

## ОЦЕНКА ДИНАМИКИ СВЕТОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДОВ-КУРОРТОВ КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД (2012 -2022 ГГ.) С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

М. Б. Каган<sup>1)</sup>, Д. С. Тасенко<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, 10-я линия Васильевского острова, 31-33, 199178, г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: kagan.mikko@gmail.com

<sup>2)</sup> Северо-Кавказский федеральный университет, пр. Кулакова, 16, 355029, г. Ставрополь, Россия, e-mail: dimitri.tasenko@yandex.ru

В статье рассматривается современная экологическая проблема – световое загрязнение. На примере городов-курортов Кавказских Минеральных Вод была рассчитана динамика светового загрязнения за период с 2012 по 2022 годы с использованием ДДЗ и геоинформационных систем. Полученные данные позволяют выявить проблемные участки, где сила светового загрязнения высокая и причины, из-за которых это произошло. Данная проблема носит техногенный характер и влияет как на человека, так и на окружающую среду.

**Ключевые слова:** световое загрязнение; световые зоны; световое гало, Кавказские Минеральные Воды, города-курорты, дистанционное зондирование.

## DYNAMICS OF LIGHT POLLUTION IN RESORT TOWNS OF THE CAUCASIAN MINERAL WATERS (2012 -2022) USING REMOTE SENSING DATA

M. B. Kagan<sup>1)</sup>, D. S. Tasenko<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Saint Petersburg State University, ul. St. 10th line of Vasilievsky ostrov, 31–33, 199178, Saint Petersburg, Russia, e-mail: kagan.mikko@gmail.com

<sup>2)</sup> North Caucasus Federal University, Kulakova Av., 16, 355029, Stavropol, Russia, e-mail: dimitri.tasenko@yandex.ru

In the article considers a modern environmental problem - light pollution. On example of the resort towns of the Caucasian Mineral Waters was calculated the dynamics of light pollution for the period from 2012 to 2022 using remote sensing and geographic information systems. The obtained data allow us to identify problem areas where light pollution is high and the reasons why this happened. This problem is technogenic pollution and affects both humans and the environment.

**Keywords:** light pollution; light zones; light halo; Caucasian Mineral Waters, resort towns, remote sensing.

Световое загрязнение – это явление, при котором ночное небо освещается искусственными источниками света, лучи которых рассеиваются в нижних слоях атмосферы [2].

Световое загрязнение классифицируется на 5 видов:

1) переосвещение; 2) нарушение освещения; 3) яркий свет; 4) свечение ночного неба; 5) световой беспорядок.

Согласно предписаниям Всемирной Ассоциации Ночного Неба (International Dark-Sky Association (IDA)) [7, 10], избыточным светом считается та часть луча света, которая превысила линию горизонта (рис. 1).

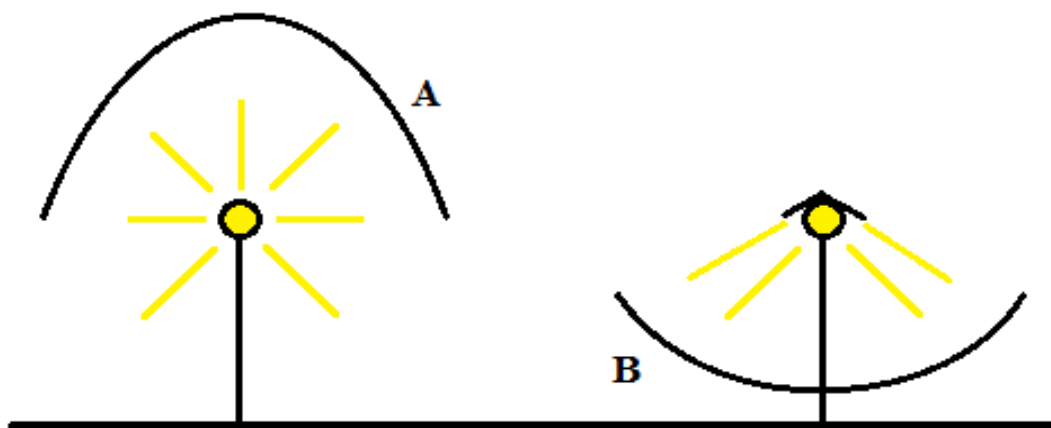


Рис. 1. Распространение света от фонарей наружного освещения

А – неправильная (нарушенная) конструкция фонаря;

