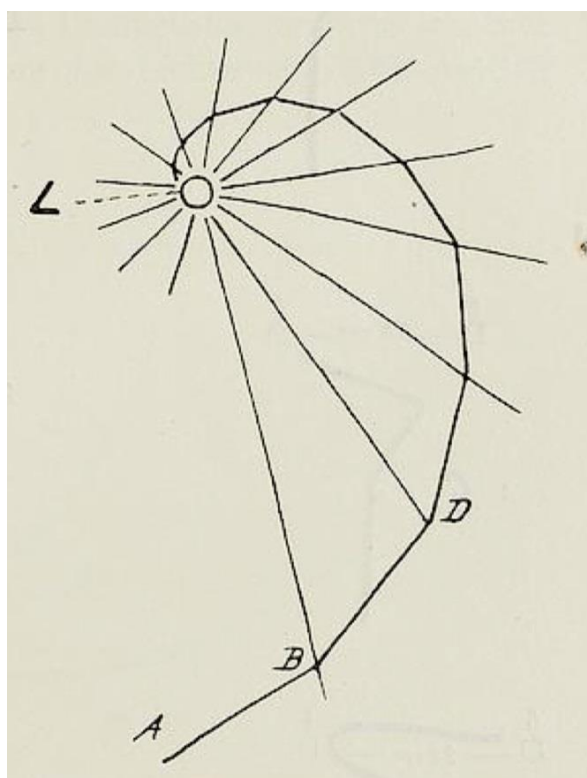


Рис. 1. Схематическое изображение полета насекомого на свет (Buddenbrock, 1917). Жирной линией обозначена траектория его движения, тонкими линиями же, отходящими от кружочка в верхнем левом углу, лучи света. Во всех местах пересечения лучей с траекторией сохраняется один и тот же угол, благодаря чему сама она имеет вид логарифмической спирали.

Однако экспериментальные наблюдения показали, что данная теория не в полной мере отражает действительность. Насекомых привлекает не только радиально расходящийся свет от «концентрированных» источников (испускающих его из одной

точки), но и рассеянный свет от экранов, что не может быть объяснено исключительно предположением об обусловленности фототаксиса поддержанием насекомым постоянного угла к лучам света (Мазохин-Поршняков, 1960).

Согласно исследованию Фридриха Мелля (Mell, 1954), ночные насекомые проявляют фототаксис в ответ на яркий искусственный свет, который оказывает на них выраженное раздражающее воздействие, способствующее повышению их двигательной активности и, как следствие, привлечению к световому источнику.

Одним из самых популярных объяснений такого странного фототаксиса остается гипотеза открытого пространства. Согласно ей, свет используется фотоксенами как индикатор «выхода» из закрытого помещения – они воспринимают его как путь наружу (Мазохин-Поршняков, 1960; Горностаев, 1984; Чернышев, 1996). Предпочтительными для ориентации являются именно коротковолновые ультрафиолетовые лучи, так как они легче поглощаются различными поверхностями, в отличие от длинноволновых, которые, отражаясь от разных объектов, могут указать насекомому неправильное направление.

Для открытых пространств характерно преобладание коротковолнового излучения, в частности ультрафиолетового спектра. В ночное время источником такого излучения выступает небо, вследствие чего оно служит важным ориентиром для насекомых, направляя их в открытую местность. Искусственное же освещение не только близко по спектральному составу к «естественному», но и по сравнению с ним обладает большей локальной интенсивностью, из-за чего становится для насекомого более привлекательным (Мазохин-Поршняков, 1956, 1960).

С точки зрения физиологии зрительной системы насекомых, даже кратковременное пребывание в зоне искусственного освещения приводит к изменениям в зрительных органах. Глазные структуры насекомых подвергаются процессу световой адаптации, в результате которого чувствительность фоторецепторов значительно снижается – зачастую в сотни раз. Это снижение препятствует восприятию объектов в условиях низкой освещенности, что дополнительно усиливает привлекательность яркого искусственного источника для насекомого. Таким образом, источник эффективно удерживает фотоксена в непосредственной близости от себя, снижая его способность ориентироваться в темном окружении (Мазохин-Поршняков, 1960).

Изучение явления «лета на свет» важно по ряду причин. С экологической точки зрения феномен интересен в первую очередь в контексте проблемы светового загрязнения, усугубление которой таит в себе серьезную угрозу для популяций крылатых насекомых. Результаты наблюдений наглядно демонстрируют, что при резком повышении искусственной освещенности местности ее крылатая энтомофауна значительно редет

всего за несколько лет (Eisenbeis et al., 2009). Параллельное распространение светодиодных ламп рискует только усложнить ситуацию: они привлекают куда больше фотоксенов. К примеру, конструкции таких светоловушек (с применением технологии светодиодов) эффективнее своих аналогов на 50 % (Cohnstaedt et al., 2008). Таким образом, дальнейшее преобразование природных ландшафтов, их застройка, может привести к экологической катастрофе.

Практическая польза от изучения фототаксиса заключается в эффективности основанных на привлечении светом методов учета численности видов насекомых-вредителей, усовершенствование которых, безусловно, невозможно без понимания механизма самого этого привлечения (Горностаев, 1984). Помимо этого, лет насекомых на свет можно использовать и для сбора экземпляров в научных целях; с помощью такого способа можно собрать внушительную выборку за относительно (очень) короткое время.

На территории биостанции «Сунога» феномен лета насекомых на искусственный свет исследуется с 2021 года (Тарасова и др., 2021, Авдеева и др., 2022). Наши предшественники использовали схожую методику (в том числе аналогичную нашей, см. раздел «Материалы и Методы»): во время наблюдений для аккумуляции фотоксенов на вертикальной поверхности размещался экран, выполненный из белой простыни с маркерной разметкой, а для сбора данных о погодных условиях – метеостанция и ртутный термометр. Помимо этого, для учета силы и направления ветра нашими предшественниками использовались и сведения, предоставляемые на сайте ближайшей официальной метеостанции (деревня Коптюшка, Мышкинский район, метеостанция № 27227).

Результаты исследований наших предшественников остаются несколько противоречивы. Выводы, сделанные Тарасовой с соавт. (Тарасова и др., 2021) о частично отрицательной связи между числом насекомых и температурой воздуха, более поздней работой (Авдеева и др., 2022) не подтверждается – напротив, была установлена положительная связь. Наблюдаемый таксономический состав фотоксенов также немного отличается. Тарасова с соавт. не отметили представителей отряда Ephemeroptera, встреченных, тем не менее, позднее (Авдеева и др., 2022). Число прилетевших фотоксенов, фиксируемое нашими предшественниками, также различно. В работе Тарасовой с соавт. (Тарасова и др., 2021) абсолютный максимум численности не превышает 900 особей, в то время как Авдеева с соавт. (Авдеева и др., 2021) отметили 1263 фотоксена.

Кроме того, в работе Авдеевой со соавт. (Авдеева и др., 2022) упоминается, что самыми многочисленными были именно представители семейства Chironomidae

(хирономиды, или комары-звонцы), отряд Diptera. Сами по себе хирономиды из-за особенностей внутривидовой этиологии (самцы перемещаются огромными роями) способны значительно влиять на результаты работ, так или иначе связанных с учетом численности насекомых, при котором их привлечение осуществляется с помощью светоловушек. Такая интересная проблема в других исследованиях на тему лёта на свет, к сожалению, практически не освещается, хотя требует дополнительного изучения (как минимум, общей оценки влияния хирономид).

С 2022 г. мониторинг динамики ночного лета насекомых на свет на территории стационара не проводился.

Цель настоящего исследования заключалась в продолжении изучения динамики лета насекомых на свет в темное время суток на стационаре «Сунога».

Для достижения данной цели мы вывели следующие **задачи**:

1. Вести учет численности прилетающих на экран насекомых во время наблюдений на стационаре Сунога в ночное время суток и их таксономического состава с точностью до отряда.
2. Выявить связь между наблюдаемым числом насекомых и сопутствующими погодными условиями.
3. Сравнить наши результаты с результатами наших предшественников, проводивших наблюдения на территории стационара «Сунога».
4. Оценить, какую долю представители семейства Chironomidae (отряд Diptera) в среднем составляют от общей численности фотоксенов, привлекаемых светоловушками.

Материалы и методы

Наблюдения проводили с 29 июня по 2 июля (включительно) 2025 года в одном из зданий биостационара «Сунога» Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН в Ярославской области, Некоузском районе, окрестностях пос. Борок (рис. 2). В дальнейшем ночные сессии наблюдений будут нумероваться в соответствии с датами следующим образом: с 29 по 30 июня – первая ночь, с 30 июня по 1 июля – вторая ночь, с 1 по 2 июля – третья ночь.



Рис. 2. Место проведения наблюдений. А – спутниковый снимок стационара «Сунога», здание, где проводился эксперимент (энтомологическая лаборатория) отмечено белой звездой. Изображение взято с сайта Яндекс Карты (с изменениями). Б – пос. Борок и стационар «Сунога» на карте Ярославской области (Ковязина и др., 2023).

Для проведения наблюдений на восточной стене энтомолабы была собрана специальная установка. В ее состав вошли экран, столик и дроссельно-ртутная лампа высокого давления «TDM ELECTRIC» (ДРЛ) холодного света мощностью 250 Вт. В качестве экрана на стене была размещена белая простыня размером 112×255 см. На ней был вышит чёрными нитками квадрат размером 50×50 см, центр квадрата обозначили точкой на высоте 201 см от земли. Под экраном в качестве столика на высоте 101 см от земли была закреплена пластиковая панель, конец простыни ее накрывал. Лампа была подвешена на металлическом крючке, привязанном нерастяжимой верёвкой к закреплённому на краю карниза крюку и находилась на расстоянии 89 см от стола, 190 см от земли и 11.5 см от экрана. Под столик был помещен датчик портативной метеостанции (см. ниже).

Помимо установки, для сбора данных о погодных условиях внутри энтомолабы мы использовали портативную метеостанцию, а снаружи – ее датчик и ртутный термометр, закрепленный на восточной стене энтомолабы поодаль от лампы.

Лампу включали каждый вечер в 21:30 и отключали в 03:30 по московскому времени; наблюдения проводили с 22:30 до 03:30, в это время в лаборатории включали свет. Каждые 15 минут мы записывали информацию о погодных условиях: температуре и относительной влажности воздуха, атмосферном давлении и облачности. Облачность определяли визуально по балльной шкале (1 – ясно, 2 – переменная облачность, 3 – пасмурно без дождя, 4 – дождь); сильный ветер (наличие определяли по звуку и визуально) отмечали плюсом (+) в том же столбце бланка (слева от цифры-оценки погоды).

Также каждые 15 минут с помощью мобильного телефона мы фотографировали экран и оценивали, какую долю от общего числа насекомых в пределах квадрата составляли представители семейства Chironomidae. Каждый час смотрели, какие отряды насекомых находились в пределах квадрата. В отличие от предшественников (Тарасова и др., 2022), численность представителей каждого из установленных отрядов отдельно не определяли.



Рис. 3. Фотография экрана, по которой в дальнейшем считалась численность фотоксенов. Черным нарисован квадрат 50×50 см, в центре которого отмечена точка. Перед фотографированием ультрафиолетовая лампа была отогнута.

Точное общее число насекомых в пределах мы определяли позже по фотографиям, поштучно считая каждое с помощью программы ImageJ (версия 1.52u). Насекомых, находившихся на границах квадрата, учитывали только на его нижней и левой (относительно наблюдателя) стороне.

Аналогично методике наших предшественников (Тарасова и др., 2022), во время дождя наблюдения не прекращали. Все полученные данные заносили в заранее распечатанные бумажные бланки, записывая линером.

Анализ полученных данных был проведен с помощью инструментария программной среды R (R Core Team, 2025).

Результаты

За время наблюдений число насекомых в пределах квадрата 50×50 см сильно варьировало. Абсолютный максимум их численности в 353 экземпляра был зафиксирован в 0:45, третья ночь, абсолютный минимум в 30 экземпляров – в 22:30, первая ночь. В среднем в пределах квадрата находилось около 160 насекомых (медианное значение — 126 экземпляров). Локальные минимумы и максимумы для каждой ночи составили 30 и 118 фотоксенов для первой ночи, 45 и 255 для второй ночи, 31 и 353 для третьей ночи. Размах численности насекомых за все ночи наглядно представлен ниже на диаграмме размаха (рис. 4).

Доля представителей семейства Chironomidae от общего числа насекомых в пределах квадрата на всем протяжении наблюдений оставалась большой, варьируя от $1/8$ (23:45, первая ночь) до $1/2$ (отмечали шесть раз в первую ночь и два раза во вторую ночь), в среднем по медиане она составляла $1/3$. Общий диапазон значений оценки (за все три ночи) наглядно иллюстрирует диаграмма размаха на рис. 5.

Наблюдаемая нами динамика численности фотоксенов представлена на рис. 6. Значимой корреляции (здесь и далее – тест для коэффициента корреляции Спирмена, кроме анализа температурных данных, где был использован тест Пирсона) между временем, прошедшим от начала эксперимента, и числом насекомых на экране в первую и третью ночи не выявлено ($\rho = -0,37$, $p = 0,1$ для первой ночи, $\rho = 0,17$, $p = 0,47$ для третьей ночи). Для второй ночи выявлена значимая положительная корреляция: $\rho = 0,92$ при значении $p < 0,01$.

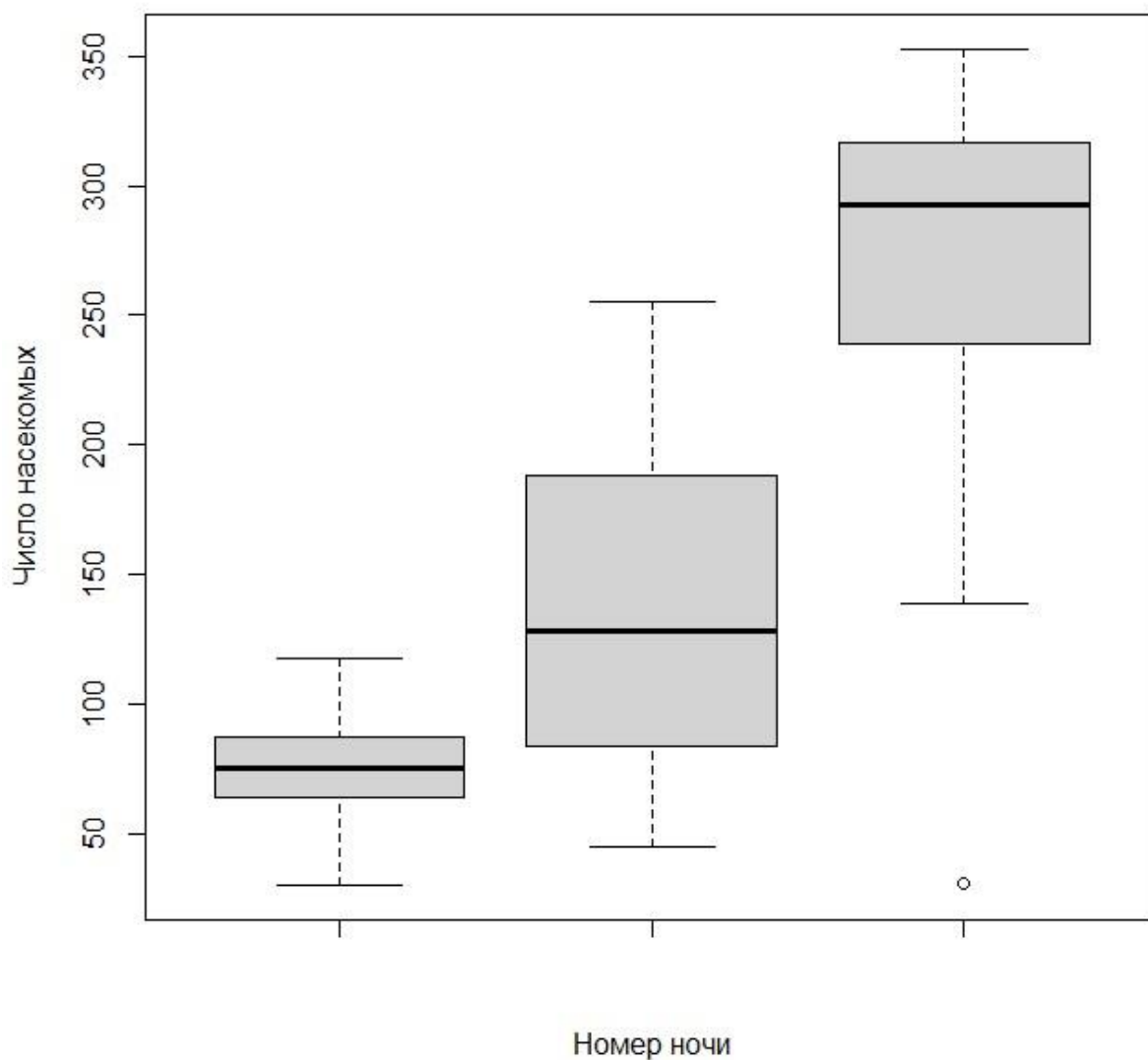


Рис. 4. Диаграмма размаха численности прилетавших во время численности насекомых, учитываемых каждые 15 минут. Серыми прямоугольниками обозначен межквартильный размах, черными полосками на них – медианное значение, линиями кверху и книзу – максимальное и минимальное значения. Белой точкой отмечен выброс (31 насекомое, зафиксировано в 1:15 2 июля 2025 г.).

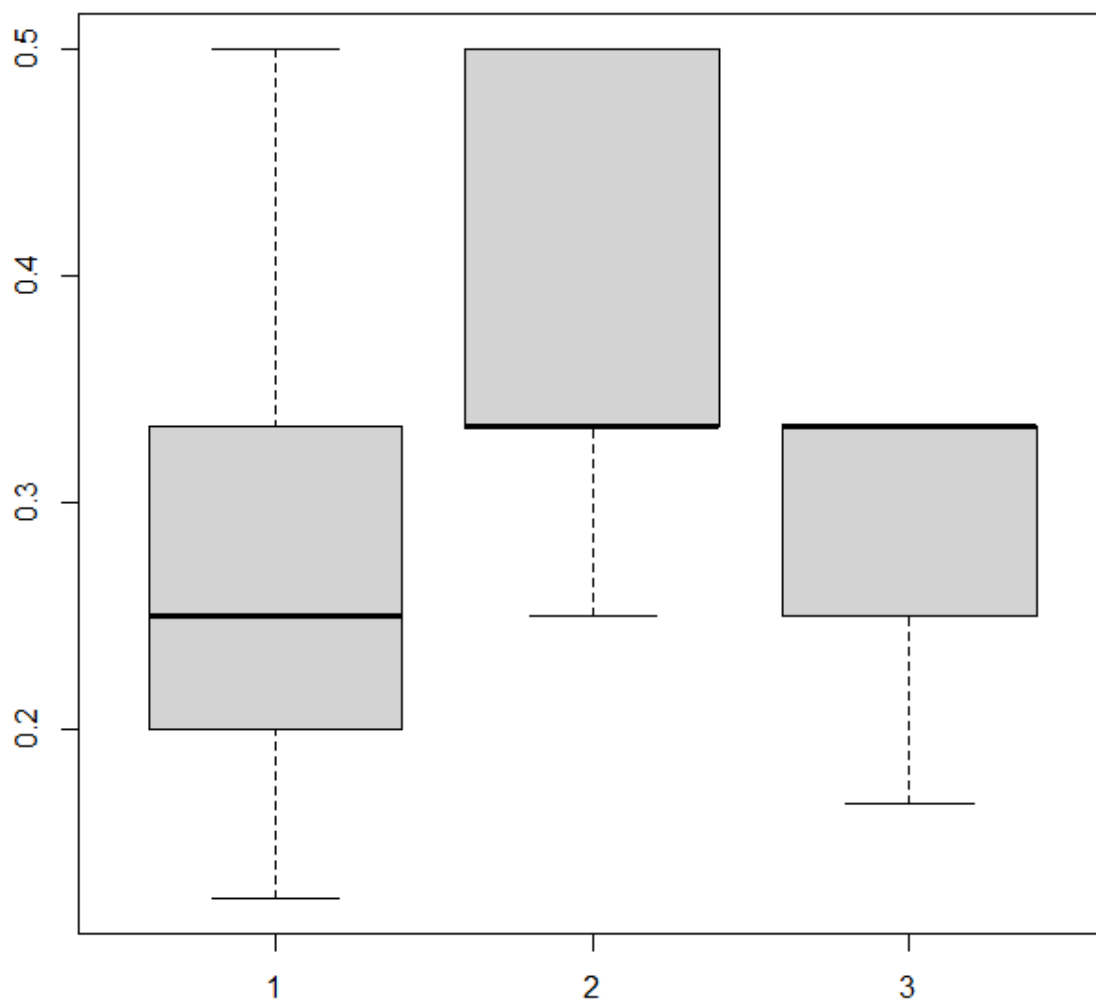


Рис. 5. Доля представителей семейства Chironomidae от общего числа насекомых для всего времени наблюдений. По горизонтали отложены номера ночей, по вертикали – доли хирономид, выраженные в десятичных дробях. По межквартирным прямоугольникам можно наглядно проследить, как менялась доля хирономид: во вторую ночь она возрастает с $1/4$ до $1/3$ (медианные значения), в третью ночь незначительно падает, варьируя от $1/6$ до $1/3$.

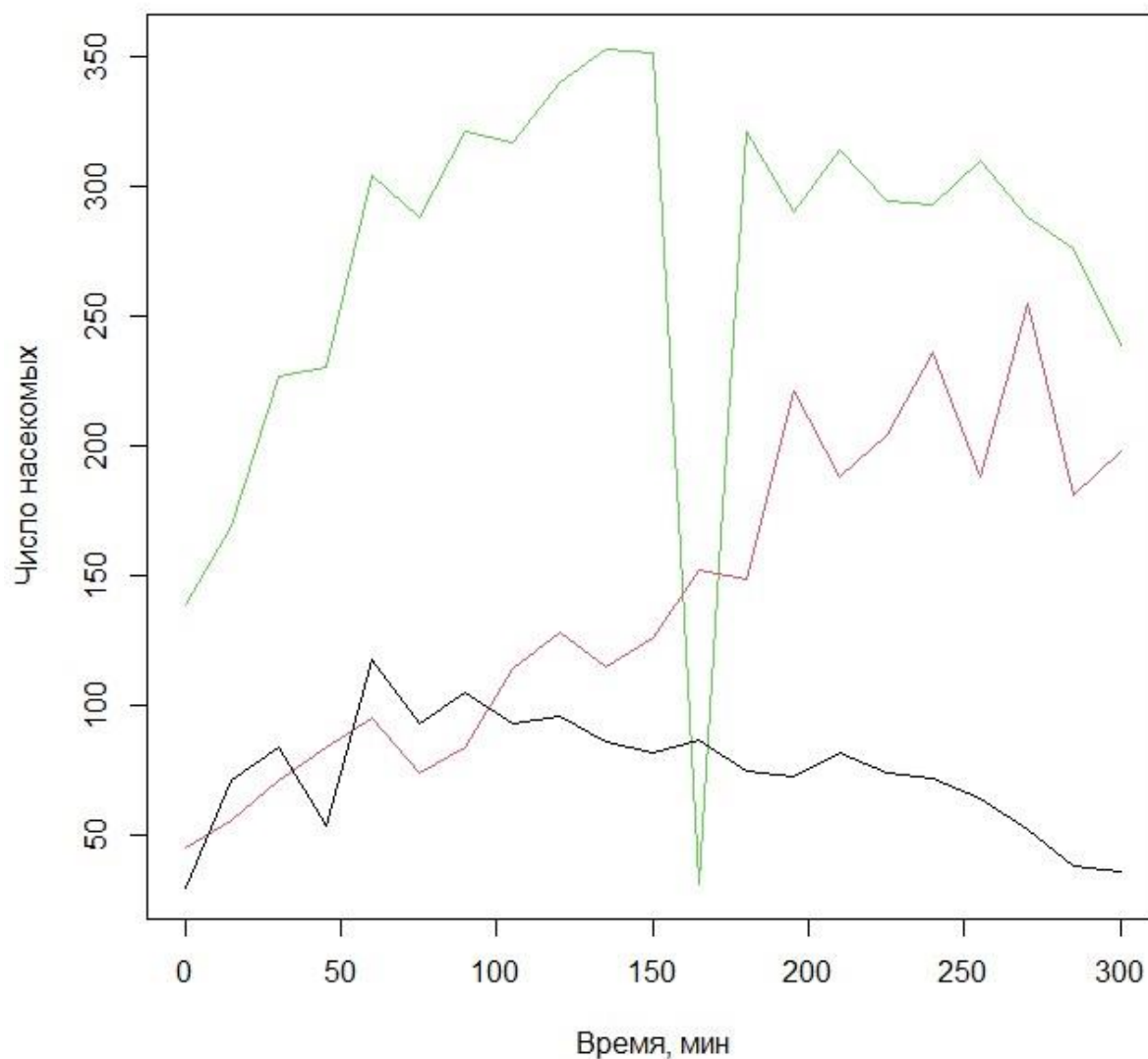


Рис. 6. Графики зависимости числа насекомых в пределах черного квадрата 50×50 см от времени, прошедшего с начала эксперимента, во все ночи: черный график – в первую (29–30 июня 2025 г.), темно-красный – во вторую (30 июня – 1 июля 2025 г.), зеленый – в третью (1–2 июля 2025 г.).

Рис. 7–11 иллюстрируют соотношения числа насекомых и разных погодных условий для всех трех ночей: рис. 7–9 – числа насекомых и температуры по данным трех разных источников, рис. 10 – числа насекомых и влажности воздуха, рис. 11 – числа насекомых и атмосферного давления.

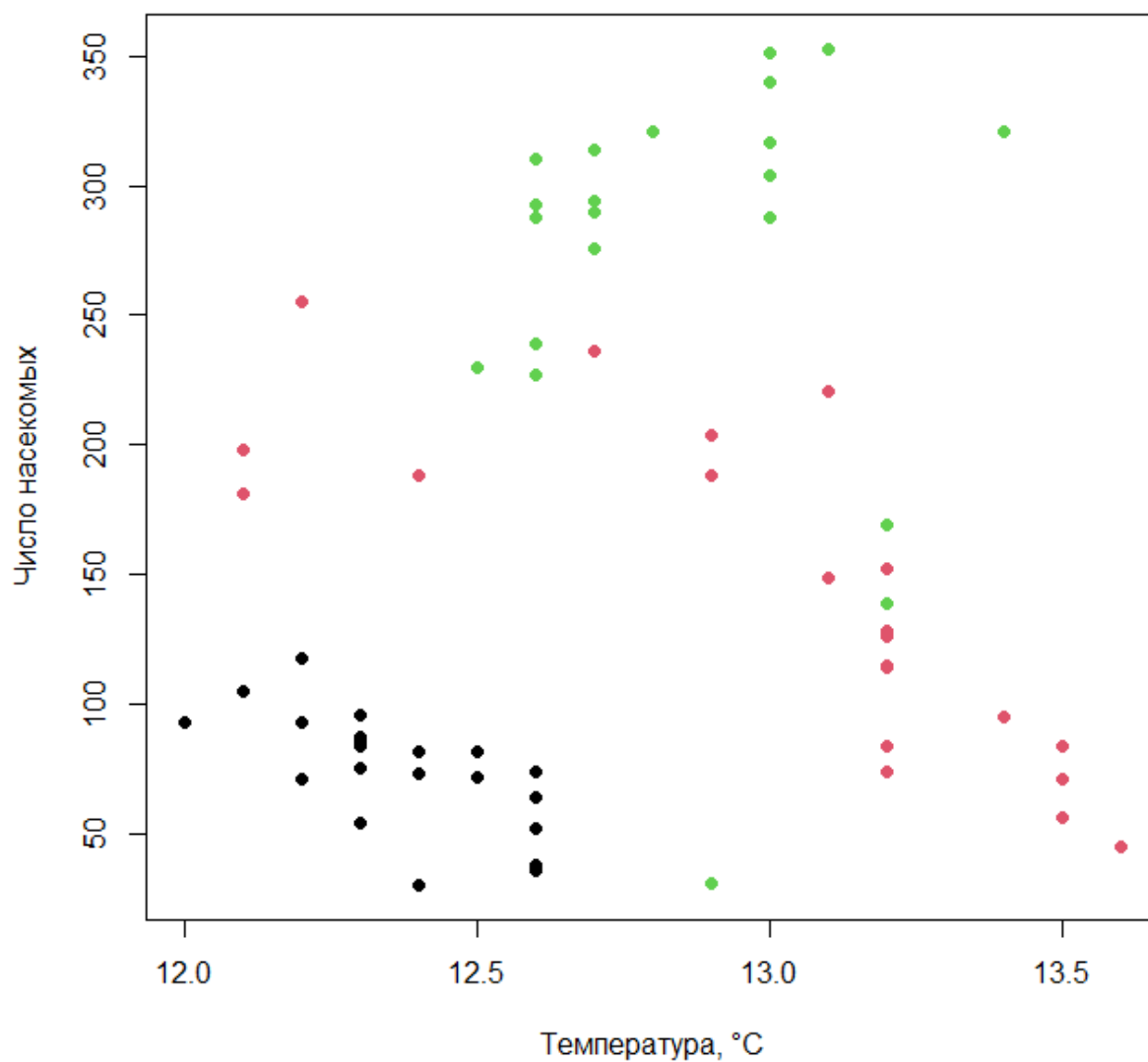


Рис. 7. Соотношения числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и температуры воздуха по данным датчика портативной метеостанции во все ночи: черные точки – в первую (29–30 июня 2025 г.), красные – во вторую (30 июня – 1 июля 2025 г.), зеленые – в третью (1–2 июля 2025 г.).

