

УДК 504.6(477.85)

## ОСОБЛИВОСТІ СВІТЛОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ЧЕРНІВЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

А. В. Жук, О. Д. Зароченцева

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
58002, м. Чернівці, вул. Коцюбинського, 2

Інститут біології, хімії та біоресурсів

e-mail: a.zhuk@chnu.edu.ua; o.zarochentseva@chnu.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0002-0405-8037>; <https://orcid.org/0000-0002-2451-5223>

Проблема світлового забруднення навколишнього середовища набуває дедалі більшої актуальності у глобальному масштабі. Якщо раніше дослідники акцентували увагу на яскравість нічного неба над мегаполісами, то останніми роками з'являються численні наукові праці, присвячені дослідженню світлового забруднення природоохоронних територій, сільських ландшафтів та мереж транспортного сполучення. Метою даного дослідження була оцінка світлового забруднення атмосфери у Чернівецькій області та м. Чернівці на основі аналізу аерокосмічних знімків. Матеріалами дослідження слугували інтерактивні ГІС-карти Radiance Light Trends, для кількісного аналізу застосовано сервіс Light trend analysis. Встановлено тенденцію до зростання рівня світлового забруднення по області із річним приростом 2,45 % за період з 1992 по 2014 рр. та 2,93 % за період з 2014 по 2021 рр. Показано, що зростання рівня світлового забруднення в Чернівецькій області відбувається за рахунок районних центрів, трас міжнародного значення, розважально-туристичних комплексів. У обласному ж центрі за останні 8 років спостерігається стабільний рівень сумарного річного світлового забруднення. Знайдено рівняння експоненційного росту світлового забруднення для області та міста. На території Прут-Сіретського межиріччя виділено велику «світлову пляму» неправильної форми, яка перетинає область з північного заходу на південний схід і охоплює обласний центр з передмістям та автомобільний шлях національного значення Н-10. Енергетична яскравість у центрі плями становить  $47,49 \cdot 10^{-9}$  нВт/см<sup>2</sup> ср, по краях – від  $1 \cdot 10^{-9}$  нВт/см<sup>2</sup> ср. Над невеликими населеними пунктами з нерозвиненою промисловістю, де основні джерела світлового забруднення – вуличні ліхтарі, формуються плями з середньою енергетичною яскравістю:  $1-5 \cdot 10^{-9}$  нВт/см<sup>2</sup> ср. Найвищий рівень світлового забруднення Чернівецької області зареєстровано у січні, найнижчий – у березні. Засвітлення вздовж двох найбільш ілюмінованих трас Чернівецької області залишається відносно сталим незалежно від сезону спостережень.

**Ключові слова:** світлове забруднення; яскравість нічного неба; дистанційний моніторинг; Чернівецька область.

### 1. ВСТУП

Явище глобальної індустріалізації супроводжується щоденним збільшенням обсягів електроенергії, яка витрачається на нічне освітлення будівель, вулиць, площ і парків. Це призводить до світлового забруднення великих територій, насамперед міст. Надмірне нічне освітлення зумовлює утворення так званих світлових куполів над урбанізованими територіями. Це явище дедалі більше привертає увагу іноземних і вітчизняних науковців [1–7].

Окрім очевидних наслідків: психологічних розладів, безсоння, депресії у людини [2, 8], порушення циркадних ритмів, дезорієнтації у про-

сторі тварин [9, 10], зсуву у датах фенологічних фаз рослин [11] тощо, світлове забруднення має чималий перелік прихованих впливів. Порушуються життєво важливі біохімічні та фізіологічні процеси у живих організмах [12, 13]. Це, в свою чергу, призводить до репродуктивних проблем, порушення структури популяцій, скорочення екологічних ніш в угрупованнях, зниження біологічного різноманіття [14]. Найбільше страждають від штучного освітлення тварини із нічним способом життя та рослини, які запилюються нічними комахами.

Опосередкованого негативного впливу за-

знають і інші компоненти екологічних систем. Зокрема, надмірне освітлення водою сприяє інтенсивному розвитку фітопланктону. А цвітіння води, як відомо, супроводжується кисневим дефіцитом і евтрофікацією [13]. Науковці акцентують увагу на зниженні якості ряду забезпечувальних, регулюючих та культурних послуг, що надаються екосистемами з підвищеним рівнем нічного освітлення [14].

Проблема світлового забруднення розглядалась науковцями здебільшого на прикладі яскраво освітлених мегаполісів та агломерацій. Проте останніми роками спостерігається підвищений інтерес до автотрас [7], сільських доріг та невеликих поселень [15, 16], заповідних територій [16, 17]. Це свідчить про загострення ситуації та актуальність подібних досліджень. У доступній нам науковій літературі проблема світлового забруднення Чернівецької області не висвітлена. В Україні це питання досліджувалося на прикладах Ужгорода [18], Харкова [19], Кривого Рогу [1].

Метою наших досліджень була оцінка світлового забруднення атмосфери у Чернівецькій області та м. Чернівці на основі аналізу аерокосмічних знімків.

## 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження охоплює адміністративну територію Чернівецької області площею 8,1 тис. км<sup>2</sup>. За особливостями рельєфу вона поділяється на три частини: рівнинну (Прут-Дністровське межиріччя), передгірну (Прут-Сіретське межиріччя) і гірську (Покутсько-Буковинські Карпати). Близько 31,6 % території вкрито лісами. Клімат помірно-континентальний, м'який, вологий; у горах зима більш тривала, сніжна, літо вологе, прохолодне. Складний рельєф області обумовлює нерівномірність її заселення, розташування промислових об'єктів, густоти та розгалуженості автомобільних доріг. Водночас щільність автошляхів із твердим покриттям у Чернівецькій області – одна з найвищих по Україні (355,5 км на 1000 км<sup>2</sup> території) [20]. З півночі на південь область перетинає міжнародна траса М-19 Доманове (на м. Брест) – Ковель – Чернівці – Терембле (на м. Бухарест) протяжністю 477,284 км із об'їздом через м. Чернівці протяжністю 11,3 км. Також на території області проходять національні траси Н-03 Житомир – Чернівці (46,138 км) – з північного сходу на захід і Н-10 Стрий – Івано-Франківськ – Чернівці – Мамалига (на м. Кишинів) (71,227 км) – з північного заходу на схід.

