

СЕМКІВ ЮРІЙ МИРОСЛАВОВИЧ,

КАСАРКЕВИЧ ВАЛЕРІЙ СТАНІСЛАВОВИЧ

Математичні моделі світлового забруднення атмосфери

ТЕРНОПІЛЬ 2019р.

УДК 520.16

С-30

С-30 СЕМКІВ ЮРІЙ МИРОСЛАВОВИЧ, КАСАРКЕВИЧ ВАЛЕРІЙ СТАНІСЛАВОВИЧ
 Математичні моделі світлового забруднення атмосфери – Тернопіль
 2019, -62 стр.

УДК 520.16

С-30

© СЕМКІВ ЮРІЙ МИРОСЛАВОВИЧ,
 КАСАРКЕВИЧ ВАЛЕРІЙ СТАНІСЛАВОВИЧ

This work is carried out within the framework of cooperation between the astronomical observatory of the Ivan Franko National University of Lviv and the Ivan Polya Ternopil State Technical University on the study of light atmospheric pollution. In our works, published in the magazine "Light" [1,2], the authors drew attention to the urgency of the problem of light pollution of the atmosphere.

Formulation of scientific problem and its significance.

The phenomenon of light pollution occurs as a result of artificial light directed upwards. Light pollution - illumination of the night sky artificial sources of light, whose light dissipates in the lower atmosphere. Sometimes this phenomenon is also called light smog. The main sources of light pollution are large cities and industrial complexes. Among the ground observatories is the darkest sky at the Mauna Kea Observatory in the Hawaiian Islands. The observatory is located at an altitude of 4700 m. There, the brightness of the sky is 23m / sq. Second (5.8×10^{-5} cd / m²). At most observatories, the brightness of the sky is 22.5m / sq. seconds (10^{-4} cd / m²) is considered superb.

Artificial lighting should not increase the background brightness which is measured at a height of 450 by more than 10% ($107 / 4\pi$ photon Nm⁻¹ cm⁻² s⁻¹) or 174 μ cd / m² One of the consequences of excessive use of artificial light is the loss of energy. "International Dark Sky Association" claims to be on the night light More than USD 1.5 billion is spent annually around the world, and more than 12 million tons of carbon dioxide (CO₂) is produced, leading to greenhouse gases. Light pollution is not just an astronomical or environmental problem, but also an acute issue of energy efficiency. The economic costs of illuminating the upper hemisphere of the space are billions of euro annually. According to research from Philips, only replacing outdated designs of light-emitting diodes and light sources can reduce CO₂ emissions by 3.5 million tonnes annually.

The purpose of the work is to simulate light pollution, taking into account meteorological conditions and the structure of light sources of cities, analysis of the application of existing units of measurement of brightness

Розвиток людства, як біологічного виду багато в чому залежить від стану його навколишнього середовища. Увага екологів традиційно притягнута до глобальних питань стану атмосфери, гідросфери і рослинного покриву нашої планети, тобто до макросередовища. Разом з тим стан здоров'я людини в першу чергу піддається впливу мікросередовища. Саме тут значну роль відіграють різні поля, механізм дії яких, як правило, недостатньо вивчений. До числа таких полів можна віднести електромагнітне, радіаційне, гравітаційне і світлове. Про результати впливу трьох перших можна судити по експериментальним даним, що свідчать про те, що будь-які відхилення від природної норми згубно впливають на живі організми. Яка ситуація в четвертому випадку?

З фізичної точки зору поняття "світлове поле" не існує. Світло являє собою електромагнітні хвилі в діапазоні довжин хвиль 0,4 - 0,8 мкм, тобто є одним із проявів електромагнітного поля. Разом з тим, на відміну від інших електромагнітних хвиль, світло має принципово інший шлях впливу на людський організм. Як відомо, більш 90% інформації людина одержує за допомогою зору, а воно у свою чергу забезпечується саме впливом на око оптичного випромінювання. Це дозволило виділити в теоретичній світлотехніці поняття "світлового поля", що розглядає весь навколишній світ людини з погляду прийнятих оком світлових хвиль. Крім своєї інформаційної значимості, це поле має могутній вплив на загальний стан людини, що і дозволяє розглядати його як самостійний компонент екологічного середовища. Незважаючи на це, його вплив явно недооцінювався, а іноді і взагалі ігнорувалася

При появи людини як біологічного виду єдиним джерелом світла на Землі було Сонце. Сонячні промені або досягають земної поверхні прямо, або попередньо розсіювались в хмарній атмосфері. Цим визначаються два характерних спектри природного випромінювання: теплий "сонячний" і прохолодний "денний". Такий природний світловий клімат нашої планети до якого пристосовані біоритми людського організму.

Оптичне випромінювання характеризується загальною інтенсивністю, а також розподілами по спектрі, за часом й у просторі. Природне випромінювання відносно рівномірно розподіляється в просторі, а його інтенсивність плавно змінюється від сходу до заходу сонця. Історія створення штучного освітлення показує, що в першу чергу увага приділялася інтенсивності (*світловому потоку*) джерел світла, а інші характеристики не приймалися до уваги. Першим штучним джерелом світла стало *відкрите полум'я*, для одержання якого використовувалися багаття, пізніше - свічі і масляні світильники. Перехід до більш кращих конструкцій пальників забезпечував велику яскравість полум'я, що досягла свого максимуму в газових лампах з так названим ковпачком Люшера - шматочком вогнестійкої тканини, що розжарювалась в полум'ї і давала яскраве біле світло.

Нічне освітлення стало майже невід'ємною частиною сучасного життя. Нічне освітлення викликає ряд хворіб, включаючи рак- постійне яскраве світло пригнічує синтез мелатоніну, гормону, який перешкоджає утворенню і розвитку злоякісних пухлин. У темряві епофіз (шишковидна заліза) синтезує гормон мелатонін. Вплив світла в нічні години - пригнічує активність ферментів, які допомагають перетворити гормон бадьорості серотонін в гормон сну - мелатоніну. Чим інтенсивніше нічне світло, тим більше він пригнічує синтез мелатоніну, причому синє освітлення діє сильніше, ніж звичайне. Жінки більш чутливі до дії нічного освітлення, ніж чоловіки. Світлове забруднення викликає у них передчасне старіння репродуктивної системи і збільшує ризик розвитку раку молочної залози і товстої кишки. Але і чоловіки не можуть почувати себе в безпеці. Нічні робітники і льотчики частіше хворіють злоякісними пухлинами товстої або прямої кишки. Крім того, безладний світловий режим викликає порушення сну, шлунково-кишкові та серцево-судинні захворювання, порушення обміну речовин і, можливо, збільшує частоту розвитку діабету. У нормі вночі концентрація

мелатоніну в нашому організмі максимальна, а вдень - мінімальна. У онкологічних хворих добовий ритм мелатоніну порушений, а концентрація його нижче норми.

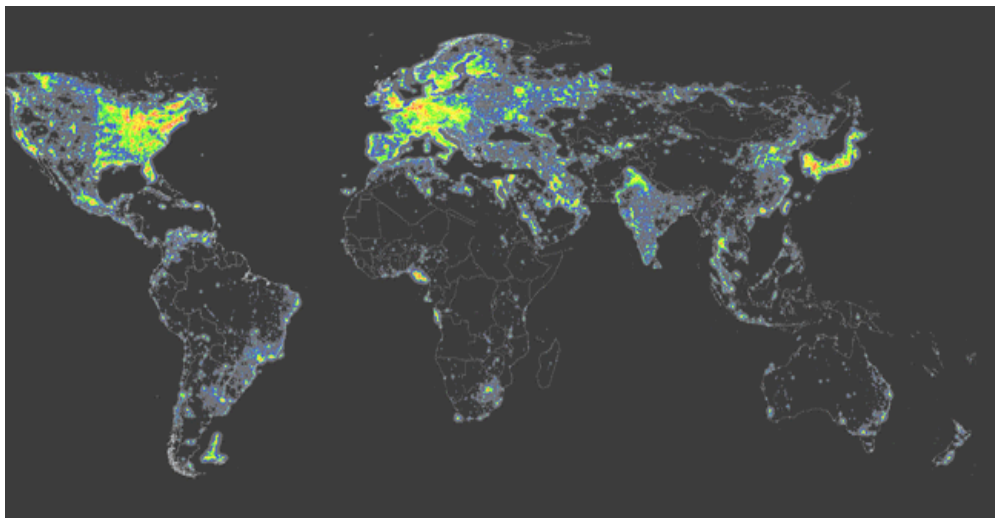


Фото1. Освітленість Землі.

Перший у світі атлас штучної засвітки неба (повна назва - "Всесвітній атлас штучної яскравості нічного неба в zenіті на рівні моря") був складений італійськими й американськими вченими на основі супутникових даних. Зіставивши отриману інформацію з даними про щільність населення, зуміли розбити всіх жителів планети на групи в залежності від штучної засвітки неба в місці їх проживання. Виявилось, що 2/3 населення Землі, 99% населення США і Європейського Союзу живе в районах з помітним світловим забрудненням. Більш того, п'ята частина населення планети, більш 2/3 і половини жителів США і ЄС відповідно, а також ледве більш 40% населення нашої країни позбавлені можливості бачити Молочний Шлях неозброєним оком в місці свого проживання. І нарешті, десята частина жителів Землі і 1/7 жителів Європи позбавлені можливості бачити небо, що хоч скільки-небудь нагадує нічне. Дані, необхідні для складання цього атласу, були зібрані за допомогою супутникової системи, що збирає випромінювання в широкому діапазоні від 440 до 940 нанометрів і особливо чутливої до променів 500-650 нм. Саме в цьому діапазоні випромінюють головні "винуватці" засвітки неба: могутні ртутні (545 і 575 нм) і натрієві лампи (540-630 нм).

Отже, вся територія Землі розбита на наступні зони: чорну (<0,01), темно-сіру (0,01-0,11), синю (0,11-0,33), зелену (0,33-1), жовту (1-3), жовтогарячу (3-9), червону (9-27) і білу (>27). Зазначені в дужках величини показують в скільки разів штучна яскравість неба перевершує природну. З погляду ергономіки світла, інтенсивність випромінювання джерела є хоча і важливим, але далеко не єдиним критерієм оцінки його якості. Визнання цього факту наступило далеко не одночасно з початком повсюдного використання штучного освітлення. Вперше електричні лампи з'явилися в другій половині XIX століття. Вони вдосконалювалися лише в напрямку збільшення їхньої світлової віддачі, тобто кількості світла, виробленого на 1 Вт електричної потужності. Цікаво відзначити, що спочатку електричне світло було визнано неефективним, тому що перші зразки ламп накалювання істотно уступали по яскравості загальноприйнятим у той час газовому і газовому ліхтарям. Факт глобального потепління нині мало в кого викликає сумнів. Значно менш відомо навіть у найбільш екологічно стурбованих колах про глобальне затемнення — явище теж дуже нехороше. Якщо дані вчених із різних континентів остаточно підтвердяться, то виявиться, що людство чекає ще одна проблема — дефіцит сонячного світла. За останні роки кількість сонячного світла, що досягає

поверхні Землі, скоротилася на 20%. Вчені США встановили, що з кінця 50-х до початку 90-х років минулого століття кількість сонячного світла, що досягає земної поверхні, зменшилася на 10%. У деяких регіонах, таких, як Азія, Сполучені Штати та Європа, світла стало ще менше. У Гонконгу стало темніше на 37%! Втрату світла над територією колишнього СРСР оцінили в 20%.

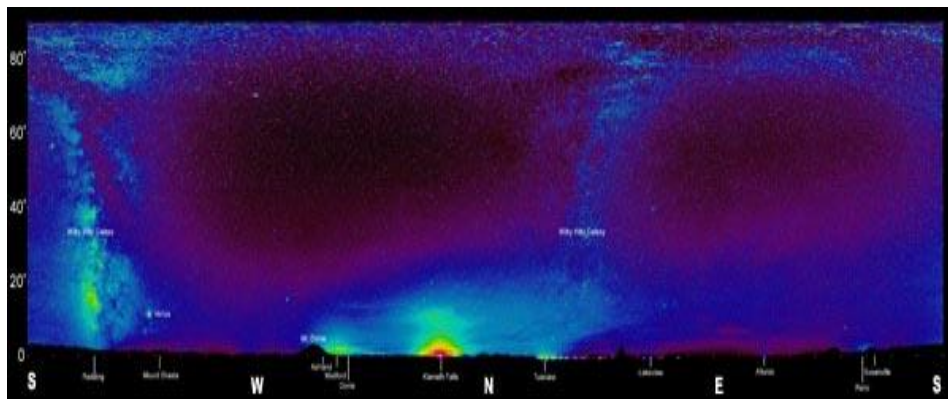


Рис.1. Панорама засвітки нічного неба . Суммарна подсвітка нічного неба від трьох міст значно перевищує яскравість Молочного шляху. (Ілюстрація: National Park Service, US Department of the Interior <http://www.vokrugsveta.ru/telegraph/theory/508/>)

Причина — діяльність людини з перетворення навколишнього світу. У деталях учені, втім, розходяться. Так, на думку директора Годдардського інституту космічних досліджень при НАСА Джеймса Хенсена, ученим давно відомо, що частки речовин, які забруднюють атмосферу, певною мірою відбивають сонячне світло, не пускаючи його на Землю. Проте тільки тепер стають відомі істинні масштаби тривожного явища. Дані спостережень на ста метеостанціях, розташованих по всьому світу, показують, що кількість сажі в атмосфері вдвічі більша, ніж передбачалося раніше.

В період із 1958 по 1992 рік рівень сонячного освітлення планети знижувався щорічно і повсюдно, хоча й у різному ступені — від 0,23% до 0,32% щороку. Через рік в Австралії група вчених під керівництвом Грема Фаркуара, заінтригована заявами Стенхілла і Коена, підтвердила висновки колег, спростувавши докази опонентів про неправильні методики виміру сонячного світла. Заодно висунули версію відповіді на одну із загадок кліматології. Суть загадки: оскільки Земля нагрівається, випаровування води зі Світового океану мало б зростати — однак цього не відбувається. Навпаки, численні експерименти показують, що за останні роки рівень випаровування знижується! Розгадку в ефекті глобального затемнення — що менше сонячного світла потрапляє на поверхню води, то менше вона випаровується!.

Помічено, що вже тепер вирощувати овочі у теплицях Північної півкулі дедалі важче через дефіцит світла. Зате ліси й тварини стали потихеньку рухатися на північ. У Канаді тайгові ліси просунулися на північ більш ніж на 100 км, у Росії спостерігається відродження порушених хвойних лісів. Песимісти передвіщають проблеми прибічникам розвитку сонячної енергетики — знову ж у зв'язку з дефіцитом сонячного світла. Збільшаться й витрати на освітлення міст і сіл. А з ними зросте і світлове забруднення. Виходить замкнутий цикл: для додаткового освітлення спалюються додаткові енергоресурси, додаткові мільйони тонн

забруднюючої речовини потрапляють в атмосферу, атмосфера пропускає ще менше світла, стає ще темніше...

Так, за період із 1975 року вулканічна активність зросла на 500%, із 1973-го землетрусів стало більше на 400%, за 30-річний період (1963—1993) усіляких стихійних лих стало більше на 410%! Все це пояснюється реакцією Землі на зміну космічних умов.

Сонячна система переміщається тепер в іншу частину галактики — у напрямку до сузір'я Геркулеса. Десь із середини 1950-х років і донині ми перетинаємо магнітосмуговий галактичний струмінь і наштовхуємося на скупчення речовини (іонів водню, гелію, гідроксилів, кисню тощо). Потoki намагніченої плазми почали надходити всередину Сонячної системи. Зростає кількість речовини в просторі між планетами. Земля почала швидше реагувати на Сонце — хмара речовини плазми іноді досягає орбіти Землі не за 1,5—2 доби, а менш ніж за 10 годин! Причина в тому, що Сонячна система в даний час занурилася у водневий «пухир». Що підтверджують і дослідники НАСА, котрі оприлюднили ці дані через Інтернет у червні 1999-го. Зростання вмісту водню в міжпланетному просторі й у всій Сонячній системі означає, що різко зросла швидкість обміну речовиною й енергією планет і Сонця одне з одним. Постійне внесення в атмосферу Землі додаткової енергії та речовини викликає всі ті зміни, які ми спостерігаємо навколо. У тому числі й глобальне затемнення.

Мінімум енергії, необхідний для підтримки життєдіяльності людини (в первісному і сучасному світі), дорівнює 12,6 МДж на день або $4,18 \cdot 10^3$ МДж на рік, що еквівалентно енергії, яка виділяється при спалюванні 125 кг нафти. У зв'язку з підвищенням вимог людей до комфорту на початку XX століття споживання енергії перевищило біологічно необхідний рівень у 5,5 рази, у 1980 р. — в 13,3 рази, а на початку XXI століття — в 23-25 разів.

Темпи приросту використання геоенергетичних ресурсів складають 3-4% на рік. Приріст у 4% означає збільшення їх кількості за 30 років утричі, а за 100 років — в 50 разів, тобто приріст використання енергоресурсів випереджує приріст числа землян. На початку XXI сторіччя на Землі щорічно споживається понад 14 млрд. тон умовного палива (т у.п.) енергії. За прогнозом Всесвітньої Енергетичної Ради і Міжнародного інституту прикладного системного аналізу (WEC/IIASA) у 2020 р. глобальне енергоспоживання людства складе 19,4 млрд. т у.п. У глобальному масштабі електроенергія, що йде на освітлення, розподіляється приблизно в такий спосіб: 28% - житловий сектор, 48% - сектор обслуговування, 16% - промисловий сектор, 8% - вуличний та інші види освітлення.

В індустріальних країнах витрати електроенергії, що йде на освітлення, коливаються в діапазоні від 5 до 15%, у той час, як у країнах, що розвиваються, цей показник доходить до 85%.

На освітлення, по даним ряду країн, йде від 5 до 15% споживаної електроенергії, а на зовнішнє освітлення — лише 0,2–1,5%. Тому проблема економії енергії в цьому випадку гостро не коштує В Україні споживається близько 180 млрд. кВт·год. електроенергії. Якщо прийняти, що частка споживаної електроенергії на освітлення в Україні складає 15%, то річне споживання складе 27 млрд. кВт·год. Світлоспоживання в 2005 году в США становить 101 Млм*год на одну людину в рік.

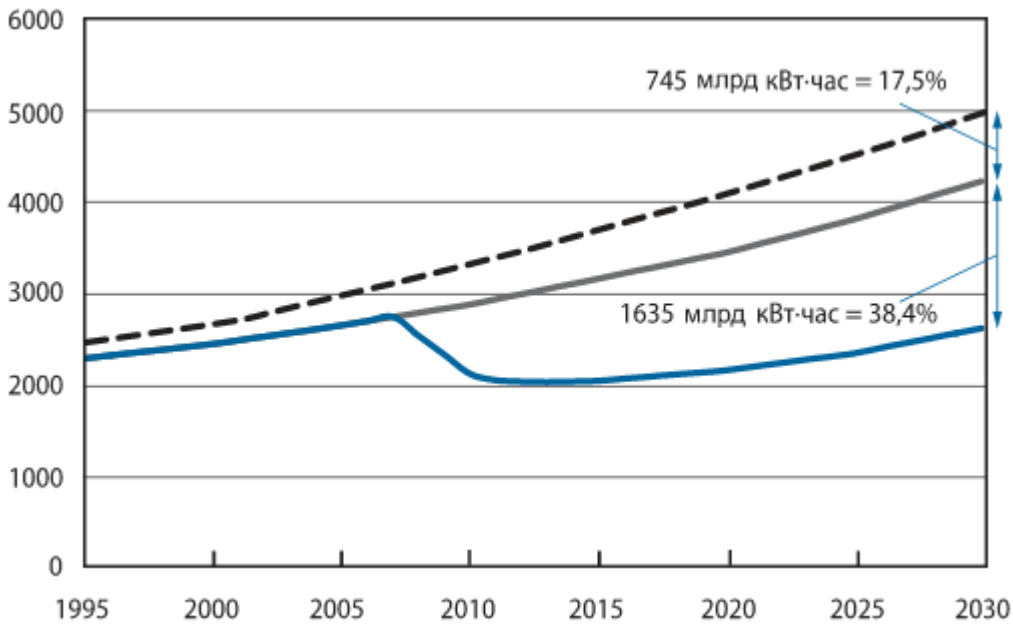


Рис.2. Світове споживання електроенергії для освітлення.

Прогноз (World Energy Outlook) МЭА за 2004 рік (OECD/IEA, 2004).

У найближче десятиліття зростання попиту на 90% буде покриватися за рахунок використання палива. Слід зазначити, що питоме енергоспоживання на одиницю виробленої продукції в країнах Східної Європи, у тому числі й в Україні, у 15 разів вище, ніж у Японії, у 10 разів вище, ніж у Франції, у 5-6 разів вище, ніж у США. На 1 долар США продукції в Японії витрачається 0,13, у Франції – 0,19, у Південній Кореї – 0,31, США – 0,35 кг, а в країнах Східної Європи – 1,9-2,2 кг нафтового еквіваленту. Це свідчить про значні можливості нашої країни щодо енергозбереження.

Сумарне споживання електроенергії в електричних освітлювальних установках складає 1066 ТВт-год (2016 ТВт- год –світове споживання електроенергії). В розвинених країнах на освітлення використовується від 5 до 15 % всієї електроенергії (з них на на транспорт та зовнішнє освітлення –48%, на житлове-28%). [3] Освітлена площа вулиць та тротуарів в розрахунку на 100 тис. населення міста становить приблизно 800 тис. м². Встановлення потужність вуличного освітлення в перерахунку на одного жителя становить 13 - 20 Вт.

Світлове забруднення створює ряд незручностей для використання технологій радіомовлення. Численність електроприладів забезпечують світлом вулиці міст випромінює величезну кількість електромагнітних імпульсів на різних частотах, які служать бар'єром для проходження сигналів телерадіокомпаній і є причинами порушень покриття стільникового зв'язку, що позначається на мобільних телефонах .

Питання якості освітлення, що визначає його екологічність, вперше виникло перед розроблювачами ламп у 1930-х роках. Саме тоді спроба широкого застосування новітніх ртутних газорозрядних ламп, що володіли вчетверо більшою світловіддачею, ніж лампи розжарювання, зіштовхнулася з активною протидією споживачів освітлення. Проблема полягала в тому, що яскраве світло цих ламп мало зеленуватим відтінок і обличчя людей у ньому здобували моторошнуватий мертвий відтінок.