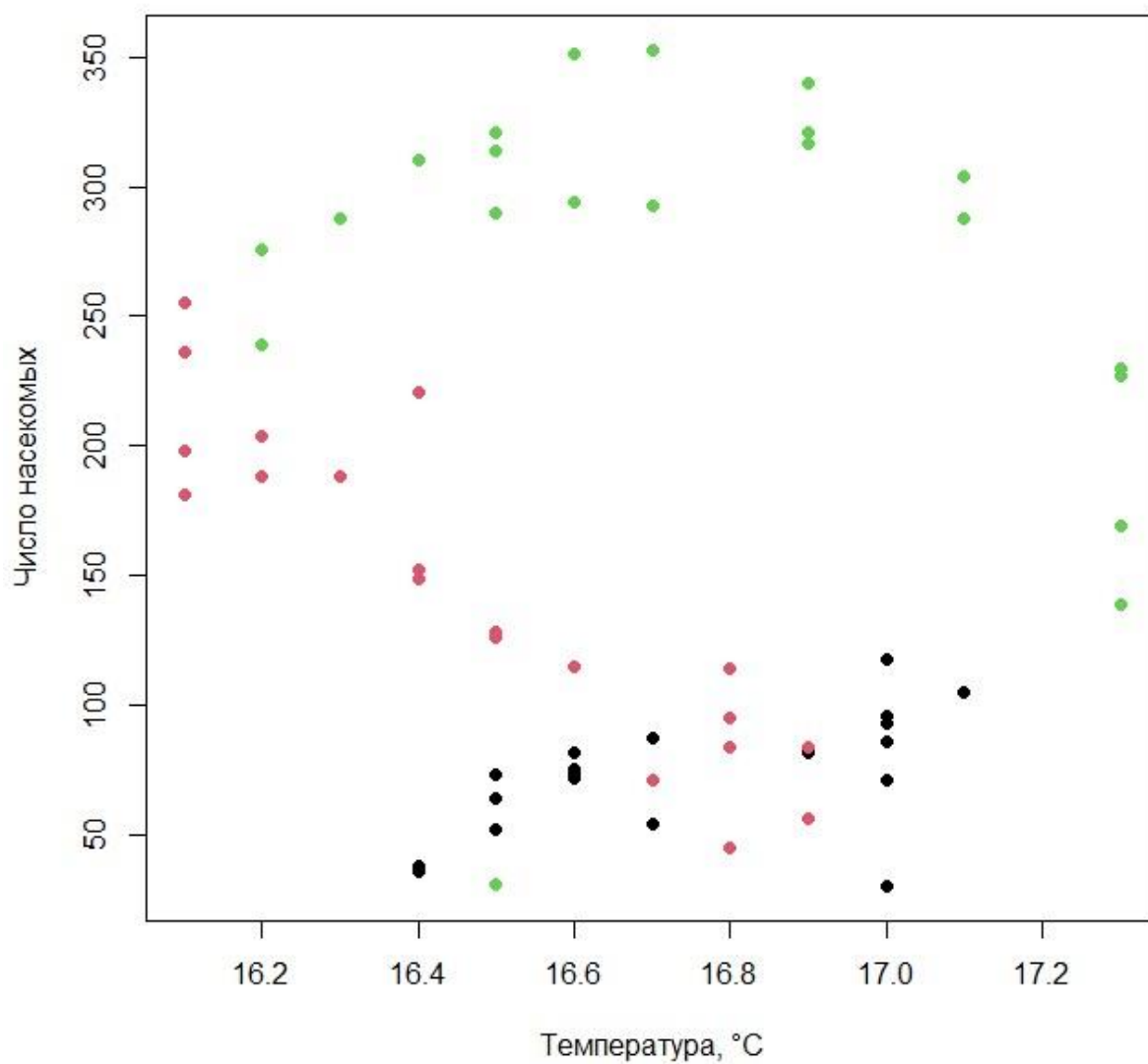


Рис. 8. Соотношения числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и температуры воздуха по данным портативной метеостанции во все ночи: черные точки – в первую (29–30 июня 2025 г.), красные – во вторую (30 июня – 1 июля 2025 г.), зеленые – в третью (1–2 июля 2025 г.).

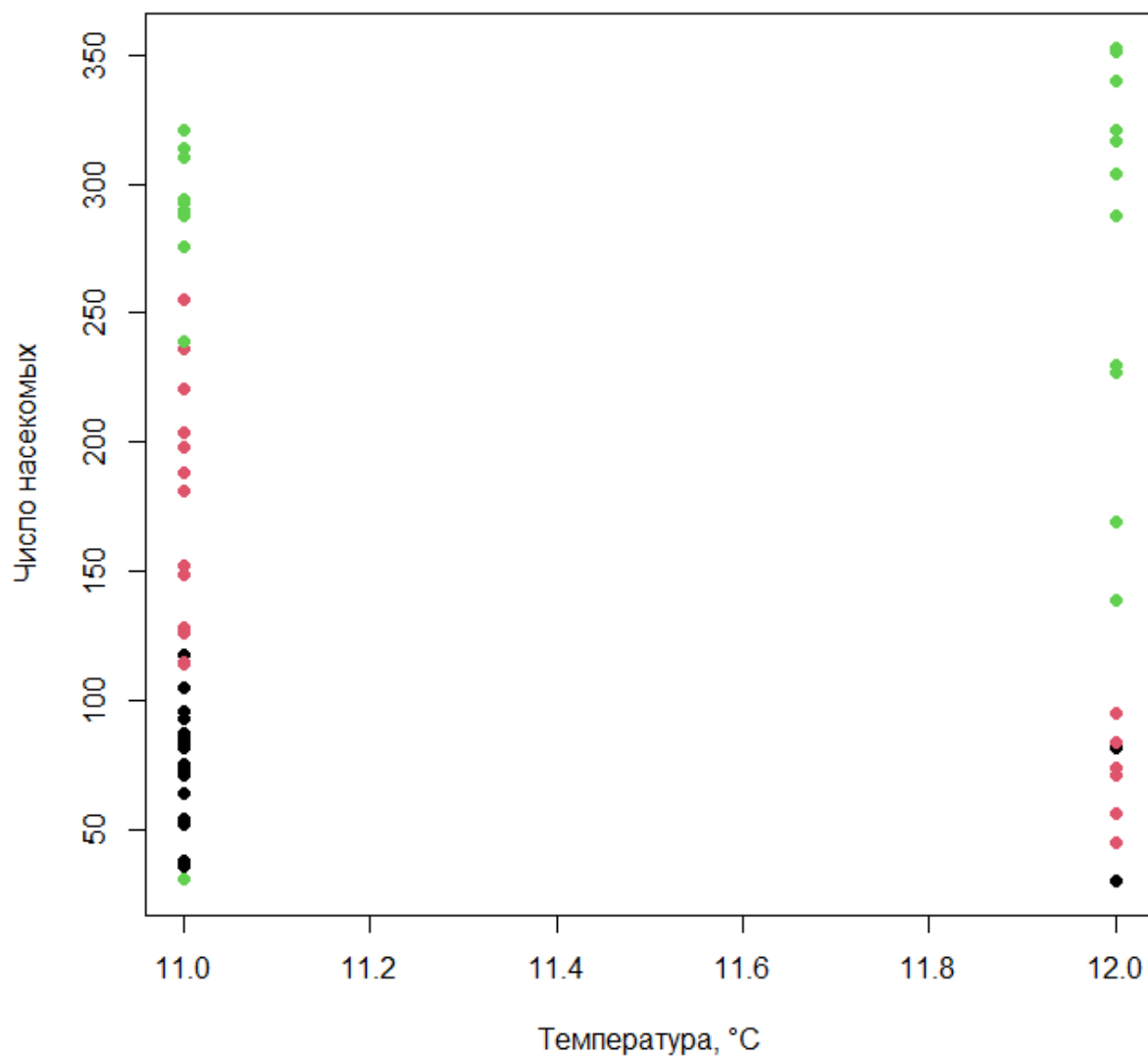


Рис. 9. Соотношения числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и температуры воздуха по данным спиртового термометра во все ночи: черные точки – в первую (29–30 июня 2025 г.), красные – во вторую (30 июня – 1 июля 2025 г.), зеленые – в третью (1–2 июля 2025 г.).

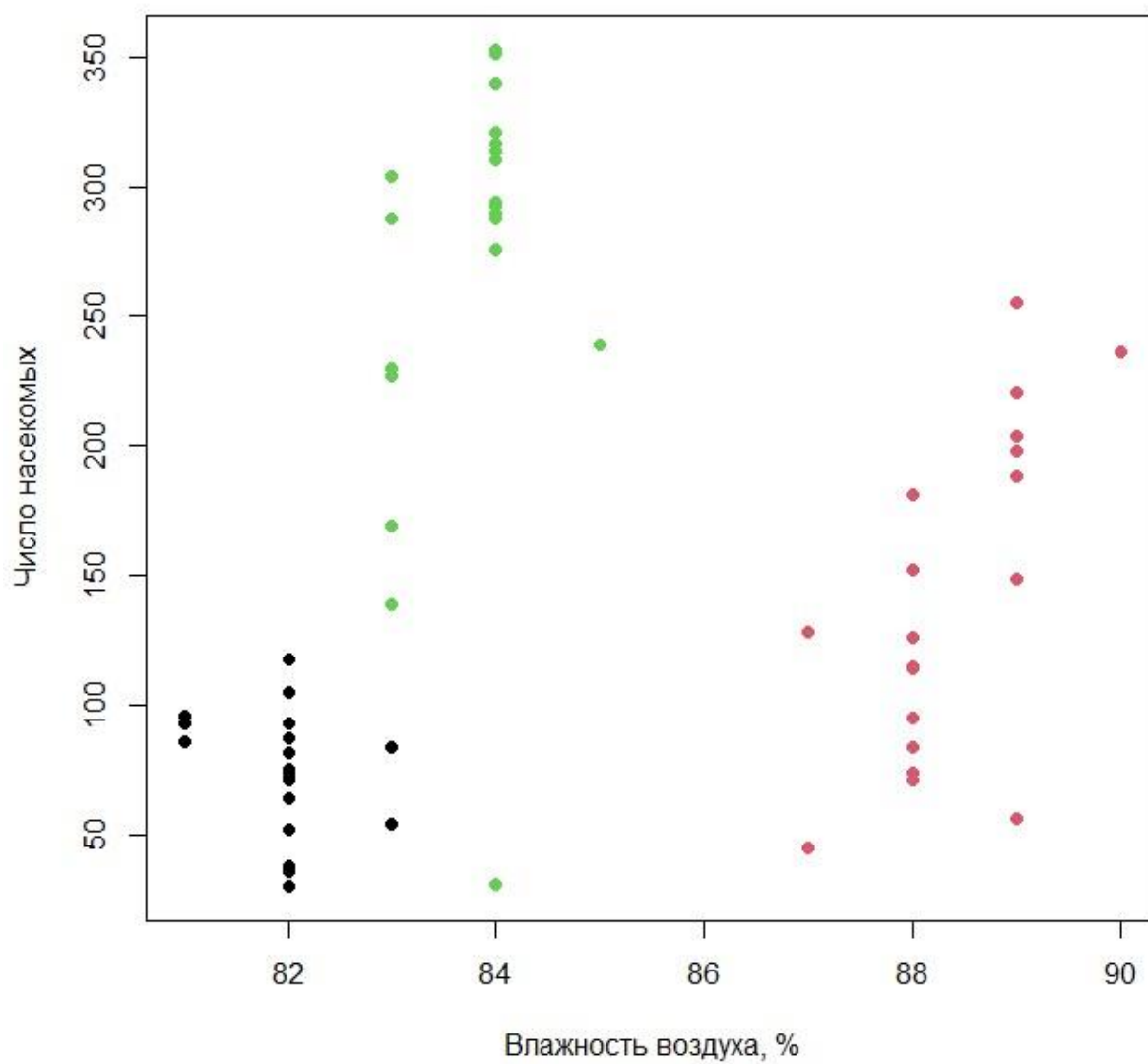


Рис. 10. Соотношения числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и относительной влажности воздуха во все ночи: черные точки – в первую (29–30 июня 2025 г.), красные – во вторую (30 июня – 1 июля 2025 г.), зеленые – в третью (1–2 июля 2025 г.).

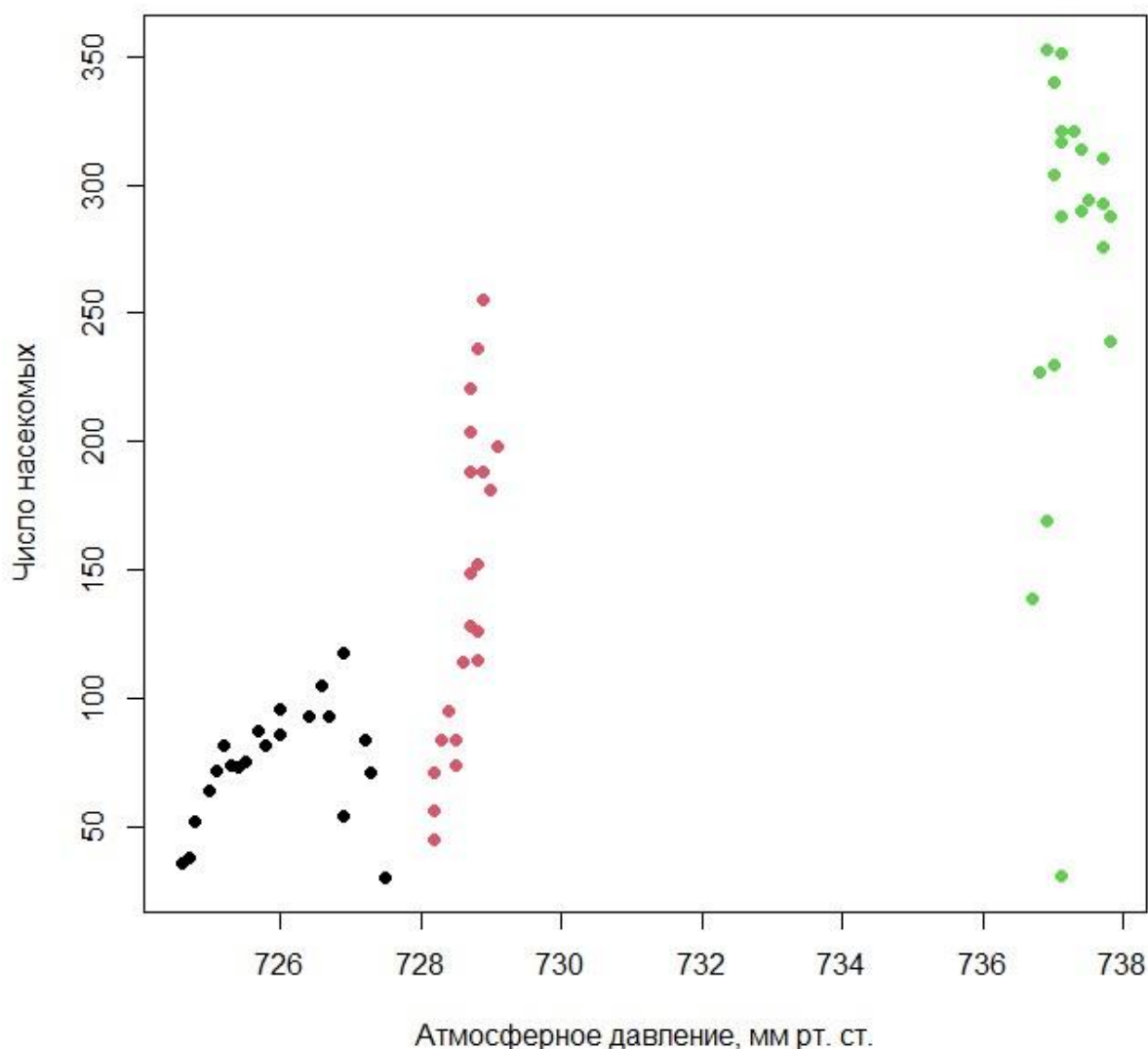


Рис. 11. Соотношения числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и атмосферного давления во все ночи: черные точки – в первую (29–30 июня 2025 г.), красные – во вторую (30 июня – 1 июля 2025 г.), зеленые – в третью (1–2 июля 2025 г.).

Соотношения числа насекомых и температуры воздуха по данным разных источников (датчик метеостанции, она сама и ртутный термометр) для первой ночи представлены на рис. 12–14. На основе показаний датчика и метеостанции между этими двумя значениями была выявлена корреляция, причем по данным первого она отрицательна ($\rho = -0,71$, $p = 0,003$), а по данным второй – положительна ($\rho = 0,65$, $p = 0,001$). На основе показаний ртутного термометра взаимосвязи выявлено не было ($\rho = -0,23$, $p = 0,32$).

Соотношение числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и влажности воздуха для первой ночи проиллюстрировано диаграммой рассеяния на рис. 15. Статистически

значимой корреляции между ними не было выявлено ($\rho = -0,35$, $p = 0,12$), однако низкое значение p позволяет заподозрить ее наличие.

На рис. 16 представлено соотношение числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и атмосферного давления для первой ночи (29–30 июня 2025 г.). Вероятно, между данными значениями есть положительная корреляция ($\rho = 0,38$, $p = 0,09$), однако мы не можем быть в этом твердо уверены ($p > 0,05$, но ненамного).

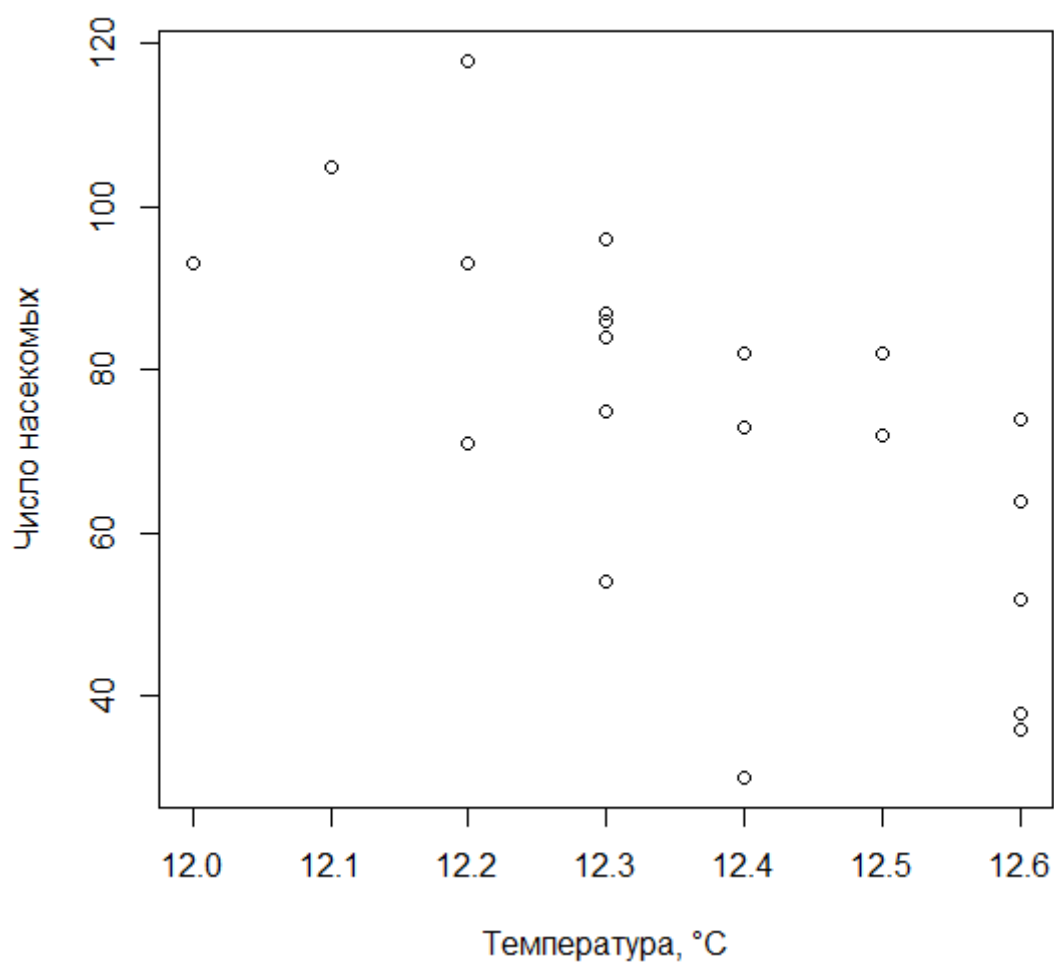


Рис. 12. Соотношение числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и температуры воздуха по данным датчика портативной метеостанции для первой ночи (29–30 июня 2025 г.).

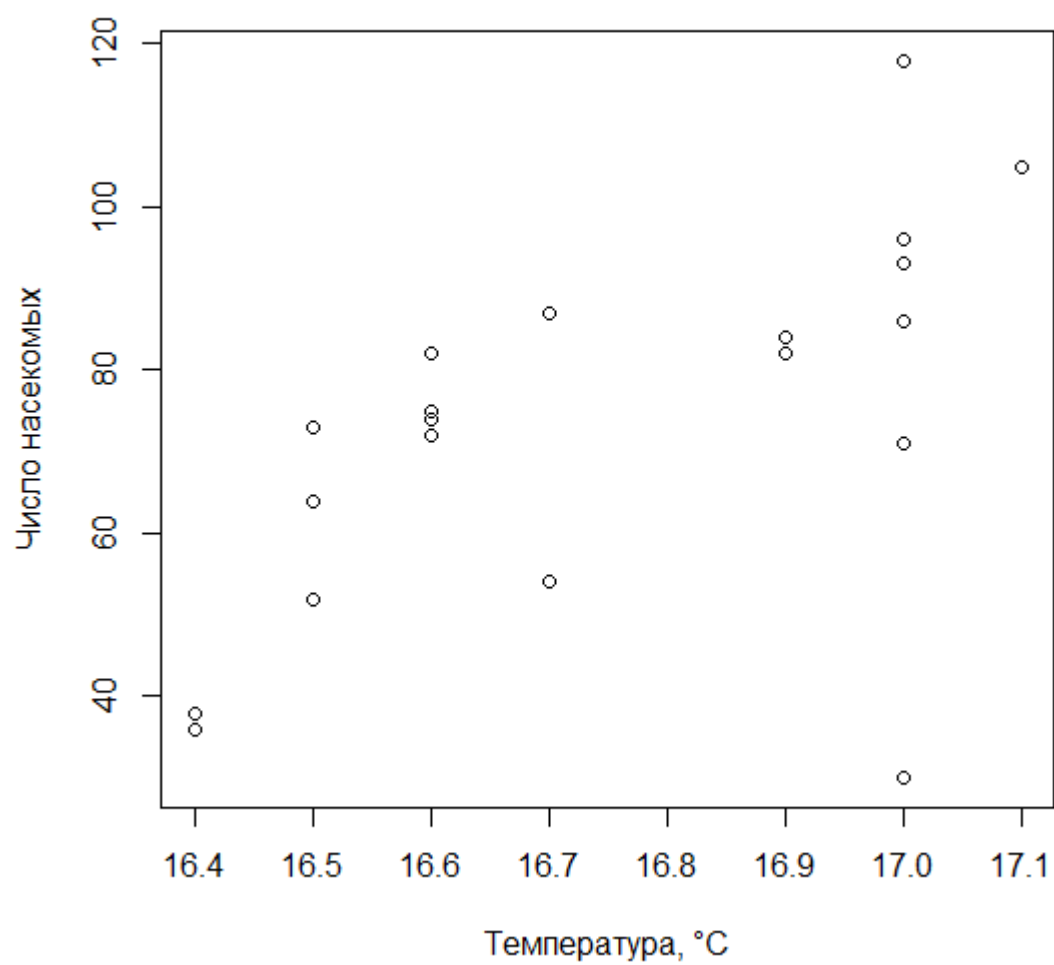


Рис. 13. Соотношение числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и температуры воздуха по данным портативной метеостанции для первой ночи (29–30 июня 2025 г.).

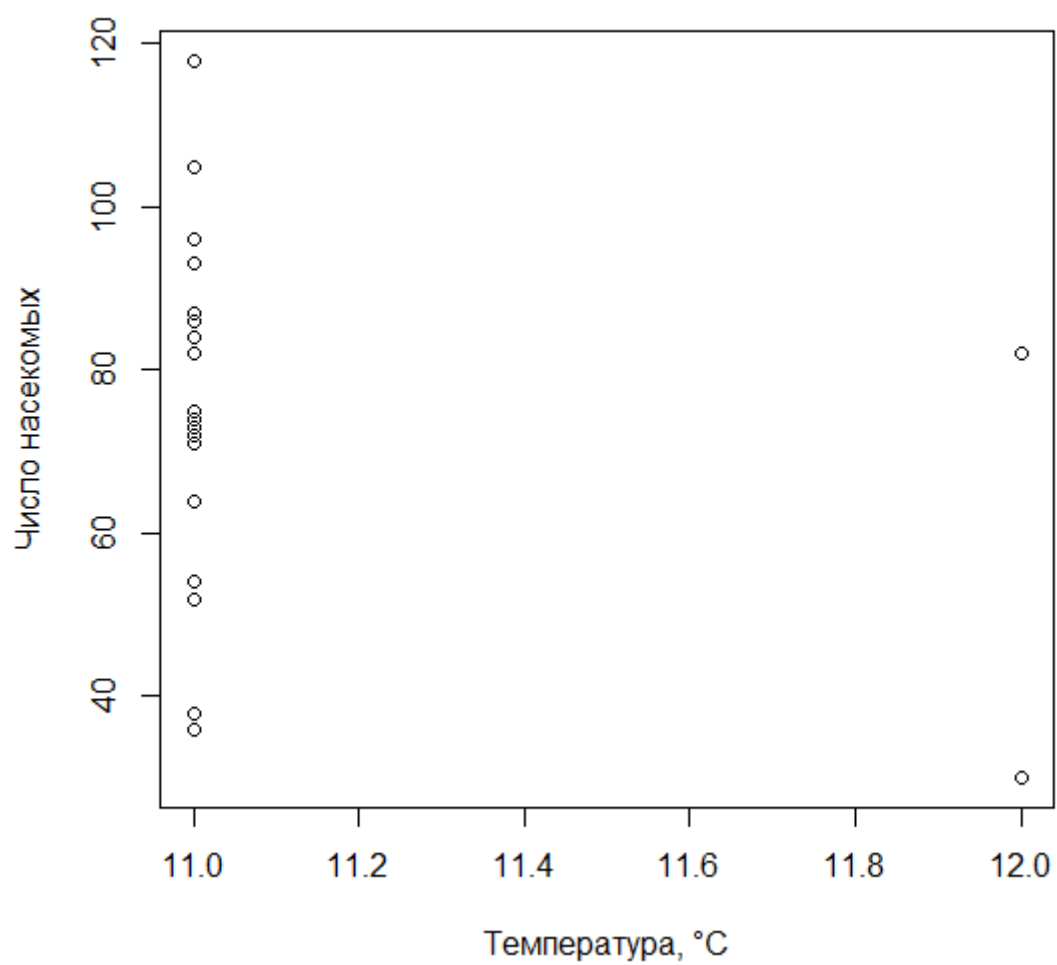


Рис. 14. Соотношение числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и температуры воздуха по данным ртутного термометра для первой ночи (29–30 июня 2025 г.).

