

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет біології, географії та екології
Кафедра географії та екології

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ
АНТРОПОГЕННОГО НІЧНОГО СВІТЛОВОГО
ЗАБРУДНЕННЯ МІСЬКИХ ЕКОСИСТЕМ ЗА
ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ ФІТОТЕСТУВАННЯ

Кваліфікаційна робота (проект)
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

Виконав: студент 05-416 групи
Спеціальності 101 Екологія
Освітньо-професійної програми «Екологія»
Гридасов Євген Романович
Керівник к.б.н., доцентка Кундельчук О.П.
Рецензент д.пед.н., професорка Сидорович М.М.

Херсон – 2021

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. Добовий біологічний годинник живих організмів	6
1.1 Необхідність добового ритму для функціонування живих організмів.....	6
1.2 Принцип роботи добового біологічного годинника у рослин і тварин.....	9
РОЗДІЛ 2. Фактори, які впливають на роботу добового біологічного годинника	12
2.1 Природні фактори, які підлаштовують роботу біологічного годинника до сезонних змін тривалості дня і ночі.....	12
2.2 Вплив техногенних факторів на роботу добового біологічного годинника організмів.....	14
2.3 Екологічні і медичні наслідки порушення добових біологічних ритмів живих організмів.....	16
2.4 Використання методів біотестування для встановлення впливу техногенних факторів на роботу біологічного годинника.....	17
РОЗДІЛ 3. Експериментальне дослідження впливу штучного освітлення вночі на розвиток проростків модельних рослин	20
3.1 Матеріали та методи дослідження.....	20
3.2 Результати проведених досліджень.....	23
3.3 Аналіз отриманих результатів.....	27
3.4 Екологічна оцінка наслідків від нічного освітлення міських екосистем.....	32
ВИСНОВКИ	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	38
ДОДАТКИ	42

	2
ДОДАТОК А. Циркадний ритм людини.....	43
ДОДАТОК Б. Іпомея пурпурова	44
ДОДАТОК В. Нічне освітлення Європи.....	45
ДОДАТОК Г. Нічне освітлення США.....	46

ВСТУП

Актуальність дослідження. Світло – є одним з найважливіших складових середовища існування живих організмів. Воно необхідне рослинам для здійснення фотосинтезу, в результаті якого утворюються органічні речовини, його надмірна або недостатня кількість по різному впливає на процеси життєдіяльності тварин і людини.

Життя організмів багато в чому залежить від якості і кількості світлової енергії, що поглинається. Зелені рослини найкраще поглинають червоні та сині спектри світла, слабко - помаранчеві і жовті, і зовсім не поглинають зелене та інфрачервоне випромінювання. Досить поширені штучні джерела білого світла (нічні вуличні лампи) зі значною питомою вагою блакитного світла у спектрі заважають орієнтації багатьох видів комах, які ведуть нічний спосіб життя, а також збивають зі шляху перелітних птахів, які намагаються облітати осередки цивілізації. Не до кінця досліджений вплив світлового забруднення на хронобіологію людського організму. Світло певної яскравості та температури не просто бадьорить або розслабляє, а й впливає на синтез гормонів і на роботу багатьох систем організму людини і тварин. До більш очевидних наслідків відноситься порушення сну та швидка втомлюваність [12, 8]. Таким чином, дослідження впливу нічного освітлення міських екосистем на живі організми різних таксономічних груп є на сьогоднішній день актуальним.

Базовим елементом усіх екосистем є наявність живих організмів - первинні продуценти органічної речовини. І серед них на Землі провідну роль займають рослини, які здійснюють біосинтез за рахунок енергії фотонів сонячного світла. Тому, саме рослини повинні бути організмами, які є найбільш уразливими до техногенного втручання в режим добового освітлення екосистем [24]. Часто, інтенсивність випромінювання штучного нічного освітлення є недостатньою для

забезпечення енергією процесу фотосинтезу. Однак, це слабе світлове випромінювання має регуляторний вплив на функції організмів [33].

Оскільки розвиток сучасного суспільства є немислимим без використання штучного нічного освітлення, перед вченими стоїть завдання виявлення умов максимального зниження негативного ефекту від нічного освітлення на природні та урбанізовані екосистеми. Зокрема, проведені дослідження свідчать про те, що значення має інтенсивність і спектральні характеристики ламп, використовуваних для нічного освітлення [26]. Всі роботи по дослідженню впливу штучного нічного освітлення на рослини пов'язані з виявленням довгострокового впливу цілодобового освітлення на організми. Для можливої експрес-оцінки рівня небезпеки такого освітлення необхідною є розробка тест-системи, яка б дозволяла протягом декількох днів давати відповіді на питання про біологічну ефективність зазначеного типу освітлення. Нами вперше запропоновано використовувати класичний ростовий фітотест для отримання відповідей на дану групу питань.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дипломну роботу виконано в рамках науково-дослідної ініціативної теми: “Оцінка впливу техногенних електромагнітних полів різного типу на живі організми з використанням рослинних тест-систем”; державний реєстраційний номер 0118U004403.

Мета і завдання дослідження. визначити екологічні наслідки антропогенного світлового забруднення міських екосистем з використанням тест-системи «проростаюче насіння».

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі наукові завдання:

1. дослідити необхідність і принципи роботи добового біологічного годинника у різних груп організмів;
2. проаналізувати фактори, які впливають на роботу добового біологічного годинника;

3. експериментальним шляхом дослідити біологічний ефект штучного нічного освітлення на розвиток проростків модельних рослин;
4. охарактеризувати вплив від нічного освітлення на біологічні ритми та розвиток живих організмів.

Об'єкт дослідження – техногенне світлове забруднення міських екосистем.

Предмет дослідження – методи фітотестування для оцінки антропогенного впливу світлового забруднення на живі організми.

Методи дослідження. Під час виконання курсової роботи використовувались методи аналізу літературних джерел, методи експериментального дослідження, методи статистичної обробки отриманих первинних даних.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження, наведені в кваліфікаційній роботі бакалавра можуть бути використанні в просвітницьких цілях (шкільні курси з екології, географії, рідний край) та для інформування громадськості щодо екологічного стану живих організмів від антропогенного нічного забруднення у міських населених пунктах.

Апробація результатів дослідження. Результати проведеного дослідження представлені в статті: Кундельчук О.П., Скок С.В., Грідасов Е.Р. Оцінка впливу техногенного нічного освітлення на живі організми методами фітотестування. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2020. Вип. 116. Частина 1. С. 207-214. [http:// www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/116_2020/part_1/30.pdf](http://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/116_2020/part_1/30.pdf).*

Структура роботи. Дипломна робота викладена на 46-ти сторінках, складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який містить 36-ти посилань, включає 5-ти таблиць і 4-х додатків.

РОЗДІЛ 1

ДОБОВИЙ БІОЛОГІЧНИЙ ГОДИННИК ЖИВИХ ОРГАНІЗМІВ

1.1 Необхідність добового ритму для функціонування живих організмів

Живі організми існують у просторі і часі, які є об'єктивними реальними формами буття. Оточуючий світ ритмічний: зміна дня і ночі, пір року пов'язані з основними ритмами Землі – її обертанням навколо своєї осі і навколо Сонця. Живі організми повною мірою залежать від цих ритмів. Біоритм – це результат еволюції. У боротьбі за існування виживали тільки ті організми, які пристосувалися до його сприйняття і адекватної реакції на нього. У результаті поступово виробився ендогенний ритм організму, синхронний з періодичними процесами зовнішнього середовища.

У вивчення біологічних ритмів великий внесок зробили відомі вчені: І. П. Павлов В. М. Бехтерев, С. С. Корсаков, які працювали над питанням сприйняття часу тваринами і людиною. О. Д. Слонім вивчав екологічні і фізіологічні аспекти біологічних ритмів процесів. Ритмічні процеси в умовах космічного польоту вивчалися В. В. Парінім і його співробітниками [4, 8, 11].

Періодично на протязі доби коливається більшість фізіологічних процесів у людини, тварин і рослин. Відомо близько 300 функцій живих організмів, які мають добову періодичність (розмноження одноклітинних, коливання температури тіла, інтенсивність метаболізму).

Всі живі істоти реагують на різні параметри: люди чутливі до кількості світла, а земноводні і рептилії реагують на зміну температури. Аналізуючи зміни кількості темряви і світла, організм точно визначає пори року. Більшість тварин використовують ці сигнали для підготовки

до зимової сплячки, а частина – як сигнал до спаровування, щоб маля народилось в теплий період року і йому не бракувало їжі [11].

Протягом доби ритмічно змінюється температура тіла людини: вона підвищена у денні години, з максимальними значенням - о 18 годині та знижується вночі. Це визначається більшою активністю людини та інтенсивнішим обміном речовин в денний час. Змінюється активність мозку. У більшості людей його найвища біоелектрична активність спостерігається вранці (з 8 до 12 години) і ввечері (між 17 і 19 годинами). Проте є індивідууми, у яких найбільш висока працездатність припадає на вечірні і нічні години (особливо при розумовій праці)(додаток А) [11, 12].

Добові ритми впливають на зміну інтенсивності мітотичного поділу клітин (найбільша вона у ранкові години, а вночі знижується), активність ниркових клубочків (їх активність найвища між 3 годиною ночі та 6 годиною ранку), кількість кров'яних пластинок у периферичній крові у людини знижується вночі та підвищується вранці і вдень.

У тварин біологічні ритми виражаються чергуванням періоду активності і спокою. У них існують нейрогуморальні центри, які координують добову ритміку фізіологічних процесів. Залежно від типу добової активності тварин поділяють на денних і нічних [5, 12].

