

УДК 574.24:504.055

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.1.28>

ОЦІНКА ВПЛИВУ ТЕХНОГЕННОГО НІЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ НА ЖИВІ ОРГАНІЗМИ МЕТОДАМИ ФІТОТЕСТУВАННЯ

Кундельчук О.П. – к.б.н., доцент кафедри географії та екології,
Херсонський державний університет

Скок С.В. – к.с.-г.н., доцент кафедри екології та сталого розвитку
імені професора Ю.В. Пилипенка,

ДВНЗ «Херсонський державний аграрно-економічний університет

Гридасов Є.Р. – студент IV курсу факультету біології, географії та екології,
Херсонський державний університет

Штучне освітлення в нічний час доби населених пунктів, автомагістралей, набережних і т.н. відрізняється від природного нічного освітлення за часом впливу на екосистеми, за своїми спектральними характеристиками і інтенсивністю, що становить потенційний ризик для благополуччя екосистем. Особливо негативних змін зазнають рослини, функціонування яких в якості первинних продуцентів залежить від параметрів освітлення. Для експрес-оцінки біологічної ефективності штучного нічного освітлення міста був використаний ростовий фітотест на проростках ячменю звичайного (*Hordeum vulgare* L.).

Внаслідок 12 годинного освітлення від нічного вуличного ліхтаря спостерігалось гальмування росту коренів пророщеного насіння в порівнянні з пророщенням насінням в умовах цілодобової темряви ($57,21 \pm 3,56$ мм і $66,88 \pm 3,81$ мм, відповідно). При цьому епікотилі пророщували позитивний фототропізм у напрямку до нічного вуличного ліхтаря.

Восени, в умовах природного світлового режиму 12 годинного освітлення в денний час доби / 12 годинної темряви вночі середня довжина коренів проростків ячменю склала $52,78 \pm 2,48$ мм і епікотилів – $43,07 \pm 1,85$ мм. Пророщування насіння в умовах 12 годинного освітлення в денний час доби / 12 годинного освітлення від вуличного ліхтаря вночі призвело до достовірного пригнічення росту коренів та епікотилів проростків ячменю: $47,75 \pm 2,11$ мм і $39,19 \pm 1,97$ мм, відповідно. Влітку, внаслідок пророщування насіння в умовах 16 год природного освітлення вдень / 8 год освітлення від вуличного ліхтаря вночі не спостерігалось змін показників росту коренів та епікотилів проростків ячменю в порівнянні з проростками, які вночі знаходилися в умовах повної темряви.

Згідно з проведеними дослідженнями встановлено, що освітлення від нічних вуличних ліхтарів в урбосистемі є достатнім для індукції позитивного фототропізму у епікотилів проростків ячменю і для гальмування росту коренів проростків ячменю в порівнянні з рослинами, які вирощуються в умовах цілодобової темряви; при вирощуванні рослин в умовах природного добового світлового режиму тільки восени нічне освітлення від вуличних ліхтарів є достатнім для достовірного пригнічення росту коренів і епікотилів. Влітку, при яскравому природному освітленні, більшій тривалості світлового дня і високих температурах навколишнього середовища, нічне освітлення від вуличних ліхтарів не впливає достовірно на показники росту коренів та епікотилів проростків ячменю.

Ключові слова: нічне штучне освітлення міста, фітотестування, проростки ячменю звичайного *Hordeum vulgare* L., ріст коренів, ріст епікотилів, фототропізм.

Kundelchuk O.P., Skok S.V., Gridasov E.R. Evaluation of the influence of technogenic night lighting on living organisms by methods of phytotesting

Artificial night lighting of settlements, highways, embankments, etc. differs from natural light in the time of impact on ecosystems (night), in its spectral characteristics and intensity, and thus may pose potential risks to the well-being of ecosystems, and in particular for plants whose functioning as primary producers depends on lighting. For express analysis of the biological effectiveness of artificial night lighting in the city, we used phytotest with seedlings of barley (*Hordeum vulgare* L.).

The germination of seeds of a model plant in the conditions of 12 hours a day of illumination from a night street lamp reliably slowed down the growth of roots in comparison with germination of seeds in the conditions of round-the-clock darkness (57.21 ± 3.56 mm and 66.88 ± 3.81 mm,

respectively). Epicotyls in these conditions showed positive phototropism to the direction of the night street lamp.

