

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОСРОЧНОГО ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ЗАСВЕТКИ НЕБА, КАК ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА

Назаров С.В.<sup>1</sup>, Рогова О.В.<sup>2</sup>, Халаимова А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Крымская астрофизическая обсерватория РАН  
пгт. Научный, 298409, Бахчисарайский р-н., Республика Крым, РФ; e-mail: astrotourist@gmail.com

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет  
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, РФ, РФ; e-mail: ovrogova@sevsu.ru

Поступила в редакцию: 26.08.2018.

**Аннотация.** С ростом территории городов Крыма и увеличения системы городского освещения, за последние 14 лет освещенность ночного неба, по данным телескопа АЗТ-8 Крымской астрофизической обсерватории (КраО), возросла на 2,57 %, что может негативно сказаться как на астрономических наблюдениях в КраО, так и на экологии и здоровье человека. Источником увеличения засветки ночного неба являются несовершенные системы городского освещения крупных городов Крыма, рассеивающие часть энергии вверх. Годовой ход засветки нелинеен и сопряжен с сезонами года. Наибольший рост засветки по сезонам за исследуемое время выпадает на зимний сезон – 22,2 %, в летний сезон наблюдается уменьшение засветки на 20,32 %. Режим экономного расхода электроэнергии в зимние и весенние периоды 2014 и 2015 гг показал снижение влияния светового загрязнения на 13,48 % по сравнению с зимними сезонами 2013-2016 гг. В курортный летний сезон 2014-2016 за трехлетний период наблюдался рост засветки на 18,48 % в отличие от ее уменьшения в 2011-2013 гг. на 18,33 %.

**Ключевые слова:** засвечивание ночного неба, световое загрязнение, астрономические наблюдения, КраО, АЗТ-8.

С развитием цивилизации, с ростом территории городов факторы антропогенного характера все больше оказывают влияние на окружающую среду. Одним из таких факторов, ставшим крайне актуальным в последние десятилетия для населения крупных городов, является световое загрязнение [1].

Световое загрязнение («засветка») – засвечивание ночного неба искусственными источниками освещения. Это явление вызвано неоптимальной и неэффективной конструкцией многих систем городского освещения, рассеивающих часть энергии вверх. Эффект осветления неба усиливается распространёнными в воздухе аэрозолями. Эти частицы дополнительно преломляют, отражают и рассеивают излучаемый свет [2].

Основными источниками светового загрязнения являются крупные города и промышленные комплексы [3]. Большая часть излучаемого света направляется или отражается вверх, что создаёт над городами так называемые световые купола.

Засветка серьезно ухудшает видимость ночного неба и препятствует астрономическим наблюдениям. Так, в крупных городах можно наблюдать только яркие звёзды, Луну и некоторые планеты (Меркурий, Венеру, Марс, Юпитер и Сатурн). Наблюдать объекты далёкого космоса: звёздные скопления, туманности, галактики становится очень сложно и т.п. Кроме того, становится невозможным определять контуры созвездий, так как многие из них включают слабые звёзды.

В данной работе исследовано изменение засветки ночного неба в период с 2002 по 2016 гг по данным, полученным при наблюдениях на телескопе АЗТ-8 в Крымской астрофизической обсерватории.

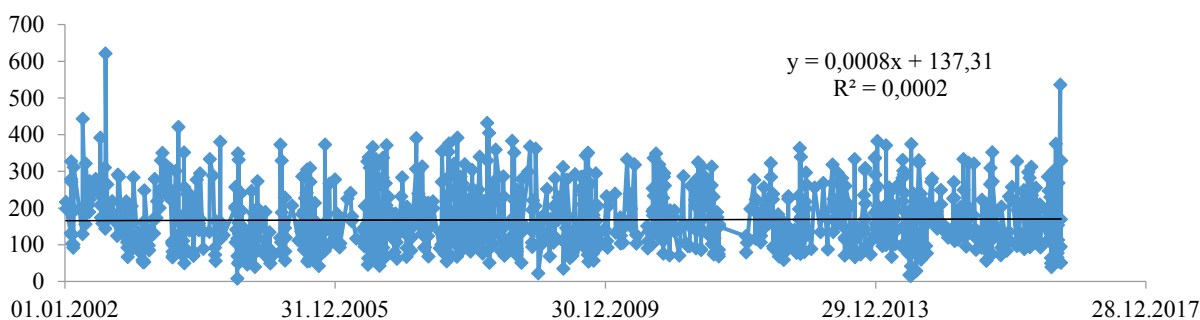
### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования степени светового загрязнения и его динамики был проведен анализ архива снимков телескопа АЗТ-8 в Крымской астрофизической обсерватории. Снимки получены в процессе фотометрических наблюдений активных ядер галактик в КраО в 2002-2016 гг. CCD камерой AP7p, расположенной в первичном фокусе телескопа АЗТ-8.