У організмі тварин і людини простежуються і сезонні коливання, пов'язані, як правило, із збільшенням довжини світлового дня весною і зменшенням його восени і взимку. Майже всі тварини реагують на такі зміни та починають готуватися до зимової сплячки або розмноження. Організм людини також реагує на ці зміни. Наприклад у людей взимку виробляється більше антитіл для того, щоб боротися з різними інфекціями, поширеними в холодну пору року. А біоелектрична активність мозку і м'язової системи, як правило, вища весною і у літній період та знижена взимку. Зміна тривалості дня за участі гіпоталамо-гіпофізарної системи дозволяє організму людини перебудувати свою

діяльність. Найважливіший для людини є саме добовий ритм – чергування сну і неспанья [6, 12].

У рослин багато процесів життєдіяльності залежить від світла і регулюється ним. Значимою є не кількість світла, а фотоперіод – тривалість світлого і темного періодів. Реакцію рослин на відповідність між довжиною дня і ночі, що виражається зміною процесів життєдіяльності, називають фотоперіодизмом. Пристосованість рослинних організмів до реакції на зміну довжини світлого дня дає їм можливість заздалегідь пристосовуватися до змін умов існування [1, 17, 18].

Разом із фотоперіодом істотно впливають на процеси життєдіяльності рослин і зміни температури впродовж доби – вдень вона, як правило, підвищена, а вночі – понижена. Це явище Ф. Вент назвав термоперіодизмом. Фотоперіодизм та термоперіодизм тісно пов'язані з явищем «біологічного годинника» (рисунок 1.1).

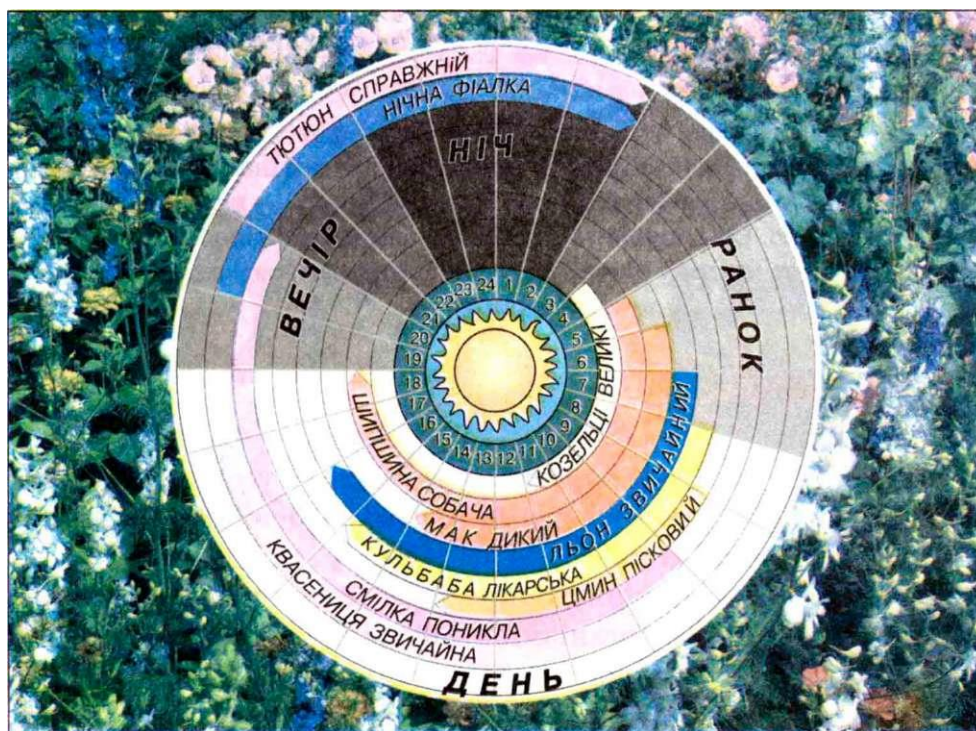


Рисунок 1.1 – Біологічний квітковий годинник [11]

«Біологічний годинник» – пристосувальний механізм, що забезпечує здатність живих організмів орієнтуватися у часі. В основі біологічного годинника лежить жорстка періодичність біохімічних та фізіологічних процесів, які відбуваються у клітинах. Дія біологічного годинника може бути зумовлена геофізичними факторами (добові і сезонні ритми, сонячна і космічна радіація, електромагнітні поля Землі) [2, 4, 8].

Таким чином біологічні ритми є важливим пристосувальним механізмом всіх живих організмів до змін у навколишньому середовищі, дають можливість живим організмам передбачати добові, сезонні та інші коливання світла, температури, приливів та іншого.

1.2 Принцип роботи добового біологічного годинника у рослин і тварин

Все живе на планеті пристосоване до обертання Землі навколо Сонця. Передбачити добові ритми і пристосуватися до них дає можливість біологічний годинник, який знаходиться всередині нас. Але як саме працює цей годинник? Біологічний годинник живих організмів дозволяє приводити фізіологічні ритми у відповідність до ритмів довкілля і дає можливість передбачати добові, сезонні та інші коливання освітленості, температури, припливів. Його виявлено в клітинах рослинних, тваринних організмів і людини [12].

Існують різні припущення стосовно механізмів роботи біологічного годинника[10]. Деякі вчені біохіміки вважають, що в основі роботи біологічного годинника лежить фермент пероксиредоксин. Антиоксидантний фермент у рослин бере участь в процесі фотосинтезу – нейтралізує небезпечні форми кисню в середині клітини, у тварин бере участь в передачі клітинних сигналів. Спочатку пероксиредоксин було

виявлено у морських водоростей і людських еритроцитах, а потім у мишей, дрозофіл, інших рослин, а також у бактерій і археїв – словом, у представників всіх доменів життя.

З часом виникла система, яку нащадки фотосинтезуючих організмів застосували для регуляції вже інших періодичних процесів, які керують біологічним годинником живих істот. Більшість з них тим чи іншим чином залежать від періодичності сонячного світла. В основу біологічного годинника рослин і тварин покладені циркадіанні ритми. Їх період дорівнює 24 години. Циркадіанні ритми рослин пов'язані зі зміною дня та ночі й важливі для адаптації рослин до добових коливань таких параметрів як температура, освітлення, вологість [12, 16].

У здатності рослин розпізнавати чергування дня та ночі вирішальну роль відіграє фітохромна система. Прикладом роботи такої системи є ритм цвітіння у рослини *Pharbitis nil* (іпомея пурпурова) [4, 8, 10, 12](додаток Б.).

Протягом доби спектральний склад сонячного проміння змінюється. Фітохроми рослин збуджуються світлом із різною довжиною хвилі, даючи рослині сигнал про наближення дня або ночі. Після отримання цього сигналу, рослина вживає відповідних заходів. Фітохроми мають вплив і на температурну адаптацію, даючи можливість рослині пристосовуватися до нічних і денних коливань температури [2, 4, 8, 10].

Прикладом циркадіанного ритму у тварин є цикл спокою і активності. Циркадіанний годинник у тварин представлений системою білків, рівень яких коливається протягом доби [5, 8]. У 1984 році нобелівські лауреати Джефрі Хол і Майкл Розбаш виділили ген періоду, а потім виявили, що білок, який кодується цим геном, накопичується клітинами протягом ночі і руйнується вдень. Отже, його рівень коливається протягом 24-годинного циклу синхронно з циркадіанним

ритмом. Так був виявлений «маятник» внутрішньоклітинного годинника [8, 10].

Наявність цих білків дозволяє організму тварин заздалегідь налаштувати процеси, беручи до уваги передбачувані зміни навколишнього середовища протягом доби. Наприклад, на світанку, в організмі денних тварин починає прискорювати обмін речовин, підвищується температура, підсилюється кровообіг. Все це готує організм до активної діяльності протягом дня. Ввечері, навпаки, усі фізіологічні процеси починають сповільнюватися.

Розуміння принципів роботи циркадіанних ритмів дозволяє регулювати сон, харчування, обмін речовин, пристосування до змін навколишнього середовища. Отже всі багатоклітинні організми, включаючи людей, використовують схожі механізми, щоб контролювати біоритми. Робота великої частини генів регулюється біологічним годинником. Тому ретельно налаштований циркадіанний ритм адаптує фізіологію живих організмів до різних фаз доби [8, 10, 11].

РОЗДІЛ 2

ФАКТОРИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА РОБОТУ ДОБОВОГО БІОЛОГІЧНОГО ГОДИННИКА

2.1 Природні фактори, які підлаштовують роботу біологічного годинника до сезонних змін тривалості дня і ночі

Біологічні ритми проявляються на всіх рівнях організації живих організмів від молекулярного до організменного. Існує кілька причин ритмічності:

1) по-перше, наступний процес не починається, доки не завершено попередній. Наприклад, молекула ферменту мальтази почне розщеплювати кожен наступну молекулу мальтози тільки після того як завершиться попереднє розщеплення;

2) по-друге, новий процес розпочнеться тільки після підготовки до нього лише біологічної системи. Нерест риб починається після запасання необхідної кількості поживних речовин;

3) по-третє, періодичність є пристосуванням до циклічних змін у навколишньому середовищі (добових, сезонних змін та інших умов існування) [9, 12].

Такі періодичні зміни отримали назву адаптивні біологічні ритми. На них впливають процеси, що відбуваються в докільлі. Найбільш яскраво вираженими є добові ритми. Вони проявляються у моменти активізації процесів життєдіяльності денних (бабки, мурахи, гуси) і нічних тварин (таргани, сови, кажани). У рослин протягом доби рухаються суцвіття, розкриваються і закриваються квіти, може змінюватися положення листя. У людини протягом 24 годин змінюється інтенсивність роботи нервової системи, температура тіла, артеріальний тиск [13].