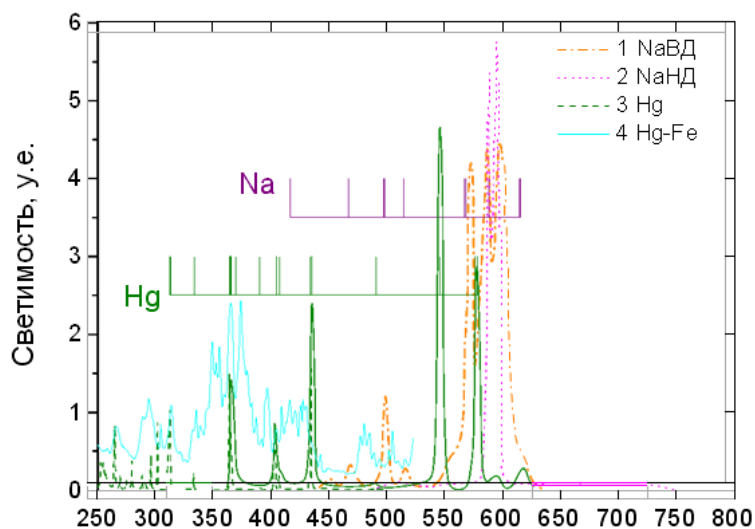
Дослідники звернули увагу на спектральну структуру світла, одержуваного від різних джерел. Важливість цієї характеристики полягає в тім, що від неї залежить колір

освітлюваних об'єктів і, як наслідок, психофізіологічне сприйняття людей в умовах штучного освітлення. Яким же повинний бути спектр? Дослідження показали, що людське око реагує не прямо на випромінювання окремих довжин хвиль, а на деякий загальний результат їхнього впливу. При цьому різноспектральні випромінювання цілком можуть дати ті саме світлові враження, що одержало логічну назву кольору. В зв'язку з цим для оцінки якості джерела світла було запропоновано використовувати викликану їм відмінність у кольорі деяких стандартних барвників від еталонних значень.

В якості еталонного цілком природно використовувати природний світловий випромінювач, однак світло сонця хмарного, ясного, полуденного і вечірнього неба істотно відрізняються. Це привело до того, що сучасні джерела світла оцінюються в порівнянні з двома основними еталонами: сонцем і "полуденним небом рівномірно покритим хмарами", в залежності від того, до чого ближче спектр досліджуваної лампи. Одержане в результаті число від 0 до 100 і характеризує так названу передачу кольору лампи. Передачу кольору вище 60 пр вважають прийнятною, вище 80 - гарної, вище 90 - високої (дуже гарною).

Поява електричних ламп породило ще одну істотну проблему. При живленні лампи змінним струмом випромінюване нею світло пульсує з частотою цього струму. Тут спостерігається істотна відмінність від природних випромінювань.

Надлишок нічного освітлення не тільки викликає збільшення яскравості неба, але й негативно впливає на навколишнє середовище, втручаючись у природні ритми біосфери.



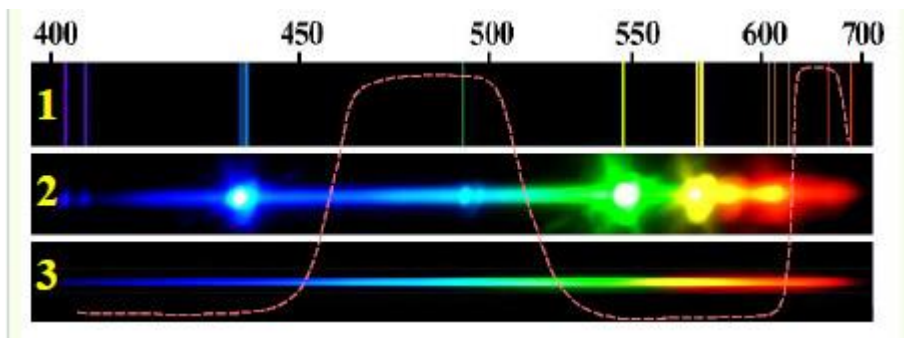


Рис.3 Порівняння спектрів випромінювання штучних джерел світла.

- 1-спектр парів ртуті,
- 2- спектр ртутного ліхтаря міського освітлення,
- 3-спектр лампи розжарювання.

Так, в натрієвих лампах високого тиску основний потік випромінювання доводиться на смугу від 550 нм до 630 нм. Частенько саме такі лампи використовуються для вуличного освітлення міст. Ще один вид ламп вуличного освітлення - ртутні лампи. Вони теж мають лінійний спектр. Основна яскравість ртутних ламп доводиться на 405 нм, 436 нм, а також на смугу від 540 до 630 нм. Так, в натрієвих лампах високого тиску основний потік випромінювання доводиться на смугу від 550 нм до 630 нм. Ще один вид ламп вуличного освітлення - ртутні лампи. Вони теж мають лінійний спектр. Основна яскравість ртутних ламп доводиться на 405 нм, 436 нм, а також на смугу від 540 до 630 нм.

Табл. 1. Світловіддача сучасних ламп.

Тип лампи	Середня світловіддача, лм\Вт, f
Лампи розжарювання	11
Люмінесцентна лампа з галофосфатними люмінофорами	60
Люмінесцентна лампа з вузькополосними люмінофорами	78
Ртутна лампа високого тиску	45
Натрієва лампа високого тиску	98
Металогалогенна лампа	62

Type of light source	Color	Luminous efficacy (in lumens per watt)	Sky glow impact (relative to LPS)
LED street light (white)	warm-white to cool-white	120	4–8
Low Pressure Sodium (LPS/SOX)	yellow/amber	110	1.0
High Pressure Sodium (HPS/SON)	pink/amber-white	90	2.4
Metal Halide	warm-white to cool-white	70	4–8
Incandescent	yellow/white	8–25	1.1

(https://en.wikipedia.org/wiki/Light_pollution)

Sky Glow brightness ratios for different lamp types^[note 2]

Lamp Type	Description	Sky Glow relative to LPS	Sky Glow relative to HPS
LPS	Low-pressure sodium	1.0	0.4
NBA-LED	amber AlGaInP LED	1.0	0.4
HPS	High-pressure sodium	2.4	1.0
PCA-LED	Phosphor-converted amber LED	2.4	1.0
FLED ^[note 3]	5000K CCT LED with yellow filter	3.6	1.5
LED 2400K CCT	Warm white LED	4.3	1.8
LED 3000K CCT	Warm white LED	5.4	2.1
LED 4100K CCT	Neutral white LED	6.4	2.7
LED 5100K CCT	Cool white LED	7.9	3.3

(<https://en.wikipedia.org/wiki/Skyglow>)

Табл.2. Середня кількість типів ламп для освітлення міста (на 200 тис. населення).

Тип	Потужність, Вт	Кількість
ДС		
ЛР	100	56
КЛЛ	20	158
МГЛ	400	18
СД	40	277
ДРЛ	125	618
ДРЛ	250	912
ДНаТ	70	213
ДНаТ	100	3327
ДНаТ	150	3226
Всього		8805

Звітність "Земельно-світлинне" за 2015 рік

Адміністрація неко- торгівельний піділ	Загальна прогнєзель мерк земельного освітленє населєних пунтєв, км			Кількість світлопоок за типами джерєл світла, тис. шт.										Кількість автоматизовєно управлєно землєно освітлєноє – водєно, шт.
	у тому числє			у тому числє:										
	всього	Кабельнє	Повітрєннє	Всього доглядовєно	Ламп доглядовєно	Лампочиннє	Ручнє	Нєчиннє	Нєчєкиннє	Світлопоок доглядовєно	11			
A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
Вєнєцькє	4373,4	498,7	3874,4	88,031	6,148	16,91	5,418	34,446	0,726	4,398	170			
Волновєкє	1190,8	244,8	946,3	44,608	9,511	14,284	5,904	13,983	0,824	0,122	281			
Дєлєтрєвєкє	9786,47	86,087	8905,8	218,72	44,81	54,27	18,887	92,84	0,4	7,93	588			
Донєцькє	4609,7	128,765	3322,078	81,41	11,103	9,988	12,064	45,962	0,202	2,801	41			
Житєтинєвєкє	1988,2	690,4	1277,8	42,36	11,789	3,786	3,118	16,037	1,692	5,981	38			
Зєкєрєлєвєкє	3869,57	431,3	3138,27	56,79	17,01	18,616	12,293	10,189	0,536	1,178	248			
Зєлєвєцькє	3707,16	62,174	3085,42	124,87	10,91	17,75	31,31	42,42	6,47	16,01	491			
Вєно-Фрєнєцькє	1887,14	63,608	1251,05	41,668	6,183	5,696	4,687	20,608	0,865	3,623	208			
Кєльєвєкє	7342,62	1363,6	5979,02	114,78	15,98	22,37	38,79	33,8	2,8	1,36	1299			
Крєвєрєцєвєкє	3342,7	71,1	3271,6	50,65	14,701	11,823	6,038	11,005	7,074	0,184	205			
Крєвєцькє	1151,4	71,4	1079,9	15,289	1,683	4,988	1,008	6,773	0,009	1,228	124			
Кєльєвєкє	3903,67	28,057	3223	88,16	15,98	6,4	9,84	45,46	7,398	3,4	4			
Мєлєдєвєцькє	4013	908	3104	48,224	9,792	0,1	9,857	24,881	0,056	3,738	452			
Одєськє	5730,53	1212,33	4518,2	199,48	40,59	24,21	12,84	54,35	0,302	67,237	805			
Пєлєвєцькє	3388,2	312,2	3056	104,8	10,9	10,6	36,9	41,8	0,66	3,94	1			
Рєвєцькє	1987,8	130,7	1857,1	37,42	2,823	11,564	8,736	12,984	0,234	1,079	383			
Одєськє	4525,49	200,75	4324,74	70,32	22,77	11,55	6,23	27,36	0,3	2,1	367			
Тєрнопєльєвєкє	1781,7	218,8	1563,1	30,36	7,78	5,012	6,23	10,91	0,002	0,446	2			
Хєрєвєцькє	6780	1434	5346	174,24	80	18,3	28	77,4	1,03	2,51	1538			
Хєрєвєцькє	909,8	137	772,8	17,8	2,8	0,2	5,3	9,4	0	0,1	3			
Хєлєпєцькє	2962,848	277,138	2685,713	59,863	10,238	5,514	12,875	28,672	0,24	2,323	535			
Черкєвєкє	6580,27	196,896	6423,62	73,23	6,1	30,83	17,402	18,87	0,34	1,88	1363			
Черкєвєцькє	1528,3	61,7	1466,6	33,879	3,598	4,329	2,758	22,255	0,654	0,28	18			
Черкєвєцькє	2300,8	97,1	2212,8	55,37	10,3	4,8	10,3	29,1	0,7	0,17	285			
Мєлєдє	4131,3	1855,8	2275,8	179,4	0,5	1,7	18,9	114,8	2,2	41,3	4			
Всього по Українє	92001,808	14080,391	77941,111	2031,51	343,58	311,59	322,308	843,278	35,514	174,88	9429			

На міжнародній нараді "Astronomical Site Evaluation in the Visible and Radio Range", що пройшов у листопаді 2000 р, було обговорено практично весь спектр астрокліматичних проблем. Незважаючи на загальні успіхи, залишаються і проблеми. Центральне місце продовжує займати пошук місць для установки (будівництва, розміщення) великих телескопів із заданими параметрами, а також питання оцінки, прогнозування та тимчасової стійкості астрокліматических характеристик атмосфери над окремими регіонами земної кулі. Зокрема було показано, що за останні десять років в результаті глобального потепління (можлива причина) погіршився і має стабільну тенденцію погіршення астроклімат обсерваторій в Південній Америці . Прозвучала думка, що не можна концентрувати весь нову наглядову астрономічний потенціал в одному регіоні земної кулі, якщо навіть на даний момент часу він є найкращим.

Нарада додало велике значення розробкам нових методів та інструментів для вимірювання атмосферних перешкод в оптичному діапазоні, створення астрокліматических станцій для оперативного обстеження відібраних місць, удосконалення конструкцій телескопів Дуже чуттєва до штучної засвітки неба астрономія. Більшість спостережень, особливо в області позагалактичних досліджень і космології, тепер можна проводити лише в місцях, віддалених від великих міст на сотні кілометрів. Деякі старі обсерваторії дуже страждають від міської засвітки неба.

Світло від наземних джерел — серйозна перешкода для астрономічних спостережень. Італійські астрономи Пьєрантоніо Чинзано і Фабіо Фалькі склали перший атлас освітленості нічного неба. Вперше знімки земних вогнів були зроблені із супутників ще наприкінці 80-х років, на них можна бачити не тільки великі міста, але і нафтові промисли, на яких спалюють побіжний газ, великі лісові пожежі і навіть скупчення рибальських судів в океані. Алі італійці вперше змогли врахувати ефекти розсіювання світла від земних джерел на хмарах і атмосферному пилу. Виявилось, що світло одного-єдиного вуличного ліхтаря здатне перешкодити спостерігачу, що знаходиться від нього на відстані 200 кілометрів. Світло великих міст уже шкодить навіть телескопам, встановленим на Канарських островах, у горах Чилі і на Гаваях.

При виборі місця для будівництва обсерваторії астрономів у першу чергу цікавить кількість ясного нічного години. Воно вимірюється в сумарній річній кількості часів безхмарного неба в період астрономічної ночі, коли занурення Сонця під обрій перевершує 18 градусів і вже не помітні сутінкові явища. Для старих університетських обсерваторій, розміщених поблизу великих міст Європи, цей час складає порядку 200–300 годин у рік; для гірських обсерваторій, що розташовуються в південній частині це 1000–1500 годин, а для найбільш сучасних обсерваторій у горах Чилі і на Гаваях – 2500–3000 годин.

Однак, навіть зовсім ясна ніч може не задовольняти астрономів по якості зображення об'єктів. Повітряні шари різної щільності по-різному переломлюють світловий промінь. Якщо повітря спокійне, це приводить лише до зсуву зображення як цілого. Алі якщо шари повітря з різною температурою, а отже і щільністю, хаотично перемішані, те зображення зірки тремтить і розмивається, дрібні деталі на поверхні планет не видні, точно вимірювати положення і яскравість зірок неможливо.

Далеко не кожна ясна ніч відрізняється високою якістю зображення. Зокрема, вітрянна погода погіршує якість зображення – зірки сильно мерехтять і тремтять; це зв'язано з посиленням турбулентності в атмосфері.

Серед наземних обсерваторій найбільш темне небо на обсерваторії Мауна Кеа на Гавайських островах. Обсерваторія розташована на висоті 4700 м. Там яскравість неба дорівнює 23^m /кв.секунди ($5,8 \cdot 10^{-5}$ кд/м²). На більшості обсерваторій яскравість неба в $22,5^m$ /кв. секунди (10^{-4} кд/м²) вважається чудовою.

Темне небо має природну яскравість, що збільшується техногенним світловим забрудненням, як від прямого випромінювання, так і від відбитого світла. Таке сяйво неба перекриває слабкі предмети, зменшуючи ефективну апертуру телескопа. Якщо яскравість природного темного неба (**Sky Glow**) присвоюється значенням 1,0; 20% збільшення яскравості - значення 1,2; подвоєння яскравості неба - значення 2,0; і т.д., то втрата ефективної апертури у відсотках (**Percent Aperture Reduction**):

Sky Glow	Percent Aperture Reduction
1.0	0
2.0	30
3.0	42
4.0	50
5.0	55

Вплив світлового забруднення на ефективність деяких великі обсерваторій:

Observatory (aperture)	Sky Glow	Effective Aperture
Kitt Peak (4m)	1.06	3.89m
Mt. Palomar (5m)	2.00	3.54m
Lick (3m)	3.00	1.75m
Mt. Wilson (2.5m)	5.00	1.12m

Яскравість неба на віддалі від міста

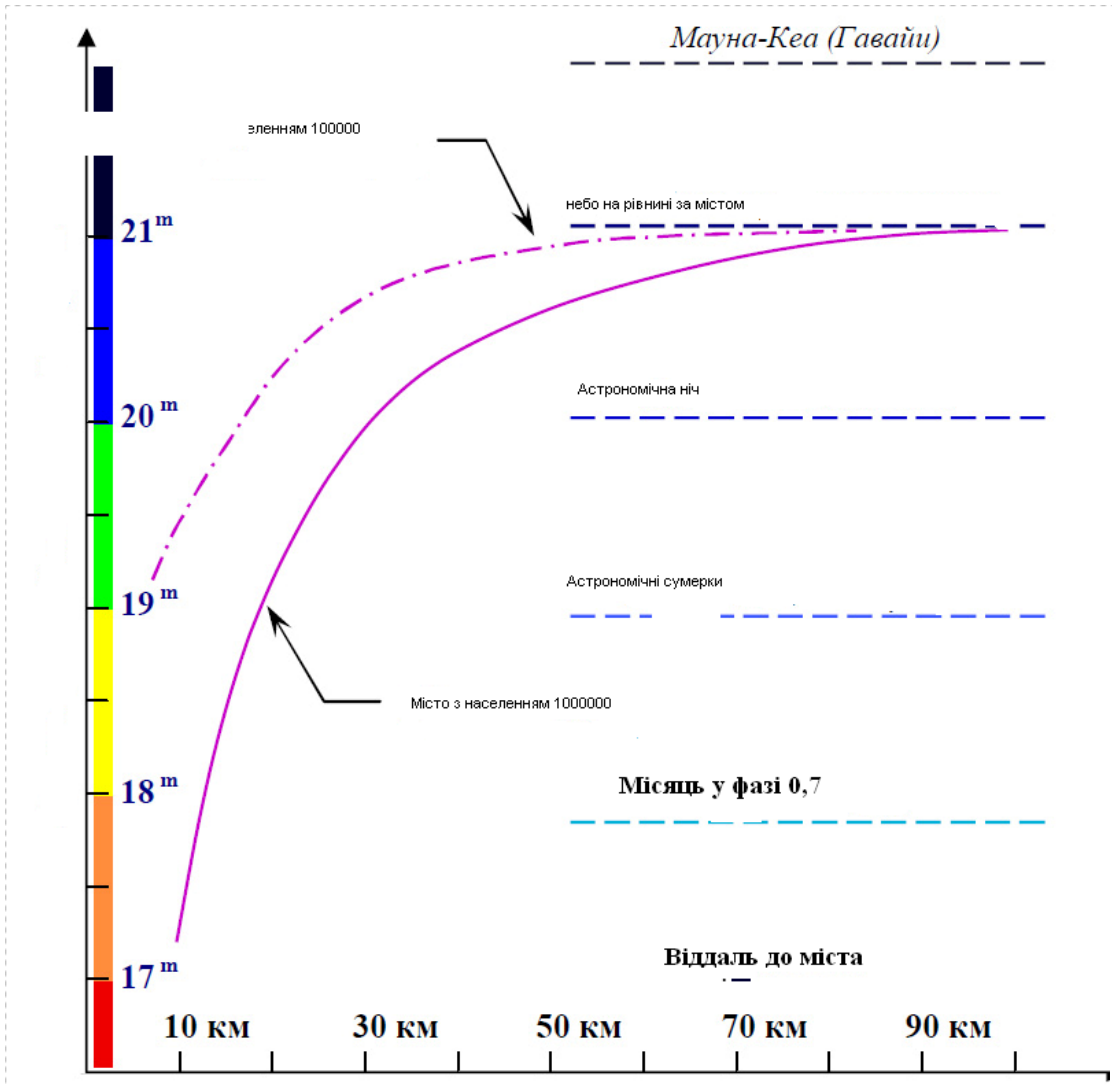


Табл.3 Порівняння яскравості нічного неба в області зеніту небесної сфери для різних обсерваторій світу

Обсерваторія	Місце розташування	Висота над рівнем моря (м)	V mag · arcsec ⁻²	B mag · arcsec ⁻²
Пік Терскол	Північний Кавказ, Росія/Україна	3100	22.1	23.0
Майданак	Узбекистан	2760	22.0	22.9
Кітт-Пік	Арі зона, США	2064	21.9	22.9
Мануа Кеа	Гаваї, США	2800	21.9	22.8
Ла Сілла	Чилі	2350	21.7	22.8
Паломар	Каліфорнія, США	1713	21.7	22.7
Калар-Альто	Андалузія, Іспанія	2168	21.5	22.6
КрАО	Сімферополь (25 км) Україна	600	21.6	22.6
Котгамія	Каїр (70 км) Єгипет	470	21.1	22.3
АО смт.Брюховичі	Львів (10 км) Україна	360	21.0	21.5

Теза, що тепер всі астрономічні спостереження можна проводити з космосу, не витримує критики, оскільки не має змісту робити за великі гроші в космосі те, що можна значно дешевше зробити на Землі. Чотири десятиліття космічної астрономії показали, що з орбіти потрібно спостерігати лише те, що недоступно на Землі. Велику частину оптичних і радіоспостережень з успіхом можна проводити з наземних обсерваторій, якщо не створювати їм перешкод у роботі. Для астрометричних спостережень важливо мати поле в порівнянні з кількома опорними зірками, не маючи сильного відмінності від визначального об'єкта. Поле зразків зараз обмежено ПЗС-камерою і становить 12x12 кут. хв. Прозорість і чистота повітря більш важлива для зеркальних астрофізичних інструментів, ніж для лінзових. Великі сучасні астрофізичні обсерваторії розміщують в основному далеко від міст і високо в горах. Сучасні ПЗС-камери дозволяють робити якісні в астрометричному відношенні кадри навіть через легку димку. Наземні спостереження до сих пір актуальні. Космічні телескопи мають обмежений термін служби, надзвичайно дорогі і потребуються в наземній підтримки. Працюючи в скануючому режимі, не можуть регулярно спостерігати за обраними об'єктами. Використовуються тільки в режимі обзору. Більшість з них - астрофізичні. Астрометричні за всю історичну космічну астрономію всього два - HIPPARCOS і GAIA. Оглядові спостереження необхідні для верифікації космічних, для забезпечення відкритих швидких об'єктів.

Теорія і експеримент говорять нам, що при зменшенні фону нічного неба в 3 рази проникаюча сила телескопа збільшиться, лише приблизно в 1,7 рази. Тому спостерігати слабкі об'єкти у видимій області спектра з орбітальних станцій недоцільно. Краще спрямувати зусилля внеатмосферної астрономії на спектральні області, невидимі з поверхні Землі: тут у орбітального телескопа конкурентів немає. На території кожної обсерваторії нічне освітлення робиться мінімально яскравим, а нерідко і цілком відключається в години спостережень. Світло великого міста, розташованого навіть у 100 км від обсерваторії, позбавляє астрономів можливості спостерігати слабкі об'єкти. Тому вчені звертаються до місцевої влади і населення з проханням про збереження темряви нічного неба.

Проблема нічної засвітки неба була вирішена за допомогою місцевої влади в ряді великих обсерваторій Аризони і Каліфорнії. Уникнути засвітки дозволяють ліхтарі з закритими лампами, що направляють світло тільки вниз. В цьому випадку саме джерело світла залишається невидимим з боку, на відміну від звичайних вуличних ліхтарів.

Існує Міжнародна асоціація темного неба (International Dark-Sky Association, IDA), до якої ввійшли майже 3000 астрономів з усього світу. Це неприбуткова, звільнена від податків організація, що прагне довести проблему до населення і переконати його не заливати світлом околиці, зберегти темне небо й у тієї ж година максимально підвищити якість і ефективність зовнішнього освітлення. З цією унікальною організацією можна зв'язатися за адресою: **3225 N. First Avenue, Tucson, AZ 85719, USA; email: ida@darksky.org; web site: http://www.darksky.org**. Члени асоціації підкреслюють, що борються не проти освітлення, а проти поганих джерел світла. Шкідливі для астрономії вуличні ліхтарі зі звичайними чи галогенними лампочками розжарювання, що випускають дуже широкий спектр частот. Дещо краще синювато-зеленувате світло ртутних ліхтарів, а кращими є натрієві лампи низького тиску з жовтуватим світлом, що займає один відсоток спектра, що цікавить астрономів. Якщо такий ліхтар ще має рефлектором, який направляє світло до землі, то шкоди для телескопів майже немає. Натрієві лампи беруть на 30 відсотків менше енергії ніж ртутні, і на 50 відсотків менше, ніж галогенні.

