

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

ННЦ «Інститут біології та медицини»

Кафедра екології та зоології

В. о. зав. кафедри доц. Подобайло А.В.

(звання, прізвище, ініціали)

Протокол № _____ засідання кафедри

від « _____ » _____ 20__ р.

**ВПЛИВ СВІТЛОДІОДНОГО ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ ТА
СНІГОВОГО ПОКРИВУ НА РІВЕНЬ СВІТЛОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ В
МІСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ**

Кваліфікаційна робота бакалавра

студента 4 курсу бакалаврату

денної форми навчання

за спеціальністю 101-Екологія

Храновського Аріяна-Даніїла
Валерійовича

Науковий керівник від кафедри

к.с.г.н., асистент

Карлащук С. В.

Робота виконана _____

під керівництвом _____

Оцінка захисту роботи

Київ – 2025 р

АНОТАЦІЯ

У роботі проведено дослідження за темою впливу вуличного освітлення та снігового покриву на рівень світлового забруднення, використовуючи загальнонаукові методи аналізу та оцінки.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 "Природне і штучне освітлення", розглянуті основні положення та їх практичне застосування.

В ході роботи визначено мету та область застосування дослідження, проведено аналіз ключових аспектів проблематики, здійснено кількісну та якісну оцінку рівня світлового забруднення в п'яти локаціях.

На основі аналізу були сформовані висновки, що дозволяють оцінити ефективність запропонованих підходів. Визначено обсяг показників рівня світлового забруднення, включаючи SQM та NELM.

Встановлено вплив основних факторів на рівень світлового забруднення, були виявлені ключові фактори ризику та способи запобігання збільшення рівня світлового забруднення.

У роботі розглядаються аспекти, що зумовлюють збільшення рівня світлового забруднення, що є актуальними у сучасних умовах.

Кваліфікаційна робота викладена на 49 сторінках, ілюстрована 10 таблицями та 3 рисунками. Список використаних джерел містить 41 найменувань.

Ключові слова: світлове забруднення, штучні джерела випромінювання світла, природні джерела випромінювання світла, ліхтарі вуличного освітлення, сніговий покрив.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

EMB – електромагнітне випромінювання

СЗ – світлове забруднення

ALAN - випромінююче штучне світло вночі

Skyglow – світіння неба

Airglow – світіння повітря

ЕМ-хвилі – електромагнітні хвилі

ІЧВ - інфрачервоне випромінювання

УФВ - ультрафіолетове випромінювання

лк - люкс

IDA - Міжнародна асоціація темного неба

ПДВС - природні джерела випромінювання світла

ШДВС - штучні джерела випромінювання світла

ОС - охоронне світло

Вт - ват

США – Сполучені Штати Америки

NELM - гранична зоряна величина, видима неозброєним оком

SQM – значення рівня яскравості неба

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	2
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. Аналіз літературних джерел	7
1.1. Світлове забруднення в навколишньому середовищі	11
1.1.1. Природні джерела освітлення	12
1.1.2. Штучні джерела освітлення	14
1.2. Наслідки впливу світлового забруднення на живі організми	17
1.2.1. Наслідки впливу світлового забруднення на рослини	17
1.2.2. Наслідки впливу світлового забруднення на тварин	18
1.2.3. Наслідки впливу світлового забруднення на людей	21
1.3. Засоби зменшення інтенсивності світлового забруднення	23
РОЗДІЛ 2. Матеріали та методи досліджень	25
РОЗДІЛ 3. Результати досліджень та обговорення	34
3.1. Світлове забруднення в локаціях дослідження з вимкненими ліхтарями вуличного освітлення	35
3.2. Світлове забруднення в локаціях дослідження з вимкненими ліхтарями вуличного освітлення та наявним сніговим покривом	36
3.3. Світлове забруднення в локаціях дослідження з увімкненими ліхтарями вуличного освітлення	38
3.4. Світлове забруднення в локаціях дослідження з увімкненими ліхтарями вуличного освітлення та наявним сніговим покривом.	40
3.5. Порівняння рівня світлового забруднення в локаціях дослідження за 2015-2024 роки.	42

3.6. Заходи захисту населення від дії СЗ	43
ВИСНОВКИ	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	46

ВСТУП

Проблема світлового забруднення стає дедалі актуальнішою, оскільки в минулі десятиліття проводилося недостатньо досліджень щодо впливу штучного освітлення на живі організми. Лише обмежена кількість наукових робіт була присвячена аналізу наслідків цього явища для людей, тварин та рослин. Активне вивчення світлового забруднення почалося лише наприкінці ХХ століття. Однак ще однією значною проблемою є те, що штучні джерела випромінювання світла, які є основними причинами цього забруднення, залишаються незамінними у сучасному світі.

Застосування таких джерел продовжує викликати занепокоєння через можливі ризики для здоров'я людини. Незважаючи на вже проведені дослідження, повне розуміння потенційної небезпеки світлового забруднення ще не сформоване. Відомо, що воно негативно впливає на нічних комах-запилювачів, таких як лускокрилі, що у свою чергу може мати серйозні економічні наслідки. Окремі дослідження також вказують на зв'язок між впливом штучного освітлення та розвитком онкологічних захворювань, наприклад, раку молочної залози, оскільки багато жінок піддаються впливу світла в нічний час – під час роботи або з інших причин.

Попри те, що світлове забруднення часто не сприймається суспільством як серйозна екологічна загроза, багато науковців уже розглядають його як важливий фактор із потенційно серйозними наслідками для біосфери. У низці розвинених країн вживаються заходи для зменшення цього явища, проте через його масштабність боротьба з ним залишається складним завданням.

Важливим аспектом в дослідженні та вимірюванні рівня світлового забруднення є зовнішні фактори. Варто наголосити, що походження цих чинників може бути різне: ліхтарі вуличного освітлення, що повністю спроектовані та збудовані людиною і компонент природного походження – сніг. Досліджень в галузі впливу вуличного освітлення та снігу, що характеризується світловідбиваючими властивостями, стосовно рівня

світлового забруднення мало. Важливим є виокремити взаємозв'язок між цими складовими та рівнем світлового забруднення.

Мета дослідження: оцінити взаємозв'язок впливу увімкнених ліхтарів вуличного освітлення та снігового покриву на рівень світлового забруднення в житлових районах населених пунктів.

Завдання:

1. Виявити основні джерела світлового забруднення в районі дослідження
2. Оцінити рівень світлового забруднення у районі дослідження за умов відсутності та наявності джерел вуличного освітлення та снігового покриву.
3. Порівняти отримані результати між собою (за шкалою Бортля) та чинними нормативами освітлення в населених пунктах.
4. Виявити зміни рівня світлового забруднення шляхом порівняння супутникових даних за 2015 р. та власних вимірювань за 2024 р. в межах однієї локації.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Світло - це електромагнітне випромінювання (ЕМВ), яке може бути виявлене людським оком. ЕМВ охоплює надзвичайно широкий діапазон довжин хвиль: гамма-промені з довжиною менше 10-11 метрів до радіохвиль з довжинами, що вимірюються метрами. [1]

Світлове забруднення (СЗ) - це порушення ритміки природної освітленості внаслідок дії штучних джерел світла. [2; 3; 4]. Світлове забруднення є одним із фізичних видів забруднення довкілля.[3]. У наукових дослідженнях явище СЗ має тісний взаємозв'язок із явищем ALAN.[5]

Artificial light at night (ALAN) - це штучне світло, що випромінюється вночі, і є основною причиною СЗ.[6]

Переважно наслідком ALAN виявляється явище Skyglow – підсвічування неба, що зменшує видимість небесних тіл через вплив штучного освітлення. Важливо не плутати з Airglow – природним світінням атмосфери, яке виникає через розсіювання сонячного світла і постійно присутнє на нічному небі.[7]

Одним із перших, Амеді Гіллеміном, французьким науковим публіцистом, було згадано СЗ [8]. Вивчаючи той факт, що Амеді Гіллемін, автор наукових робіт з астрономії [9], порушив питання СЗ у ХІХ столітті, можна зробити висновок, що астрономи першими зіткнулися з наслідками СЗ. Підґрунтям цього стало послаблення яскравості зірок в Парижі та Лондоні, яке спостерігалось в другій половині ХІХ століття. На початку ХХ ст. фахівці з астрономії та ентузіасти були змушені шукати нові місця для астрономічних спостережень, оскільки огляди в межах міст стали безрезультатними.[8]

СЗ, що полягає у випромінюванні світла в певному напрямку, що є причиною порушення ритміки природної освітленості, охоплює діапазон

довжин хвиль, що може сприймати і розрізняти людське око. Зокрема, це пояснюється наявністю світлочутливих клітин, таких як палички і колбочки, які виконують функцію розпізнавання кольору. Важливо зазначити, що світлочутливі клітини експресують родопсин. Родопсин – це білковий компонент, що забезпечує функцію зору при недостатньому освітленні. Сонячне світло спричиняє втрату функціональності родопсину, а для його відновлення потрібно 30 хвилин перебування в умовах слабого освітлення. [7; 10]. Необхідним є врахування цього факту під час вимірювання освітленості або проведення астрономічних спостережень.