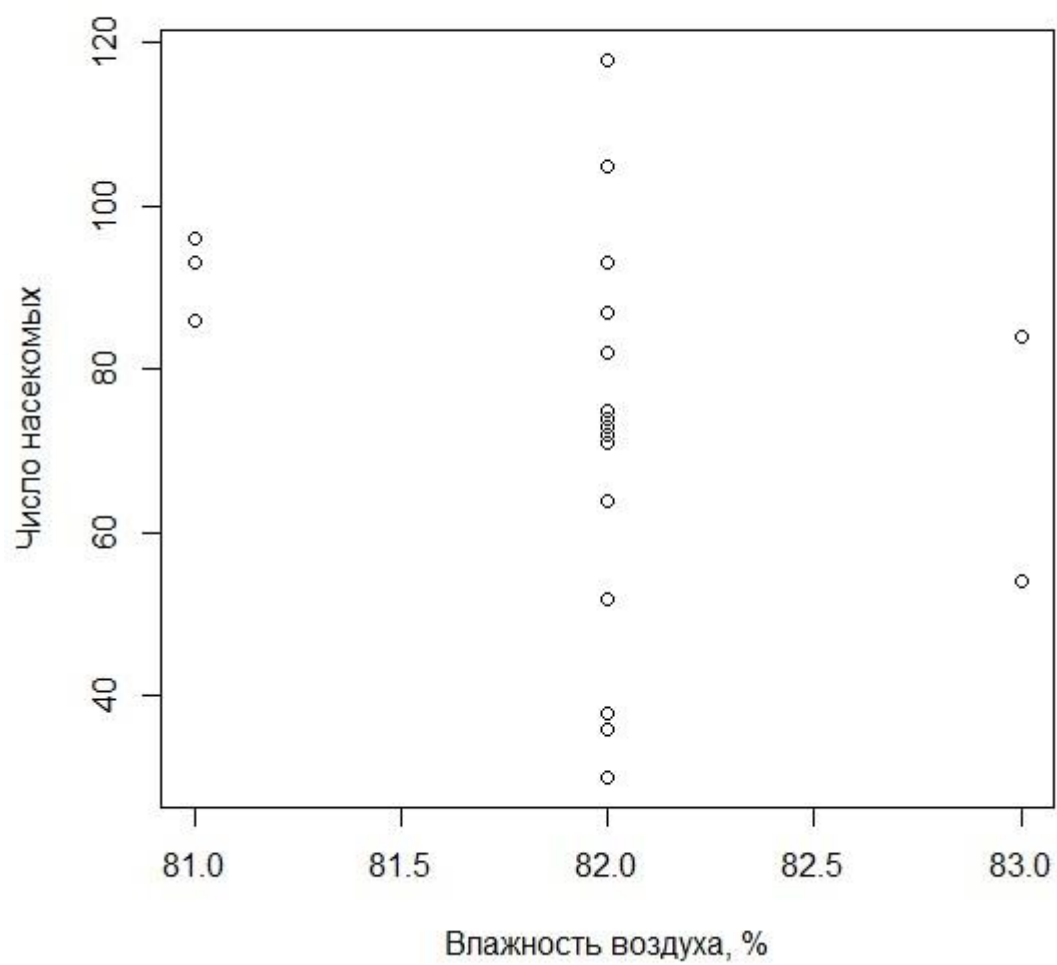


Рис. 15. Соотношение числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и влажности воздуха для первой ночи (29–30 июня 2025 г.).

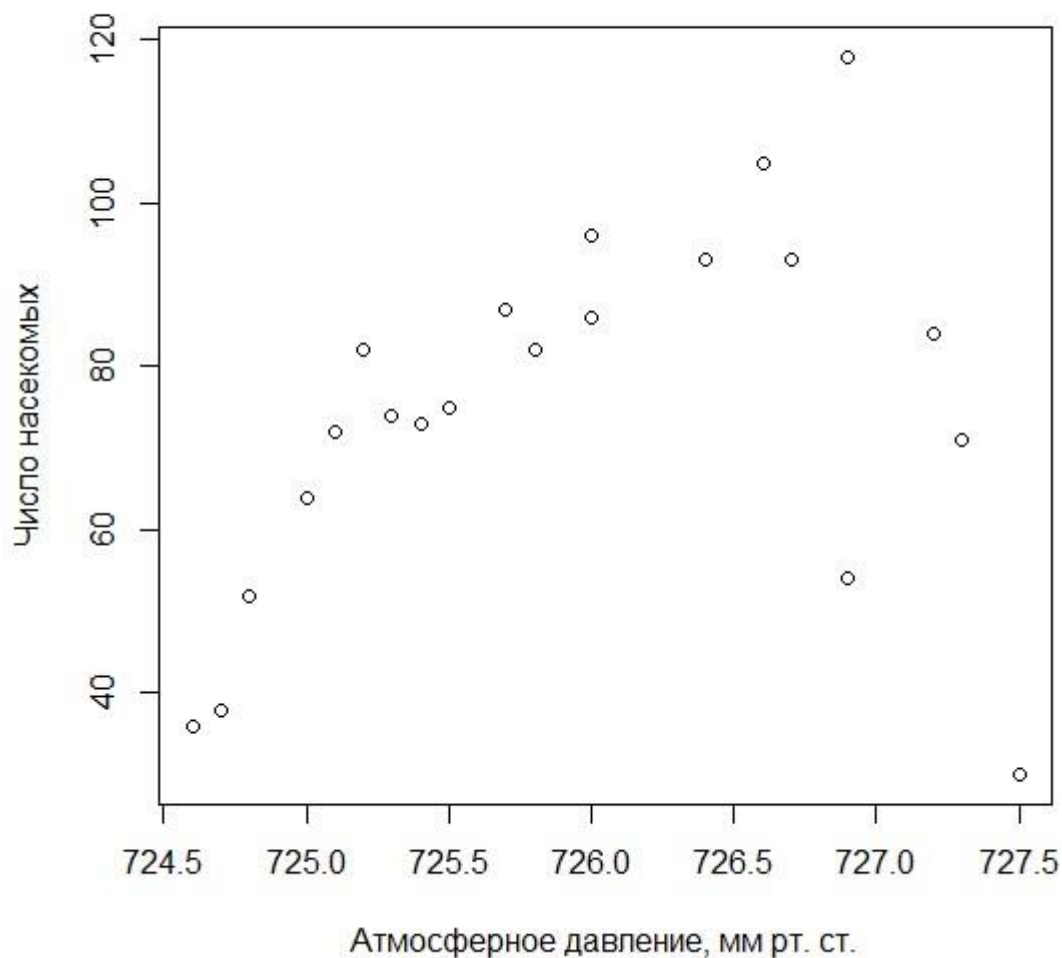


Рис. 16. Соотношение числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и атмосферного давления для первой ночи (29–30 июня 2025 г.).

На рис. 17–21 представлены соотношения насекомых и разных параметров погодных условий для второй ночи. Диаграммы рассеяния рис. 17–19 демонстрируют соотношения численности и температур по данным датчика портативной метеостанции, ее самой и ртутного термометра соответственно. Изменения числа насекомых от влажности воздуха и атмосферного давления проиллюстрированы на рис. 20–21 соответственно.

Между числом фотоксенов и температурой были выявлены отрицательные корреляции на основании показаний каждого из трех источников ($\rho = -0,88$, $p < 0,01$ для датчика; $\rho = -0,71$, $p < 0,01$ для метеостанции; $\rho = -0,82$, $p < 0,01$ для ртутного термометра). Между числом насекомых и влажностью воздуха, а также и атмосферным давлением наблюдались положительные корреляции ($\rho = 0,67$, $p < 0,01$ для влажности воздуха; $\rho = 0,79$; $p < 0,01$ для давления).

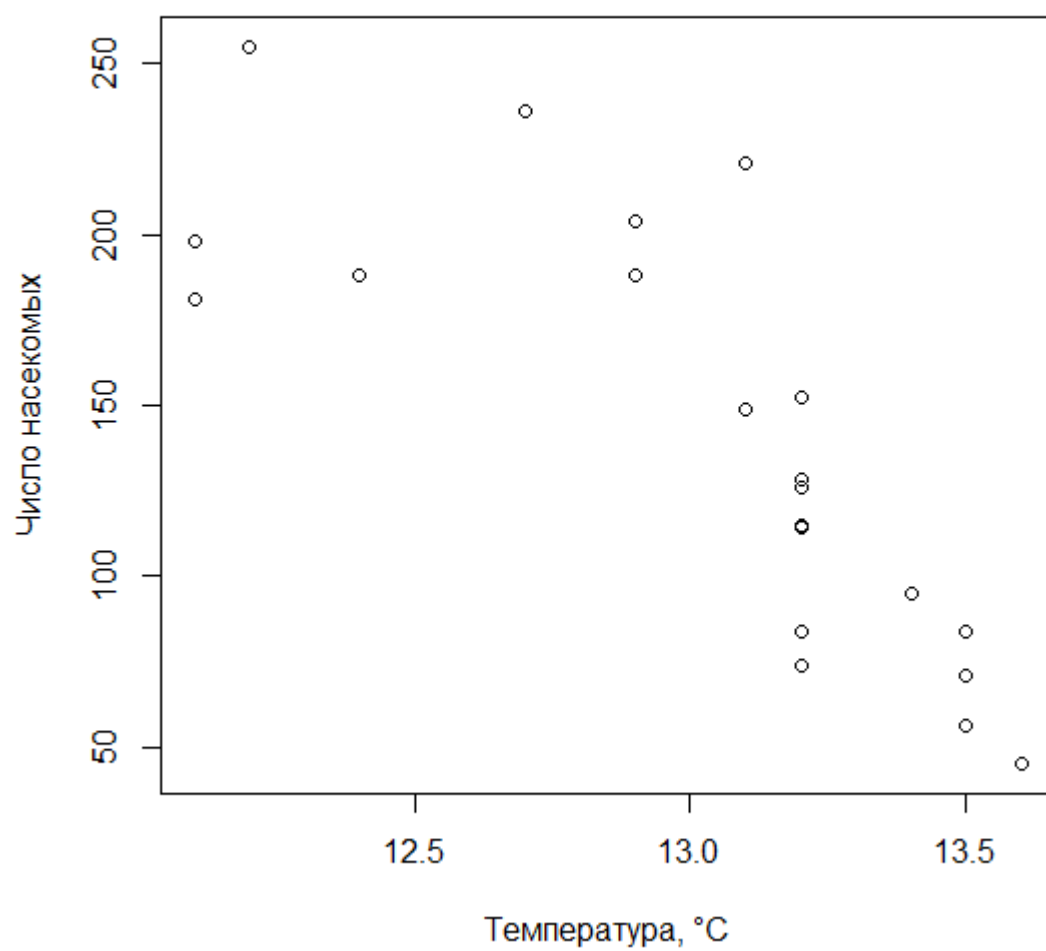


Рис. 17. Соотношение числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и температуры по данным датчика портативной метеостанции для второй ночи (30 июня – 1 июля 2025 г.).

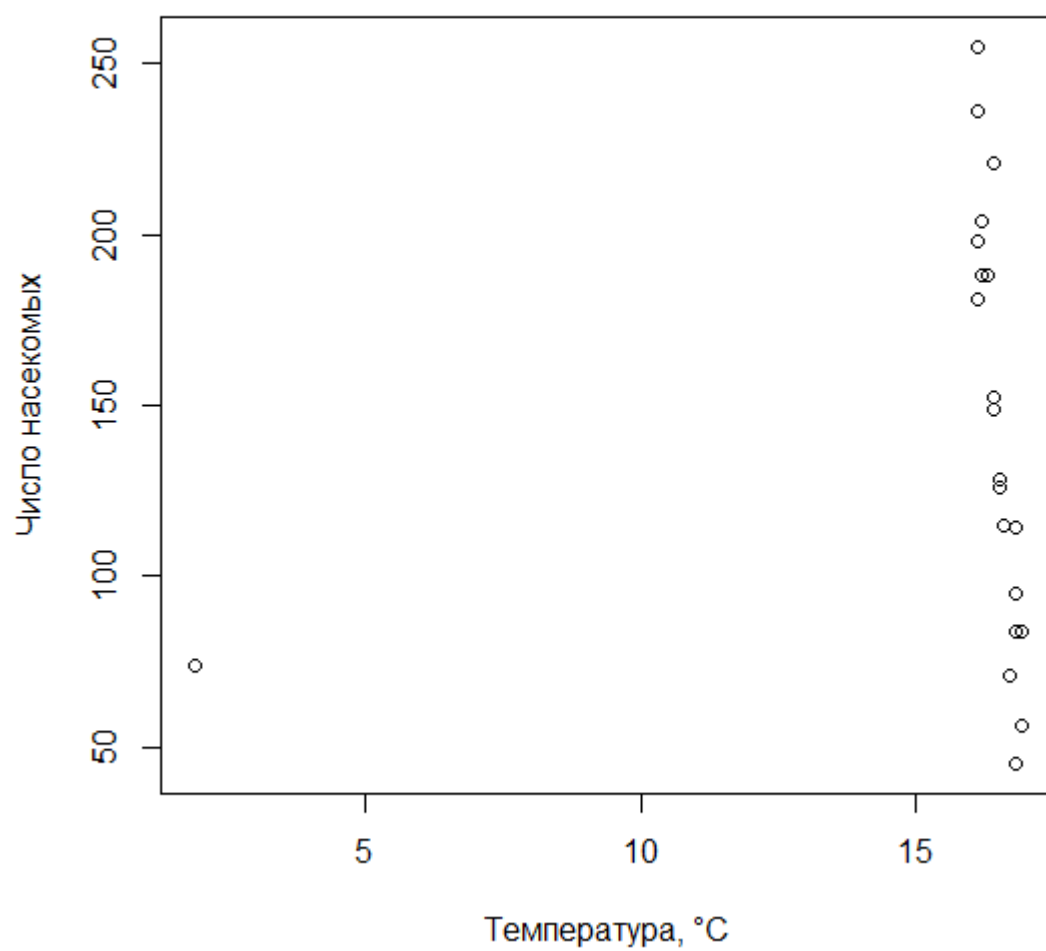


Рис. 18. Соотношение числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и температуры воздуха по данным портативной метеостанции для второй ночи (30 июня – 1 июля 2025 г.).

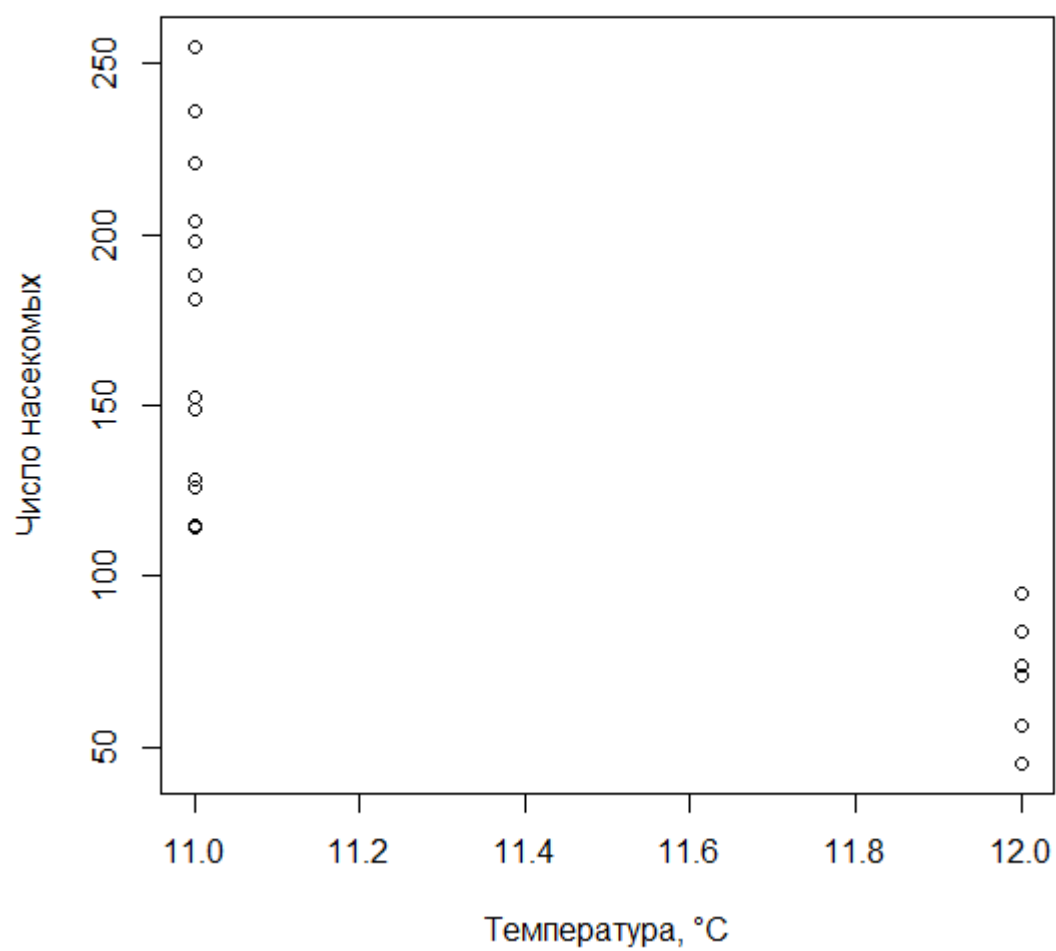


Рис. 19. Соотношение числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и температуры воздуха по данным ртутного термометра для второй ночи (30 июня – 1 июля 2025 г.).

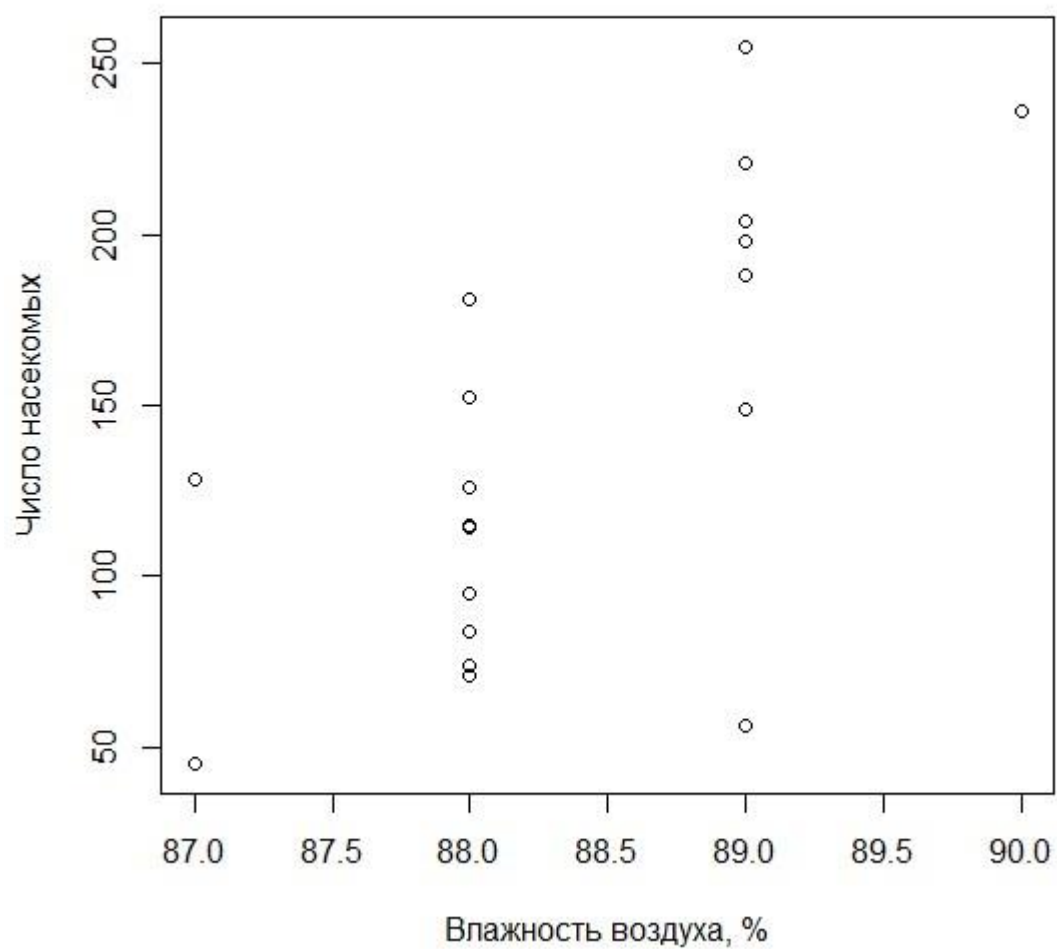


Рис. 20. Соотношение числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и влажности воздуха для второй ночи (30 июня – 1 июля 2025 г.).

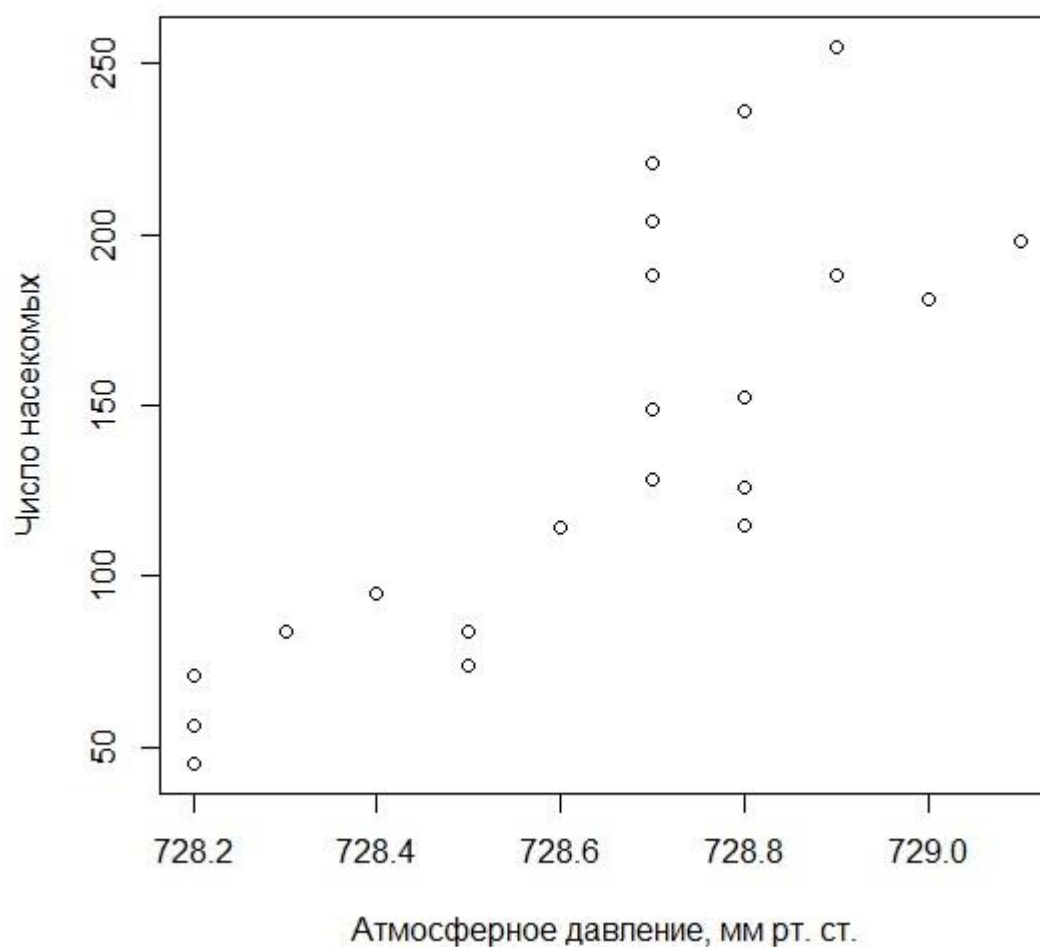


Рис. 21. Соотношение числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и атмосферного давления для второй ночи (30 июня – 1 июля 2025 г.).

Рис. 22–26 иллюстрируют предполагаемые изменения числа насекомых от разных погодных условий для третьей ночи. Диаграммы рассеяния, соответствующие соотношению численности фотоксенов и температуры воздуха по данным трех наших источников, представлены на рис. 22–24. На рис. 25–26 продемонстрированы соотношения числа насекомых с влажностью воздуха и атмосферным давлением соответственно.

Между числом фотоксенов и температурой воздуха и атмосферным давлением на основе данных из каждого из трех источников значимой корреляции выявлено не было ($\rho = 0,27$, $\rho = 0,23$ для датчика; $\rho = -0,16$, $\rho = 0,47$ для метеостанции; $\rho = 0,13$, $\rho = 0,59$ для ртутного термометра; $\rho = 0,08$, $\rho = 0,73$ для атмосферного давления). Скорее всего, между численностью насекомых и влажностью воздуха присутствует взаимосвязь, однако мы не можем быть твердо в этом уверены ($\rho = 0,42$, $\rho = 0,06$).

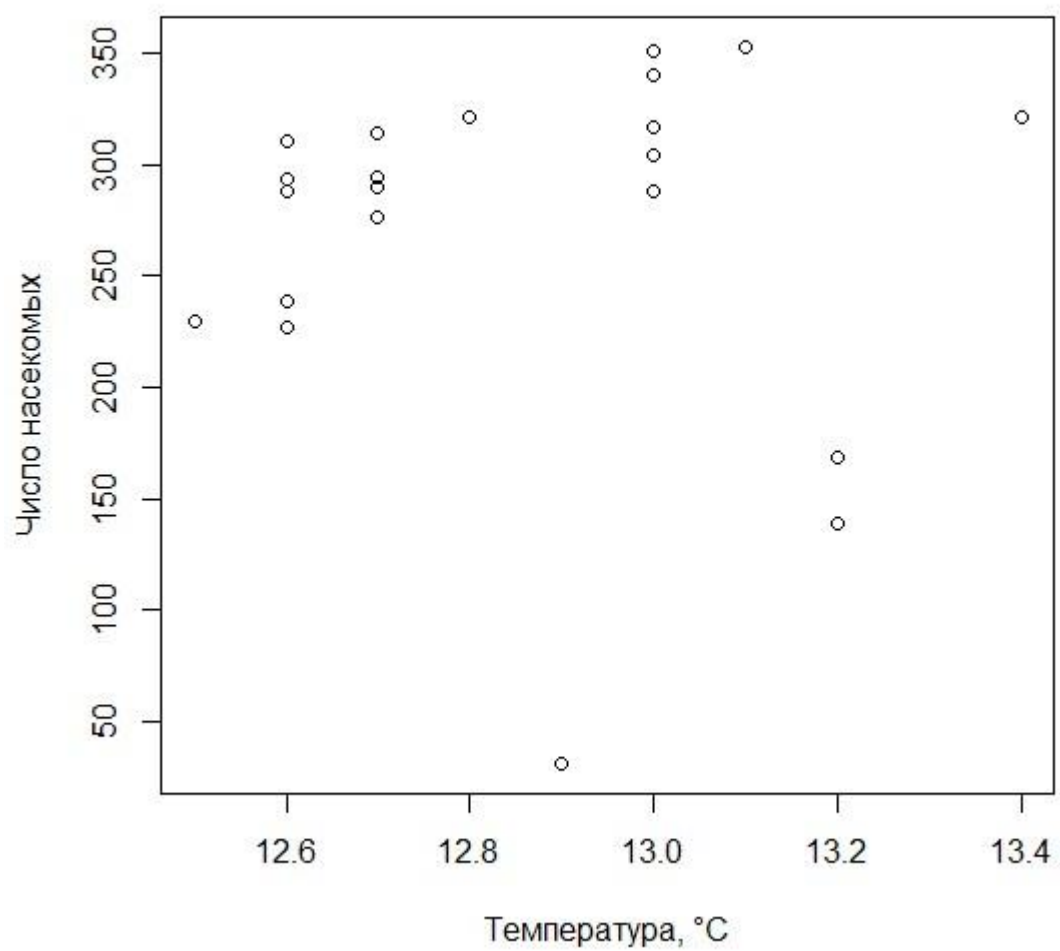


Рис. 22. Соотношение числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и температуры воздуха по данным датчика портативной метеостанции для третьей ночи (1–2 июля 2025 г.).

