

Государственное бюджетное образовательное учреждение
дополнительного образования города Москвы
«Московский детско-юношеский центр экологии, краеведения и туризма»

**«Влияние спектрального состава света на поведение и развитие гусениц
табачного бражника»**

Авторы работы:

Лопатин Даниил Максимович,
Буртыль Роман Ростиславович,
Марценюк Михаил Сергеевич.

Руководитель:

Быстрова Ольга Сергеевна
Педагог дополнительного образования
ГБОУДО МДЮЦ ЭКТ

Консультант:

Савин Иван Михайлович
Методист ГБОУДО МДЮЦ ЭКТ

Москва, 2025 год

Оглавление

1. Введение	3
1.1. Актуальность исследования	3
1.2. Обзор существующих исследований	3
1.3. Цель и задачи исследования	3
1.4. Гипотеза	4
1.5. Сроки и место проведения	4
2. Основная часть	4
2.1. Теоретическое обоснование	4
2.1.1 Проблема светового загрязнения как глобальная угроза	4
2.1.2. Влияние спектрального состава света: фокус на синий спектр	4
2.1.3. Механизмы воздействия света на насекомых	4
2.1.4. Научная новизна настоящей работы	5
2.1.5. Обоснование объекта и цели экспериментального исследования	5
2.2. Практическая реализация исследования: материалы и методы	6
3. Результаты исследования	7
3.1. Выживаемость гусениц	7
3.2. Рост и развитие	7
3.3. Пищевое поведение	8
4. Обсуждение результатов	8
5. Выводы	9
6. Заключение и практическая значимость	9
7. Список использованной литературы	10
8. Приложения	11

1. Введение

1.1. Актуальность исследования

Проблема светового загрязнения признана одной из глобальных угроз биоразнообразию. В связи с распространением светодиодных источников освещения, у которых излучаемый свет лежит в узком диапазоне спектра, представляется актуальным вопрос о влиянии конкретных длин волн видимого света на живые организмы. Показано, что для ночных насекомых искусственный свет является мощным стрессовым и дезориентирующим фактором, нарушающим их естественные циклы питания, роста и развития [3, 4].

1.2. Обзор существующих исследований

Современные исследования подтверждают, что спектральный состав света критически важен для многих живых организмов. Насекомые, особенно ночные виды, наиболее чувствительны к коротковолновой части спектра (синему и ультрафиолетовому свету), который они используют для навигации [4]. Длинноволновый красный свет многие виды воспринимают слабо. Искусственный свет, особенно в «критических» спектральных диапазонах, нарушает механизмы фототаксиса (движения к свету/от света) и фотопериодизма (физиологической реакции на продолжительность светового дня) [2]. Исследования показывают, что синий свет часто вызывает дезориентацию и стресс у насекомых [4], однако его влияние на личиночные стадии изучено недостаточно.

1.3. Цель и задачи исследования

- **Цель:** экспериментально изучить влияние спектрального состава ночного искусственного освещения на выживаемость, рост и пищевое поведение личинок насекомых на примере гусениц табачного бражника (*Manduca sexta*).
- **Задачи:**
 1. Сравнить выживаемость гусениц в условиях ночного освещения разного спектрального состава (красный, синий, смесь красного и синего света и полная темнота).
 2. Оценить влияние света различного спектрального состава на скорость роста гусениц (динамика увеличения массы и длины тела).
 3. Изучить изменения в пищевом поведении (аппетит и эффективность усвоения корма) в зависимости от спектрального состава света.
 4. Сформулировать экспериментально обоснованные рекомендации по уменьшению негативного воздействия искусственного освещения на насекомых в городской среде.

1.4. Гипотеза

На основании анализа литературных источников [2, 4], мы предположили, что синий коротковолновый свет будет оказывать наиболее стрессовое воздействие на гусениц, снижая их выживаемость и нарушая нормальное развитие, в то время как красный, длинноволновый, свет будет для них более нейтральным или комфортным.