ЕМВ виникають у надзвичайно широкому діапазоні довжин електромагнітних хвиль, і є необхідним зазначити, яка частина спектра ЕМВ відноситься до світла. Електромагнітні хвилі (ЕМ-хвилі) це хвилі, що виникають через коливання електричного та магнітного полів.[11]. Однією з найважливіших властивостей ЕМ-хвиль є їхня довжина, яка може бути використана для розрізнення декількох типів випромінювання, як показано в таблиці 1.1. Варто наголосити, що видиме світло є єдиним електромагнітним випромінюванням, яке може бути розрізнене людським оком, і становить лише невелику частину електромагнітного спектра (табл. 1.1).[12]. Області спектра, що прилягають до видимої смуги, часто визначають як інфрачервоне з одного боку та ультрафіолетове з іншого.[1]

Таблиця 1.1

Діапазон електромагнітного випромінювання*

Тип випромінювання	Діапазон довжин хвиль, λ
Гамма-промені	<10-12 m
Рентгенівські промені	1 nm - 1 pm
Ультрафіолетовий	400 nm - 1 nm

Видимий	750 nm - 400 nm
Ближній інфрачервоний	2.5 μm - 750 nm
Інфрачервоний	25 μm - 2.5 μm
Мікрохвильові печі	1 mm - 25 μm
Радіохвилі	> 1 mm

**Примітка: складено автором за даними на основі опрацювання та аналізу джерела [12].*

Інфрачервоне випромінювання (ІЧВ) невидиме для людського ока, але його можна відчувати через тепло на шкірі. Інфрачервоний спектр поділяється на три області: ближнє ІЧВ (є найближчим до видимого спектра), середнє ІЧВ та дальнє ІЧВ, кожне з яких відрізняється довжиною хвилі.[13]

Ультрафіолетове випромінювання (УФВ) також не є видимим для людського ока, однак багато комах здатні його розрізняти. Як і ІЧВ, спектр УФВ поділяється на декілька областей: ближня, середня, дальня та екстремальна, що відрізняються між собою різними довжинами хвиль.[14]

Важливо звернути увагу на спектр видимого світла, оскільки він сприймається людським оком на відміну від УФВ та ІЧВ. Коли відбувається розсіювання білого світла через призму або дифракційну ґратку, утворюються кольори видимого спектру. В табл. 1.2 наведено інформацію про діапазон довжин хвиль, що відповідають кожному з кольорів спектра видимого світла. Кольори мають різну довжину хвиль: фіолетовий має найкоротшу довжину, а червоний – найдовшу.

Таблиця 1.2

Світло – довжини хвиль кольорів спектра видимого випромінювання*

Колір	Діапазон довжин хвиль, λ
Фіолетовий	400 nm - 444 nm
Синій	445 nm - 474 nm
Блакитний	475 nm - 509 nm
Зелений	510 nm - 569 nm
Жовтий	570 nm - 589 nm
Помаранчевий	590 nm - 649 nm
Червоний	650 nm - 750 nm

**Примітка: складено автором за даними на основі опрацювання та аналізу джерела [1].*

Дані про рівні освітлення в навколишньому середовищі вдень і вночі за відсутності дії ШДВС наведені в таблиці 1.3.[15]. Рівень освітленості вимірюється в люксах. Зручність цього методу полягає в тому, що за допомогою одного з приладів для вимірювання освітленості – люксметра – отримані дані відповідають спектру видимого світла, тобто світла, яке сприймається людським оком.[5].

Таблиця 1.3

Рівні освітлення вдень і вночі в навколишньому середовищі*

Погодні умови	Освітлення, лк
Сонячне світло	107527
Повне денне світло	10752
Хмарний день	1075

Дуже хмарний день	107
Сутінки	10.8
Глибокі сутінки	1.08
Повний Місяць	0,108
Чверть Місяця	0,0108
Зоряне світло	0,0011
Хмарна ніч	0,0001

**Примітка: складено автором за даними на основі опрацювання та аналізу джерела [15].*

Також варто підкреслити, що в темний час доби при використанні ШДВС рекомендовані рівні освітлення на вулицях наступні: середній рівень освітленості для житлових вулиць має сягати 10 лк, а для комерційних вулиць – 15 лк.[16]

1.1 Світлове забруднення навколишнього середовища

Уже в другій половині XIX століття наслідки світлового забруднення стали помітними, зокрема для астрономів та спостерігачів нічного неба через зниження видимості небесних об'єктів.[8]. Проте значного суспільного розголосу ця проблема набула лише наприкінці XX ст. завдяки ініціативам астрономічної спільноти. Зокрема, у 1988 році в США Міжнародна асоціація темного неба (IDA) порушила питання наслідків явища Skyglow. Важливим індикатором успішності цієї ініціативи є той факт, що наразі до IDA входять тисячі учасників з різних країн світу. В 1989 році питання світлового забруднення було розглянуто Радою Британської астрономічної асоціації – провідної організації Великобританії, що об'єднує ентузіастів-спостерігачів за небом та астрономів. За підсумками обговорення було ухвалене рішення про створення власної ініціативи – «Кампанії за темне небо» (CfDS), що ставила

перед собою амбітну мету не лише призупинити негативні тенденції, пов'язані зі світловим забрудненням, а й знайти шляхи для їх подолання.[7]

У 1991 році CfDS здійснила масштабне дослідження, опитавши представників 200 астрономічних груп, до яких входили як фахівці-астрономи, так і спостерігачів за зоряним небом. Отримані результати виявилися невтішними: із 805 респондентів, чії місця спостережень варіювалися від невеликих сіл до мегаполісів Великобританії, 727 осіб (90,3%) повідомили про наявність явища Skyglow у своїх регіонах.[7]

Варто зазначити, що ще в 1909 році спостереження за зоряним небом у Лондоні було ускладнене через вплив світлового забруднення.[8]. У 1991 році понад 90% опитаних астрономічних груп у Великобританії підтвердили наявність цього явища у своїх місцях спостережень.[7]. Таким чином, менш ніж за століття світлове забруднення суттєво трансформувало можливості астрономічних спостережень, фактично зводячи нанівець культуру споглядання нічного неба, принаймні для мешканців Великобританії.

1.1.1. Природні джерела освітлення

Джерела світлового випромінювання поділяються на дві основні групи: природні та штучні (антропогенні або техногенні). До природних джерел випромінювання світла (ПДВС) належать сонячна енергія, яка надходить безпосередньо від Сонця, місячне світло (є відбитою сонячною енергією), зоряне світло та зодіакальне світло.[7]

Сонце може опосередковано освітлювати нічне небо у вигляді полярного саява. Це явище зумовлене потоком заряджених частинок, які рухаються вздовж магнітного поля Землі та взаємодіють з атомами і молекулами кисню й азоту в атмосфері. Внаслідок цього відбувається їх

збудження, що супроводжується випромінюванням світла, яке проявляється у вигляді характерного червоного та зеленого світіння.[7]

Місяць, хоча й не є самостійним джерелом випромінювання світла, відбиває сонячне світло. Однак ефективність цього процесу є низькою, оскільки альbedo Місяця становить лише 7% (0,7 за шкалою 0–10).[7]. Варто зазначити, що під час фази повного Місяця рівень освітлення навколишнього середовища становить 0,108 лк.[15]. Автор книги *Light Pollution: Responses and Remedies* Боб Мізон наголошує, що до появи штучних джерел світла, місячного світла було достатньо для продовження людської діяльності після заходу Сонця [7]. Спираючись на це, можна порівнювати середній рівень освітленості сучасних комерційних вулиць (15 лк) [16] з природним освітленням за повного Місяця (0,108 лк), враховуючи адаптаційні можливості людського зору. Зокрема, після 30 хвилин перебування у темряві відновлюється функція білка родопсину, який забезпечує зорову чутливість в умовах слабкого освітлення [7].

Зорі випромінюють світло внаслідок термоядерних реакцій, що відбуваються всередині них. Основний механізм цих процесів передбачає перетворення чотирьох протонів водню на ядро гелій-4, при цьому вивільняється значна кількість енергії [7; 17]. Проте освітленість, яку забезпечують зорі, є незначною порівняно з іншими природними джерелами світла і становить приблизно 1/15 від рівня освітленості повного Місяця (0,0072 лк) [7].

Зодіакальне світло виникає внаслідок розсіювання сонячного випромінювання на частинках пилу, що поширені в площині екліптики та заповнюють Сонячну систему [7].

Хоча явище світлового забруднення (СЗ) зумовлене виключно штучними джерелами випромінювання світла (ШДВС) [2; 3; 4], воно, окрім негативного впливу на рослинний і тваринний світ та здоров'я людини, також спричиняє погіршення видимості небесних тіл.[18]. Водночас ПДВС, на відміну від ШДВС, не чинять подібного негативного впливу. Однак існують

певні природні фактори, які можуть знижувати видимість астрономічних об'єктів.[7]

Зокрема, у атмосфері присутні аерозолі – дрібні тверді частки, що спричиняють поступове зниження яскравості та оптичну деформацію астрономічних об'єктів через їхню здатність до поглинання та розсіювання світла. До них належать мінеральний пил із пустель, вулканічний попіл, кристали солей, що випаровуються з поверхні водойм, пилкові зерна, бактерії, спори та промислові викиди. Аерозолі також відіграють важливу роль у процесах конденсації водяної пари в атмосфері. Саме водяна пара є одним із найвагоміших природних чинників, що зменшують інтенсивність світла віддалених об'єктів, навіть за умов ясної погоди [7]. Снігове покриття також є причиною візуального спотворення і зменшення видимості небесних тіл. Враховуючи те, що сніг характеризується наявністю світловідбиваючих властивостей, штучна яскравість нічного неба за умови наявності снігового покриву може збільшуватись до 10%.[30]

1.1.2. Штучні джерела освітлення

Одним із негативних наслідків індустріалізації стало поширення штучних джерел СЗ. Із будівництвом та розвитком міст та урбанізацією підвищується потреба у штучному освітленні, що зумовлює активніше використання ШДВС у порівнянні з сільськими районами. До основних джерел СЗ належать неправильно спроектовані вуличні ліхтарі, освітлення будівель, електронні та освітлені рекламні щити, освітлення паркінгів та спортивних об'єктів, промислові підприємства, а також великі угруповання супутників. [19; 20]

Антропогенні джерела СЗ мають спільні характеристики, зокрема у вигляді явищ Skyglow, світлового порушення та відблисків.[19]

У попередніх розділах було розглянуто явище Skyglow, однак слід загострити увагу на явищі світлового порушення. Світлове порушення виникає внаслідок неконтрольованого поширення світла за межі призначених територій, наприклад, коли освітлення з сусідніх ділянок потрапляє на територію інших об'єктів.[19]

