

Світлана Мальченко  
Микола Слюсаренко

### Дослідження світлового забруднення нічного неба

Досліджено стан атмосфери нічного неба в місті Кривий Ріг. Для виконання дослідження обрано сузір'я Цефей з чітко окресленою фігурою, яке перебувало біля зеніту. Визначення відносної кількості видимих зір у декількох районах міста вказує на те, що рівень світлової «забрудненості» нічного неба становить більше 50 %, видима зоряна величина найслабшої зорі становить біля 4,7<sup>m</sup>.

**Ключові слова:** заствітленість; світлове забруднення нічного неба, методи визначення світлового забруднення нічного неба.

**Постановка наукової проблеми та її значення.** Можливості людини впливати на природу постійно збільшуються і вже досягли такого рівня, коли людина може зруйнувати планету, знищити все живе, повністю змінити кліматичні умови. Повітряна оболонка Землі є однією з головних умов життя. Атмосфера має велике екологічне значення: вона захищає живі організми від згубного впливу космічних випромінювань та ударів метеоритів, є носієм тепла і вологи. Через атмосферу відбувається фотосинтез, обмін енергією та інформацією – основні процеси у біосфері. Для деяких організмів (бактерій, летючих комах, птахів та інших) атмосфера є основним середовищем проживання. Крім природних факторів, що впливають на астроклімат, істотно впливає і розвиток цивілізації. Найважливішим негативним фактором стало нічне освітлення міст. Надлишок нічного освітлення не тільки викликає збільшення яскравості неба, а й негативно впливає на довкілля, втручаючись у природні ритми біосфери. Надлишкове освітлення виникає внаслідок забруднення довкілля й атмосферного повітря.

Атмосферне повітря населених пунктів постійно забруднюється і за всіма параметрами докорінно відрізняється від повноцінного природного повітря, яке є чистим і стимулює біологічні процеси. Світло від наземних джерел – серйозна перешкода для астрономічних спостережень, у промислових містах уже давно не спостерігають нічне зоряне небо. Італійські астрономи П'єрантоніо Чинзано і Фабіо Фалькі склали перший атлас освітленості нічного неба. Перші знімки земних вогнів зроблено із супутників ще наприкінці 80-х років ХХ ст., на них можна бачити не тільки великі міста, а й нафтові промисли, великі лісові пожежі. Але італійці вперше змогли врахувати ефекти розсіювання світла від земних джерел на хмарах і атмосферному пилу. Виявилось, що світло одного-єдиного вуличного ліхтаря здатне перешкодити спостерігачу, що перебуває на відстані 200 кілометрів від нього. Світло великих міст уже шкодить навіть телескопам, встановленим на Канарських островах, у горах Чилі та на Гаваях.

Кривий Ріг є великим промисловим центром і має один з найгірших станів екосистеми серед усіх міст центрального регіону України, тому може слугувати наочним прикладом усього спектру екологічних проблем і катастроф сучасності. Однією з причин такого становища є те, що на кількість населення, яка становить тільки 1 % населення Землі, видобувається і переробляється майже 5 % світового обсягу мінеральних ресурсів, тобто в межах України відбуваються масштабні перетворення ландшафту і забруднення довкілля. Тому проблема засвітленості атмосферного повітря в м. Кривий Ріг особливо значуща, через розвинуту цивілізацію та забрудненість повітря.

**Мета** цієї роботи – виявити проблеми світлового забруднення повітря у м. Кривий Ріг, використовуючи аналіз відносної кількості видимих зір та визначення зоряної величини найслабшої зорі, яку можна спостерігати неозброєним оком.

В сучасному світі неможливо зберегти сталий склад атмосфери, а отже, і хімічний склад повітря. Повітряна оболонка містить у собі значну кількість небажаних домішок. Найбільш чистою є атмосфера над океанською поверхнею, високо в горах, найбільш забрудненою – біля джерел природного чи антропогенного походження. Штучне забруднення атмосфери є результатом діяльності промислових підприємств, транспортних засобів, утилізації побутових відходів. Основним джерелом штучного забруднення атмосфери також є підприємства комунального сектора, сільського господарства.

Серед галузей промисловості головними джерелами атмосферних забруднень виступають: електроенергетика (27 %), металургія (26 %), будівельна індустрія (13 %).