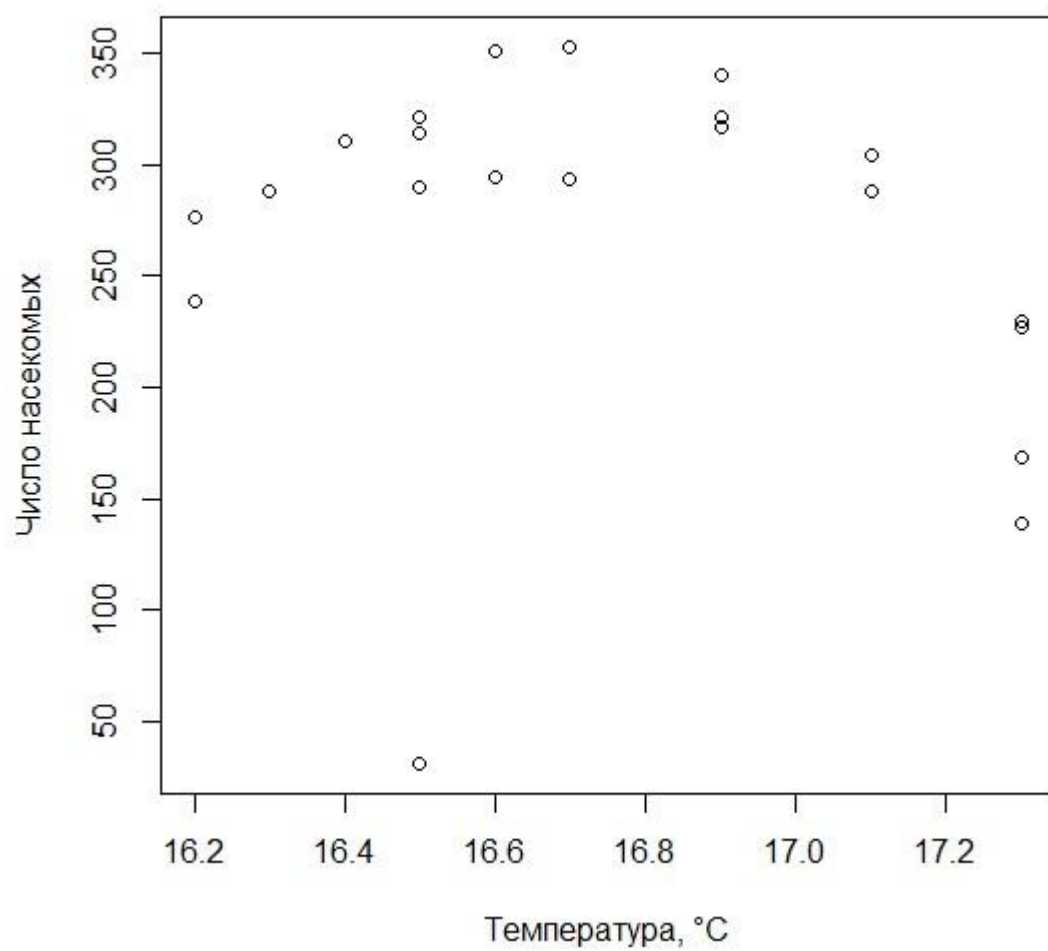
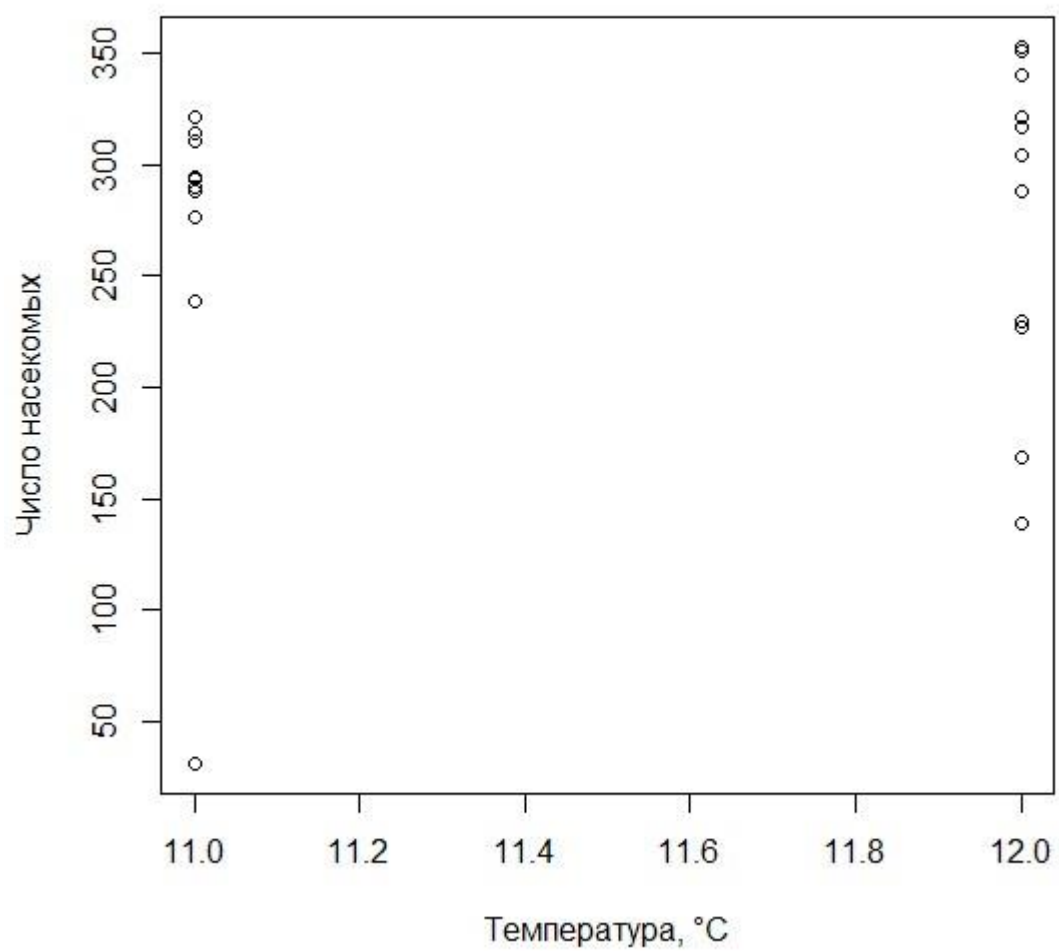


Рис. 23. Соотношение числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и температуры воздуха по данным портативной метеостанции для третьей ночи (1–2 июля 2025 г.).



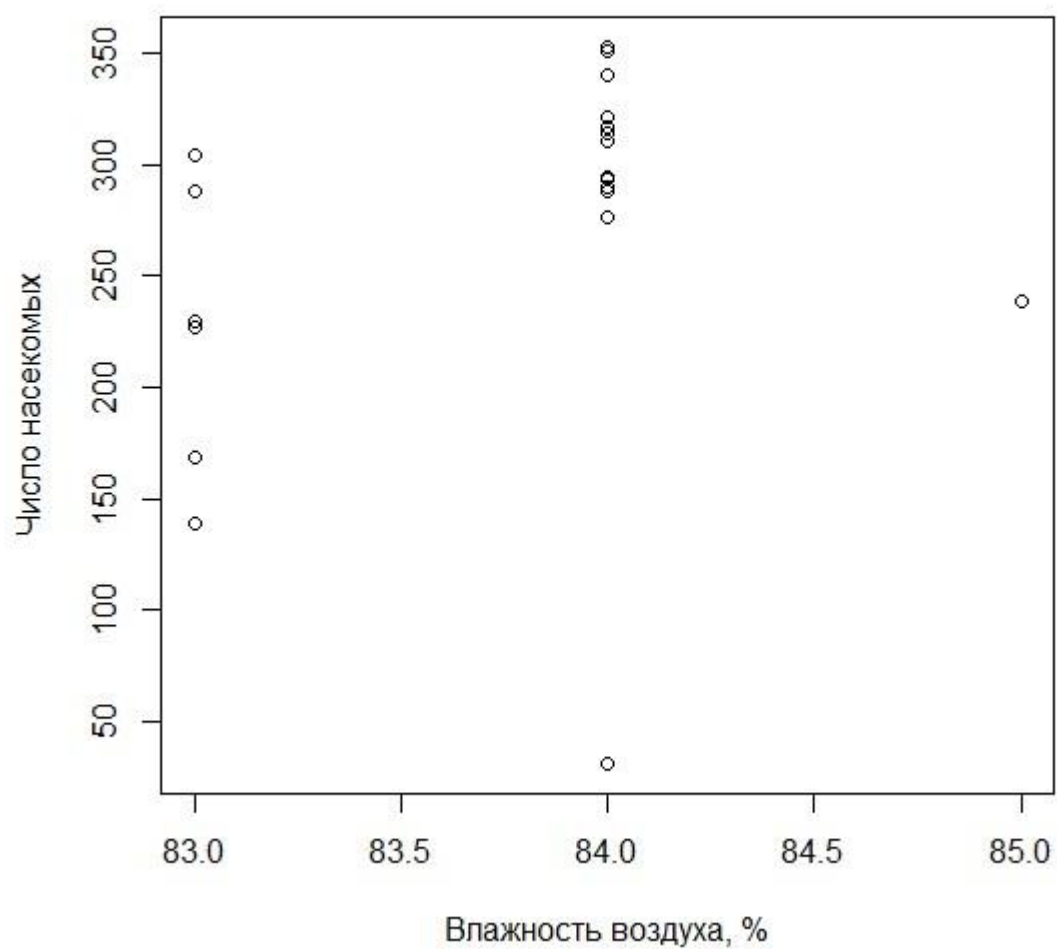


Рис. 25. Соотношение числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и влажности воздуха для третьей ночи (1–2 июля 2025 г.).

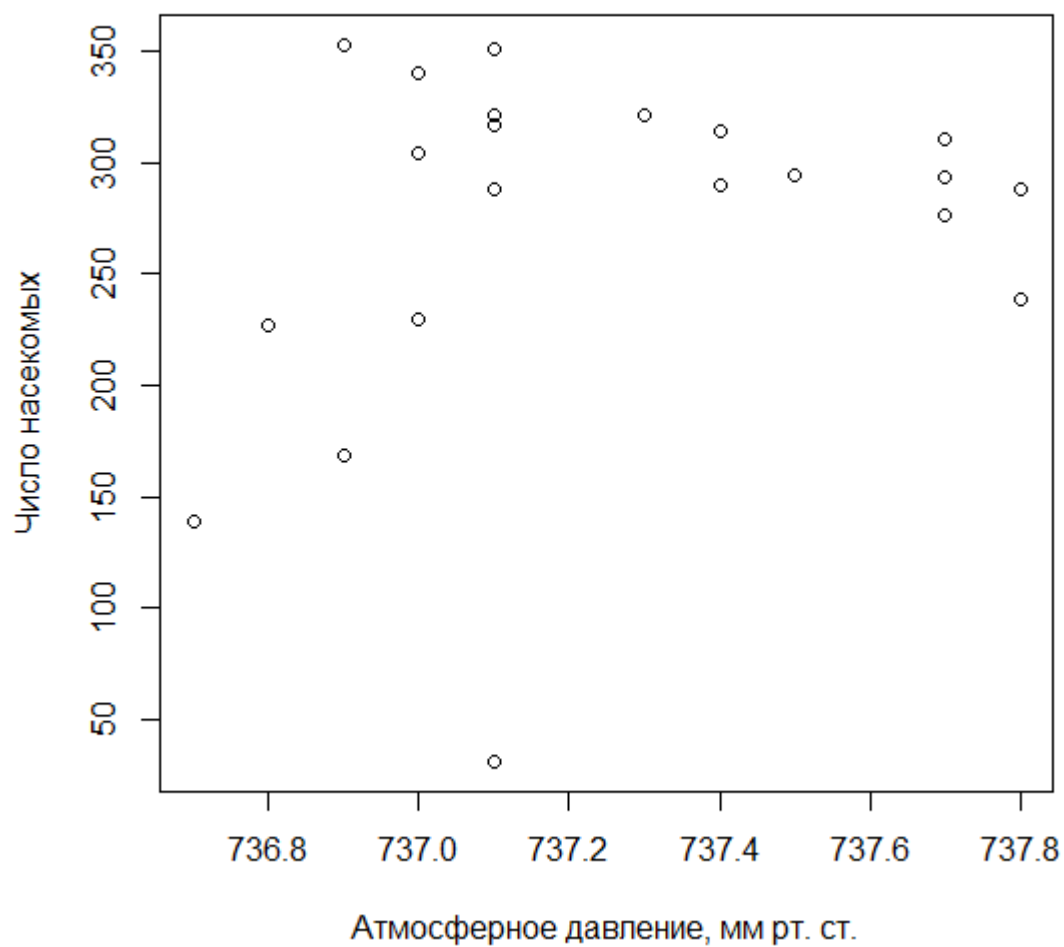


Рис. 26. Соотношение числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и атмосферного давления для третьей ночи (1–2 июля 2025 г.).

На рис. 27 представлены графики зависимости доли, составляемой комарами-звонцами от общего числа насекомых в пределах 50×50 см, от времени для всех трех ночей. Мы можем уверенно говорить о взаимосвязи между долей хирономид и временем в первую ночь ($\rho = 0,61$, $p < 0,01$) и подозревать ее наличие в третью ($\rho = 0,34$, $p = 0,13$). Во вторую ночь корреляции не выявлено ($\rho = 0,14$, $p = 0,56$).

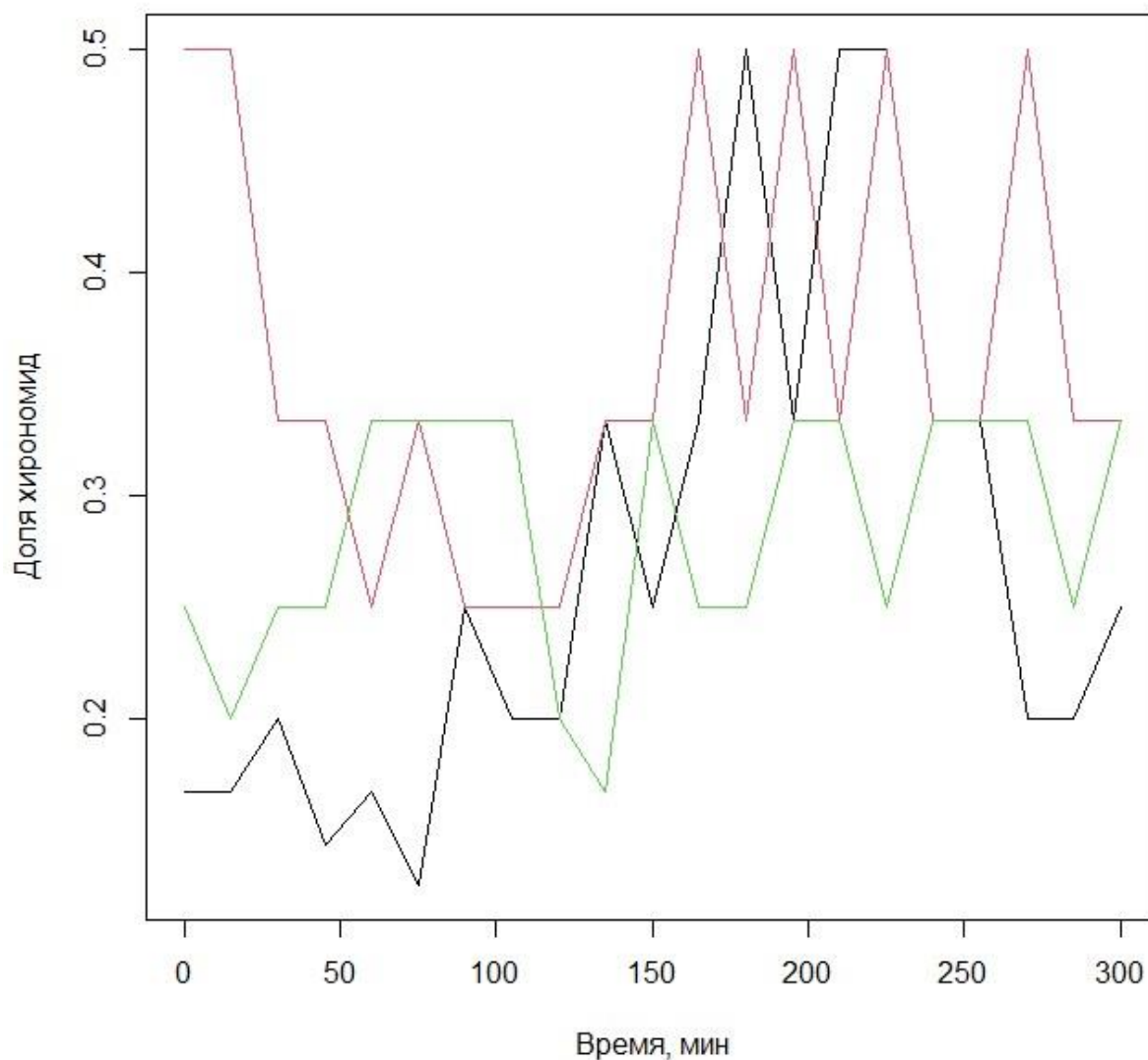


Рис. 27. Графики зависимости доли хирономид от общего числа насекомых в пределах черного квадрата 50×50 см от времени, прошедшего с начала эксперимента, во все ночи: черный график – в первую (29–30 июня 2025 г.), темно-красный – во вторую (30 июня – 1 июля 2025 г.), зеленый – в третью (1–2 июля 2025 г.).

Рис. 28–29 иллюстрируют соотношения доли комаров-звонцов и погодных условий для всех трех ночей: рис. 28 – доли и влажности воздуха, рис. 29 – доли и атмосферного давления.

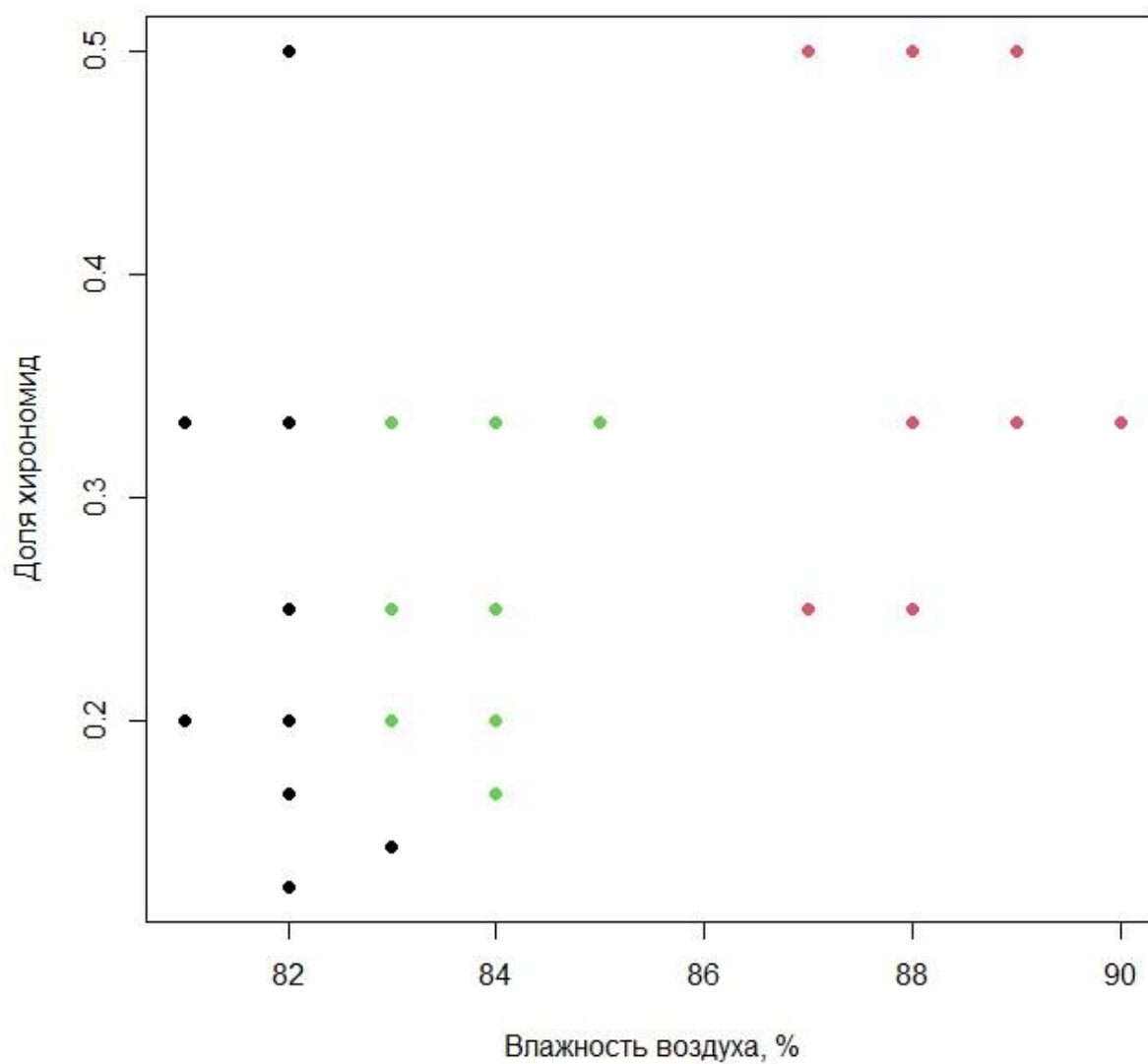


Рис. 28. Соотношения доли хирономид от общего числа насекомых в пределах черного квадрата 50 × 50 см и относительной влажности воздуха во все ночи: черные точки – в первую (29–30 июня 2025 г.), красные – во вторую (30 июня – 1 июля 2025 г.), зеленые – в третью (1–2 июля 2025 г.).

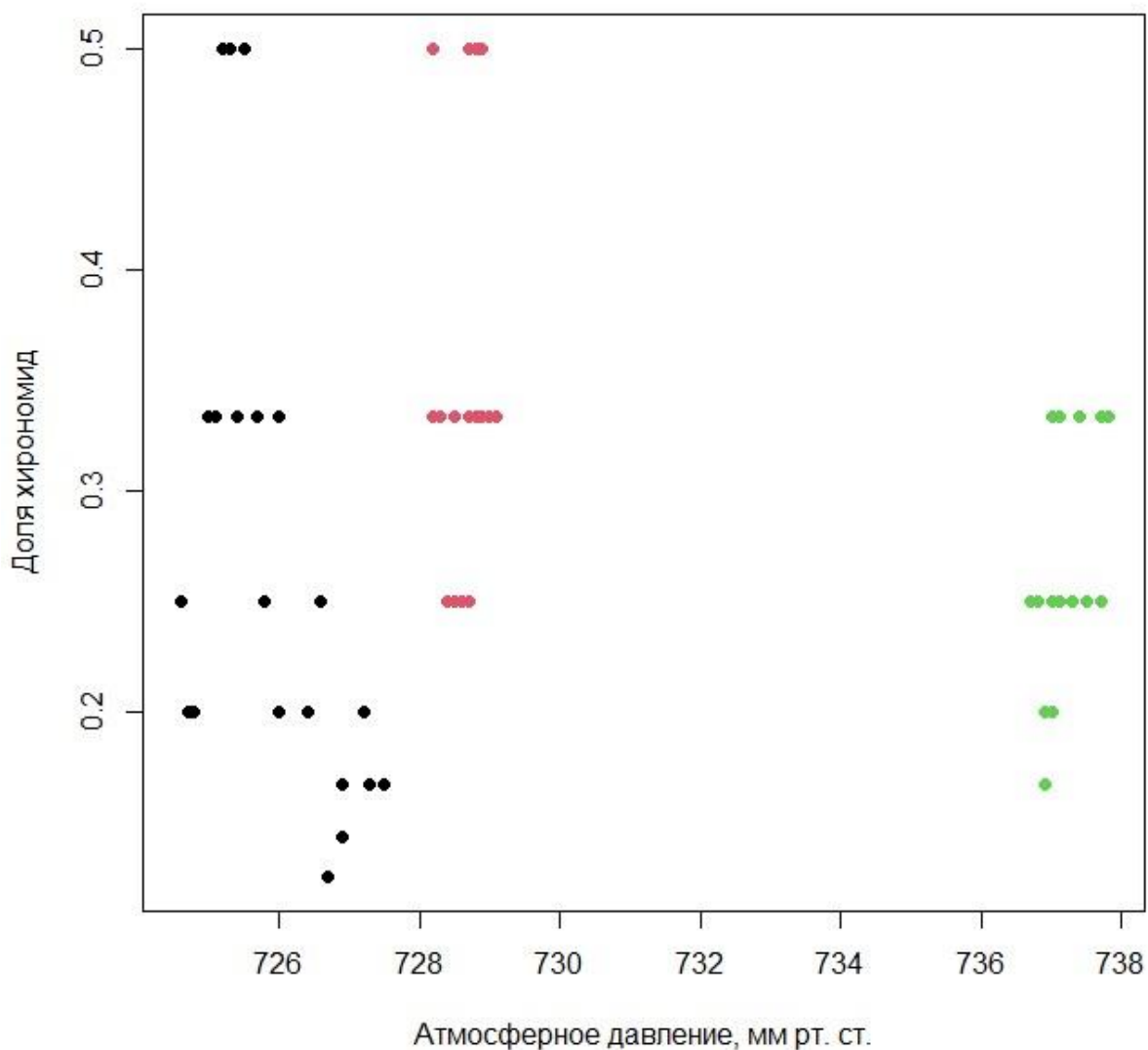


Рис. 29. Соотношения доли хирономид от общего числа насекомых в пределах черного квадрата 50×50 см и атмосферного давления во все ночи: черные точки – в первую (29–30 июня 2025 г.), красные – во вторую (30 июня – 1 июля 2025 г.), зеленые – в третью (1–2 июля 2025 г.).

На рис. 30–32 представлены соотношения доли и температуры для каждой ночи отдельно по данным датчика метеостанции, на рис. 33–35 – по данным самой метеостанции, на рис. 36–38 – по данным ртутного термометра.

Между долей хирономид и температурой по данным датчика портативной метеостанции не было выявлено четких корреляций ни для одной из трех ночей, но мы можем подозревать наличие положительной взаимосвязи в первую ночь ($\rho = 0,42$, $p = 0,06$ для первой ночи, $\rho = -0,07$, $p = 0,77$ для второй ночи, $\rho = -0,24$, $p = 0,3$ для третьей ночи). По данным метеостанции была выявлена отрицательная корреляция только в первую ночь ($\rho = -0,44$, $p = 0,05$ для первой ночи, $\rho = -0,23$, $p = 0,31$ для второй ночи, $\rho = -0,31$,

$r = 0,18$). По данным спиртового термометра корреляций выявлено не было ($r = -0,16$, $r = 0,48$ для первой ночи, $r = -0,09$, $r = 0,69$ для второй ночи, $r = -0,24$, $r = 0,29$ для третьей ночи).

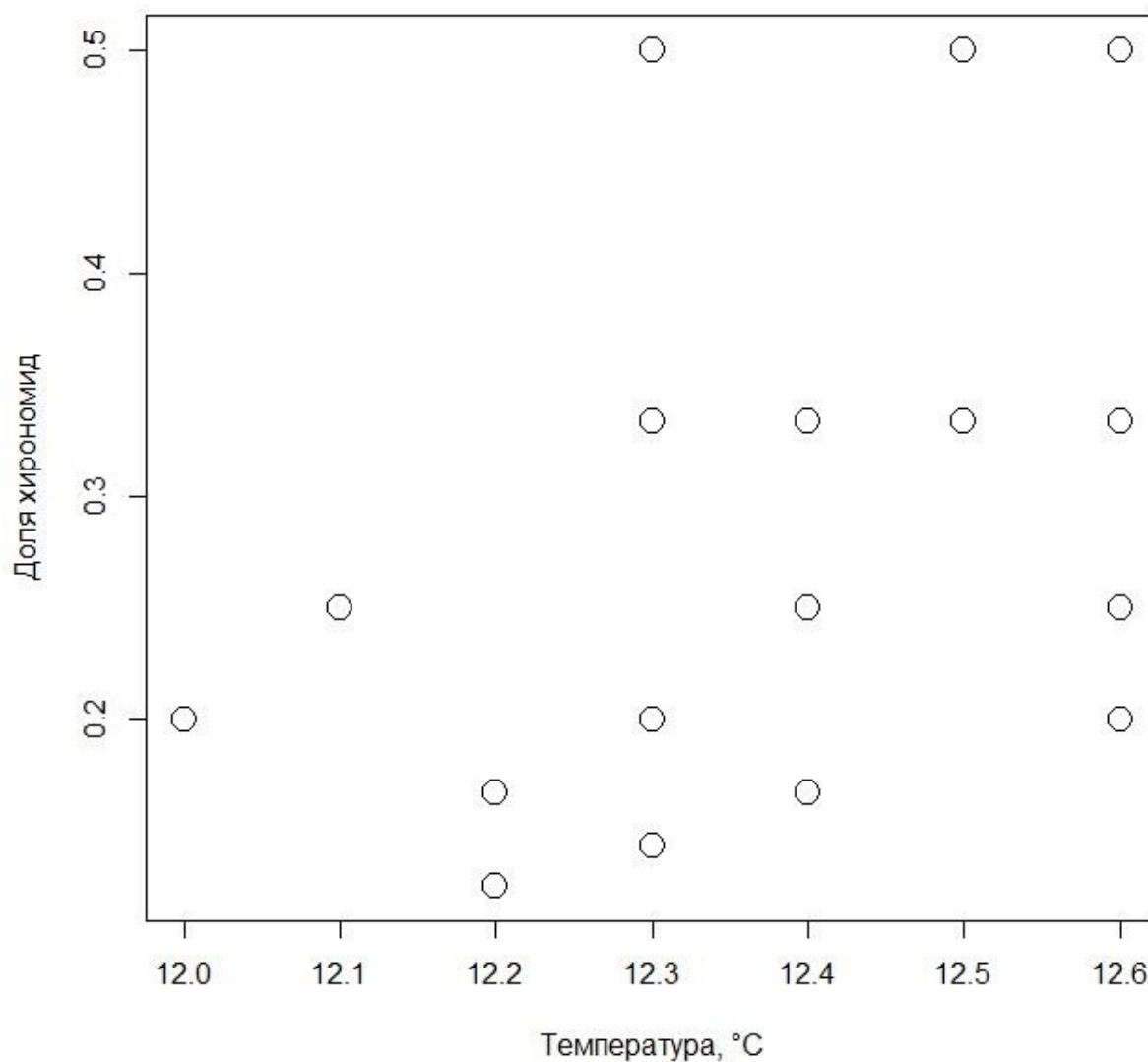


Рис. 30. Соотношение доли хирономид от общего числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и температуры воздуха по данным датчика портативной метеостанции для первой ночи (29–30 июня 2025 г.).