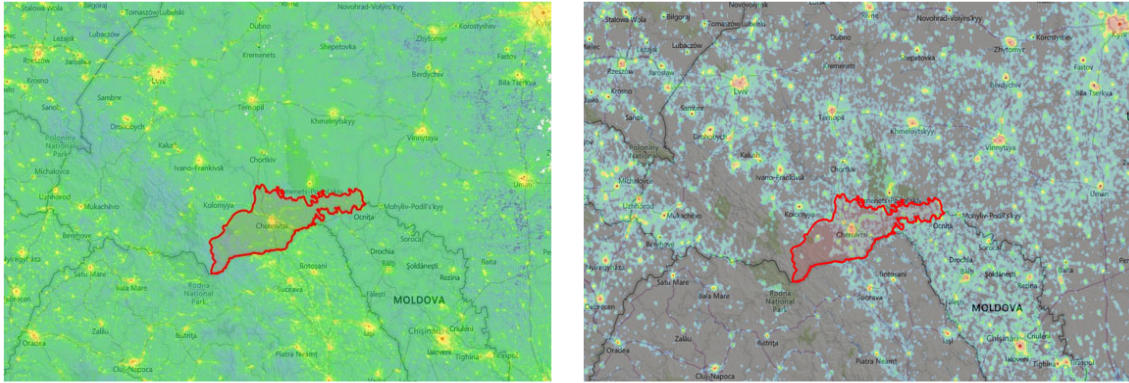
Матеріалами для аналізу динаміки світлового забруднення Чернівецької області слугували інтерактивні ГІС-карти Radiance Light Trends. Веб-сайт Radiance Light Trends – частина проекту GEOEssential, який фінансується Європейським союзом [21]. Карта створена на основі даних супутників-шпигунів, які перебували на орбіті з 1992 по 2013 рік (супутникова система DMSP-OLS). А з 2012 року донині основою для карти слугують дані, зібрані супутником Suomi, який контролюють NASA та Національне управління океанічних і атмосферних досліджень (супутникова система VIIRS DNB). Карта оновлюється автоматично, відповідно до нових супутникових даних. Інтерфейс інтерактивної карти дозволяє маніпулювати масштабом, а також порівняти, як змінювалося світлове забруднення на певній території за останні десятиліття.

Радіометр для видимих інфрачервоних зображень Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) Day/Night Band (DNB) збирає глобальні ГІС-дані на основі виявлення джерел штучного (електричного) освітлення на поверхні Землі. Більшість цих джерел локалізуються у населених пунктах. VIIRS збирає вихідні дані, які можуть бути використані для формування щомісячних і щорічних карт глобального випромінювання урбанізованих територій з електричним нічним освітленням. Карти Radiance Light Trends побудовані з урахуванням фільтрів фонові засвітки, прямих і відбитих від місяця сонячних променів, впливу хмар і джерел засвітлення, не пов'язаних з електричним освітленням (наприклад, пожежі, спалахи) [22].

Для опрацювання даних, отриманих з інтерактивних карт, у середовищі Radiance Light Trends окреслили межі дослідного полігону за контурами адміністративної області і зберегли область ROI для подальшого аналізу. Часові тренди світлового забруднення побудовано за допомогою опції Light trend analysis на сайті Radiance Light Trends. Аналіз сезонної динаміки світлового забруднення здійснили на основі серії знімків збереженої області ROI в різні місяці 2018–2019 рр.

## 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

На глобальній інтерактивній карті Radiance Light Trends Чернівецька область не конкурує за ступенем світлового забруднення із містами-мегаполісами. Проте, саме через Прут-Дністровське межиріччя проходить зона підвищеного світіння, що тягнеться вздовж Карпатсь-



**Рис. 1** -- Чернівецька область на фрагментах карт світлового забруднення станом на грудень 2020 р (зліва) і за 1992 р. (справа)  
**Fig. 1** – Chernivtsi Region on the light pollution map fragments as of December, 2020 (on the left), and for 1992 (on the right)

кої гірської системи від Кракова до Бухаресту. Ця зона виділяється не лише на тлі Карпатських гір, але й порівняно із центральною частиною України (рис.1).

Для порівняння ми співставили карту, отриману зі супутника у грудні 2020 року із картою за 1992 рік (рис. 1). На цьому зображенні зона світіння вздовж Карпат виражена менш яскраво, особливо порівняно із Центральною Україною. Отже, антропогенний вплив на стан нічного неба за останні 27 років дещо змінився. Для кількісної оцінки цих змін ми скористалися сервісом Light trend analysis. На основі серії космознімків було розраховано експоненційні рівняння динаміки рівня світлового забруднення Чернівецької області в два часових періоди: 1992–2013 рр. (рис. 2) та 2014–2021 рр.(рис. 3).

Як видно з рисунку 2, за 22 роки сумарна річна інтенсивність світлового випромінювання в Чернівецькій області зросла майже вдвічі. Екс-

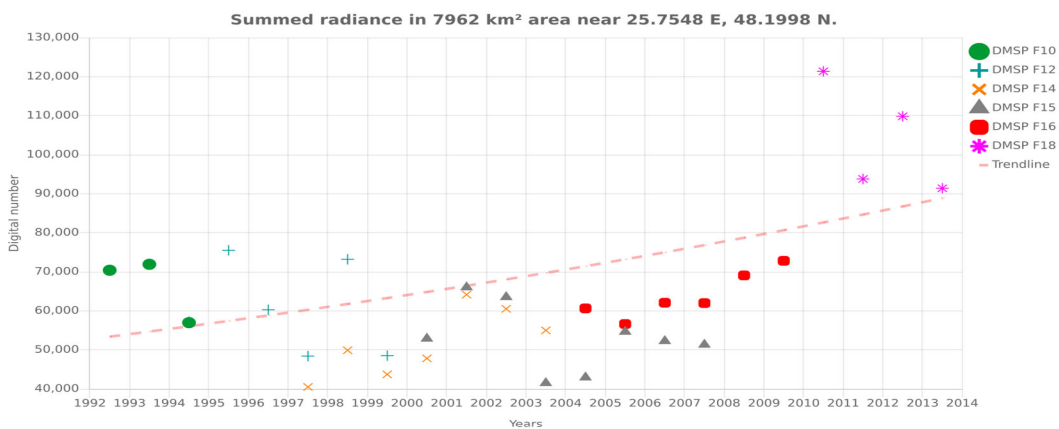
поненційний ріст світлового забруднення за досліджений термін можна зобразити рівнянням (1). Середній приріст за рік складає 2,45 %.