Найбільш чутливою до штучної засвітки неба є астрономія. Більшість спостережень, особливо в галузі позагалактичних досліджень і космології, тепер можна проводити лише в місцях, віддалених від великих міст на сотні кілометрів. Деякі старі обсерваторії дуже потерпають від міської засвітки неба. Вибираючи місця для будівництва обсерваторії, астрономів, передусім цікавить кількість ясного нічного неба. Воно вимірюється в сумарній річній кількості годин безхмарного неба в період астрономічної ночі, коли Сонце опускається під обрій більше, ніж на 18 градусів і вже не помітні сутінкові явища. Для старих університетських обсерваторій, розміщених поблизу великих міст Європи, цей час становить біля 200–300 годин на рік; для гірських обсерваторій, що розташовуються в південній частині – це 1000–1500 годин, а для найбільш сучасних обсерваторій у горах Чилі і на Гаваях – 2500–3000 годин.

На території кожної обсерваторії нічне освітлення робиться мінімально яскравим, а нерідко і цілком відключається в години спостережень. Світло великого міста, розташованого навіть у 100 км від обсерваторії, позбавляє астрономів можливості спостерігати слабкі об'єкти. Уникнути засвітки дають змогу ліхтарі з закритими лампами, що направляють світло тільки вниз. За таких умов саме джерело світла залишається невидимим збоку, на відміну від звичайних вуличних ліхтарів [2; 8].

При значному зростанні освітленості нічного неба страждають і тварини, які ведуть нічний спосіб життя. Зайве світло погано діє практично на всі нічні види. Деякі з них не можуть полювати, а деякі – розмножуватися, інші – просто жити. Наприклад, зменшення кількості комах знижує площу запилення рослин. Як відомо, випадання з «харчового ланцюжка» хоча б однієї ланки призводить до дуже серйозних наслідків для всіх інших ланок. Особливо страждають птахи. «Світлове забруднення» впливає, передусім, на маршрути їхньої міграції. Природний ритм рослин і всіх живих істот значно змінюється унаслідок «перетворення ночі в день». Наприклад, для рослин збільшення періоду фотосинтезу, викликане застосуванням штучного світла, призведе до надприродного росту рослин, зсуву фази цвітіння і частоти фотосинтезу.

Штучне світло, яке випромінюється з міста у космічну пітьму, є лише індикатором забруднення, і боротись потрібно не стільки з наслідком, скільки з причиною – із фізичним засміченням атмосфери. Штучне світло не порівняти за інтенсивністю із сонячним, тому воно нездатне в масштабі цілого міста засвітити повітря, якщо повітря чисте. Світлова завіса з'являється лише в брудному повітрі мегаполісів.

Проблему світлового забруднення можна вирішувати двома способами:

- зменшувати задимлення й засмічення атмосфери промисловими викидами;
- застосовувати нові технології освітлення й поліпшувати якість архітектурних проектів [3].

Існує Міжнародна асоціація темного неба (International Dark-Sky Association, IDA), до якої увійшли майже 3000 астрономів з усього світу. Це неприбуткова, звільнена від податків організація, що прагне донести проблему до населення і переконати його не заливати світлом околиці, зберегти темне небо і максимально підвищити якість та ефективність зовнішнього освітлення. З цією унікальною організацією можна зв'язатися за адресою: 3225 N. First Avenue, Tucson, AZ85719, USA; email: ida@darksky.org; сайт асоціації: <http://www.darksky.org> [8].

Головне **завдання** – дослідити фактори антропогенного походження. Основні критерії – штучне освітлення не повинне перевищувати мінімальну яскравість фону неба на висоті 45° більше, ніж на 10 %.

#### **Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження**

**Визначення відносної кількості видимих зір.** Розвиток інфраструктури сучасних міст, зростання загальної освітленості великих міст та забруднення повітря атмосфери впливає на вигляд зоряного неба. У великих містах майже не дивляться вночі на небо, тому що навіть за гарної погоди кількість видимих зір дуже мала. Тому українські астрономи і аматори у 2011 р. приєдналися до проекту Національного управління США з аеронавтики і дослідження космічного простору (NASA) – «Великий міжнародний підрахунок зір» [5–7].

«Родзинка» проекту «Великий міжнародний підрахунок зір» полягає в тому, що взяти участь у ньому можуть всі охочі. Для цього достатньо вийти на вулицю ясної ночі і в певній ділянці неба порахувати кількість видимих зір. Свій звіт треба відправити на веб-сторінку організаторів акції.

Мета підрахунку – дізнатися рівень світлового забруднення, а також забруднення атмосфери в різних точках планети. Чим більше частинок забруднення в атмосфері, тим менше зір видно.

