

Оценка яркости фонового свечения ночного неба на примере Санкт-Петербурга

С.В. КОЛГУШКИНА, В.Т. ПРОКОПЕНКО, С.В. РОСЛЯКОВА

Университет ИТМО, Санкт-Петербург
E-mail: svkolgushkina@corp.ifmo.ru

Аннотация

С каждым годом в черте крупных городов возрастает составляющая фонового свечения неба. Основные причины: расширение границ городов, стремительный рост технических возможностей, нерациональное проектирование осветительных установок и отсутствие контроля качества проектов освещения. Данные астрономических наблюдений подтверждают значительный рост яркости нижних слоёв атмосферы, обусловленный факторами земного происхождения. Наиболее острый характер проблема приобретает для обсерваторий, расположенных вблизи крупных городов, которые осуществляют борьбу за возможность дальнейшего проведения исследований. Оценка яркости фонового свечения ночного неба является на данный момент актуальным направлением для исследований. В работе рассматривается модель расчёта яркости неба для г. Санкт-Петербурга, рассматривается позиция наблюдения со стороны Пулковской обсерватории. Модель разработана на языке программирования *Python* на основе метода Гарстанга.

Ключевые слова: свечение неба, яркость неба, фоновая яркость

Введение

Увеличение яркости фонового свечения ночного неба происходит вследствие диффузного рассеяния искусственного света на содержащихся в атмосфере загрязняющих веществах, парах воды и пыли. Впервые оценку яркости нижних слоёв атмосферы провели сотрудники департамента астрономии университета города Падуа, Италия. Будучи обеспокоенными темпами прироста свечения, П. Чинзано, Ф. Фальчи и С. Эльвидже составили первый атлас по данным, полученным с помощью предназначенного для метеорологических исследований спутника [1].

Помимо экспериментальных астрономических исследований, для оценки фоновой составляющей свечения неба используются возможности моделирования соответствующих условий. Наиболее упрощённая модель оценки яркости неба – модель Уокера [2], учитывающая численность населения и удалённость наблюдателя от города.

Более сложная модель, принимающая во внимание аппроксимацию для малых углов с учётом механизмов рассеяния частиц, была предложена Бертау и Тринором [3]. Допущения, принятые в модели – однородность состава атмосферы, направленность рассеяния частиц аэрозоля в видимой части спектра.

Модель Тринора была доработана Гарстангом [4] с учётом неоднородности атмосферы. В доработанной методике был учтён экспоненциальный характер зависимости плотности молекул и частиц аэрозоля от высоты. Модель Гарстанга отзывчиво показала себя на примере большого числа американских обсерваторий, таких как Маунт Уилсон, Ликская обсерватория, Паломарская обсерватория, Китт-Пик, Сакраменто-Пик, Мауна-Кеа, МакДоналд [5], и по-прежнему активно используется для проведения исследований [6,7,8].

Цель работы заключалась в исследовании фоновой составляющей свечения неба с помощью модели Гарстанга, адаптированной для города Санкт-Петербурга с учётом численности населения 18 районов города по данным Петростата и с учётом данных по количеству осветительных приборов ГУП «Ленсвет».

Методика исследования

Модель была разработана с помощью языка программирования *Python* 3 с подключаемыми библиотеками *numpy*, *sympy*, *sympy.plotting* в среде разработки *Jupiter Notebook*. *NumPy* – библиотека высокоуровневых математических функций с возможностью

поддержки больших многомерных массивов. *SymPy* – активно развивающаяся библиотека для символьных вычислений.

Рассматривалась точка наблюдения со стороны старейшей обсерватории страны – ГАО РАН, расположенной на Пулковских высотах. Расстояние от каждого из районов города до точки наблюдения не превышает 50 км, и в связи с этим в работе не учитывается кривизна поверхности Земли.

Был учтён вклад естественного свечения ясного неба в случае отсутствия искусственной засветки при минимальной солнечной активности, который при переходе к системе световых величин составляет $0,00017$ кд/м².