Відблиски – це надмірна яскравість, спричинена ШДВС, яка може суттєво впливати на зорове сприйняття. Згідно з класифікацією Освітлювального інженерного товариства Північної Америки (IESNA), виділяють три типи відблисків:

- Сліпучий відблиск – настільки яскравий, що після його усунення об'єкти залишаються важко розрізняваними.
- Відблиск підвищеної яскравості – знижує зорову продуктивність.
- Дискомфортний відблиск – викликає роздратування, хоча не впливає безпосередньо на зорову функцію.[7]

Попри те, що початковою метою штучного освітлення було створення комфортних умов для діяльності людини після заходу Сонця, деякі джерела СЗ не сприяють підвищенню рівня комфорту, а навпаки – створюють проблеми. Наприклад, світлове забруднення від вуличних ліхтарів можна частково зменшити за допомогою екранування – використання спеціальних матеріалів чи конструкцій для обмеження розсіювання світла.[7]. Однак електронні рекламні щити, що встановлюються переважно з комерційною метою, практично не піддаються екрануванню через світлодіодну конструкцію.[21]

Ще одним значним фактором СЗ є мегасузір'я супутників – групи космічних апаратів, розташовані на низькій навколосемній орбіті (до 2000 км). Вони використовуються для глобального телекомунікаційного зв'язку, проте їхня яскравість може суттєво впливати на астрономічні спостереження. За прогнозами, до 2030 року кількість супутників на орбіті може сягнути 50 000 одиниць, що може збільшити яскравість нічного неба на 250% і зробити невидимими до 50% усіх зірок для земного спостерігача.[22]

Окремої уваги заслуговує поняття «охоронного світла» (ОС) – зовнішнього освітлення будівель, яке встановлюється з метою захисту майна. У суспільстві існує поширене уявлення, що яскраве освітлення допомагає запобігати злочинам, адже злочинці начебто уникають добре освітлених зон через страх бути впізнаними. Крім того, вважається, що випадкові перехожі, ставши свідками злочину, з більшою ймовірністю повідомлять про злодіяння органам правопорядку. Проте аналіз цього питання свідчить, що надмірно потужне ОС може мати зворотний ефект. Часто люди обирають лампи потужністю 300–500 Вт, хоча для освітлення достатньо 150 Вт. Надлишкова яскравість може спричинити відблиски, що ускладнюють розпізнавання обличчя злочинця і створюють сліпі зони для потенційних свідків. Більше того, надмірне освітлення може навіть допомагати злочинцям краще орієнтуватися в обраній для скоєння злочину зоні.[7]

Прикладом є випадок у штаті Коннектикут (США) у 1995 році, коли найбільший осередок злочинності в регіоні виявився яскраво освітленим паркувальним майданчиком біля супермаркету. Один із заарештованих зловмисників зізнався, що яскраве світло полегшувало йому здійснення крадіжок. Крім того, звіт урядового порталу Великобританії The Home Office Crime Survey за 2000 рік показав, що ймовірність скоєння злочину в будинках із ОС не відрізняється від рівня злочинності в будинках без такого освітлення.[7]. З огляду на ці факти можна зробити висновок, що проблема злочинності є насамперед соціальною, а не технічною, і її вирішення не зводиться лише до регулювання рівня штучного освітлення.

1.2. Наслідки впливу світлового забруднення на живі організми

1.2.1. Наслідки впливу світлового забруднення на рослини

Рослини, подібно до тварин, потребують чергування світла і темряви впродовж добового циклу для нормального розвитку та підтримання ключових фізіологічних процесів, таких як проростання насіння, формування квіток та опадання листя. Ці процеси залежать від правильної інтенсивності, тривалості та спектрального складу світла [23].

Фотосинтез – це процес синтезу органічних речовин із вуглекислого газу та води з використанням сонячної енергії, що є критично важливим для життєдіяльності автотрофних організмів. Рослини поглинають випромінювання світла з довжинами хвиль в діапазоні 400–700 нм, з піковою чутливістю в синій і червоній частинах спектра. Переважно ШДВС мають подібний спектральний склад, через що потенційно може відбуватися вплив на фотосинтетичні процеси [23].

Відомо, що білі світлодіоди (LED), які широко використовуються в міському освітленні, можуть порушувати темнову фазу фотосинтезу [23].

СЗ особливо сильно впливає на рослинні спільноти в середовищах, які природно є темними, таких як печери. Штучне освітлення, що встановлюється у печерах з метою забезпечення безпечного пересування туристів, сприяє розвитку специфічних угруповань – Lampenflora, до яких належать гриби, водорості, мохи та папороті. Ці організми, наприклад, поширені в печерах Вайтомо (Нова Зеландія) і мають значний вплив на екосистему печер, порушуючи трофічні взаємодії та зменшуючи кількість аборигенних видів. Окрім того, Lampenflora продукує слабкі органічні кислоти, які спричиняють руйнування вапнякових утворень. Відбите світло від стін печери сприяє поширенню цих організмів на значних площах, а не лише в безпосередній близькості від джерел освітлення [23].

Висока інтенсивність штучного освітлення може також пошкоджувати фотосинтетичний апарат рослин, знижуючи ефективність транспорту електронів у фотосистемі II. Це може призводити до зменшення продуктивності фотосинтезу, сповільнення росту та зниження загальної біомаси рослин. Водночас рослини мають певний адаптаційний потенціал до змін умов освітлення. Наприклад, мохи роду *Fontinalis* пристосовуються до високої інтенсивності світла шляхом зменшення кількості хлоропластів. Подібна адаптивна відповідь спостерігається у куща *Phlomis fruticosa* L., у якого кількість хлоропластів також зменшується за умов інтенсивного освітлення [23].

1.2.2. Наслідки впливу світлового забруднення на тварин

СЗ має суттєвий вплив на тваринний світ, зокрема порушує циркадні ритми – циклічні зміни біологічних процесів, що регулюються чергуванням світлого та темного періодів доби. Важливою умовою підтримання цих ритмів є стабільна зміна освітленості відповідно до природного циклу день-ніч. [23]

До негативних наслідків СЗ також належать порушення міжвидових взаємодій між хижаками та їх жертвами, дезорієнтація під час міграцій, зниження рівня денної активності, а також погіршення комунікації між особинами одного виду. [23]

Низка комах-запилювачів здійснює запилення переважно в нічний час. Польові дослідження у темний період доби є складними у виконанні, однак було встановлено, що до нічних запилювачів належать представники ряду *Lepidoptera*, зокрема комахи з родин *Sphingidae*, *Noctuidae* та *Geometridae*. [24]

Науково підтверджено, що випромінювання з короткою довжиною хвиль (особливо в діапазоні 400 нм, тобто фіолетовий колір спектра) є привабливим для метеликів. Випромінювання ШДВС може спричиняти негативні наслідки для нічних комах, оскільки вони контактують із гарячими компонентами ламп,

що призводить до пошкодження або загибелі. Крім того, спостерігається зміна поведінки молі: вони стають більш вразливими до хижаків, таких як кажани, які пристосовуються до полювання поблизу джерел штучного світла. [24; 25]

Попри обмеженість досліджень щодо впливу СЗ на водні екосистеми, наявні дані підтверджують, що ALAN впливає на харчову поведінку певних видів риб. Зокрема, було проведено шеститижневий експеримент із молоддю сонячного окуня синьозябрового (*Lepomis macrochirus*), під час якого досліджували вплив різних рівнів освітлення (темрява, 1 лк, 4 лк, 12 лк, 12 лк із миготінням). Виявилось, що постійне освітлення не мало значущого впливу на ефективність захоплення здобичі, проте миготливе світло (імітація фар автомобілів) суттєво зменшувало її ефективність, обмежуючи можливості живлення молодих особин.[26]

Також встановлено, що ALAN сприяє підвищенню рівня хижацтва серед риб родини лососевих (*Salmonidae*). У дельті річки Сан-Хоакін (Каліфорнія, США) було зафіксовано, що в перші години після заходу Сонця суттєвих відмінностей у рівні хижацтва між освітленими та неосвітленими ділянками не спостерігалось. Проте через 3–5 годин після заходу Сонця, за умов ALAN спостерігалось суттєве зростання щільності хижаків пропорційно до рівня освітлення. За відсутності ALAN така тенденція не фіксувалася в жодний інший період доби, що може бути проявом негативного впливу СЗ на харчову поведінку риб [27].

СЗ також негативно позначається на репродуктивній поведінці морських черепах (*Cheloniidae*). Самки відкладають яйця на піщаних пляжах, що обираються за критерієм мінімального освітлення. Проте внаслідок ALAN (причиною якого може бути надмірна дія вуличних ліхтарів, освітлення прибережних будівель) відбувається порушення репродуктивної поведінки через складність пошуку безлюдного і неосвітленого місця для гніздування.[29]

Інстинктом молодняка черепах є рух до найбільш яскравого орієнтиру. У природних умовах таким орієнтиром є Місяць, освітленість якого становить

0,108 лк згідно з табл 1.3. Проте в урбанізованих районах найбільш яскравими стають штучні джерела випромінювання світла, як вуличні ліхтарі або ж рекламні електронні щити, а рекомендований рівень вуличного освітлення в житлових районах становить 10 люксів [17]. Дане явище може стати причиною виникнення дезорієнтації, внаслідок чого молоді черепахи прямують у напрямку штучного освітлення, що може призводити до їхньої загибелі через зневоднення або фізичні пошкодження [28].