Двухзеркальный телескоп АЗТ-8 построен по оптической системе Кассегрена. Она состоит из основного параболического зеркала диаметром 70 см с относительным отверстием F/4 и двух вторичных зеркал, которые формируют фокусы Кассегрена F/16 и F/40 с хорошими полями зрения от 40 до 18 угловых минут. ПЗС-матрица имеет разрешение 512×512 пикселей, что дает поле зрения 15'×15'. Камера имеет набор B, V, R, RI, и I фильтров.

Из архива снимков были исключены снимки, имеющие лунную засветку. Обработка фотографий осуществлялась программой, разработанной сотрудником Коуровской обсерватории Вадимом Крушинским специально для определения яркости фона. Программа написана на языке программирования Python с использованием библиотек numpy и scipy.

В процессе обработки в программе проводилась очистка изображения от высокочастотного шума. Для этого была использована свертка с ядром  $[[1/4, 1/2, 1/4], [1/2, 1, 1/2], [1/4, 1/2, 1/4]]$ . Далее формировался массив, содержащий оценки значения фона в каждом пикселе изображения. Для оценки локального уровня фона на изображении использовали медианный фильтр с размером ядра 3×3 пикселя. Полученные значения фона вычитались из изображения.



**Рисунок 1.** Данные фоновой засветки и общий тренд за период 2002-2016 гг

Полученный массив так же пропускался через фильтр нижних частот и для выделения областей, содержащих пиксели со значением выше уровня шума на 3 сигма. Для каждого найденного источника выполнялось фитирование эллиптической функцией Моффата, определялся параметр FWHM и локальный фон неба. Значения усреднялись для всех найденных на кадре источников.

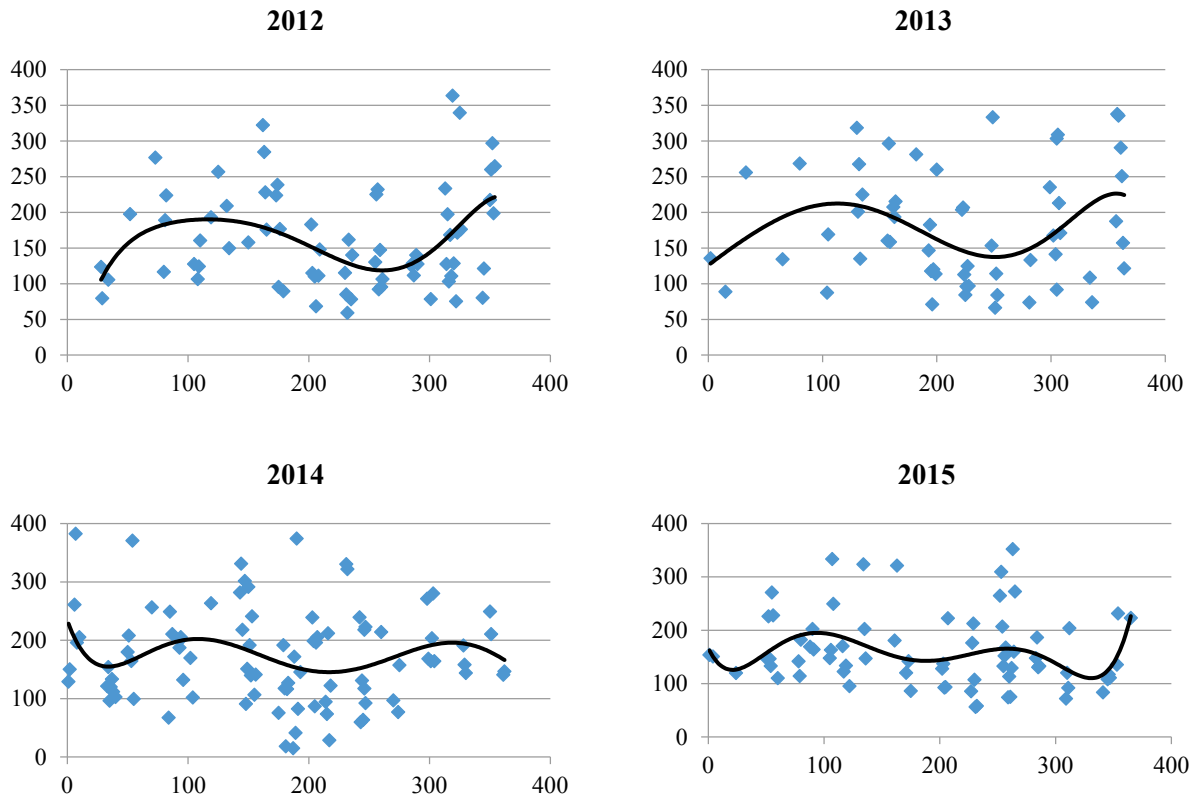
Результатом обработки фотографий является таблица, содержащая средние значения светового шума за темное время каждых суток в безлунные дни.