Для спостереження за зорями потрібна труба, близько 25–35 см (10–14 дюймів) завдовжки і діаметром 4–6 см (1,6–2,4 дюйма). Можна використовувати картонну трубку з порожнього рулону паперових рушників, або можна зробити свою власну трубу для перегляду. Щоб зробити трубу, можна скрутити аркуш паперу в трубочку, закріпити кінці аркушу паперу. Якщо виявиться, що видно надто багато зір, щоб порахувати, можна зробити більшу і тоншу трубку. Деякі спостерігачі навіть використовують соломинку для напоїв.

Звіт повинен містити: дату й отриману кількість при спостереженні сузір'я; широту, довготу і висоту сузір'я, у якому рахували зорі, за допомогою карти, GPS, веб-сайтів або програм, таких як «Google планета Земля»; оцінку хмарного покриву у відсотках; показник якості повітря. Іноді, це також називається індекс забруднення, цей індекс для кожного регіону можна визначити за даними сайту: <http://www.nasa.gov/audience/foreducators/son/energy/starcount/index.html> [5].

**Визначення відносної кількості видимих зір у м. Кривий Ріг.** У роботі ми спробували оцінити засвітленість нічного неба у місті Кривий Ріг за кількістю видимих зір. Ми використовували методу, запропоновану НАСА, й адаптували її для власних розрахунків.

Використання труби вимагає досконального знання зоряного неба, точне наведення на одну й ту саму ділянку неба, а також точні розрахунки поля зору. Після цього на зоряній карті треба намалювати коло відповідного діаметру й підрахувати зорі, які ми повинні були б побачити при відсутності забруднення та засвітленості повітря.

У роботі запропоновано дещо спрощений метод, який полягає в підрахунку видимих зір у певному сузір'ї на нічному небі; оцінці зоряних величин цих зір за даними каталогів й визначенні кількості зір, які могло б побачити наше око в обраному сузір'ї. Подальшим кроком була оцінка відносного числа видимих зір, яка й показала ступінь світлового забруднення атмосфери у цьому регіоні.

Вибираючи сузір'я, потрібно врахувати те, що вони повинні бути:

- яскравими та їх легко можна було знайти на небі;
- містити достатню кількість зір й мати чітко визначені межі, які легко визначити при спостереженні;
- розміщуватися поблизу зеніту, щоб зменшити вплив горизонтального складника освітленості.

Для роботи ми обрали сузір'я Цефей (рис. 1), найбільш відповідне вимогам, що вказані вище. Сузір'я Цефей розташоване між Кассіопеєю та Малою Ведмедицею.  $\alpha$  Цефея розташоване на прямій, яка з'єднує  $\alpha$  та  $\beta$  Кассіопеї, на відстані, учетверо більшій, ніж відстань між цими зорями.



Рис. 1. Сузір'я Цефей

Дослідження освітленості нічного неба проводилося в різних районах міста. В обраному сузір'ї Цефей підраховані всі видимі зорі. Для визначення кількості видимих зір використано дані з роботи [2; 3].

При початковому спостереженні кількість зір в сузір'ї Цефей, які ми побачили неозброєним оком, становила 10–12, проте, за даними каталогів кількості видимих зір, їх біля 40. Для зручності перелік зір, їх параметри та координати взяті з електронної енциклопедії Вікіпедія [4]. Кількість зір видимої зоряної величини – 95, але враховуючи, що спостереження проводилися в місті та впливали штучні джерела освітленості можна було взяти число зір – 44.

Відносна кількість розраховувалася за формулою:

$$n = \frac{N_{\text{видимих зір}}}{N_{\text{зір до } 6^m}}$$

Розрахована відносна кількість видимих зір становила біля 25 %. Для самого дослідження було обране місце достатньо віддалене від будівель та дороги, тобто щоб поблизу не було джерел освітленості. Спостереження проводилися, коли місяць був новий або у першій чверті, щоб світло від нього не впливало на дані дослідження. Погодні умови, які теж впливають на кількість видимих зір, перевірялися візуально та за даними метеорологічних сайтів. У дні спостережень хмарність була практично нульовою.

Дотримуючись більш суворих вимог до спостереження, кількість видимих у сузір'ї зір збільшилася. Дослідження проводилося в чотирьох районах міста – Саксаганський (мікрорайон Ювілейний), Дзержинський (98 квартал), Центрально-Міський (Миколаївське шосе) та Довгинцівський (Дніпропетровське шосе). Дані подано у табл. 1.