В – правильная (ненарушенная) конструкция фонаря по предписаниям IDA

Кавказские Минеральные Воды сформировалась на основе туристско-рекреационных поселений и минеральных ресурсов. Увеличенный поток туристов и развитие оздоровительного потенциала территории привело к росту городов и инфраструктуры и, как следствие, усилению светового загрязнения.

Данная тема рассматривалась у зарубежных учёных, а также в работах Курочкиной В.А., Жиряковой А.Е., Абакумовой Д.В., Бутенко Л.А., Зеленина А.Н., Боруна А.Р., Галышева А.Б., Кагана М.Б., Скрипчинской Е.А. и Романенко К.И. и др.[1, 2, 3, 4, 5, 6].

Данные дистанционного зондирования Земли предоставляют огромный спектр инструментов для изучения городов и территорий, в частности и для светового загрязнения городов. Одно из преимуществ заключается в том, что можно проводить мониторинг различных по площади территорий земного шара без полевых исследований. Также с применением геоинформационных технологий возможно визуализировать и проанализировать полученную информацию.

Основными шагами в исследовании стали:

1 - сбор и обработка исходных данных (открытый источник космических снимков Earth Observation Group);

2 - изучение светового загрязнения с использованием космических снимков на примере городов-курортов Кавказских Минеральных Вод;

3 - анализ полученных данных.

В качестве исходных данных были взяты снимки с метеорологического спутника Suomi NPP [9] операторов Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA) и Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA). Спутник оборудован 5-ю инструментами для получения и обработки изображений и совершает 14 витков вокруг планеты за сутки. Данные предоставляются по месяцам и годам, начиная с 2012 года. Все показатели усреднены за определенный период на весь мир, поэтому отличаются от привычных космических снимков.

Главной задачей исследования была оценка светового загрязнения Кавминвод.

Визуализация и анализ данных проводился в геоинформационной системе QGIS.

С применением плагина «Зональная статистика» произведен расчет данных по средним, минимальным и максимальным значениям светового загрязнения по городским округам за 2012 и 2022 годы. Сила излучения рассчитывалась по формуле:

$$\text{Radiant intensity} = \frac{W}{\text{cm}^2 \text{sr}}$$

где  $W$  – мощность излучения;

$\text{sr}$  – стерadian (единица измерения телесного угла в системе СИ);

$\text{cm}^2$  – площадь.

Для изучения динамики светового загрязнения выбраны города-курорты Кавказских Минеральных Вод: Кисловодск, Ессентуки, Пятигорск, Железноводск и Лермонтов.

Данные по средним, минимальным и максимальным значениям светового загрязнения городов-курортов КМВ приведены в таблице.

Среднее значение за 10 лет в Ессентуках увеличилось на 5,52, в Железноводске на 4,54, в Кисловодске на 2,25, в Лермонтове на 3,24 и в Пятигорске на 7,23.

Минимальное значение в Ессентуках увеличилось на 0,97, в Железноводске на 0,7, в Кисловодске на 0,35, в Лермонтове на 0,85 и в Пятигорске на 0,58.

Максимальное значение в Ессентуках изменилось на 3,03, в Железноводске на 41,28, в Кисловодске на 30,12, в Лермонтове на 21,95 и в Пятигорске на 46,08.