Полученные данные анализировались методом построения линий регрессии.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ обработки данных показал незначительное увеличение засветки фона на всем этапе исследования (рис. 1). При детальном изучении, в течение года обнаружился годовой циклический ход засветки неба, хорошо описываемый полиномом 6 степени. К концу мая уровень засветки возрастает, затем падает до минимума к концу июля-августа и плавно возрастает к декабрю (рис. 2).

Таким образом, тенденцию к изменению уровня засветки необходимо рассматривать на отдельных сезонах года. Продолжительности сезонов указана в таблице 1.



**Рисунок 2.** Годовой ход засветки ночного неба и полиномиальный тренд 6 степени в разные годы. По оси абсцисс – номер дня в году

Таблица 1. Время рассматриваемых сезонов

сезон	Весна	Лето	Осень	Зима
Дни начала и конца сезонов	01.03-31.05	01.06-31.08	01.09-30.11	01.12-31.12 предыдущего года и 01.01-28(29).02

При рассмотрении изменения уровня засветки по сезонам за весь период наблюдения, выяснилось, что наибольший рост уровня засветки происходит в зимний сезон и составляет 22,2 %, наименьший – 1,41 % в весенний. Летний период показывает снижение уровня засветки на 20,32 % (рис. 3, табл. 2).

На протяжении периода измерений были найдены участки, имеющие противоположные значения роста уровня засветки. К ним относятся периоды 2011-2013 и 2014-2016 гг. (рис. 4-7, табл. 3).