1.5. Сроки и место проведения

Исследование проводилось на базе энтомологического кружка отделения «Станция юных натуралистов» ГБОУДО МДЮЦ ЭКТ в октябре 2025 года.

2. Основная часть

2.1. Теоретическое обоснование

2.1.1 Проблема светового загрязнения как глобальная угроза

Искусственное освещение в ночное время радикально трансформировало естественную среду. Яркость ночного неба продолжает расти, затрагивая обширные территории [4]. Это явление нарушает эволюционно сложившиеся циркадные ритмы и фотопериодические реакции у широкого круга организмов. Для насекомых, многие из которых ведут ночной образ жизни, искусственное ночное освещение (далее – ALAN) является фактором, способствующим наблюдаемому во всем мире сокращению их численности и разнообразия. *Термин ALAN (англ. Artificial Light At Night) является общепринятым в научной литературе для обозначения этого вида антропогенного воздействия.* [4].

2.1.2. Влияние спектрального состава света: фокус на синий спектр

Экологический эффект ALAN напрямую зависит от его спектра. Наиболее распространенные бюджетные белые светодиоды характеризуются выраженным пиком в синей области спектра (~450 нм) [1]. Исследования показывают, что именно коротковолновый синий и холодный белый свет оказывают наиболее выраженное негативное воздействие [3, 5]. Это связано с особенностями зрительной системы насекомых, чьи фоторецепторы часто максимально чувствительны к синему и ультрафиолетовому излучению, используемому для навигации [2]. В отличие от этого, длинноволновый красный и янтарный свет привлекает насекомых в значительно меньшей степени, что позволяет рассматривать его как более экологичную альтернативу для наружного освещения [5].

2.1.3. Механизмы воздействия света на насекомых

ALAN влияет на насекомых через несколько ключевых механизмов [2, 3, 5]:

- **Дезориентация и привлечение:** Световые ловушки нарушают навигацию, приводя к гибели от истощения или увеличивая риск быть съеденными хищниками [3].
- **Нарушение циркадных ритмов и фотопериодизма:** Постоянное или неестественное (нерегулярное включение в ночное время) освещение сбивает внутренние «биологические часы», регулирующие время активности, питания, размножения и метаморфоза [2, 4].
- **Изменение поведения и экологических взаимодействий.** Это может приводить к снижению эффективности опыления растений ночными насекомыми, изменению пищевого поведения и нарушению отношений «хищник-жертва» [4].

2.1.4. Научная новизна настоящей работы

Несмотря на растущий интерес к теме, подавляющее большинство исследований сфокусировано на взрослых летающих насекомых (имаго) [3, 4]. Влияние спектрального состава ALAN на личиночные стадии (гусениц) изучено крайне фрагментарно [2]. Научная новизна нашей работы заключается в комплексной оценке влияния монохроматического и смешанного света не только на выживание, но и на ключевые физиолого-поведенческие параметры (рост, пищевая активность) на личиночной стадии развития модельного вида чешуекрылых.

2.1.5. Обоснование объекта и цели экспериментального исследования

Гусеницы, как личиночная стадия чешуекрылых, являются важным элементом экосистем. Их поведение и развитие в значительной степени регулируются внешними сенсорными сигналами, среди которых свет играет ключевую роль [2]. У личинок насекомых с полным превращением органы зрения (стеммы) расположены по бокам головы. При превращении личинки в имаго стеммы атрофируются - их заменяют фасеточные глаза. Несмотря на малые размеры и простоту организации, стеммы позволяют воспринимать форму, оценивать глубину, различать цвета и положение плоскости поляризации света. Это позволяет им различать интенсивность и, у многих видов, спектр света, что влияет на выбор места для питания, линьки и окукливания [2]. Нарушение естественной световой среды, вызванное человеком, может приводить к сбою внутренних часов (циркадных ритмов), что влечет за собой физиологические и поведенческие нарушения [3, 4]. Наша работа сфокусирована на экспериментальной проверке этих эффектов на модельном объекте - гусеницах табачного бражника (*Manduca sexta*).