Світлове забруднення негативно впливає на обсяг сну у птахів. В межах одного з експериментів дослідники розподілили птахів на дві групи: перша (контрольна) утримувалася в природних умовах темряви, а друга піддавалася впливу ALAN. У результаті було встановлено, що штучне освітлення в нічний час скорочує тривалість сну та змушує птахів раніше залишати гнізда. Крім того, птахам, що піддавалися впливу СЗ, потрібно було більше часу для засинання.[2]

Збільшення яскравості вуличного освітлення також підвищує ризик загибелі птахів під час міграцій. ALAN спричиняє їхню дезорієнтацію, а яскраве освітлення хмарочосів у нічний час є однією з основних причин зіткнення птахів із будівлями, що призводить до масової загибелі [29].

Ще одним наслідком СЗ є порушення вокалізації птахів. В особин виду дрозда мандрівного (*Turdus migratorius*) та дрозда співочого (*Turdus philomelos*) дослідники зафіксували зміщення часу початку співу: у першого виду спів розпочинався раніше в освітлених зонах, а в другого – навпаки, раніше співали особини, що перебували в неосвітлених місцях. Це вказує на можливі порушення внутрішньовидової та міжвидової комунікації, що може впливати на успішність пошуку партнера та територіальну поведінку. [23]

1.2.3. Наслідки впливу світлового забруднення на людину

З розвитком цивілізації традиційно вважається, що кількість штучних джерел випромінювання світла (ШДВС) зростає. Вперше вплив світлового забруднення (СЗ) став помітним серед астрономів і спостерігачів неба, оскільки одним із наслідків СЗ є деформація та зменшення видимості астрономічних об'єктів.[7]. Згідно зі Світовим атласом штучної яскравості нічного неба, який містить кількісну оцінку масштабів СЗ на планетарному рівні, понад 80% населення Землі, а також понад 99% жителів США та Європи мешкають у зонах із освітленим нічним небом. Більш ніж третина людства не має можливості спостерігати Чумацький Шлях, зокрема 60% європейців і майже 80% жителів Північної Америки. Крім того, 88% населення Європи та майже половина жителів США зазнають впливу штучного освітлення вночі.[30]. Попри те, що наведені факти не демонструють прямого негативного впливу СЗ, вони свідчать про зникнення естетичної складової споглядання нічного неба для людства.

Дослідники також вважають, що через поширення СЗ у глобальному масштабі тривалість світлового дня штучно подовжилася, а період темряви скоротився з 12–15 годин до 5–6 годин. Це призвело до порушення секреції мелатоніну – гормону, що виконує низку важливих функцій, зокрема протипухлинну, регуляцію секреції інших гормонів та контроль кров'яного тиску. У нормальних умовах вивільнення мелатоніну в кров відбувається в середині ночі, однак унаслідок подовження світлового дня цей процес зазнає порушень. На сьогодні існує припущення, що сучасна людина характеризується дефіцитом мелатоніну.[3]

Дослідження також вказують на те, що ALAN може підвищувати ризик розвитку онкологічних захворювань, зокрема раку молочної залози у жінок, які працюють у нічні зміни. Це пояснюється тим, що коли жінкам-донорам вночі вмикали яскраве світло з метою зниження ендогенних рівнів мелатоніну, їхня кров виявлялася неспроможною пригнічувати ріст ракових клітин.[31]

Попри те, що ця інформація потребує подальшого наукового підтвердження, існують дані, які свідчать, що вплив ШДВС перед пробудженням може підвищувати кардіометаболічні ризики. В одному з досліджень група учасників зазнала впливу світлового опромінення перед пробудженням, що спричинило підвищення рівня загального холестерину, тригліцеридів і ліпопротеїнів низької щільності.[32]

Відомо, що хвороби, пов'язані з підвищеним кардіометаболічним ризиком, зокрема ожиріння, можуть сприяти розвитку нейродегенеративних захворювань. Відповідно, порушення циркадних ритмів унаслідок СЗ та пов'язані з цим метаболічні зміни можуть бути пов'язані з підвищеним ризиком розвитку нейродегенеративних захворювань, включаючи хворобу Альцгеймера. Існує гіпотеза, що зміни в циркадних ритмах можуть викликати судинні зміни та порушення кровопостачання, які сприяють розвитку хвороби Альцгеймера, проте це питання потребує подальших досліджень. [33]

Отже, світлове забруднення, спричинене штучними джерелами випромінювання світла, має значний вплив на астрономічні спостереження, здоров'я людини та екосистеми. Воно порушує секрецію мелатоніну, що може підвищувати ризик розвитку онкологічних та кардіометаболічних захворювань. Крім того, штучне освітлення може сприяти розвитку нейродегенеративних захворювань, таких як хвороба Альцгеймера. Ці дані потребують подальшого наукового підтвердження, але вже свідчать про значний вплив світлового забруднення на здоров'я людини та екосистеми.

1.3 Засоби зменшення інтенсивності світлового забруднення

Світлове забруднення (СЗ) є глобальною проблемою, однак не існує окремої галузі, спільноти чи країни, яку можна звинуватити у її виникненні. Це явище є результатом залежності людства від зовнішнього електричного освітлення, що триває понад 200 років. Проте позитивним є зростання

усвідомлення того, що методи уникнення темряви можуть мати небажані наслідки.[20]

Людська діяльність після заходу Сонця є неминучою, однак технічний прогрес та розвиток виробництва мають бути спрямовані на мінімізацію негативних ефектів, пов'язаних із СЗ. Для цього необхідно враховувати певні принципи проектування вуличних освітлювальних приладів [34; 35]:

1. Освітлювальні прилади повинні мати чітке призначення. Якщо йдеться про освітлення приватних територій, власники мають оцінити доцільність встановлення електричних джерел світла. В окремих випадках альтернативою може стати використання матеріалів із світловідбивними властивостями, якщо постійне інтенсивне освітлення не є необхідним.
2. Необхідність екранування та спрямованого світлового потоку. Вуличні ліхтарі мають бути оснащені системами екранування, а світловий потік повинен спрямовуватися виключно на територію, що підлягає освітленню. Це дозволить уникнути поширення світла за межі необхідної зони.
3. Оптимізація рівня інтенсивності освітлення. При проектуванні освітлювальних систем слід дотримуватися законодавчих норм кожної країни. В Україні ці вимоги визначені державними будівельними нормами (ДБН В.2.5-28-2018 "Природне і штучне освітлення"), затвердженими Наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 03.10.2018 № 264.
4. Використання світла лише за потреби. Для регулювання освітлення можуть застосовуватися автоматизовані системи керування – таймери або датчики руху, які забезпечують вмикання освітлення лише у необхідний час. Це сприяє як зниженню рівня СЗ, так і зменшенню витрат електроенергії.
5. Вибір джерел світла з теплими відтінками. Освітлювальні прилади мають випромінювати світло теплих кольорів, оскільки комбінація синього і білого спектра може викликати відблиски та погіршення зорового сприйняття у порівнянні з лампами теплого світла.[35; 36]

Окремо слід розглянути проблему мегасузір'їв супутників, що вже були згадані у підпідрозділі 1.1.2 «Штучні джерела випромінювання світла». Як зазначалося раніше, великі угруповання супутників суттєво зменшують видимість небесних об'єктів. Для мінімізації цього негативного впливу необхідно дотримуватися таких рекомендацій[22]:

1. Спостереження за нічним небом є спільним завданням, яке потребує координації між зацікавленими сторонами.
2. Сукупний вплив супутників на яскравість нічного неба не повинен перевищувати 10% від рівня природного фону.
3. Яскравість супутників має бути нижчою за поріг, що дозволяє їх виявлення неозброєним оком.
4. Розклади запусків і параметри орбіт мають публікуватися заздалегідь, щоб забезпечити можливість врахування їхнього впливу на астрономічні спостереження.[23]

Підсумовуючи вищезазначене, варто акцентувати увагу, що світло та ШВДС є обов'язковими атрибутами в сучасності. Лише необачне використання цих складових може мати негативні наслідки для живих організмів. Варто лише знайти баланс та міру, коли використання ШДВС перестає мати негативні ефекти.

РОЗДІЛ 2.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження впливу вуличного освітлення та снігового покриву на рівень світлового забруднення проводилося на території смт Глеваха Фастівського району Київської області **у період (вказати)**

Вимірювання рівня СЗ проводилося на території приватного сектора , залізничної станції «Глеваха» (рис. 2.1), міського парку (рис 2.2), Глевахівського академічного ліцею та житлового багатоквартирного будинку пострадянського типу (рис. 2.3).