$$Y = 5,66 \cdot 10^3 \cdot e^{6,64 \cdot 10^{-5} \cdot x}; R^2 = 0,32. \quad (1)$$

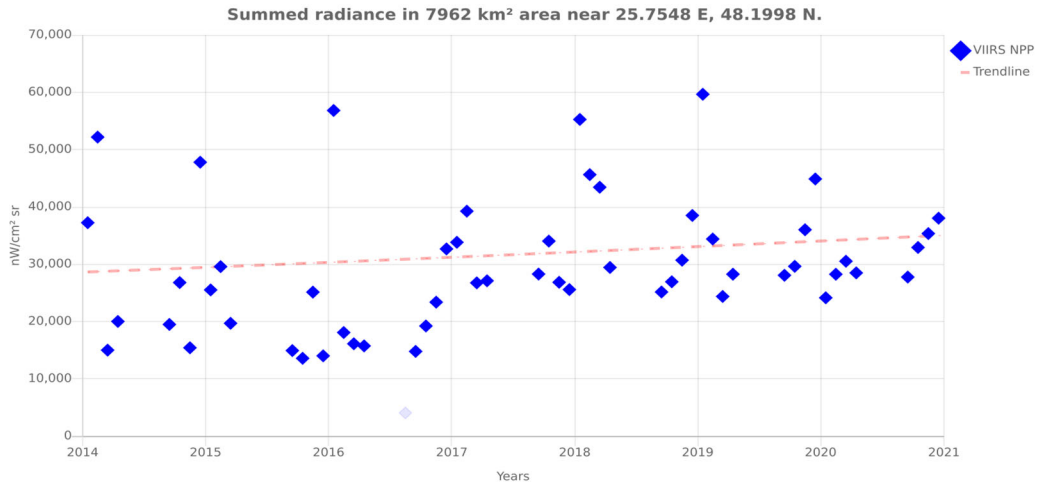
За означений період використане для спостережень обладнання не мало на меті кількісного визначення світлового забруднення, не було відкаліброване відповідним чином, тому результати відображаються в умовних одиницях.

На рисунку 3 представлена динаміка сумарного світлового забруднення за останні сім років. Середній приріст показника за рік становить 2,93 %. Графік демонструє щорічне суттєве відхилення від трендової лінії у зимові місяці, коли зростає середньодобова тривалість використання штучного освітлення. Експоненційний ріст світлового забруднення за семирічний період описується рівнянням (2):

$$Y = 1,05 \cdot 10^3 \cdot e^{7,93 \cdot 10^{-5} \cdot x}; R^2 = 0,03. \quad (2)$$



**Рис. 2** -- Динаміка сумарного річного світлового забруднення Чернівецької області за період з 1992 до 2013 рр., умов.од.  
**Fig. 2** – Dynamics of summed annual light pollution over Chernivtsi Region for the period from 1992 to 2013, digital number



**Рис. 3** -- Динаміка сумарного річного світлового забруднення Чернівецької області за період з 2014 до 2021 рр., нВт/см<sup>2</sup> ср  
**Fig. 3** – Dynamics of summed annual light pollution over Chernivtsi region for the period from 2014 to 2021, mW/cm<sup>2</sup> sr

Хоча трендова лінія показує тенденцію до зростання рівня світлового забруднення (рис.4), порівняння показника в абсолютних величинах свідчить про незначні зміни, які можуть бути описані експоненційним рівнянням (3). Середній річний приріст показника складає 1,84 %.

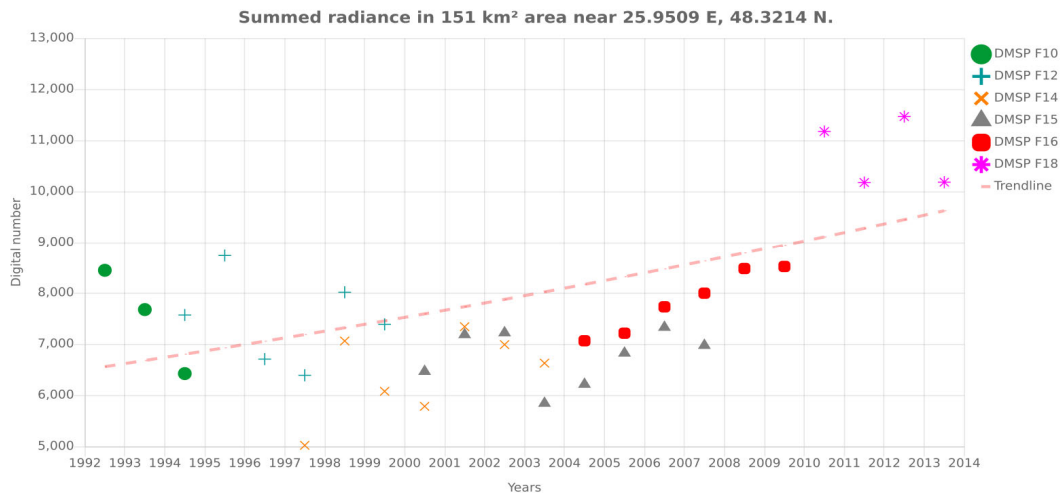
$$Y = 1,21 \cdot 10^3 \cdot e^{5 \cdot 10^{-5} \cdot x}; R^2 = 0,39. \quad (3)$$

За період з 2014 по 2021 рр. спостерігається тенденція до незначного зменшення сумарного річного світлового забруднення міста (рис.5). Експоненційне рівняння на цей період має на-

ступний вигляд (4). Середній річний приріст показника від'ємний і становить -0,08 %.