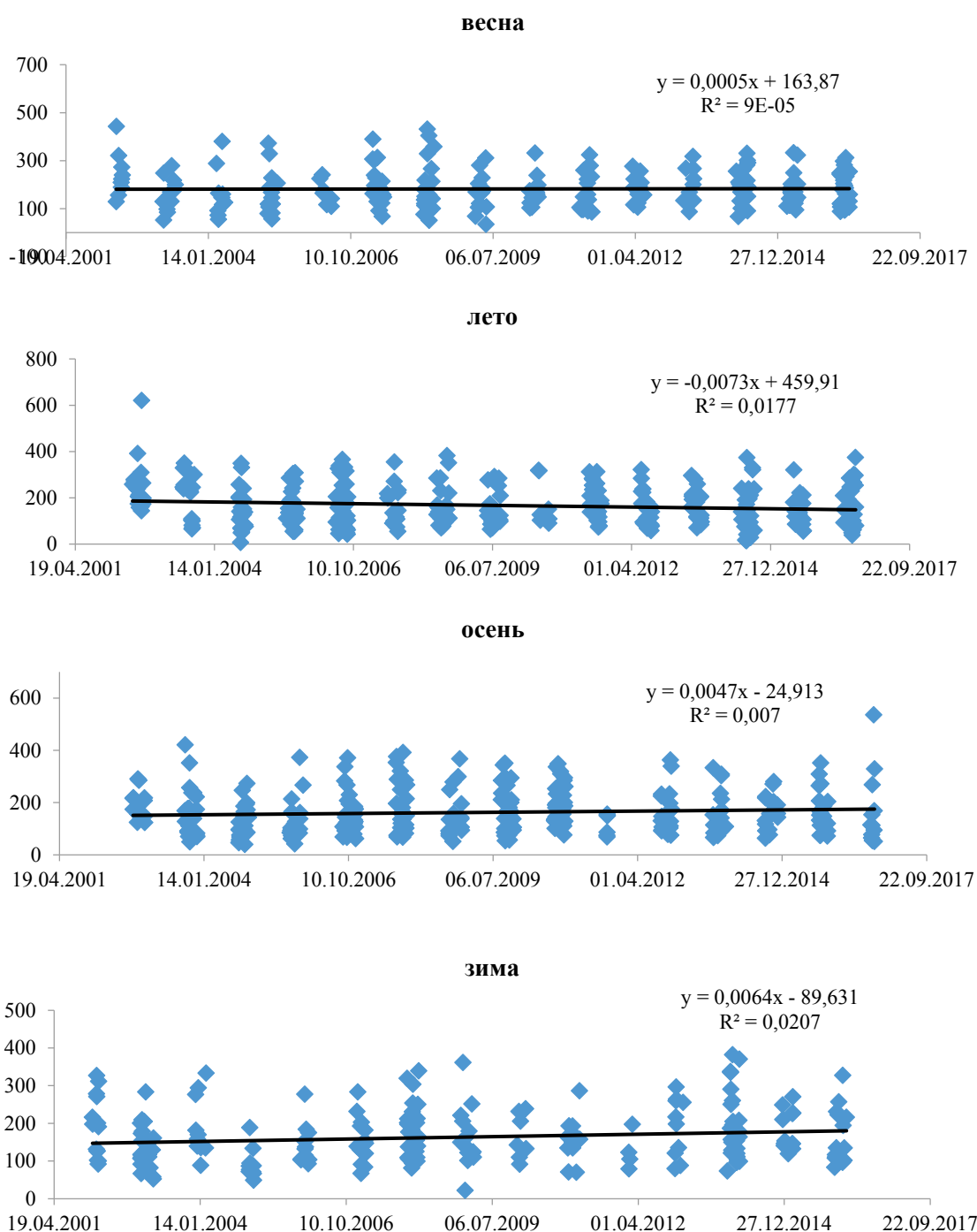
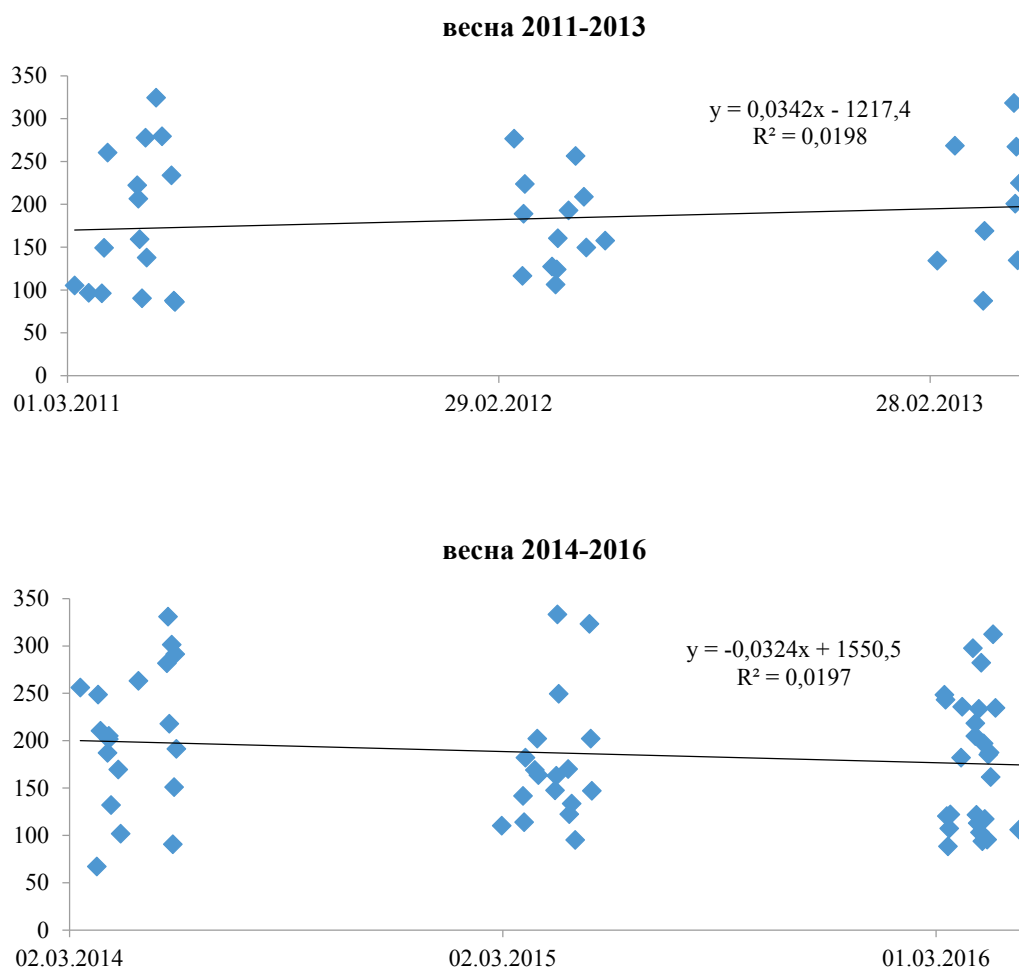