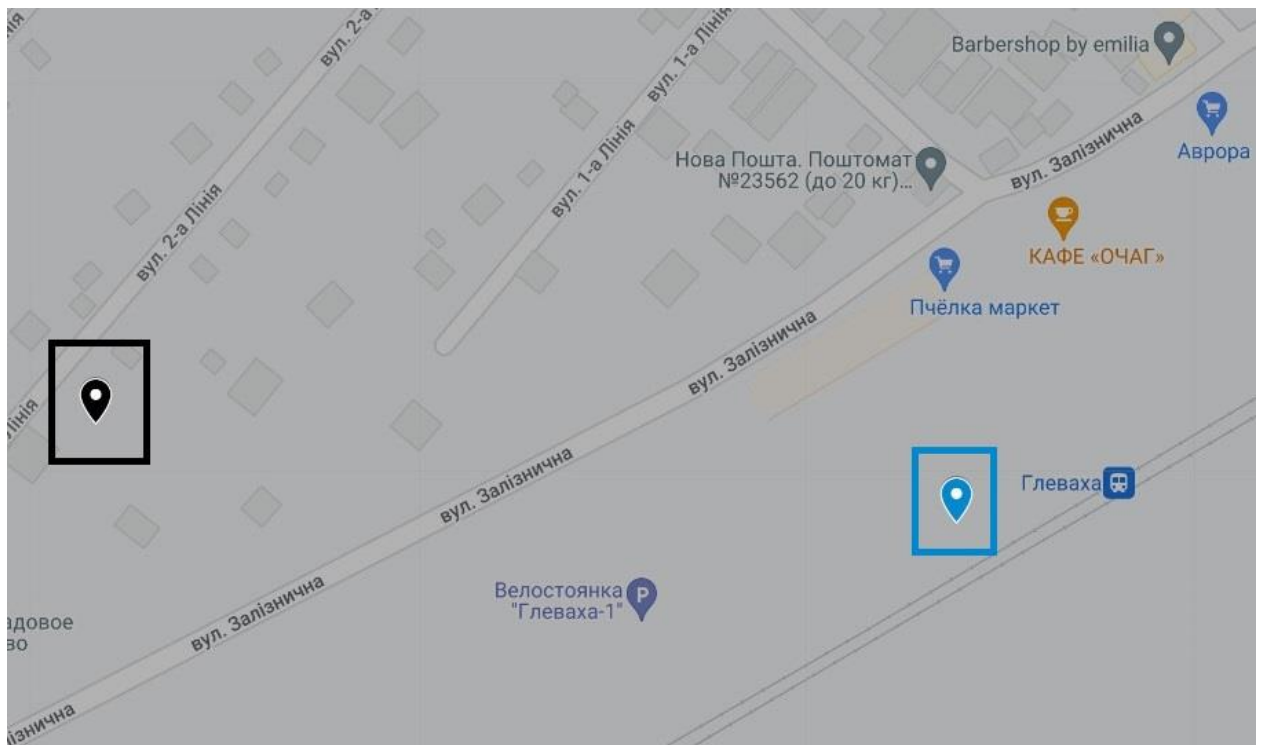


Рис. 2.1. Карта з позначеними місцями проведених вимірювань на території приватного житлового сектора та залізничної станції «Глеваха» в смт. Глеваха

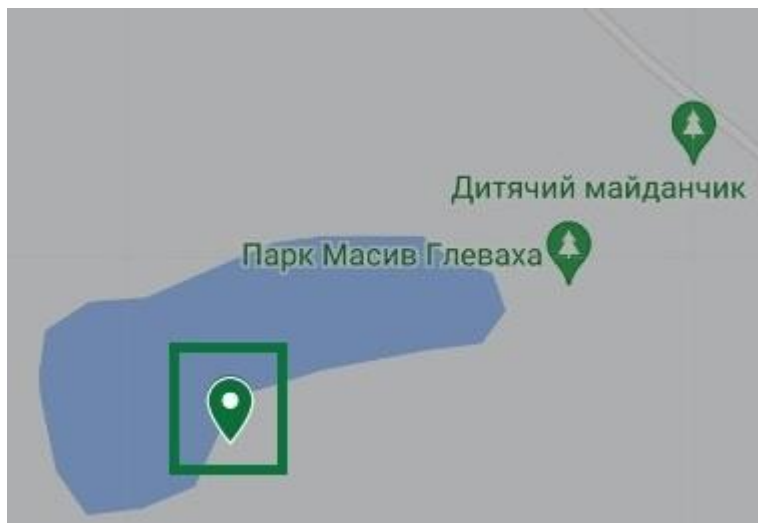


Рис. 2.2. Карта з позначеним місцем проведених вимірювань на території місцевого парку в смт. Глеваха

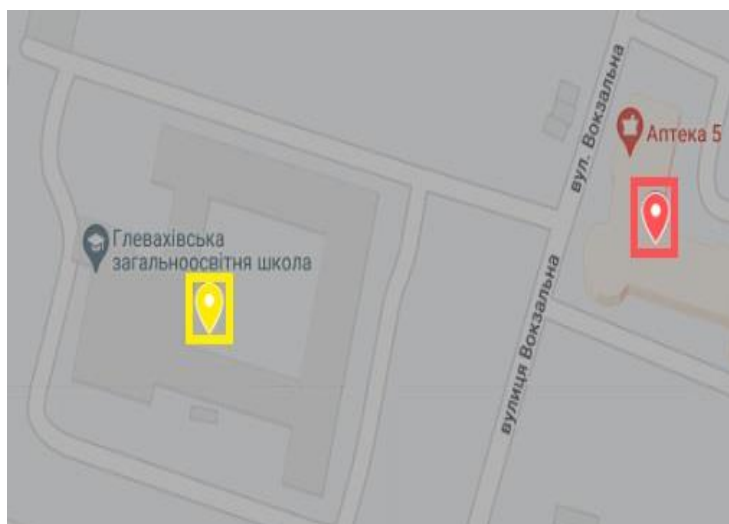


Рис. 2.3. Карта з позначеними місцями проведених вимірювань на території Глевахівського академічного ліцею та багатоквартирного будинку пострадянського типу в смт. Глеваха

Варто зазначити, що на локаціях наявні лише світлодіодні ліхтарі вуличного освітлення. Територія приватного сектора майже повністю позбавлена ліхтарів вуличного освітлення на відміну від інших локацій.

Відповідно до методичних рекомендацій щодо вимірювання рівня СЗ, у рамках проведеного дослідження було застосовано два підходи до збору даних.[5]. Перший метод базувався на використанні мобільного додатка

«DarkSkyMeter», призначеного для визначення яскравості нічного неба. Другий метод передбачав застосування люксметра з метою вимірювання середньої горизонтальної освітленості у визначених точках спостереження.

Принцип роботи мобільного додатка «DarkSkyMeter» ґрунтується на фотофіксації нічного неба в зеніті. Вимірювання проводяться в темний час доби. Результати, отримані за допомогою цього додатка, інтерпретуються відповідно до шкали Бортля. При вимірюванні цим методом похибка складає від 0,05 до 0,2 від значення вимірюваної фізичної величини. [38]. Слід зазначити, що шкала Бортля являє собою дев'ятирівневу градацію, що характеризує рівень астрономічної видимості небесних об'єктів, враховуючи вплив ШДВС. Вона дозволяє здійснити кількісну оцінку світлового забруднення та перешкод, викликаних СЗ, шляхом аналізу двох основних показників: граничної зоряної величини, видимої неозброєним оком (naked-eye limiting magnitude, NELM), одиницею вимірювання якої є зоряна величина (m), та яскравості неба за шкалою SQM (Sky Quality Meter), що вимірюється в одиницях $\text{mag}/\text{arcsec}^2$. Зі збільшенням номера класу підвищується яскравість нічного неба. Показники NELM і SQM зростають у бік меншого рівня світлового забруднення. У таблиці 2.1 наведено класи, їхні назви, значення NELM і SQM, а також відповідний опис згідно зі шкалою Бортля. [36]

Таблиця 2.1

Шкала Бортля - дев'ятирівнева шкала яскравості нічного неба*

№	Назва класу	NELM, m	SQM, $\text{mag}/\text{arcsec}^2$	Опис
1	Ідеально-темне небо	7.6-8.0	21.7-22.0	Зодіакальне світло видно цілком
2	Істинно-темне небо	7.1-7.5	21.5-21.7	Зодіакальне світло виразно жовте й досить яскраве

3	Сільське небо	6.6-7.0	21.3-21.5	Зодіакальне світло видно навесні та восени, колір відрізняється важко
4	Сільсько-приміське небо	6.1-6.5	20.4-21.3	Зодіакальне світло видно досить добре, але не простягається навіть до половини небосхилу
5	Приміське небо	5.6-6.0	19.1-20.4	Навіть у найбільш ясні ночі видно лише слабкі прояви зодіакального світла
6	Засвічене приміське небо	5.1-5.5	18.0-19.1	Навіть у ясні ночі не видно жодних ознак зодіакального світла
7	Приміське/міське небо	4.6-5.0	18.0-19.1	Інтенсивні дії ШДВС видно у всіх напрямках
8	Міське небо	4.1-4.5	<18.0	Небо білувате або рудувате, легко можна прочитати заголовки газет вночі
9	Небо міського центру	≤ 4.0	<18.0	Все небо яскраво освітлене, навіть у zenіті

**Примітка: складено автором за даними на основі опрацювання та аналізу джерела [36].*

Також для вимірювання рівнів освітленості використано міні-люксметр UT383.

Функціонування люксметра базується на уловленні світлового потоку кремнієвим фотоелементом, який генерує електричний сигнал відповідно до інтенсивності отриманого випромінювання. Отриманий сигнал проходить подальшу обробку через аналого-цифровий конвертер, що трансформує його

у цифровий формат. Результати вимірювань відображаються на 4-розрядному рідкокристалічному дисплеї в одиницях люкс (lux) або фут-кандела (fc), що дає змогу проводити аналіз відповідно до міжнародних стандартів вимірювання світлового потоку.

Люксметр UT383 оснащений чотирма функціональними кнопками, кожна з яких виконує певну задачу: кнопка живлення, що вмикає та вимикає пристрій при тривалому натисканні; кнопка LUX/FC, яка змінює одиниці вимірювання між люксами та фут-канделами; кнопка MAX/MIN, що дозволяє відобразити максимальні або мінімальні зафіксовані значення освітленості; кнопка HOLD/BL, яка при короткому натисканні фіксує поточні показники, а при тривалому утриманні активує підсвічування дисплея для зручності роботи в умовах недостатнього освітлення.

Технічні характеристики приладу:

- одиниця виміру:
 1. рівень освітлення – люкс (лк);
 2. рівень освітлення – фут/кандел = 10,76 люкс;
- діапазон та точність:
 1. 0-9999 лк \pm (4% +8);
 2. \geq 10000 лк \pm (5%+10);
- випромінюючий дисплей – 4-розрядний РК;
- частота вибірки даних – 2 Н/з;
- робочий діапазон температур – від 0 до +40°C;
- робоча вологість – від 0 до 80 %;
- тип датчику – кремнієвий фотоелемент;
- блок живлення – 3 батареї 1.5 В ААА;
- параметри 160×50×28 mm;
- вага – 118 г.