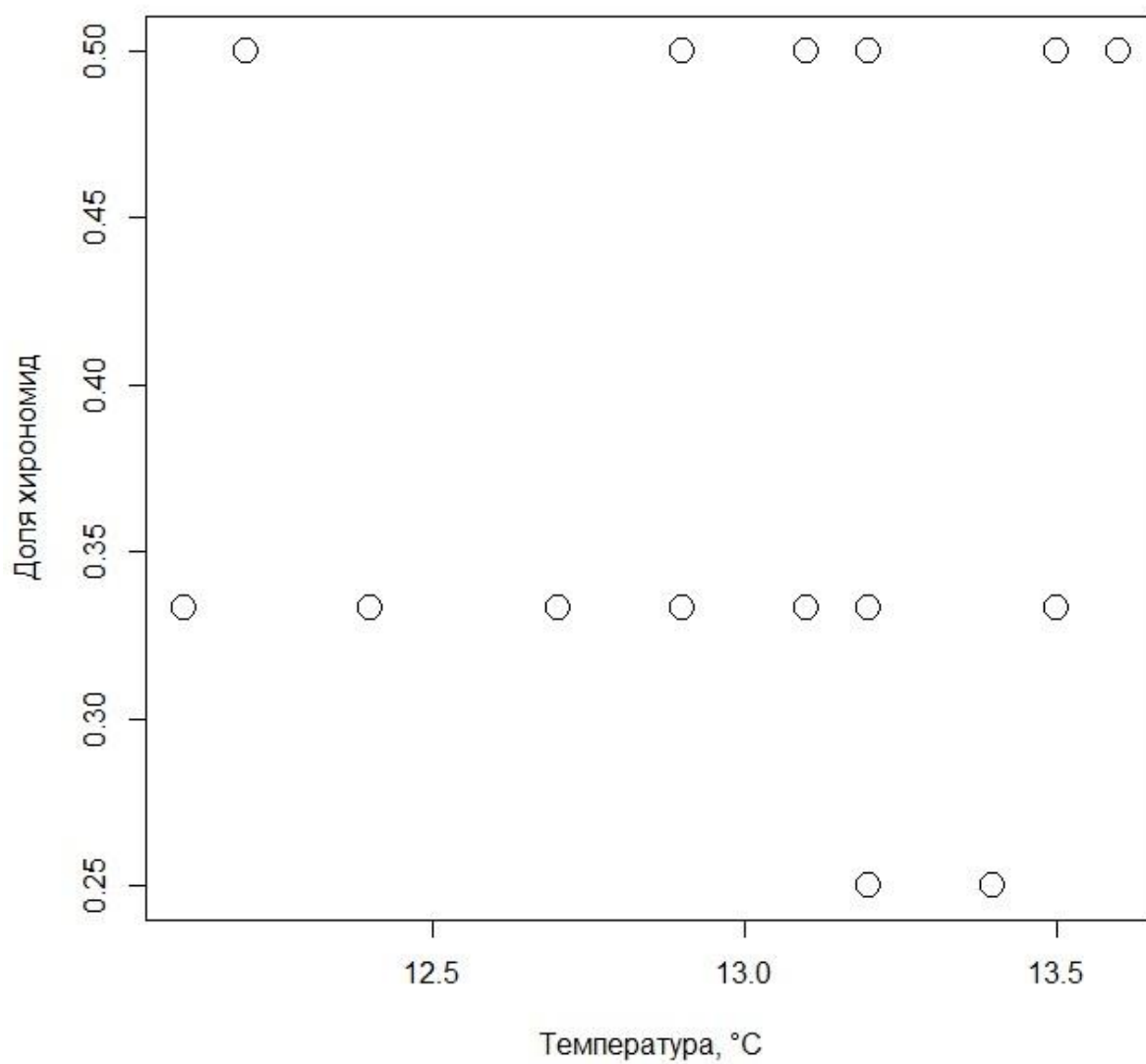


Рис. 31. Соотношение доли хирономид от общего числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и температуры воздуха по данным датчика портативной метеостанции для второй ночи (30 июня – 1 июля 2025 г.).

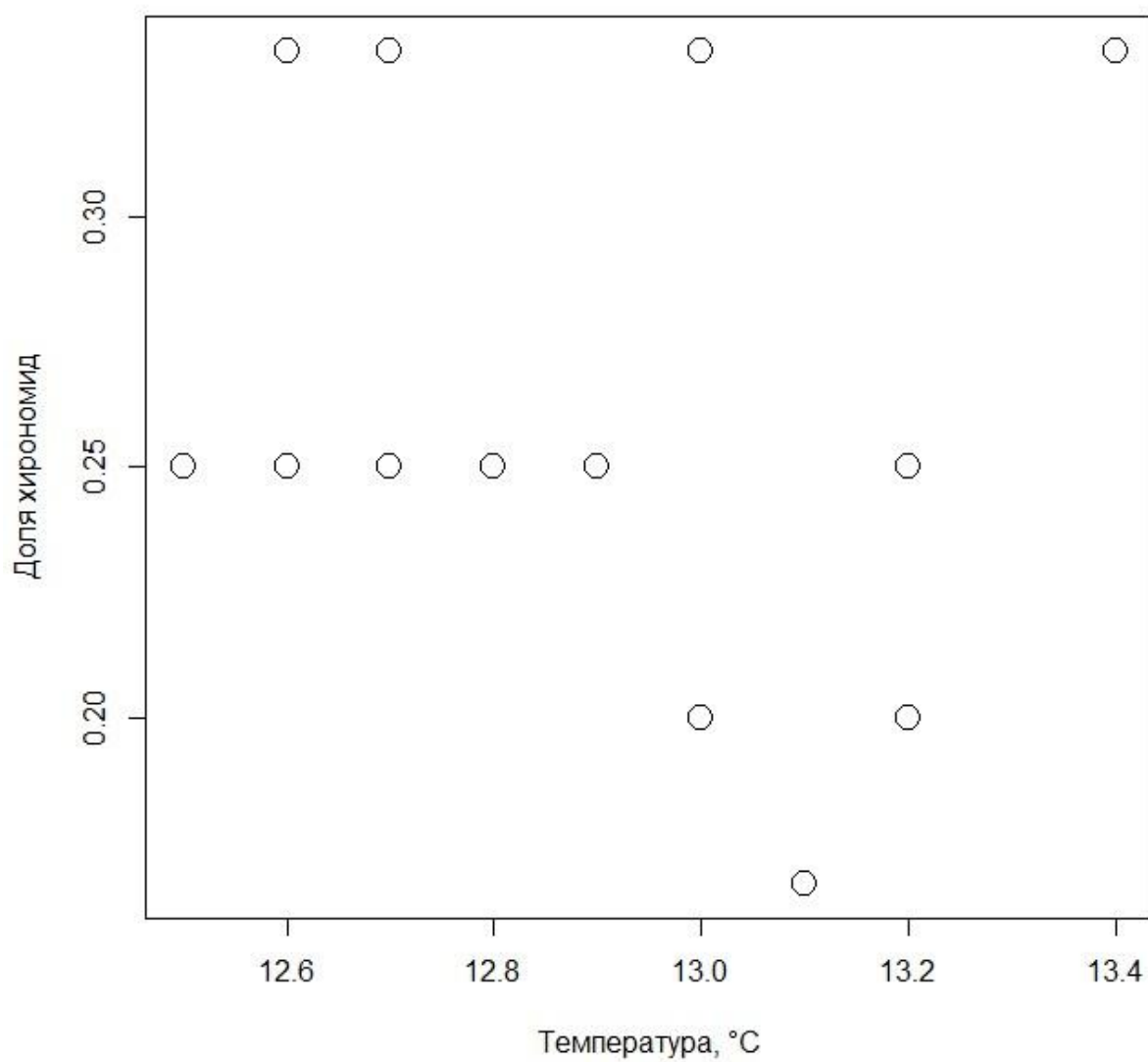


Рис. 32. Соотношение доли хирономид от общего числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и температуры воздуха по данным датчика портативной метеостанции для третьей ночи (1–2 июля 2025 г.).

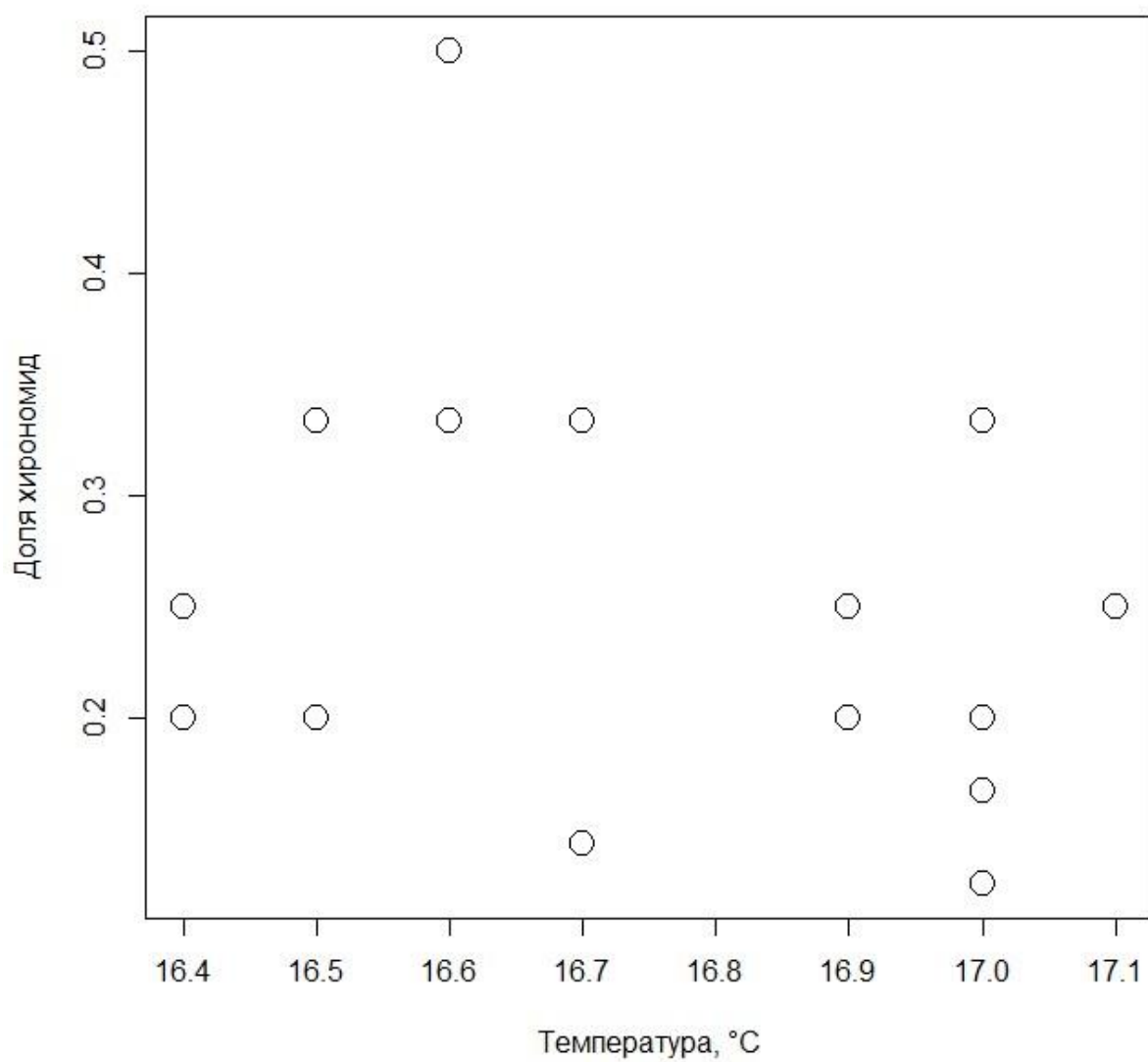


Рис. 33. Соотношение доли хирономид от общего числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и температуры воздуха по данным портативной метеостанции для первой ночи (29–30 июня 2025 г.).

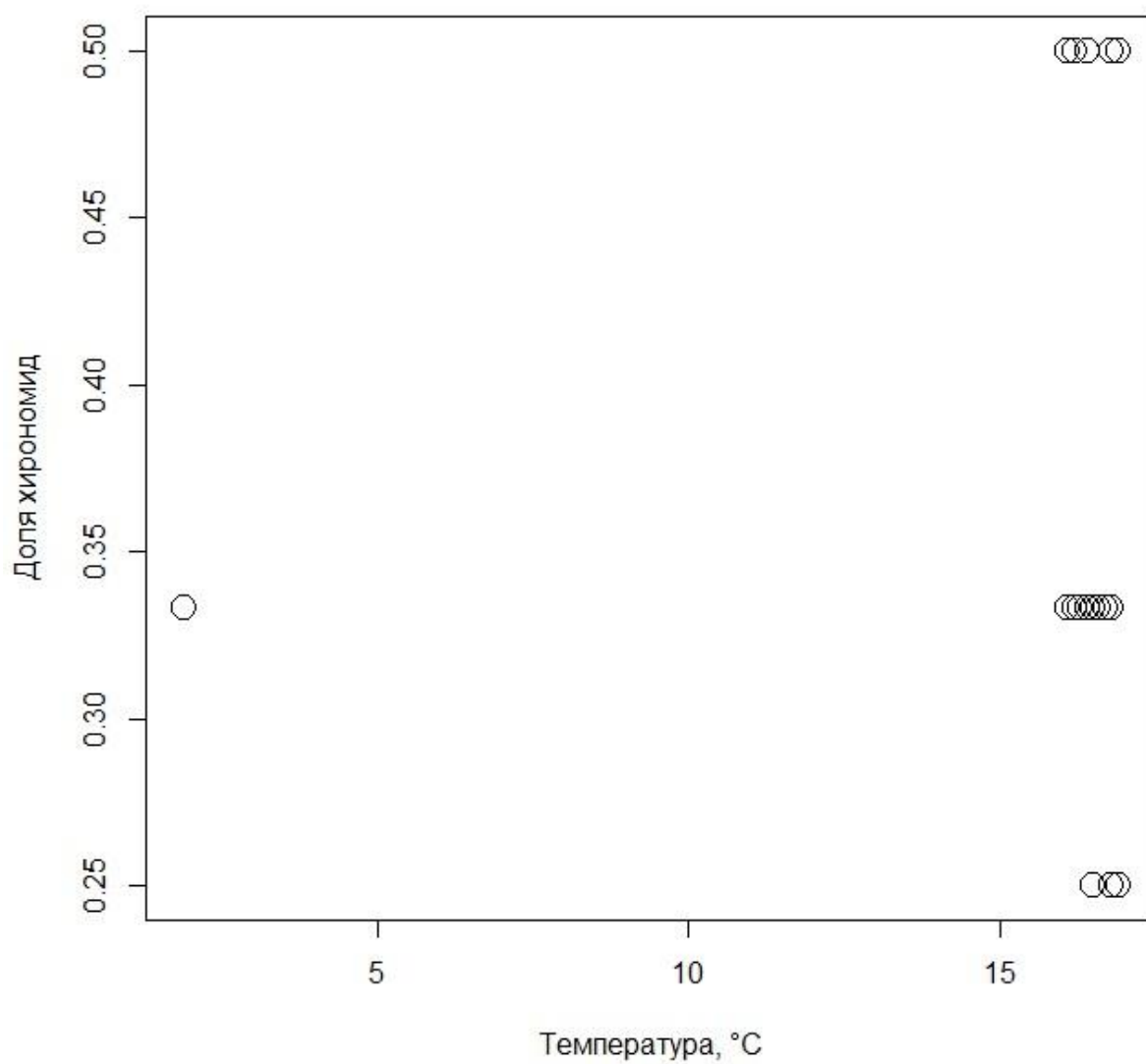


Рис. 34. Соотношение доли хирономид от общего числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и температуры воздуха по данным портативной метеостанции для второй ночи (30 июня – 1 июля 2025 г.).

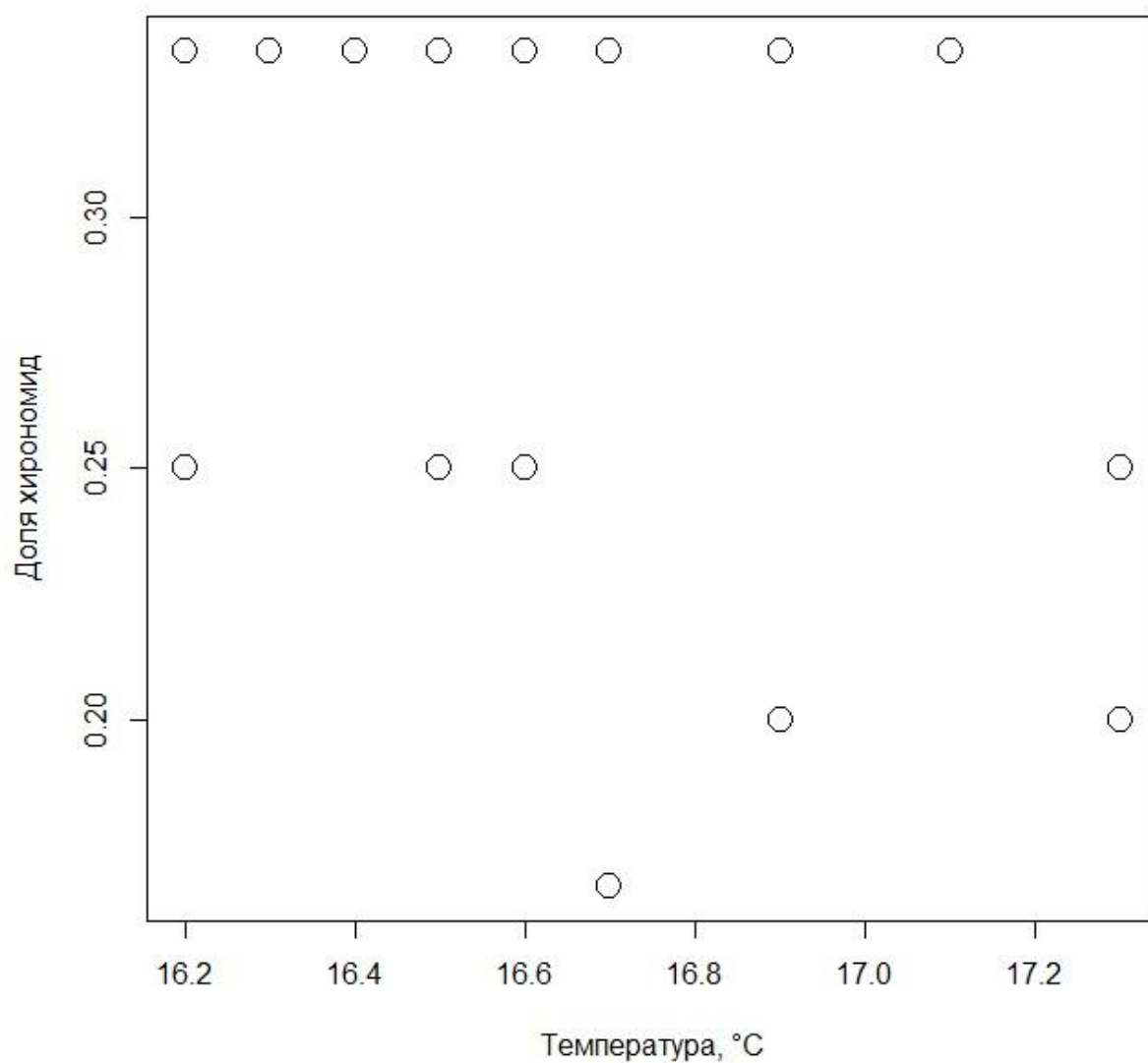


Рис. 35. Соотношение доли хирономид от общего числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и температуры воздуха по данным портативной метеостанции для третьей ночи (1–2 июля 2025 г.).

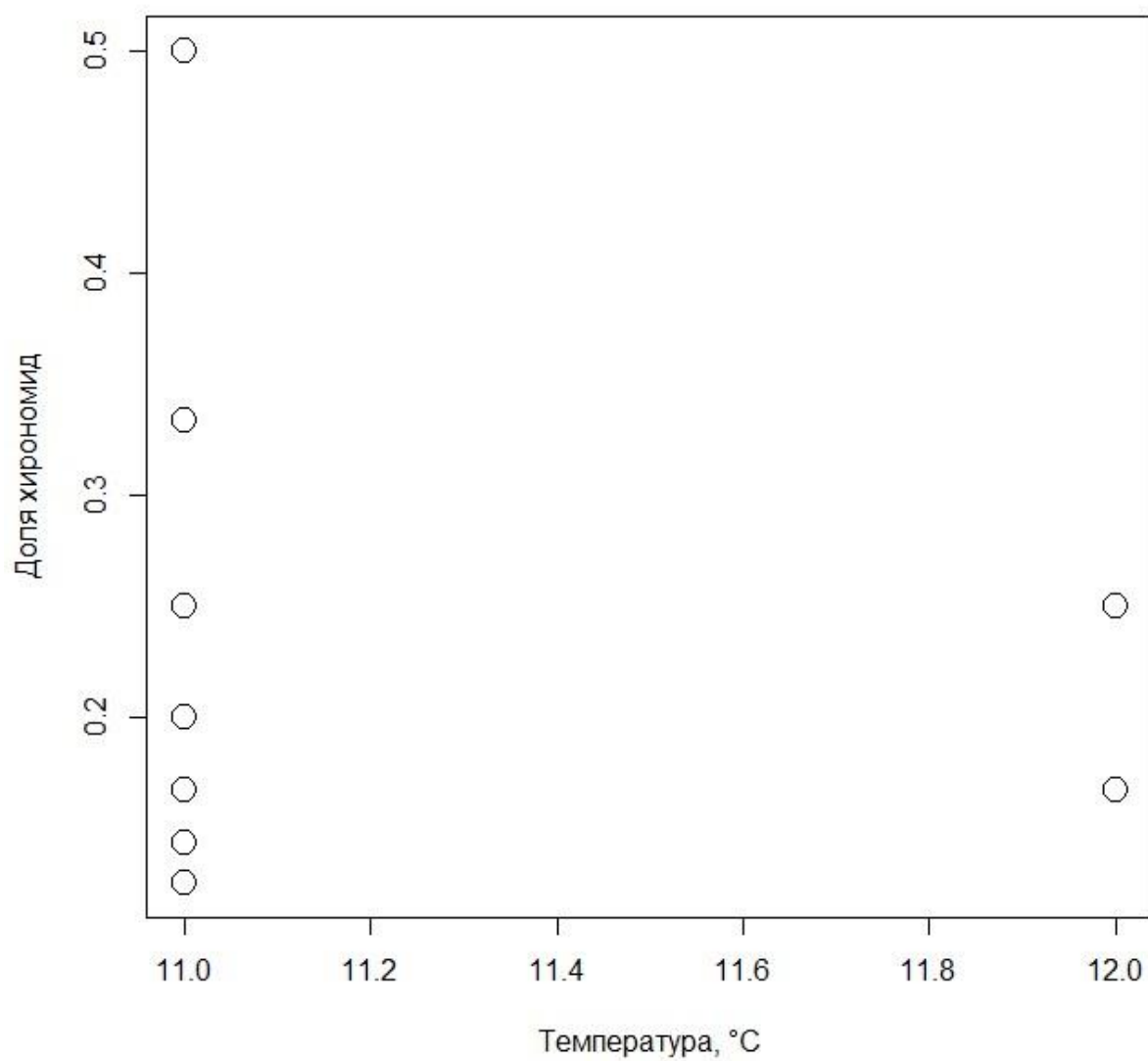


Рис. 36. Соотношение доли хирономид от общего числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и температуры воздуха по данным ртутного термометра для первой ночи (29–30 июня 2025 г.).

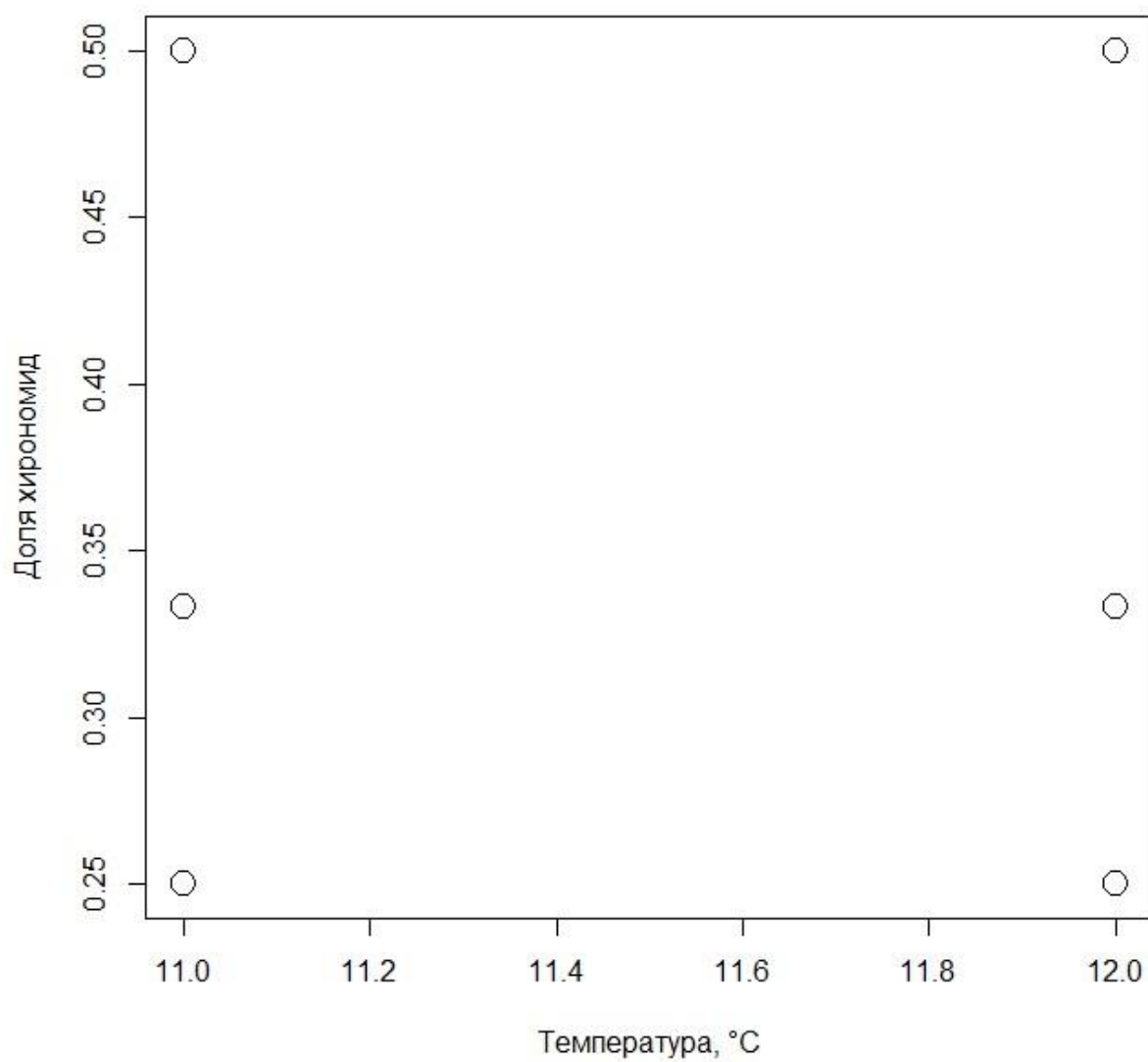


Рис. 37. Соотношение доли хирономид от общего числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и температуры воздуха по данным ртутного термометра для второй ночи (30 июня – 1 июля 2025 г.).