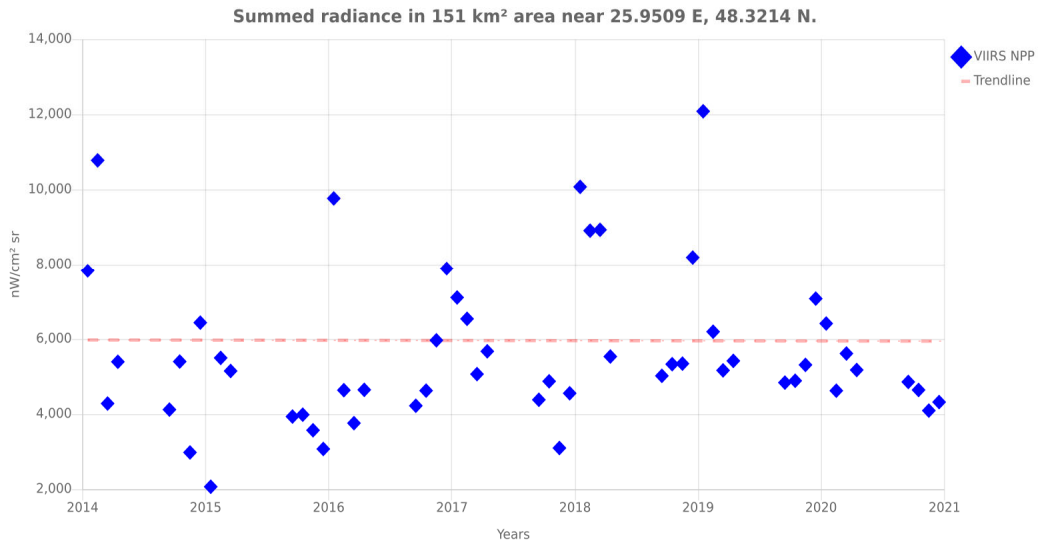
$$Y = 6,52 \cdot 10^3 \cdot e^{-2,10 \cdot 10^{-6} \cdot x}; R^2 = -0,03. \quad (4)$$

Частково це пов'язано із модернізацією вуличного освітлення обласного центру. Близько 4 тис. ламп замінено на LED-світильники із автоматичним режимом вмикання/вимикання і працюють вночі з меншою потужністю, ніж увечері. Разом з тим вулиці віддалених районів міста ілюміновані незадовільно.



**Рис. 4** -- Динаміка сумарного річного світлового забруднення м. Чернівці за період з 1992 до 2013 рр., умов. од.  
**Fig.4** – Dynamics of summed annual light pollution over Chernivtsi city for the period from 1992 to 2013, digital number





**Рис. 5** -- Динаміка сумарного річного світлового забруднення м. Чернівці за період з 2014 до 2021 рр., нВт/см<sup>2</sup> ср  
**Fig. 5** – Dynamics of summed annual light pollution over Chernivtsi city for the period from 2014 to 2021, mW/cm<sup>2</sup> sr

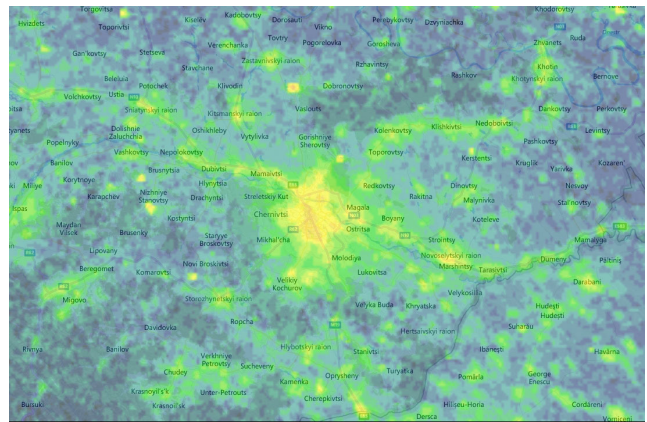
У глобальному масштабі відмічається тенденція до збільшення світлового забруднення у мегаполісах, великих містах, агломераціях [1, 19, 23–25]. На прикладі Чернівецької області спостерігаємо зворотнє явище: сумарна інтенсивність світлового випромінювання тут зростає переважно за рахунок районних центрів, трас міжнародного значення, розважально-туристичних комплексів. Причиною цього може бути незадовільна робота комунальних служб з вуличного освітлення, занепад промисловості міста і модернізація вуличного освітлення на окремих вулицях.

Однак, варто зауважити, що передмістя м. Чернівці та автошляхи міжміського та міжнародного сполучення, що проходять через місто, включаючи об'їзну дорогу формують велику «світлову пляму» неправильної форми, яка перетинає область з північного заходу на південний схід. Вона охоплює м. Чернівці з передмістям та автомобільний шлях національного значення Н-10 (Стрий – Івано-Франківськ – Чернівці – пропускний пункт Мамалига) (рис. 6). В центрі плями енергетична яскравість становить  $47,49 \cdot 10^{-9}$  нВт/см<sup>2</sup> ср, по краях – від  $1 \cdot 10^{-9}$  нВт/см<sup>2</sup> ср.

Загальна площа цієї світлової плями становить 741 км<sup>2</sup> (площа м. Чернівці – 153 км<sup>2</sup>). Для порівняння наведемо співвідношення світлових плям навколо окремих міст України і ближнього зарубіжжя (табл. 1).

Отже, за рейтингом розмірів світлової плями серед дев'яти обраних нами міст м. Чернівці посідає 4 місце, за розмірами самого міста –

сьоме, за співвідношенням площі світлової плями навколо міст до площі самого міста – п'яте. Серед усіх проаналізованих міст України найменшу площу займає м. Ужгород, тоді як це місто є лідером у рейтингу співвідношення розмірів світлової плями до розмірів самого міста.



**Рис. 6** -- «Світлова пляма» з центром у м. Чернівці  
**Fig. 6** – “Light spot” with the center in Chernivtsi city

Проблему світлового забруднення та динаміку засвітлення нічного неба в м. Ужгород за період між 1983 та 2005 роками досліджували В. П. Єпішев зі співавторами [18]. Науковці показали, що новітня забудова міста в його північній частині призвела до суттєвого підвищення рівня світлового забруднення, тоді як в старій частині міста та в приміській зоні суттєвих змін не спостерігалось. Отже, історія формування світлових плям навколо кожного міста унікальна і залежить від багатьох факторів.