Результати вимірювання рівнів освітленості, отримані за допомогою люксметра, були зіставлені з чинними будівельними нормами освітлення, викладеними у ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення»,

затвердженому Наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 03.10.2018 № 264. (наведіть у списку літератури та дайте посилання)

Основні нормативні показники, з якими проводилося порівняння результатів вимірювань, включають:

- середня горизонтальна освітленість (лк) на ділянці майданчиків масового відпочинку, майданчиків перед театрами і кінотеатрами, виставковими павільйонами і відкритими естрадами; майданчиків для настільних ігор на території загальноміських парків має становити 10 лк.
- середня горизонтальна освітленість (лк) на ділянці головного входу в будівлю має становити 6 лк.[37].

Вимірювання рівня світлового забруднення в зазначених локаціях відбувалися в часовому проміжку 22:00-23:00 для виключення фактору наявності денної освітленості. Варто зазначити, що ліхтарі вуличного освітлення на території всієї місцевості були світлодіодними і характеризуються наявністю освітлення холодного відтінку білого кольору. Оцінка рівня СЗ відбувалася в чотирьох умовах: за наявності вуличного освітлення, в умовах аварійного вимкнення світла і аналогічних умовах за наявністю снігового покриву. Погодні умови в усі дні спостережень були однакові, а саме – ясне небо.

Також варто загострити увагу на зовнішніх факторах, що можуть сприяти отриманню відмінностей між рівнями світлового забруднення на всіх локаціях. Територія місцевого парку знаходиться віддалено від житлових будинків та автомобільних доріг. Глевахівський академічний ліцей також є віддаленим стосовно житлових будівель. Натомість перрон залізничної станції «Глеваха» розташований паралельно до Одеської траси (автомобільний шлях міжнародного значення; автошлях М05), де ліхтарі вуличного освітлення завжди увімкнені в умовах темряви. Територія житлового багатоквартирного будинку характеризується наявністю освітлення від миготіння фар автомобілів та постійного освітлення з вікон мешканців (навіть за умов

аварійного припинення електропостачання). Приватний житловий сектор характеризується майже повною відсутністю ліхтарів вуличного освітлення та продукуванням освітлення мешканцями.

За наявністю увімкнених ліхтарів вуличного освітлення обирались ділянки всередині локацій з середньою горизонтальною освітленістю в 10 люксів. Це аргументовано тим, що цей кількісний показник є найменшим значенням, рекомендованим до застосування на території майданчику масового відпочинку людей (загальноміських парків), то ж для інших локацій був обраний аналогічний показник. Також варто зазначити, що в будівельних нормах освітлення (викладені у ДБН В.2.5-28-2018), відсутня регламентована середня горизонтальна освітленість на території шкіл та/або ліцеїв, навчальних закладів. В такому випадку ця локація може підходити під вищезазначений рекомендований рівень освітлення для загальноміських парків, оскільки в таких осередках також є масовий відпочинок людей, зокрема рухові ігри серед дітей.

Однією зі складових даної роботи буде порівняння рівня світлового забруднення за шкалою Бортля між власними вимірюваннями та супутниковими даними. Приорітетно будуть враховуватися дані зі статті Фабіо Фальчі, в якій була продемонстрована інтерактивна карта світлового забруднення згідно з вимірюванням за допомогою супутникових даних. [30; 40].

Варто зазначити, що особливості аналізу рівня СЗ в цих двох випадках є різними, тож варто загострити увагу на певних аспектах, що впливатимуть на різницю між результатами рівня СЗ між супутниковими даними та використанням SQM-приладу.

Супутники фіксують загальну яскравість певної території, а топографічні особливості та розсіяне світло, що властиве обраній локації, не враховуються. Натомість SQM враховує локальну розсіяність світла навіть від джерел освітлення, що знаходяться в радіусі від місця вимірювання, а також наявність твердих завислих часток. До кінця не є відомим, наскільки наявність

снігового покриву впливає на яскравість неба у випадку вимірювань двома способами. Проте як зазначено в попередньому розділі, сніговий покрив може стати причиною підвищення яскравості нічного неба до 10%. [30]. В такому випадку варто звернути увагу на коефіцієнт відбиття (альbedo) світлового потоку сніговим покривом в таблиці 2.2. Сніговий покрив відбиває сонячну радіацію, що надходить на поверхню сніга, то ж цей фактор є вкрай важливим в аспекті збільшення розсіяного світла, що в свою чергу призводить до збільшення рівня СЗ.

Таблиця 2.2

Кореляція між станом снігового покриву та коефіцієнтом відбиття сонячної радіації (альbedo)*

Стан снігового покриву	Коефіцієнт відбиття сонячної радіації (альbedo)
Сліпуче білий сніг, який щойно випав	0.95-0.80
Дрібнокристалічний, перемітений сухий чистий сніг	0.80-0.65
Дрібнозернистий, злегка вологий, чистий білий сніг	0.65-0.55
Середньо- і крупнозернистий, вологий (тане), чистий (з сіруватим відтінком)	0.55-0.45
Крупнозернистий, дуже вологий, іноді запилений сніг	0.35-0.20
Суміш води і снігу і сніг, покритий тонким шаром води	0.20-0.10

**Примітка: складено автором за даними на основі опрацювання та аналізу джерела [39].*

Також варто зазначити, що супутникові спостереження є набагато менш чутливими до локальних осередків освітлення, таких як миготіння фар

автомобілів, ліхтариків мешканців та освітлення з вікон житлових будинків. Натомість вимірювання за допомогою SQM фіксує рівень яскравості неба з однієї конкретної позиції, що робить його надзвичайно чутливим до впливу локальних джерел світла. Дана особливість буде пояснена в наступному розділі через порівняння вимірювань рівнів СЗ за різними значеннями середньої горизонтальної освітленості.

Задля запобігання спотворення результатів через множинну різницю між особливостями супутникових даних та власними вимірюваннями, порушуватиметься питання саме стосовно зміни рівня СЗ за величиною SQM (значення NELM не відображається за супутниковими даними) лише на одній локації – «Приватний житловий сектор», як локації, що позбавлена другорядних осередків освітлення, за умови відсутності снігового покриву.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Великі міста мають значну кількість ШДВС. До них належать вуличні ліхтарі, освітлені рекламні конструкції, зокрема традиційні та електронні рекламні щити. Водночас осередками світлового забруднення можуть виступати такі об'єкти, як спортивні майданчики, автостоянки, промислові зони тощо. Однак у цьому дослідженні розглядаються місця, де відсутні ШДВС комерційного характеру – жодна з обраних локацій не містить поруч освітлених рекламних щитів. Освітлення в цих зонах використовується виключно для забезпечення продовження людської діяльності після заходу Сонця.

У випадку спостережень біля житлового будинку пострадянського типу та в приватному житловому секторі, а також на території залізничної станції необхідність освітлення однакова, оскільки його основна функція – допомогти людям орієнтуватися в просторі та полегшити доступ до оселі. Натомість територія академічного ліцею та загальноміського парку потребує інтенсивнішого освітлення, оскільки передбачає ширший спектр активностей, включно з руховими іграми та спортивними тренуваннями.

В будь-якому випадку наявність увімкнених ліхтарів вуличного освітлення може бути причиною покращення досвіду відвідування місць через полегшення світлового сприйняття. Проте світлове забруднення стосується надмірного використання ШДВС. Важливим є дізнатися, яким чином увімкнені ліхтарі вуличного освітлення та наявність снігового покриву можуть збільшувати рівень світлового забруднення.

3.1. Світлове забруднення в локаціях дослідження з вимкненими ліхтарями вуличного освітлення

У рамках дослідження впливу світлодіодних ліхтарів вуличного освітлення на обраних локаціях результати вимірювання рівня світлового забруднення в умовах аварійного вимкнення електропостачання представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Результати вимірювання обсягів СЗ за відсутності увімкнених світлодіодних ліхтарів вуличного освітлення

Об'єкт	Назва класу	NELM, m	SQM, mag/arcsec ²	Освітленість (lx)
Приватний житловий сектор	Сільсько-приміське небо	6.38	20.66	0
Загальноміський парк	Приміське небо	6.18	20.25	0
Академічний лицей	Приміське небо	6.08	20.05	0
Залізнична станція	Приміське небо	5.66	19.35	0
Багатоквартирний житловий будинок пострадянського типу	Засвічене приміське небо	5.22	18.30	0

Згідно зі шкалою Бортля (табл 2.1), яскравість неба підвищується за послідовністю «приватний житловий сектор – загальноміський парк –

академічний ліцей – залізнична станція – багатоквартирний житловий будинок пострадянського типу».

Відповідно до отриманих результатів варто наголосити, що найменшим рівнем СЗ характеризується приватний житловий сектор через найменшу кількість розсіяного світла. Загальноміський парк та академічний ліцей характеризується майже однаковим рівнем СЗ, але за класом рівня СЗ (за шкалою Бортля) відстають від приватного житлового сектору. Це зумовлено тим, що ці території межують між собою, в аналогічній близькості знаходяться ШДВС і оселі мешканців громади, відповідно в більшій мірі сконцентроване скупчення жителів, що тягне за собою використання ШДВС навіть за умов вимкненого електропостачання. Залізнична станція знаходиться в аналогічному класі за показником рівня СЗ, проте кількісні показники є гіршими. Це пов'язано з територіальними чинниками-джерелами СЗ поблизу місця-локації, що не залежать від аварійного вимкнення електропостачання, що було описано в попередньому розділі. Найгіршим результатом і найбільшим рівнем СЗ характеризується територія багатоквартирного будинку пострадянського типу через найбільше скупчення мешканців серед всіх локацій. Результати зумовлені чинниками, що були детально описані в попередньому розділі.