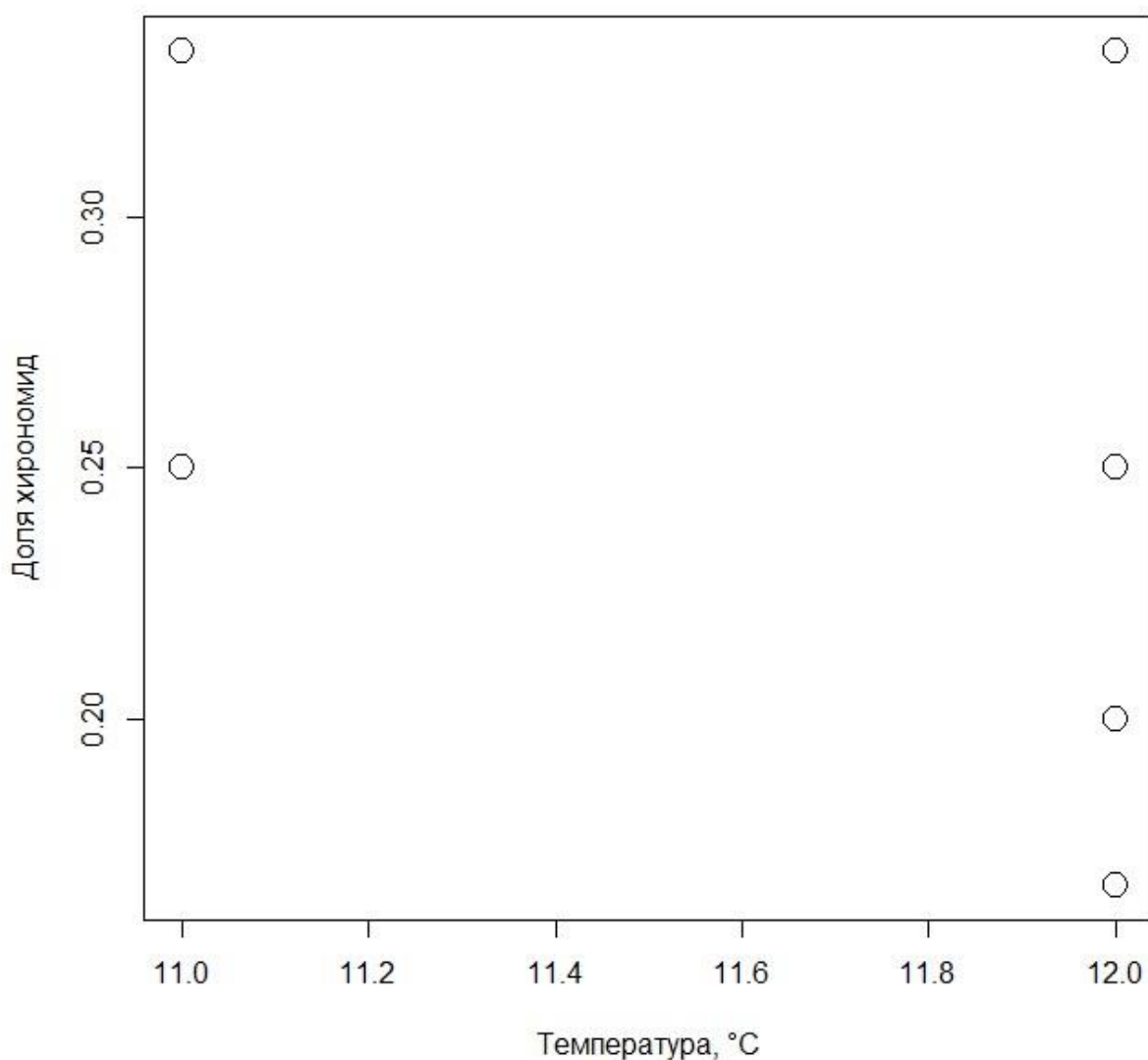


Рис. 38. Соотношение доли хирономид от общего числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и температуры воздуха по данным ртутного термометра для третьей ночи (1–2 июля 2025 г.).

Рис. 39–41 демонстрируют соотношение доли комаров-звонцов и относительной влажности воздуха для каждой ночи. Между этими двумя значениями не было выявлено четких корреляций ни для одной ночи, но мы можем подозревать наличие взаимосвязи во вторую ночь ($\rho = -0,17$, $r = 0,45$ для первой ночи, $\rho = 0,35$, $r = 0,12$ для второй ночи, $\rho = 0,25$, $r = 0,28$ для третьей ночи).

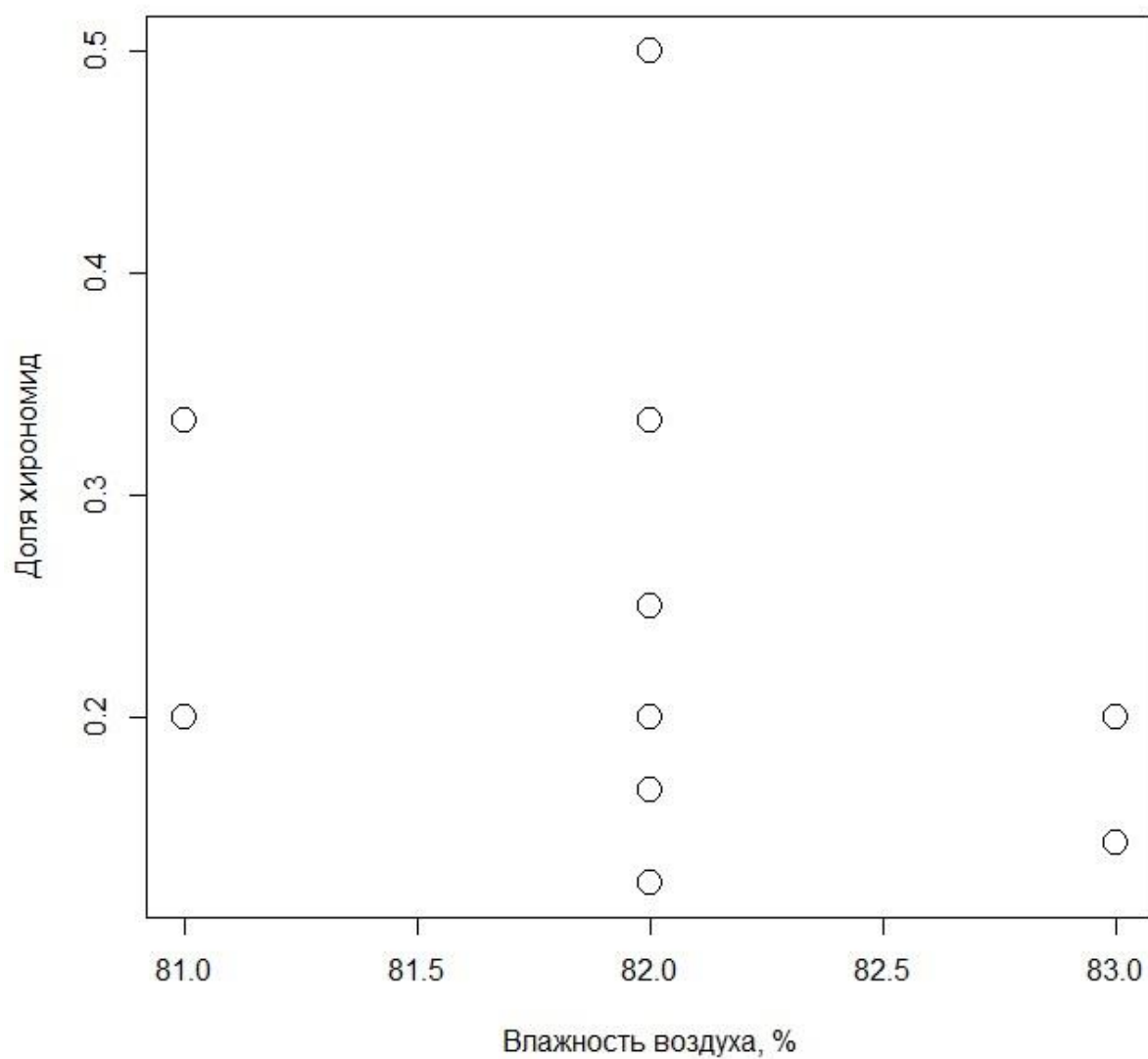


Рис. 39. Соотношение доли хирономид от общего числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и относительной влажности воздуха для первой ночи (29–30 июня 2025 г.).

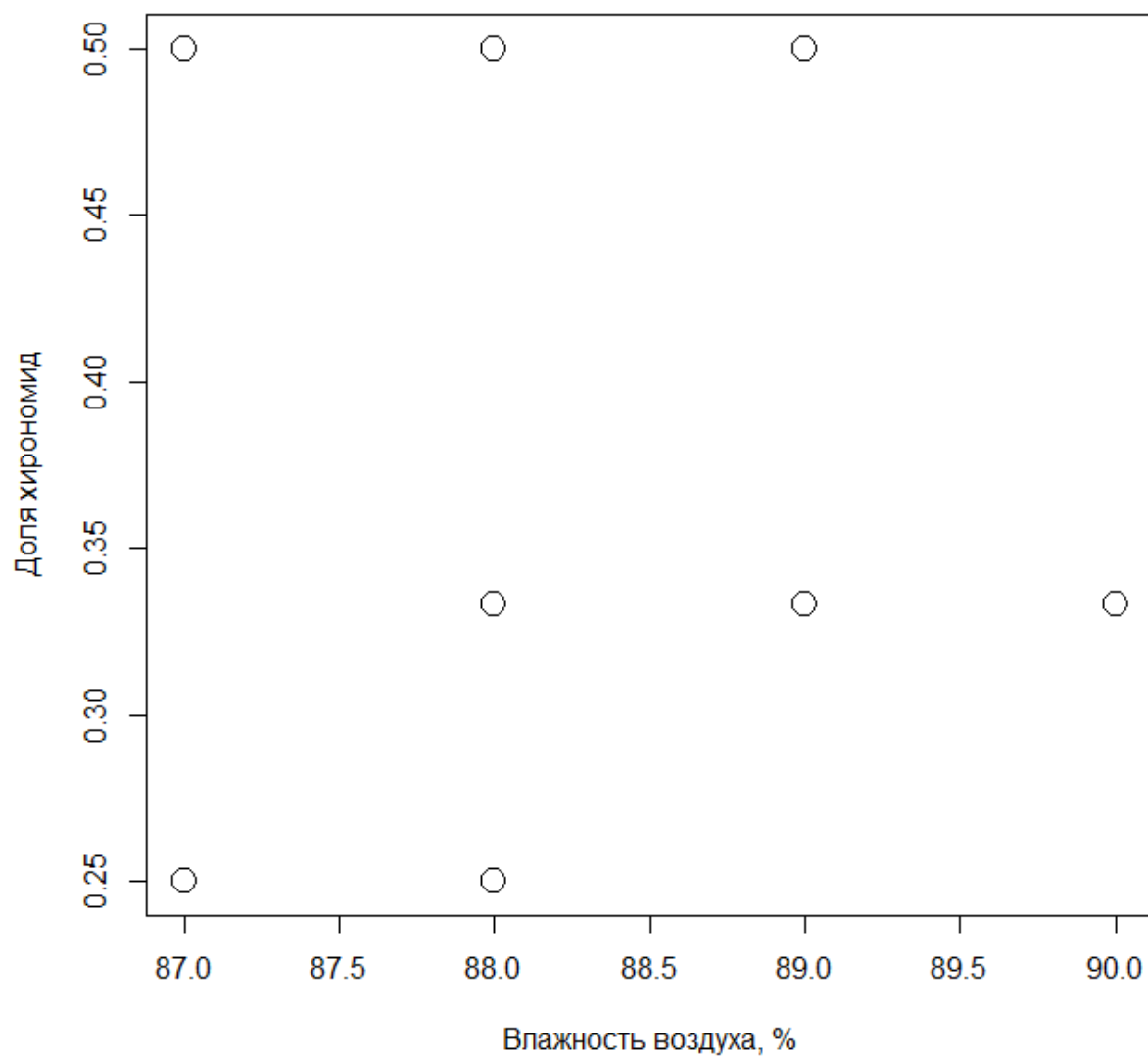


Рис. 40. Соотношение доли хирономид от общего числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и влажности воздуха для второй ночи (30 июня – 1 июля 2025 г.).

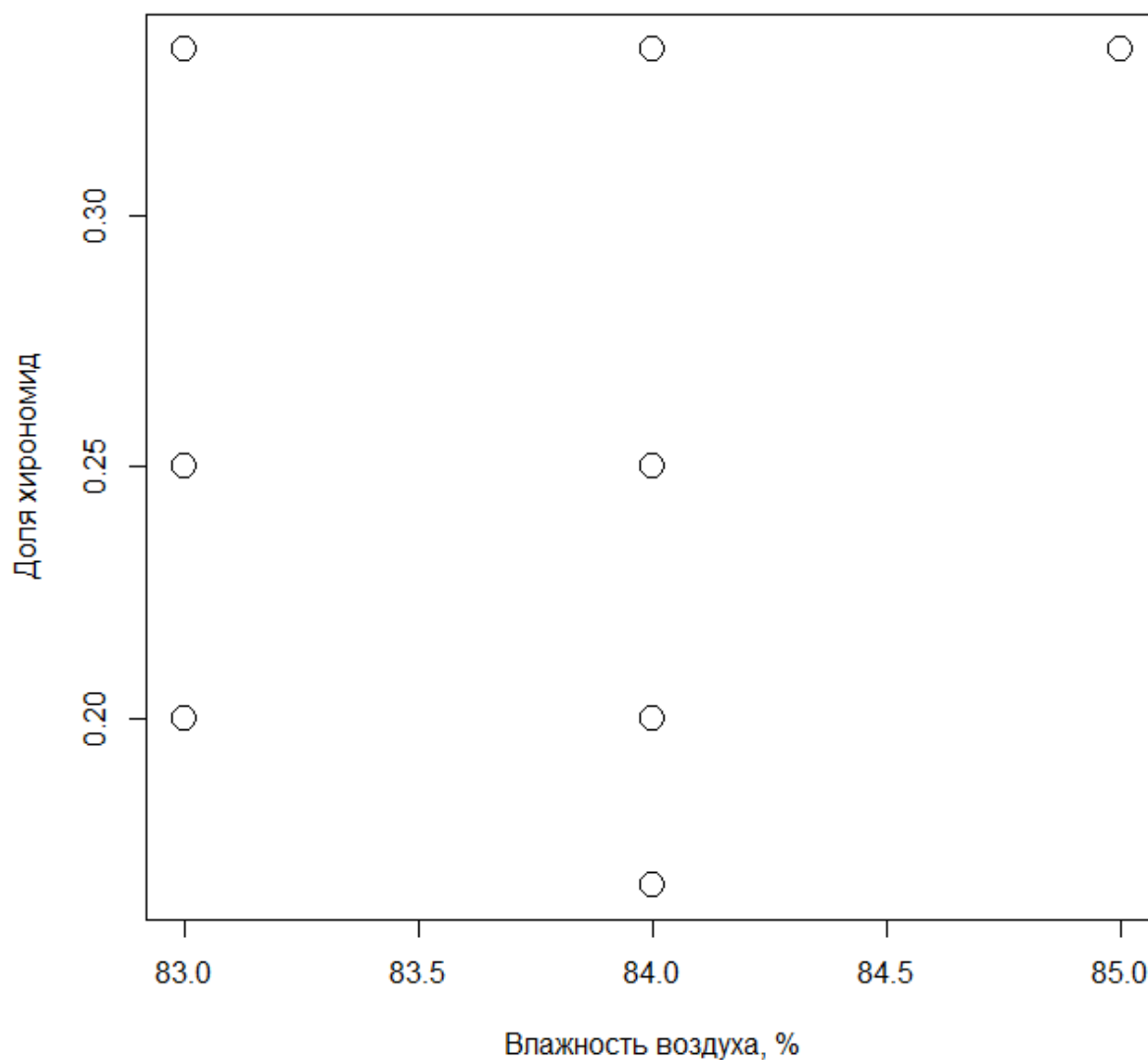


Рис. 41. Соотношение доли хирономид от общего числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и влажности воздуха для третьей ночи (1–2 июля 2025 г.).

На рис. 42–44 представлены соотношения доли хирономид и атмосферного давления для каждой ночи. Было выявлено, что повышение атмосферного давления коррелирует со снижением доли комаров-звонцов в первую ($\rho = -0,60$, $p = 0,12$) и ее увеличением в третью ночь ($\rho = 0,55$, $p = 0,01$). Во вторую ночь корреляций обнаружено не было ($\rho = 0,07$, $p = 0,75$).

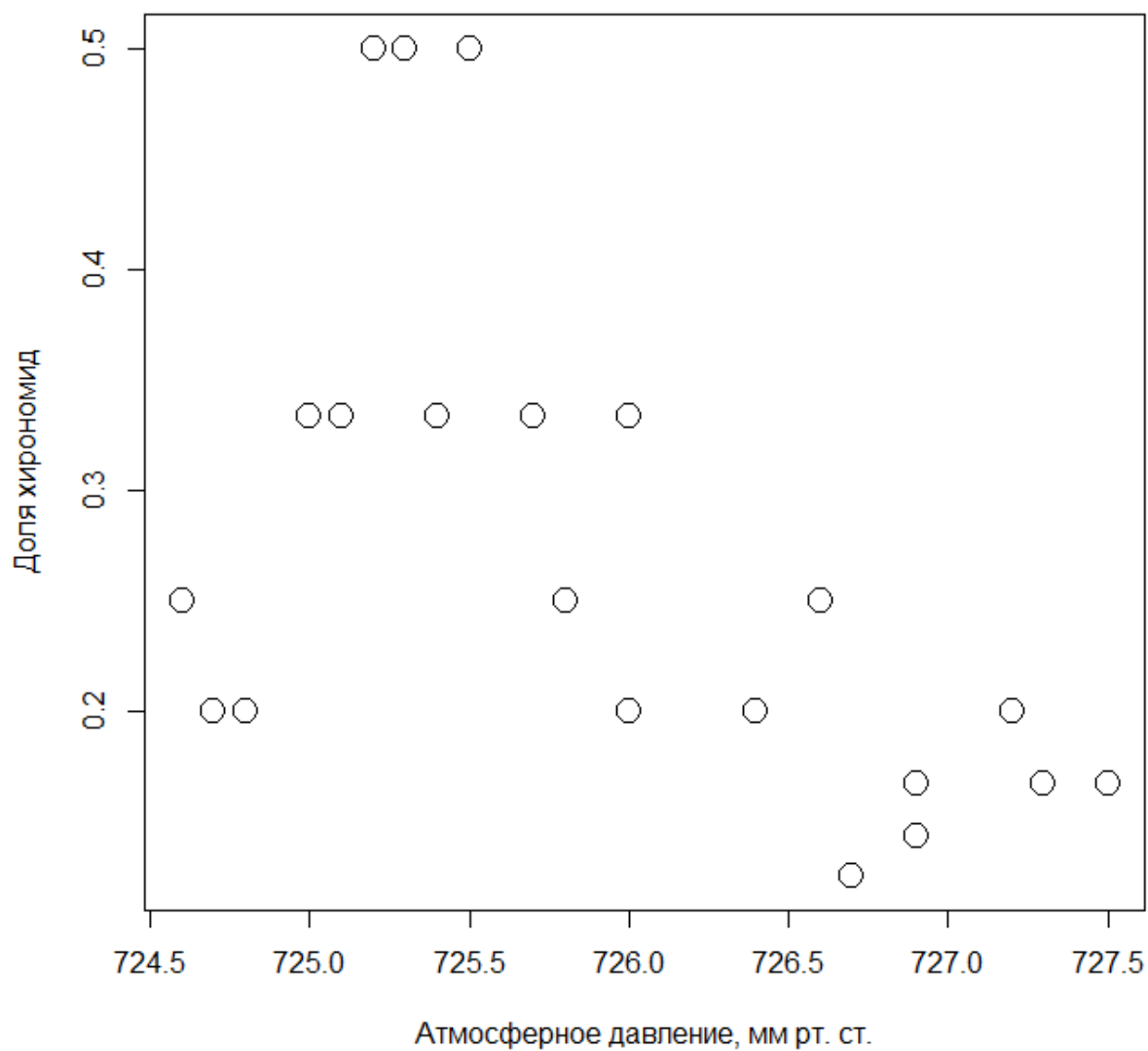


Рис. 42. Соотношение доли хирономид от общего числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и атмосферного давления для первой ночи (29–30 июня 2025 г.).

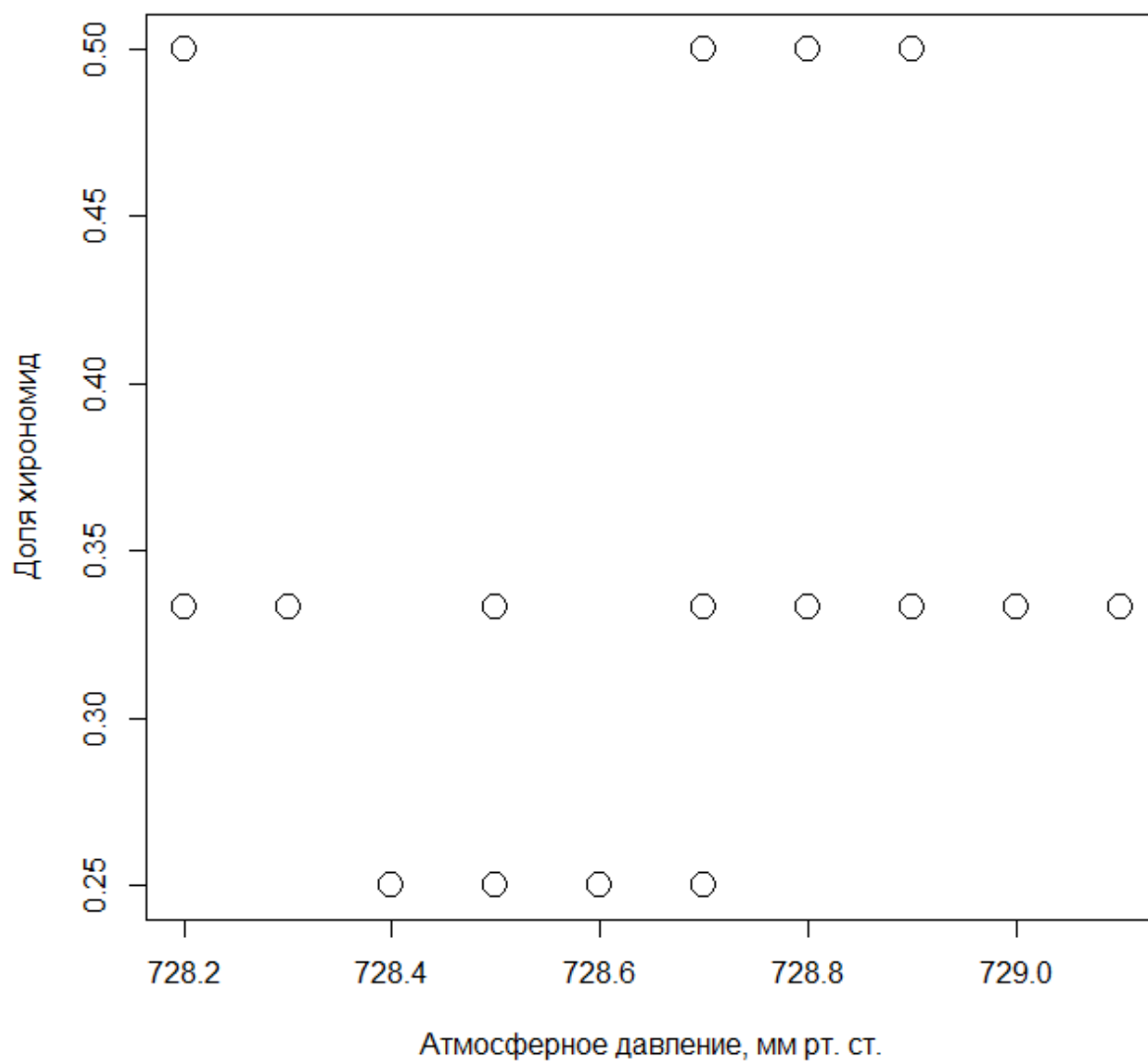


Рис. 43. Соотношение доли хирономид от общего числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и атмосферного давления для второй ночи (30 июня – 1 июля 2025 г.).

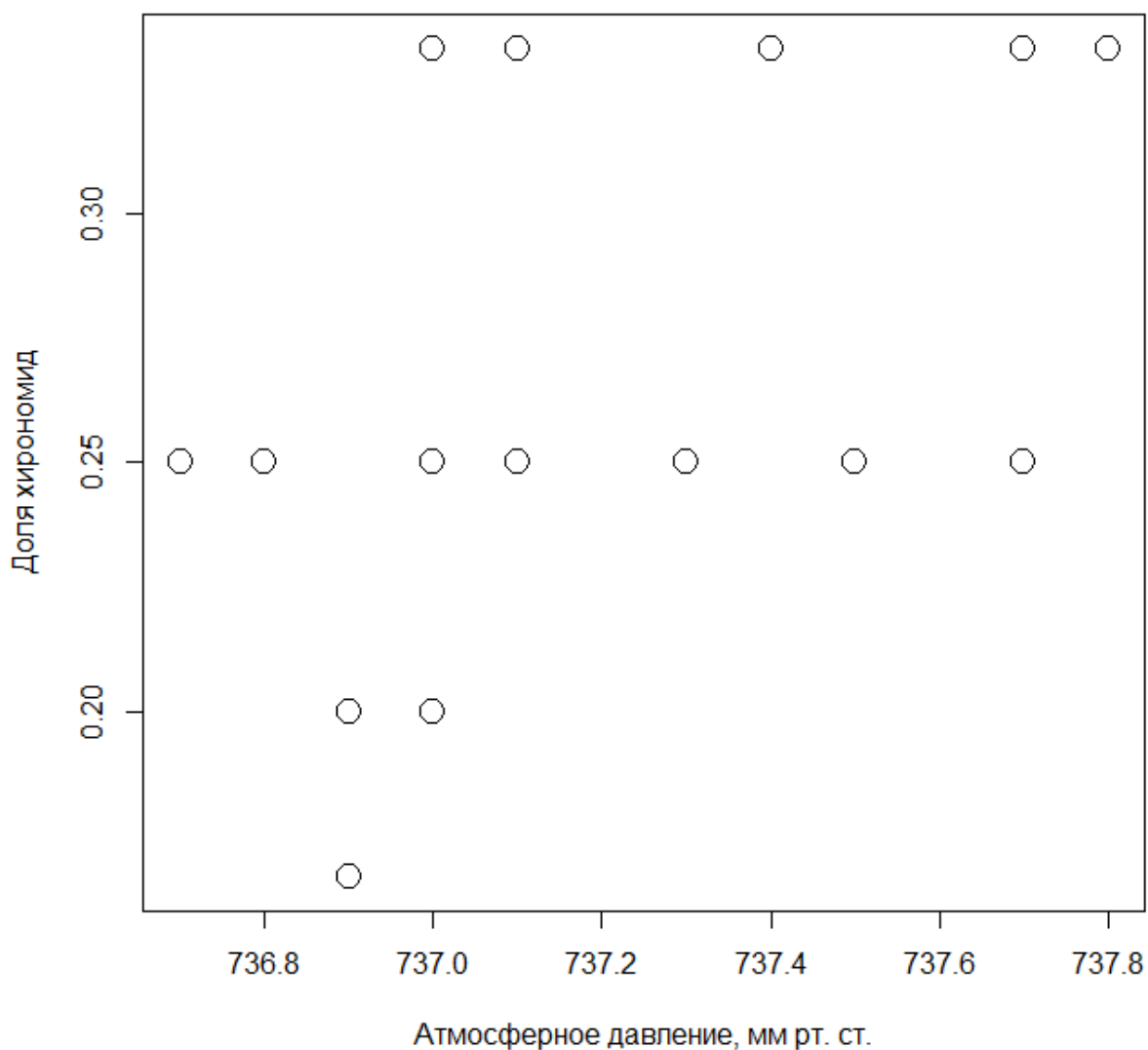


Рис. 44. Соотношение доли хирономид от общего числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см и атмосферного давления для третьей ночи (1–2 июля 2025 г.).

Таксономический состав наблюдаемых фотоксенов для всех ночей представлен в табл. 1. За все время эксперимента на нашу светоловушку прилетали представители семи отрядов: Ephemeroptera, Hemiptera, Coleoptera, Lepidoptera, Hymenoptera, Diptera, Trichoptera. Ни разу не были встречены представители отрядов Neuroptera и Blattodea, хотя присутствие сетчатокрылых на стационаре «Сунога» раньше отмечалось всегда (Тарасова и др., 2021; Авдеева и др., 2022).

Чешуекрылые и двукрылые отмечались все время проведения эксперимента. Вторыми по частоте встречаемости были перепончатокрылые, прилетавшие в основном в поздние часы (после 00:00), а также клопы, примерно одинаково часто присутствовавшие

в разное время. Лет на свет остальных трех отрядов носил слабый характер: выделяются только поденки, которые встречались в начале ночей (22:30-00:30).

Таблица 1. Учет отрядов прилетающих насекомых для всего времени эксперимента по часам. Начало наблюдений – 22:30, конец – 03:30; первой, второй и третьей ночами названы интервалы 29.06–30.06, 30.06–01.07, 01.07–02.07 соответственно. Plusом отмечается присутствие представителей отряда на экране в пределах черного квадрата 50 × 50 см, минусом – его отсутствие

Дата	Время	Ephemeroptera	Hemiptera	Coleoptera	Neuroptera	Lepidoptera	Hymenoptera	Diptera (без Chironomidae)	Diptera (Chironomidae)	Trichoptera	Blattodea
29.06	22:30	+	+	–	–	+	+	+	+	–	–
	23:30	–	–	–	–	+	–	+	+	–	–
30.06	00:30	–	–	–	–	+	–	+	+	–	–
	01:30	–	–	–	–	+	–	+	+	–	–
	02:30	–	–	–	–	+	+	+	+	+	–
	03:30	–	–	–	–	+	+	+	+	–	–
	22:30	–	+	–	–	+	–	+	+	–	–
	23:30	–	–	–	–	+	–	+	+	–	–
01.07	00:30	–	–	–	–	+	–	+	+	–	–
	01:30	–	–	–	–	+	–	+	+	–	–
	02:30	–	+	–	–	+	–	+	+	–	–
	03:30	–	–	–	–	+	–	+	+	–	–
	22:30	+	–	+	–	+	–	+	+	–	–
	23:30	+	+	–	–	+	–	+	+	+	–
02.07	00:30	+	–	–	–	+	+	+	+	–	–
	01:30	–	+	–	–	+	+	+	+	–	–
	02:30	–	+	–	–	+	+	+	+	–	–
	03:30	–	+	–	–	+	+	+	+	–	–

На рис. 45–53 представлены соотношения между температурными данными трех источников: датчика портативной метеостанции, ее самой и ртутным термометром.