Таблиця 1

Кількість видимих зір у сузір'ї Цефей

Місце спостережень	Кількість видимих зір	Відносна кількість видимих зір	Найменша зоряна величина видимих зір (каталог/Stellarium)
Мікрорайон Ювілейний	20	0,49	5,35 / 4,75
98 квартал	18	0,41	5,25 / 4,55
Дніпропетровське шосе	21	0,54	5,45 / 4,76
Миколаївське шосе	22	0,56	5,5 / 4,77

Найкраще значення становить:  $n = (22/44) \approx 0,5$ . Відповідно, можемо зробити висновок, що освітленість нічного неба у нашому місті складає менше 50 %, якщо припустити що і штучна засвітленість, і забрудненість атмосфери мають однакове співвідношення, то рівень забруднення атмосфери більше 25 %.

**Визначення зоряної величини найслабшої за яскравістю зорі.** Одним із простих способів дати кількісну оцінку якості неба є вказівка на найслабшу зорю, видиму неозброєним оком [2]. Для визначення найслабшої з видимих зір прийнято використовувати область неба поблизу північного полюса світу. Ця область має низку переваг:

- на середніх північних широтах вона не заходить за горизонт;
- її висота не змінюється упродовж ночі, тому зміною прозорості атмосфери з висотою можна знехтувати;
- у цій ділянці немає яскравих зір і не буває планет, які б засліплювали око.

Цим умовам якраз відповідають зорі в сузір'ї Цефей, тому для повного дослідження засвітленості атмосфери також визначена найменша зоряна величина, яку видно у Кривому Розі неозброєним оком.

На рис. 2 зображені усі зорі, які належать сузір'ю Цефей, найяскравіша зоря сузір'я має зоряну величину 2,45 – Альдеромін. Цей рисунок створений за допомогою програми-симулятора зоряного неба «Stellarium». На рис. 1 підписані зоряні величини для 50 зір, проте, як видно, зір, яскравіших за шосту зоряну величину, тільки 34. Зоряну величину кожної зорі ми визначили за допомогою програми-симулятора зоряного неба «Stellarium», тому є відмінності від даних каталогу. З рис. 2 визначена найменша зоряна величина, яка дорівнює  $5,25^m$ – $5,45^m$ . Якщо визначати за даними каталогів [4], то зоряна величина становить  $4,55^m$ – $4,77^m$ , тобто ми бачимо приблизно на одну зоряну величину менше, ніж повинні були б побачити.

З даних спостережень видно, що найкращим для проведення астрономічних спостережень є Миколаївське шосе, а найменш придатним – 98 квартал. Але отримані дані засвідчують більшою мірою не різницю рівня забрудненості повітря в цих районах, а більшу засвітленість цих районів чи місць проведення спостережень.