In autumn, under conditions of natural light regime of 12 hours of daylight / 12 hours of darkness at night, the average length of the roots of barley seedlings was 52.78 ± 2.48 mm and epicotyls – 43.07 ± 1.85 mm. Germination of seeds in the conditions of 12 h of illumination in the daytime / 12 h of illumination from a street lamp at night led to reliable inhibition of growth of both roots and epicotyls of seedlings of barley: 47.75 ± 2.11 mm and 39.19 ± 1.97 mm, in accordance. In summer, the germination of seeds at 16 hours of natural day light / 8 hours of lighting from street lights at night showed no significant growth differences either for roots or for epicotyls of barley seedlings compared to seedlings that were in complete darkness at night.

Thus: 1) lighting from night street lamps in the urban ecosystem was sufficient to induce positive phototropism in barley seedling epicotyls and to inhibit the growth of barley seedling roots compared to plants grown in round-the-clock darkness; 2) when growing plants in natural daylight only in autumn, night lighting from street lamps was sufficient to reliably inhibit the growth of roots and epicotyls. In summer, with bright natural light, longer daylight hours and high ambient temperatures, night lighting from street lamps did not significantly affect the growth of roots and epicotyls of barley seedlings.

Key words: night artificial lighting of the city, phytotesting, barley seedlings of *Hordeum vulgare* L., root growth, epicotyl growth, phototropism.

Постановка проблеми. Мозок тварин і людини, а також апікальні меристеми коренів і пагонів рослин містять групи клітин центрального біологічного годинника, які контролюють добові і сезонні ритми роботи організмів. Сезонні зміни тривалості світлового дня і температури навколишнього середовища є ключовими факторами, які сприймаються клітинами біологічного годинника усіх організмів і забезпечують підлаштування добового ритму роботи організмів до умов навколишнього середовища [1].

Одним з техногенних факторів, які забезпечують розвиток людської цивілізації, є система штучного освітлення в нічний час доби в містах, уздовж автомагістралей, набережних [2-3]. Не дивлячись на те, що урбанізовані території становлять менше 5% Землі, їх площа постійно збільшується. При цьому проблема штучного нічного освітлення посилюється внаслідок т.зв. ефекту світіння нічного неба, яке вже сьогодні впливає на 10-20% території Землі [4]. Оскільки нічне штучне освітлення відрізняється від природного освітлення за часом впливу на екосистеми (ніч) за своїми спектральними характеристиками та інтенсивністю, на сьогоднішній день актуальним постає питання визначення екологічних наслідків від штучного нічного освітлення екосистем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Світло є одним з важливих екологічних факторів, які регулюють роботу живих організмів та впливають на їх біологічні ритми. Згідно з науковими дослідженнями встановлено, що штучне нічне освітлення має істотний вплив на функціонування окремих організмів і екосистем в цілому. Зокрема, таке освітлення порушує орієнтацію птахів і комах під час нічних польотів, дезорієнтує дитинчат морських черепах при їх переміщенні від гнізда до моря після вицулення з яєць, порушує нічний сон і викликає поведінку тривоги у тварин, пригнічує синтез мелатоніну і сприяє розвитку оксидативного стресу в клітинах тварин [4-5].

У рослин штучне нічне освітлення призводить до порушення сезонних фенологічних циклів: до більш раннього весняного розпускання бруньок у дерев і до більш пізнього осіннього опадання листя, що становить загрозу пошкодження рослин заморозками [6-7]. Нічне освітлення впливає на запилення рослин комахами – нічними опилювачами, що порушує репродуктивні функції рослин [8]. Зміна тривалості та інтенсивності світла знижує врожайність рослин, призводить

до зменшення чисельності популяцій рослиноїдних тварин, порушення трофічної структури екосистем [9-10].

Враховуючи специфіку еволюційно сформованої репродуктивної відповіді на довжину світлового дня, у рослинах, які ростуть в умовах короткого освітлення, виникають проблеми із запиленням та розмноженням при штучному подовженні періоду освітлення (зменшується кількість квіток і навіть повністю припиняються процеси розмноження) [11-12].

Штучне нічне освітлення пасовищних рослин зменшує кількість особин рослин одних видів і сприяє збільшенню кількості особин рослин інших видів, що призводить до корінної зміни структури рослинних угруповань [13] та екосистем в цілому. Нічне освітлення сприяє частковому зменшенню тиску нічних хижаків, зокрема на молюсків, пінгвінів [4] та інші види, що також може вплинути на функціонування екосистем.