#### Значения силы излучения в городах-курортах

| Город-курорт | Среднее |       | Минимальное |       | Максимальное |        |
|--------------|---------|-------|-------------|-------|--------------|--------|
|              | 2012    | 2022  | 2012        | 2022  | 2012         | 2022   |
| Ессентуки    | 2,04    | 7,56  | 0,17        | 1,14  | 29,64        | 32,67  |
| Железноводск | 0,40    | 4,94  | 0,04        | 0,74  | 3,07         | 44,35  |
| Кисловодск   | 1,82    | 4,07  | 0,02        | 0,37  | 25,06        | 55,18  |
| Лермонтов    | 1,01    | 4,25  | 0,09        | 0,94  | 4,53         | 26,48  |
| Пятигорск    | 2,01    | 9,24  | 0,04        | 0,62  | 12,66        | 58,74  |
| $\bar{x}$    | 1,456   | 6,012 | 0,072       | 0,762 | 14,992       | 43,484 |

В результате средние изменение по минимальному значению на 0,69, по максимальному значению на 28,492, а по среднему значению на 4,556.

Самые большие изменения наблюдаются по среднему значению в Пятигорске, по минимальному значению в Ессентуках, а по максимальному значению в Пятигорске.

На рисунке 2 представлена пространственная организация светового загрязнения городов-курортов Кавказских Минеральных Вод в 2012 году.

На рисунке 3 представлена пространственная организация светового загрязнения городов-курортов Кавказских Минеральных Вод в 2022 году.

*Кисловодск.* В западной и северо-западной части города Кисловодска расположены 6 тепличных комплексов: ООО ЭТК «Меристемные культуры», площадью 9,73 га, построенный в 1998 году; ООО «Вкус Ставрополя», площадью 6 га, построенный в 2018 году; Тепличный комплекс «Белая дача», площадью 29,5 га, построенный в 2019 году; ООО «Нежинское», площадью 10 га и ООО «Долина Солнца», площадью 7 га, построенные в 2022 году; также на территории города имеется тепличный комплекс ООО «КБК», площадью 1,15 га, построенный в 2016 году.

Итого, 5 тепличных комплексов, с общей площадью 53,65 га, было построено за исследуемый период и один комплекс, с площадью 9,73 га, который ведет свою деятельность с 1998 года.

Световое загрязнение от теплиц с каждым годом увеличивается, т.к. организации пытаются увеличить площадь предприятий, повысить урожайность за счёт обновления оборудования, которые уменьшают срок вегетации путем температуры и получаемого света.