**Таблиця 1** – Площі міст та світлових плям навколо них  
**Table 1** – Area of cities and light spots around them

№ п/п	Місто	Площа світлової плями, км <sup>2</sup>	Площа міста, км <sup>2</sup>	Співвідношення площі світлової плями до площі міста
1	Хмельницький, Україна	298	90	3,3
2	Івано-Франківськ, Україна	395	83,73	4,7
3	Ужгород, Україна	622	40	15,6
<b>4</b>	<b>Чернівці, Україна</b>	<b>741</b>	<b>153</b>	<b>4,8</b>
5	Вінниця, Україна	766	113,2	6,8
6	Кошице, Словаччина	765	242,8	3,2
7	Ясси, Румунія	1169	93,9	12,4
8	Дебрецен, Угорщина	1391	461,2	3,0
9	Люблін, Польща	1990	147,5	13,5

Наступна за величиною пляма в Чернівецькій області з середньою енергетичною яскравістю  $2,87 \cdot 10^9$  нВт/см<sup>2</sup> ср простягається вздовж авто-траси Н-03 (Житомир-Чернівці). Плями з середньою енергетичною яскравістю  $1-5 \cdot 10^9$  нВт/см<sup>2</sup> ср виявлені над невеликими населеними пунктами з нерозвиненою промисловістю, де основні джерела світлового забруднення – вуличні ліхтарі. Особливої уваги потребує пляма над с. Мигове, що також охоплює частину авто-траси Р-62, що проходить територією Івано-Франківської та Чернівецької областей через Криворівню – Вижницю – Сторожинець – Чернівці на відрізок від Лукавців до Заріччя через Берегомет.

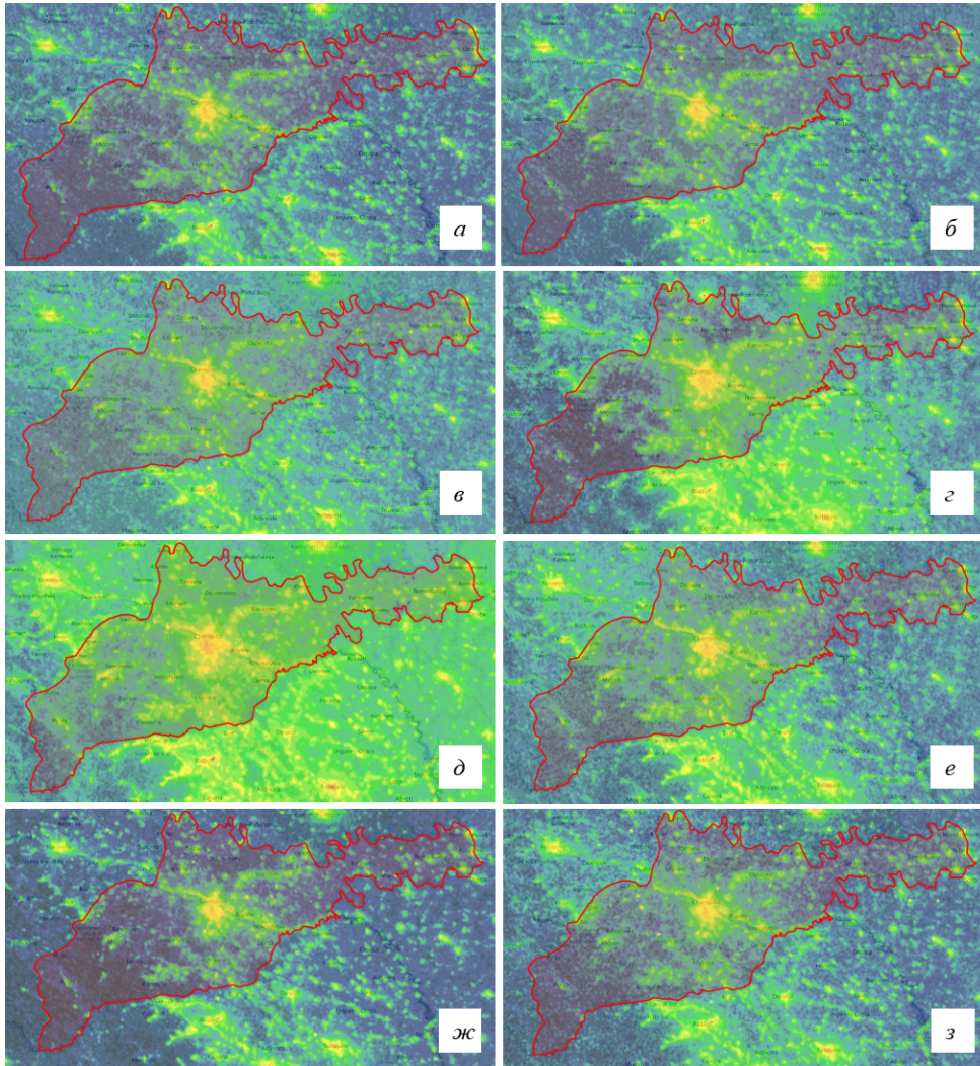
Проаналізовано сезонну динаміку світлового забруднення Чернівецької області. Відомо, що ступінь світлового забруднення залежить від сезону спостереження [22, 26]. З одного боку на це впливають природні чинники: наявність снігового покриву, здатність листя дерев відбивати місячне світло, тривалість світлового дня тощо. З іншого боку – багато видів антропогенної діяльності мають сезонну діяльність, наприклад, парки атракціонів, горнолижні траси, частота проведення концертів під відкритим небом із застосуванням лазерного шоу, підсвітка фонтанів тощо. Зважаючи на це, ми проаналізували серію з восьми зображень дослідної території з середньомісячними даними за вересень 2018 – квітень 2019 рр. (рис. 7, а-з). За літні місяці інформації на сайті Radiance Light Trends немає у зв'язку з тривалістю світлового дня. Супутник Suomi пролітає над дослідною територією до заходу сонця, а отже отримані за період між кві-

тнем і вереснем космознімки не включені до баз даних як неінформативні.

Найвищий рівень світлового забруднення Чернівецької області спостерігається у січні (рис. 7, д). Фактично суцільна світлова пляма з осередками різної інтенсивності охоплює всю територію Прут-Дністровського та Прут-Сіретського межиріччя. Зона Карпатських гір характеризується меншим світловим забрудненням відносно решти території області, але більшим порівняно з іншими порами року. Найнижчий рівень світлового забруднення спостерігається у березні (рис. 7, ж). В цей час найзручніше вивчати та описувати характерні для області світлові плями.