“Зайве світло” — тільки одна з проблем, що виникли перед астрономією. В міру того як росте мережа стільникової телефонії, скаржитися починають і радіоастрономи. Потужність радіовипромінювання від стільникових телефонів зовсім невелика в порівнянні з космічними джерелами, але знаходяться набагато ближче до радіотелескопів. Один мобільний телефон,

поміщений на Місяці, міг би забити своїм випромінюванням усі, крім трьох самих могутніх природних джерел радіохвиль у Всесвіті.

Тому у вересні 2000 долі радіоастрономи з радістю сприйняли звістку про те, що 66 супутників зв'язку системи "Гридум" будуть зняті зі своїх орбіт. Система, що дозволяла за допомогою кишенькового супутникового телефону зв'язатися з будь-якої точки Землі з будь-якою іншою точкою, не знайшла досить абонентів. Супутники і телефони цієї системи працювали на частотах, близьких до частот випромінювання космічних газових хмар і грозили перешкодити їхньому дослідженню.

Вчені пророкують, що штучна зміна падаючого на Землю природного освітлення грозить людству не меншими проблемами, ніж "парниковий ефект": зміни торкнуться як навколишнього середовища, так і самої людини, на який звуження діапазону видимого Всесвіту зробить негативний психологічний ефект.

Проблему світлового забруднення можна вирішувати двома способами:

1-зменшувати задимлення і засмічення атмосфери промисловими викидами,

2-застосовувати нові технології освітлення і поліпшувати якість архітектурних проектів.

Більш радикальний — перший спосіб, але він навряд чи досяжний у найближчому майбутньому. Тому залишається лише сподіватися на тісне і гармонічне з'єднання архітектурних рішень із проектами освітлення.

ЗАКОНОДАВЧІ ОБМЕЖЕННЯ

Першою країною, де законодавчо обмежене світлове забруднення, стала Чехія. Всі освітлювальні прилади там повинні бути спрямовані вниз чи паралельно землі — таким чином, знижується рівень світла на автотрасах і в спальних районах. У США в 1998 р. для боротьби зі світловим забрудненням була створена Міжнародна асоціація за темні неба, що має філії по усьому світі. Вона зайнята в основному просвітницькою роботою. Її активісти, звичайно, не призивають повернутися до свічки та газової лампи, але рекомендують менше користатися штучним світлом.

Наприклад, обмежити світлову рекламу, виключати на ніч світло в закритих супермаркетах, на бензоколонках і стадіонах. Крім того, борці зі світловим забрудненням рекомендують фокусувати світло і робити його фрагментарним — щоб світлові плями декількох великих об'єктів не стягалися в одне. Ліхтарі і прожектори повинні освітлювати якусь конкретну зону, причому промінь без необхідності ніколи не слід направляти в небо. Заміна агресивних ртутних ламп на м'які натрієві, на їхню думку, може на 90% знизити дію світла, що приманює, на комах.

Асоціація підкреслює, що для боротьби зі світловим забрудненням потрібні не стільки гроші і відмовлення від благ цивілізації, скільки розуміння проблеми і бажання її вирішити. Так, Агентство по захисту навколишнього середовища США розробило програму, яка повинна допомогти населенню і компаніям різко знизити витрату енергії на освітлення. Цим же агентством прийнята програма по захисту птахів, відповідно до якої, зокрема, у періоди міграції заборонено включати нічне освітлення висотних будинків. У Канаді це правило дотримують з 1996 р. У Венеції з приводу світлового забруднення відбулася міжнародна конференція. Її учасники зажадали від ЮНЕСКО проголосити небозвід надбанням людства. Можливо, подібні заклики природні, і вимоги здаються розумними. Але чи будуть реалізовані в сучасній урбаністичній практиці? Згадані вище спостереження оформлені біллем №751, що був представлений на розгляд Італійському Парламенту в червні 1996 долі і дотепер очікує свого твердження в Сенаті.

Сьогоднішній біллль - це плід спільних зусиль AIDI (Італійської Освітлювальної Асоціації) і SAIt (Італійського Товариства Астрономів), що зібрав воедино групу діючих в інших країнах постанов.

Біллль встановлює основні критерії і технічні специфікації для освітлювальних систем встановлених у громадських місцях і приватних володіннях. Біллль має на увазі також застосування цих критеріїв у містах розташованих поза зоною захищених областей.

Зокрема, стаття 10 говорить, що вуличні освітлювальні системи муніципальних будинків знаходяться в радіусі 30 кілометрів від обсерваторії, повинні бути удосконалені протягом 4-х років, з моменту ратифікації білля і відповідати критеріям.

Відповідно до запропонованого закону, освітлювальні системи в цих областях повинні бути постачені натрієвими лампами високого і низького тиску.

Для існуючих систем, максимальне випромінювання світла у вище шари атмосфери складає 30 cd/klum і 15 cd/klum для нових систем, як для маяків - 10 cd/klum.

На додаток до усього, заборонене використання обертових рекламних стелл. Виключенням у цих обмеженнях є можливість використання сучасних освітлювальних приладів у кількості не більш п'яти з випромінюванням 1200 люмен кожний.

Стандарт UNI 29000130 (вимоги по обмеженню використання штучного світла) розроблювальний у даний момент, обмежує яскравість висвітлення, виходячи з класифікації зони, що захищається, і типів попередніх освітлювальних систем.

Стандарт, з одному боку, накладає більш сувора заборона на використання освітлювальних приладів у радіусі 5 кілометрів від астрономічних обсерваторій, з іншого боку, у радіусі 25 кілометрів обмежує тільки типи використовуваних освітлювальних приладів.

Для того щоб об'єднати розроблені методи і тесті різних систем (для вулиць, пам'ятників і т.д.) UNI стандарт використовує показник випромінювання світла R_p . Він визначається як співвідношення суми максимально можливого рівня освітлення і загальної суми фактичного випромінювання.

Закон, не тільки регулює типи використовуваних освітлювальних приладів, але також постановляє, що в радіусі 1 кілометра навколо професійних обсерваторій повинний бути рівень світлового розсіювання рівний 0%, а в радіусі 25 кілометрів - не більш 3%.

Березень 1992: Публікація Стандарту UNI 10819 по обмеженню освітлення неба штучним світлом.

Метою цього стандарту є - установлення вимог по якості вуличного освітлення для обмеження спрямованого нагору розсіюється світлового потоку одержуваного від штучних джерел світла.

Адже суть проблеми не в самім освітленні, а саме в нераціональному його використанні.

Головна задача світлотехніки — поліпшити якість життя людини за рахунок раціонального сполучення природного і штучного освітлення. Розумне маніпулювання світлом припускає використання таких світильників і світлових приладів, що створювали б комфортні і безпечні умови життя людини — з обліком ергономічності, фізіології сприйняття, психології, властивостей матеріалів і технологій їхньої обробки, особливостей архітектури і багатьох інших параметрів.

Зрозуміло, проблема світлового забруднення, а точніше, техногенного забруднення атмосфери і грамотного проектування освітлення, безусловно, існує. І вирішувати її потрібно

на науковій основі, професійно і комплексно. Важно лише зрозуміти, з чим конкретно необхідно бороти і якими методами можна досягти бажаного результату.
<http://evrostroy.spb.ru/cgi-bin/main.pl?SUB=Vpaper>

Рішення

Для рішення проблеми світлового забруднення необхідне використання освітлювальних систем, що пропонують використання нових типів освітлювальних приладів, і створення для них нових критеріїв (стандартів).

Що стосується заощадження енергії, ті можливі наступні варіанти:

- використання більш ефективних джерел світла (наприклад, натрієві лампи високого і низького тиску);
- виключення концентрованого світлового потоку на нижню сферу (півкуля), що збільшує спрямований потік світла на поверхню;
- зниження рівня освітлення монументів (пам'ятників);
- зведення до мінімуму освітлення проїзної частини, зберігаючи при цьому необхідний рівень освітлення для безпеки дорожнього руху, зменшення рівня освітлення в години, коли в цьому немає необхідності, використовуючи систему подвійного режиму.

У перспективі, кількість споживаної енергії може бути зменшене при наступних умовах:

- обмеження відхилення оптики до максимально можливого рівня, направляючи світло прямо (якщо в цьому є необхідність) і використання асиметричної оптики;
- використання технічних рішень, при яких світло направляється знизу нагору;
- використання (для освітлювальних приладів розташованих на рівні землі) жалюзі й оптики, здатної контролювати рівень потоку світла з високою точністю.

Прозорість атмосфери.

Сама природа середньої смуги обмежує можливість споглядання зоряного неба — у нашому кліматі до двох третин доби в році небо закрито хмарами. Навіть у ясну погоду в безсніжний період сезонна запиленість і підвищена вологість повітря знижують його прозорість. При цьому, пил, дим, сажа, вихлопні гази, кіптява, пари й інші непрозорі частки, народжу, утворюють більш-менш щільну завісу, що викликає оптичне помутніння атмосфери.

Штучне світло, випромінюване містом у космічну пітьму, є лише індикатором забруднення, і боротись потрібно не стільки з наслідком, скільки з причиною — з фізичним засміченням атмосфери. Саме на цьому повинні бути зосереджені основні зусилля серйозних, вчених-екологів і суспільства в цілому. Штучне світло непорівнянне по інтенсивності із сонячним, тому воно нездатне в масштабі цілого міста засвітити повітря, якщо повітря чисте. **Світлова завіса з'являється лише в брудному повітрі мегаполісів.**

В оптичному діапазоні прозорість земної атмосфери досить велика: світло зірки, що знаходиться в зеніті, при спостереженні з рівня моря послабляється на 25–50% (слабкіше – у червоного, сильніше – у блакитного кінця спектра), а з висоти сучасної гірської обсерваторії (2500–3000 м) у середньому на 20%. Але атмосферне поглинання міняється в залежності від висоти світила над обрієм. При спостереженні зірки в зеніті промінь світла проходить мінімальний шлях через атмосферу і тому є мінімальне поглинання. Чим більша кутова відстань зірки від зеніту, тим довший шлях променя в атмосфері і, відповідно, сильніше ослаблення світла.

В ультрафіолетовому (УФ) діапазоні прозорість атмосфери різко знижується: для хвиль коротших 280 нм вона практично непрозора. В інфрачервоному (ІЧ) діапазоні прозорість атмосфери дуже неоднорідна: існує кілька смуг поглинання молекулами кисню і води. Тому для спостереження в близькому ІЧ діапазоні телескопи встановлюють у сухих високогірних районах, наприклад у чилійській пустелі Атакама чи на вершинах древніх гавайських вулканів (висота більш 4000 м). У далекому ІЧ і в УФ діапазонах спостереження можливі тільки з космічних станцій.

Першою статистичною характеристикою, на яку звертають увагу при виборі місця для установки великого телескопа, є статистика ясного неба. Природно, що для різних астрономічних спостережень потрібна різний ступінь прозорості неба. Звичайно астрономи вважають небо ясным при відсутності хмарності і при високій прозорості атмосфери. Найбільша ясність неба потрібно при фотометричних, поляриметричних і абсолютних спектрофотометричних спостереженнях. "Фотометрично ясною ніччю" вважається така ніч, коли небо залишається ясным не менш 6 годин підряд. Відзначимо, що статистика ясного часу вдень і вночі розрізняється: як правило, число астрономічно ясных ночей більше числа метеорологічно ясных днів. Крім того спостерігаються значимі сезонні варіації і варіації кількості ясного нічного часу в залежності від місця спостереження. От чому для досліджуваних астропунктів таку статистику треба вести постійно.

Основу астрофізичних досліджень у видимому й інфрачервоному діапазонах спектра складають фотометричні і спектрофотометричні спостереження. Тому однієї з найважливіших характеристик астроклімату є прозорість атмосфери. Разом з атмосферною якістю зображень, прозорість визначає також проникаючу здатність астрономічних спостережень. В ідеальному випадку, коли прозорість атмосфери стабільна і відома, досягається найвища точність сп.ф. спостережень. Однак у реальній ситуації прозорість завжди в тих чи інших складовим міняється. Причому ці зміни в одному пункті значно перевищують зміни середніх характеристик від пункту до пункту.

Одна з найважливіших характеристик нічного неба - фон нічного неба. Він складається з природного нічного світіння атмосфери, світіння космічних джерел і штучного підсвічування, викликаного діяльністю людини. Типово астрокліматичним фактором, що вимагає спеціального дослідження, є саме штучна засвітка. В місцях, де відсутня штучна засвітка, яскравість неба в зеніті під час відсутності зірок яскравіше 10^m , при мінімальній сонячній активності, низьким альбедо і відсутністю полярних сьйв дорівнює $V=22.0$, $B=23.0 \text{m/sec}^2$ і росте приблизно на 0.3^m на зенітній відстані 60° .

Існують три природних джерела світіння нічного неба. Це — світіння атмосфери під дією сонячних корпускул, світіння міжпланетного пилу і світіння слабких зірок і нерозв'язних на окремі об'єкти чи телескопом оком галактик. В середніх широтах роль цих джерел у засвітці неба приблизно однакова. В північних широтах імовірність посилення світіння за рахунок полярного сьйва вище. При відсутності полярного сьйва світіння не залежить від широти. Світіння міжпланетного пилу можна бачити по всьому небу, але найбільша яскравість його в площині екліптики. Це так називане зодіакальне світло. У південних районах він видний по вечорах, навесні на заході і восени на сході перед початком сумерків.

Сумарне світло зірок найбільше помітний у районі галактичного екватора — уздовж смуги Молочного Шляху. Тут яскравість світла далеких зірок приблизно в 10 разів сильніше, ніж у галактичних полюсів. До світла власне зірок потрібно додати світло пилових і газових туманностей, а також світло численних галактик, нероздільних навіть у самі великі телескопи.

Застосування фотографії широко розсунуло можливості спостережень, однак швидко з'ясувалося, що вплив атмосфери їх обмежує. Розсіювання світла небесних і земних джерел підвищує яскравість нічного неба. Це фонове випромінювання заважає досліджувати туманності і слабкі галактики. Крім того, розсіювання на аерозолях знижує контраст зображення, і його слабкі деталі пропадають у розсіяних світло яскравих частин об'єкта, що спостерігається. І нарешті, ефекти перекручування хвильового фронту помітно знижують що дозволяє і проникаючу можливість телескопів (зображення на фотографії виявляється істотно великим і вплив фону неба підсилюється).

Поверхнева яскравість туманностей лише ненабагато перевершує його яскравість у безмісячну ніч. Особливо сильно падає контраст в умовах "світлового забруднення" - навіть незначної засвітки неба якими-небудь сторонніми джерелами світла. Недарма такі об'єкти часто називають "deep-sky об'єктами" чи, інакше, "об'єктами глибоко чорного неба". Для більш успішного виявлення туманностей було б бажано підвищити їхній контраст із фоном неба, для чого прийдеться або збільшити поверхневу яскравість самого об'єкта, або знизити яскравість фону. Відносна яскравість неба може бути досить значно зменшена при спостереженнях зі спеціальними світлофільтрами.

Щоб зрозуміти принцип, на якому заснована дія таких фільтрів, порівняємо спектри випромінювання нічного неба і газових туманностей. Спектр світіння нічного неба складається з досить слабого безупинного випромінювання у всьому видимому діапазоні довжин хвиль і декількох яскравих спектральних ліній, що і вносять найбільший внесок у рівень світіння неба. Серед цих ліній можна виділити ті, котрі видні завжди, незалежно від місця спостереження і лінії від джерел штучного походження, випромінювання яких розсіюється атмосферою Землі. До першого можна віднести лінії іонізованих кисню і натрію. До іншого типу відносяться лінії ртуті, випромінювані ртутними лампами високого тиску, в основному використовуваними для висвітлення вулиць, а також натрієві лінії від застосовуваних останнім часом для тихнув же цілей натрієвих ламп (мають яскраво виражений жовтий колір світіння). Випромінювання галактик розподілене приблизно однаково по всьому спектрі, оскільки воно складається зі світла, що випускається мільйонами зірок, що населяють галактики. Зовсім інший характер має випромінювання газових туманностей (дифузійних і планетарних). В силу того, що такі туманності найчастіше складаються з водню, гелію, кисню й азоту, основна частина випромінювання приходить на спектральні лінії цих елементів. Ті ж саме відносяться і до спектра комет. Наближаючи до Сонця, ядро комети починає випаровуватися і за ним виростає газопилевий хвіст, значна частина випромінювання якого також випускається на визначених довжинах хвиль. Завдяки щасливому випадку основні (найбільш яскраві) емісійні лінії випромінювання в спектрах газових туманностей і комет лежать ледве осторонь від ліній випромінювання нічного неба і можуть бути досить успішно виділені спеціальними фільтрами. Правда, ці фільтри повинні мати порівняно вузьку смугу пропускання, щоб ефективніше відокремити корисний сигнал від фону. Такі світлофільтри випускаються серійно фірмами ("LUMICON", "CELESTRON", "ORION" і ін.) і являють собою інтерференційні світлофільтри з діелектричними багатошаровими покриттями, що ефективно виділяють області спектра 480...500 нм і невелика ділянка поблизу 650 нм.

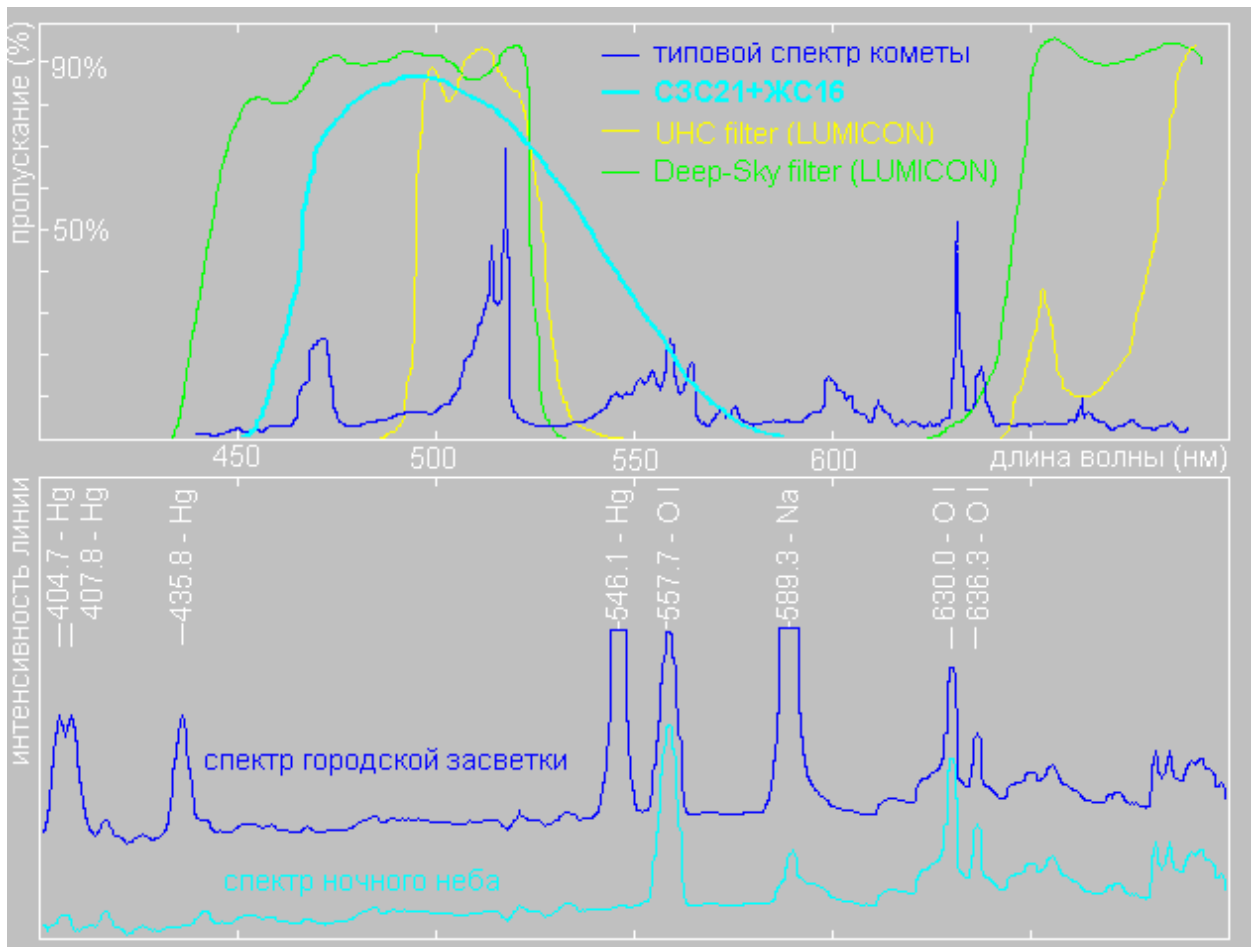


Рис 4. Типові спектри випромінювання нічного неба в діапазоні довжин хвиль 400...700 нм при відсутності засвітки міськими вогнями (нижня крива) і при міській засвітці (верхня крива).

Найбільш прийнятним було б підібрати з існуючих кольорових стекол таке, котре мало б схожий вид кривої спектрального пропускання і зробити з нього звичайний абсорбційний світлофільтр. Для одержання помітного ефекту необхідно виділяти досить вузький спектральний діапазон спектра поблизу довжини хвилі 500 нм, де і зосереджені основні лінії випромінювання туманностей і комет. Найбільш оптимальним виявилось сполучення стекол СЗС22 (товщиною 4 мм), "обрезающего" довгохвильову область спектра вище 550 нм і ЖС16 (товщиною 2 мм), не проникне випромінювання з довжиною хвилі коротше 460 нм. Графік інтегрального коефіцієнта пропускання отриманого фільтра представлений на верхньому малюнку. Як можна бачити, його смуга пропускання незначно відрізняється від аналогічної в "deer-sky" фільтра, маючи лише більш "положистий" хід. Для оцінки "фільтруючої" здатності було розраховане пропускання такого фільтра для найбільше "шкідливих" ліній спектра світіння нічного неба, а також значення пропускання на довжинах хвиль, що попадають у діапазон 480...520 нм. Результати розрахунків приведені в таблицях. Тільки для ртутної лінії 546.1 нм маємо досить скромний вииграш у 2 рази, тому з таким фільтром краще спостерігати подалі від міських ртутних ламп (мають явно виражений блакитнуватий колір світіння). Пробні спостереження показали, що цей світлофільтр малоефективний при використанні в місті, однак він відчутно підвищує контраст об'єктів при повній відсутності сторонньої засвітки за містом. Особливо це стосується комет і слабких планетарних туманностей. Перевагою зазначеного фільтра є нечутливість його до розташування в оптичній системі. Відомо, що інтерференційні фільтри задовільно працюють лише в пучках світла,

близьких до рівнобіжних, так що їх приходиться розміщати або перед об'єктивом телескопа чи відразу ж після окуляра, що не завжди зручно. Скляний же фільтр може розташовуватися де завгодно.