Залежно від добового біоритму у людей виділяють три основні хронотипи: 1) «жайворонки» – прокидаються та лягають спати рано, активні в першій половині дня; 2) «сови» – пізно прокидаються та лягають спати, активні ввечері; 3) «голуби» – активні протягом усього дня [11, 12].

Другою групою природніх факторів, що впливають на біоритми живих організмів є обертання місяця навколо Землі та Землі навколо своєї осі. Вони мають назву припливно-відпливні ритми і проявляються в зоні припливів і відпливів двічі на добу (наприклад розкривання та закривання стулок молюсків у припливно-відпливній зоні чи закопування безхребетних тварин у дно).

Поведінка, зміни у зовнішньому вигляді та фізіологічних процесах рослин і тварин пов'язані також з порами року. Це сезонні, або річні біоритми. Рослини й тварини ростуть, як правило, і розмножуються лише у сприятливі періоди року. Залежно від пори року змінюються процеси життєдіяльності: впадання ведмедів у сплячку, що пов'язано із уповільненням їх метаболізму взимку, а навесні та влітку вони активно рухаються, підтримуючи високий рівень обміну речовин. Протягом року тварини можуть мігрувати, будують житло, шукають партнерів для спарювання. Річні біоритми забезпечують уникнення організмами несприятливих умов і максимально ефективного використання сприятливих. Крім того, клімат у деяких регіонах має повторювальний характер із різним періодом зміни. У найбільш вологі чи теплі роки зростає врожайність рослин, що може привести до збільшення чисельності окремих тварин [7, 12].

Важливим показником, що вказує на сезонні зміни, є тривалість світлового дня. Для видів, що виникали в умовах значних сезонних змін у навколишньому середовищі характерною ознакою є фотоперіодизм. За типом фотоперіодичної реакції виділяють три основні групи істот:

- 1) живі організми короткого дня;
- 2) організми довгого дня;
- 3) організми, нейтральні до зміни довжини дня [18].

Рослини короткого дня розповсюджені в регіонах де переважає теплий дощовий клімат, весняний та літній періоди характеризуються великою спекою, а восени й узимку там багато дощів. Пристосовуючись до таких умов рослини короткого дня цвітуть, коли день стає коротшим. Рослини, які схильні до розвитку й розмноження за великої тривалості світлового дня, активні у весняний та літній період, а із зменшенням довжини дня, вони переходять до стану спокою, скидають листя або частково відмирають. Для таких рослин найхарактернішими регіонами походження є помірні й приполярні широти [12].

Тривалість світлового дня впливає й на тварин. Наприклад влітку комахи помірних широт, які відносяться до тварин довго дня, активно харчуються, ростуть і розмножуються, восени впадають в сплячку. Навесні вони відкладають яйця, з яєць розвиваються личинки, а дорослі організми знову паруються. Сигналом для підготовки до відльоту в теплі краї є зменшення тривалості дня для перелітних птахів, а показником для гніздування і залицання – збільшення [9].

Таким чином, рослини й тварини мають спадково закладені програми реагування на зміну тривалості дня. Це дає можливість їм краще пристосуватися до сезонних змін у природі [4, 5, 8, 10].

2.2 Вплив техногенних факторів на роботу добового біологічного годинника організмів

Для всіх живих організмів від початку еволюційних процесів значним впливом на життєдіяльність відіграє середовище існування. Ця сфера безпосередньо впливає на організми через біотичні (вплив від біоти, вірусів), абіотичні (світло, температура, вологість, тиск, щільність ґрунту, газовий склад атмосферного повітря) та антропогенні фактори. Також і сам організм здійснює вплив на середовище, головним чином, зміною хімізму

субстрату, зміни мікрокліматичних навколишніх умов, через викид власної енергії та тепла, виснаженням трофічних і енергетичних ресурсів [4].

До техногенних факторів, що впливають на процеси життєдіяльності живих організмів та викликають зміни у їх біологічному годиннику відносяться: фізичне і хімічне забруднення атмосферного повітря, поверхневих та підземних вод, ґрунтів, виснаження гумусового шару і деградація ґрунтів, виснаження водних ресурсів, отруєння від важких металів та пестицидів. Особливо небезпечними є радіоактивне та електромагнітне забруднення, що може викликати мутацію, втрат деяких можливостей функціонування клітин, пошкодження фенотипу [12].

Можна стверджувати, що у рослин, які знаходяться у районах з техногенним забрудненням відстежується прискорення фенофаз, зменшується період вегетації, пришвидшуються процеси старіння. У зв'язку із розширенням мережі джерел фізичних полів електромагнітної природи простежується сильний негативний вплив на живі організми електромагнітного випромінювання. У рослин зменшуються розміри листової пластинки пригнічуються процеси фотосинтезу, уповільнюється ріст, розвиток і розмноження рослинних об'єктів [15]. У тварин вплив електромагнітних полів приводить до зростання кількості недоношених мертвонароджених малят та каліцтв [5].

На життя людей тривале знаходження під впливом електромагнітного поля в результаті створює ряд симптомів, в залежності від тривалості та інтенсивності випромінювання, як і для всіх інших доменів живих організмів. Вплив електромагнітного випромінювання на людей виражається у загальній слабкості, порушенні сну, головному болю, та болю в ділянці серця. Можливі відхилення з боку ендокринної системи та серцево-судинної системи. Тепловий вплив електромагнітних полів характеризується підвищенням температури тіла, локальним виборчим нагріванням клітин, тканин і органів внаслідок переходу енергії електромагнітного

випромінювання в теплову енергію та може викликати загострення сезонних хронічних захворювань [9, 10].

2.3 Екологічні і медичні наслідки порушення добових біологічних ритмів живих організмів

На стан і процеси життєдіяльності живих організмів впливає велика кількість факторів. Одним з них є періодичні коливання функціонального стану організму, що називають біоритмами. Встановлено, що здійснення біологічних ритмів тісно пов'язане з модифікуючими факторами зовнішнього середовища, так званими датчиками часу. Цей зв'язок визначається екологічними закономірностями (дія чинників хімічної та фізичної природи на біологічні ритми організмів [12].

У рослин і тварин в процесі еволюції розвилися визначені анатомо-морфологічні, фізіологічні, біохімічні й інші специфічні ознаки і властивості, що дозволили їм пристосовуватися до певного середовища існування [20].

Кожен вид має характерний для нього річний цикл, визначену послідовність і тривалість періодів інтенсивного росту, розвитку, розмноження, підготовки до зими і зимівлі. Збій тієї чи іншої фази життєвого циклу сезону, до умов якого пристосований організм, має вирішальне значення для його існування. Якщо у морозостійких видів рослин не сформується необхідні пристосування до зими, вони неминуче гинуть [19].

Техногенний вплив на різноманітність рослинного і тваринного світу може призвести до дисбалансу флори і фауни. Збільшення шуму і вібрації сповільнює процеси вегетації у рослин, підвищення кількості хімікатів у ґрунті збільшує частоту випадків розвитку гнильної мікрофлори овочів і фруктів. Перевищення рівня природної освітленості у місцях проживання нічних тварин приводить до порушення ритмів чергування дня і ночі та міграцій цих тварин. Процеси міграції, в свою чергу, можуть привести до

виникнення біотичного забруднення (поява нових для даної території видів) в інших районах [12, 23].

Для людини найбільшими наслідками екологічних забруднень є десинхронози. Виділяють два види десинхронозів:

- 1) внутрішній (порушення роботи будь-якого органу або системи);
- 2) зовнішній (захворювання, що розвивається в зв'язку із неузгодженістю роботи організму із зовнішніми датчиками часу).

До симптомів десинхронозу відносяться: порушення сну, відчуття слабкості, розбитості після сну; підвищена стомлюваність; дратівливість, зміна настрою; зниження здатності до концентрації уваги; шлунково-кишковий дискомфорт; головний біль, болі в області серця. В решті решт все це приводить до погіршення емоційного стану та зменшення тривалості життя [11, 14].

Таким чином до основних чинників, які впливають на біологічні ритми живих організмів відносять: штучне подовження світлового дня (використання світла вечорами), підвищення температури навколишнього середовища, радіація, електромагнітне випромінювання, неправильно організований режим дня, перевтома [11, 12, 15].

2.4 Використання методів біотестування для встановлення впливу техногенних факторів на роботу біологічного годинника

Біотестування за допомогою модельних рослин і тварин є одним із важливих методів оцінки антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Рослини і тварини реагуючи на зміни навколишнього середовища можуть виконувати роль індикаторів. Найкращими індикаторами є лишайники (бріоіндикаційний метод дослідження). Також використовують різні чутливі водорості, а серед покритонасінних – береза, клен, липа, тополя. Серед тварин для біотестування використовують дощових черв'яків,

моллюсків, комах. Для біоіндикації використовують прісноводних риб, ракоподібних, інфузорії [2, 6].

Зміни, що пов'язані із забрудненням навколишнього середовища, як правило, проявляються у листі на різних стадіях його розвитку. Пил, що осідає на листі забруднює породи, зменшує процес поглинання світла і збільшує теплопродукцію. Листя перегрівается і продуктивність фотосинтезу зменшується, як результат – уповільнюються процеси вегетації. У хвойних спостерігається зменшення тривалості життя хвої, її осипання у ялини, скидання двоголкових укорочених пагонів у сосни, ранній листопад у лип та кінських каштанів під впливом солі, яку застосовують для танення льоду, що викликає некрози або хлорози. У лишайників, які ростуть у забруднених місцях потовщується слань і може зовсім руйнуватися водоростевий шар [2, 5, 6,].