3.2. Світлове забруднення в локаціях дослідження з вимкненими ліхтарями вуличного освітлення та наявним сніговим покривом

У рамках дослідження впливу світлодіодних ліхтарів вуличного освітлення та снігового покриву на обраних локаціях результати вимірювання рівня світлового забруднення (СЗ) представлені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Результати вимірювання рівня СЗ за відсутності увімкнених світлодіодних ліхтарів вуличного освітлення та наявності снігового покриву

Об'єкт	Назва класу	NELM, m	SQM, mag/arcsec ²	Освітленість (lx)
Приватний житловий сектор	Сільсько-приміське небо	6.35	20.59	0
Загальноміський парк	Приміське небо	6.13	20.13	0
Академічний ліцей	Приміське небо	6.01	19.90	0
Залізнична станція	Приміське небо	5.60	19.18	0
Багатоквартирний житловий будинок пострадянського типу	Засвічене приміське небо	5.15	18.10	0

Згідно зі шкалою Бортля (табл 2.1), яскравість неба підвищується за послідовністю «приватний житловий сектор – загальноміський парк – академічний ліцей – залізнична станція – багатоквартирний житловий будинок пострадянського типу». Чинники, що сприяли цьому були описані в підрозділі 3.2 та розділі 2.

Варто зазначити, що за умов наявності снігового покриву рівень світлового забруднення може збільшуватись до 10%. [30].

Порівнявши результати вимірювань між дослідями з наявним сніговим покривом та відсутнім, за умов вимкненого електропостачання (табл. 3.2 та 3.1), слід зазначити, що кількісна різниця між показниками SQM та NELM є незначною: вона входить в діапазон похибки, що притаманний даному методу вимірювання, а саме від 0.05 до 0.2 від значення вимірюваної фізичної величини.[38]. Найменша різниця за показниками серед аналогічних локацій становить $0.07 \text{ mag/arcsec}^2$ та 0.03 m (приватний житловий сектор). Із послідовністю, зазначеною вище, ця різниця збільшується до кінцевих $0.20 \text{ mag/arcsec}^2$ та 0.07 m (багатоквартирний житловий будинок пострадянського типу). Варто згадати, що за дев'ятирівневою шкалою Бортля (табл 2.1), за класом забрудненості нічного неба не відбулося змін: рівень світлового забруднення за цією градацією залишився однаковим за відсутності та за наявності снігового покриву.

Хоча сніг характеризується властивістю відбиття світла, альbedo може досягати 0.95 [39], а відбите розсіяне світло сприяє збільшенню рівня СЗ [7], слід загострити увагу на тому, що локації були позбавлені прямого світлового потоку через аварійне вимкнення електропостачання. В такому випадку, за відсутності ШДВС з наявним прямим світловим потоком, можна стверджувати, що сніговий покрив не впливає на рівень світлового забруднення. Саме цим пояснюється незначна кількісна різниця в показниках SQM та NELM, що входить в наявну похибку приладу, за наявності та відсутності снігового покриву в умовах вимкненого електропостачання.

3.3. Світлове забруднення в локаціях дослідження з увімкненими ліхтарями вуличного освітлення

У рамках дослідження впливу увімкнених світлодіодних ліхтарів вуличного освітлення на обраних локаціях результати вимірювання рівня світлового забруднення (СЗ) представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Результати вимірювання рівня СЗ за наявності увімкнених світлодіодних ліхтарів вуличного освітлення

Об'єкт	Назва класу	NELM, m	SQM, mag/arcsec ²	Освітленість (lx)
Приватний житловий сектор	Міське небо	4.53	16.99	10
Загальноміський парк	Міське небо	4.52	16.95	10
Академічний лицей	Міське небо	4.47	16.82	10
Залізнична станція	Міське небо	4.40	16.68	10
Багатоквартирний житловий будинок пострадянського типу	Міське небо	4.37	16.50	10

Згідно зі шкалою Бортля (табл 2.1), в зазначених локаціях за умов наявності увімкнених світлодіодних ліхтарів вуличного освітлення з середньою горизонтальною освітленістю в 10 лк, рівень СЗ не змінюється, оскільки обсяги СЗ аналогічні одне одному: вони знаходяться в межах класу «Міське небо».

Порівнявши однакові локації між собою, де єдиним фактором, що відрізняється, є увімкнене вуличне освітлення (табл. 3.1 та 3.3), можна дійти до висновку, що середня горизонтальна освітленість на рівні 10 лк є причиною суттєвого зменшення рівня класу забрудненості неба через дію СЗ. Клас забрудненості неба «Сільсько-приміське небо» в найменш забрудненому осередку (житловий приватний сектор) погіршується до ланки «Міське небо». Це стосується також найбільш забрудненого осередку з класом «Засвічене приміське небо» багатоквартирного житлового будинку пострадянського типу, де за наявності середньої горизонтальної освітленості клас погіршується до рівня – «Міське небо».

Вищезазначене є причиною стверджувати, що навіть найменший рекомендований рівень середньої горизонтальної освітленості (10 лк) в місцях масового відпочинку людей [37], є причиною суттєвого збільшення рівня світлового забруднення.

3.4. Світлове забруднення в локаціях дослідження з увімкненими ліхтарями вуличного освітлення та наявним сніговим покривом

У рамках дослідження впливу увімкнених світлодіодних ліхтарів вуличного освітлення та снігового покриву на обраних локаціях результати вимірювання рівня світлового забруднення (СЗ) представлені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Результати вимірювання рівня СЗ за наявності увімкнених світлодіодних ліхтарів вуличного освітлення та снігового покритву

Об'єкт	Назва класу	NELM, m	SQM, mag/arcsec ²	Освітленість (lx)
Приватний житловий сектор	Міське небо	4.45	16.72	10
Загальноміський парк	Міське небо	4.43	16.62	10
Академічний ліцей	Міське небо	4.41	16.60	10
Залізнична станція	Міське небо	4.38	16.57	10
Багатоквартирний житловий будинок пострадянського типу	Міське небо	4.35	16.50	10

Згідно зі шкалою Бортля (табл 2.1), в зазначених локаціях за умов наявності увімкнених світлодіодних ліхтарів вуличного освітлення з середньою горизонтальною освітленістю в 10 лк та снігового покритву, рівень СЗ не змінюється і всі локації відтворюють однаковий рівень СЗ в аналогічних умовах за відсутності снігу – «Міське небо». Кількісні відмінності показників СЗ входять в діапазон похибки.

Якщо порівнювати дослідження за наявності снігового покриву в однакових локаціях з увімкненими ліхтарями вуличного освітлення та без, відтворюватимуться і пояснюватимуться наслідки, які були згадані в підрозділі 3.3.

Враховуючи вищезазначене, варто стверджувати, що рівень середньої горизонтальної освітленості в місцях проведення вимірювання рівнів СЗ є набагато вагомим за наявності снігового покриву. Середньої горизонтальної освітленості на рівні 10 лк достатньо, щоб відбулося погіршення поточного класу забруднення неба до ланки – «Міське небо». Початковий рівень забруднення, навіть мінімальний, за умов освітлення погіршується до вищезгаданої ланки. При цьому сніговий покрив може бути причиною кількісного погіршення показників рівня СЗ, але ці зміни є незначними: вони входять в діапазон похибки – відхилення від істинного значення вимірюваної фізичної величини.

3.5. Порівняння рівня світлового забруднення в локаціях дослідження за 2015 та 2024 рр.

У рамках порівняння рівня СЗ між супутниковими даними за 2015 рік та вимірюваннями за 2024 рік на обраній локації результати представлені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Результати вимірювання обсягів СЗ за супутниковими даними та власними вимірюваннями

Об'єкт	Клас	SQM, mag/arcsec ²	Освітленість (lx)

Приватний житловий сектор (SQM-прилад 2024)	Сільсько-приміське небо	20.66	0
Приватний житловий сектор (супутникові дані 2015 р.)	Сільсько-приміське небо	20.65	-

Згідно зі шкалою Бортля (табл 2.1), в зазначеній локації спостерігається однаковий клас забрудненості неба – «Сільсько-приміське небо». Кількісні показники за величиною SQM входять в наявний діапазон похибки.

В розділі 2 згадана низка факторів, за якими відрізнятимуться особливості вимірювання рівня СЗ власним SQM-приладом та за допомогою супутникових даних. Порівняння відбулося лише за однією локацією – «Приватний житловий сектор», оскільки вона характеризується меншим рівнем СЗ в порівнянні з іншими ділянками. Майже повна відсутність ШДВС та розсіяного світла, що продукують мешканці, зводять нанівець вплив цих другорядних факторів, які не враховуються під час вимірювання за допомогою супутників. Вищезгадане є причиною, чому ця локація є модельною ділянкою.

Враховуючи вищезазначене, на ділянці «Приватний житловий сектор» в смт. Глеваха Фастівського району Київської області рівень СЗ за супутниковими даними за 2015 рік та за власними вимірюваннями SQM-приладом за 2025 рік не змінився: в обидвох випадках фіксується клас забрудненості неба – «Сільсько-приміське небо». Це може бути зумовлено тим, що урбанізація, яка зазвичай включає в себе збільшення кількості вуличних ліхтарів та розвиток інфраструктури в селищі є уповільненою: за власними спостереженнями, за цей проміжок часу не було встановлено нових ШДВС. В такому випадку варто зазначити, що рівень СЗ не змінився, адже

нових потенційних джерел СЗ у вигляді ліхтарів вуличного освітлення не було встановлено.

3.6. Заходи захисту населення від дії СЗ

Загальні засоби захисту населення від дії СЗ на прикладі із нормуванням освітлення від вуличних ліхтарів детально описано в підпідрозділі 1.3. «Заходи з мінімізації інтенсивності світлового забруднення». Важливим аспектом є те, що дані рекомендації необхідно поширювати серед жителів всіх населених пунктів.