Рис. 45–47 демонстрируют соотношения между показаниями датчика и метеостанции для всех ночей. Между ними была выявлена отрицательная корреляция в первую ночь ($r = -0,81$, $p < 0,01$). Также, скорее всего, взаимосвязь есть и в третью ночь ($r = 0,42$, $p = 0,06$). Во вторую ночь корреляции найдено не было ($r = -0,01$, $p = 0,96$).

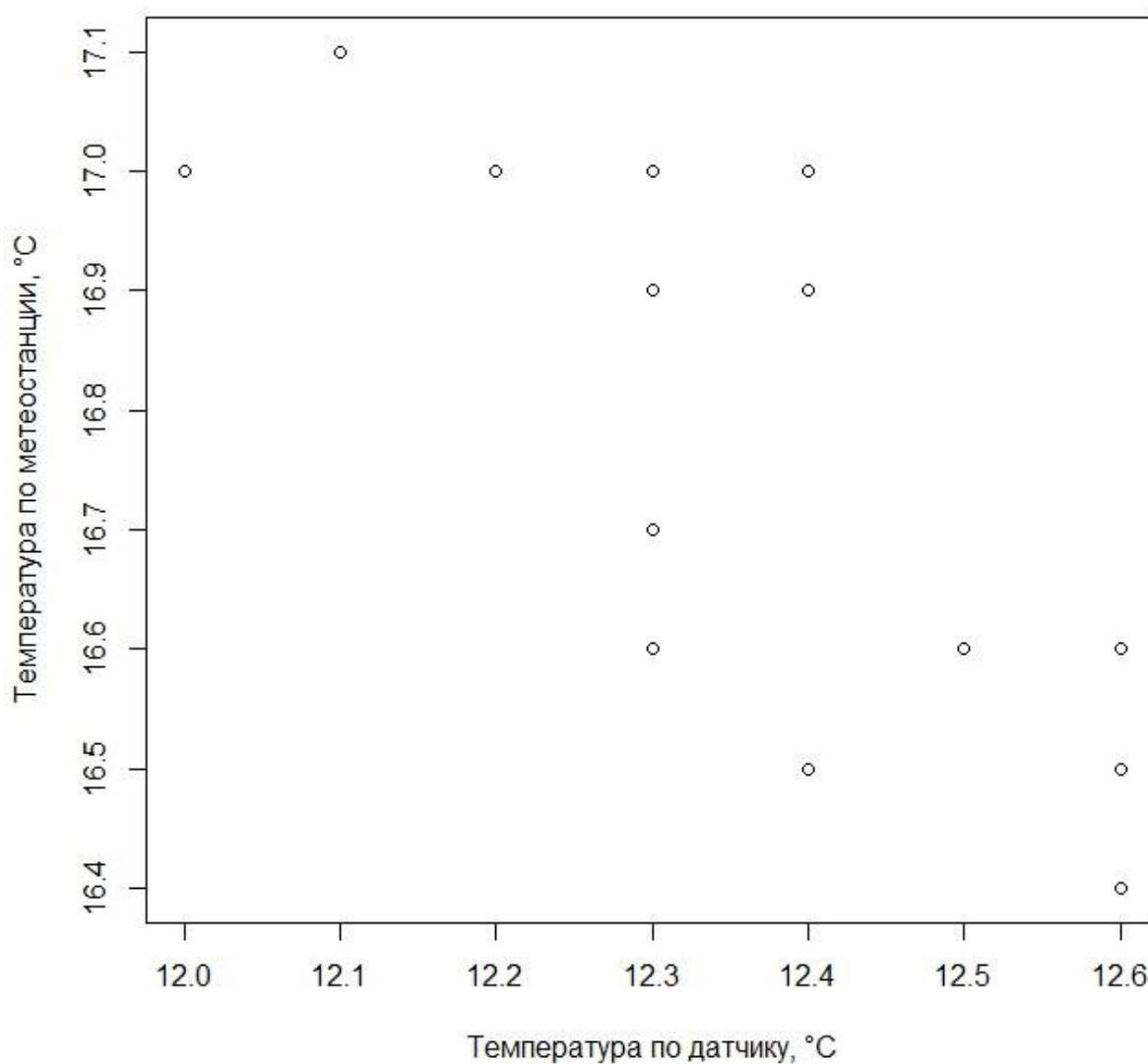


Рис. 45. Соотношение между температурными данными портативной метеостанции и ее датчика для первой ночи (29–30 июня 2025 г.).

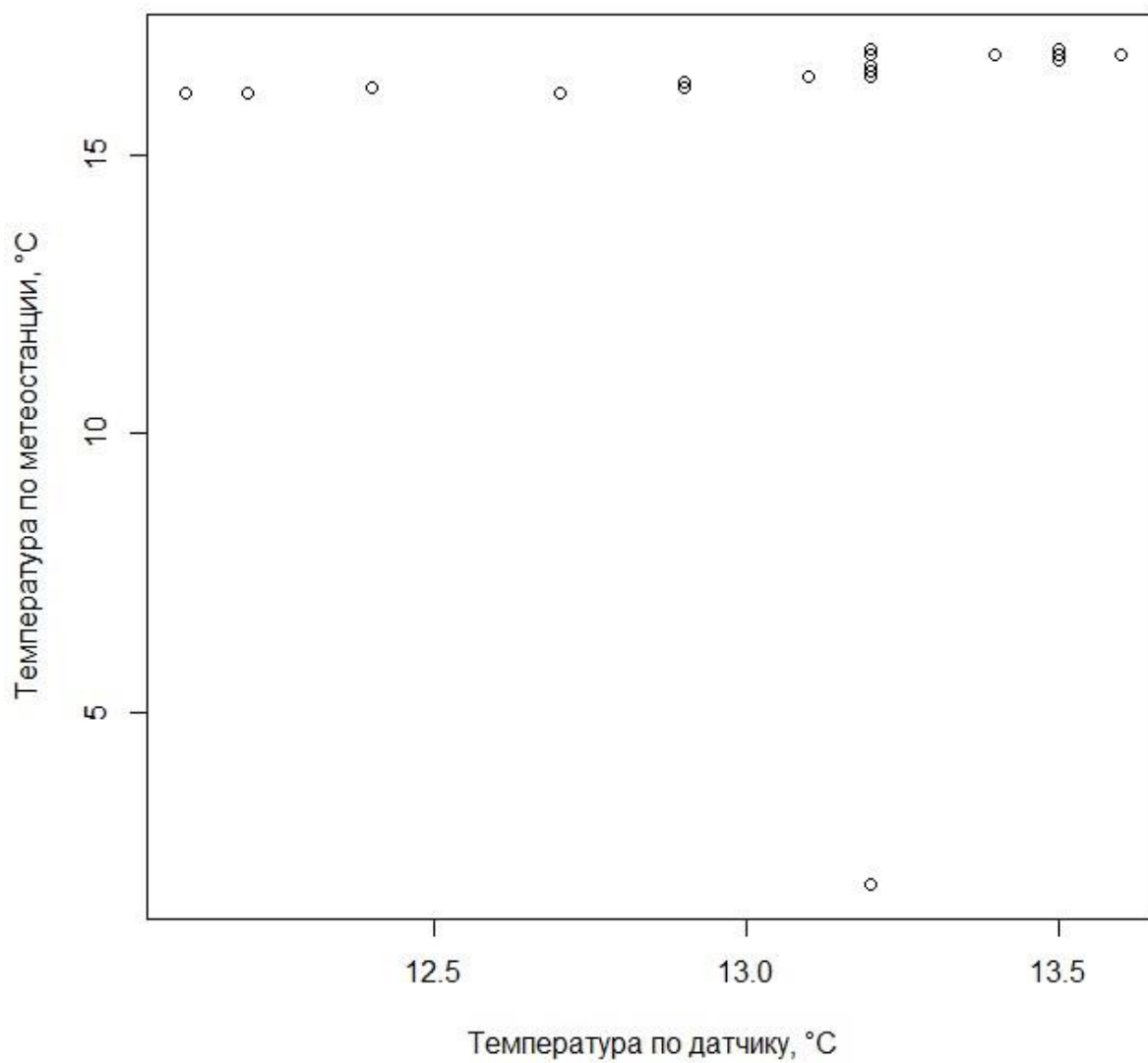


Рис. 46. Соотношение между температурными данными портативной метеостанции и ее датчика для второй ночи (30 июня – 1 июля 2025 г.).

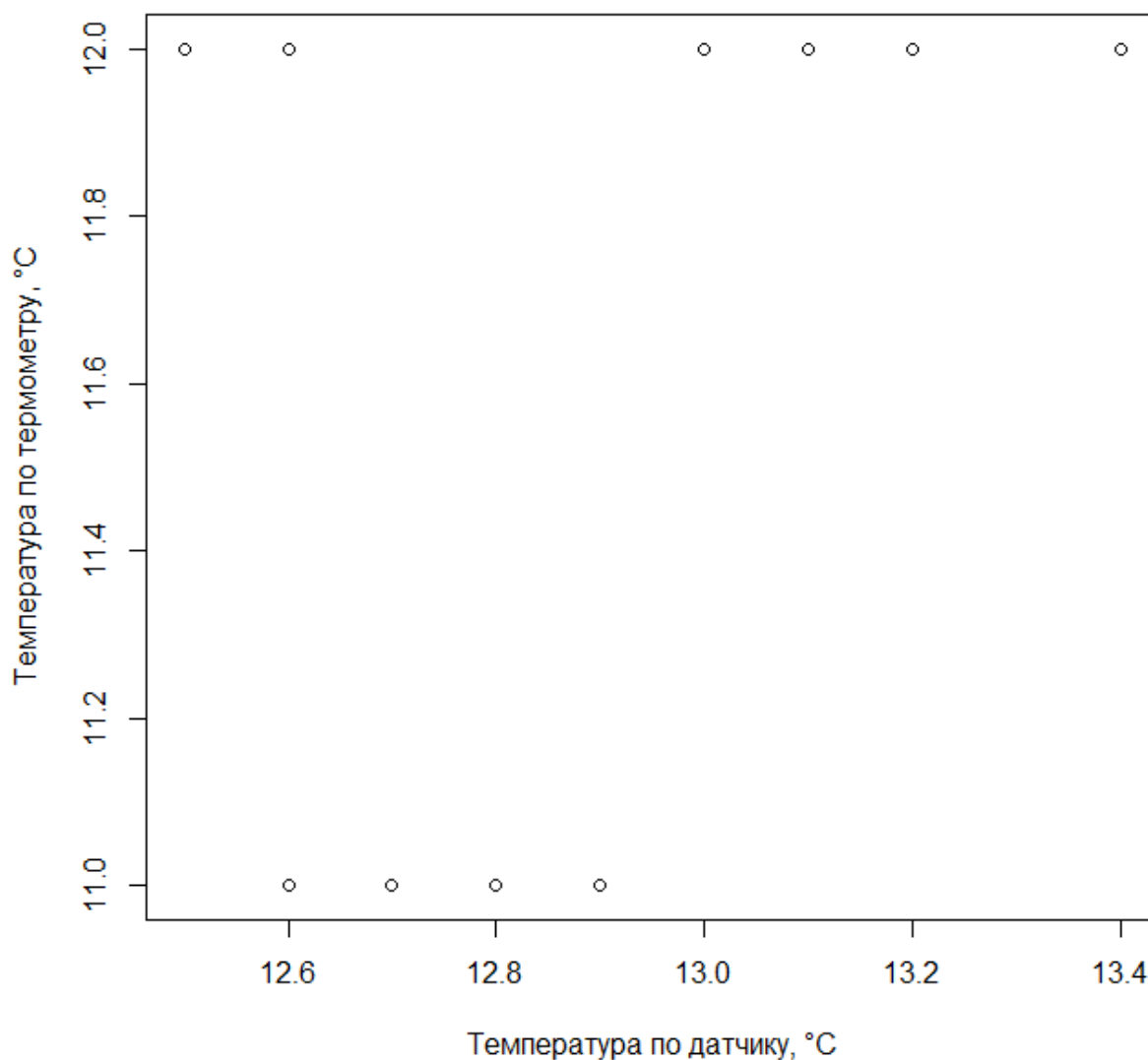


Рис. 47. Соотношение между температурными данными портативной метеостанции и ее датчика для первой ночи (1–2 июля 2025 г.).

Рис. 48–50 иллюстрируют соотношения между показаниями датчика и термометра для всех ночей. Между этими наборами данных были обнаружены взаимосвязи во все ночи, кроме первой ($r = 0,06$, $p = 0,79$ для первой ночи, $r = 0,62$, $p < 0,01$ для второй ночи, $r = 0,63$, $p < 0,01$ для третьей ночи).

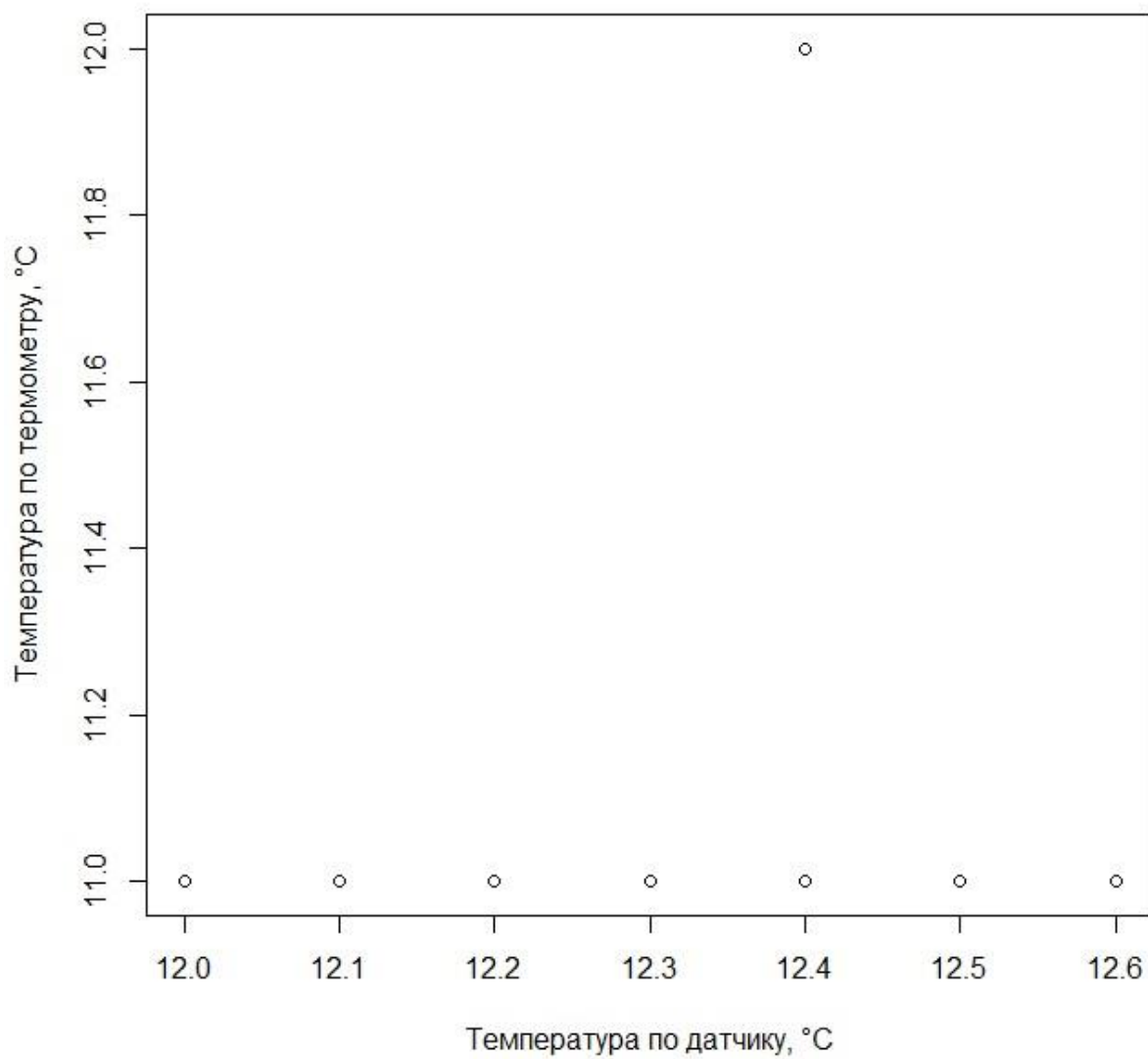


Рис. 48. Соотношение между температурными данными спиртового термометра и датчика портативной метеостанции для первой ночи (29–30 июня 2025 г.).

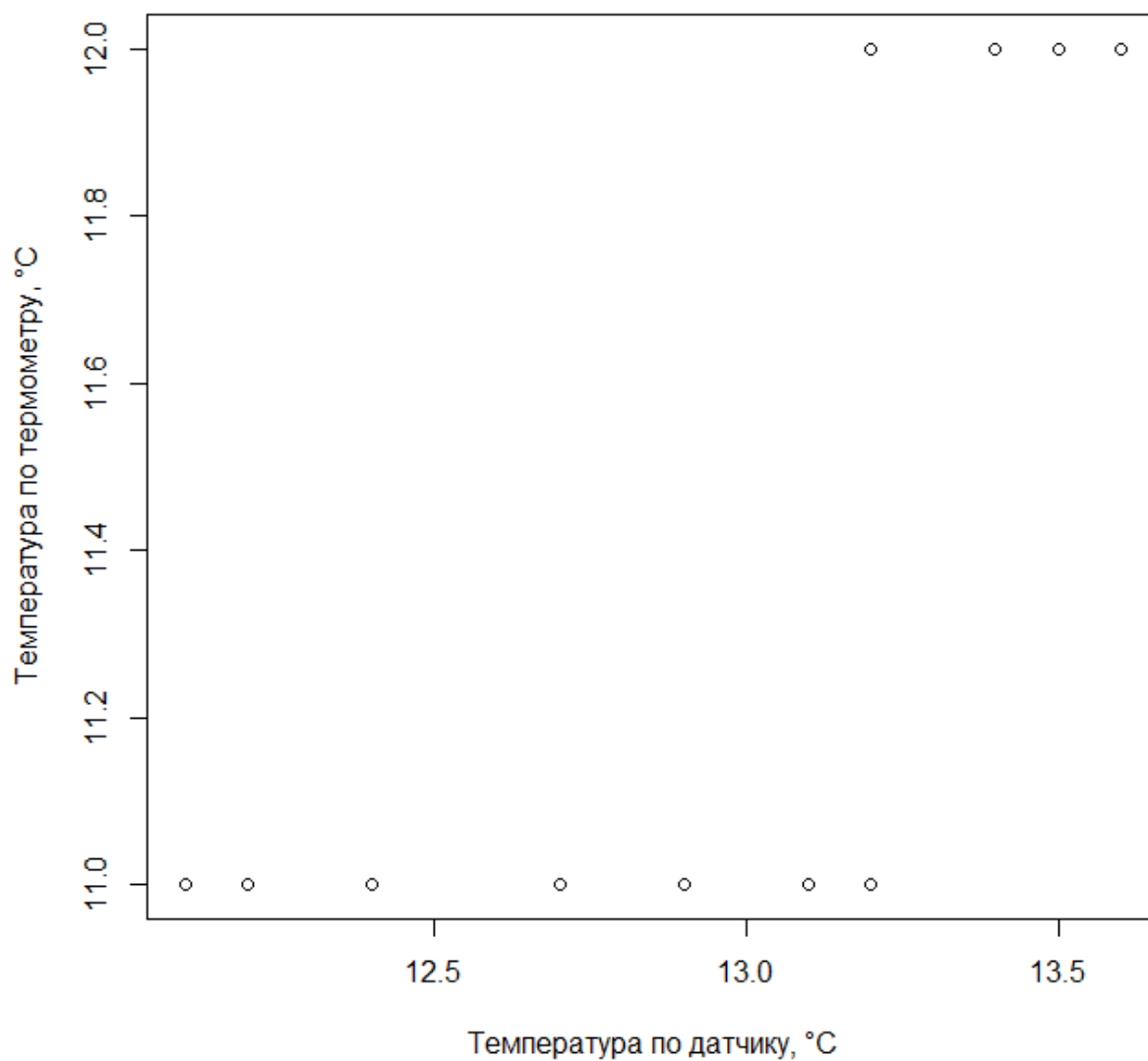


Рис. 49. Соотношение между температурными данными спиртового термометра и датчика портативной метеостанции для второй ночи (30 июня – 1 июля 2025 г.).

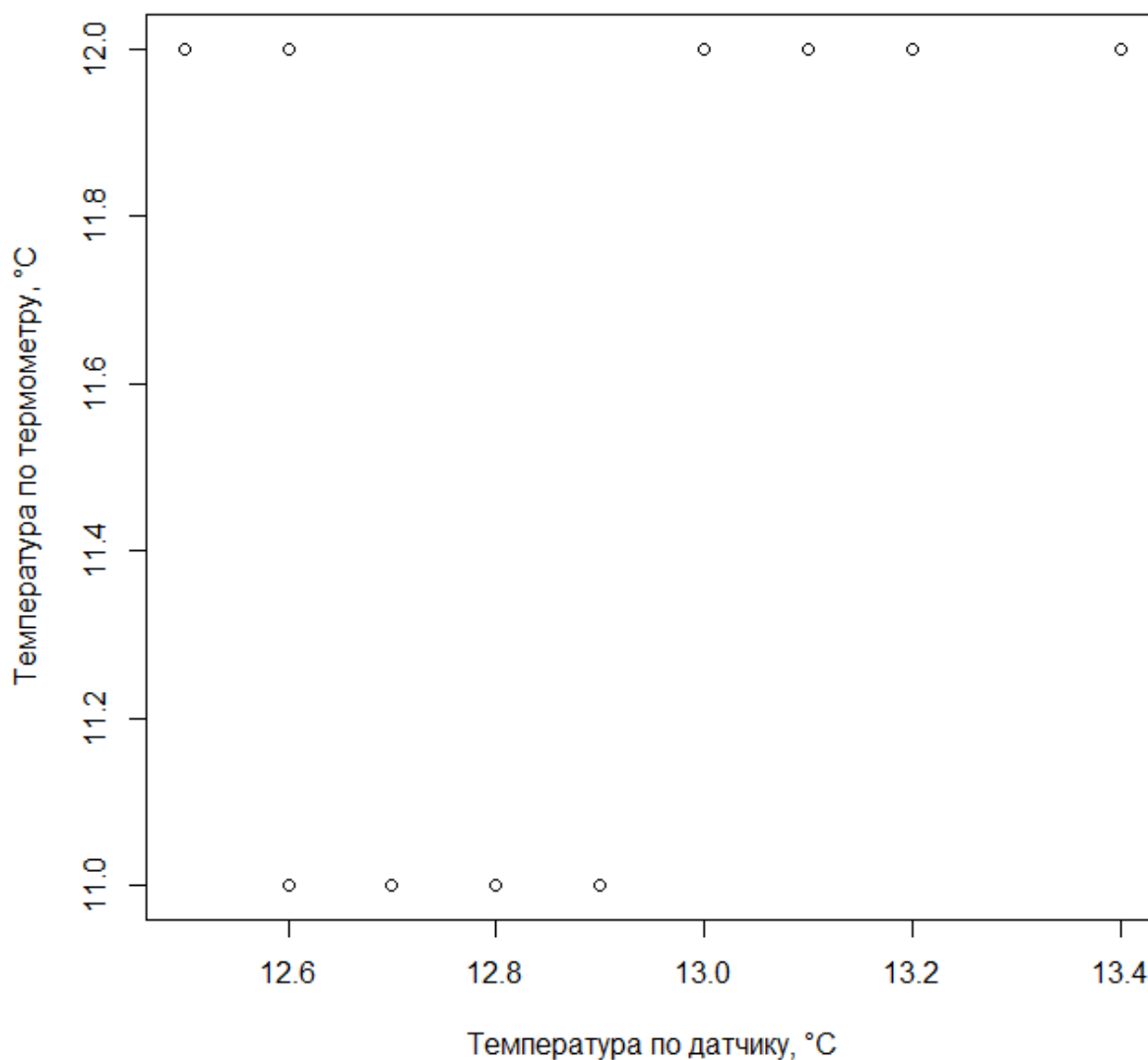


Рис. 50. Соотношение между температурными данными спиртового термометра и датчика портативной метеостанции для третьей ночи (1–2 июля 2025 г.).

На рис. 51–53 представлены соотношения между показаниями метеостанции и ртутного термометра. Значимая корреляция между их данными была найдена только в третью ночь ($r = 0,26$, $p = 0,25$ для первой ночи, $r = -0,25$, $p = 0,28$ для второй ночи, $r = 0,82$, $p < 0,01$ для третьей ночи).

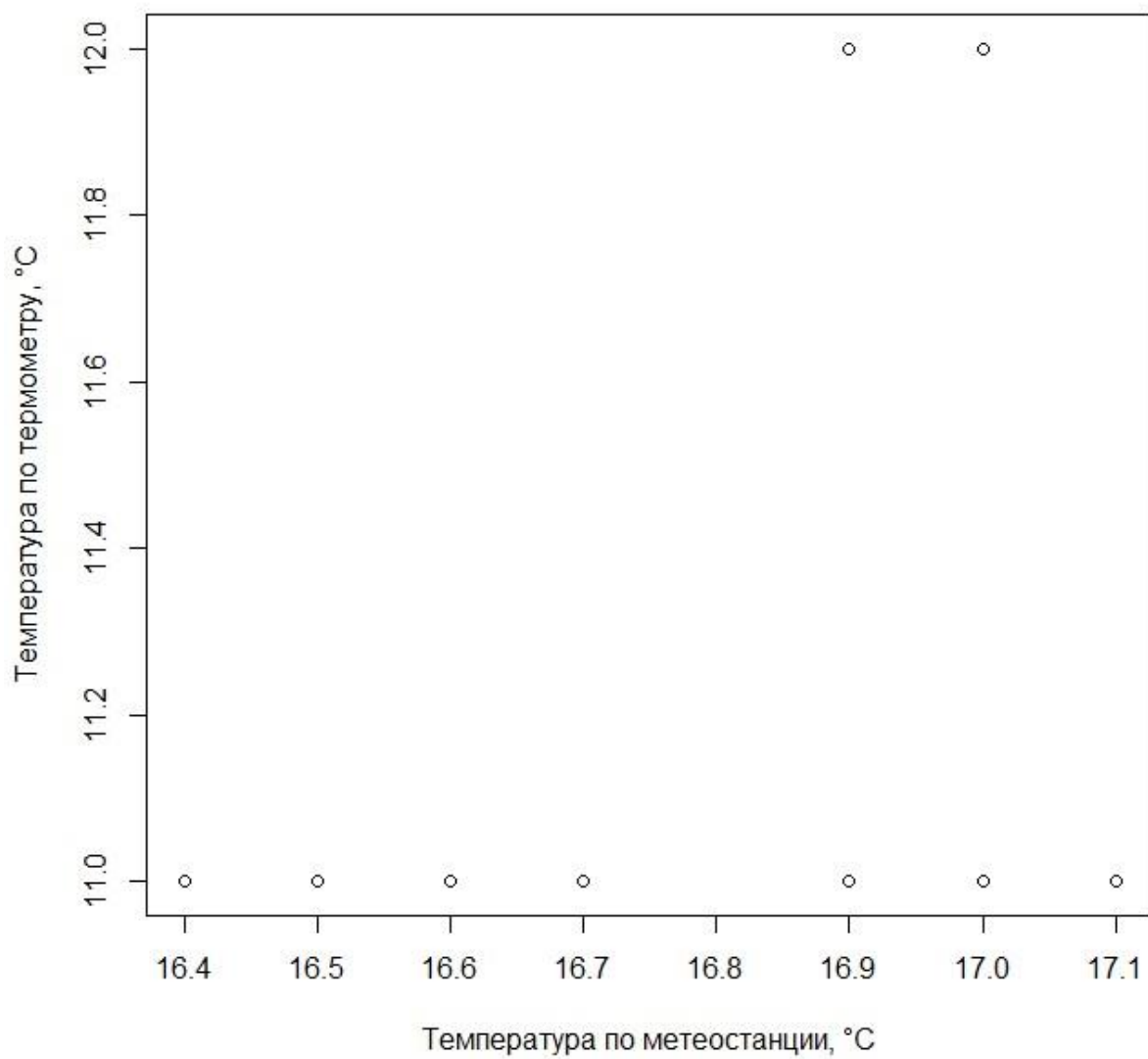


Рис. 51. Соотношение между температурными данными спиртового термометра и портативной метеостанции для первой ночи (29–30 июня 2025 г.).