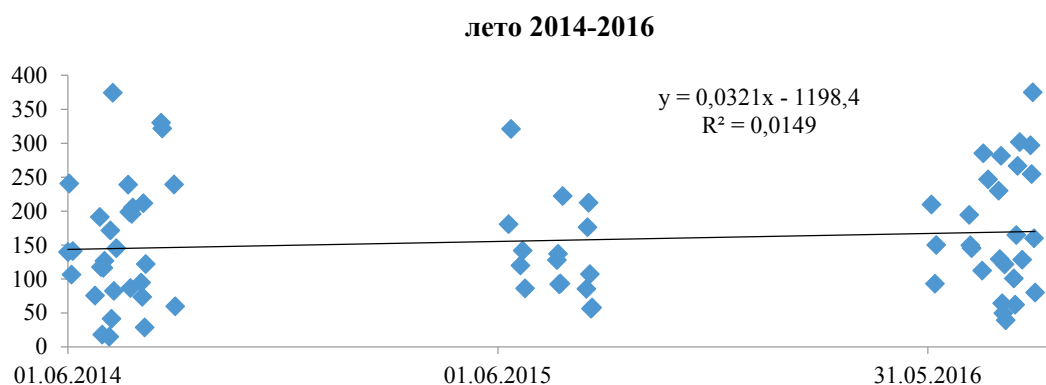
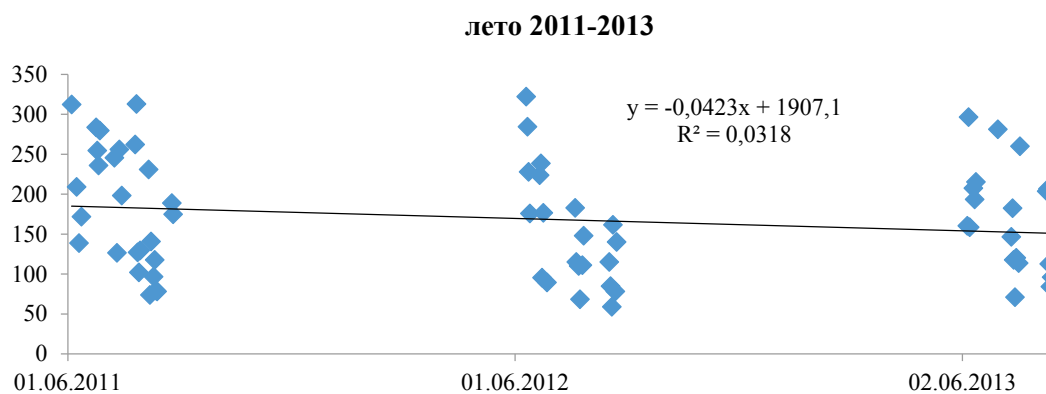
Рисунок 3. Данные по засветке ночного неба в разные сезоны

**Таблица 2** Коэффициенты линейной регрессии (угловой коэффициент К и свободный член Y0) и уровень роста засветки ночного неба за период 2002-2016 гг.