Річні цикли комах обумовлюються процесами фотоперіодизму та температурними змінами. У різних видів вони різні. Кількісні показники груп, які визначають за типом активності імаго у різних біотопах, можна використовувати для визначення ступеня антропогенного впливу на їх угруповання. Зменшення загальної чисельності членистоногих, зокрема, комах є показником фонового забруднення середовища. Важливу роль у біотестуванні відіграють комахоїдні ссавці. Вони, як правило, мають високу і стійку народжуваність. Зміни у їх кількості можуть слугувати індикаторами зміни умов навколишнього середовища [6, 18].

Отже біотестування показує реакцію елемента дослідження на забруднення, дозволяє визначати зміни фізичних та хімічних параметрів організмів, цілісні системні зміни в біоценозах, прогнозувати подальший розвиток подій стосовно біологічних ритмів. Біоіндикаторами можуть бути лише ті живі організми, які помітно реагують на аномалії [2, 4, 6].

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШТУЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ ВНОЧІ НА РОЗВИТОК ПРОРОСТКІВ МОДЕЛЬНИХ РОСЛИН

3.1 Матеріали та методи дослідження

Світлове забруднення є прикладом антропогенного втручання у природні ритми як у глобальному плані (Землі), так і на регіональному та місцевому (урбоекосистеми). Дослідження впливу від нічного освітлення є важливим етапом для оцінки та прогнозування стану навколишньої природної складової. На планеті існують та функціонують більше 2 500 000 міст. Число є не точним, а отже, кількість міст, що впливають на навколишнє природне середовище є ще більшим[22].

З розвитком індустріалізації витіснення ареалів розповсюдження рослин і тварин є проблемою кожної країни, а від надмірного освітлення багато видів біотичного світу вимушені адаптовуватись, «ігноруючи» свої природні добові ритми; викликає затримку розвитку, особливо на стадіях зародження плаценти (у тварин) та насіння рослинних організмів [4, 25].

При дослідженні впливу використовуємо методи експериментального дослідження, методи статистичного аналізу та методи статистичної обробки отриманих первинних даних.

Заміри рівня освітленості від нічного міського ліхтаря були здійснені за допомогою люкметра FLUS MT-906. Під час виконання дослідження було проведено три серії експериментів.

Експеримент № 1. Насіння ячменю (*Hordeum vulgare*) пророщували протягом 4-х днів в ч. Петрі на водопровідній некип'яченій воді (м. Херсон) при різних режимах освітлення:

- а) 24 год повна темрява;
- б) 12 год повна темрява в денний час доби / 12 год світло від вуличного ліхтаря в нічний час доби.

Експеримент № 2. Насіння ячменю (*Hordeum vulgare*) пророщували восени (жовтень, 2019 р.) протягом 4-х днів в ч. Петрі на водопровідній некип'яченій воді (м. Херсон) при різних режимах освітлення:

- а) 12 год природне освітлення в денний час доби / 12 год темрява вночі;
- б) 12 год природне освітлення в денний час доби / 12 год освітлення від вуличного ліхтаря в нічний час доби. Температура пророщування +24°C градуси Цельсію (штучне опалення).

Експеримент № 3. Насіння ячменю (*Hordeum vulgare*) пророщували влітку (серпень, 2019 р.) протягом 4-х днів в ч. Петрі на водопровідній некип'яченій воді (м. Херсон) при різних режимах освітлення:

- а) 16 год природне освітлення в денний час доби / 8 год темрява вночі;
- б) 16 год природне освітлення в денний час доби / 8 год освітлення від вуличного ліхтаря в нічний час доби. Температура пророщування +27°C градуси Цельсію.

Експеримент № 4. Насіння ячменю (*Hordeum vulgare*) та проса посівного (*Panicum miliaceum*) пророщували протягом 4-х днів в ч. Петрі на водопровідній некип'яченій воді при різних режимах освітлення:

- а) 24-години повна темрява;
- б) 12 год світло в денний час доби / 12 год темрява в нічний час доби;
- в) 12 год світло в нічний час доби / 12 год темрява в денний час доби.

Штучне освітлення в експериментальному приміщенні створювали за допомогою екранування лампи розжарювання, забезпечуючи умови дуже тьмяного освітлення, яке за інтенсивністю наближається до освітлення від нічного вуличного ліхтаря, < 5 лк). Режим освітлення (світло-темрява) перемикали в 6⁰⁰ і в 18⁰⁰ год щодня, що приблизно відповідає режиму природної доби під час осіннього рівнодення. При цьому зовнішнє джерело

природного освітлення було відсутнім. Температурні умови пророщування становили +23°C.

Обробка рослинного матеріалу. На 4-ту добу пророщування вимірювали довжину коренів (найдовшого кореня в мочкуватій кореневій системі) і епикотилів проростків. На підставі отриманих даних розраховували середню довжину коренів і середню довжину епикотилів. Всі дані статистично оброблялися.

Статистичний аналіз. Похибку середньо-арифметичних значень для довжини проростків (нормальне розподілення) визначали за формулами:

$$Scp \pm Sx \cdot tst \quad (3.1)$$

$$Sx = \sqrt{\frac{\sum (Scp - Si)^2}{n(n-1)}} \quad (3.2)$$

Де Scp – середнє арифметичне значення довжини проростків;

$Sx \cdot tst$ – похибка середнього арифметичного значення;

tst – критерій Стюдента, який визначається за таблицею;

n – об'єм вибірки (кількість проростків, довжина яких вимірювалась);

Si – довжина i -проростка.

Достовірність відмінностей між даними для нормальних розподілень розраховували наступною формулою:

$$\frac{|Scp_1 - Scp_2|}{\sqrt{Sx_1^2 + Sx_2^2}} = t, \quad (3.3)$$

При $t > tst$, відмінності достовірні.

Де Scp_1 , Scp_2 – середні значення показника для нормального розподілення в варіантах 1 і 2;

Sx_1 , Sx_2 – похибки середніх значень для варіантів 1 і 2;

tst – критерій Стюдента [18].

3.2 Результати проведених досліджень

Оцінка рівня освітленості. Приладові дослідження, проведені з використанням люкметра FLUS MT-906, показали, що на відстані 20 м від джерела штучного нічного освітлення (вуличний ліхтар) рівень освітленості становив 0,5 лк (люкс).

Об'єктами дослідження були проростки ячменю на проса посівного при природному та штучному освітленні в літній та осінній період при умовах закритого ґрунту. Важливим було створення оптимальних умов штучного освітлення для виявлення будь-якого впливу та правильне природне освітлення для порівняння (якщо це можливо) розвитку досліджувальних рослин [24].

Експеримент № 1. В умовах повної цілодобової темряви пророщування (24 год темрява) середня довжина коренів проростків ячменю склала $66,88 \pm 3,81$ мм, тоді як присутність протягом 12 год на добу освітлення від нічного вуличного ліхтаря - достовірно загальмувала ріст коренів, середня довжина яких не перевищувала $57,21 \pm 3,56$ мм (при $t_{st}=2,02$, $t=3,82$).

На середню довжину епикотилів освітлення від нічного вуличного ліхтаря не мало достовірного впливу: зазначений параметр склав в контролі (повна темрява) $45,19 \pm 2,20$ мм, і досліді (нічний ліхтар) – $44,59 \pm 2,44$ мм. Однак, епикотилі продемонстрували позитивний фототропічний вигин у напрямку до нічного вуличного ліхтаря. У той час як у проростків, вирощуваних в умовах повної темряви, фототропічний вигин був відсутній.

Таким чином, нічне освітлення від вуличного ліхтаря є достатнім для пригнічення росту коренів і формування позитивного фототропічного вигину епикотилів проростків ячменю; але – не для пригнічення росту епикотилів в довжину.

Таблиця 3.1– Вплив штучного освітлення від вуличного ліхтаря на ріст коренів і епикотилів проростків ячменю.

Варіант експерименту:	Довжина коренів \pm Sx·tst,мм	Довжина епикотилів \pm Sx·tst, мм:
24 год постійна темрява	66,88 \pm 3,81	45,19 \pm 2,20
12 год темно вдень / 12 год вуличний ліхтар вночі	57,21 \pm 3,56*	44,59 \pm 2,44

* – результати достовірно відрізняються від пророщування в умовах відсутності освітлення вночі від вуличного ліхтаря.

Експеримент № 2. Експеримент був проведений восени, в період осіннього рівнодення. В умовах природного світлового режиму: 12 год природне освітлення в денний час доби / 12 год темрява вночі – середня довжина коренів проростків ячменю склала 52,78 \pm 2,48 мм, а середня довжина епикотилів – 43,07 \pm 1,85 мм.

Таблиця 3.2 – Вплив світлового режиму вирощування на ріст коренів і епикотилів проростків ячменю (осінній експеримент)

Варіант експерименту:	Довжина коренів \pm Sx·tst,мм	Довжина епикотилів \pm Sx·tst, мм:
12 год освітлення вдень / 12 год темрява вночі	52,78 \pm 2,48	43,07 \pm 1,85
12 год освітлення вдень / 12 год вуличний ліхтар вночі	47,75 \pm 2,11*	39,19 \pm 1,97*

* – результати достовірно відрізняються від пророщування в умовах відсутності освітлення вночі від вуличного ліхтаря.

Пророщування насіння в умовах 12 год природне освітлення в денний час доби / 12 год освітлення від вуличного ліхтаря вночі - призвело до достовірного пригнічення росту і коренів, і епикотилів проростків ячменю: $47,75 \pm 2,11$ мм і $39,19 \pm 1,97$ мм, відповідно (при $t_{st}=2,00$, $t=3,12$ і $t=2,90$, відповідно).

Таким чином, восени, слабе штучне освітлення від нічного вуличного ліхтаря є достатнім для пригнічення росту коренів і епикотилів проростків в порівнянні з проростками, що перебували в нічний час доби в повній темряві.