Табл.4 Порівняльні характеристики пропущення фільтрів для найбільш цікавих ліній випромінювання в спектрах туманностей:

Довжина хвилі λ (нм)	Приналежність лінії	Пропущення інтерференційного фільтра	Пропущення абсорбційного фільтра
486.1	H β	87%	86%
496.9	OIII	86%	87%
500.7	OIII	92%	87%
656.3	Ha	77%	-

Табл.5 Порівняльні характеристики залишкового пропущення фільтрами найбільш яскравих ліній випромінювання спектра нічного неба:

Довжина хвилі λ (нм)	Приналежність лінії	Пропущення інтерференційного фільтра	Пропущення абсорбційного фільтра
436	Hg	-	-
546	Hg	-	50%
558	O2	-	19%
570	Na	-	9%
579	Hg	-	3%
583	Na	-	3%
630	O2	19%	-
636	O2	46%	-

Атмосферне повітря ніколи не буває абсолютно чистим. Найчистіше повітря над океаном. Забруднене повітря над великими містами простягається на висоту 1,5 - 2,0 км., у них міститься пилу в 120-150 разів більше, ніж над океаном. Ця "щільна шапка" затримує влітку до 20-30% сонячних променів, а взимку, коли і так мало світла, поглинає половину його. Проблема розсіювання світла аерозолем розпадається на дві великі проблеми: розсіювання світла окремою частинкою і ослаблення світла сукупністю частинок. Розсіяння та пропускання світла безпосередньо впливає на видимість в атмосфері, на її прозорість. Аерозоль надходить з космосу у вигляді продуктів згоряння метеоритів в атмосфері, викидів промислових підприємств, вихлопних газів автомобілів та інших продуктів - антропогенний аерозоль. Аерозольні частки надходять у атмосферу і при вулканічних виверженнях.

Табл. 6 Зміна клімату міст .

Метеорологічні характеристики	Зміни в місті порівняно з сільською місцевістю
-------------------------------	--

Повторяємість туманів (смогів) зимою літом	> на 100% > на 30%
Хмарність	> на 5-10%
Вміст пилу	> в 5-20 раз
УФ-радіація літом	< на 10% < на 40%
Кількість опадів	> на 5-10%
Середня температура	> на 0.5-10С > на 1-20С
Середня річна швидкість вітру	< на 20-30%
швидкість штормових вітрів	< на 10-20%

Ці частинки хімічно інертні. Частинки першої фракції - великі, радіуси пилинок становлять від 0,5 до 10 мкм, концентрація 0,01-2 см⁻³. Першу фракцію називають також грубодисперсною. Частинки цієї групи служать ядрами конденсації при утворенні хмар і туманів. Друга фракція - це аерозольні частинки, що виникають в самій атмосфері, на всіх її рівнях. Частинки цього аерозолю складаються з різних сірчано-кисневих і азотоводневих сполук, а також продуктів полімеризації органічних сполук (продуктів згоряння або ефірних масел, що виділяються рослинами). Цю фракцію називають мікродисперсною. Початковий розмір частинок малий (0,005-0,050 мкм), потім вони укрупнюються і утворюють стійку субмікронну фракцію.

Концентрація частинок субмікронної фракції біля поверхні Землі - $2 \cdot 10^3 - 10 \cdot 10^3$ см³. З висотою зменшуються і розміри часток і їх концентрація. Такі частинки можуть прожити в тропосфері кілька днів, а в стратосфері до року. Відомо, що аерозоль другої фракції, визначає оптичні властивості атмосфери на всіх висотах і в тропосфері і в стратосфері, де і відбувається основне розсіювання світла. Світло багаторазово розсіюється в атмосфері, і всі компоненти багаторазового розсіювання також беруть участь у створенні яскравості неба. Повна яскравість неба L в будь-якому напрямку складається з трьох компонентів :

$$L=L_1+L_2+L_3;$$

де - L_1 - яскравість за рахунок первинного розсіювання;

L_2 - яскравість за рахунок багаторазового розсіювання;

L_3 - яскравість, створювана світлом, яке відбите від земної поверхні.

При високій прозорості атмосфери і малому альбедо - основну роль у створенні яскравості неба відіграє розсіювання першого порядку. При коефіцієнті прозорості атмосфери більше 0,85 внесок вторинного розсіювання в яскравість неба вдалині від горизонту становить усього кілька відсотків.

При коефіцієнті прозорості 0,6-0,7 внесок вторинного розсіювання вже перевищує 50%. у видимій області спектру. В ультрафіолетовій області, для променів якої навіть при найвищій прозорості атмосфери, коефіцієнт прозорості не перевищує 0,2, багаторазове розсіювання завжди вносить основний вклад у створення яскравості неба. Помітну роль у збільшенні яскравості при штучній засвітці неба має світло, відбите від земної поверхні, якщо її альбедо велике, наприклад, у випадку, коли вона покрита снігом. Освітленість земної поверхні в безмісячні ночі при ясній погоді змінюється від 0,0005 до 0,001 лк. У похмуру дощову погоду освітленість може зменшуватися в 10 разів і більше. У великих містах за рахунок штучних джерел світла, відбитого хмарним покривом, освітленість може досягати 1 лк. Кількісне співвідношення між зоряним світлом і нічним світінням атмосфери змінюється протягом ночі,

може сильно змінюватися від однієї ночі до іншої, а також розрізняється залежно від ділянки небосхилу.

За відсутності полярних сяїв у напрямку на Полюс світу внесок нічного світіння атмосфери змінюється від 24 до 54%, становлячи в середньому 40-45% загального освітлення Землі. У зеніті нічне світіння атмосфери може бути слабшим зоряної складової, якщо поблизу цієї точки проходить Молочний Шлях. При наближенні до горизонту основне випромінювання обумовлюється нічним світінням атмосфери. На частку зоряної складової припадає в середньому за ніч близько 30% загального освітлення атмосфери. Таким чином, світло зірок і нічне світіння атмосфери разом обумовлюють близько 70-75% освітлення земної поверхні. Решта 25-30% створюються сонячним і зоряним світлом, розсіяним на міжпланетному пилу. Нічне світіння атмосфери являє собою світіння розріджених газів (люмінесценцію), складових повітря на висотах від 80 до 300 км. За фізичною природою воно аналогічно світінню розріджених газів в газосвітних рекламних трубках (червоне світло - це світіння неону, зелений-парів ртуті і т. д.). Спектр світіння атмосфери є досить складним. Він складається з великої кількості ліній і смуг у видимій, інфрачервоній і ультрафіолетовій областях спектру, а також слабкої безперервної ділянки спектру в області довжин хвиль 0,595-0,630 мкм. Забруднена атмосфера сильно послабляє вплив радіації, особливо в ультрафіолетовій області спектру земної поверхні, в деяких випадках до 90%. Оскільки ультрафіолетова радіація має бактерицидні властивості, це явище непрямим чином може сприяти розвитку вірусних і інших захворювань. У великих містах зменшується число днів з хорошою видимістю. Одним з помітних результатів виміру метеорологічного режиму міської атмосфери є зміна повторюваності туманів і сильного серпанку в міст. Вплив антропогенного забруднення атмосфери позначається, зокрема, на появі туманів при вологості менш 100 % свідчить про наявність в урбанізованих районах активних ядер конденсації, що значною мірою знижують парціальний тиск насиченої водяної пари.

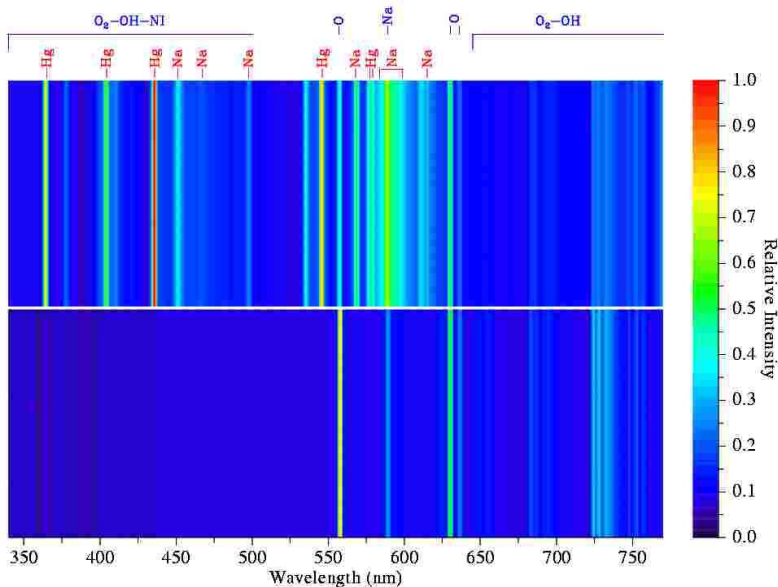


Рис. 5. Порівняння спектру забруднення нічного неба (астрофізична обсерваторія Азіаго - Італія, верхня панель) і чисте небо (ESO-Паранал - Чілі, нижня панель). Забруднення від вуличного освітлення відображені в основному в виді ліній ртуті і натрія. (<http://www.astronomy.ru/forum/index.php?topic=77309.140>)

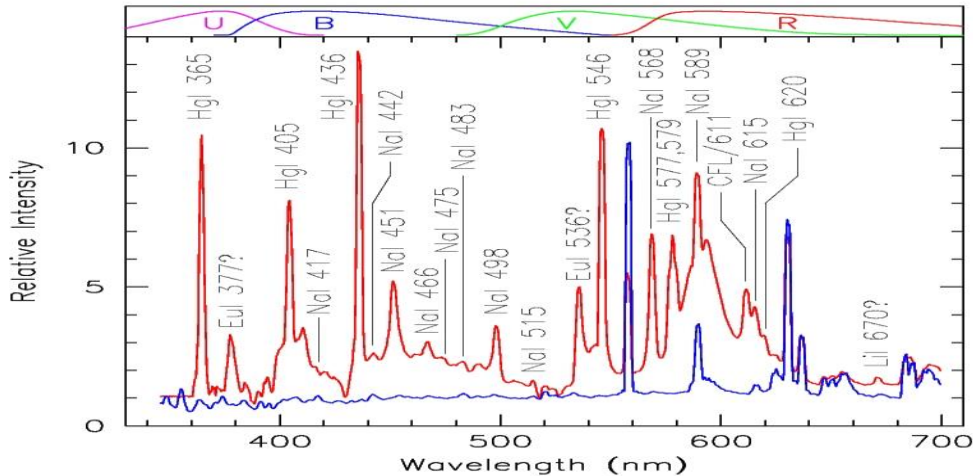


Рис.6. Вигляд спектрів забрудненого неба - (червоний) , чистого неба -(синій).

(<http://www.astronomy.ru/forum/index.php?topic=77309.140>)

Астрономічні одиниці яскравості.

Яскравість неба, як і слабких протяжних об'єктів, можна виражати в канделях на квадратний метр (кд/м²) чи в зоряних величинах на квадратну секунду. Перша величина застосовується в звичайних фотометричних розрахунках у тому числі в розрахунках витримки в астрофотографії, а друга використовується тільки в астрофізиці.

Табл.7 Енергетична та світлова величина яскравості, у відповідності з системою СІ та Міжнародним світлотехнічним словником

Енергетичні				Світлові				
Назва	Символ	Одиниця виміру			Назва	Символ	Одиниця виміру	
		Україна	Система СІ	Квантовий аналог			Україна	Система СІ
Енергетична яскравість	L_e	Вт/ср*м ²	W/sr*m ²	$N_{ph} / sr \cdot m^2 \cdot s$ (кількість фотонів в тілесном куті в 1ср на 1м ² в секунду)	Яскравість	L_v	лм/ср*м ² = кд/м ² = нит	lm/sr*m ² = cd/m ² = nit

Ламберт (Лб) – позасистемна одиниця яскравості: $1 \text{ Лб} = 3183 \text{ кд/м}^2$.

Стильб (Сб) – одиниця яскравості в системі СГС; $1 \text{ Сб} = 1 \text{ кд/см}^2 = 10^4 \text{ кд/м}^2$.

Апостильб (асб) – $1 \text{ асб} = 10^4 / (4 \cdot \pi) \text{ сб} = 1 / \pi \text{ кд/м}^2$.

Фот (фот) – одиниця освітленості в системі СГС; $1 \text{ фот} = 1 \text{ кд} \cdot \text{ср/см}^2 = 10^4 \text{ кд} \cdot \text{ср/м}^2 = 10^4 \text{ лк}$.

$1 \text{ Лб} = 10^4 \text{ асб} = 1 / \pi \text{ сб} = 3183 \text{ кд/м}^2$.

Рэлей. Одиниця яскравості: 1 Рэлей відповідає випромінюванню $10^6 / 4 \pi$ фотонів на см^2 в секунду в тілесний кут 1 стерadian на 1 \AA .

Ряд авторів використовують енергетичні одиниці: **Вт/(м² ср мкм)**,

Вт/(см² ср мкм) або в системі СГСЕ : эрг/(см² с ср Å). перерахунок:

$1 \text{ Вт/(м}^2 \text{ ср мкм)} = 10^{-4} \text{ Вт/(см}^2 \text{ ср мкм)} = 0,1 \text{ эрг/(см}^2 \text{ с ср Å)}$.

Янський (Jansky) : $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ Вт/(м}^2 \text{ Гц)}$.

При перерахунку довжини хвилі в частоту слід враховувати спектральну ширину випромінювання:

$1 \text{ Вт/(м}^2 \text{ ср мкм)} = c \lambda^{-2} 10^{-6} \text{ Вт/(м}^2 \text{ ср Гц)}$,

SI units:

$1 \text{ nit} = 1 \text{ cd/m}^2 (= 1\text{E-}4 \text{ stilb})$

$1 \text{ apostilb} = 1/\pi \text{ cd/m}^2 = 1 \text{ lm/m}^2 \text{ for perfect diffusor} = 1\text{E-}4 \text{ lambert}$

$1 \text{ lux} = 1 \text{ lm/m}^2 (= 1\text{E-}4 \text{ phot} = 1 \text{ "metre-candle"})$

CGS units:

$1 \text{ stilb} = 1 \text{ cd/cm}^2 = \pi \text{ lambert} = 1 \text{ lumen/cm}^2/\text{ster}$

$1 \text{ lambert} = 1/\pi \text{ cd/cm}^2 = 1 \text{ lumen/cm}^2 \text{ for perfect diffusor}$

$1 \text{ nanoLambert} = 3.18 \cdot 10^{-10} \text{ stilb}$

$= 3.18 \cdot 10^{-10} \text{ candela cm}^{-2}$

$= 3.18 \cdot 10^{-6} \text{ nit}$

$= 10^{-5} \text{ apostilb}$

$= 4.61 \cdot 10^{-4} \text{ stars of } m_v = 0.00$

$= 26.33 \text{ magnitudes per square arc-second}$.

$1 \text{ milli-lambert} = 10/\pi \text{ cd/m}^2$

$1 \text{ skot} = 1 \text{ milli-blondel} = 1\text{E-}3/\pi \text{ nit} = 1\text{E-}7 \text{ lambert}$

$1 \text{ phot} = 1 \text{ lumen/cm}^2$

English units:

$1 \text{ foot-candle} = 10.76 \text{ lux} = 1 \text{ lumen/ft}^2 = 10.76 \cdot 10^{-4} \text{ phot} = 4.240 \cdot 10^6 \text{ stars of } m_v = 0.00$

$1 \text{ cd/ft}^2 = 10.76 \text{ nit}$

$1 \text{ foot-lambert} = 1/\pi \text{ cd/ft}^2 = 3.426 \text{ nit}$

Вводиться ще одна одиниця яскравості неба - одиниця S 10 vis для визначення величини світлового забруднення, обумовлена як число зірок зоряної величини 10^m на квадратний градус дуги, що дають яскравість еквівалентну спостерігаемій. Ця величина відноситься до зірок класу A0, які мають приблизно постійну світність в широкому діапазоні довжин хвиль видимого ділянки спектра.

Яскравість природного нічного неба коливається в діапазоні 100 – 1000 в одиницях S 10 .

Табл.8 Залежність між величинами яскравості.

Яскравість (в зоряних величинах на квадратну секунду дуги) (mag/arcsec ²)	Яскравість, S10vis	Яскравість, нт	
		Всередині атмосфери	Поза атмосферою
+0	1,3E+11	9,0E+4	10.9E+4
+5	1,3E+9	9,0E+2	10.9E+2
+10	1,3E+7	9,0	10.9
+15	1,3E+5	9,0E-2	10.9E-2
+20	1,3E+3	9,0E-4	10.9E-4
+25	1,3E+1	9,0E-6	10.9E-6

TABLE II EQUIVALENT MEASURES OF THE SKY BRIGHTNESS

Світлове забруднення в S _{10 vis}	Без врахування природного фону неба в mag/arcsec ²	З врахування природного фону неба в 250 S ₁₀	
		mag/arcsec ²	mag/deg ²
0	--	21.7	4.0
20	24.5	21.6	3.9
50	23.5	21.5	3.8
100	22.8	21.4	3.7
200	22.0	21.1	3.4
320	21.5	20.9	3.2
500	21.0	20.6	2.9
1000	20.2	20.0	2.3
2000	19.5	19.4	1.7
5000	18.5	18.5	0.8
20000	17.0	17.0	-0.7

1 S₁₀ = 1 10th mag star/deg²
 = 10.00 mag/deg²
 = 27.78 mag/arcsec²
 = 2.3 x 10⁻⁷ millilambert
 = 7.2 x 10⁻¹¹ stilb
 = 3.6 x 10⁻³ rayleigh/angstrom at 5500A

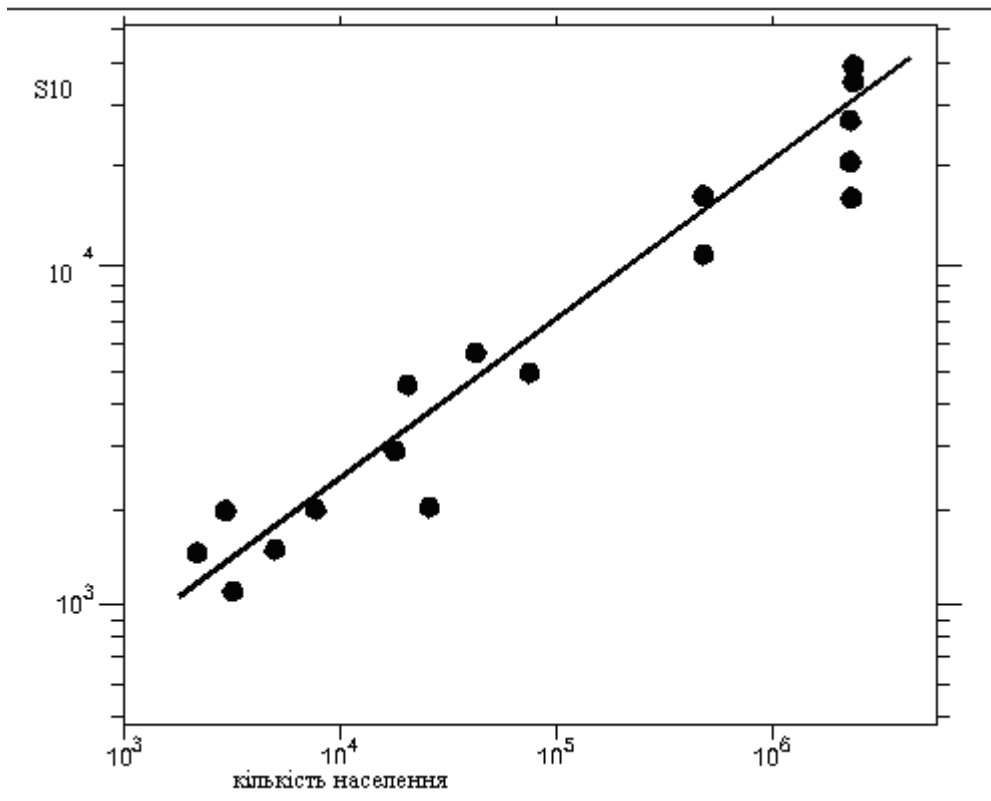


Рис.7 Залежність між яскравістю неба в та кількістю населення.

(THE JOURNAL OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY OF CANADA Vol. 70, No. 3 JUNE 1976 Whole No. 540 LIGHT POLLUTION IN SOUTHERN ONTARIO By Richard Berry Toronto Centre, R.A.S.C.)

$$1 \text{ S10vis} = 0.69\text{E-}6 \text{ nit} = 0.69\text{E-}10 \text{ stilb}$$

$$1 \text{ erg/cm}^2/\text{s/ster/A} = 7.62\text{E}8 \text{ S10vis} = 3.35\text{E}6 \text{ Rayleigh/A}$$

$$1 \text{ S10vis} = 4.40\text{E-}3 \text{ Rayleigh/A} = 1.31\text{E-}9 \text{ erg/cm}^2/\text{s/ster/A}$$

$$1 \text{ Rayleigh/A} = 227 \text{ S10vis} = 2.98\text{E-}7 \text{ erg/cm}^2/\text{s/ster/A}$$

$$1 \text{ erg/cm}^2/\text{s/ster/A} = 7.62\text{E}8 \text{ S10vis} = 3.35\text{E}6 \text{ Rayleigh/A}$$

$$1 \text{ S10vis} = 4.40\text{E-}3 \text{ Rayleigh/A} = 1.31\text{E-}9 \text{ erg/cm}^2/\text{s/ster/A}$$

$$1 \text{ Rayleigh/A} = 227 \text{ S10vis} = 2.98\text{E-}7 \text{ erg/cm}^2/\text{s/ster/A}$$

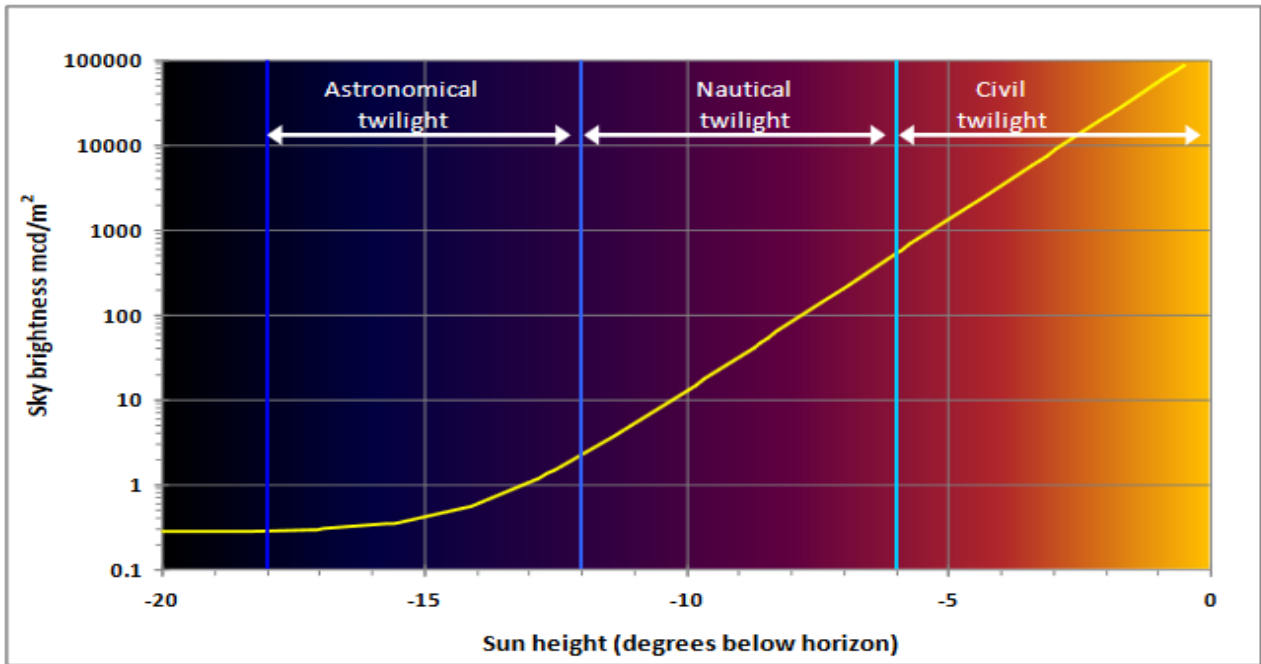


Рис.8 Яскравість фону неба в залежності від висоти Сонця під горизонтом.