Вартими уваги є рисунки 7, г та 7, е які ілюструють світлове забруднення дослідної та прилеглих територій у грудні та лютому відповідно. Порівняно з ранньо-осінніми та весняними місяцями спостерігаємо вищий рівень світлового забруднення, проте нижчий порівняно з територією сусідньої Румунії, яка чітко диференціюється на карті як пляма суцільного засвітлення нічного неба. Також можна оцінити підвищений ступінь світлового забруднення трьох прикордонних районів: Глибоцького, Герцаївського та Новоселицького. Можливо інтенсивні світлові плями на їх території у цей період пов'язані не тільки із засвітленням нічного неба із власних джерел, але й з боку сусідньої держави.

Цікавим є той факт, що засвітлення вздовж двох найбільш ілюмінованих трас Чернівецької області залишається приблизно однаковим незалежно від сезону спостережень.



**Рис. 7.** Ступінь світлового забруднення Чернівецької області: а) вересень 2018 р.; б) жовтень 2018 р.; в) листопад 2018 р.; г) грудень 2018 р.; д) січень 2019 р.; е) лютий 2019 р.; ж) березень 2019 р.; з) квітень 2019 р.

**Fig. 7** – Level of light pollution in Chernivtsi region: а) September 2018; б) October 2018; в) November 2018; г) December 2018; д) January 2019; е) February 2019; ж) March 2019; з) April 2019

## ВИСНОВКИ

В закордонних літературних джерелах проблема світлового забруднення обговорюється активно, в розрізі різних наукових дисциплін, у тому числі й екології. Багато праць стосується впливу штучного нічного освітлення на стан і функціонування окремих організмів, популяцій та цілих екосистем. У доступній нам вітчизняній науковій літературі проблема розглядається переважно в астрономічному та рідше – гігієнічному аспектах, тоді як екологічні питання висвітлені меншою мірою.

На відміну від світової тенденції, зростання рівня світлового забруднення в Чернівецькій області відбувається за рахунок районних центрів, трас міжнародного значення,

розважально-туристичних комплексів.

Найвищий рівень світлового забруднення Чернівецької області спостерігається у січні. Фактично суцільна світлова пляма з осередками різної інтенсивності охоплює всю територію Прут-Дністровського та Прут-Сіретського межиріччя. Найнижчий рівень світлового забруднення відмічено у березні.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мальченко С., Слюсаренко М. Дослідження світлового забруднення нічного неба. *Теоретична фізика і астрономія*. 2014. № 15. С. 81–86.
2. Назаренко Л. А., Чернець В. С. Проблеми світлового забруднення. *Світлотехніка та електроенергетика*. 2014. № 2. С. 6–17.
3. Katz Y., Levin N. Quantifying urban light pollution –



- A comparison between field measurements and EROS-B imagery. *Remote Sensing of Environment*. 2016. 177. Pp. 65-77.
4. Xiang W., Tan M. Changes in light pollution and the causing factors in China's protected areas, 1992–2012. *Remote Sensing*. 2017. 9(10). 1026. <https://doi.org/10.3390/rs9101026>
  5. Семків Ю. М., Касеркевич В. С. Математичні моделі світлового забруднення атмосфери. Тернопіль, 2019. 62 с.
  6. Light pollution in USA and Europe: The good, the bad and the ugly / Falchi F. et al. *Journal of environmental management*. 2019. 248: 109227. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.128>.
  7. Jechow A., Hölker F. Evidence that reduced air and road traffic decreased artificial night-time skyglow during COVID-19 lockdown in Berlin, Germany. *Remote Sensing*. 2020. 12 (20): 3412. <https://doi.org/10.3390/rs12203412>
  8. Global rise of potential health hazards caused by blue light-induced circadian disruption in modern aging societies / Hatori M. et al. *Aging and Mechanisms of Disease*. 2017. 3: 9. <https://doi.org/10.1038/s41514-017-0010-2>
  9. Longcore T., Rich C. Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2004. 2(4). Pp. 191-198.
  10. Cabrera-Cruz S. A., Smolinsky J. A., Buler J. J. Light pollution is greatest within migration passage areas for nocturnally-migrating birds around the world. *Scientific reports*. 2018. 8: 3261. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21577-6>.
  11. Effects of light pollution on tree phenology in the urban environment / Škvareninová J. et al. *Moravian Geographical Reports*. 2017. 25(4). Pp. 282-290. <https://doi.org/10.1515/mgr-2017-0024>.
  12. Анисимов В. Н., Виноградова И. А. Световой режим, мелатонин и риск развития рака. *Вопросы онкологии*. 2006. Т. 52, № 5. С. 491–498.
  13. Бармасов А. В., Бармасова А. М., Яковлева Т. Ю. Биосфера и физические факторы. Световое загрязнение окружающей среды. *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2014. № 33. С. 84–101.
  14. Light pollution as a biodiversity threat / Hölker F., Wolter C., Perkin E. K., Tockner K. *Trends in ecology & evolution*. 2010. 25(12). Pp. 681-682. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.09.007>
  15. Jechow A., Kyba C. C., Hölker F. Mapping the brightness and color of urban to rural skyglow with all-sky photometry. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. 2020. 250: 106988. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2020.106988>
  16. Peña-García A., Sędziwy A. Optimizing lighting of rural roads and protected areas with white light: a compromise among light pollution, energy savings, and visibility. *Leukos*. 2020. 16(2). Pp. 147-156. <https://doi.org/10.1080/15502724.2019.1574138>
  17. Is Artificial light at night dangerous for the Balkan strict protected areas at present? / Peregrym M. et al. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2020. 231. P. 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-4452-y>
  18. Спішев В. П., Ісак І. І., Клімик В. У. Світлове “забруднення” нічного неба в пункті Ужгород. *Науковий вісник Ужгородського університету. Сер.: Фізика*. 2005. Вип. 18. С. 16–18.
  19. Галетич І. К., Вергелес Ю. І. Комплексний вплив забруднень електромагнітного походження на стан довкілля великого міста (на прикладі світлового забруднення). *Комунальне господарство міст*. 2011. № 101. С. 139–149.
  20. Транспорт і зв'язок Чернівецької області, 2018. Статистичний збірник / за ред. Г. І. Петрової. Чернівці, 2019. 99 с.
  21. Stare J., Kyba C. Radiance Light Trends. Potsdam: GFZ Data Services, 2019. <https://doi.org/10.5880/GFZ.1.4.2019.001>
  22. Variation of individual location radiance in VIIRS DNB monthly composite images / Coesfeld J., Anderson S. J., Baugh K., et al. *Remote Sensing*. 2018. 10(12): 1964. <https://doi.org/10.3390/rs10121964>
  23. Bará S. Characterizing the zenithal night sky brightness in large territories: how many samples per square kilometre are needed? *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2018. 473(3). Pp. 4164-4173. <https://doi.org/10.1093/mnras/stx2571>
  24. Artificial light pollution at night: a risk for normal circadian rhythm and physiological functions in humans / Kumar P., Ashawat M. S., Pandit V. et al. *Current Environmental Engineering*. 2019. 6(2). Pp. 111-125.
  25. Kyba C. C. Is light pollution getting better or worse? *Nature Astronomy*. 2018. 2. Pp. 267-269. <https://doi.org/10.1038/s41550-018-0402-7>
  26. Levin N., Zhang Q. A global analysis of factors controlling VIIRS nighttime light levels from densely populated areas. *Remote Sensing of Environment*. 2017. 190. Pp. 366-382. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.01.006>