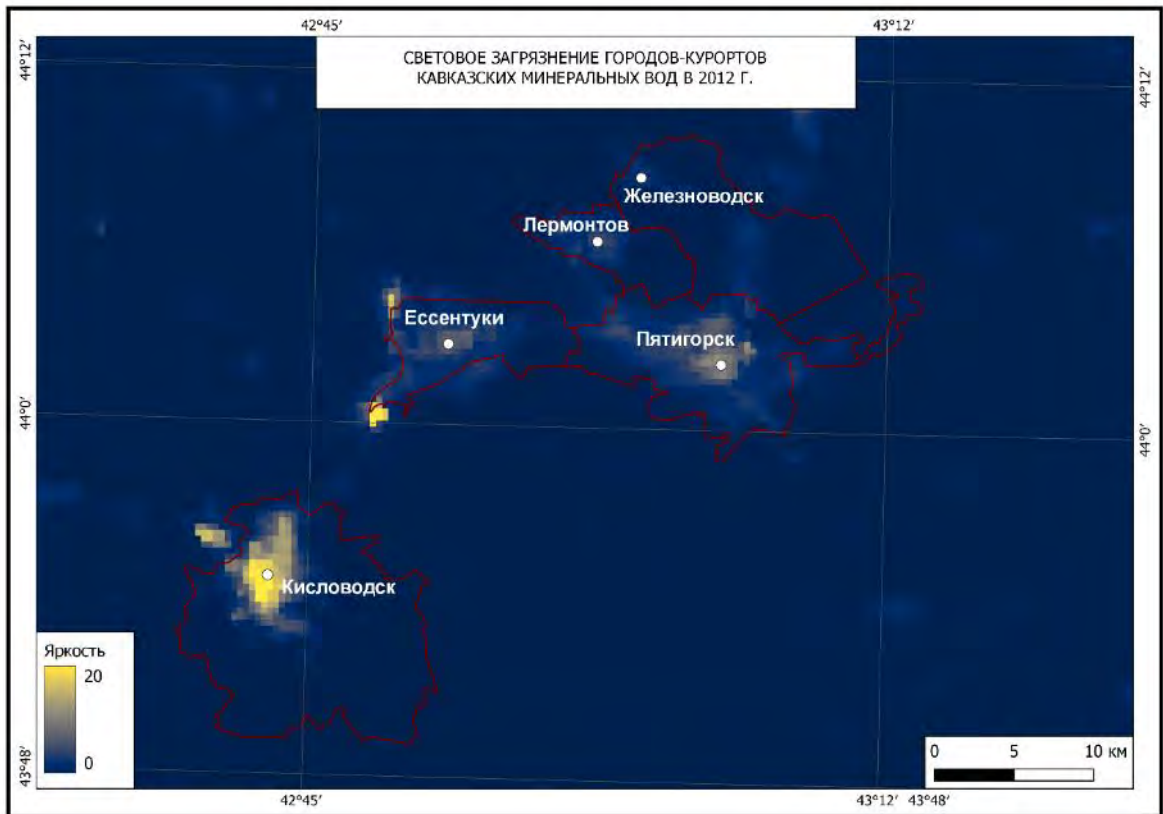


Рис. 2. Световое загрязнение городов-курортов КМВ в 2012 году

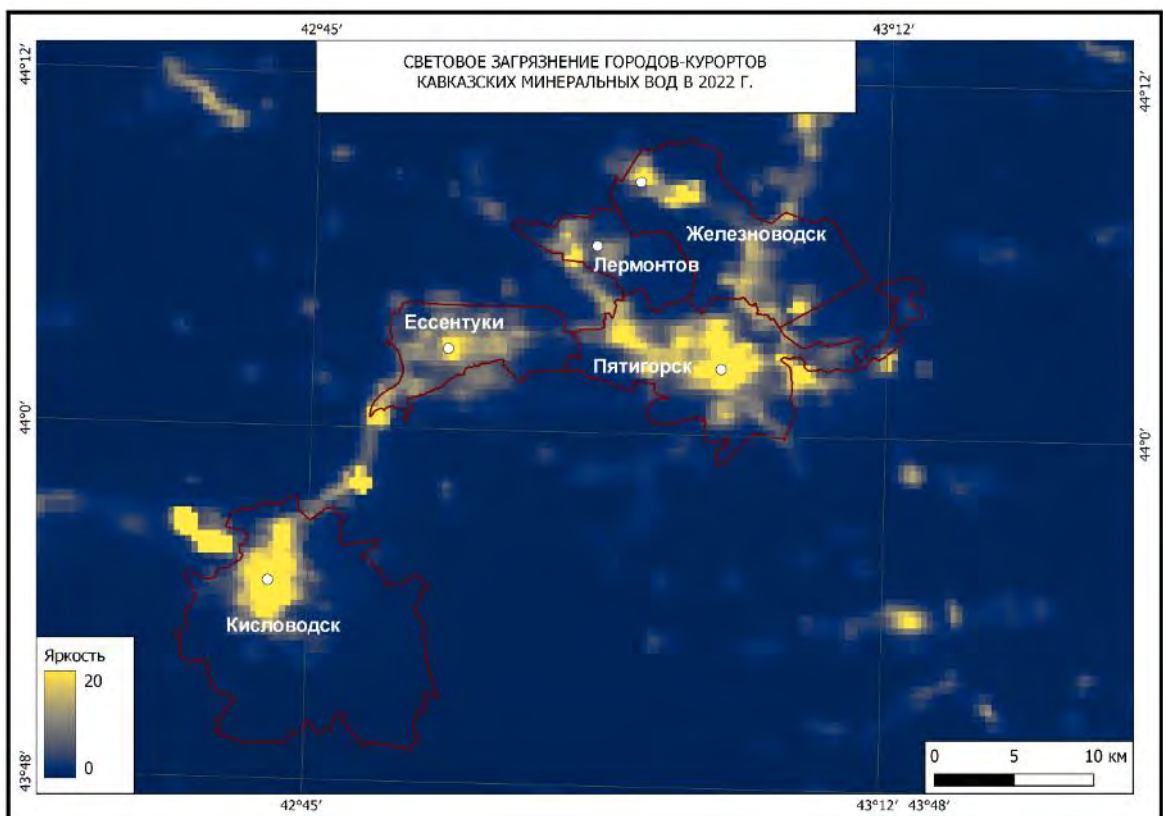


Рис. 3. Световое загрязнение городов-курортов КМВ в 2022 году

В северо-восточном направлении от города Кисловодска происходила активная частная застройка садовых товариществ (СТ) вдоль реки Подкумок. С 2012 по 2022 год инфраструктура развивалась в СТ: были построены дороги, обустроены придомовые территории, проведено уличное освещение вдоль каждой улицы. Активная застройка и развитая инфраструктура – причины увеличения светового загрязнения данной территории.

В городе Кисловодск световое гало увеличилось в центральной части, а именно на улицах Фоменко, Кирова и проспекте Победы, а также на территории спортивного комплекса «Олимпийский», Кисловодского государственного цирка имени Г.М. Трахтенберга и прилегающих землях. Причиной этому послужила замена всех стационарных искусственных источников света и увеличение их количества в связи с благоустройством парков, скверов и прилегающих к дорогам территорий.

Также вдоль дороги Кисловодск-Ессентуки расположен тепличный комплекс ООО «Агрокомплекс Весна», общей площадью 9,2 га в поселке Подкумок, который работает с 2001 года.

*Ессентуки.* На юго-западе, недалеко от города Ессентуки, также расположен тепличный комплекс ООО «Агрокомплекс Весна», но площадью 13,8 га.