2.2. Практическая реализация исследования: материалы и методы

Организация эксперимента. Было сформировано 4 группы гусениц по 5 особей в каждой. Каждая группа содержалась в идентичных условиях ($t=22^{\circ}\text{C}$, влажность=70%, искусственная питательная смесь), но с разным цветом ночного освещения (Таблица 1). В качестве корма использовался готовый сухой полнорационный корм для гусениц табачного бражника. Питательная смесь была приготовлена согласно инструкции производителя путём замешивания порошка с горячей водой до получения однородной среды.

Материально-техническое обеспечение: Пластиковые контейнеры, светодиодные лампы с узким спектром излучения (~ 660 нм и ~ 450 нм), таймеры, электронные весы с точностью 0.01 г, линейка, термогигрометр.

Таблица 1. Условия проведения эксперимента

Группа	Условия освещения	Источник освещения	Длина волны света	Период искусственного освещения
Группа 1	Полная темнота (контроль)	Без лампы	--	--
Группа 2	Красный свет	Красная светодиодная лампа	~ 660 нм	20:00 - 08:00
Группа 3	Синий свет	Синяя светодиодная лампа	~ 450 нм	20:00 - 08:00
Группа 4	Смешанное: красный + синий свет	Лампа с красными и синими светодиодами	~660 нм + ~450 нм	20:00 - 08:00

Методы сбора данных.

Ежедневно в одно время фиксировались:

- 1) масса каждой гусеницы;
- 2) длина тела;
- 3) масса внесенного корма;

4) масса оставшегося корма.

Отмечалось поведение и состояние особей.

Методы обработки данных.

Данные заносились в таблицы. Рассчитывались индивидуальные и средние по группе показатели массы и длины и выживаемость. Анализ данных проводился путем сравнения динамики исследуемых параметров в разных группах.

3. Результаты исследования

3.1. Выживаемость гусениц

Наблюдалась разница в выживаемости:

- **Контроль (темнота) и красный свет:** 5/5 особей.
- **Фиолетовый свет:** 4/5 особей.
- **Синий свет:** 3/5 особей. Гибель двух гусениц произошла на 3-й день эксперимента.

3.2. Рост и развитие

Наблюдались различия в динамике роста (подробные данные приведены в Таблицах 4,5 Приложения). Итоговые показатели представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Сводные показатели роста и выживаемости

Группа	Средний прирост массы на 1 выжившую особь, г*	Максимальная длина, см (среднее по группе)**	Выживаемость, штук (конец/начало эксперимента)
Контроль (темнота)	+5.21	9.1	5/5
Красный свет	+1.05	9.0	5/5
Красный + синий свет	+2.52***	9.0	4/5
Синий свет	+7.33***	8.5	3/5

*Масса гусениц измерялась на электронных весах с инструментальной погрешностью $\Delta = \pm 0,01$ г.

**Длина тела измерялась линейкой с ценой деления 0,1 см (погрешность измерения $\pm 0,1$ см).

***Рассчитан только для выживших особей.

3.3. Пищевое поведение

В процессе наблюдения за ходом эксперимента, у гусениц было выявлено «светозависимое» пищевое поведение. Помимо инструментального контроля косвенного показателя (прирост массы), визуально оценивалось количество потребленного корма, интенсивность приема пищи и выделения непереваренных остатков (Таблица 3).

Таблица 3. Характер питания гусениц в разных условиях

Группа	Характер питания (наблюдения)	Косвенный показатель (прирост массы)	Предполагаемый эффект
Контроль	Умеренное, стабильное.	Высокий (+5.21 г).	Нормальное развитие.
Красный свет	Интенсивное, наибольшее количество экскрементов.	Очень низкий (+1.05 г).	Нарушение пищеварения.
Красный + синий свет	Вялое, нерегулярное.	Низкий (+2.52 г).	Подавление аппетита, дезориентация.
Синий свет	Гиперфагия (чрезмерное).	Очень высокий (+7.33 г).	Срыв циркадных ритмов.