Розподіл яскравості(астрофізичну) поверхні вимірюють в зоряних величинах з квадратної секунд дуги (m'') або з квадратної хвилини дуги (m):

$$m = m'' - 8,89 (= 2,5 \lg 3600).$$

Яскравість, виражену в кд/м^2 . перевести в астрофізичну величину, можна скористатися формулою

$$m'' = 12,58^m - 2,5 \lg B,$$

де B — яскравість, виражена в кд/м^2 . Наприклад, яскравість туманності в $0,0005 \text{ кд/м}^2$ дорівнює $20,6^m$ /кв. секунди.

$$L_v = 34,08 \cdot e^{(20,723 - 0,92104 m'')} \text{ (наноламберт) ;}$$

$$L_v = 10,8 \cdot 10^4 \cdot 10^{(-0,4 m'')} \text{ (кд/м}^2)$$

(5)

де m'' — яскравість в зеніті в (mag/sec^2),

L_v — яскравість в кд/м^2 або в наноламбертах .

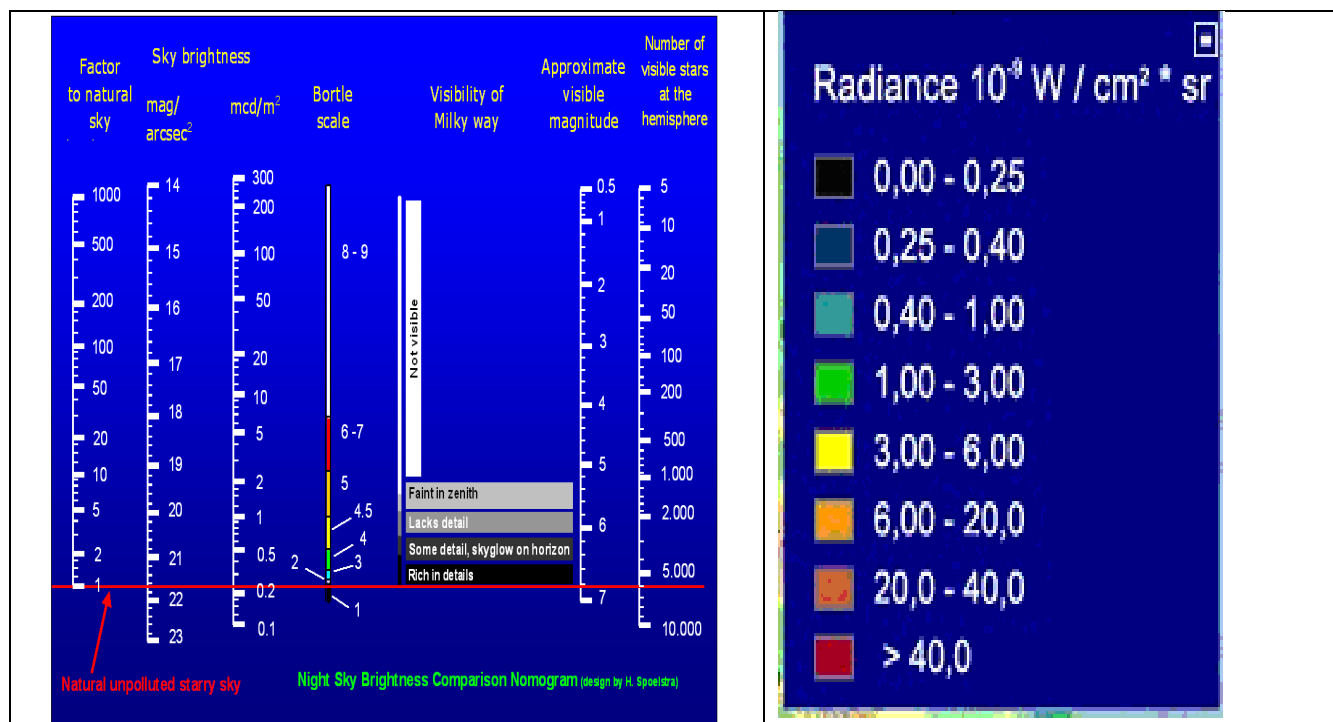
Серед наземних обсерваторій найбільш темне небо на обсерваторії Мауна Кеа на Гавайських островах. Обсерваторія розташована на висоті 4700 м. Там яскравість неба дорівнює 23^m /кв.секунди ($5,8 \cdot 10^{-5} \text{ кд/м}^2$). На більшості обсерваторій яскравість неба в $22,5^m$ /кв. секунди (10^{-4} кд/м^2) вважається чудовою.

Табл.9 Кількість видимих зірок до величини m

(<http://www.nso.edu/PR/answerbook/magnitude.html>) "*Magnitude*". *National Solar*

Зоряна величина	Кількість видимих зір	Яскравість неба	
		Mcd/m ²	mag/arcsec ²
1	10	160	14,6
2	30	60	15,6
3	80	20	16,6
4	250	8	17,8
5	800	3	19,0
6	2500	0,8	20,4
7	7000	0,2	22

Рис.8 Номограма параметрів яскравості неба.



Spaelstra, H. "*Dark Skies Awareness: Sky Brightness Nomogram*". Retrieved 14 March 2012.

Кількість зірок до величини m можна розрахувати за формулою:

(<http://www.nso.edu/PR/answerbook/magnitude.html>) $N=10^{(0,754+0,4896m+0,001159m^2-0,000235m^3)}$

Видима гранична зоряна величина m_{lim} (mag) при фоні неба μ :

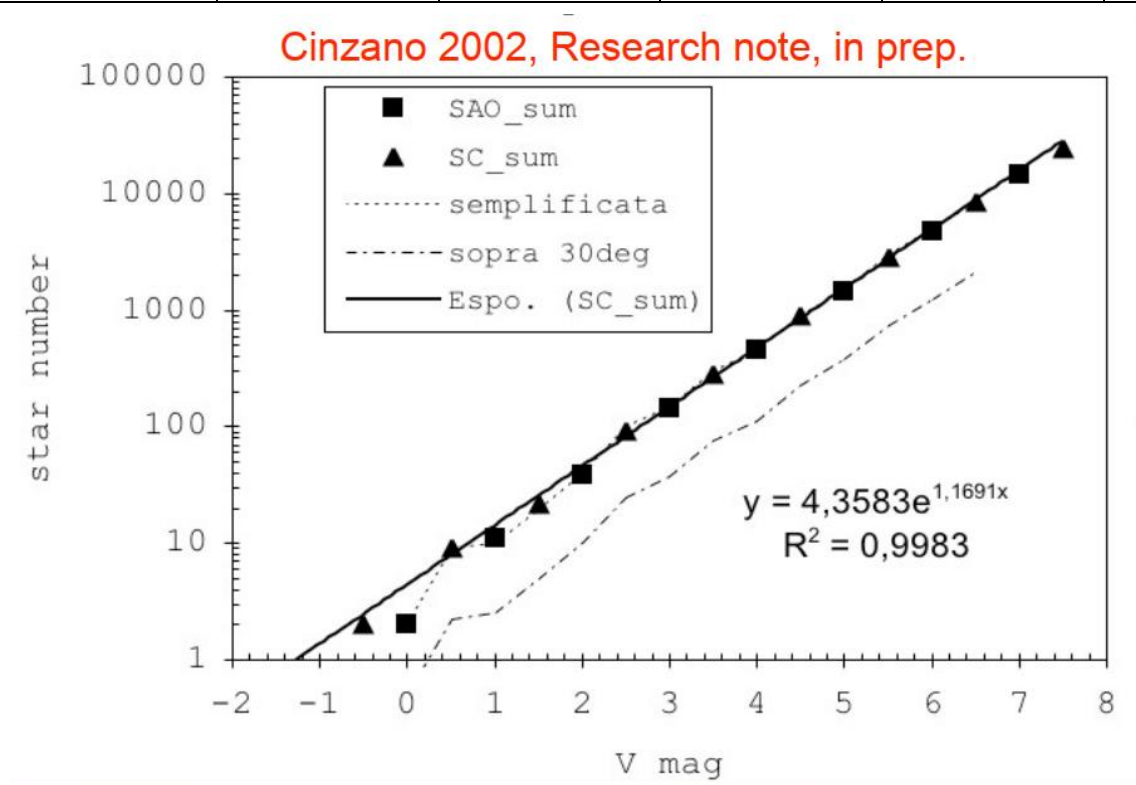
$$m_{\text{lim}} = 0.426\mu - 2.365 - 2.5\log F;$$

μ - яскравість фону неба mag/arcsec²

$$F = 1,4 \dots 2,4.$$

Табл.9 Яскравість неба в mag/arcsec² в залежності від величини фази Місяця.

Вік Місяця в днях	U	B	V	R	I
0	22,0	22,7	21,8	20,9	19,9
3	21,5	22,4	21,7	20,8	19,9
7	19,9	21,6	21,4	20,6	19,7
10	18,5	20,7	20,7	20,3	19,5
14	17,0	19,5	20,0	19,9	19,2



Як відомо, людське око здатне повноцінно сприймати колір навколишніх предметів при достатньому рівні їх освітленості. Це випадок так званого "денного зору", коли досить неефективні світлочутливі клітини сітківки ока - колби - здатні розділяти кольору червоний, зелений і синій. Усі інші тони будуються за відносним змістом кожного з цих елементарних кольорів. Скажімо, фіолетовий збуджує як відчуття червоного, так і синього. Окрім хорошого розрізнення кольорів і колірних відтінків денний зір характеризується високою гостротою (в усякому разі, в центрі поля зору). При падінні яскравості спостережуваних предметів нижче приблизно 10 кд/м^2 колби починають працювати дещо гірше і включається так званий "присмерковий зір", коли основну роботу по побудові картини виконують так звані палички (високо світлочутливі клітини сітківки очі, на жаль несприйнятливі до кольору), тоді як цветочувствительные колби виконують по мірі

Історично склалося так, що спочатку розвивалася метрологія світлових вимірювань. Саме око протягом більш ніж 200 років, був тим самим еталонним приймачем випромінювання, на основі якого і проводилися всі оцінки і вимірювання сили світла, яскравості і освітленості. Згодом був створений прилад для вимірювання освітленості (люксметр), який має спектральну характеристику, збігається зі спектральною характеристикою очі стандартного спостерігача.

Найоптимальнішим приймачем випромінювання на сьогоднішній день по проникаючій здатності і можливості оперативної обробки інформації, стабільності і надійності роботи є камера на основі матричного приймача із зарядним зв'язком - ПЗЗ-камера. Сучасні ПЗС-матриці мають квантової ефективністю, що досягає 80%, що дозволяє при часи накопичення порядку хвилини і максимально можливий охолодженні отримувати зображення точкових джерел до 24 зоряної величини на телескопі з діаметром дзеркала 2 м. На жаль, сучасні ПЗС-матриці, як правило, мають недостатні розміри для забезпечення необхідних полів зору.

Телевізійні камери на ПЗС матрицях і електронно-оптичних перетворювачах зображення (ЕОП), мають спектральні характеристики, значно відрізняються від спектральної ефективності очі. Їх діапазон може сягати від ультрафіолетового (120 нм для ЕОП) до інфрачервоного (1мкм для ЕОП і ПЗС). Застосування даних приладів в умовах, коли на їх вхід надходить випромінювання більш широкого спектра, ніж видиме призводить до того, що свідчення люксметра (вимірює випромінювання тільки видимого діапазону) не несуть практично ніякої достовірної інформації. Для якісного пояснення таких помилок розглянемо приклад використання в нічних умовах низкоуровневої телевізійної камери з каскадом посилення зображення на ЕОП з арсенід-Галієвим фотокатодом. На Рис.9 представлені відносні спектральні характеристики:

- чутливості випромінювання нічного зводу (крива 3) ;
- чутливості арсенід-Галієв фотокатода ЕОП (крива 2);
- чутливості ока людини і збігається з нею чутливості приладу, що вимірює освітленість - Люксметр (крива 1);
- чутливості ПЗС матриці ICX249 фірми SONY (крива 4).

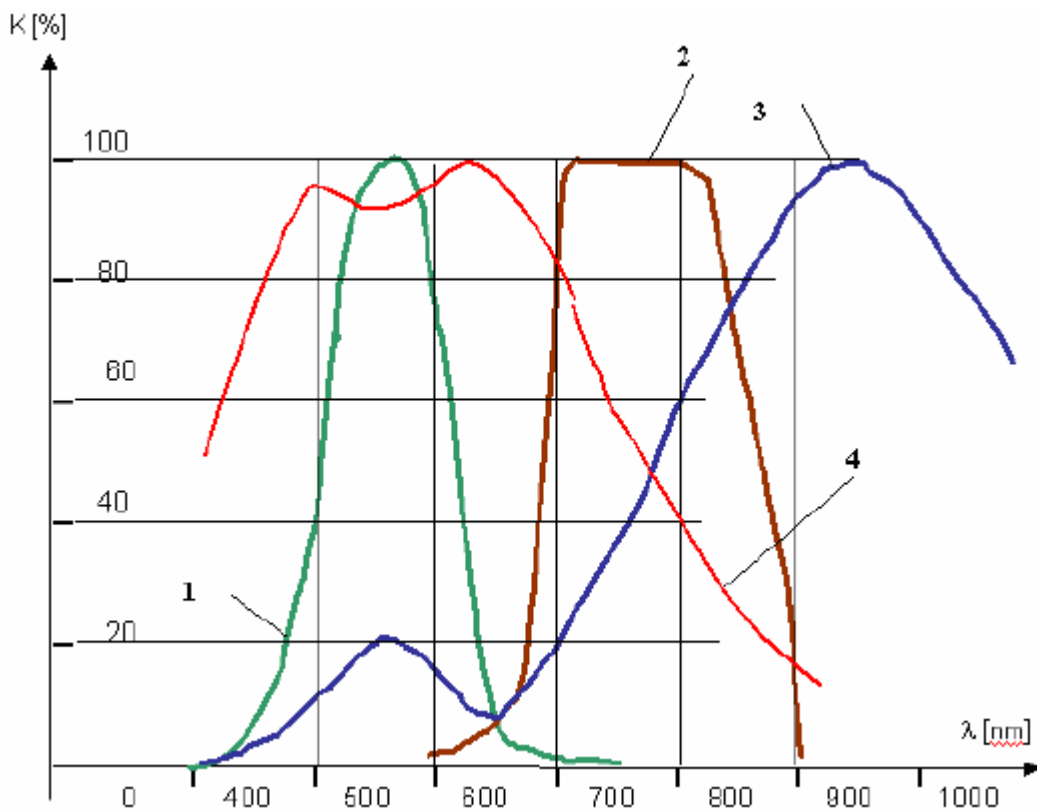


Рис.9 Відносні спектральні характеристики різних фотоелектронних приймачів (1,2,4); випромінювання безмісячну нічного небосхилу 3.

З наведених графіків видно, що в умовах безмісячної ночі потужність інфрачервоного випромінювання неба (> 760 nm) значно перевищує його потужність випромінювання у видимому діапазоні. Люксометр при цьому вимірює тільки видиму дуже незначну частину всього потоку випромінювання. Вона зосереджена в діапазоні 400 - 700 nm. На відміну від нього фотокатод ЕОП відчуває оптичне випромінювання в діапазоні 600 - 900 nm і його фотокатод "працює" з великим потоком. Аналогічні висновки виходять при застосуванні в тих же умовах телевізійної ПЗС камери, кремнієвий кристал якої так само має хорошу чутливість в інфрачервоному діапазоні до 1 мкм (крива 4).

З усього вище викладеного можна зробити висновок, що для телевізійних систем, що володіють спектральними характеристиками відмінними від спектральної чутливості ока, застосування світлотехнічних одиниць (люкс, люмен і т.п.) не зовсім коректно (коректно, але не зовсім або зовсім не коректно). Тепер можна показати, чому застосування світлотехнічних одиниць (люмен, люкс і т.п.) в розрахунку чутливості телевізійних систем часто дає помилкові результати.

Моделі світлового забруднення.

Головна задача побудови математичних моделей світлового забруднення атмосфери - дослідження факторів антропогенного походження. Основні критерії - штучне освітлення не повинне перевищувати мінімальну яскравість фону неба на висоті 45° більше ніж на 10%. Яскравість неба, створювана штучними джерелами світла приблизно описується залежністю: $\sim \text{населення} \cdot (\text{відстань})^{-2.5}$.

Розглянемо фотометричну статистичну модель світлового забруднення [4]:

$$V = 29 + 0.02 \cdot r + 2.5 \cdot \log(r^2/N); \quad (1)$$

де: V - яскравість в zenіті в (mag/sec^2);
 r – віддаль від населеного пункту в км.,
 N – число жителів.

Розглянемо **модель Уолкера**:

$$I=0,01 \cdot N \cdot r^{-2,5};$$

$$L=11300000 \cdot N \cdot R^{-2,5};$$

I – % перевищення світлового забруднення над фоном неба;

L – яскравість неба в zenіті в нано ламберт;

R - віддаль в метрах;

N – число жителів.

Модель Тренора.

Тренор прийнявши за основу закон Уокера , вводячи фактори, пов'язані з розсіювання світла молекулами аерозолів в повітрі. (Shirkey, 2006). (Treanor, 1973).

Модель:

$$I=l(r)/L(N)=(a/r + b/r^2)\exp(-k/r);$$

де: $L(r)$ = яскравість неба,

$L(N)$ природна яскравість неба,

P = кількість населення,

r = відстань,

$$A = 1,8 \times 10^{-5} \cdot P,$$

$$B = 13,6 \times 10^{-5} \cdot P,$$

$$K=0,026.$$

Модель Беррі.

Беррі використав модель Тренора і вніс деякі зміни в рівняння для визначення забруднення від світла в zenіті малих міст. В результаті було отримано візуальні і фотоелектричні дані, відблиск неба (пов'язане з чисельністю населення міста) і функцію відстані для середніх атмосферних умов. Ці функції були використані в простій математичній моделі для обчислення світлового забруднення в Онтаріо. (Berry, 1976). Ця модель розглядає міста як точкові джерела.(Shirkey, 2006).

Модель:

$$I=aP^{0,5}(bD^{-2} + cD^{-1});$$

де: I = яскравість неба,

P = кількість населення,

D = відстань,

h = висота розсіюючого шару,

a, b, c = константи,

k = коефіцієнт екстинкції аерозолію.

Модель Гарстанга.

У 1984 році з'явилася нова модель Роя Гарстанга, узагальнюючи місто як рівномірний диск, а не точкове джерело. Гарстанг додав параметр у формулі, що представляє кількість аерозолію. Модель дозволила визначити кутовий розподіл світлового випромінювання та відображення вигнутої геометрії поверхні землі. Ця модель включала ефект хмар. (Shirkey, 2006).

Модель:

$$I=aPUD(DS)(EF);$$

де: I = яскравість неба,

P = кількість населення,

DS = пояснює аерозольне розсіювання,

EF = коефіцієнт екстинкції,

a = постійне відношення
популяція,
 U = постійна,
 D = відстань.

Модель Бадділі.

Крістофер Бадділі ввів у 2002 році модель астрофізики для вимірювання світлове забруднення. Модель враховує розсіювання молекулами повітря і аерозолем частинок.

Модель Коцифая.

Мирослав Коцифай розробив повну математичну модель для вимірювання світлового забруднення. Модель застосовує розрахунок спектрального та інтегрального випромінювання або яскравості при довільних атмосферних умовах (хмарне небо включно). (Kocifař, 2007).

Недолік цих моделей полягає в тому, що не враховується метеорологічні умови і тип освітлення міст.

В багатьох випадках енергетичні розрахунки краще вести не в інтегральних величинах (ват, джоуль та їх похідні), а в кількості фотонів (в одиницю часу, на одиницю площі і т. д.) Розглядаємо світлове забруднення як ортотропне світлове поле (в якого яскравість не залежить від кута нахилу площини до кута зору). Енергетичною характеристикою випромінювання такого світлового поля є спектральна густина енергетичної яскравості;
 $I(\lambda) = d(E) / [d(\lambda) \times d(t) \times dF \times d(\omega)]$,
 що визначає частину енергії випромінювання, що знаходиться в одиничному інтервалі довжин хвиль $d(\lambda)$, проходящих за одиницю часу $d(t)$ через перпендикулярну до випромінювання площадку одиничної площі dF і розповсюджується в границях одиничного тілесного кута $d(\omega)$.

Енергія кванта:

$$Q = (h \cdot c) / \lambda;$$

де:

c - швидкість світла в вакуумі ($2,998 \cdot 10^8$ м/с);

h - постійна Планка ($6,62621 \cdot 10^{-34}$ Дж · с);

λ - довжина хвилі випромінювання, (м).

Енергія кванта випромінювання при $\lambda = 555$ нм:

$$Q = 3,58 \cdot 10^{-19} \text{ [Дж]}.$$

Обернена величина відповідає числу квантів за секунду випромінювання потужністю 1 Вт при $\lambda = 555$ нм:

$$N_{ph} [1\text{Вт}] = 1 / Q = 1 / 3,58 \cdot 10^{-19} = 2,79 \cdot 10^{18} \text{ [фот / с]}.$$

Нижній індекс ph означає, що мова йде про фотонні величини.

Із визначення кандели слідує, що при $\lambda = 555$ нм:

$$N_{ph} [1\text{Вт}] = 683 \text{ лм}.$$

Отже, можна отримати точне значення числа фотонів при $\lambda = 555$ нм за секунду в світловому потоці рівному $1 / 683$ Вт, що на данній довжині хвилі відповідає світловому потоку в 1 лм:

$$N_{ph} [1\text{лм}] = N_{ph} [1\text{Вт}] / 683 = 0,409 \cdot 10^{16} \text{ фот с}^{-1}$$

Використовуючи визначення одиниці освітленості, знаходимо, що при $\lambda = 555$ нм число фотонів, падаючих на поверхню в 1 м^2 при освітленості в 1 лк рівне:

$$N_{ph} [1\text{лк}] = N_{ph} [1\text{лм}] / \text{м}^2 = 0,409 \cdot 10^{16} \text{ фот с}^{-1} / \text{м}^2.$$

Необхідно нагадати, що при довжині хвилі $\lambda = 555$ нм енергетичне опромінення в $1 / 683$ Вт відповідає освітленості в 1 лк, а довжині хвилі $\lambda = 630$ нм того ж випромінювання відповідає освітленості в 0,265 лк.

Фізіологічна дія в 1лм однаково по всьому спектру, але її енергетична "ціна" для зеленої області складає $1/683$ Вт, для фіолетової - $1/62$ Вт, а для малино-червоної - $1/6$ Вт.