Световое загрязнение в городе Ессентуки обусловлено реконструкцией городского озера и открытием сквера «Приозерный» в 2021 году, строительством и введением в эксплуатацию нового футбольного стадиона «Ессентуки Арена» и спортивной школы по игровым видам спорта в 2018 году, благоустройством парка Победы и Курортного парка в 2020 году, строительством «Приграничного» сквера в восточной части города в 2019 году. На территории вышеперечисленных объектов было либо установлено новое освещение, либо произведена замена на более мощные искусственные источники света (фонари, прожекторы, гирлянды) вдоль тропинок, дорожек, автомобильных дорог.

*Пятигорск.* В городе Пятигорск были проведены колоссальные работы по благоустройству города, что привело к увеличению светового загрязнения территории. Были проведены реконструкции с 2012 по 2022 года на следующих объектах: парк Победы, парк имени Кирова (2022 год), Емануелевский (2020 год), Комсомольский (2018 год) и Нагорный парки (2019 год), Лазаревский сквер (2021 год), скверах имени Л.Н. Толстого (2020 год), Гагарина (2020 год) и Анджиевского (2015 год), площади Ленина (2021 год), улицы Кирова, которая именуется «Бродвеем» (2021 год), территория озера Провал (2017 год).

*Железноводск.* В городе Железноводске световое загрязнение увеличилось в центральной и южной части города, что обусловлено благоустройством Городского парка им. С. Говорухина (2022 год) и реконструкцией Курортного парка (с 2019 по 2021 год). Открытие «новых» объектов

привело к ежегодному наплыву большого количества туристов, из-за чего основная часть туристической зоны освещается круглыми сутками.

