

Оценка влияния светового загрязнения на видимость звёздного неба в городской среде

Чжоу Валентина Юйляновна

Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема

Студент

Аннотация

Целью исследования является описание методики расчёта и оценка влияния светового загрязнения на видимость звёздного неба в городской среде. В ходе работы использованы поисковые, аналитические и вычислительные методы исследования, позволившие рассчитать относительную яркость ночного неба, предельную звёздную величину и ориентировочное количество звёзд, доступных для визуального наблюдения. В результате показана зависимость между яркостью городского неба и снижением числа видимых звёзд, а также оценён эффект возможного уменьшения засветки за счёт оптимизации наружного освещения.

Ключевые слова: световое загрязнение, звёздное небо, городская среда, предельная звёздная величина, яркость неба.

Assessment of the impact of light pollution on the visibility of the starry sky in an urban environment

Chzhou Valentina Yuylyanovna

Sholom-Aleichem Priamursky State University

Student

Abstract

The purpose of this study is to describe the calculation method and assess the influence of light pollution on the visibility of the starry sky in an urban environment. The work uses exploratory, analytical and computational research methods to estimate relative night-sky brightness, limiting stellar magnitude and the approximate number of stars visible to the naked eye. As a result, the relationship between urban sky brightness and the reduction in the number of visible stars is shown, and the possible effect of outdoor lighting optimization is estimated.

Keywords: light pollution, starry sky, urban environment, limiting magnitude, sky brightness.

1 Введение

1.1 Актуальность исследования

Актуальность исследования обусловлена тем, что световое загрязнение является одним из наиболее заметных факторов изменения ночной городской среды. Искусственное освещение улиц, рекламных конструкций, витрин и

фасадов повышает яркость ночного неба, формируя над городом световой купол. В результате ухудшаются условия для визуальных астрономических наблюдений: слабые звёзды становятся невидимыми, снижается контраст Млечного Пути, а для наблюдения остаются только наиболее яркие объекты.

Для городских территорий проблема имеет не только астрономическое, но и экологическое значение. Избыточное ночное освещение влияет на биологические ритмы человека и животных, увеличивает расход электроэнергии и ухудшает эстетическое восприятие ночной среды. Поэтому количественная оценка влияния засветки на видимость звёздного неба позволяет показать практическую значимость рационального проектирования наружного освещения.

1.2 Обзор исследований

В статье А. В. Халаимовой [1] рассматривается исследование светового загрязнения неба и его влияние на астрономические наблюдения. В работе Б.А. Попова и Н. Б. Хахулиной [2] описывается подход к дистанционному мониторингу светового загрязнения городов. А. В. Бармасов, А. М. Бармасова и Т. Ю. Яковлева [3] анализируют световое загрязнение как физический фактор окружающей среды, влияющий на биосферу и здоровье человека. В исследовании Д. Н. Хаматдиновой [4] световое загрязнение рассматривается в контексте урбанизированной среды. В работе В. А. Ланюгова [5] подчёркивается, что городское освещение может становиться экологической проблемой и требует организационных и технических решений.

1.3 Цель исследования

Целью исследования является описание методики расчёта и оценка влияния светового загрязнения на видимость звёздного неба в городской среде.

2 Материалы и методы

В качестве объекта исследования рассматривается условная городская территория, включающая несколько характерных зон наблюдения: центральную улицу, жилой микрорайон, городской парк, окраину города и контрольную площадку за пределами городской засветки. Расчёт выполняется не как обработка реальных полевых измерений, а как учебная расчётная модель, позволяющая показать влияние уровня засветки на предельную звёздную величину и число видимых звёзд.

В работе применён расчётно-аналитический метод. В качестве исходного параметра используется яркость ночного неба S , выраженная в звёздных величинах на квадратную угловую секунду, $\text{mag}/\text{arcsec}^2$. Чем меньше численное значение S , тем ярче небо и тем сильнее световое загрязнение. За условный уровень тёмного неба принят показатель $S_0 = 22,0 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$.

3 Результаты и обсуждение

Для расчёта приняты исходные данные, представленные в таблице

(табл. 1).