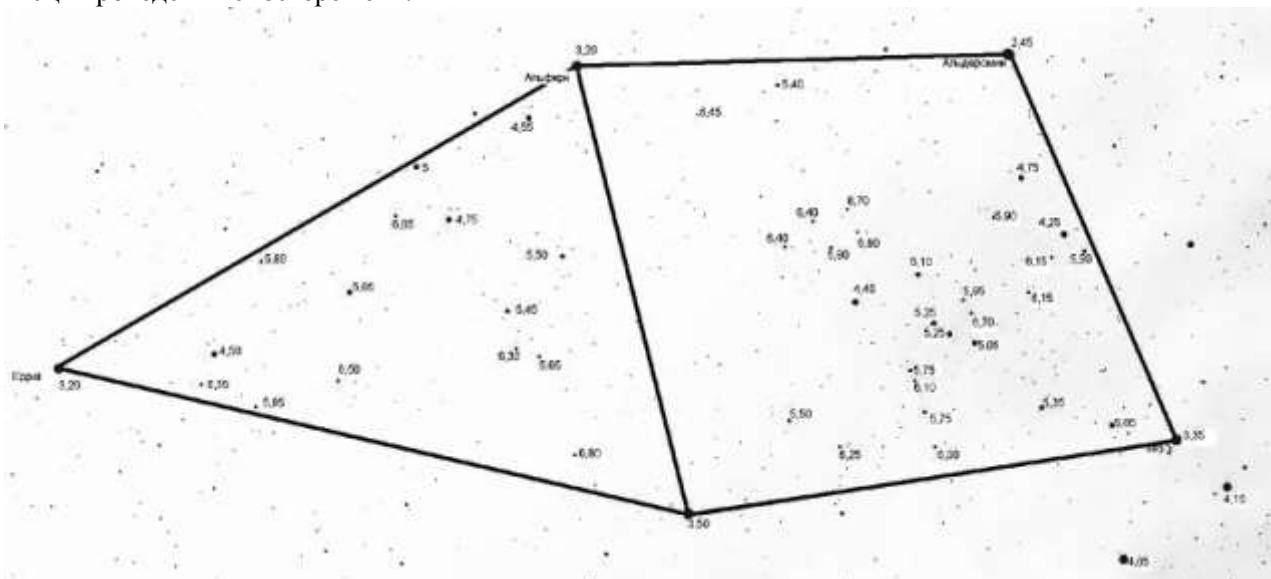


Рис. 2. Межі сузір'я Цефей. Для 50-ти зір позначено їх зоряні величини

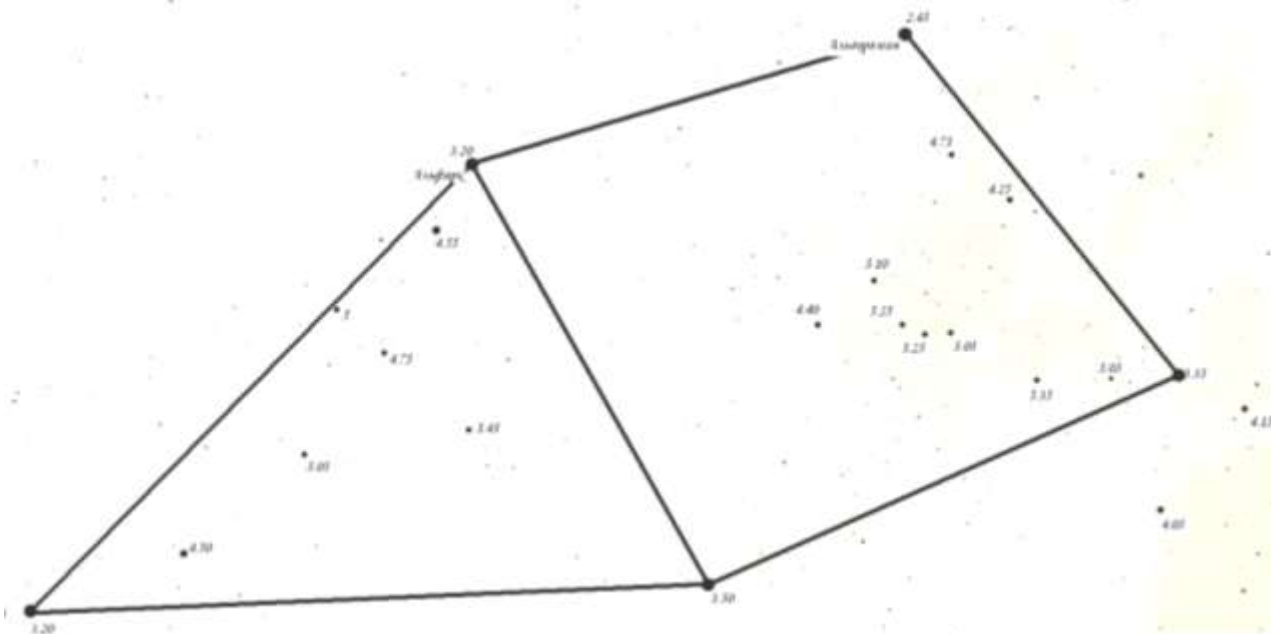


Рис. 3. Межі сузір'я Цефей. Для 22-х зір позначено їх зоряні величини

**Висновки та перспективи подальшого дослідження.** Отже, забруднення в місті Кривий Ріг є однією з головних причин зниження умов для проведення астрономічних спостережень. У нашій роботі запропоновано метод дослідження освітленості нічного неба за видимою кількістю зір у сузір'ї.

Розглянуто методи оцінки засвітленості атмосфери та проаналізовано освітленість нічного неба за відносною кількістю видимих зір. За основу було взято сузір'я Цефей, у якому і підраховувалася кількість видимих зір (18–22), тобто що рівень світлової засвітленості атмосфери становить понад 50 %.