Експеримент № 3. Експеримент, проведений влітку (серпень, 2019 р.) при тривалості світлового дня 16 годин і тривалості ночі 8 годин, не показав статистично достовірних ростових відмінностей ні для коренів, ні для епикотилів проростків ячменю в присутності освітлення нічного вуличного ліхтаря порівняно із повною темрявою вночі (див. табл. 3.3).

Відмінності в результатах літнього та осіннього експериментів можуть бути пов'язані як з відмінностями в температурах вирощування ($+27^{\circ}$ і $+24^{\circ}$ градуси Цельсія, відповідно), так і з інтенсивністю і тривалістю природного освітлення території в різні сезони року.

Таблиця 3.3 – Вплив світлового режиму вирощування на ріст коренів і епикотилів проростків ячменю (літній експеримент).

Варіант експерименту:	Довжина коренів $\pm Sx \cdot t_{st}$, мм	Довжина епикотилів $\pm Sx \cdot t_{st}$, мм:
16 год освітлення вдень / 8 год темрява вночі	$49,87 \pm 2,35$	$37,30 \pm 1,86$
16 год освітлення вдень / 8 год вуличний ліхтар вночі	$50,51 \pm 2,94$	$38,14 \pm 2,03$

Експеримент № 4. Пророщування проростків ячменю при світловому режимі 12 год темрява вдень / 12 год світло вночі дало середню довжину коренів $60,20 \pm 2,31$ мм. Тоді як пророщування при звичайному світловому режимі 12 год світло вдень / 12 год темно вночі – достовірно загальмувало

ріст коренів: середня довжина коренів склала $54,31 \pm 2,68$ мм. На середню довжину епикотилів режим добового освітлення не мав достовірного впливу: середня довжина епикотилів склала $45,07 \pm 1,93$ мм і $43,97 \pm 2,13$ мм, відповідно (табл. 3.4).

Таким чином, в умовах слабого техногенного освітлення проростки ячменю здатні відрізнити «ніч» і «день», реагуючи на аналогічне освітлення вночі слабкіше, ніж вдень, що свідчить про наявність додаткових, крім світла, складових в регуляції роботи добового біологічного годинника.

Таблиця 3.4 – Вплив добового режиму слабого техногенного освітлення (< 5 лк) на ріст коренів і епикотилів проростків ячменю.

Варіант експерименту:	Довжина коренів $\pm Sx \cdot tst$, мм	Довжина епикотилів $\pm Sx \cdot tst$, мм
24 год темно	$67,09 \pm 2,52$	$45,36 \pm 1,66$
12 год темно вдень / 12 год світло вночі	$60,20 \pm 2,31 \blacklozenge$	$45,07 \pm 1,93$
12 год світло вдень / 12 год темно вночі	$54,31 \pm 2,68^{*\blacklozenge}$	$43,97 \pm 2,13$

* – результати достовірно відрізняються від пророщування в умовах 24 год темрява;

* – результати достовірно відрізняються від пророщування в умовах зворотного світлового режиму день-ніч.

При пророщуванні насіння проса (*Panicum miliaceum*) в умовах зворотного світлового режиму: 12 год темно вдень / 12 год світло вночі – середня довжина коренів склала $43,45 \pm 2,86$ мм, тоді як в умовах звичайного світлового режиму: 12 год світло вдень / 12 год темно вночі – середня довжина коренів проростків не перевищувала $38,40 \pm 2,64$ мм, що достовірно менше, ніж в умовах режиму 12 год темно вдень / 12 год світло вночі.

При цьому світловий режим 12 год світло вдень / 12 год темно вночі також достовірно загальмував ріст колеоптилів проростків проса порівняно з

пророщуванням в умовах зворотнього світлового режиму: середня довжина колеоптилів склала $22,71 \pm 1,05$ мм і $24,66 \pm 1,47$ мм, відповідно (при $tst = 2,00$, $t = 2,11$) (табл. 3.5).

Відсутність у проростків проса, але не ячменю, відмінностей в ростовій реакції на слабе нічне освітлення в порівнянні з 24-год вирощування в повній темряві, свідчить про меншу чутливість рослин короткого світлового дня до слабкого освітлення порівняно з рослинами довгого світлового дня. З іншого боку, наявність у проростків проса, на відміну від проростів ячменю, відповідної реакції і коренів, і колеоптилів на зміну режиму добового освітлення, свідчить про більш високу чутливість біологічного годинника рослин короткого світлового дня до несвітлових сигналів добової ритміки.

Таблиця 3.5 – Вплив добового режиму слабкого техногенного освітлення (< 5 лк) на ріст коренів і колеоптилів проростків проса.

Варіант експерименту:	Довжина коренів $\pm Sx \cdot tst, \text{мм}$	Довжина колеоптилів $\pm Sx \cdot tst, \text{мм}$:
24 год темно	$45,46 \pm 2,94$	$24,63 \pm 1,50$
12 год темно вдень / 12 год світло вночі	$43,45 \pm 2,86$	$24,66 \pm 1,47$
12 год світло вдень / 12 год темно вночі	$38,40 \pm 2,64^*$	$22,71 \pm 1,05^*$

* – результати достовірно відрізняються від пророщування в умовах зворотнього світлового режиму день-ніч.

3.3 Аналіз отриманих результатів

Отримані нами результати ростового фітотесту свідчать про те, що дуже низький рівень освітленості, який створюється нічним вуличним

ліхтарем (0,5 лк), є достатнім для впливу на ростові процеси у проростків ячменю.

Вченими Mandoli D.F. і Briggs W.R. (1981) було встановлено, що поріг чутливості ростової відповіді мезокотилів і колеоптилів проростків вівса на слабе освітлення становить 10^{-14} Е/см⁻²·с⁻¹ або 0,015 лк (люкс) [3]. Близькі порогові величини освітленості були отримані для ростової відповіді коренів проростків *Avena sativa* (10^{-15} Е/см⁻²·с⁻¹ - 10^{-14} Е/см⁻²·с⁻¹) (0,0015-0,015 лк, відповідно) [35–36]. Таким чином, літературні дані підтверджують можливість ростової реакції проростків ячменю на дуже низькі рівні освітленості, створювані нічними вуличними ліхтарями.

Мінімальна фотосинтетична активність рослин починається при освітленості приблизно в 100 лк [15]. Однією з найважливіших характеристик процесу фотосинтезу є точка компенсації – це інтенсивність освітлення, при якій кількість вуглекислого газу, що фіксується рослиною в процесі фотосинтезу, дорівнює кількості вуглекислого газу, що виділяється рослиною в процесі дихання. Наприклад, для затіненого листа рослини *Fagus sylvatica* точка компенсації становить 200 лк, а для листа, яке росте на яскравому світлі - 500 лк [20]. Для виживання найбільш тіньовитривалі рослини вимагають не менше 750-1000 люкс освітленості протягом 12 годин на добу [3].

Таким чином, штучне нічне освітлення не володіє достатнім запасом енергії для забезпечення процесу фотосинтезу, проте – кількість цієї енергії виявляється достатньою для запуску регуляторних процесів, які контролюють фотоморфогенез рослин (фототропізм епикотилів, а також ріст коренів і епикотилів проростків ячменю).

Дані, отримані нами в результаті проведених експериментальних досліджень, свідчать про те, що:

1) освітлення від нічного вуличного ліхтаря є достатнім, для індукції позитивного фототропізму у епикотилів проростків ячменю і для гальмування

росту в довжину коренів і епикотилів проростків ячменю в порівнянні з рослинами, що вирощуються в умовах повної темряви вночі;

2) при вирощуванні рослин в умовах природного добового світлового режиму (влітку: 16 год освітлення / 8 год темрява; восени: 12 год освітлення / 12 год темрява) нічне освітлення від вуличного ліхтаря було достатнім для пригнічення росту коренів і епикотилів тільки восени (при більш низькому рівні і тривалості природного освітлення та більш низьких температурах навколишнього середовища, +24° градуси Цельсія). Влітку, при яскравому природному освітленні, більшій тривалості світлового дня і високих температурах (+27° градусів Цельсія), – нічне освітлення від вуличного ліхтаря не вплинуло ні на ріст коренів, ні на ріст епикотилів проростків ячменю.

В цілому, проведені нами на проростках ячменю і проса дослідження показали, що, дійсно, слабе нічне освітлення від вуличних ліхтарів є достатнім для регуляторного впливу на ріст і формування фототропізму у проростків рослин довгого і короткого дня; і що на інтенсивність ростової відповіді рослин на слабе нічне освітлення впливає пора року (восени реакція виражена сильніше, ніж влітку).

Таким чином, в результаті проведених нами досліджень було встановлено, що нічне освітлення вулиць за допомогою ліхтарів може вплинути на розвиток міських рослин в холодну пору року – навесні і восени. Тоді як влітку, нічне освітлення від вуличних ліхтарів, найімовірніше, не повинно негативно впливати на ріст і розвиток рослин.

Наявні літературні дані свідчать про більш високу чутливість репродуктивної системи рослин короткого світлового дня порівняно з рослинами довгого світлового дня до впливу слабкого нічного техногенного освітлення екосистем. Нами було висунене припущення, що і ростові процеси у рослин короткого світлового дня можуть бути більш чутливими до штучного нічного освітлення порівняно з рослинами довгого світлового дня. Для перевірки цього припущення в умовах слабкого техногенного

освітлення, яке за інтенсивністю і спектральними характеристиками є аналогічним освітленню від нічних вуличних ліхтарів, було проведене пророщення насіння рослин короткого (просо) та довгого світлового дня (ячмінь) із застосуванням різних добових режимів освітлення.

Рослини короткого дня (до яких, зокрема, відноситься просо) мають низькоширотне (субтропічне) походження: їх еволюційне формування відбувалося в умовах короткого світлового дня з яскравим сонячним освітленням і досить високими температурами проживання. Для рослин цієї групи подовження світлового дня свідчить про настання зими – тобто, не сприятливого сезону, тому, такі рослини в умовах довгого світлового дня тільки вегетують, не переходячи до цвітіння і плодоношення.