Згідно з аналізом літературних досліджень встановлено, що нічне освітлення екосистем знижує їх видове різноманіття. При цьому особливо чітко рівень впливу нічного освітлення проявляється при одночасному навантаженні на екосистеми кількох антропогенних факторів [14].

Базовим елементом усіх екосистем є організми – первинні продуценти органічної речовини. І серед них на Землі провідну роль займають рослини, які здійснюють біосинтез за рахунок енергії фотонів сонячного світла. Техногенне втручання в режим добового освітлення екосистем призводить до незворотніх морфологічних змін рослин, робить їх уразливими до дії екологічних факторів [4]. Часто, інтенсивність штучного нічного освітлення є недостатнім для забезпечення енергією процесу фотосинтезу. Однак, це слабе світлове випромінювання має регуляторний вплив на функції організмів [11].

Оскільки розвиток сучасного суспільства є неможливим без використання штучного нічного освітлення, перед вченими постає завдання розробки дієвих заходів максимального зниження його негативного впливу на природні та урбанізовані екосистеми. Зокрема, проведені дослідження свідчать про те, що значення має інтенсивність і спектральні характеристики ламп, які використовуються для нічного освітлення [11; 15].

Постановка завдання. На сьогодні наукові дослідження щодо 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, за допомогою якої можна визначити біологічну ефективність зазначеного типу освітлення. Нами вперше запропоновано використовувати класичний ростовий фітотест для здійснення оцінки впливу штучного нічного освітлення на живі організми. Метою дослідження було визначити потенційні екологічні ризики техногенного світлового забруднення міських екосистем засобами фітотестування.

Матеріали та методи дослідження. В якості модельної рослини для проведення фітотестування використовували проростки насіння ячміню звичайного (*Hordeum vulgare* L.). Заміри рівня освітленості від нічного міського ліхтаря були здійснені за допомогою люксметра FLUS MT-906 на вулиці, а також з внутрішньої сторони експериментального приміщення. Під час виконання дослідження було проведено три серії експериментів.

Експеримент № 1. Насіння ячменю пророщували протягом 4-х днів в ч. Петрі на водопровідній некип'яченій воді 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 пророщували восени протягом 4-х днів в ч. Петрі на водопровідній некип'яченій воді 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 (штучне опалення).

Експеримент № 3. Насіння ячменю пророщували влітку протягом 4-х днів в ч. Петрі на водопровідній некип'яченій воді 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.

На 4-у добу пророщування вимірювали довжину коренів (найдовшого кореня в мочкуватій кореневій системі) і епікотилів проростків. На підставі отриманих даних розраховували середню довжину коренів і середню довжину епікотилів. Кількісні дані були отримані на репрезентативних об'ємах вибірок і є статистично достовірними з $p = 0,05$ [16].

Виклад основного матеріалу дослідження. Результати проведених досліджень. Приладові дослідження, проведені з використанням люксметра FLUS MT-906, показали, що на вулиці на відстані 20 м від джерела штучного нічного освітлення (вуличний ліхтар) рівень освітленості становив 0,5 лк (люкс), тоді як з внутрішньої сторони експериментального приміщення був менший ніж 0,5 лк (поріг чутливості люксметра FLUS MT-906).

Експеримент № 1. В умовах повної цілодобової темряви пророщування (24 год темрява) середня довжина коренів проростків ячменю склала $66,88 \pm 3,81$ мм. Однак 12 годинне освітлення від нічного вуличного ліхтаря протягом доби сприяло загальмуванню росту коренів, середня довжина яких не перевищувала $57,21 \pm 3,56$ мм. Освітлення від нічного вуличного ліхтаря на середню довжину епікотилів у такому експерименті не мало достовірного впливу (табл. 1). Однак, епікотилі продемонстрували позитивний фототропізм у напрямку до нічного вуличного ліхтаря в порівнянні з епікотиліями проростків, які вирощувалися в умовах повної темряви.

Таким чином, інтенсивність нічного освітлення від вуличного ліхтаря впливає на пригнічення росту коренів і формування позитивного фототропічного вигину епікотилів проростків ячменю, але на пригнічення росту епікотилів в довжину суттєвого впливу не здійснює.