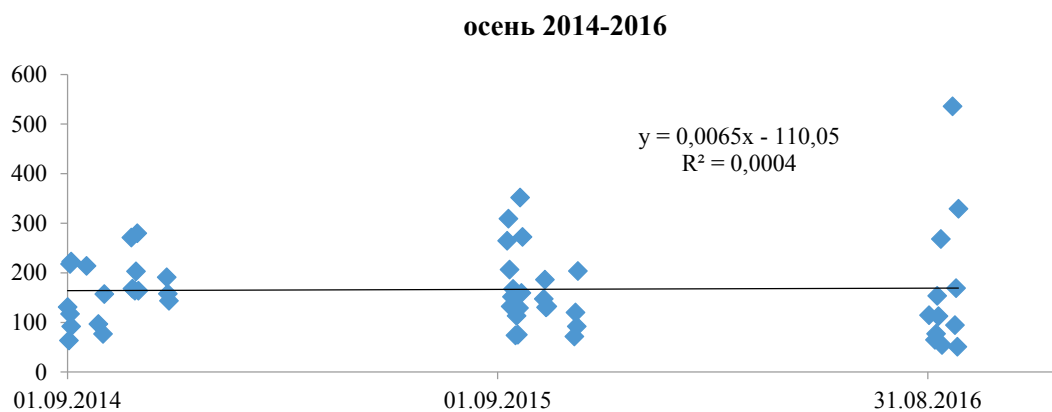
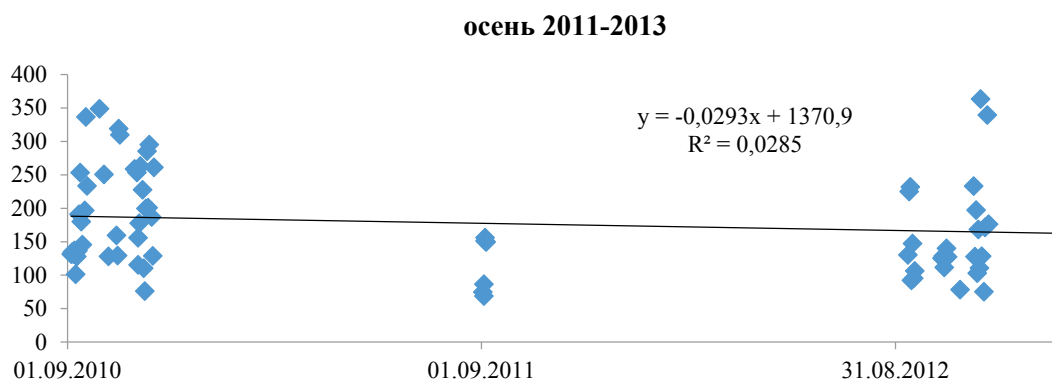
	За весь период 2002-2016	Весна 2002-2016	Лето 2002-2016	Осень 2002-2016	Зима 2002-2016
К	0.0008	0.0005	-0.0073	0.0047	0.0064
Y0	+137.31	+163.87	+459.91	-24.913	-89.631
Изменение уровня (%)	+2.57	+1.41	-20.32	+15.93	+22.20



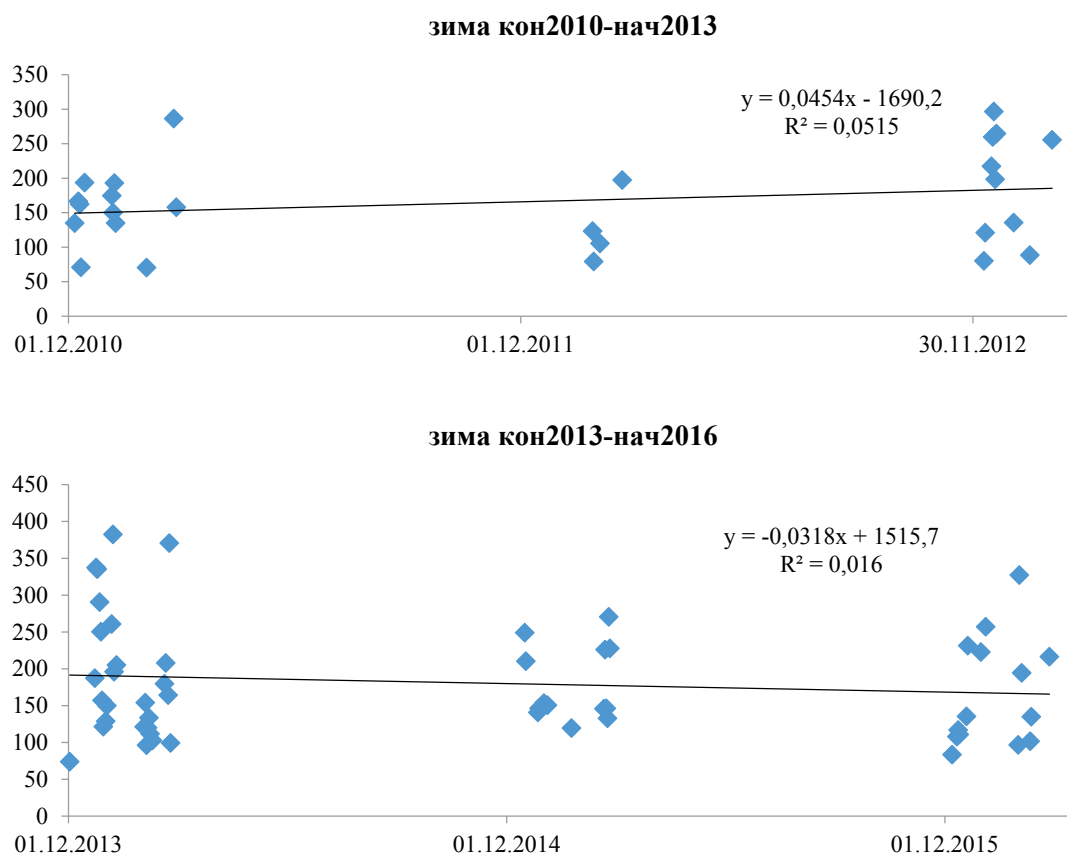
**Рисунок 4.** Данные по засветке ночного неба в весенний сезон 2011-2013 и 2014-2016