В модели было учтено Релеевское рассеяние молекул атмосферы с поперечным сечением $\sigma_R = 4,6 \times 10^{-27}$ см² на длине волны 550 нм, многократное рассеяние молекул и частиц аэрозоля, поглощение в нижних слоях атмосферы для вертикального распространения частиц в соответствии с законом Ламберта-Бера.

Модель предполагает следующие допущения:

- молекулы, входящие в состав атмосферы, находятся в гидростатическом равновесии
- плотность аэрозоля является экспоненциальной функцией
- атмосфера однородна по горизонтали

Распределение интенсивности излучения в верхнюю полусферу оценивалось по формуле [11]:

$$I_{up} = \frac{LP}{2\pi} \cdot \{2G(1-F) \cdot \cos\psi + 0,554 \cdot F\psi\}, \quad (1)$$

где G – альbedo поверхности, F – доля светового потока, излучаемого светильниками в верхнюю полусферу, P – численность населения, L – световой поток на душу населения.

Основное уравнение модели для яркости неба [9]:

$$b = \pi \cdot I_{up}(\psi) \cdot S^{-2} \cdot \int du \cdot e^{-\tau(s)} \cdot (1 + SAA) \cdot e^{-\tau(u)} \quad (2)$$

На основе статистических данных ГУП «Ленсвет» и данных по численности населения Петростата [10] было получено значение среднего свето-

вого потока на душу населения 670 лм. Для каждого района был получен общий средний световой поток с учётом численности населения. Значение альbedo поверхности земли было принято равным 0,15, доля светового потока, излучаемого светильниками в верхнюю полусферу 0,13. На основе модели Гарстанга была произведена оценка яркости для ясного неба с учётом естественного свечения 0,00017 кд/м².

Для каждого из районов была произведена оценка интенсивности излучения в верхнюю полусферу при различных значениях зенитного угла, $z = 0^\circ$ и $z = 45^\circ$

Усреднённое значение яркости с учётом 18 районов составило: при наблюдении в направлении 45° в сторону города – 0,17 кд/м², при наблюдении в направлении 0° в сторону города – 0,21 кд/м², что хорошо согласуется с данными наземных экспериментов, предоставленными ГАО РАН для ясного неба в безлунную ночь с низкой солнечной активностью при переходе от астрофизических величин к световым.

Заключение

По данным ГАО РАН яркости объектов исследования при переходе к световой системе величин варьируются в пределах от 0,017 до 43000 кд/м². При этом, яркость 1700 объектов наблюдения относительно невысока и составляет от 0,0017 до 1,7 кд/м². Таким образом, 15% объектов находится в потенциальной опасности с точки зрения возможности проведения измерений. Среди объектов в зоне риска – спутники Урана, астероиды, параллаксы, звёзды с подозреваемым невидимым компонентом.

Дальнейший интерес представляет:

- доработка модели и программного кода с учётом прогнозирования влияния нового строительства вблизи обсерватории;
- доработка модели и программного кода с учётом влияния различных погодных условий;
- более детальный учёт изменений естественного свечения неба в течение года;
- учёт спектрального состава излучения;
- сопоставление результатов, полученных путём моделирования с экспериментальными данными;

Рис. 1. Схематическое изображение распространения света со стороны города к наблюдателю. Излучение от элемента $dx dy$ в т. С с координатами (x, y) достигает наблюдателя в т. О. [4]