Навпаки, рослини довгого світлового дня, до яких, зокрема, відноситься ячмінь, еволюційно походять з більш високих широт. Для рослин цієї групи подовження світлового дня є сигналом початку літа і необхідності переходити до розмноження. Таким чином, і рослини короткого дня, і рослини довгого дня здатні реєструвати довжину світлового дня і, відповідним чином, змінювати програму свого розвитку.

Отримані нами дані дозволили встановити, що добове регулювання ростових процесів у проростків даних рослин контролюється не тільки довжиною світлового дня, але також і несвітловими добовими сигналами (імовірно – добовими збуреннями магнітного поля Землі). Зокрема, корені проростків і ячменю, і проса показали більш сильне гальмування ростових процесів в умовах світлового режиму пророщування: 12 год світло вдень / 12 год темно вночі в порівнянні зі зворотним світловим режимом пророщування: 12 год світло вночі / 12 год темно вдень. Це свідчить про те, що корені здатні сприймати не тільки світлові, але також і несвітлові добові сигнали. При цьому і для коренів проростків ячменю, і для коренів проростків проса виявлені відмінності виявилися статистично достовірними, що свідчить про високу чутливість коренів рослин обох типів фотоперіоду до несвітлових добових сигналів росту.

Крім того, корені проростків ячменю, на відміну від коренів проса, показали достовірне гальмування росту також між умовами росту 24 години в повній темряві і пророщуванні при режимі 12 год світло вночі / 12 год темно вдень, що свідчить про більш високу чутливість коренів рослин довгого дня в порівнянні з коренями рослин короткого дня до світлового режиму пророщування.

Колеоптилі, ячменю і проса також показали пригнічення росту при світловому режимі 12 год світло вдень / 12 год темно вночі в порівнянні зі світловим режимом 12 год світло вночі / 12 год темно вдень. Це свідчить про те, що колеоптилі також здатні сприймати не тільки світлові, але і несвітлові добові сигнали (наприклад, добові зміни магнітного поля Землі). Слід зазначити, що для ячменю виявлене пригнічення було статистично не достовірним, тоді як для проса – відмінності були достовірними. Це свідчить про більш високу чутливість ростових процесів колеоптилів проса, рослин короткого дня, в порівнянні з колеоптилями ячменю, рослин довгого дня, до несвітлових добових сигналів росту.

В цілому, отримані дані показали, що ростові процеси в проростках рослин довгого світлового дня (ячмінь) є більш чутливими до слабкого техногенного освітлення порівняно з проростками рослин короткого світлового дня (просо). Тоді як на несвітлові сигнали добової динаміки – сильнішу ростову відповідь дають проростки рослин короткого світлового дня (просо). Результати експериментального дослідження не підтвердили передбачувану більш високу небезпеку слабкого техногенного нічного освітлення від вуличних ліхтарів для гальмування процесів росту (але не репродуктивного розвитку) у рослин короткого світлового дня [26].

Таким чином, на слабке освітлення сильніше реагують проростки рослин довгого дня, тоді як на несвітлові сигнали добової ритміки – сильніше реагують рослини короткого світлового дня. Відомо, що в низьких приєкваторіальних широтах рослини стикаються з дуже інтенсивним

природним освітленням і, мабуть, мають знижене сприйняття світлових сигналів порівняно з рослинами довгого світлового дня [10].

З іншого боку, відомо, що збурення магнітосфери Землі істотно залежать від часу доби, сезону, географічної та геомагнітної широти місцевості, і від стану навколоземного космічного простору. При цьому збурення магнітосфери Землі призводять до формування індукційних струмів, як в технічних системах, так і в біологічних системах, і в приполярних широтах даний ефект виражений сильніше, ніж у низьких широтах. Таким чином, в приекваторіальних регіонах індукційні струми, викликані збуреннями геомагнітного поля Землі, є слабкішими, ніж в помірних широтах, і, вочевидь, нативні для цих широт рослини сильніше відчують їх коливання. Тоді як в помірних регіонах – є більш слабким природний світловий потік і нативні рослини сильніше відчують його варіації [27, 29, 31].

3.4 Екологічна оцінка наслідків від нічного освітлення міських екосистем

На сьогоднішній день розвиток людського суспільства немислимий без системи нічного освітлення. Але в результаті використання зовнішнього освітлення міста, непрямого освітлення, нечисленна кількість розжарювальних, світлодіодних, натрієвих ламп відбувається достатня кількість побічних ефектів, що відображається на здоров'ї людини, впливає на живі організми на функціонування неживих явищ (наприклад, світіння неба) [21, 24]. Тому деякі країни навіть почали розробляти стандарти зовнішнього освітлення, щоб знизити площі від нічного освітлення (додаток В, додаток Г) [22]. До того ж надмірне використання електроенергії становить серйозний вплив на стан природного середовища [4].

Аналіз наявних даних свідчить про те, що серед довгострокових наслідків нічного світлового забруднення екосистем – можливі зміни їх структури (чисельності особин, видового складу, трофічних ланцюгів) [23, 26] і запуск в екосистемах еволюційних процесів [1, 2].

До характерних змін від антропогенного нічного світлового забруднення можна віднести зміни біоритмів у мігруючих тварин (через зміну часу), впливає на динаміку живої природи. Для людини це безсоння (мелатонін не виробляється в потрібний час) та можлива апатія [11, 12].

Проведені низкою наукових груп дослідження дозволяють запропонувати систему превентивних заходів, які могли б пом'якшити ефекти штучного нічного освітлення на екосистеми: заміна LED-ламп на натрієві лампи, зміна кольору спектра освітлення, зміни дизайну фар автомобілів і дорожнього покриття і т.н. [28].

Основну тривогу у екологів викликає зниження первинної продуктивності екосистем в умовах штучного нічного освітлення сільськогосподарських угідь, прибережних акваторіальних екосистем і т.п. Дійсно, отримані нами дані також свідчать про те, що в прохолодних кліматичних умовах нічне штучне освітлення здатне загальмувати і ріст коренів, і ріст пагонів рослин.

Зміна колірної гами штучного нічного освітлення відповідним чином для рослин короткого і довгого світлового дня могла б частково вирішити цю проблему. Зокрема, згідно з літературними даними, штучне нічне освітлення знижує первинну біопродуктивність аквальних екосистем (тобто, гальмує ріст водних рослин) при використанні енергозберігаючих LED-ламп, що дають надмірне випромінювання в регуляторній синій частини світлового спектру, але не при використанні нічних ліхтарів інших типів [14, 36].

Аналіз досліджень, проведених різними науковими групами, показав, що в містах біля вуличних ліхтарів рослини раніше виходять зі стану сезонного спокою і пізніше входять в стан сезонного спокою в результаті штучного подовження світлового дня. При цьому виявлені в міських

екосистемах фенологічні відмінності пов'язані не тільки з подовженням світлового дня, але і з підвищенням температури навколишнього середовища (т.зв. міський ефект підвищення температури на $+1^{\circ}\text{C}$ $+2^{\circ}\text{C}$ градуси Цельсія). Відомо, що рослини мають досить високу фенотипічну і фенологічну пластичність внаслідок сидячого способу життя. Зрушення термінів входу і виходу зі стану сезонного спокою цілком вписуються в діапазон фенологічної пластичності і, в принципі, не повинні викликати занепокоєння у фахівців. Міські рослини не виходять зі стану спокою в зимові морози і відсутня муніципальна статистика підвищеного рівня смертності міських насаджень біля вуличних ліхтарів.

Цілком можливо, що проблемою може бути хронічний світловий стрес і навіть не для усіх рослин, а лише для рослин короткого світлового дня. Зокрема, з точки зору репродуктивного успіху, нічне освітлення повинні гірше переносити рослини короткого світлового дня, тобто, мешканці приекваторіальних і субтропічних регіонів, а також рослини цих регіонів, інтродуковані в помірних широтах [15].

Відомо, що у відповідь на хронічне освітлення деякі рослини демонструють світлове пошкодження (розвиток хлорозів і некрозів листя). Однак, цей ефект знімається при контрастності добових температур (це показано в експериментах в теплицях. Таким чином, в помірних широтах, в умовах природно більш контрастних добових температур, ефект хронічного світлового пошкодження рослин повинен проявлятися в меншій мірі, ніж в низьких широтах.

Таким чином, штучне нічне світлове забруднення екосистем може:

а) викликати світлове пошкодження рослин, яке сильніше буде проявлятися в низьких широтах, у рослин короткого світлового дня;

б) в помірних широтах блокувати розмноження інтродукованих рослин короткого світлового дня.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеного дослідження можна зробити наступні висновки.

1. Мозок тварин і людини, а також апікальні меристеми коренів і пагонів рослин містять групи клітин, які контролюють добові ритми роботи організмів (т.зв. центральний добовий або циркадіанний біологічний годинник). Клітини добового біологічного годинника здатні сприймати сезонні зміни тривалості світлового дня, температури навколишнього середовища, сезонні збурення геомагнітного поля Землі, сезонні зміни доступності їжі та води і підлаштовувати добовий ритм роботи організмів до умов навколишнього середовища.

2. Техногенні фактори спроможні порушувати роботу біологічного годинника як безпосередньо (штучні електромагнітні поля різних частотних діапазонів: радіохвильове, теплове випромінювання, видиме світло, тощо), так і опосередковано, через розвиток стресового стану організму внаслідок фізичного або хімічного техногенного впливу на клітинні системи.