Таблиця 1

Вплив штучного освітлення вночі від вуличного ліхтаря на ріст коренів і епікотилів проростків ячменю

Варіант експерименту:	Довжина коренів $\pm Sx \cdot t_{st}$, мм	Довжина епікотилів $\pm Sx \cdot t_{st}$, 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 був проведений восени, в період осіннього рівнодення. В умовах природного світлового режиму: 12 год природне освітлення в ден-

ний час доби / 12 год темрява вночі – середня довжина коренів проростків ячменю склала $52,78 \pm 2,48$ мм, а середня довжина епікотилів – $43,07 \pm 1,85$ мм. Пророщування насіння в умовах 12 годинного природного освітлення в денний час доби та 12 годин освітлення від вуличного ліхтаря вночі – призвело до достовірного пригнічення росту і коренів, і епікотилів проростків ячменю: $47,75 \pm 2,11$ мм і $39,19 \pm 1,97$ мм, відповідно (табл. 2).

Таким чином, восени, слабке штучне освітлення від нічного вуличного ліхтаря було достатнім для пригнічення росту коренів і епікотилів проростків у порівнянні з проростками, які вночі перебували в темряві.

Таблиця 2

Вплив світлового режиму вирощування на ріст коренів і епікотилів проростків ячменю (осінній експеримент)

Варіант експерименту:	Довжина коренів \pm Sx·tst, мм	Довжина епікотилів \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

Згідно з експериментом № 3, проведеним влітку, при природній тривалості світлового дня 16 годин і тривалості ночі 8 годин, встановлено відсутність статистично достовірних ростових відмінностей для коренів та для епікотилів проростків ячменю при освітленні вночі від вуличного ліхтаря в порівнянні з проростками, які вночі перебували в умовах темряви (табл. 3).

Таблиця 3

Вплив світлового режиму вирощування на ріст коренів і епікотилів проростків ячменю (літній експеримент)

Варіант експерименту:	Довжина коренів \pm Sx·tst, мм	Довжина епікотилів \pm Sx·tst, 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	$50,51 \pm 2,94$	$38,14 \pm 2,03$

Згідно з проведеними дослідженнями встановлений різний вплив світлового режиму вирощування на ріст коренів та епікотилів проростків ячменю в осінній та літній періоди, що пов'язано з відмінностями в інтенсивності і тривалості природного освітлення території дослідження в різні сезони року та різницею температур вирощування тестових рослин ($+27^\circ\text{C}$ і $+24^\circ\text{C}$, відповідно).

Обговорення отриманих результатів. Згідно з отриманими числовими параметрами ростового фітотесту встановлено, що дуже низький рівень освітленості, який створюється нічним вуличним ліхтарем (менше, ніж 0,5 лк), впливає на ростові процеси у проростків ячменю.

На основі досліджень науковців Mandoli D.F. і Briggs W.R. (1981) було встановлено, що поріг чутливості ростової відповіді мезокотилів і колеоптилів проростків вівса на слабе освітлення становить 0,015 лк [17]. Близькі порогові величини освітленості були отримані для ростової відповіді коренів проростків *Avena sativa* – 0,0015-0,015 лк [18-19]. Таким чином, згідно з аналізом літературних джерел підтверджено можливість ростової реакції рослин в умовах низького рівня освітленості.

Мінімальна фотосинтетична активність рослин починається при освітленості приблизно в 100 лк [20]. 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 [21]. Для виживання найбільш тіншовитривалі рослини вимагають не менше 750-1000 люкс освітленості протягом 12 годин на добу [22].

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 епікотилів, а також ріст коренів і епікотилів проростків ячменю).

Аналіз вітчизняних та зарубіжних наукових праць, 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 з подовженням світлового дня та підвищенням температури навколишнього середовища в урбанізованих системах на +1°C +2°C у порівнянні з прилеглими територіями, що сприяє утворенню «островів тепла». 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.

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 приєкваторіальних і субтропічних регіонів, а також рослини цих регіонів, інтродуковані в помірних широтах.

Аналіз наявних даних свідчить про те, що серед довгострокових наслідків нічного світлового забруднення екосистем – можливі зміни їх структури (чисельності особин, видового складу, трофічних ланцюгів) [4; 9-10; 13-14] і запуск в екосистемах еволюційних процесів [23]. Найбільшу тривогу у екологів сьогодні викликає зниження первинної продуктивності екосистем в умовах штучного нічного освітлення сільськогосподарських угідь, прибережних аквальної екосистем. Згідно з результатами проведених досліджень встановлено, що в певних умовах нічне штучне освітлення здатне загальмувати ріст коренів і пагонів у проростків рослин.