## REFERENCE

1. Malchenko, S. & Slyusarenko, M. (2014). Doslidzhennia svitlovoho zabrudnennia nichnoho neba. [Study of light pollution of the night sky]. *Teoretychna fizyka i astronomiia [Theoretical physics and astronomy]*, 15, pp. 81–86. (in Ukr.)
2. Nazarenko, L. A. & Chernets, V. S. (2014). Problemy svitlovoho zabrudnennia. [Problems of light pollution]. *Svitlotekhnika ta elektroenerhetyka [Lighting and electricity]*, 2, pp. 6–17. (in Ukr.)
3. Katz, Y. & Levin, N. (2016). Quantifying urban light pollution – A comparison between field measurements and EROS-B imagery. *Remote Sensing of Environment*, 177, 65-77.
4. Xiang, W. & Tan, M. (2017). Changes in light pollution and the causing factors in china's protected areas, 1992–2012. *Remote Sensing*, 9(10), 1026. <https://doi.org/10.3390/rs9101026>
5. Semkiv, Yu.V. & Kaserevych, V.S. (2019). *Matematychni modeli svitlovoho zabrudnennia atmosfery [Mathematical models of light pollution of the atmosphere]*. Ternopil. (in Ukr.)
6. Falchi, F. et al. (2019). Light pollution in USA and Europe: The good, the bad and the ugly. *Journal of environmental management*, 248, 109227. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.128>
7. Jechow, A., & Hölker, F. (2020). Evidence that reduced air and road traffic decreased artificial night-time skyglow during COVID-19 lockdown in Berlin, Germany. *Remote Sensing*, 12(20), 3412. <https://doi.org/10.3390/rs12203412>
8. Hatori, M. et al. (2017). Global rise of potential health hazards caused by blue light-induced circadian disruption in modern aging societies. *Aging and Mechanisms of Disease*, 3(1), pp. 1-3. <https://doi.org/10.1038/s41514-017-0010-2>
9. Longcore, T., & Rich, C. (2004). Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(4),



- pp. 191-198.
10. Cabrera-Cruz, S.A., Smolinsky, J.A., & Buler, J.J. (2018). Light pollution is greatest within migration passage areas for nocturnally-migrating birds around the world. *Scientific reports*, 8(1), pp. 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21577-6>.
  11. Škvareninová, J. et al. (2017). Effects of light pollution on tree phenology in the urban environment. *Moravian geographical reports*, 25(4), pp. 282-290. <https://doi.org/10.1515/mgr-2017-0024>
  12. Anisimov, V.N. & Vinogradova, I.A. (2006). Cvetovoy rezhym, melatonin i risk razvitiya raka [Light regime, melatonin and cancer risk]. *Voprosy onkologii [Oncology issues]*, 52(5), pp. 491-498. (in Russ.)
  13. Barmasov, A.V., Barmasova, A.M. & Yakovleva, T.Yu. (2014). Biosfera i fizicheskie factory. Svetovoe zagryaznenie okruzhayushchey sredy. [Biosphere and physical factors. Light pollution of the environment]. *Uchenye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta. [Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University]*, 33, pp. 84-101. (in Russ.)
  14. Hölker, F. et al. (2010). Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in ecology & evolution*, 25(12), pp. 681-682. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.09.007>
  15. Jechow, A., Kyba, C. C., & Hölker, F. (2020). Mapping the brightness and color of urban to rural skyglow with all-sky photometry. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 250, 106988. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2020.106988>
  16. Peña-García, A., & Sędziwy, A. (2020). Optimizing lighting of rural roads and protected areas with white light: A compromise among light pollution, energy savings, and visibility. *Leukos*, 16(2), pp. 147-156. <https://doi.org/10.1080/15502724.2019.1574138>
  17. Peregrym, M. et al. (2020). Is artificial light at night dangerous for the Balkan strict protected areas at present?. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231(2), pp. 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-4452-y>
  18. Epishhev, V.P., Isak, I.I. & Klimyk, V.V. (2005). Svitlove "zabrudnennia" nichnoho neba v punkti Uzhhorod [Light "pollution" of the night sky in Uzhgorod]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Ser.: Fizyka. [Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Ser.: Physics]*, 18, pp. 16-18. (in Ukr.)
  19. Galetych, I.K. & Vergeles, Y.I. (2011). Kompleksnyi vplyv zabrudnen elektromahnitnoho pokhodzhennia na stan dovkillia velykoho mista (na prykladi svitlovoho zabrudnennia). [Complex influence of pollution of electromagnetic on the state of the environment of a big city (on the example of light pollution)]. *Komunalne hospodarstvo mist [Municipal utilities]*, 101, pp. 139-149. (in Ukr.)
  20. Petrova, G.I. (ed.). (2019). *Transport i zviazok Chernivetskoj oblasti, 2018. Statystychnyi zbirnyk [Transport and Communication of Chernivtsi region, 2018. Statistical Yearbook]*. Chernivtsi (in Ukr.)
  21. Stare, J., & Kyba, C. (2019). *Radiance Light Trends*. Potsdam: GFZ Data Services. <https://doi.org/10.5880/GFZ.1.4.2019.001>
  22. Coesfeld, J. et al. (2018). Variation of individual location radiance in VIIRS DNB monthly composite images. *Remote Sensing*, 10(12), 1964. <https://doi.org/10.3390/rs10121964>
  23. Bará, S. (2018). Characterizing the zenithal night sky brightness in large territories: how many samples per square kilometre are needed?. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 473(3), pp. 4164-4173. <https://doi.org/10.1093/mnras/stx2571>
  24. Kumar, P. et al. (2019). Artificial Light Pollution at Night: A risk for normal circadian rhythm and physiological functions in humans. *Current Environmental Engineering*, 6(2), pp. 111-125.
  25. Kyba, C.C. (2018). Is light pollution getting better or worse? *Nature Astronomy*, 2(4), pp. 267-269. <https://doi.org/10.1038/s41550-018-0402-7>
  26. Levin, N., & Zhang, Q. (2017). A global analysis of factors controlling VIIRS nighttime light levels from densely populated areas. *Remote sensing of environment*, 190, pp. 366-382. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.01.006>