4. Обсуждение результатов

1. **Синее ночное освещение (450 нм)** оказалось наиболее неоднозначным по совокупности полученных результатов, что подтверждает нашу гипотезу и согласуется с данными о высокой чувствительности насекомых к коротковолновому излучению [4]. Выжившие особи демонстрировали гиперфагию и аномальный рост, что может указывать на глубокое нарушение циркадных ритмов.

2. **Красное ночное освещение (660 нм)** не стало «комфортным». Несмотря на 100% выживаемость, наблюдалось резкое снижение эффективности усвоения корма. Это может быть связано с хроническим стрессом или нарушением физиологических процессов, не связанных напрямую с реакцией на свет.
3. **Смешанное ночное освещение (красный+синий цвет)** вызвал дезориентацию и апатию, что может свидетельствовать о конфликте сенсорных сигналов (смесь «дневного» синего и «нейтрального» красного).
4. **Полная темнота** оказалась оптимальным вариантом для нормального, синхронного развития.

5. Выводы

В связи с небольшой выборкой (5 гусениц в группе), полученные данные не обладают статистической достоверностью. Однако результаты позволяют выявить первичные тенденции, требующие дальнейшей проверки:

1. **Спектр света влияет на выживаемость и рост:** Искусственное ночное освещение потенциально является стрессовым фактором для жизни личинок ночных насекомых.
2. **Наша гипотеза подтвердилась частично:** Синий свет, вероятно, оказал наибольшее негативное воздействие (погибло 2 гусеницы из 5). В группе гусениц под красным светом не было погибших личинок, но наблюдалось заметное отставание в росте по сравнению с группой, находившейся в темноте в ночное время.
3. **Пищевое поведение зависит от цвета (спектра) освещения:** Наши наблюдения показали, что под светом разного спектра гусеницы демонстрировали разные модели питания (от чрезмерно активного до вялого), что указывает на потенциальное влияние светового загрязнения на важнейшие поведенческие и метаболические процессы (гиперфагия, апатия, неэффективное питание).
4. **Оптимальным условием остается естественная темнота:** Группа в естественной темноте показала наиболее стабильное развитие, что подтверждает важность сохранения тёмных периодов суток для ночных насекомых.

6. Заключение и практическая значимость

Основываясь на выявленных тенденциях и литературных данных о вреде коротковолнового (синего) света для экосистем, можно сформулировать исследовательскую рекомендацию, которую стоит учитывать при планировании освещения в природных зонах.

Для снижения негативного воздействия искусственного освещения на ночных насекомых и городские экосистемы (особенно в парках, зеленых зонах, на природных территориях) необходимо ограничить использование светильников с высокой долей синего излучения (холодных белых и синих светодиодов). В качестве более экологически безопасной альтернативы, на

основании литературных данных, можно рекомендовать источники теплого белого или янтарного света с низкой цветовой температурой (менее 4000К).

Перспективы дальнейшей работы.

Для проверки и уточнения полученных данных необходимо:

1. Повторить эксперимент на расширенной выборке (увеличить количество особей в группах) для получения статистически значимых результатов.
2. Усовершенствовать методику: стандартизировать параметры света (интенсивность, спектр), условия содержания и критерии оценки, ввести в эксперимент балансированный опыт.
3. Проверить гипотезу на местных видах ночных насекомых, чтобы оценить реальное экологическое воздействие.
4. Изучить долгосрочные эффекты – как искусственное освещение разного спектра влияет на последующие стадии развития (окукливание, жизнеспособность взрослых насекомых и их потомства).

Таким образом, наша работа задает направление для дальнейшего, более масштабного исследования, цель которого – разработать научно обоснованные рекомендации для организации экологически безопасного городского освещения.