Дослідження проводилося в чотирьох районах міста. Освітленість нічного неба також характеризується найменшою зоряною величиною, яку можна побачити у цій місцевості. Ми змогли побачити зорю з найменшою зоряною величиною  $+4,77^m$  (Миколаївське шосе, найкраще місце для проведення спостережень), хоча людина повинна бачити зорю з найменшою зоряною величиною  $+6^m$  (а такі зорі наявні у сузір'ї Цефей). Отримані дані свідчать про те, що засвітленість та забрудненість у

м. Кривий Ріг становить біля 50 % й у зоряних величинах – майже  $0,5^m$ , що відповідає тисячам зір, які ми не можемо побачити у Кривому Розі навіть за найкращих погодних умов.

Проведене дослідження є початком великої роботи, його потрібно продовжити: а саме провести спостереження у всіх районах міста й зібрати більшу кількість спостережень, врахувати більшу кількість факторів, які впливають на вид нічного неба.

#### *Джерела та література*

1. Астроклимат и эффективность телескопов / Е. К. Бибилов, В. У. Клирик и др. – Л. : Наука, 1984. – С. 69–71.
2. Берлянд М. Е. Исследование атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд / Современные исследования Главной Геофизической обсерватории. Т. 2. – СПб. : Гидрометеоздат, 2001. – С. 117–145.
3. Гранкин К. Н. Анализ засветки в КраО [Электронный ресурс] / К. Н. Гранкин. – 2009. – Режим доступа : <http://astrotourist.info/analiz-zasvetki-v-krao>
4. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://uk.wikipedia.org/wiki/Список\\_зірок\\_сузір%27я\\_Цефея](http://uk.wikipedia.org/wiki/Список_зірок_сузір%27я_Цефея)
5. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.nasa.gov/audience/foreducators/son/energy/starcount/index.html>
6. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.nasa.gov/audience/foreducators/son/energy/starcount/Prepare\\_for\\_Your\\_StarCount.html](http://www.nasa.gov/audience/foreducators/son/energy/starcount/Prepare_for_Your_StarCount.html)
7. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.nasa.gov/audience/foreducators/58/features/F\\_Counting\\_the\\_Stars.html](http://www.nasa.gov/audience/foreducators/58/features/F_Counting_the_Stars.html)
8. Bortle John E. Introducing the Bortle Dark-Sky Scale [Electronic resource] / John E. Bortle // Sky & Telescope February. – 2001. – С. 126–129. – Access mode : <http://www.skyandtelescope.com/resources/darksky/3304011.html?page=1&c=y>

**Мальченко Светлана, Слюсаренко Николай. Исследование светового загрязнения ночного неба.** В данной работе представлено исследование состояния атмосферы ночного неба в городе Кривой Рог. Предложен метод исследования освещенности ночного неба по видимому количеству звезд в созвездии. Для выполнения данного исследования было выбрано созвездие Цефея с четко выраженной фигурой, которое находится возле зенита. Освещенность ночного неба характеризуется также наименьшей звездной величиной, которую можно увидеть в данной местности. Мы смогли увидеть звезду с наименьшей звездной величиной  $+4,77^m$  (Николаевское шоссе, наилучшее место для проведения наблюдений), хотя человек должен видеть звезду со звездной величиной  $+6^m$ . Полученные данные свидетельствуют о том, что освещенность и загрязненность в г. Кривой Рог составляет около 50 % и в звездных величинах – около  $1-0,5^m$ , что соответствует тысячам звезд, которые мы не можем увидеть в городе даже при наилучших условиях для наблюдений.

**Ключевые слова:** освещенность, световое загрязнение ночного неба, методы определения светового загрязнения ночного неба.

**Malchenko Svitlana, Slusarenko Mykola. Study of Light Pollution Night Sky.** This work is presents study of the atmosphere of night sky in the city of Kriviy Rih. We propose a method for the study of lighting the night sky by using the relative amount of visible stars in the constellation. Constellation of Cepheus was selected for this study, because it has a clear figure and it is located near the zenith. Illumination of a night sky is also characterized by lower magnitude of a star, which can be seen in this place. We have been able see the star with the smallest magnitude  $+4,77^m$  (the best place for observations in city of the Kriviy Rih), although a man must to see a star with magnitude  $+6^m$ . Our data are suggest about that light pollution in the city Kryvyi Rih is about 50 % and light pollution is about  $1-0,5^m$ . This is consistent to the thousands of stars that we can't to see in the city of Krivoy Rih, even under the best conditions for observation.

**Key words:** luminosity; the light pollution of a night sky; methods for determining the light pollution of a night sky.

Стаття надійшла до редколегії  
16.06.2014 р.