Таблица 1 – Исходные данные для оценки светового загрязнения

Зона наблюдения	Характеристика зоны	Яркость неба $S, \text{mag/arcsec}^2$
Центральная улица	плотная уличная реклама, витрины и транспортное освещение	18,2
Жилой микрорайон	типовая застройка, дворовые светильники и окна жилых домов	18,8
Городской парк	частичное экранирование деревьями, меньше прямых источников света	19,6
Окраина города	меньше фоновых источников и рекламной подсветки	20,6
Контрольная зона за городом	условно тёмная площадка за пределами городской засветки	21,5

Расчёт относительной яркости неба

Для центральной улицы принимаем $S = 18,2 \text{ mag/arcsec}^2$. Тогда относительная яркость ночного неба составит

$$B_{\text{отн}} = 10^{(0,4 \cdot (22,0 - 18,2))}$$

$$B_{\text{отн}} = 10^{1,52} \approx 33,1$$

Следовательно, небо в центральной городской зоне примерно в 33 раза ярче условного тёмного неба. Такое повышение фоновой яркости резко снижает контраст слабых звёзд и делает большую часть звёздного неба недоступной для визуального наблюдения.

Расчёт предельной звёздной величины

Для этой же зоны предельная звёздная величина определяется по формуле

$$m_{\text{пред}} = 6,8 - 1,5 \cdot \log_{10}(33,1)$$

$$m_{\text{пред}} = 6,8 - 1,5 \cdot 1,52 = 4,52$$

Это означает, что в центральной части города невооружённым глазом будут видны преимущественно звёзды ярче примерно 4,5 звёздной величины. Слабые объекты, которые заметны за городом, в такой зоне будут скрыты фоновым свечением неба.

Расчёт количества видимых звёзд

Ориентировочное количество звёзд, видимых над горизонтом в центральной части города, составит

$$N = 0,5 \cdot 10^{0,6 \cdot 4,52 + 0,1}$$

$$N \approx 324 \text{ звезды}$$

Аналогичным образом выполнены расчёты для всех рассматриваемых зон. Итоговые значения представлены в таблице (табл 2).

Таблица 2 – Результаты расчёта видимости звёздного неба

Зона наблюдения	S, mag/arcsec ²	Вотн	m _{пред}	Ориентировочное число видимых звёзд	Оценка по шкале Боргля
Центральная улица	18,2	33,1	4,52	324	8–9
Жилой микрорайон	18,8	19,1	4,88	533	7
Городской парк	19,6	9,1	5,36	1035	6
Окраина города	20,6	3,6	5,96	2371	4–5
Контрольная зона за городом	21,5	1,6	6,50	5000	3

Из таблицы видно, что при переходе от центральной улицы к контрольной зоне за городом яркость неба уменьшается более чем в 20 раз, а предельная звёздная величина возрастает с 4,52 до 6,50. Это означает, что на загородной площадке становится доступным значительно больше слабых звёзд.

Оценка снижения видимости звёзд

Снижение видимости звёзд по сравнению с контрольной зоной рассчитывается по формуле

$$R = \left(\frac{N_{\text{контр}} - N_{\text{зона}}}{N_{\text{контр}}} \right) \cdot 100\%$$

где

$N_{\text{контр}}$ – количество звёзд, видимых на контрольной площадке за городом

$N_{\text{зона}}$ – количество звёзд, видимых в соответствующей городской зоне.

Для центральной улицы получаем

$$R = \left(\frac{5000 - 324}{5000} \right) \cdot 100\% \approx 93,5\%$$

Следовательно, в центральной части города наблюдатель теряет примерно 93,5% звёзд, которые могли бы быть видны на более тёмной площадке.