Найбільший техногенний вплив на роботу біологічного годинника у живих організмів має система штучного освітлення в нічний час доби в містах, уздовж автомагістралей, набережних і т.п. Нічне штучне освітлення відрізняється від природного освітлення за часом впливу на екосистеми (ніч), за своїми спектральними характеристиками і інтенсивністю і призводить до дезорієнтації тварин під час міграцій, порушує нічний сон і викликає поведінку тривоги у тварин, пригнічує синтез мелатоніну і сприяє розвитку оксидативного стресу в клітинах тварин.

У рослин штучне нічне освітлення призводить до змін в сезонних фенологічних циклах, порушує запилення рослин комахами, що негативно впливає на репродуктивний успіх рослин і призводить до зниження

врожайності рослин, що, в свою чергу, супроводжується зменшенням чисельності популяції рослиноїдних тварин.

3. Проведені нами експериментальні дослідження дозволили встановити наступне:

1) освітлення від нічних вуличних ліхтарів в міській екосистемі є достатнім для індукції позитивного фототропізму у епикотилів проростків ячменю і для гальмування росту коренів проростків ячменю в порівнянні з рослинами, що вирощуються в умовах повної темряви;

2) при вирощуванні рослин в умовах природного добового світлового режиму тільки восени нічне освітлення від вуличних ліхтарів є достатнім для статистично достовірного пригнічення росту коренів і епикотилів. Влітку, при яскравому природному освітленні, більшій тривалості світлового дня і високих температурах навколишнього середовища, нічне освітлення від вуличних ліхтарів не впливає достовірно ні на ріст коренів, ні на ріст епикотилів проростків ячменю.

3) Ростові процеси в проростках рослин довгого світлового дня (ячмінь) є більш чутливими до слабкого техногенного освітлення порівняно з проростками рослин короткого світлового дня (просо). Тоді як на несвітлові сигнали добової динаміки - сильнішу ростову відповідь дають проростки рослин короткого світлового дня (просо). В цілому, отримані дані не підтвердили передбачувану більш високу небезпеку слабкого техногенного нічного освітлення від вуличних ліхтарів для гальмування процесів росту (але не репродуктивного розвитку) у рослин короткого світлового дня.

4. Нічне освітлення має вагомий вплив на біологічні ритми, розвиток живих організмів, екосистем в цілому, деструктивні екологічні наслідки. Розсіювання світла від поверхневих об'єктів в містах викликає явище світіння неба в нічний час, що не нормою. В ближніх екосистемах порушуються цикли розмноження організмів, знижується видове різноманіття територій, зменшується кількість особин одних видів, що в результаті призводить до збільшення кількості особин інших видів, частково

знімається тиск від нічних хижаків, що змінює структуру угруповань організмів, з плином часу будуть відбуватися зміни у відносинах хижак-жертва, викликати сильні агресивні випадки у тварин, особливо для видів, з не характерною поведінкою. Як наслідки, створюються умови для можливих змін структури екосистем, змінюється чисельності особин, структура видового складу, трофічних ланцюгів, початок нових еволюційних процесів.

Штучне освітлення особливим чином впливає і на цикли розвитку рослин, на їх буденні ритми, а питома вага білого на блакитного світла заважає орієнтації комах, для їх запліднення, що призводить до скорочення чисельності. Через кольорову температуру рослина може змінювати колір листя, при відсутності природної темряви вищі рослини скидають листя пізніше, що підвергає їх впливу низьких температур при холодних порах року, частота фотосинтезу і фази цвітіння зміщуються.

В хаотичному житті людина підвергається багатьом джерелам світла, що впливає на людський організм, змінюючи гормональний баланс, збивається внутрішнє відчуття дня і ночі, особливо для тих, хто проживає у мегаполісах, при постійному тиску людських організм стає схильним до перевтоми, безсоння, активність мозкових клітин та нормальна фіксація зору зменшується.

Отже, за неефективності використання електроенергії відбувається не тільки на екосистему Землі в цілому, а й збільшенню парникових газів, підвищенню температури атмосферного повітря, чим загрожує зміною клімату, що є острою екологічною проблемою нашого століття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрійчук В., Воркун С., Герц А., Костик Л. Вплив параметрів змінного світлового поля на ріст і розвиток рослин на закритому Ґрунті. Світлотехніка й електротехніка: історія, проблеми й перспективи: II Міжнарод. наук.-тех. конф., 24-27 травня 2005 р.: матеріали конф. Тернопіль, 2005. С. 54-55.
2. Бахарев И., Прокофьев А., Туркин А., Застосування світлодіодних світильників для освітлення теплиць: реальність і перспективи Сучасні технології автоматизації. 2010. № 2. С. 76–82.
3. Білявський Г. О., Бутченко Л. І. Основи екології: теорія та практикум. Навч. посібник. К.: Либідь, 2004. 368 с.
4. Біологічні ритми живих організмів. Електронний ресурс: <http://ru.osvita.ua/vnz/reports/biolog/26204/>.
5. Біологічні ритми і здоров'я. Електронний ресурс: <https://www.bsmu.edu.ua/blog/7026-biologichni-ritmi-i-zdorovyua-lyudini/>.
6. Бурдин К. С. Основи біологічного моніторингу. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 158 с.
7. Веселовский В. А., Веселова Т. В. Люмінесценція рослин. – Москва: Наука, 1990. – 200 с.
8. Вплив електромагнітного випромінювання на живі організми. Електронний ресурс: <https://is.gd/6RN3eA>.
9. Герц А. І. Регуляція метаболізму рослин штучними джерелами освітлення. Наука і молодь: Міжнарод. наук, конф., 11-12 квітня 2002 р.: матеріали конф. К., 2002. С. 195.
10. Голубкина Н. А., Про вплив додаткового ультрафіолетового опромінення на продуктивність і харчову цінність овочів в умовах закритого ґрунту. Світлотехніка. 1994. № 6. С. 2–5.
11. Життя в стилі біоритмів. Електронний ресурс: <https://koral.info/temy/zhittya-u-stili-bioritmiv.html>.

12. Комаров Ф. И., Рапопорт С. И. Хронобіологія і хрономедицина. М.: Триада-Х, 2000. - 488 .
13. Коцан І. Я., Журавльов О. А. Біоритмологія : навч. посіб. Луцьк, 2005, С. 115.
14. Лакин Г.Ф. Біометрия. М.: Высшая школа. 1990. 350 с.
15. Мисюра А.Н., Смирнов Ю.Б., Гасов В.Я. Біотестування як метод оцінки природного середовища. Проблеми фундаментальної та прикладної екології: матеріали ІІ Всеукраїнської конференції 9-10 грудня 1997 р. Кривий Ріг, 1997. – Ч.1. – С. 42-43.
16. Правильне освітлення для рослин і як його забезпечити. Електронний ресурс: <https://is.gd/0fVkJFD>.
17. Романко Е. Г., Селиванкина С. Ю., Дроздова И. С., Воскресенская Н. П. Вплив синього і червоного світла на протеїнази, пов'язані з мембранами тилакоїдів хлоропластів. фізіологія рослин. 1991. Т. 38, № 1. С. 45–54.
18. Фотоперіодизм. Словник-довідник з екології: навч.-метод. посіб. / уклад. О. Г. Лановенко, О. О. Остапішина. Херсон : ПП Вишемирський В. С., 2013. – С. 184.
19. Червінський Л. С., Книжка Т. С., Романенко О. І., Луцак Я. М. Теоретичне обґрунтування механізму керування впливом оптичного випромінювання на біологічні системи на основі фотореактивації. *Науковий вісник НУБіП України*. 2016. Вип. 242. С.106–116.
20. Червинский Л. С., Луцак Я. Н. Обґрунтування впливу спектрального складу джерел світлової енергії на життєдіяльність рослин в спорудах закритого ґрунту. Теоретичний та науково-практичний журнал Всеросійського науково-дослідного інституту електрифікації сільського господарства "Інновації в сільському господарстві». М.: ВИЭСХ, 2016. Вип. No 4 (9). С. 180–187.
21. Червинский Л. С., Романенко А. И. Вплив електромагнітних полів на живі організми і механізми їх впливу. Вісник Харківського національного

технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2013. Вип. 142. С. 116-119.

22. Штучні джерела світла. Електронний ресурс: <https://uk.wikipedia.org/wiki>.

23. Benes K. Plants depend on cycles of light. Now, they're always on. *Ecology*. 2018. Vol. 34.

24. Bennie J, Davies T. W., Cruse D., Inger R., Gaston K. J. Cascading effects of artificial light at night: resource-mediated control of herbivores in a grassland ecosystem. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 2015. Vol. 370(1667). pii: 20140131. doi: 10.1098/rstb.2014.0131.

25. Correa-Cano M. E., Goettsch B., Duffy J. P., Bennie J., Inger R., Gaston K. J. Erosion of natural darkness in the geographic ranges of cacti. *Sci. Rep.* 2018. Vol. 8(1):4347. doi: 10.1038/s41598-018-22725-8.

26. Dominoni D. M., Nelson R. J. Artificial light at night as an environmental pollutant: An integrative approach across taxa, biological functions, and scientific disciplines. *J. Exp. Zool. A. Ecol. Integr. Physiol.* 2018. Vol. 329(8-9). P. 387-393. doi: 10.1002/jez.2241.

27. Gaston K. J., Holt L. A. Nature, extent and ecological implications of night-time light from road vehicles. *J. Appl. Ecol.* 2018. Vol. 55(5). P. 2296-2307. doi: 10.1111/1365-2664.13157.

28. Grubisic M., van Grunsven R. H. A., Manfrin A., Monaghan M. T., Hölker F. A transition to white LED increases ecological impacts of nocturnal illumination on aquatic primary producers in a lowland agricultural drainage ditch. *Environ. Pollut.* 2018. Vol. 240. P. 630-638. doi: 10.1016/j.envpol.2018.04.146.