Часткове вирішення цієї проблеми може забезпечити зміна колірної гами штучного нічного освітлення. Зокрема, згідно з літературними даними, штучне нічне освітлення гальмує ріст водних рослин при використанні лише енергозберігаючих LED-ламп, які дають надмірне випромінювання в регуляторній синій частини

світлового спектру. Використання нічних ліхтарів інших типів не здійснює суттєвого впливу на показники росту коренів і епікотилів проростків ячменю [15].

Висновки і пропозиції. Проведені нами експериментальні дослідження дозволили встановити таке: 1) освітлення від нічних вуличних ліхтарів в міській екосистемі є достатнім для індукції позитивного фототропізму у епікотилів 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 епікотилів. 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 епікотилів проростків ячменю.

Таким чином, в результаті проведених нами досліджень було встановлено, що нічне освітлення вулиць за допомогою ліхтарів впливає на розвиток міських рослин в умовах короткого світлового дня навесні і восени. Тоді як влітку, нічне освітлення від вуличних ліхтарів не здійснює негативного впливу на ріст і розвиток рослин в межах міських систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Harmer S. L., Panda S., Kay S. A. Molecular bases of circadian rhythms. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.* 2001. Vol. 17. P. 215-253. doi: 10.1146/annurev.cellbio.17.1.215.
2. Willmer G. Light pollution is altering plant and animal behavior. *Environment*. 27 March, 2018. URL: <https://horizon-magazine.eu/article/light-pollution-altering-plant-and-animal-behaviour.html> (дата звернення: 25.10.2020).
3. Gaston K. J., Holt L. A. Nature, extent and ecological implications of nighttime light from road vehicles. *J. Appl. Ecol.* 2018. Vol. 55(5). P. 2296-2307. doi: 10.1111/1365-2664.13157.
4. 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.
5. Freitas J. R., Bennie J., Mantovani W., Gaston K. J. Exposure of tropical ecosystems to artificial light at night: Brazil as a case study. *PLoS One*. 2017. Vol. 12(2):e0171655. doi: 10.1371/journal.pone.0171655.
6. Ffrench-Constant R. H., Somers-Yeates R., Bennie J., Economou T., Hodgson D., Spalding A., McGregor P. K. Light pollution is associated with earlier tree budburst across the United Kingdom. *Proc. Biol. Sci.* 2016. Vol. 283(1833). pii: 20160813. doi: 10.1098/rspb.2016.0813.
7. Skvareninova J., Tunarska M., Skvarenina J., Babalova D., Slobodnikova L., Slobodnik B., Stredova H., Mindas J. Effects of light pollution on tree phenology in the urban environment. *Moravian Geographical Reports*. 2017. Vol. 25(4). P. 282-290.
8. Knop E., Zoller L., Ryser R., Gerpe C., Hörler M., Fontaine C. Artificial light at night as a new threat to pollination. *Nature*. 2017. Vol. 548(7666). P. 206-209. doi: 10.1038/nature23288.
9. 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.
10. 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.

11. Sysoeva M. I., Markovskaya E. F., Shibaeva T. G. Plants under Continuous Light: A Review. *Plant Stress*. 2010. Vol. 4(1). P. 5-17.
 12. Viera-Perez M., Hernandez-Calvento L., Hesp P. A., Santana-del Pino A. Effects of artificial light on flowering of foredune vegetation. *Ecology*. 2019. Vol. 100(5). e02678. <https://doi.org/10.1002/ecy.2678>.
 13. Benes K. Plants depend on cycles of light. Now, they're always on. *Ecology*. January 4, 2018.
 14. 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.
 15. 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.
 16. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 350 с.
 17. 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.
 18. 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.
 19. 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.
 20. Правильное освещение для растений и как его обеспечить? URL: <https://www.quarta-rad.ru/useful/vse-o-lampax-i-drugix-istochnikax-sveta/oscveschenie-rasteniy/> (дата звернення: 25.10.2020).
 21. 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/Lichtenthaleret al1981.pdf.
 22. Navvab M. Lighting Aspects for Plant Growth in Controlled Environments. *CIE 27th Session, Sun City/ZA*. 2011. Vol. 1(1). P. 430-440. file:///D:/Users/Downloads/037PP-02PlantsSouthAfrica-CIE27thSession Volume1P- 2pp1-12.pdf.
 23. Hopkins G. R., Gaston K. J., Visser M. E., Elgar M.A., 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.
-