Таблица 3 – Снижение видимости звёзд относительно контрольной зоны

Зона наблюдения	Количество видимых звёзд	Снижение относительно контрольной зоны, %
Центральная улица	324	93,5

Жилой микрорайон	533	89,3
Городской парк	1035	79,3
Окраина города	2371	52,6
Контрольная зона за городом	5000	0,0

Оценка эффекта снижения светового загрязнения

Для примера оценим возможный эффект от модернизации наружного освещения в жилом микрорайоне. Предположим, что суммарный световой поток источников, влияющих на засветку неба, составляет $\Phi_0 = 150\,000$ лм. Установка экранированных светильников снижает бесполезный поток вверх и в стороны на 35%, а ночное диммирование после 23:00 дополнительно уменьшает поток на 30%. Тогда эффективный световой поток составит

$$\Phi_{\text{эфф}} = \Phi_0 \cdot (1 - k_{\text{экр}}) \cdot (1 - k_{\text{дим}})$$

$$\Phi_{\text{эфф}} = 150000 \cdot (1 - 0,35) \cdot (1 - 0,30) = 68250 \text{ лм}$$

Снижение светового потока, формирующего засветку, составляет примерно 54.5%. Если принять, что яркость неба в первом приближении пропорциональна световому потоку, то для жилого микрорайона получим

$$B_{\text{нов}} = 19,05 \cdot 0,455 = 8,67$$

$$S_{\text{нов}} = 22,0 - 2,5 \cdot \log_{10}(8,67) \approx 19,65 \text{ mag/arcsec}^2$$

$$m_{\text{нов}} = 6,8 - 1,5 \cdot \log_{10}(8,67) \approx 5,39$$

$$N_{\text{нов}} \approx 1083 \text{ звезды}$$

До модернизации для жилого микрорайона расчётное число видимых звёзд составляло около 533. После снижения избыточного светового потока оно может увеличиться до 1083, то есть примерно в два раза. Данный расчёт показывает, что даже частичное улучшение светотехнической схемы способно заметно повысить качество ночной среды.

4 Выводы

В ходе исследования рассмотрена методика оценки влияния светового загрязнения на видимость звёздного неба в городской среде. На основании принятых исходных данных рассчитаны относительная яркость ночного неба, предельная звёздная величина и ориентировочное количество звёзд, доступных для визуального наблюдения в разных городских зонах.

Расчёт показал, что в центральной части города небо может быть примерно в 33 раза ярче условного тёмного неба. В результате предельная звёздная величина снижается до 4,52, а число видимых звёзд над горизонтом составляет около 324. Для контрольной зоны за городом расчётная предельная звёздная величина составила 6,50, а количество видимых звёзд – около 5000.

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения предложенной методики для предварительной оценки качества ночной городской среды. Расчёт также показывает, что экранирование

светильников, ограничение лишней фасадной и рекламной подсветки, направленное освещение и ночное диммирование могут заметно снизить световое загрязнение и улучшить видимость звёздного неба.

Библиографический список

1. Халаимова А. В. Исследование светового загрязнения неба на территории Республики Крым // Научные исследования, разработки и практические внедрения: материалы VII Международной научно-практической конференции: в 2 ч., Ставрополь, 31 января 2022 года. Том Часть 1. Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью "Ставропольское издательство "Параграф", 2022. С. 346-349. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48057149> (Дата обращения 17.05.2026).
2. Попов Б. А. Хахулина Н. Б. Драпалюк Н. А. О методике дистанционного мониторинга светового загрязнения городов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2021. №. 2(17). С. 66-75. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45843501> (Дата обращения 17.05.2026).
3. Бармасов А. В. Бармасова А. М. Яковлева Т. Ю. Биосфера и физические факторы. Световое загрязнение окружающей среды // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2014. №. 33. С. 84-101. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21483048> (Дата обращения 17.05.2026).
4. Хаматдинова Д. Н. Световое загрязнение в урбанизированной среде // Инновационные научные исследования: теория, методология, тенденции развития: Сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции, Уфа, 18 июня 2021 года. Уфа, Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2021. С. 164-168. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46567370> (Дата обращения 17.05.2026).
5. Ланюгов В. А. Экологические проблемы городов из-за светового загрязнения и их решения // Достижения и перспективы научных исследований молодежи: материалы XIX студенческой научно-практической конференции, Кумертау, 12–13 апреля 2021 года. Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2021. С. 263-266. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48662593> (Дата обращения 17.05.2026).