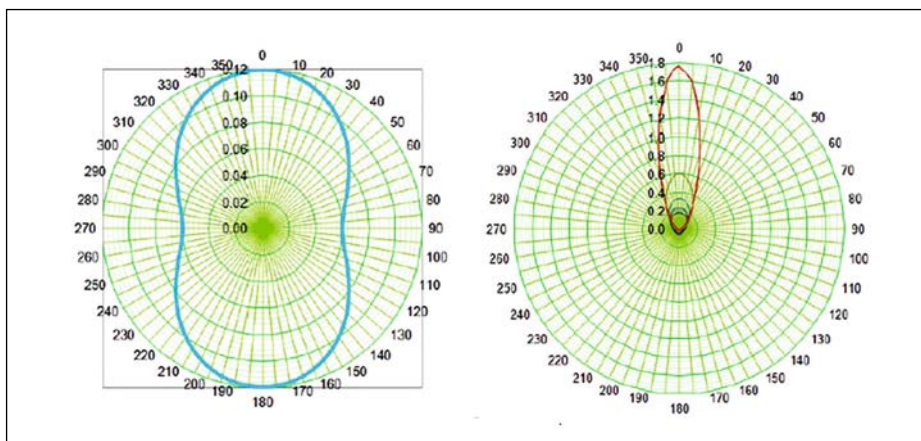
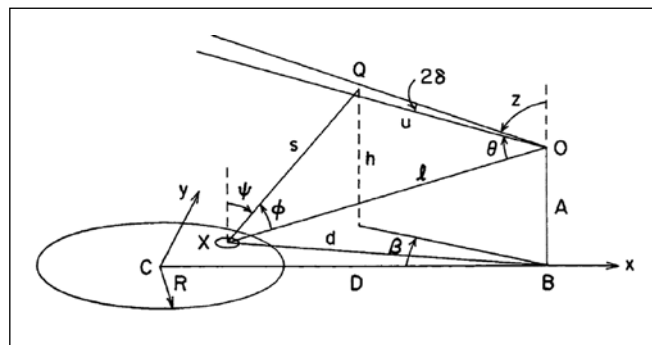


Рис. 2. Индикатрисы рассеяния молекулярных компонентов атмосферы (слева) и частиц аэрозоля (справа)

- исследование возможностей уменьшения яркости неба путём внедрения систем управления.

Дискуссия

Вопрос снижения фоновой составляющей свечения неба и оценка степени её влияния как на жизнь человека, так и на точность астрономических наблюдений является актуальным, но в России на данный момент недостаточно изучен. Расширение границ городов и отсутствие требований, регулирующих долю светового потока в верхнюю полусферу и режим работы осветительных установок, порождает прогрессирование проблемы.

В настоящее время экологические запреты, влияющие на снижение яркости неба, существуют в пяти странах мира. В ряде стран разработаны рекомендации по проектированию освещения, направленные на рационализацию решений. С точки зрения проектирования освещения для снижения динамики прироста свечения неба требуется учёт закономерностей распространения света в нижних слоях атмосферы и характера рассеяния на различных частицах, входящих в её состав, а также

внедрение систем управления наружным освещением для снижения уровня яркости освещаемых поверхностей в ночные часы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. P. Cinzano, F. Falchi and C.D. Elvidge. The first World Atlas of the artificial night sky brightness. Publ. Mon. Not. R. Astron. Soc. 2001, 328, 689–707.
2. Walker, M.F. The Effects of Urban Lighting on the Brightness of the Night Sky. Publ. Astron. Soc. Pacific 1977, 89, 405–409.
3. Bertiau, F. C., de Graeve, E. Treanor, P.J. The Artificial Night-Sky Illumination in Italy. Vatican Observatory Publ. 1973, 1, 159–179.
4. Garstang, R.H. Model for Artificial Night-Sky Illumination. Publication of the Astronomical Society of the Pacific 1986, 98, 364–375.
5. Garstang, R.H. Night-Sky Brightness at Observatories and Sites. Publ. Astron. Soc. Pacific 1989, 101 306–329.
6. Luginbuhl, C. B., et al. From The Ground Up I: Light Pollution Sources in Flagstaff, Arizona. Publ. Astron. Soc. Pacific 2009, 121, 185–203.
7. Luginbuhl, C. B., et al. From the Ground Up II: Sky Glow and Near-Ground Artificial Light Propagation in Flagstaff, Ar-

izona. Publ. Astron. Soc. Pacific 2009, 121, 204–212.

8. Duriscoe, D.M.; Luginbuhl, C. B.; Elvidge, C.D. The relation of outdoor lighting characteristics to sky glow from distant cities. Publ. Lighting Res. Technol. 2014; Vol 46: 35–49

9. Shirkey, R.C. Sky Glow from Cities: The Army Illumination Model v2 Army research laboratory 2011, 36

10. Численность населения Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] // Петро-стат. – Режим доступа: http://petrostat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/petrostat/resources/8edf748043800e918160d3dd898fc419/Численность+населения+Санкт.pdf (дата обращения 09.11.2015).