**Рисунок 5.** Данные по засветке ночного неба в летний сезон 2011-2013 и 2014-2016



**Рисунок 6.** Данные по засветке ночного неба в осенний сезон 2011-2013 и 2014-2016



**Рисунок 7.** Данные по засветке ночного неба в зимний сезон 2010-2013 и 2013-2016

Световое загрязнение неба в КрАО обеспечивается крупными городами Крыма: Симферополем, Севастополем, Бахчисараем и Ялтой. За последние годы идет интенсивный рост городов, прокладываются новые дорожные магистрали и модернизируется освещение городов. Полученные при исследовании данные по изменению засветки ночного неба показывают увеличение светового загрязнения.

Световое загрязнение влияет на устоявшуюся экосистему и имеет многочисленные последствия. Одним из последствий чрезмерного использования искусственного света являются потери энергии.

Искусственное освещение окружающей среды влияет на цикл роста многих растений. Деревья в окружении сильных источников света сбрасывают листья позже, чем в естественной темноте. Увеличение периода фотосинтеза, вызванного применением света, ведет к сверхъестественному росту растений, смещению фазы цветения и частоты фотосинтеза.

Искусственный свет в ночное время полностью меняет среду обитания всех ночных существ и ведет к гибели птиц, земноводных, насекомых и млекопитающих – ночных хищников [4].

Светлое море городов сбивает систему навигации птиц. Стаи резко меняют курс и направляются к светящимся высотным зданиям, башням, маякам и ярко освещённым судам. Дезориентированные, они бьются об оконные стёкла, стены, иллюминаторы, прожекторы и землю [3].

Увеличение засветки ночного неба влияет и на здоровье человека [5]. В темное время суток у человека вырабатывается 70 % важного гормона мелатонина, который является одним из сильнейших антиоксидантов. Мелатонин в первую очередь защищает ДНК клеток, снижая таким образом риск возникновения и развития онкологических, а также сердечно-сосудистых заболеваний [6]. Он выступает как естественный

**Таблица 3.** Коэффициенты линейной регрессии и уровень роста засветки ночного неба за период 2010-2016 гг.

	Весна 2011-2013	Весна 2014-2016	Лето 2011-2013	Лето 2014-2016	Осень 2011-2013	Осень 2014-2016	Зима 2010-2013	Зима 2013-2016
k	0,0342	-0,0324	-0,0423	0,0321	-0,0293	0,0065	0,0454	-0,0318
Y <sub>0</sub>	-1217,4	1550,5	1907,1	-1198,4	1370,9	-110,05	-1690,2	1515,7
Изменение уровня (%)	15,96	-12,92	-18,33	18,42	-13,65	3,03	23,99	-13,48

иммуностимулятор. Мелатонин регулирует функции щитовидной и вилочковой желез. Гормон усиливает защиту от простудных и инфекционных заболеваний. Он мягко регулирует деятельность различных мозговых структур, которые отвечают за стресс и тревожность.

Для уменьшения влияния роста индустрии и урбанизации на засветку ночного неба необходимо принять ряд мер, уменьшающих рассеивание света источниками освещения вверх. Ряд таких мер предложен в статье Капцова и др. [1]. Одной из них является использованием фонарей с закрытыми лампами, направляющие свет только вниз, которые используются, например, в КрАО.

Для контроля уровня светового загрязнения была создана международная ассоциация темного неба (International Dark-Sky Association, IDA). Эта организация стремится довести проблему светового загрязнения до граждан, правительства и собственников крупных промышленных предприятий.

## ВЫВОДЫ

Обнаружен положительный тренд в освещении ночного неба над Крымской астрономической обсерваторией. За 14 лет засветка ночного неба увеличилась на 2,57 %, что при увеличении темпа роста городов может привести в дальнейшем к невозможности изучать на территории КрАО объекты слабых звездных величин или части их траекторий, проходящих над горизонтом.

Рост уровня засветки неба различается по сезонам. Максимальный темп увеличения приходится на зимний сезон. За зимний период с 2002 по 2016 гг. уровень засветки увеличился на 22,2 %. В летний сезон исследуемого периода уровень засветки понизился на 20,32 %. Подобное снижение летнего уровня засветки может быть связано с уменьшением потока туристов, посещающих Крым летом.