Визначимо кількість світла L_e - (к-сть фотонів) / ($m^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{стеррадіан}$), що засвічує атмосферу в зеніті:

$$L_{ez} = N_{ph} [1\text{лм}] \cdot \delta \cdot \beta \cdot \left(\sum_{i=1}^{i=z} f_i \cdot N_i \cdot P_i \right) / (S \cdot 2\pi);$$

де S - площа освітленої частини міста, m^2 ;

$\delta = 0,01-0,3$ - коефіцієнт, що враховує відбиття світла в атмосфері;

z - кількість типів ламп;

f_i - світловіддача i -го типу лампи, $\text{лм} / \text{вт}$;

N_i - кількість ламп даного типу;

β - відношення освітленої до загальної площі площі міста;

P_i - потужність електрична i -ї лампи, вт .

Освітленість в нічних умовах змінюється в широких межах. Величина для різних умов представлені в таблицях .

Табл.8 Природна освітленість $E_{пр}$ горизонтальної поверхні в нічних умовах, лк.

Повний Місяць, безхмарно	Повний місяць, суцільна хмарність	Ясна зоряна ніч	Небо без місяця, густа хмарність
0,3–0,2	0,05	0,002–0,0006	0,0003–0,0002

Максимальна освітленість при повному місяці становить 0,2–0,3 лк, а при хмарності знижується до 0,05 лк..

використовуючи зв'язок між освітленістю та яскравістю

$$L_v = E \cdot \delta / \pi = (E_{пр} + E_{шт}) \cdot \delta / \pi ;$$

де L_v - яскравість земної поверхні, нт ;

δ - коефіцієнт відбиття яркості для заданного напрямку спостереження;

E - освітленість поверхні, лк;

$E_{пр}$ - природна освітленість поверхні, лк;

$E_{шт}$ - штучна освітленість поверхні, лк.

$\pi = 3,14$.

Табл.9 Яскравість наземних об'єктів при різній освітленості вночі, нт.

Наземні об'єкти	Коеф. відбивання, δ	Характеристика освітленості вночі		
		Повний Місяць, безхмарно 0,3–0,02 лк	Повний Місяць суцільна хмарність 0,05 лк	Ясна зоряна ніч 0,002–0,0006 лк
Пісок	0,15–0,31	$1,43 \times 10^{-2}$ – $2,95 \times 10^{-2}$ $0,96 \times 10^{-2}$ – $1,98 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-3}$ – 5×10^{-3}	$0,96 \times 10^{-4}$ – $1,98 \times 10^{-4}$ $2,9 \times 10^{-5}$ – $5,9 \times 10^{-5}$
Чорнозем	0,03–0,14	$0,29 \times 10^{-2}$ – $1,33 \times 10^{-2}$ $0,19 \times 10^{-2}$ – $0,9 \times 10^{-2}$	$0,48 \times 10^{-3}$ – $2,2 \times 10^{-3}$	$0,19 \times 10^{-4}$ – $0,9 \times 10^{-4}$ $0,57 \times 10^{-5}$ – $2,7 \times 10^{-5}$
Трава зелена	0,06–0,32	$0,57 \times 10^{-2}$ – $3,04 \times 10^{-2}$ $0,38 \times 10^{-2}$ – $2,5 \times 10^{-2}$	$0,96 \times 10^{-3}$ – $5,1 \times 10^{-3}$	$0,38 \times 10^{-4}$ – $2,05 \times 10^{-4}$ $1,1 \times 10^{-5}$ – $6,1 \times 10^{-5}$
Бетон сухий	0,17	$1,62 \times 10^{-2}$ – $1,09 \times 10^{-2}$	$2,7 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-4}$ – $1,0 \times 10^{-4}$
Бетон мокрий	0,10	$0,95 \times 10^{-2}$ – $0,64 \times 10^{-2}$	$1,6 \times 10^{-3}$	$0,64 \times 10^{-4}$ – $1,9 \times 10^{-5}$
Асфальт сухий	0,1	$0,95 \times 10^{-2}$ – $0,64 \times 10^{-2}$	$1,6 \times 10^{-3}$	$0,64 \times 10^{-4}$ – $1,9 \times 10^{-5}$
цегла	0,2	$1,9 \times 10^{-2}$ – $1,3 \times 10^{-2}$	$3,2 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-6}$ – $3,8 \times 10^{-5}$
Море	0,04–0,08	$0,38 \times 10^{-2}$ – $0,76 \times 10^{-2}$	$0,64 \times 10^{-3}$ – $3,3 \times 10^{-3}$	$0,26 \times 10^{-4}$ – $0,5 \times 10^{-4}$

		$0,26 \times 10^{-2} - 0,5 \times 10^{-2}$		$0,76 \times 10^{-5} - 1,5 \times 10^{-5}$
Лід	0,31–0,36	$2,95 \times 10^{-2} - 3,42 \times 10^{-2}$ $1,98 \times 10^{-2} - 2,3 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-3} - 5,8 \times 10^{-3}$	$1,98 \times 10^{-4} - 2,3 \times 10^{-4}$ $5,9 \times 10^{-3} - 6,8 \times 10^{-5}$
Сніг	1,0–0,46	$9,5 \times 10^{-2} - 4,37 \times 10^{-2}$ $6,4 \times 10^{-2} - 2,94 \times 10^{-2}$	$16 \times 10^{-3} - 7,4 \times 10^{-3}$	$6 \times 10^{-4} - 2,94 \times 10^{-4}$ $19 \times 10^{-6} - 8,7 \times 10^{-5}$

Якщо відома яскравість земної поверхні L_v , то яскравість неба L (Кандела / м²) при зенітній висоті z становить:

$$L(z) = L_v \cdot (1 - S_p^{H_0 \cdot M(z)}) \cdot \beta / (1 + S_p^{H_0 \cdot M(z)});$$

Або з врахуванням ():

$$L(z) = E \cdot \delta \cdot \beta \cdot (1 - S_p^{H_0 \cdot M(z)}) / (\pi \cdot (1 + S_p^{H_0 \cdot M(z)}));$$

$\delta = 0,1-0,3$ - коефіцієнту, що враховує відбиття світла в атмосферу;

β – відношення освітленої площі міста до загальної площі;

E – освітленість земної поверхні, лк;

S_p - спектральний коефіцієнт прозорості атмосфери довжиною 1 км:

$$S_p = e^{-\sigma};$$

де

σ - коефіцієнт ослаблення світла, км⁻¹;

Коефіцієнт прозорості:

$$P = e^{-\tau}$$

де $\tau = \sigma \cdot r$ - оптична товщина атмосфери;

(12)

r – геометрична довжина променя світла в атмосфері, км;

$$r = H_0 \cdot M(z);$$

де $H_0 = 7,990$ км. – висота однорідної атмосфери;

$M(z)$ – маса атмосфери.

Практично вся маса атмосфери знаходиться в приземному шарі товщиною біля 20 км.

Штучне освітлення не повинно збільшувати яскравість фону яку вимірюють на висоті 45⁰ більше ніж на 10% ($10^7/4\pi$ фотонів нм⁻¹см⁻² с⁻¹) 174 μ cd/м². Яскравість $L_{z\beta}$ при довільному зенітному куті z та азимутальному куті β :

$$L_{z\beta} = L \cdot f(z) \cdot f(\beta);$$

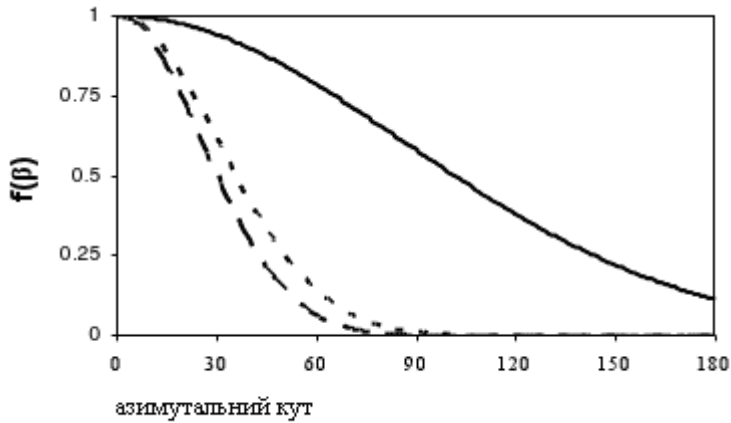
де $f(z)$ - коеф. , що залежить від зенітної віддалі,

$f(\beta)$ – коеф. , що залежить від азимутального кута (кут між напрямом на довільну точку горизонту і джерелом світлового забруднення).

$$f(z) = a \cdot \sec(z).$$

Табл.10 Залежність коеф а від кількості населення міста.

Населення міста	a
$P \leq 2000$	0,4
$200 < P \leq 6500$	0,7
$6500 < P \leq 20000$	0,9
$20000 < P \leq 65000$	1,2
$65000 < P \leq 200000$	1,6
$200000 < P \leq 650000$	2,0
$650000 < P \leq 2000000$	2,4
$2000000 < P$	2,9



Суцільна лінія при $Z = 5^{\circ}$ градусів; короткий штрих при $Z = 45^{\circ}$; довгий штрих при $Z = 90^{\circ}$.

Рис.9 Залежність коеф $f(\beta)$ від азимутального кута.

Відомо, що для визначення оптичної товщини атмосфери в астрономії вводиться умовна величина - маса атмосфери:

$$M(z) = \sec z;$$

де z - зенітна віддаль, град;

Величина $\sec z$ визначається по часовому куту та схиленню:

$$\sec z = (\sin f \sin d + \cos f \cos d \cosh)^{-1};$$

де f - широта обсерваторії;

d, h - схилення та часовий кут.

Точніше маса атмосфери визначається:

$$M(z) = \sec z - 0,0018167(\sec z - 1) - 0,002875(\sec z - 1)^2 - 0,00808(\sec z - 1)^3$$

Наприклад, в табл.11 відображена залежність маси атмосфери $M(z)$ від деяких значень зенітної віддалі z .

Табл.11.

z , град	0	60	80	85	90
$M(z)$	1	2,0	5,6	10,4	35,4

Оптична товщина атмосфери τ_p в зеніті:

$$\tau_p = \ln\left(\frac{L_1}{L_2}\right)\left(\frac{1}{\cos Z_1} - \frac{1}{\cos Z_2}\right);$$

де - L_1, L_2 - яскравість світлової засвітки неба в двох різних точках ;

Z_1, Z_2 - кутова віддаль цих точок.

Коефіцієнт прозорості в зеніті:

$$P = e^{-\tau_p};$$

Коефіцієнт ослаблення світла в зеніті:

$$\sigma_0 = \tau_p / r = \tau_p / (H_0 \cdot M(z)) = \tau_p / 7,990$$

Основним параметром, що описує процес взаємодії оптичного випромінювання з атмосферою є метеорологічна дальність видимості R_m . Ця відстань, на якій світло з довжиною хвилі 0,55 мкм ослабляється в 50 разів (на 17 дБ).

Погодні умови розрізняються як для різних географічних районів, так і від року до року. Обробка статистичних даних метеорологічних спостережень дозволила встановити емпіричну залежність цього параметра від відстані.

$$W(R_m) = a_i \cdot R_m^{b_i};$$

где $W(R_m)$ – імовірність погодних умов при яких мдв менше віддалі S ;

R_m - віддаль (км);

$a_i = 0,006-0,011$; $b_i = 1,2-1,4$ - константи.

Емпірична залежність між метеорологічною дальністю видимості R_m , та об'ємним показником розсіяння світла σ :

$$R_m = 3,912 \cdot \sigma^{-1};$$

Метеорологічну дальність видимості (МДВ) визначають за формулою

$$R_M = \frac{1}{\sigma_{p\lambda}} \ln \frac{1}{V_{min}},$$

де $V_{min} = 0,02$ – гранична контрастна чутливість ока спостерігача ($\lambda = 0,5 \mu\text{м}$).

МДВ є граничною дальністю видимості темних предметів з кутовим розміром $0,5^\circ$

стандартним спостерігачем ($V_{min} = 0,02$) у денний час на фоні неба.

Табл.12 Залежність стану атмосфери, спектрального коеф прозорості S_p , метеорологічної дальності видимості.

Стан атмосфери (видимість)	Бал за кодом	Спектральний коеф прозорості, км-1	Метеорологічна дальність видимості R_m , км
Туман:			
дуже сильний	0	$> 10^{-14}$	$> 0,05$
сильний	1	$10^{-14} - 10^{-8,3}$	$0,05 - 0,2$
помітний	2	$10^{-8,3} - 10^{-14}$	$0,2 - 0,5$
слабкий	3	$10^{-1,4} - 2 \cdot 10^{-2}$	$0,5 - 1$
Димка:			
дуже сильна	4	$0,02 - 0,14$	$1 - 2$
сильна	5	$0,14 - 0,38$	$2 - 4$
помітна	6	$0,38 - 0,68$	$4 - 10$
слабка	7	$0,68 - 0,82$	$10 - 20$
Гарна видимость	8	$0,82 - 0,92$	$20 - 50$
Видимая видимость	9	$\geq 0,92$	≥ 50

Табл.13 Шкала (бали) видимості, дальність видимості S та об'ємний показник розсіяння світла σ .

Бали видимості	Погодні умови	Дальність видимості, S , км	показник ослаблення світла, σ , км ⁻¹
0	Густий туман	$< 0,05$	$> 78,2$
1	Звичайний туман	$0,05 - 0,2$ $0,2 - 0,5$	$78,2 - 19,6$ $19,6 - 7,82$
2	Легкий туман	$0,5 - 1$	$7,82 - 3,91$

3	Слабкий туман	1-2	3,91 - 1,96
4	Димка	2-4	1,96 - 0,954
5	Легка димка	4-10	0,954 - 0,391
6	Ясно	10-20	0,391 - 0,196
7	Дуже ясно	20-50	0,196 - 0,078
8	Добре ясно	>50	<0,078
9	Ідеальна атмосфера	277	0,0141

Табл. 14 . Коефіцієнт прозорості при різних атмосферних умовах.
(<http://laseritc.ru/?id=103>).

Стан атмосфери	Коеф прозорості, $P=e^{-\tau}$	Дальність видимості, км
Повітря абсолютно чисте	0,99	300
Надзвичайно Висока прозорість	0,97	150
Повітря дуже прозоре	0,96	100
Добра прозорість	0,92	50
Середня прозорість	0,81	20
Повітря дещо мутне	0,66	10
Повітря мутне	0,36	4
Повітря дуже мутне	0,12	2
Легкий туман	0,015	1
Туман від	$2 \cdot 10^{-4}$	0,5
до	$8 \cdot 10^{-10}$	0,2
Густий туман від	10^{-19}	0,1
до	10^{-34}	0,05

Повний коефіцієнт об'ємного ослаблення світла:

$$\sigma = \alpha_1(\lambda) + \alpha_2(\lambda)$$

Для молекулярного розсіювання:

$$\alpha_1(\lambda) = 0,0119 \left(\frac{550}{\lambda} \right)^4 ;$$

для аерозольного розсіювання:

$$\alpha_2(\lambda) = \left(\frac{3,9}{S} - 0,012 \right) \left(\frac{550}{\lambda} \right)^m;$$

де λ - довжина хвилі, нм;

$m=0,92 \pm 0,25$;

$S=1$ км (при тумані);

$S=4$ км (при димці);

$S=20$ км (при ясному небі).

Табл.15 Коефф. молекулярного розсіяння та оптична товщина τ_p вертикального шару атмосфери

λ , МКМ	$\sigma_p(\lambda)$, км^{-1}	τ_p	λ , МКМ	$\sigma_p(\lambda)$, км^{-1}	τ_p
0.30	$1.446 \cdot 10^{-1}$	1.2237	0.65	$5.893 \cdot 10^{-3}$	0.0499
0.32	$1.098 \cdot 10^{-1}$	0.9290	0.70	$0.364 \cdot 10^{-3}$	0.0369
0.34	$8.494 \cdot 10^{-2}$	0.7188	0.80	$2.545 \cdot 10^{-3}$	0.0215
0.36	$6.680 \cdot 10^{-2}$	0.5653	0.90	$1.583 \cdot 10^{-3}$	0.0134
0.38	$5.237 \cdot 10^{-2}$	0.4508	1.06	$8.458 \cdot 10^{-4}$	0.0072
0.40	$4.303 \cdot 10^{-2}$	0.3641	1.26	$4.076 \cdot 10^{-4}$	0.0034
0.45	$0.644 \cdot 10^{-2}$	0.2238	1.67	$1.327 \cdot 10^{-4}$	0.0011
0.50	$1.716 \cdot 10^{-2}$	0.1452	2.17	$4.586 \cdot 10^{-5}$	0.0004
0.55	$0.162 \cdot 10^{-2}$	0.0984	3.50	$6.830 \cdot 10^{-6}$	0.0001
0.60	$8.157 \cdot 10^{-3}$	0.0690	4.00	$4.002 \cdot 10^{-6}$	0.0000

Міжнародний код видимості					
Погодні умови	Осадки		Видимість (м)	Ослаблення (дБ/км)	
		мм/год			
			0		
Дуже густий туман			50	315	
Густий туман			200	75	
Середній туман			500	28,9	
Легкий туман	Сніг	Шторм	100	770	
				1 000	13,8
Дуже легкий туман		Сильний дощ	25	1 900	6,9
				2 000	6,6
Легка пасмурність		Середній дощ	12,5	2 800	4,6
				4 000	3,1
дуже легка пасмурність		Легкий дощ	2,5	5 900	2
				10 000	1,1
Чисте повітря			0,25	18 100	0,6
				20 000	0,54
			23 000	0,47	
дуже чисте повітря			50 000	0,19	

Табл.16 Питоме затухання сигналу q (дБ/км) в залежності від видимості.

Зменшення величини оптичного сигналу в дБ та відповідна втрата в % :

- -3 дБ = двукратна втрата сигналу;
- -6 дБ = 75%-на втрата сигналу (остається 25%);
- -10 дБ = 90%-на втрата сигналу (остається 10%);
- -20 дБ = 99%-на втрата сигналу (остається 1%);
- -30 дБ = 99,9%-на втрата сигналу (остається 0,1%);
- -40 дБ = 99,99%-на втрата сигналу (остається 0,01%).

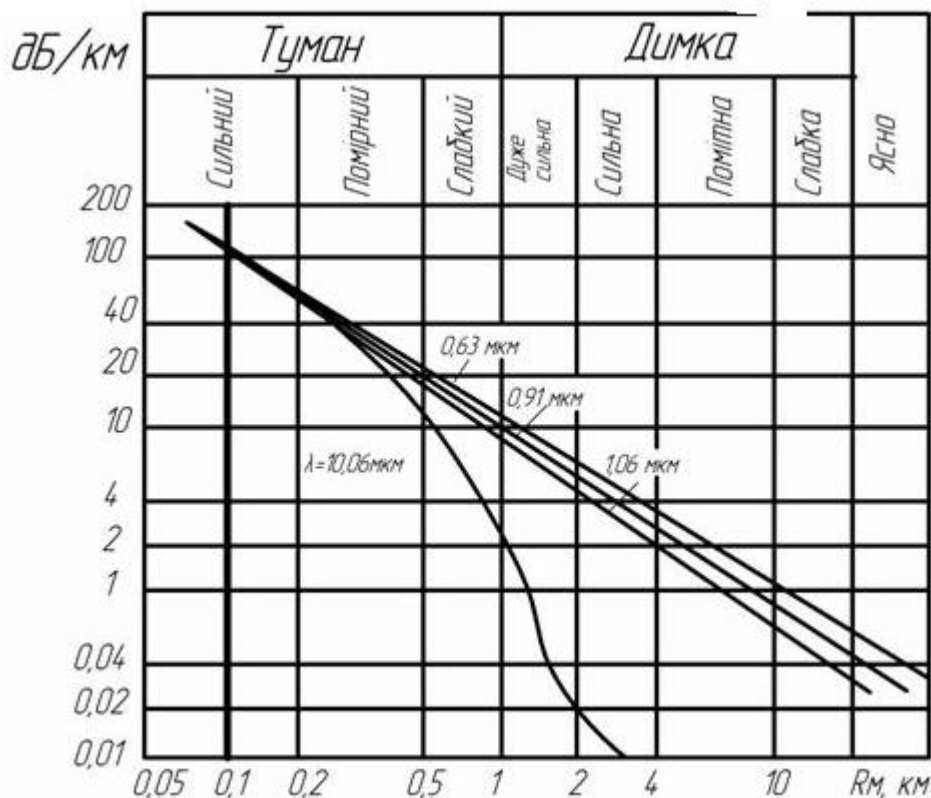


Рис.9 Залежність величини питомого затухання оптичного сигналу q (дБ/км) від метеорологічної дальності видимості R_m , км.

Ослаблення блиску зір з врахуванням світлового забруднення атмосфери:

$$\Delta m = \delta m \cdot ((P T_0) / (P_0 T)) - (2.5 \lg p) \cdot [M(z) - 1] - 2.5 \cdot \lg (L_{np} / L(z));$$

δm - величина зенітного атмосферного поглинання, (mag/ air mass) в різних моделях атмосфери:

в релєєвській моделі $\delta m = 0.17^m$,

в фоновій моделі аерозоля $\delta m = 0.26^m$,

в середній моделі $\delta m = 0.34^m$.

P - атмосферний тиск, (мбар);

$P_0 = 1013$ мбар;

T - атмосферна температура, (К) ;

$T_0 = 273,15$ К.

Існують три фактори, які можна кількісно розглядати для оцінки ефекту ослаблення блиску зір. Молекулярне поглинання, головним чином за рахунок атмосферного озону і води, є незначним, приблизно $0,02^m$. Більш важливим є те, що розсіювання Релея молекулами повітря становить $0,14^m$. Розсіювання аерозолю (пил, вода та забруднюючі речовини, що привнесені людиною) додає приблизно $0,12^m$. Середній сумарний ефект на рівні моря - це сума цих факторів, порядку $0,28^m$ на величину одиничної повітряної маси при стандартній температурі і тиску (STP = 760 мм рт.ст., 0° C). На висотах 0,5 км, 1,0 км і 2,0 км ефекти екстинкції становлять приблизно 0,24, 0,21 і 0,16 величини на масу повітря відповідно.

$L_{\text{пр}}$ – природна яскравість неба: ($10^7/4\pi$ фотонів $\text{nm}^{-1}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) або $174 \mu\text{cd}/\text{m}^2$;

$L(z)$ - яскравість неба від штучної засвітки;

P – коеф. прозорості атмосфери;

$M(z)$ - маса атмосфери;

Δm – ослаблення блиску.

Релеєвське ослаблення блиску, (mag/ air mass):

$$A_{\text{Ray}} = 0.1451 \exp(-h/7.996).$$

Аерозольне ослаблення блиску(mag/ air mass):

$$A_{\text{aer}} = 0.120 \exp(-h/1.5),$$

Величина зенітного атмосферного поглинання в (mag/ air mass):

$$\delta m = A_{\text{Ray}} + A_{\text{aer}}$$

де h – висота над рівнем моря, км.

Величина зенітного атмосферного поглинання δm можна знайти з таблиць

(MAGNITUDE CORRECTIONS FOR ATMOSPHERIC EXTINCTION

by Daniel W. E. Green From the July 1992 issue of *International Comet Quarterly*, Vol. 14, pages 55-59. Copyright 1992).