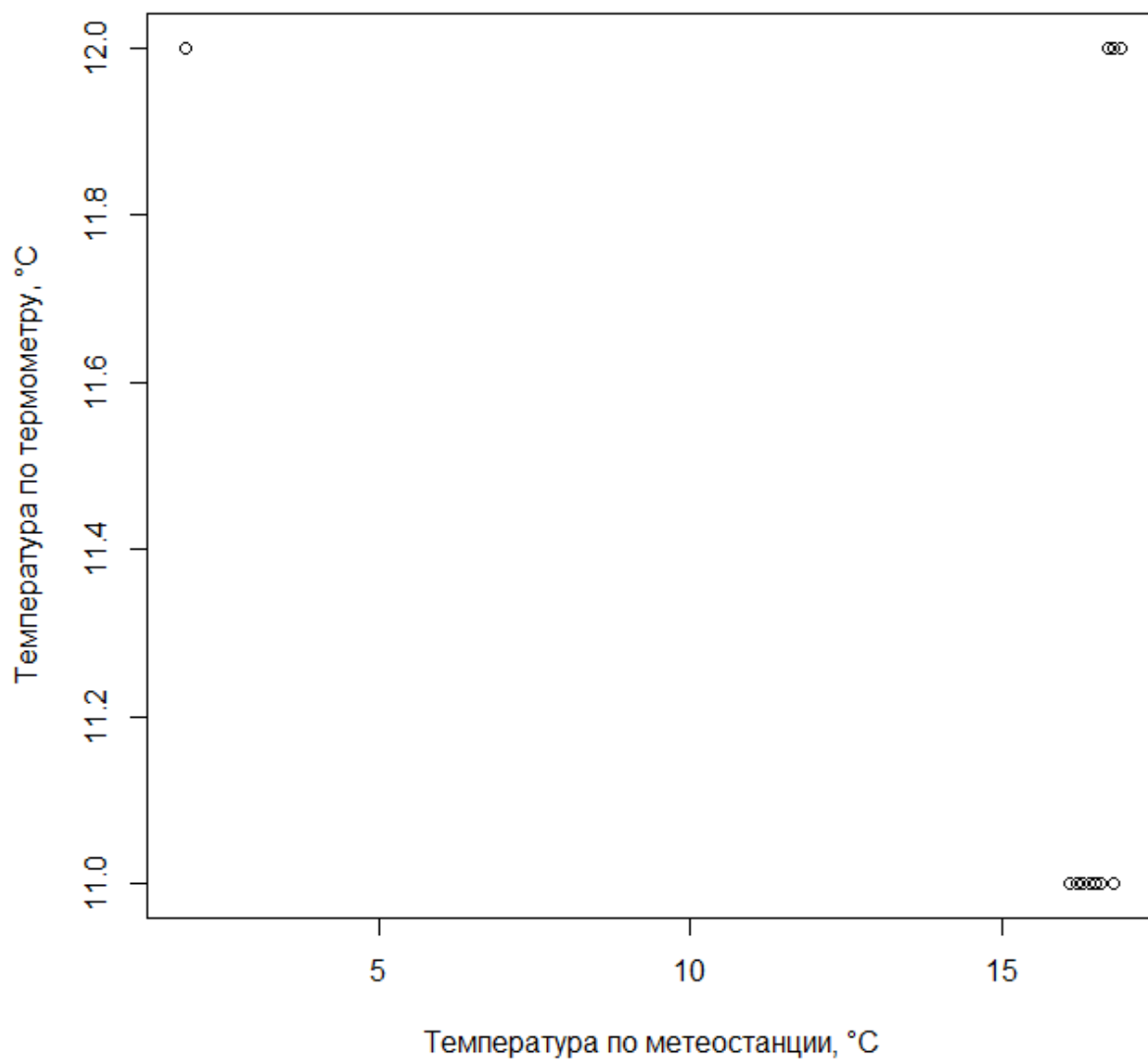


Рис. 52. Соотношение между температурными данными спиртового термометра и портативной метеостанции для второй ночи (30 июня – 1 июля 2025 г.).

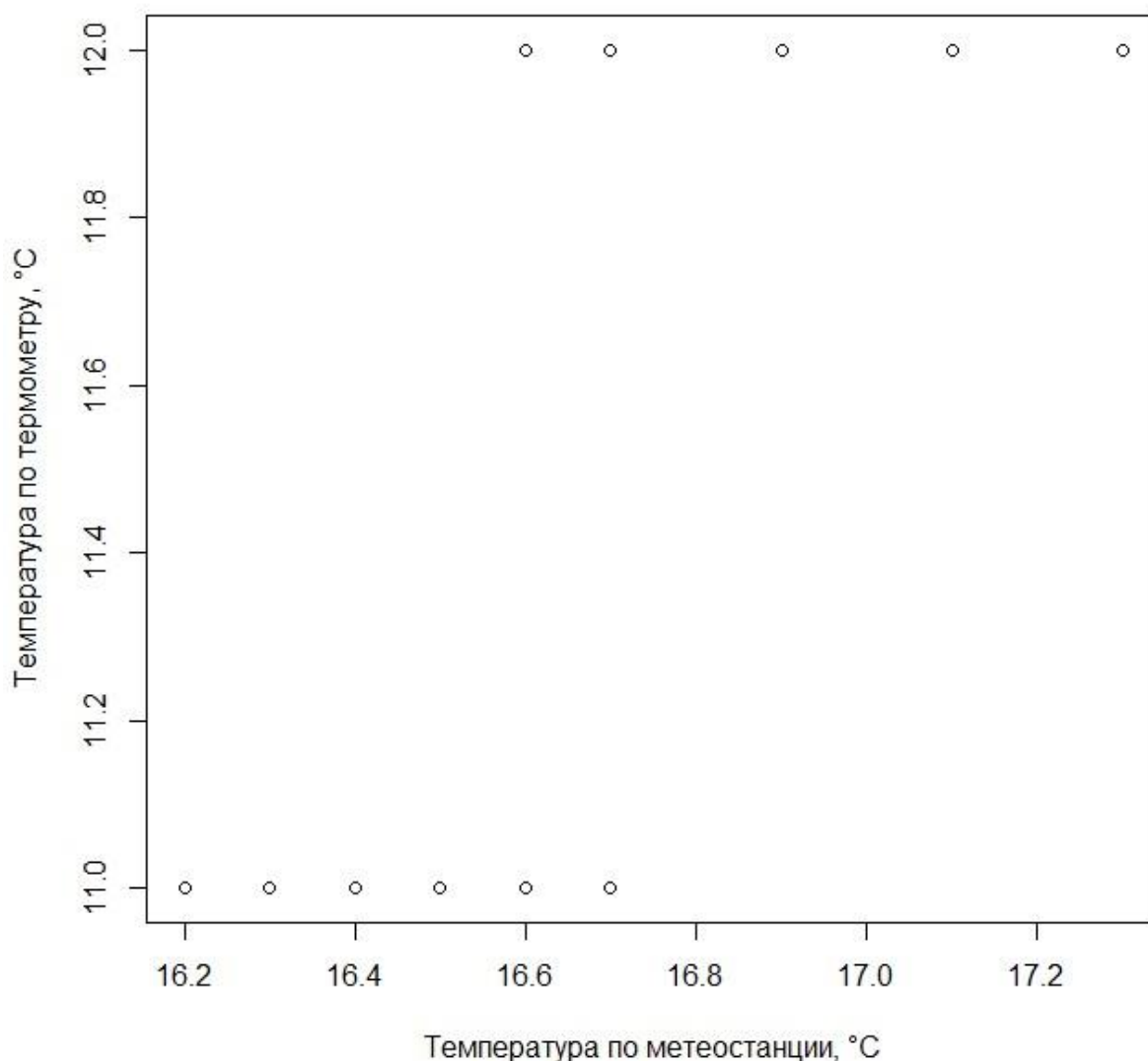


Рис. 53. Соотношение между температурными данными спиртового термометра и портативной метеостанции для третьей ночи (1–2 июля 2025 г.).

Обсуждение

Время суток. После обработки всех данных, собранных за время эксперимента на биостационаре «Сунога», точное время пика численности фотоксенов в пределах черного квадрата 50×50 см, справедливое для всех ночей, выявлено не было. В первую ночь (29–30 июня) максимальное число насекомых было отмечено в 23:30, во вторую (30 июня – 1 июля) – в 3:00, а в третью (1–2 июля) – в 0:45.

Временная структура динамики лета фотоксенов для всех ночей отражена на рис. 6. Как видно на рис. 6А, в первый час первой ночи число насекомых стремительно растет, а

потом медленно убывает вплоть до ее (ночи) конца, причем в последний час скорость его падения возрастает. Численность фотоксенов на протяжении второй ночи только увеличивается (рис. 6Б), снижая темп после 2:30 (240 мин от начала эксперимента). В течение третьей ночи число насекомых меняется слабо (рис. 6В) (исключая выброс в 1:15 в 31 экз.), немного поднимается в первые два часа и падает в последние 45 минут. Как видим, интенсивность ночного лета сильно отличается от ночи к ночи, говорить о каких-либо закономерностях мы не можем.

Тест Спирмена выявил статистически значимую корреляцию только для второй ночи с коэффициентом $r = 0,92$, а для второй и третьей ночей никакой взаимосвязи мы не обнаружили ($r = 0,1$ для второй, $r = 0,47$ для третьей), поэтому мы не можем сделать четкий вывод о зависимости числа фотоксенов от времени. Тем не менее, мы можем предположить, что она есть.

Результаты нашей работы не подтверждают выводы предыдущих работ. Наши предшественники отмечали наличие общих для всех ночей временных пиков численности фотоксенов: 2:30 у Андреевой с соавт. (Андреева и др., 2010), с 2:00 до 3:00 у Дралкиной с соавт. (Дралкина и др., 2014), с 1:00 до 2:00 у Александрова с соавт. (Александр и др., 2016), с 2:00 до 2:15 у Тарасовой с соавт. (Тарасова и др., 2021). Также наблюдались и закономерности в самой динамике: число насекомых возрастает к середине ночи и убывает к ее концу (Авдеева и др., 2022). Скорее всего, эти расхождения вызваны влиянием погодных условий, которые во время наших наблюдений менялись достаточно сильно (в первую ночь было просто пасмурно, во вторую – лил дождь, а в третью было в основном ясно).

Состав и обилие насекомых, прилетающих на свет. По данным о таксономическом составе фотоксенов за все время проведения наших наблюдений, представленным выше в табл. 1, можно сделать выводы о динамике лета некоторых отрядов насекомых. За все время наблюдений нами не было встречено ни единого представителя отряда Neuroptera, хотя во время эксперимента дождь периодически шел, что не подтверждает вывод Тарасовой с соавт. (Тарасова и др., 2021) о связи между осадками и летом насекомых этого отряда. Мы также не встречали и представителей отряда Blattodea, что согласуется с результатами обеих работ, проведенных на территории биостанции «Сунога» (Тарасова и др., 2021; Авдеева и др., 2022), хотя в других частях мира их отмечают (Горностаев, 1984), из чего можно сделать вывод о очень слабом характере лета таракановых на свет в районе Ярославской области.

Представителей отрядов Ephemeroptera и Coleoptera мы также практически не замечали, что может служить подтверждением вывода Авдеевой с соавт. (Авдеева и др., 2022) о том, что они предпочитают температуру выше 14 °С (средняя температура во время наших наблюдений по показаниям установленного на улице датчика составляла 12–13 °С).

В отличие от результатов наблюдений Тарасовой с соавт. (Тарасова и др., 2021) мы встречали мало перепончатокрылых и почти всех из них – позже 00:30, хотя в указанной работе пик их численности приходится на время с 22:30 по 23:30. Вероятно, это связано с погодой: почти всю вторую ночь лил сильный дождь с ощутимым ветром – оба этих фактора, в особенности ветер, могут снижать активность лета насекомых (Чернышев, 1996). Что интересно, под конец третьей ночи, когда перепончатокрылые стали встречаться чаще всего, атмосферное давление начало возрастать, хотя считается, что именно его падение благоприятно влияет на лет на свет (Горностаев, 1984; Чернышев, 1996).

Как показывает рис. 4, общее число отмечаемых в пределах черного квадрата 50 × 50 см насекомых значительно возрастает между ночами. Из всех ночей наиболее обильна третья: суммарная численность прилетевших насекомых составила 5695 экз., когда для первой и второй она равна 1565 экз. и 2964 экз. соответственно. Можно предположить, что это связано с погодой: большую часть третьей ночи стояла ясная (или переменно-облачная) погода. В работе Тарасовой с соавт. (Тарасова и др., 2021) наибольшее число фотоксенов также наблюдается в ночь с хорошей погодой. Тем не менее, в таком случае неясно, почему во вторую ночь насекомых было встречено больше, чем в первую, хотя погода была явно хуже. Скорее всего, данное расхождение – это следствие влияния других погодных условий, например, ветра, который не был отмечен в первую ночь.

Также бросается в глаза существенная разница между наблюдаемым числом фотоксенов в 2025 году и в 2021 и 2022 годы. Тарасова с соавт. (Тарасова и др., 2021) отмечали пики численности насекомых в 500–800 особей, а Авдеева с соавт. (Авдеева и др., 2022) и вовсе сообщают о максимуме в 1263 экз. С чем связано такое сильное снижение обилия фотоксенов, неясно.

Разница в показаниях портативной метеостанции, ее датчика и ртутного термометра. Показания всех трех источников, использованных нами для сбора данных о температуре воздуха, различаются между собой, и если датчик и термометр в основном показывали одни и те же значения (разница в 1–2 °С), то метеостанция серьезно

выбивалась (отличие на 3–6 °C). Такие расхождения побуждают усомниться в том, что на все три набора данных можно опираться при анализе взаимосвязей.

Если все три источника нам не врут, они должны одинаково отражать изменение температуры, а значит, между их наборами данных должны быть положительные корреляции, близкие к единице. Однако тест Пирсона выявил слабые (а иногда и отрицательные) корреляции между метеостанцией и датчиком, а также термометром и метеостанцией, что ставит достоверность последней под сомнение. Все взаимосвязи между датчиком и термометром (кроме первой ночи) значимы и имеют примерно равные коэффициенты ($r \approx 0,6$).

При выборе между датчиком и термометром мы склонны предпочитать именно первый, поскольку он обладает более высокой точностью. Данные термометра лежат в диапазоне 11–12 °C (исключая промежуточные значения), из-за чего он слабо отражает изменение температуры, а, следовательно, хуже представляет ее влияние как фактора.

Погодные условия. После обработки всех полученных на биостанционаре «Сунога» данных мы так и не обнаружили четкую взаимосвязь между температурой и числом наблюдаемых фотоксенов. Проведенный тест Спирмена выявил корреляции только для первых двух ночей и не для всех источников одновременно. Для первой и второй ночей все корреляции отрицательны, притом особый интерес вызывает именно вторая ночь (рис. 17), для которой кривая соотношения напоминает ветвь параболы (при достижении температурой 13 °C число насекомых начинает стремительнее падать, хотя до этого держалась на «плато»). Однако, если сравнить ночи по обильности фотоксенов, можно заметить, что хотя первая ночь самая холодная (средняя температура 12,4 °C по данным датчика), число прилетевших насекомых для нее наименьшее (макс. 105 экз.), а другие ночи (средняя температура 12,9 °C для второй и 13 °C для третьей по данным датчика) значительно обильнее (в среднем прилетало 141 экз. во вторую и 271 экз. в третью), что говорит о наоборот положительной взаимосвязи. Тем не менее, наибольшие числа фотоксенов лежат ближе к середине диапазона значений температуры (рис. 7), но это сомнительный аргумент, так как все они (числа) принадлежат только третьей ночи, которая отличалась от других двух помимо температуры и другими факторами. Описанные противоречия не позволяют нам сделать какие-либо определенные выводы касательно корреляции (кроме ее наличия).

Наши предшественники, работавшие на территории биостанционара «Сунога», наблюдали как положительную (Авдеева и др., 2022), так и отрицательную (Тарасова и др., 2021) взаимосвязи между числом насекомых и температурой воздуха. В целом, в

исследовательских работах чаще делали вывод именно о положительной корреляции (Андреева и др., 2010; Иванова и др., 2013; Александров и др., 2016); отрицательную же замечали реже (Бабиченко и др., 2016). Видимо, статистически значимее именно положительная взаимосвязь, а отрицательную следует объяснить влиянием других факторов, например, последствием низкой освещенности, как в своей работе это сделали Тарасова с соавт. (Тарасова и др., 2021), или тем, что фотоксены просто начали разлетаться.

Взаимосвязь между относительной влажностью воздуха и числом насекомых можно признать статистически значимой только во вторую ночь ($p = 0,67$, $r < 0,01$), также очень вероятно, что она присутствует и в третью ($p = 0,06$). В пределах самих ночей значение влажности меняется слабо (максимум на 3 %). Большое число повторяющихся значений при сильной изменчивости других факторов сильно мешает оценить влияние самой влажности. Тем не менее, все равно можно заметить некоторые закономерности. Например, при относительной влажности меньше 82 % насекомых становится сравнительно мало, а в ночах, когда наблюдалось обилие насекомых, она была выше этого значения. Исходя из этого можно предположить, что чем выше относительная влажность воздуха, тем больше насекомых. Что интересно, пики численности фотоксенов наблюдаются не у «верхнего края» значений, а немного ниже – при 84 % влажности (рис. 10). Это может говорить о том, что кривая соотношения для влажности может напоминать параболу с фокусом в пределах 83–84 % (или близких к этим значений). То есть, хотя насекомые при более высокой влажности и летят охотнее, после определенного порога рост их активности замедляется. Тем не менее, оснований для подтверждения этой гипотезы недостаточно: по аналогии с температурой, все пики численности насекомых принадлежат только третьей ночи, где их в целом было больше и помимо температуры сильно отличались и другие условия (например, давление).

В пользу положительной взаимосвязи говорят и отличия между целыми ночами, которые сами по себе больше. Между первой и второй ночами есть сравнительно резкий перепад (с 81–82 % в первую до 87–90 % во вторую), обусловленный дождем, вместе с которым идет и значительный рост числа фотоксенов (с десятков до сотен экземпляров). Также считается, что повышение влажности воздуха коррелирует с увеличением активности лета насекомых вообще (Чернышев, 1996).

Положительная корреляция между атмосферным давлением и числом насекомых отмечена во все ночи, кроме третьей (для которой значение $p > 0,7$). Притом если взглянуть внимательно на диаграммы рассеяния для первой и второй ночей (рис. 16 и рис. 23 соответственно), можно заподозрить, что корреляция нелинейна: в первую ночь

рост числа насекомых после 726,5 мм рт. ст. притормаживается, а во вторую после 728,6 мм рт. ст. – наоборот, как будто, немного ускоряется. Тем не менее, если допустить, что обе эти закономерности действительно присутствуют, непонятно, как их сопоставить (выходит, что рост при давлении $> 726,5$ должен и замедляться, и ускоряться одновременно), поэтому, скорее всего, это не так. Например, точки в правом нижнем углу диаграммы рассеяния для первой ночи (рис. 16), из-за которых кривая и кажется похожей на параболу, соответствуют числам насекомых, отмеченным в начале эксперимента – скудность фотоксенов обусловлена не столько влиянием самого фактора, сколько тем, что они просто еще не успели слететься на свет лампы. Гипотеза об ускорении роста после 728,6 мм рт. ст. выглядит правдивее, однако говорить о ее подтверждении рано: такая закономерность наблюдается только в одну (вторую) ночь, нужно больше свидетельств ее наличия.

Хотя значение r для третьей ночи и огромно, при сравнении ее соотношения с другими ночами четко видно, что при высоком давлении число насекомых максимально – точки на диаграмме буквально лежат в правом верхнем углу (рис. 11). Если взглянуть на соотношение внутри ночи (рис. 26), можно тоже заподозрить нелинейную закономерность: число насекомых возрастает при повышении давления до 737 мм рт. ст., после чего выходит на «плато» (похоже, именно оно и стало причиной высокого значения r : множество точек на нем лежит почти параллельно оси абсцисс). Так как третья ночь является единственной за все время наблюдений, когда атмосферное давление превышает 730 мм рт. ст., объяснить такую странность можно по-разному. По аналогии с другими двумя ночами можно предположить, что сама кривая соотношения изменяется не линейно, а после 737 мм рт. ст. начинает убывать. Однако странность также может быть вызвана просто временем суток: такое значение давления отмечалось в третью ночь в основном к концу наблюдений, когда уже рассветало, и насекомые могли начать разлетаться, ориентируясь уже на естественный свет. Из обоих объяснений можно сделать вывод, что при высоком давлении лет насекомых на свет все-таки усиливается (говорить о том, что при давлении > 737 мм рт. ст. лет ослабевает, мы пока не можем, так как нет достаточной уверенности – мы наблюдали это только в одну ночь).

Как уже было отмечено, хотя именно понижение атмосферного давления должно благоприятно влиять на активность лета насекомых (Горностаев, 1984; Чернышев, 1996) обилию фотоксенов второй и третьей ночей соответствует, наоборот, высокое давление. Возможно, на самом деле никакого расхождения здесь и нет: такие результаты – это опять же следствие влияния других факторов. Например, можно предположить, что они обусловлены не столько повышением местной активности лета, сколько миграцией

насекомых из других районов, которая могла произойти днем, когда мы не вели учет. В первый день давление как раз понижалось. Также нельзя исключать и влияние сильного ветра во вторую ночь, который способен серьезно менять пути миграции насекомых (Чернышев, 1996).

Влияние представителей семейства Chironomidae. Доля представителей семейства Chironomidae в среднем по медиане составляла треть от общего числа насекомых в пределах квадрата 50×50 см, варьируя от минимум $1/8$ до максимум $1/2$. Их постоянная высокая представленность позволяет сделать вывод, что они могут оказывать серьезное влияние на тесты по результативности светоловушек.

Нам не очень ясно, что и как влияет на изменение их представленности. Мы обнаружили взаимосвязи только между долей хирономид и временем от начала эксперимента и атмосферным давлением в первую ночь ($r = 0,6$, $p < 0,01$ для времени и $r = -0,6$, $p < 0,01$ для давления). Значимыми могут оказаться еще взаимосвязи между долей хирономид и влажностью воздуха для второй ($r = 0,35$, $p = 0,12$), долей и временем и давлением для третьей ночей ($r = 0,34$, $p = 0,13$ для времени, $r = 0,55$, $p = 0,01$ для давления). Вероятно, они действительно есть (и связей даже больше), но найти их мешает низкая точность измерения самой доли семейства. Корреляции между долей комаров-звонцов и общей численностью фотоксенов притом выявлено не было.

Исходя из найденных закономерностей, мы можем предположить наличие взаимосвязи между долей хирономид и временем от начала наблюдений и атмосферным давлением, однако утверждать об этом с уверенности пока нельзя.

Планы на будущее. Как мы уже обозначали выше, несмотря на проведенные исследования, все еще до конца неясно, почему существуют фотоксены и что влияет на интенсивность их лета. Не все полученные нами результаты понятны и однозначны, а данных, чтобы сделать выводы, не везде хватает, поэтому мы уверены, что изучение ночного лета насекомых на свет на биостационаре «Сунога» стоит продолжать.

На наш взгляд, фактор ветра все еще недостаточно учтен: собранные нами данные позволяют судить только о его наличии или отсутствии, однако сам ветер играет большую роль в миграциях насекомых (Чернышев, 1996), а значит и может влиять на численность наблюдаемых фотоксенов. В будущих исследованиях стоит точнее учитывать ветер, например, оценивать его скорость по категориям «слабый», «умеренный» и «сильный»; сами данные можно брать из других источников, как это делали наши предшественники

(Тарасова и др., 2021). Так мы сможем найти, какое влияние ветер оказывает на динамику лета фотоксенов.

При изучении влияния семейства Chironomidae на результативность светоловушек мы использовали только один тип ламп – ртутные. В последнее время популярность приобретает светодиодная технология, ловушки для фотоксенов на основе которых эффективнее (Cohnstaedt et al., 2008). Мы думаем, что стоит также исследовать влияние комаров-звонцов и на результативность ловушек с этим типом ламп и сравнить его с влиянием на ртутные светоловушки.

В ходе нашего эксперимента мы собрали информацию, указывающую на высокую долю комаров-звонцов среди фотоксенов, однако мы все еще не знаем, как она меняется и от чего зависит. Мы считаем, что этой теме стоит уделить особое внимание. Например, более точный учет численности хирономид может помочь выявить новые закономерности и уточнить уже найденные корреляции. Как показывает практика, субъективная визуальная оценка имеет большую погрешность (Авдеева и др., 2022); чтобы повысить точность, можно использовать специальные программы наподобие ImageJ.

Выводы

1. На стационаре «Сунога» на искусственный источник света с 29 июня по 2 июля 2025 года летели представители семи отрядов: Ephemeroptera, Hemiptera, Coleoptera, Lepidoptera, Hymenoptera, Diptera и Trichoptera.
2. Максимальное число фотоксенов в пределах квадрата 50×50 см на экране составило 118 экз. в первую ночь наблюдений (29–30 июня 2025 г.), 255 экз. во вторую (30 июня – 1 июля) и 353 экз. в третью (1–2 июля), что сильно меньше, чем в работах прошлых лет.
3. Повышение интенсивности лета фотоксенов в Ярославской области может коррелировать с понижением температуры воздуха и повышением его относительной влажности и атмосферного давления.
4. Представители семейства Chironomidae (отряд Diptera) могут сильно влиять на оценки результативности светоловушек.

Благодарности

Мы благодарим Сергея Менделевича Глаголева, Полину Андреевну Волкову и Екатерину Викторовну Елисееву за организацию летней биологической практики, директора Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН Александра Витальевича Крылова за возможность проведения исследований на территории биостационара «Сунога», Елену Николаевну Устинову за рецензию и Петра Николаевича Петрова за научное руководство.

Литература

1. Авдеева П., Федорова В., Казаченко А. [Интернет документ] 2021. Динамика лёта насекомых на свет в ночное время суток на стационаре «Сунога» Института биологии внутренних вод РАН (Ярославская область) [URL: bioclass.ru/wp-content/uploads/2023/09/Light2022.pdf]
2. Александров В., Коток А., Петрушкина Е., Прудник Н. [Интернет документ] 2016. Динамика лёта насекомых на свет в темное время суток [URL: <https://bioclass.ru/wp-content/uploads/2022/01/light-1.pdf>]
3. Бабиченко Д. С., Вольф-Троп А. Д. [Интернет документ] 2016. Изучение динамики лета насекомых на искусственные источники света в Харьюском уезде Эстонии [URL: <https://bioclass.ru/wp-content/uploads/2022/01/volftrop.pdf>]
4. Горностаев г. Н. 1984. Введение в этологию насекомых-фотоксенов (лет насекомых на искусственные источники света). В кн.: М. С. Гиляров. Труды Всесоюзного энтомологического общества. Т. 66. Этология насекомых. Л.: Наука, с. 101–151.
5. Ковязина С., Филатова Н., Моржаков И. [Интернет документ] 2023. Изменчивость задних крыльев водных жуков семейств Dytiscidae и Hydrophilidae [URL: https://bioclass.ru/wp-content/uploads/2024/09/Wings_2023.pdf]
6. Леб Ж. 1924. Вынужденные движения, тропизмы и поведения животных. М., 183 с.
7. Мазохин-Поршняков г. А 1956. Сравнение привлекающего действия лучей различного спектрального состава на насекомых. Энтомологическое обозрение 35 (4): 752–759.
8. Мазохин-Поршняков г. А 1960. Почему насекомые летят на свет. Энтомологическое обозрение 39 (1): 52–58.
9. Тарасова Е., Мошкова Е., Флока Е. [Интернет документ] 2022. Динамика лёта насекомых на свет в темное время суток [URL: bioclass.ru/wp-content/uploads/2022/02/Тарасова_Мошкова_Флока_2022.pdf]
10. Чернышев В. Б. 1996. Экология насекомых. Учебник. М.: Изд-во МГУ, 304 с.

11. Buddenbrock W. 1917. Die Lichtkompassbewegungen bei den Insekten, insbesondere den Schmetterlingsraupen. Heidelberg: Heidelberger Akademie der Wissenschaften, 1–26 p.
12. Cohnstaedt L., Gillen J., Munstermann L. 2008. Light-emitting diode technology improves insect trapping. *Journal of the American Mosquito Control Association* **24** (2): 331–334.
13. Eisenbeis G., Hänel A. 2009. Light pollution and the impact of artificial night lighting on insects. *Ecology of Cities and Towns*. Cambridge: Cambridge University Press, 243–263 p.
14. Mell F. 1954. Reizwirkung des künstlichen Lichtes auf Lepidopteren. *Deutsche Entomologische Zeitschrift* **64** (2): 17–20.
15. R Core Team [Интернет документ] 2025. R: A Language and Environment for Statistical Computing [URL: <https://www.R-project.org/>]