29. Hopkins G. R., Gaston K. J., Visser M. E., Elgar M. A., T.M. Jones T. M. Artificial light at night as a driver of evolution across urban–rural landscapes. *Front. Ecol. Environ.* 2018. Vol. 16(8). P. 1–8, doi:10.1002/fee.1828.

30. Lichtenthaler H. K., Buschmann C., Doll M., Fietz H., Bach T., Kozel U., Meier D., Rahmsdorf U. Photosynthetic activity, chloroplast ultrastructure, and leaf characteristics of high-light and low-light plants and of sun and shade leaves.

Photosynthesis Research. 1981. Vol. 2(2). P. 115-141. file:///D:/Users/Downloads/Lichtenthaleretal1981.pdf.

31. MacGregor C. J., Pocock M. J., Fox R., Evans D. M. Pollination by nocturnal *Lepidoptera*, and the effects of light pollution: a review. *Ecol. Entomol.* 2015. Vol. 40(3). P. 187-198.

32. Mandoli D. F., Briggs W. R. Phytochrome control of two low-irradiance responses in etiolated oat seedlings. *Plant. Physiol.* 1981. Vol. 67(4). P. 733-739.

33. Navvab M. Lighting Aspects for Plant Growth in Controlled Environments. *CIE 27th Session, Sun City/ZA*. 2011. Vol. 1(1). P. 430–440.

34. Qual P. H., Briggs W. R. Light-enhanced geotropic sensitivity in maize roots: possible involvement of phytochrome. *Carnegie Inst Wash Year Book*. 1978. Vol. 77. P. 336–339.

35. Sysoeva M. I., Markovskaya T. F., Shibaeva T. G. Plants under Continuous Light: A Review. *Plant Stress*. 2010. Vol. 4(1). P. 5-17.

36. Tepfer D. A., Bonnett H. T. The role of phytochrome in the geotropic behavior of roots of *Convolvulus arvensis*. *Planta*. 1972. Vol. 106. P. 311–324.

ДОДАТКИ

Додаток А [12].

Циркадний ритм людини



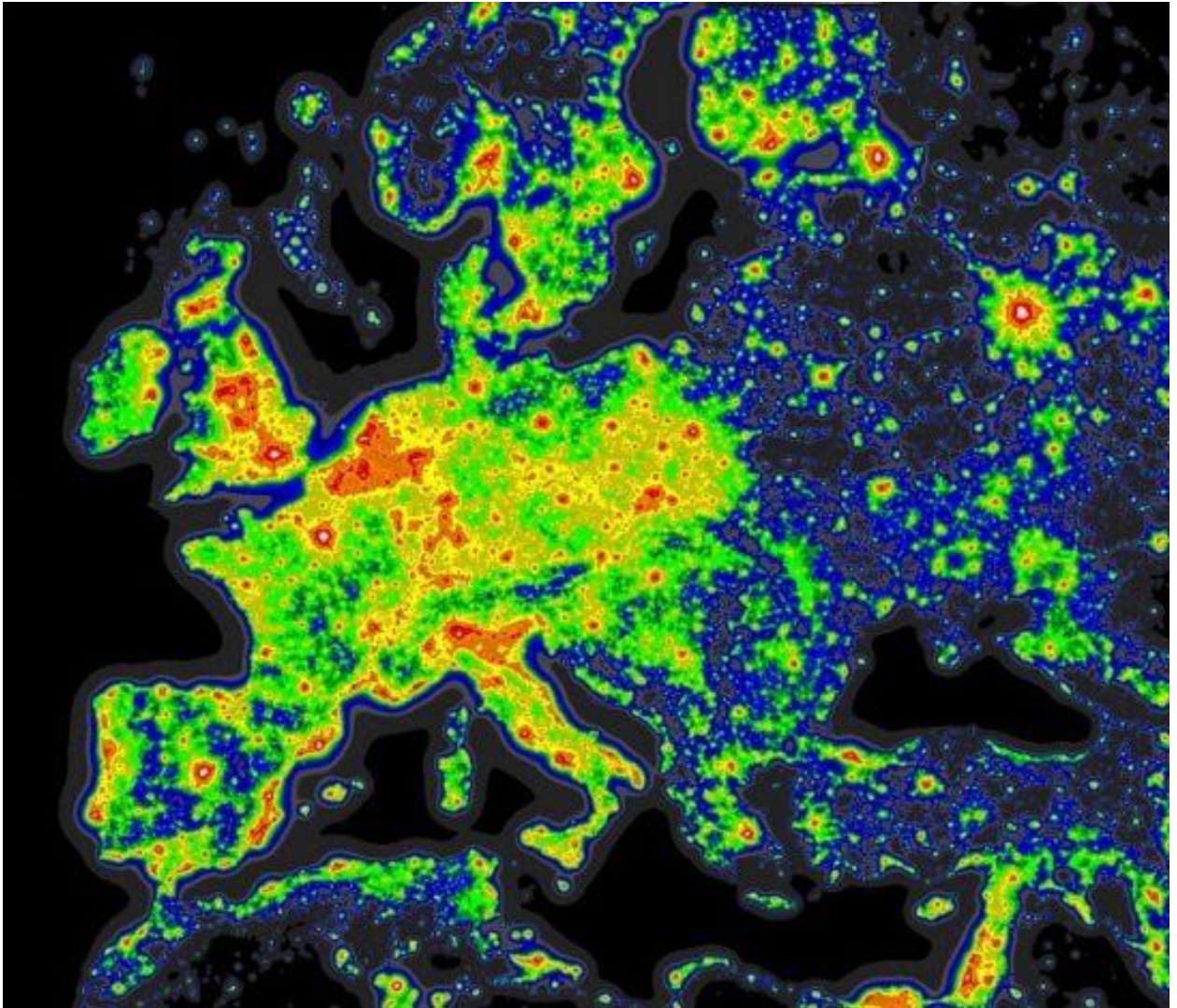
Додаток Б [10].

Іпомея пурпурова (*Pharbitis nil*)



Додаток В [22].

Нічне освітлення Європи



Додаток Г [22].
Нічне освітлення США



**КОДЕКС АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ ХЕРСОНЬСЬКОГО
ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

Я, _____, учасник(ця) освітнього процесу Херсонського державного університету, **УСВІДОМЛЮЮ**, що академічна доброчесність – це фундаментальна етична цінність усієї академічної спільноти світу.

ЗАЯВЛЯЮ, що у своїй освітній і науковій діяльності **ЗОБОВ'ЯЗУЮСЯ**:

– дотримуватися:

- вимог законодавства України та внутрішніх нормативних документів університету, зокрема Статуту Університету;
- принципів та правил академічної доброчесності;
- нульової толерантності до академічного плагіату;
- моральних норм та правил етичної поведінки;
- толерантного ставлення до інших;
- дотримуватися високого рівня культури спілкування;

– надавати згоду на:

- безпосередню перевірку курсових, кваліфікаційних робіт тощо на ознаки наявності академічного плагіату за допомогою спеціалізованих програмних продуктів;
- оброблення, збереження й розміщення кваліфікаційних робіт у відкритому доступі в інституційному репозитарії;
- використання робіт для перевірки на ознаки наявності академічного плагіату в інших роботах виключно з метою виявлення можливих ознак академічного плагіату;

– самостійно виконувати навчальні завдання, завдання поточного й підсумкового контролю результатів навчання;

– надавати достовірну інформацію щодо результатів власної навчальної (наукової, творчої) діяльності, використаних методик досліджень та джерел інформації;

– не використовувати результати досліджень інших авторів без використання покликань на їхню роботу;

– своєю діяльністю сприяти збереженню та примноженню традицій університету, формуванню його позитивного іміджу;

– не чинити правопорушень і не сприяти їхньому скоєнню іншими особами;

– підтримувати атмосферу довіри, взаємної відповідальності та співпраці в освітньому середовищі;

– поважати честь, гідність та особисту недоторканність особи, незважаючи на її стать, вік, матеріальний стан, соціальне становище, расову належність, релігійні й політичні переконання;

– не дискримінувати людей на підставі академічного статусу, а також за національною, расовою, статевою чи іншою належністю;

– відповідально ставитися до своїх обов'язків, вчасно та сумлінно виконувати необхідні навчальні та науково-дослідницькі завдання;

– запобігати виникненню у своїй діяльності конфлікту інтересів, зокрема не використовувати службових і родинних зв'язків з метою отримання нечесної переваги в навчальній, науковій і трудовій діяльності;

– не брати участі в будь-якій діяльності, пов'язаній із обманом, нечесністю, списуванням, фабрикацією;

– не підроблювати документи;

• не поширювати неправдиву та компрометуючу інформацію про інших здобувачів вищої освіти, викладачів і співробітників;

• не отримувати і не пропонувати винагород за несправедливе отримання будь-яких переваг або здійснення впливу на зміну отриманої академічної оцінки ;

– не залякувати й не проявляти агресії та насильства проти інших, сексуальні домагання;

– не завдавати шкоди матеріальним цінностям, матеріально-технічній базі університету та особистій власності інших студентів та/або працівників;

– не використовувати без дозволу ректорату (деканату) символіки університету в заходах, не пов'язаних з діяльністю університету;

– не здійснювати і не заохочувати будь-яких спроб, спрямованих на те, щоб за допомогою нечесних і негідних методів досягати власних корисних цілей;

– не завдавати загрози власному здоров'ю або безпеці іншим студентам та/або працівникам.

УСВІДОМЛЮЮ, що відповідно до чинного законодавства у разі недотримання Кодексу академічної доброчесності буду нести академічну та/або інші види відповідальності й до мене можуть бути застосовані заходи дисциплінарного характеру за порушення принципів академічної доброчесності.

(дата)

(підпис)

(ім'я, прізвище)