Табл. 17 Середні атмосферні екстинкції (mag) на різних висотах над рівнем моря (h в км)

z	h = 0	h = 0.5	h = 1	h = 2	h = 3
1	0.28	0.24	0.21	0.16	0.13
10	0.29	0.24	0.21	0.16	0.13
20	0.30	0.25	0.22	0.17	0.14
30	0.32	0.28	0.24	0.19	0.15
40	0.37	0.31	0.27	0.21	0.17
45	0.40	0.34	0.29	0.23	0.19
50	0.44	0.37	0.32	0.25	0.21
55	0.49	0.42	0.36	0.28	0.23
60	0.56	0.48	0.41	0.32	0.26
62	0.60	0.51	0.44	0.34	0.28
64	0.64	0.54	0.47	0.37	0.30
66	0.69	0.59	0.51	0.39	0.32
68	0.75	0.64	0.55	0.43	0.35
70	0.82	0.70	0.60	0.47	0.39
71	0.86	0.73	0.63	0.49	0.40
72	0.91	0.77	0.66	0.52	0.43
73	0.96	0.81	0.70	0.55	0.45
74	1.02	0.86	0.74	0.58	0.48
75	1.08	0.92	0.79	0.62	0.51
76	1.15	0.98	0.84	0.66	0.54
77	1.24	1.05	0.91	0.71	0.58
78	1.34	1.13	0.98	0.76	0.63
79	1.45	1.23	1.06	0.83	0.68
80	1.59	1.34	1.16	0.91	0.74
81	1.75	1.48	1.28	1.00	0.82
82	1.94	1.65	1.42	1.11	0.91
83	2.19	1.86	1.60	1.25	1.03
84	2.50	2.12	1.83	1.43	1.17
85	2.91	2.46	2.13	1.66	1.36
86	3.45	2.93	2.53	1.97	1.62
87	4.23	3.59	3.10	2.42	1.99
88	5.41	4.59	3.96	3.09	2.54
89	7.38	6.26	5.40	4.22	3.46
90	11.24	9.53	8.23	6.42	5.28

Табл.18 “Зимові” атмосферні екстинкції (mag) на різних висотах над рівнем моря (h в км)

z	h = 0	h = 0.5	h = 1	h = 2	h = 3
1	0.25	0.21	0.19	0.15	0.13
10	0.25	0.22	0.19	0.15	0.13
20	0.26	0.23	0.20	0.16	0.14
30	0.28	0.25	0.22	0.17	0.15
40	0.32	0.28	0.24	0.20	0.17
45	0.35	0.30	0.26	0.21	0.18
50	0.38	0.33	0.29	0.24	0.20
55	0.43	0.37	0.33	0.26	0.22
60	0.49	0.42	0.37	0.30	0.25
62	0.52	0.45	0.40	0.32	0.27
64	0.56	0.48	0.43	0.34	0.29
66	0.60	0.52	0.46	0.37	0.31
68	0.65	0.57	0.50	0.40	0.34
70	0.72	0.62	0.55	0.44	0.37
71	0.75	0.65	0.57	0.46	0.39
72	0.79	0.69	0.60	0.49	0.41
73	0.84	0.72	0.64	0.52	0.43
74	0.89	0.77	0.68	0.55	0.46
75	0.94	0.82	0.72	0.58	0.49
76	1.01	0.87	0.77	0.62	0.52
77	1.08	0.94	0.82	0.67	0.56
78	1.16	1.01	0.89	0.72	0.60
79	1.26	1.10	0.97	0.78	0.66
80	1.38	1.20	1.06	0.85	0.72
81	1.52	1.32	1.16	0.94	0.79
82	1.70	1.47	1.29	1.05	0.88
83	1.91	1.65	1.46	1.18	0.99
84	2.18	1.89	1.66	1.34	1.13
85	2.53	2.20	1.93	1.56	1.31
86	3.01	2.61	2.30	1.86	1.56
87	3.69	3.20	2.82	2.28	1.91
88	4.72	4.09	3.60	2.91	2.45
89	6.44	5.58	4.91	3.97	3.34
90	9.80	8.50	7.49	6.05	5.08

Табл.19 “Літні” атмосферні екстинкції (mag) на різних висотах над рівнем моря (h в км)

z	h = 0	h = 0.5	h = 1	h = 2	h = 3
1	0.32	0.26	0.22	0.17	0.14
10	0.32	0.27	0.23	0.17	0.14
20	0.34	0.28	0.24	0.18	0.15
30	0.37	0.30	0.26	0.20	0.16
40	0.41	0.34	0.29	0.22	0.18
45	0.45	0.37	0.32	0.24	0.19
50	0.49	0.41	0.35	0.26	0.21
55	0.55	0.46	0.39	0.30	0.24
60	0.63	0.53	0.45	0.34	0.27
62	0.68	0.56	0.48	0.36	0.29

64	0.72	0.60	0.51	0.39	0.31
66	0.78	0.65	0.55	0.42	0.34
68	0.85	0.70	0.60	0.45	0.36
70	0.93	0.77	0.65	0.50	0.40
71	0.97	0.81	0.69	0.52	0.42
72	1.02	0.85	0.72	0.55	0.44
73	1.08	0.90	0.76	0.58	0.47
74	1.15	0.95	0.81	0.61	0.49
75	1.22	1.01	0.86	0.65	0.53
76	1.30	1.08	0.92	0.70	0.56
77	1.40	1.16	0.99	0.75	0.60
78	1.51	1.25	1.07	0.81	0.65
79	1.64	1.36	1.16	0.88	0.71
80	1.79	1.49	1.26	0.96	0.77
81	1.97	1.64	1.39	1.06	0.85
82	2.19	1.83	1.55	1.18	0.95
83	2.47	2.06	1.75	1.32	1.07
84	2.82	2.35	1.99	1.51	1.22
85	3.28	2.73	2.32	1.76	1.41
86	3.90	3.25	2.75	2.09	1.68
87	4.78	3.98	3.38	2.56	2.06
88	6.11	5.09	4.32	3.28	2.63
89	8.33	6.93	5.89	4.47	3.59
90	12.68	10.56	8.97	6.80	5.47

Потік фотонів при освітленості 1лк:

$$N(1\text{лк})\text{фот}=0,409 * 10^{16} \text{ фот сек}^{-1} \text{ м}^{-2}$$

В енергетичних одиницях: $E(1\text{лк})\text{фот}= 1,46 * 10^{-3} \text{ Дж сек}^{-1} \text{ м}^{-2}$.

Освітленість від зірки величиною m :

$$E_m = 10^{-(m+13,89)/2,5} \text{ лк.}$$

Яскравість зірки L (кд/м²) на квадратну мінуту дуги:

$$L^1 = E(1\text{лк})\text{фот} * E_m * 683 / W;$$

де $W = 8,461595 \cdot 10^{-8}$ – тілесний кут зірки (одна мінута дуги), стеррадіан.

$$L^1 = 683 * 1,46 * 10^{-3} * 10^{-(m+13,89)/2,5} / 8,461595 \cdot 10^{-8} = 117,87 * 10^5 * 10^{-(m+13,89)/2,5}$$

Або приблизно:

$$L^1 = E_m / 8,461595 \cdot 10^{-8}, \text{ кд/м}^2;$$

Яскравість зірки L'' (кд/м²) на квадратну секунду дуги:

$$L'' = E_m / (3600 * 2,35 \cdot 10^{-11}), \text{ кд/м}^2.$$

$$L^1 = L''.$$

Яскравість, виражену V (кд/м²) перевести в астрофізичну величину $m_{\text{ag}}/\text{arcsec}^2$, можна скористатися формулою:

$$m''_z = 12,58^m - 2,5 \lg L,$$

$$m''_z = 12,58^m - 2,5 * \lg(117,87 * 10^5 * 10^{-(m+13,89)/2,5}) = m + 8,79;$$

де L — яскравість, виражена в кд/м²;

m''_z - яскравість, виражена в $m_{\text{ag}}/\text{arcsec}^2$;

m – зоряна величина зірки (m_{ag});

Середню яскравість нічного неба m_v (mag/arcsec²), можна визначити за формулою:

$$m_v = 22,5 - 2,5 \lg(2/r);$$

де $r = m''_z / m''_n$ - відношення світлових потоків від зірки та неба на 1 кв. сек. дуги.

$$m_v = 22,5 - 2,5 \lg(2 * m''_n / m''_z) = 22,5 - 2,5 \lg(2 * m''_n / (m+8,79)).$$

Затухання оптичного сигналу в децибелах:

$$K = 10 \lg((m''_z - m''_n) / m''_z).$$

Знаючи питоме затухання сигналу q (дб/км), повний коефіцієнт об'ємного ослаблення світла σ , враховуючи, що оптична товщина атмосфери $\tau = \sigma \cdot r$;

r – геометрична довжина променя світла в атмосфері, км;

$$K = q * r = q * \tau / \sigma = 10 \lg((m''_z - m''_n) / m''_z).$$

Визначаємо оптичну товщину забруднену світлом атмосфери:

$$\tau = (10 \sigma \lg((m''_z - m''_n) / m''_z)) / q.$$

Ослаблення блиску зір з врахуванням світлового забруднення атмосфери:

$$\Delta m = 1,086 \tau$$

Скоректована на величину світлового забруднення проникаюча сила $M_{пр}$ телескопа при візуальних спостереженнях (при втраті світла в оптичній системі 40%):

$$M_{пр} = 2,0 + 5 \lg D - \Delta m;$$

де D – діаметр об'єктива телескопа в мм.

Якщо врахувати збільшення телескопа G , по формулі Боуена:

$$M_{пр} = 3,0 + 2,5 \lg D + 2,5 \lg G - \Delta m;$$

Для визначення проникаючої сили $M_{пр}$ телескопа при візуальних спостереженнях можна користуватись формулою:

$$M_{пр} = m_{ок} - 2 + 2,5 \lg(0,9 * D * G) - \Delta m;$$

D – діаметр об'єктива телескопа в мм;

$m_{ок}$ – зоряна величина зірки, видимої неозброєним оком. (https://en.wikipedia.org/wiki/Limiting_magnitude).

Яскравість фону неба L в телескопі (кд/м²) не залежить від оптичної системи (рефрактор чи рефлектор) і її запишемо, як:

$$L = L_0 * ((1-k)d / d_{вх})^2;$$

L_0 – яскравість фону неба, кд/м²;

d – діаметр вихідного зрачка телескопа, мм;

$$d = D / G$$

$d_{вх}$ = 6 мм – розмір зрачка ока;

$k = 0,4$ – втрати світла в оптичній системі;

G – збільшення телескопа;

D – діаметр об'єктива телескопа, мм.

Нічне небо, на тлі якого ми їх спостерігаємо, зовсім не чорне: воно має цілком вимірну яскравість. Тому, якщо ми збільшимо експозицію, знімок виявиться перетримати, і ми нічого на ньому не побачимо чи не можна збільшити фокусну відстань телескопа таким чином, щоб при цьому діаметрі його світлосила зменшилася. Однак сильно збільшувати фокусна відстань можна, так як зображення зірки виявиться розмитим від атмосферних перешкод. Теорія і досвід роботи на великих телескопах показали – вирішальним фактором, що визначає ефективність телескопа при спостереженні гранично слабких об'єктів, є збільшення відношення діаметра дзеркала телескопа до розміру зображення зірки. Але розміри телескопа ні в якій мірі не применшують значення якості оптичної системи інструменту. Менш важливими, але все ж відчутними є час експозиції і яскравість фону світіння нічного неба. Всі ці фактори потрібно оптимізувати.

Іншими словами, будь-який телескоп не може збільшити поверхневу яскравість протяжних об'єктів, а лише не змінює її при збільшеннях, що не перевищують $D/6$. При великих збільшеннях поверхнева яскравість тільки зменшується. Але так як частина світла завжди втрачається при проходженні через телескоп, то яскравість туманностей завжди трохи менше. Через це фон неба ніколи не буває яскравішим в телескопі, ніж при спостереженні неозброєним оком.

Висновок.

Отже, в даній роботі розроблений підхід до розробки параметрів математичної моделі для розрахунку світлового забруднення атмосфери, що враховує кількість населення міста, кількість та типи світильників, світловіддачу ламп, площу освітленої частини міста. На основі моделі буде створена комп'ютерна програма, яка зможе моделювати карту світлового забруднення.

Джерела посилань.

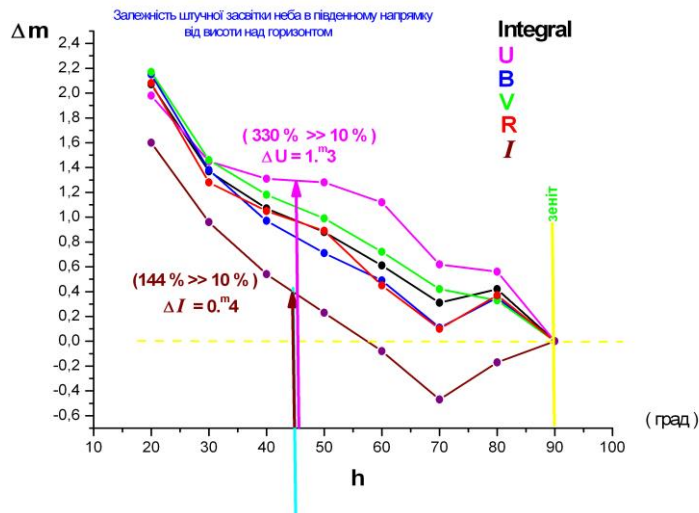
1. Семків Ю.М., Андрійчук В.А., Касаркевич В.С. Світлове забруднення атмосфери: астрономічний аспект проблеми / Юрій Мирославович Семків, Володимир Андрійович Андрійчук, Валерій Станіславович Касаркевич // Журнал «Світло люкс». – 2010. – (Фактор світла).
2. Семків Ю. М., Андрійчук В. А. Світлове забруднення атмосфери: стан та перспективи вирішення // Журнал «Світло люкс». – 2008. - №3. – С.. 74-77. – (Фактор світла
- 3 Енергосбереження та технічна політика в галузі освітлення.// Журнал «Світло люкс». – 2006. - №2. – С.. 17-19.
4. Климчик В.У.: Атмосферная нестабильность и адаптивный телескоп, Ленинград; Наука 1988.
5. Steve Albers, Dan Duriscoe: Modeling Light Pollution from population Data and implication for National Park Service Lands. Protecting Dark Skies.
6. М.И. Крутик, В.П. Майоров Люмены, канделы, ватты и фотоны. Различные единицы - различные результаты измерения чувствительности телевизионных камер на основе ЭОП и ПЗС "Специальная техника", №5, 2002г.,
7. THE JOURNAL OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY OF CANADA Vol. 70, No. 3 JUNE 1976 Whole No. 540 LIGHT POLLUTION IN SOUTHERN ONTARIO By Richard Berry

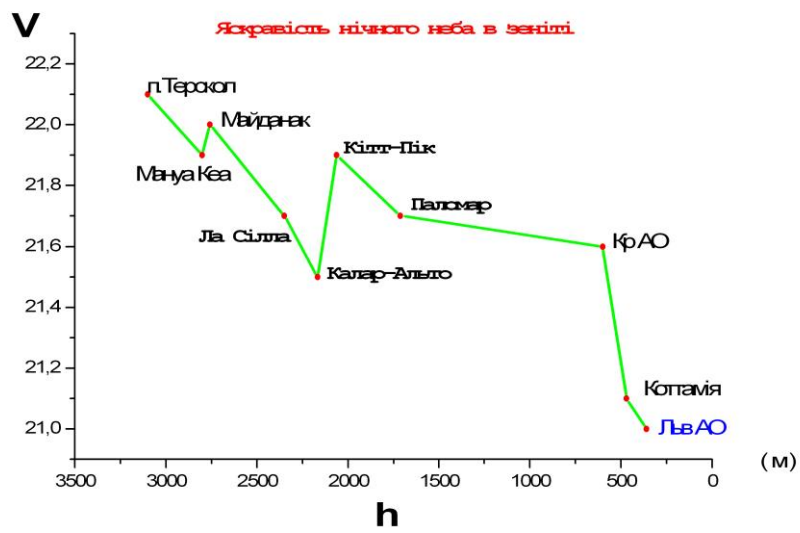
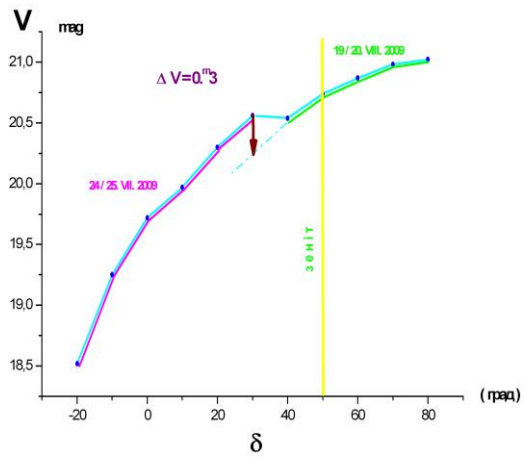
ДОДАТОК 1

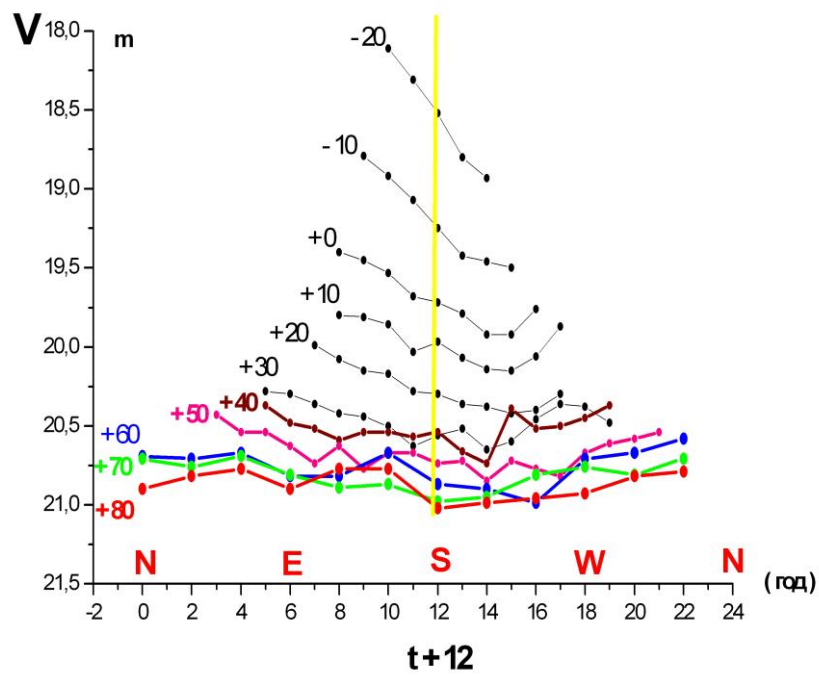
1. Сформувати та реалізувати методику вимірювань яскравості фону нічного неба.
2. Зафіксувати реальне значення фону неба для подальшого контролю за його станом з огляду на його істотне зростання найближчим часом.
3. З'ясувати можливі негативні фактори впливу штучної засвітки фону неба на астрономічні спостереження (фотометрію змінних зір).
4. Порівняти фон неба в смт. Брюховичі з його значеннями для інших обсерваторій.
5. Надати отримані дані щодо просторового розподілу фону нічного неба для прикладних досліджень в Тернопільській державній технічній університет імені Івана Пулюя.

**Алгоритм визначення яскравості нічного неба
при відсутності Місячної та Сонячної засвітки**

1. Порівняння яскравості фону неба з яскравістю РЛД
2. Визначення UBVR_I – зоряних величин РЛД
3. Прив'язка інструментальної фотометричної системи АЗТ-14 до UBVR_I – широкосмугової системи Джонсона.
4. Перерахунок яскравості фону неба з площадки робочої діафрагми діаметром 27 " на площадку діаметром 1 ".
5. Перехід від астрономічних (mag · arcsec⁻²) до технічних (ерг · сек. ⁻¹ · см⁻²) одиниць освітленості.







Яскравість нічного неба в біля полярній області

Смуга	Зоряна величина (mag · arcsec ⁻²)	Точність оцінки блиску $\sigma_{-20} \div \sigma_{+80}$	Потік (erg · s ⁻¹ · cm ⁻²)	Зоряна величина з діафрагми = 27 "
-------	--	---	--	---------------------------------------

		(mag)		(mag)
U	21.8	0.20 ÷ 0.27	$3.0 \cdot 10^{-15}$	14.9
B	21.5	0.10 ÷ 0.18	$1.7 \cdot 10^{-14}$	14.6
V	21.0	0.06 ÷ 0.13	$1.2 \cdot 10^{-14}$	14.1
R	20.5	0.07 ÷ 0.14	$2.3 \cdot 10^{-14}$	13.6
I	20.1	0.15 ÷ 0.25	$1.7 \cdot 10^{-14}$	13.2

Екстремальні зміни фону нічного неба (виміряні через діафрагму діаметром 27 ")
при зміні часового кута на 1 год .

Смуга	$\delta = +20^\circ$	$\delta = +50^\circ$
U	13. ^m 80 – 13. ^m 93	13. ^m 80 - 13. ^m 93
B	13.90 – 13.94	14.30 – 14.34
V	13.25 – 13.31	13.80 – 13.86
R	13.00 – 13.11	13.70 – 13.75
I	13.60 – 13.71	13.90 – 13.96

Прояв максимального впливу штучної засвітки на яскравість фону неба

Смуга	Max	Min	Max - Min	(δ , t_{\max})	Відчутно вплив до δ
Integral	18.^m4	20.^m2	1.^m8	- 20°, 22 ^h	+ 80°
U	18.8	20.6	1.8	- 20°, 22 ^h	+ 60° ??
B	18.8	19.5	0.7	- 20°, 22 ^h	+ 20°
V	18.1	20.2	2.1	- 20°, 22 ^h	+ 20°
R	17.8	19.8	2.0	- 20°, 22 ^h	+ 80°
I	18.0	18.7	0.7	- 20°, 22 ^h	+ 20° ??

Висновки

- Отримані значення потоків світла від нічного неба в напрямку часового кута 20^h для $\delta = -20^\circ$ значно перевищують фон неба в кращих по астроклімату обсерваторіях світу. У В- фільтрі фон складав 18.8^m проти 22.0^m (перевищення в 19 раз), а у V- фільтрі відповідно 18.1^m проти 21.6^m (перевищення в 25 разів).
- В області зеніту та біля північного полюсу небесної сфери яскравість фону неба наближається до дещо кращих умов : У V- фільтрі вона становить 21^m.0 проти 21^m.6, а у В-фільтрі відповідно 21^m.5 проти 22^m.0
- Вплив штучної засвітки на яскравість фону неба для безмісячних ночей спостерігається практично до полярної області небесної сфери.
- Помітна залежність розкиду фону неба в полярній області від спектрального діапазону - потребує детальніших досліджень.
- Яскравість фону нічного неба в напрямку від зеніту на північ зазнає істотно меншого впливу штучної засвітки – тому може прийматись за перше наближення до природного фону нічного неба.