7. Список использованной литературы

1. Cho, J., Park, J. H., Kim, J. K., & Schubert, E. F. White light-emitting diodes: History, progress, and future // *Laser & Photonics Reviews* – 2017. – Vol. 11(2), 1600147
2. England, S.J., McLellan, C.F., Meah, R.J. et al. The sensory ecology of caterpillars // *J Comp Physiol A*. – 2025. – DOI: 10.1007/s00359-025-01778-x
3. Tran B.Q., Nguyen A.T., Jung S. Different Light Wavelengths Differentially Influence the Progression of the Hypersensitive Response Induced by Pathogen Infection in Tobacco // *Antioxidants (Basel)*. – 2025. – Vol. 14(8). – P. 954
4. Fabian, S.T., Sondhi, Y., Allen, P.E. et al. Why flying insects gather at artificial light // *Nat Commun*. – 2024. – Vol. 15. – P. 689
5. Longcore T., Aldern H.L., Eggers J.F. et al. Tuning the white light spectrum of light emitting diode lamps to reduce attraction of nocturnal arthropods // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. – 2015. – Vol. 370, № 1667. – Art. 20140125. – DOI: 10.1098/rstb.2014.0125
6. Загоринский А. А., Горбунов О. Г., Сидоров А. В. Опыт использования искусственных питательных сред для разведения некоторых видов бражников (Lepidoptera, Sphingidae) // *Зоологический журнал*. – 2013. – Т. 92. – № 7. – С. 825–831

7. Богачева И. А. Широтные тенденции изменения жизненных стратегий у чешуекрылых (Macrolepidoptera) Урала // Виды и сообщества в экстремальных условиях. – 2022. – С. 375–382

8. Приложения

Таблица 4. Динамика средней живой массы гусениц (г) по контейнерам. (Рассчитана как средняя масса всех гусениц в контейнере на конкретную дату)

Контейнер (условия освещения)	17.10	18.10	19.10	20.10	21.10	22.10	23.10
1. Контроль (темнота)	2.32	3.38	5.04	9.82	9.65	8.84	7.53
2. Синий свет	1.08	1.75	3.77	7.62*	9.53*	9.42*	9.13*
3. Смешанный (красный+синий) свет	2.87	1.81	2.96	5.77	6.94**	4.86	6.10***
4. Красный свет	4.60	3.70	7.65	8.29	7.84	7.09	5.65

Примечания к Таблице 4:

* начиная с 20.10 расчёт для контейнера с синим светом ведётся только для 3 выживших особей.

** 21.10 для контейнера со смешанным светом средняя рассчитана по 3 особям (две не измерялись).

*** 23.10 для контейнера с фиолетовым светом средняя рассчитана по 4 живым особям (одна погибла).

Таблица 5. Динамика средней длины тела гусениц (см) по контейнерам. (Рассчитана как средняя длина всех гусениц в контейнере на конкретную дату. Измерения прекращены 22.10 в связи с подготовкой гусениц к окукливанию.)

Контейнер (условия освещения)	17.10	18.10	19.10	20.10	21.10
1. Контроль (темнота)	6.52	6.50	8.30	9.00	8.10
2. Синий свет	4.20	5.30	5.70	8.17*	8.17*
3. Смешанный (красный+синий) свет	4.20	4.90	5.80	6.90	7.33**

Контейнер (условия освещения)	17.10	18.10	19.10	20.10	21.10
4. Красный свет	5.70	6.70	7.90	7.50	7.50

Примечания к Таблице 5:

* начиная с 20.10 расчёт для контейнера с синим светом ведётся только для 3 выживших особей.

** 21.10 для контейнера с фиолетовым светом средняя рассчитана по 3 особям (две не измерялись).

- **Фото 1.** Общий вид экспериментальной установки.



- **Фото 2.** Процесс проведения измерений массы и длины гусениц.