Колгушкина Светлана Владимировна Магистр техники и технологии по направлению «Электроника и нанoeлектроника» по программе «Теоретическая и прикладная светотехника». Окончила НИУ «МЭИ» в 2012 г. Обучается в аспирантуре Университета ИТМО (Санкт-Петербург, Россия).

svkolgushkina@corp.ifmo.ru



Прокопенко Виктор Трофимович Заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., проф. кафедры Световых технологий и оптоэлектроники, Университет ИТМО. Окончил государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина) в 1963 году по специальности «Диэлектрики и полупроводники»

электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина) в 1963 году по специальности «Диэлектрики и полупроводники»



Рослякова Светлана Витальевна Магистр техники и технологии по направлению «Электроника и нанoeлектроника» по программе «Теоретическая и прикладная светотехника».

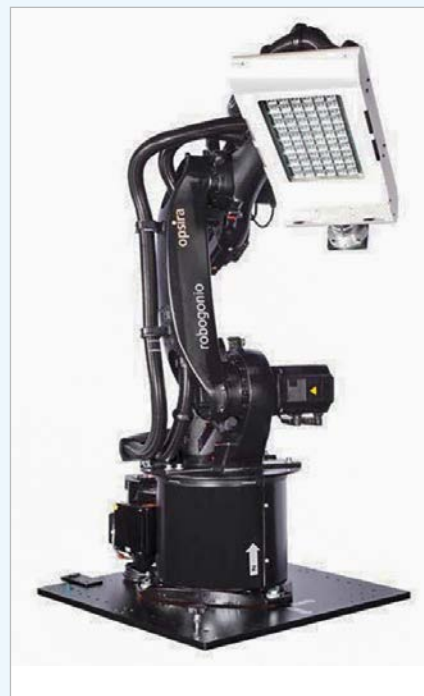
Окончила НИУ «МЭИ» в 2012 г. Обучается в аспирантуре Университета ИТМО (Санкт-Петербург, Россия). Области научных интересов: световая среда города и влияние света на биоритмы человека

Первая роботизированная фотометрическая установка *Robogonio*

Первая в мире роботизированная фотометрическая установка *Robogonio* компании *Opsira* позволяет фотометрировать светильники с различными источниками света линейной, квадратной формы.

Robogonio компании *Opsira* создан совместно с компанией *KUKA*, являющейся одним из ведущих поставщиков робототехники в мире.

Конструкция *Robogonio* позволяет объединить в одном приборе сразу несколько типов гониметров (*DIN5032–1*, *DIN EN13032–1*, *CIE121*). Так, в дальнем поле *Robogonio* измеряет распределение интенсивности света и напрямую генерирует данные в форматах *EULUMDAT* и *IES*.



Реализация энергосервисного контракта в Тюмени, ХМАО и ЯНАО

ООО «БЛ ТРЕЙД» и АО «ТЭК» завершили проект по модернизации систем освещения на объектах АО «Тюменьэнерго» в рамках исполнения энергосервисного контракта.

Тюменская энергосбытовая компания выполнила комплекс работ по демонтажу и монтажу осветительных приборов на 27 производственных объектах филиалов АО «Тюменьэнерго» и заменила 6138 светильников на современные энергосберегающие светильники со светодиодами.

В рамках договора энергетики также произвели замеры активной мощности систем освещения до и после монтажа. Они показали, что вновь установленные светильники со светодиодами российского производства торговой марки «*GALAD*» обладают улучшенными световыми качествами, но при этом потребляют меньше мощности в отличие от старых светильников. Срок служ-



бы светодиодных ламп, которыми были оснащены объекты АО «Тюменьэнерго», составляет порядка 10 лет. В сумме эти мероприятия позволят производственным подразделениям заказчика снизить затраты на электроснабжение и содержание систем освещения. В частности, энергоэффективные мероприятия затронули филиалы АО «Тюменьэнерго»: Ноябрьские, Северные, Нижневартовские, Нефтеюганские электрические сети и Тюменские распределительные сети.

bl-g.ru
24.07.2017