6. Спостережувана змінність фону неба під час електрофотометричних спостережень змінних зірок методом диференційної електрофотометрії (при застосуванні ФЕП) залишається нехтовно малою, порівняно із блиском спостережуваних зірок.
7. Для постійного контролю за станом яскравості нічного неба – необхідно змінити методику спостережень (вибір фіксованих біля-полярних площадок з відсутністю небесних об'єктів яскравіших за $V=14^m$)
8. Для коректного отримання просторового розподілу штучної засвітки нічного неба необхідно перейти до спостережень в горизонтальній системі координат (висота + азимут).
9. Встановлено істотну відмінність ($\Delta m = 0.^m3 \div 0.^m5$) яскравості фону нічного неба в південному напрямку для двох дат спостережень 24/25.VII та 19/20.VIII. 2009 року.
10. Встановлено, що в напрямку на м. Львів на висоті 45° над горизонтом яскравість штучної засвітки неба перевищує природний фон неба на $144 \div 330\%$, в залежності від фотометричної смуги, при гранично допустимому значенні 10% .
11. З метою з'ясування співвідношення природної та штучної складової в яскравості фону нічного неба, та реєстрації очікуваної тенденції його зміни – необхідно продовжити електрофотометричні спостереження в UBVR_I - діапазонах.
12. Додатковим джерелом інформації про яскравість фону нічного неба в V,B - фотометричних смугах є його оцінки під час спостереження змінних зірок для ночей з відсутністю засвітки від Місяця.

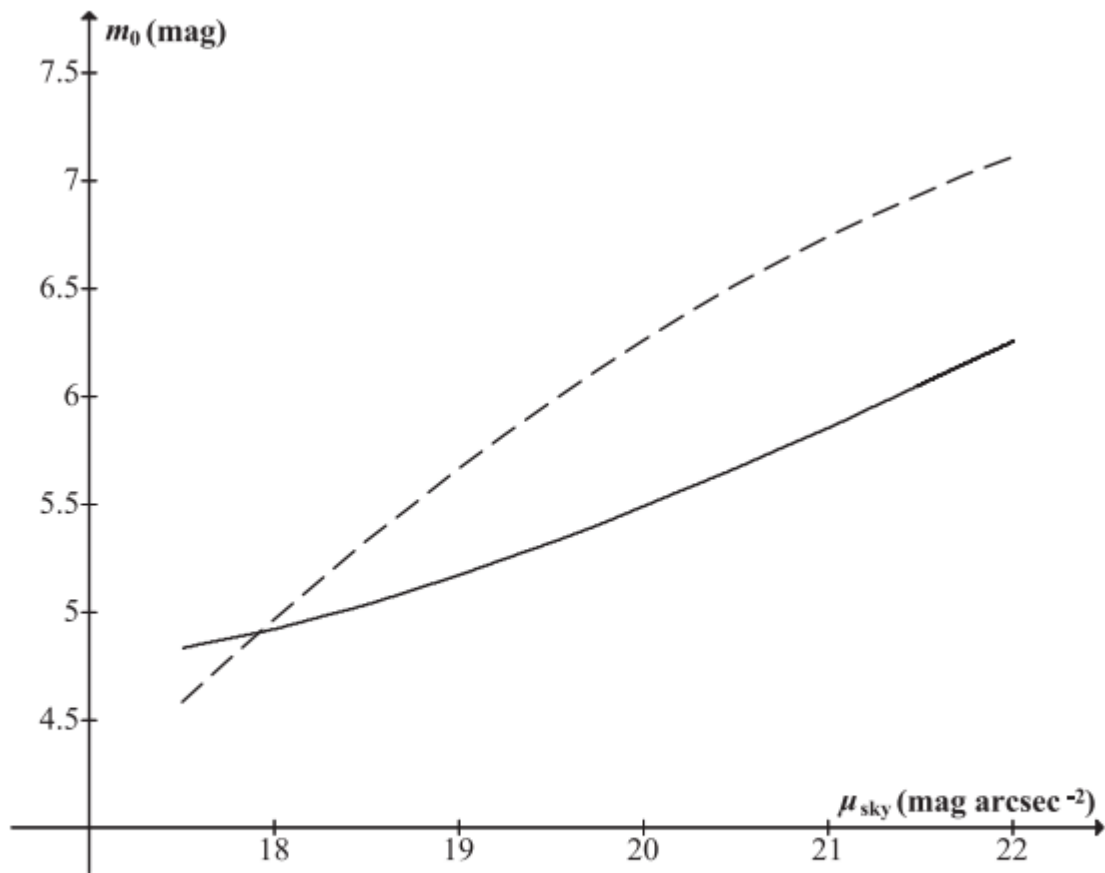


Figure 11. Naked-eye limiting magnitude m_0 as a function of sky surface brightness μ_{sky} . Solid line is equation (53) with $F = 2$; dashed line is Hecht's model (equation 20) without rescaling.

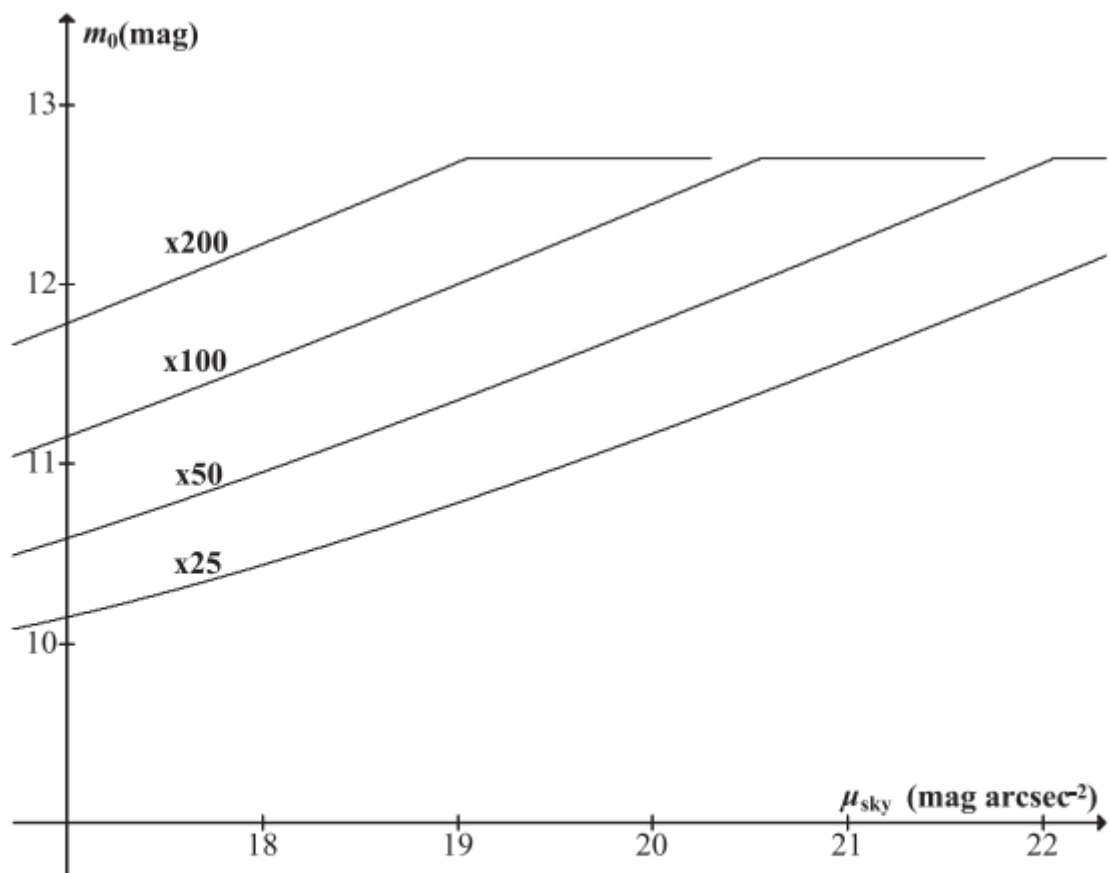


Figure 13. Magnitude limit m_0 as a function of sky brightness μ_{sky} , calculated from equation (68) (with $F_t F_M F_T F = 3.77$, $p = 7$ mm) for a telescope with clear aperture 100 mm at various magnifications. The cut-off $m_{\text{cut}} = 12.7$ mag is due to the background in the eyepiece becoming effectively zero.

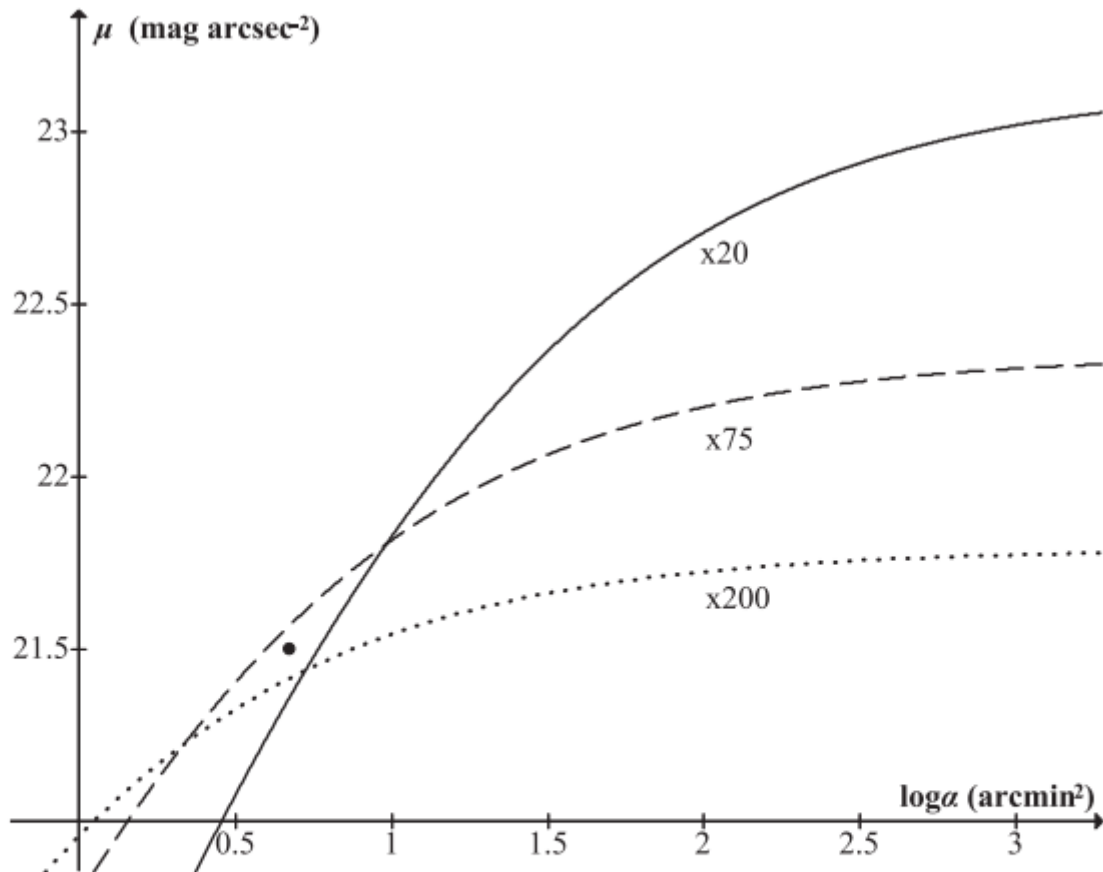


Figure 17. Threshold curves for a 100 mm telescope at various magnifications (with $\mu_{\text{sky}} = 21.4 \text{ mag arcsec}^{-2}$, $p = 6 \text{ mm}$, $F_t = 1.04$, $\phi = 3.55$). The data point is for an object predicted to be visible at $\times 75$ but invisible at the lower and higher powers.

ДОДАТОК 2

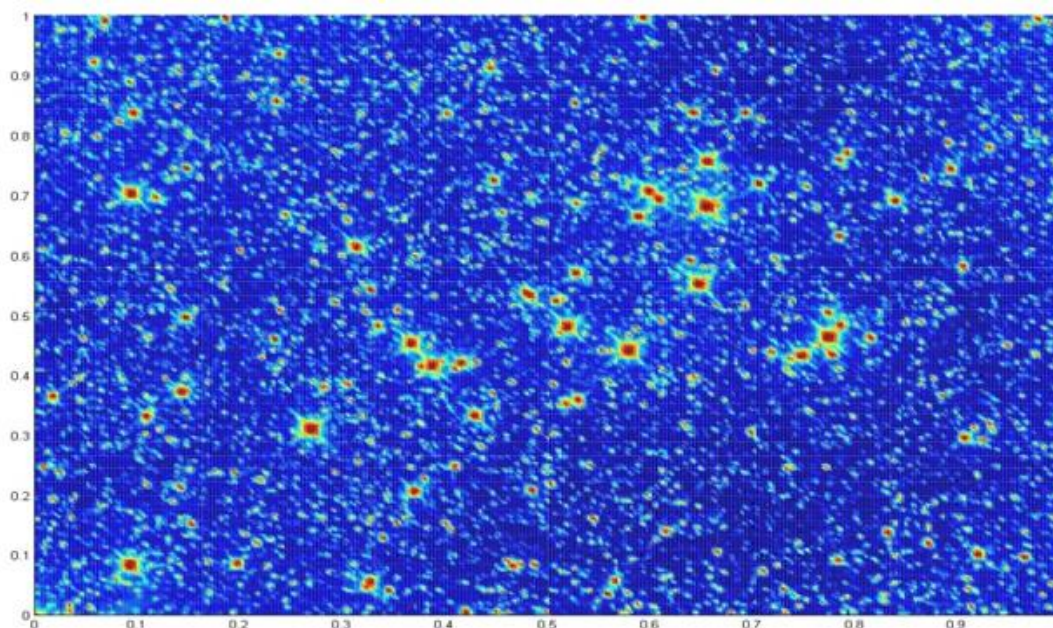
Аналіз світлового забруднення нічного неба за допомогою фотокамери Nikon D7000

Після проведення розрахунків світлового забруднення, для кращого розуміння, яку загрозу становить засвічення нижніх шарів атмосфери, було прийнято рішення, зробити фото зірок. Також, щоб оцінити різницю видимості зірок, використали фото нічного неба яке зроблено над обсерваторією.



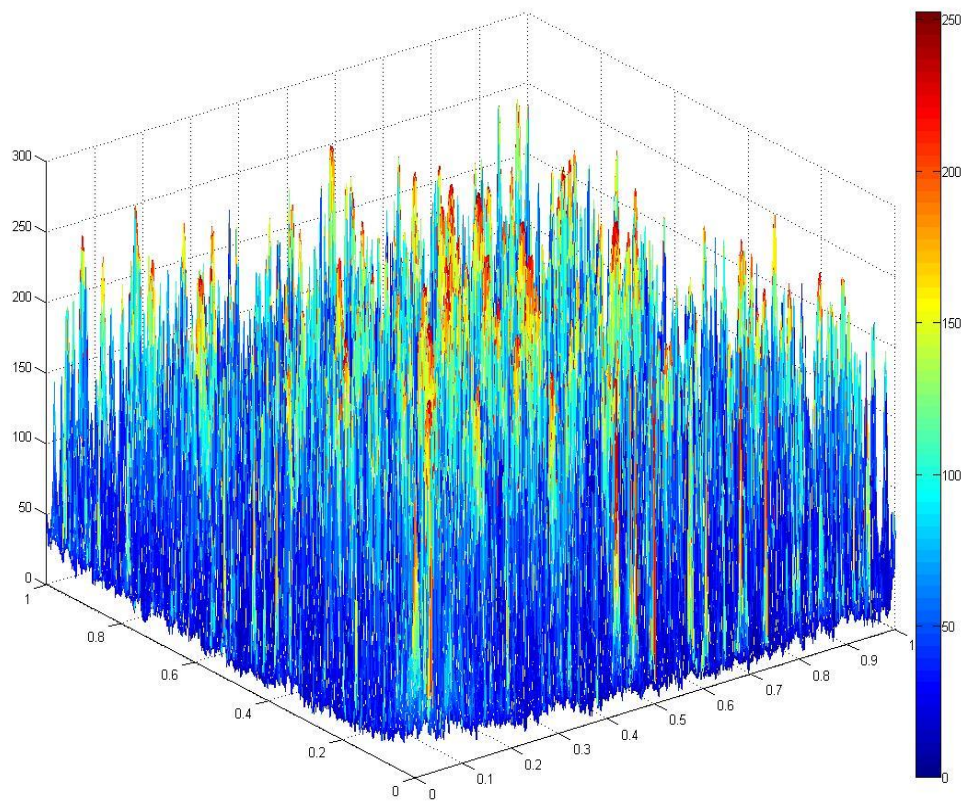
– Зорі над обсерваторією

Після обробки зображення в програмі MATLAB та згідно отриманих результатів можемо представити такі зображення:

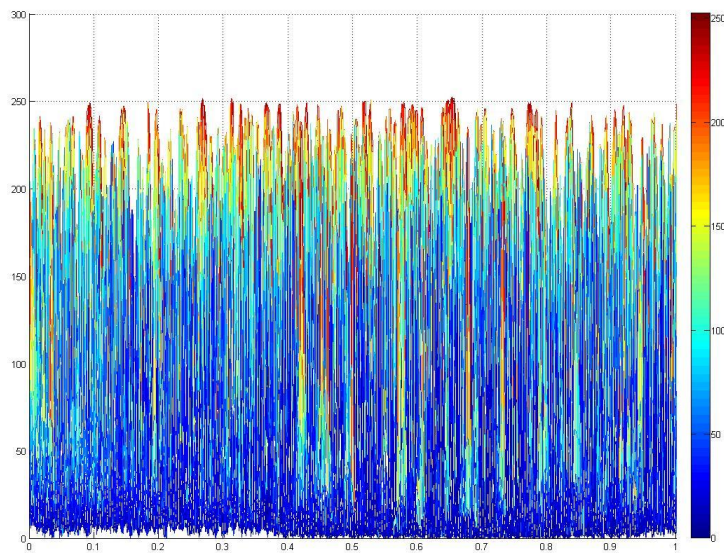


– Зображення після обробки в MATLAB

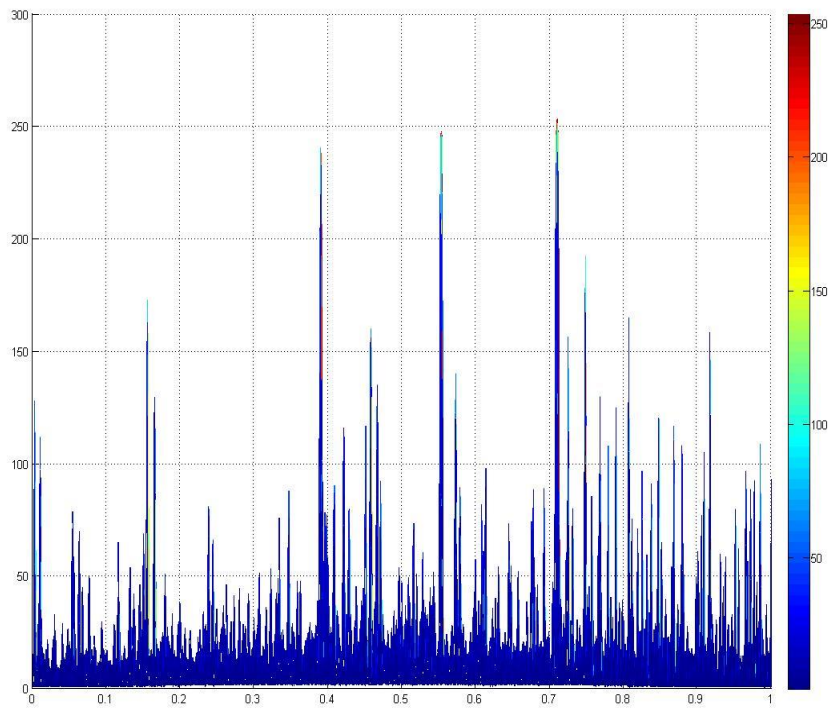
Також можемо представити об'ємне зображення свічення пікселів рис. 4.13.



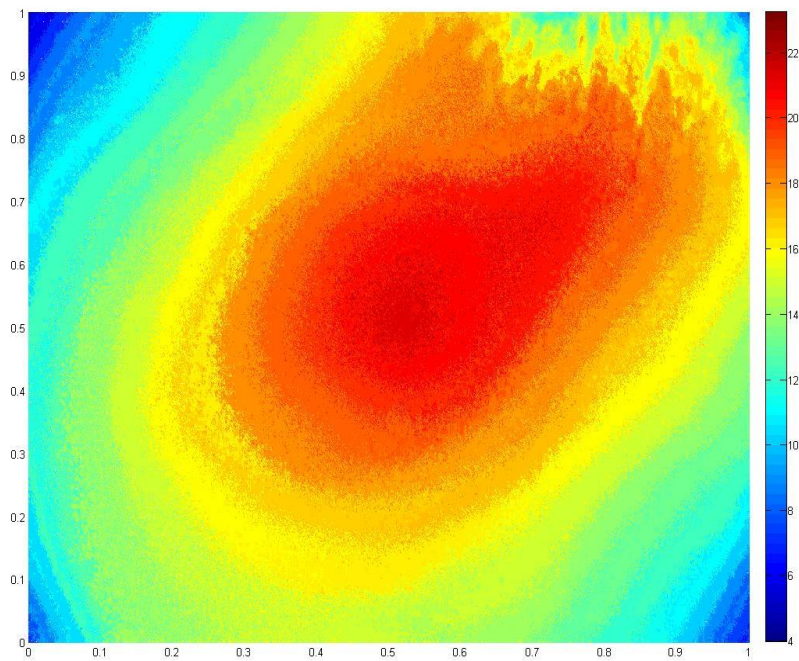
Зображення неба над обсерваторією об'ємне



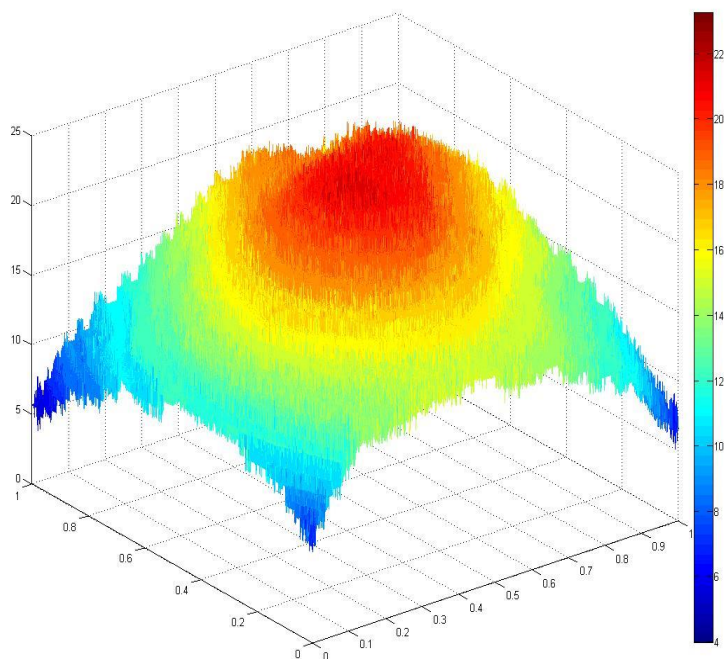
– Зображення неба над обсерваторією в площині XZ
Зображення нічного неба



– Видимість зірок на діаграмі
Зображення нічного неба над містом
Після обробки зображень отримали:



– Зображення неба над містом після обробки



– Об'ємне зображення неба

Якщо порівняти отримані результати зображень то можна помітити різницю у кількості видимих об'єктів на нічному небі над різними населеними пунктами.

Висновки

Проведено розрахунок параметрів градування фотокамери з матричним оптичним перетворювачем, представлено залежності Y-координати від експозиції та відстані до еталонного джерела .

За допомогою фотокамери Nikon D7000 отримано зображення світлового купола та нічного неба.