Варто додати, що в даній роботі був проведений аналіз впливу саме світлодіодних ліхтарів вуличного освітлення. Підґрунтям цього стало те, що світлодіодні ліхтарі, на відміну від натрієвих, є більш безпечними. Це зумовлено тим, що окрім важливих аспектів, що можуть бути застосовані до натрієвих ламп також, до яких входить екранування та правильне проектування вуличних ліхтарів, встановлення датчиків руху для вчасного увімкнення та вимкнення за потреб громадян, в світлодіодних ліхтарях наявна функція затемнення, що сприяє можливості контролю яскравості освітлення. Також потужність світлодіодного вуличного ліхтаря становить від 30 Вт до 300 Вт, у порівнянні зі 100 Вт до 400 Вт для натрієвих ламп. На відміну від натрієвих ламп високого тиску, в світлодіодних не використовуються крихкі нитки розжарення та газонаповнені трубки, що знижує ймовірність появи несправностей. Середній термін служби світлодіодного вуличного ліхтаря становить від 50 000 до 100 000 годин, тоді як натрієві лампи працюють лише від 10 000 до 24 000 годин. [41]. Варто додати, що світлодіодні вуличні ліхтарі можуть мати вищу початкову вартість, проте це компенсується забезпеченням значно більшої економії в довгостроковій перспективі.

Підсумовуючи вищезазначене, варто наголосити, що громадам необхідно поступово відмовлятися від встановлення натрієвих ламп високого тиску, надаючи перевагу світлодіодним.

ВИСНОВКИ

На основі проведеного дослідження щодо впливу світлодіодного вуличного освітлення та снігового покриву на рівень світлового забруднення в житлових районах населених пунктів, сформульовано наступні висновки:

1. Основними джерелами СЗ в досліджуваному районі (с. Глеваха) є світлодіодні ліхтарі вуличного освітлення. Додатковими, менш значущими джерелами, особливо в умовах аварійного вимкнення електропостачання, є розсіяне світло від вікон житлових будинків, миготіння фар автомобілів, а також постійне освітлення на територіях, прилеглих до об'єктів інфраструктури.
2. Встановлено, що рівень СЗ варіював від класу «Сільсько-приміське небо» (SQM 20.66 mag/arcsec², NELM 6.38 m) у приватному секторі до «Засвічене приміське небо» (SQM 18.30 mag/arcsec², NELM 5.22 m) біля багатоквартирного будинку за відсутності вуличного освітлення та незалежно від наявності снігового покриву. Локації з меншою концентрацією розсіяного світла (приватний сектор) демонстрували найменший рівень СЗ.
3. За наявності увімкнених світлодіодних ліхтарів незалежно від снігового покриву відмічається зростання рівня СЗ у районі дослідження (перехід до класу «Міське небо», SQM в діапазоні 16.50-16.99 mag/arcsec², NELM 4.37-4.53 m). Це вказує на те, що навіть мінімально рекомендований рівень освітлення для місць масового відпочинку (10 lx) спричиняє суттєве збільшення світлового забруднення.
4. Виявлено, що рекомендована середня горизонтальна освітленість (10 lx) призводить до значного погіршення класу забрудненості неба до рівня «Міське небо». Це підкреслює вирішальну роль інтенсивності штучного освітлення у формуванні рівня СЗ, що переважає вплив снігового покриву.

5. Порівняння супутникових даних рівня СЗ за 2015 р. (SQM 20.65 mag/arcsec²) та власних вимірювань за у 2024 р. (SQM 20.66 mag/arcsec²) на локації «Приватний житловий сектор» показало, що клас забрудненості неба залишився незмінним - «Сільсько-приміське небо». Кількісні показники також практично не змінилися, що може бути пов'язано з уповільненою урбанізацією та відсутністю встановлення нових ШДВС у цій конкретній місцевості за вказаний період.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Definition of «Light».* [online] Available at:
<https://www.britannica.com/science/light>
2. Wang, J. (2023). The effect of light pollution and noise pollution on birds. *Theoretical and Natural Science.*
3. *ФІЗИЧНЕ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ. СВІТЛОВЕ ЗАБРУДНЕННЯ.* [Електронне джерело]. Режим доступу:
<https://ecologyknu.wixsite.com/ecologymanual/11-4>
4. Кыек, S. J. (2009). *Light Pollution in Switzerland. An Analysis of Regions and Natural Habitats.* SwissFederal Institute of Technology Zurich, Department of Environmental Systems Science.
5. Mander, S., Alam, F., Lovreglio, R. and Ooi. M. (2023). How to measure light pollution—A systematic review of methods and applications. *Sustainable Cities and Society.*
6. Barentine, J. (2023). Artificial Light at Night: State of the Science 2023. *Darksky International.*
7. Mizon, B. (2002). *Light pollution: responses and remedies.* Springer-Verlag London Limited 2002, pp 19
8. *15 Key Facts & Statistics About Light Pollution.* [online] Available at:
<https://blog.arcadia.com/15-key-facts-statistics-light-pollution/>
9. *Amédée Guillemin.* [online] Available at:
https://en.wikipedia.org/wiki/Am%C3%A9d%C3%A9e_Guillemin
10. *Родонсин.* [Електронне джерело]. Режим доступу:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D1%81%D0%B8%D0%BD>

11. *Definition of 'Electromagnetic Waves'*. [online] The Economist Times. Available at: <https://economictimes.indiatimes.com/definition/electromagnetic-waves>
12. The EM spectrum. [online] Available at: <http://labman.phys.utk.edu/phys222core/modules/m6/The%20EM%20spectrum.html>
13. *Definition of «Infrared radiation»*. [online] Available at: <https://www.britannica.com/science/infrared-radiation>
14. *Definition of «Ultraviolet radiation»*. [online] Available at: <https://www.britannica.com/science/ultraviolet-radiation>
15. *Illuminance - Recommended Light Levels* [online] Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/light-level-rooms-d_708.html
16. *Streetlight design standards and how to calculate?* [online] Available at: <https://www.linkedin.com/pulse/streetlight-design-standards-how-calculate-al-emran-hossain#:~:text=Illumination%20level%3A%20The%20amount%20of,street%20should%20be%2015%20lux>
17. *Зоряний нуклеосинтез*. [Електронне джерело]. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%BD%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D0%BE%D1%81%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B7
18. *Light pollution*. [online] Available at: <https://globeatnight.org/light-pollution/>
19. *What is light pollution?* [online] Available at: <https://darksky.org/resources/what-is-light-pollution/>
20. *Causes of light pollution*. [online] Available at: <https://darksky.org/resources/what-is-light-pollution/causes/>

21. *DARKSKY POSITION STATEMENT Electronic billboards* [online] Available at: <https://darksky.org/what-we-do/advancing-responsible-outdoor-lighting/our-positions/#electronic-billboards>
22. *Satellite mega-constellations.* [online] Available at: <https://darksky.org/what-we-do/advancing-responsible-outdoor-lighting/our-positions/#satellite-mega-constellations>
23. Brayley, O., How, M. and Wakefield, A. (2022). Biological Effects of Light Pollution on Terrestrial and Marine Organisms. *International Journal of Sustainable Lighting*.
24. Macgregor, C., Pocock, M., Fox., R. and Evans. D. (2014). Pollination by nocturnal Lepidoptera, and the effects of light pollution: a review. *Ecological Entomology*.
25. Minnaar. C., Boyles. J., Minnaar. I., Sole. C. and McKechnie. A. (2014). Stacking the odds: light pollution may shift the balance in an ancient predator–prey arms race. *Journal of Applied Ecology*.
26. Harrison. S. and Gray. S. (2023). Effects of light pollution on Bluegill foraging behavior. *Transactions of the American Fisheries Society*.
27. Nelson. T., Michel. C., Gary. M., Lehman. B., Demetras. N., Hammen. J. and Horn. M. (2020). Effects of artificial lighting at night (ALAN) on predator density and salmonid predation. *Transactions of the American Fisheries Society*.
28. *Information About Sea Turtles: Threats from Artificial Lighting.* [online] Available at: <https://conserveturtles.org/information-sea-turtles-threats-artificial-lighting/>
29. *Misguiding Lights: American Bird Conservancy Highlights Artificial Light's Link to Bird-Glass Collisions.* [online] Available at: <https://abcbirds.org/news/new-lighting-collisions-recommendations/#:~:text=%E2%80%9CABC%20has%20gathered%20this%20information,toward%20and%20into%20urban%20centers>

30. Falchi. F., Cinzano. P., Duriscoe. D., Kyba. C., Elvidge. C., Baugh. K., Portnov. B., Rybnikova. N. and Furgoni. R. (2016). The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*.
31. Reiter. R., Gültekin. F., Manchester. L. and Tan. D. (2006). Light pollution, melatonin suppression and cancer growth. *Journal of Pineal Research*.
32. Xu. Y., Yu. Y., Huang. Y., Wan. Y., Su. P., Tao. F. and Sung. Y. (2021). Exposure to bedroom light pollution and cardiometabolic risk: A cohort study from Chinese young adults. *Environmental Pollution*.
33. Karska. J., Kowalcki, S., Gładka. A., Brzecka. A., Sochocka. M., Kurpas. D., Beszlej. J. and Leszek. J. (2023). Artificial light and neurodegeneration: does light pollution impact the development of Alzheimer's disease? *GeroScience*.
34. *Five Principles for Responsible Outdoor Lighting*. [online] Available at: <https://darksky.org/resources/guides-and-how-tos/lighting-principles/>
35. *Solutions to light pollution*. [online] Available at: <https://darksky.org/resources/what-is-light-pollution/light-pollution-solutions/>
36. *The Bortle Dark-Sky Scale*. [online] Available at: <https://web.archive.org/web/20140331202746/http://www.skyandtelescope.com/resources/darksky/3304011.html?page=1&c=y>
37. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 03.10.2018 № 264
38. *Rate Your Skyglow*. [online] Available at: <https://skyandtelescope.org/get-involved/rate-your-skyglow/#SQM>
39. *Гідрофізика*. [Електронне джерело]. Режим доступу: http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/69/1/KresLE_Gidrofizika_KL_2006.pdf
40. *Interactive world light pollution map*. [online] Available at: <https://www.lightpollutionmap.info/>

41. *What Are the Benefits of LED Street Lighting?* [online] Available at:
<https://www.customizelighting.com/what-are-the-advantages-and-disadvantages-of-led-street-lights/>