## PECULIARITIES OF THE ENVIRONMENTAL LIGHT POLLUTION IN CHERNIVTSI REGION

**A. V. Zhuk, O. D. Zarochentseva**

*Yuriy Fedkovich Chernivtsi National University,*

*Kotsiyubynski Street 2, 58012*

*Institute of biology, chemistry and bioresources*

e-mail: [a.zhuk@chnu.edu.ua](mailto:a.zhuk@chnu.edu.ua); [o.zarochentseva@chnu.edu.ua](mailto:o.zarochentseva@chnu.edu.ua)

<https://orcid.org/0000-0002-0405-8037>; <https://orcid.org/0000-0002-2451-5223>

*Introduction.* Every year industrial development and economic growth make light pollution worsen on a global scale. It is a well-known fact that artificial outdoor lighting causes destruction of wildlife habitat, impacts circadian rhythms of all living beings, disrupts animal behavior and leads to medical disorders of humans. Over the last decade scientists switched their focus from artificial sky glow over large cities to light pollution of rural landscapes, protected areas and roadways.

The *purpose* of this paper consists in assessing night-time light emissions over Chernivtsi Region as well as over city of Chernivtsi using satellite measurements.

*Methods.* Measurements of night-time light emissions were obtained with the help of GIS web application Radiance Light Trends and the light trends analysis tool. The application allows examination of changes in light pollution across selected areas since 1992 and performs time-series analysis with fitting an exponential curve into the data set.

*Results.* The trend in light emissions observed by satellites for Chernivtsi Region indicated brightening at the rate of 2.45 % per year from 1992 to 2014, and 2.93 % per year from 2014 to 2021. The marked increase in the intensity of atmospheric light pollution over Chernivtsi Region is largely attributable to urban expansion of district centers, national & international routes and resort complexes. At the same time, the spatial pattern of the light environment over city of Chernivtsi indicated a nearly constant level of aggregate annual light radiance for the last 8 years. A large irregularly shaped "light spot" was detected on the territory of the Prut-Siret interfluvium. It crosses the region from the northwest to the southeast and covers the regional center with its suburbs and the national highway H-10. The night light radiance constitutes  $47.49 \cdot 10^{-9}$  mW/cm<sup>2</sup> sr in the center of the spot and more than  $1 \cdot 10^{-9}$  mW/cm<sup>2</sup> sr at its edges. The highest level of light pollution in Chernivtsi Region was registered in January, and the lowest – in March. Night-time light emission over two most illuminated highways remains relatively constant regardless of the season.

*Conclusion.* The study highlights that despite low population and low economic activity, rural landscapes demonstrate a trend towards increasing brightness of the night sky. The findings provide a quantitative reference for light pollution management in the region and for further research in the area.

**Key words:** light pollution; night sky brightness; remote sensing; Chernivtsi Region

## ОСОБЕННОСТИ СВЕТОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ЧЕРНОВИЦКОЙ ОБЛАСТИ

А. В. Жук, О. Д. Зароченцева

Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича

58012, г. Черновцы, ул. Коцюбинского, 2

Институт биологии, химии и биоресурсов

e-mail: a.zhuk@chnu.edu.ua; o.zarochentseva@chnu.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0002-0405-8037>; <https://orcid.org/0000-0002-2451-5223>

Проблема светового загрязнения окружающей среды приобретает все большую актуальность в глобальном масштабе. Если раньше исследователи акцентировали внимание на яркости ночного неба над мегаполисами, то в последние годы появляются многочисленные научные труды, посвященные исследованию светового загрязнения природоохранных территорий, сельских ландшафтов и транспортных сетей. Целью данного исследования была оценка светового загрязнения атмосферы в Черновицкой области и г. Черновцы на основе анализа аэрокосмических снимков. Материалами исследования послужили интерактивные ГИС-карты Radiance Light Trends, для количественного анализа применен сервис Light trend analysis. Установлена тенденция к росту уровня светового загрязнения по области с годовым приростом 2,45 % за период с 1992 по 2014 гг. и 2,93 % за период с 2014 по 2021 гг. Показано, что рост уровня светового загрязнения в Черновицкой области происходит за счет районных центров, трасс международного значения, развлекательно-туристических комплексов. В областном центре за последние 8 лет наблюдается стабильный уровень суммарного годового светового загрязнения. Получены уравнения экспоненциального роста светового загрязнения для области и г. Черновцы. На территории Прут-Сиретского междуречья выделено большое «световое пятно» неправильной формы, которое пересекает область с северо-запада на юго-восток и охватывает областной центр с пригородами и автомобильный путь национального значения Н-10. Энергетическая яркость в центре пятна составляет  $47,49 \cdot 10^{-9}$  нВт/см<sup>2</sup> ср, по краям – от  $1 \cdot 10^{-9}$  нВт/см<sup>2</sup> ср. Самый высокий уровень светового загрязнения Черновицкой области зарегистрирован в январе, самый низкий – в марте. Засветка ночного неба вдоль двух наиболее иллюминированных трасс Черновицкой области остается примерно одинаковым независимо от сезона наблюдений.

**Ключевые слова:** световое загрязнение; яркость ночного неба; дистанционный мониторинг; Черновицкая область.

Подання до редакції : 14. 05. 2021

Надходження остаточної версії : 21. 05. 2021

Публікація статті : 30. 06. 2021