В связи с негативным влиянием увеличения освещения ночного неба на астрономические наблюдения, экологию и здоровье человека, необходимо использовать системы городского освещения, подавляющие рассеивание энергии вверх.

### Список литературы / References:

1. Капцов В.А., Герасев В.Ф., Дейнего В.Н. Световое загрязнение как гигиеническая проблема. *Гигиена и санитария*, 2015, т. 94 (7), с. 11-15. [Kaptsov V.A., Gerasov V.F., Deinego V.N. Light pollution as a hygienic problem. *Gigiyena i sanitariya*, 2015, vol. 94 (7), pp. 11-15. (In Russ.)]
2. Акименко Т.А., Горбунова О.Ю. Прохождение света сквозь аэрозольную среду. *Известия ТулГУ. Технические науки*, 2011, вып. 5, ч. 3, с. 82-87. [Akimenko T.A., Gorbunova O.Yu. Passage of light through an aerosol medium. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskiye nauki*, 2011, iss. 5, part 3, pp. 82-87. (In Russ.)]
3. *Ecological consequences of artificial night lighting*. Eds. C. Rich, T. Longcore. Washington: Island Press, 2006, 458 p.
4. Айзиков Д.Л., Юнаш В.Д., Лотош Т.А., Матвеева Ю.П., Виноградова И.А. Влияние различных режимов освещения на репродуктивную активность и темпы физиологического развития потомства крыс. *Ученые записки Петрозаводского государственного университета: серия естественные и технические науки*. Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2014, № 4, с. 36-42. [Aizikov D.L., Yunash V.D., Lotosh T.A., Matveeva Yu.P., Vinogradova I.A. Influence of various modes of illumination on reproductive activity and rates of physiological development of offspring of rats. *Uchenyye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta: seriya yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki*. Petrozavodsk: Izdatel'stvo PetrGU, 2014, no. 4, pp. 36-42. (In Russ.)]
5. Кельмансон И.А. Экологические и клинико-биологические аспекты нарушений циркадианных ритмов сон-бодрствование у детей и подростков. *Биосфера*, 2015, т. 7, № 1, с. 131-145. [Kelmanson I.A. Ecological and clinical-biological aspects of disorders of circadian rhythms of sleep-wakefulness in children and adolescents. *Biosfera*, 2015, vol. 7, no. 1, pp. 131-145 (In Russ.)]
6. Анисимов В.Н., Виноградова И.А. Световой режим, мелатонин и риск развития рака. *Вопросы онкологии*, 2006, т. 52, № 5, с. 491-498. [Anisimov V.N., Vinogradova I.A. Light mode, melatonin and the risk of cancer. *Voprosy onkologii*, 2006, vol. 52, no. 5, pp. 491-498. (In Russ.)]

**INVESTIGATION OF LONG-TERM CHANGES IN THE LEVEL OF SKY ILLUMINATION AS AN ENVIRONMENTAL FACTOR****Nazarov S.B.<sup>1</sup>, Rogova O.V.<sup>2</sup>, Khalaimova A.V.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Crimean Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences  
Nauchniy, 298409, Republic of Crimea, Russia; e-mail: [astrotourist@gmail.com](mailto:astrotourist@gmail.com)<sup>2</sup> Sevastopol State University  
ul. Universitetskaya, 33, Sevastopol, 299053, Russia; e-mail: [ovrogoва@sevsu.ru](mailto:ovrogoва@sevsu.ru)

**Abstract.** With the growth of the territory of the cities of Crimea and the increase in urban lighting, over the past 14 years, the illumination of the night sky, according to the telescope AMT-8 of the Crimean astrophysical Observatory (CrAO), increased by 2.57 %, which can adversely affect both astronomical observations in the CrAO, and the environment and human health. The source of increasing the illumination of the night sky is imperfect urban lighting systems of large cities of Crimea, dissipating part of the energy up. The annual course of illumination is non-linear and is associated with the seasons of the year. The greatest increase in illumination by season for the studied time falls on the winter season – 22.2 %, in the summer season there is a decrease in illumination by 20.32 %. The regime of economical power consumption in winter and spring 2014 and 2015 showed a decrease in the influence of light pollution by 13.48 % for the winter seasons of 2013-2016. In the holiday summer season 2014-2016 for the three-year period there was an increase of illumination by 18.48 % in contrast to its decrease in 2011-2013 by 18.33 %.

**Key words:** *night sky illumination, light pollution, astronomical observations, CrAO, AMT-8.*