*Лермонтов.* Динамика светового гало в городе Лермонтове за 10-летний период обусловлено строительством распределительного центра ПАО «Магнит» в южной части города в 2012 году площадью 3,45 га, а также активной застройкой частными жилыми домами в юго-восточной части города с 2018 года.

При помощи дистанционного зондирования и географических информационных систем (ГИС) рассчитана сила светового загрязнения с 2012 года по 2022 год в городах-курортах Кавказских Минеральных Вод. В первую очередь световое загрязнение обусловлено либо работой тепличных комплексов внушительных размеров в городах Кисловодске, Ессентуки и поселке Подкумок, либо активной застройкой с развитием всех отраслей инфраструктуры новых микрорайонов в городах, либо со строительством, реконструкцией или благоустройством территорий поселений. При всех вышеупомянутых процессах задействуются искусственные источники света (ИИС) в больших количествах. Чаще всего ИИС создается, или устанавливается, или используется неправильно, направляя лучи света на небесный свод, что приводит к распылению и усилению светового загрязнения.

Разработка комплексных мероприятий по снижению негативного влияния от светового загрязнения не может полностью искоренить эту проблему, однако может способствовать минимизации вредного воздействия на окружающую среду.

В заключение можно сказать, что одним из важных аспектов борьбы со световым загрязнением является огласка данной проблемы в обществе, ведь большинство людей даже не задумывается о том, как сильно избыточный свет влияет на наше здоровье и биоту в целом. ГИС и дистанционное зондирование позволяют выявлять территории, на которых необходимо проводить мероприятия по снижению негативного воздействия на людей, животный и растительный мир.

### **Библиографические ссылки**

1. Курочкина В. А., Жирякова А. Е. Световое загрязнение как фактор влияния на человека и окружающую среду // Вестник Евразийской науки. 2022. № 1.
2. Абакумова Д. В., Бутенко Л. А., Зеленин А. Н. Световое загрязнение и его влияние на окружающую среду // Молодежь и наука. 2018. № 3. С. 47.
3. Борун А. Р., Гальшев А. Б. Световое загрязнение и его негативное влияние на человека и прочие живые организмы // Материалы МСКН "Студенческий научный форум 2023". 2021. № 9. С. 60-61.

4. *Каган М. Б.* Световое загрязнение городов на примере Санкт-Петербурга // Сборник материалов участников XIX Большого географического фестиваля : электронное издание, Санкт-Петербург, 7–9 апреля 2023 года / Санкт-Петербургский государственный университет; Институт Наук о Земле; Профсоюзная организация студентов и аспирантов СПбГУ. Санкт-Петербург: Свое издательство, 2023. С. 557-562.

5. *Скрипчинская Е. А., Романенко К. И.* Динамика светового загрязнения Ставропольского края (2012–2020 гг.) // УЭПС: управление, экономика, политика, социология. 2021. № 3. С. 98-105.

6. *Романенко К. И.* Пространственно-временной анализ световых поясов г. Ставрополя в 2012 и 2020 гг. // Сборник материалов участников XIX Большого географического фестиваля : электронное издание, Санкт-Петербург, 7–9 апреля 2023 года / Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Наук о Земле, Профсоюзная организация студентов и аспирантов СПбГУ. Санкт-Петербург: Свое издательство, 2023. С. 499-505.

7. Глоссарий IDA [Электронный ресурс]. URL: <https://www.darksky.org/our-work/grassrootsadvocacy/resources/glossary/> (дата обращения: 01.10.2023).

8. Карта светового загрязнения / Light pollution map [Электронный ресурс]. URL: <https://www.lightpollutionmap.info> (дата обращения: 01.10.2023).

9. Метеорологический спутник Suomi NPP [Электронный ресурс]. URL: <https://eosps.nasa.gov/> (дата обращения: 01.10.2023).

10. Официальный сайт Международной Ассоциации Тёмного Неба / International Darksky Association (IDA) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.darksky.org/> (дата обращения: 01.10.2023).