

УДК 504.055

АНТРОПОГЕННЫЕ ТРИГГЕРЫ РИТМИКИ ЛАНДШАФТОВ

Т. М. Красовская, Л. Е. Лукьянов

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Ленинские горы, 1, 119991, г. Москва, Россия, krasovsktex@yandex.ru*

Впервые рассматривается проблема влияния светового загрязнения на изменение ритмики внутриландшафтных процессов. На основании полевых наблюдений, использования данных местной метеообсерватории рассчитаны триггерные значения добавленной антропогенной энергии светового загрязнения на изменение суточных и сезонных ритмов природного заказника «Воробьевы горы» (г. Москва).

Ключевые слова: ритмика ландшафта; световое загрязнение; антропогенные энергетические потоки.

ANTHROPOGENIC TRIGGERS OF LANDSCAPE RHYTHMS

T. M. Krasovskaya, L. E. Lukianov

Lomonosov Moscow State University, Leninskiye Gory, 1, 119991, Moscow, Russia, krasovsktex@yandex.ru

For the first time, the problem of light pollution effect on rhythm changes of intra-landscape processes was considered. Trigger values of the added light pollution anthropogenic energy stimulating changes in the daily and seasonal rhythms of the Vorobyovy Gory Nature Reserve (Moscow) were assessed, based on field observations and data from the local meteorological observatory.

Keywords: landscape rhythms; light pollution; anthropogenic energy fluxes.

Ритмика ландшафтов характеризует определенное соотношение параметров их структуры и функций в определенный промежуток времени. Наиболее выражены сезонные и суточные ритмы функционирования ландшафтов, которые связаны с планетарно-астрономическими процессами. Основными источниками энергии, стимулирующей проявление ритмики ландшафтов, является лучистая энергия Солнца. Современные антропогенные энергетические потоки, к счастью, по объему пока не сопоставимы с природными, однако на локальном уровне уже хорошо известны «тепловой эффект» города, отепляющее влияние энергетических потерь ТЭС, разложения ТКО, энергетический эффект выпадения аэротехногенных поллютантов и др., объединяемые в понятие «загрязнение» природной среды, выраженное в энергетических единицах. Эти единицы

являются универсальными и позволяют проводить необходимые сопоставления природных и антропогенных потоков, включая их составляющие. В последние годы все чаще появляются сведения о световом загрязнении природной среды, которое растет с каждым годом [1]. Наиболее характерно световое загрязнение для урбанизированных территорий. На настоящий момент идет активное изучение влияния светового загрязнения на человека и животный мир (птиц, насекомых, земноводных) [2, 3]. Однако оценка этого влияния на ландшафты в целом практически не проводилась. Одним из проявлений такого влияния может быть изменение ритмики ландшафтов. Целью настоящего исследования является выявление антропогенных триггеров изменения ритмики ландшафтов природного заказника «Воробьевы горы», расположенного в центральной части г. Москвы, связанных со световым загрязнением.

Территория, материалы и методы исследования. Природный заказник «Воробьевы горы» находится на правом берегу р. Москвы и тянется от устья р. Сетунь до Андреевского моста. Площадь территории составляет 1,375 км². В ландшафтной структуре природного заказника преобладают дубово-кленово-липовые разнотравные леса на крутых склонах и в эрозионно-оползневых ложбинах. Заказник отличается высоким видовым разнообразием травянистых растений и птиц, большая часть из которых (более 40 видов из 70) внесена в Красную книгу Москвы [4, 5].

В исследовании были использованы инструментальные измерения освещенности (люксметр СЕМ ДТ-1301) на высоте 1,5 м тестовой площадки, анализировались показатели климатических баз данных (сезонных и суточных) и тематические публикации по влиянию избыточного искусственного освещения на биоту.

Результаты и обсуждение. *Источники светового загрязнения и его интенсивность.* На территории Воробьевых гор на площади в 24 га на протяжении 4 км вдоль набережной расположены 3–5 рядов опор ландшафтного освещения высотой около 3,75 м. Всего на территории ООПТ располагается 1000 опор по 12 прожекторов на каждой. Прожектора направлены вверх, в кроны деревьев, под углом 45–60°. Общая площадь освещенной территории на Воробьевых горах составляет 0,4 км². Ландшафтное освещение включается через 15 минут после захода Солнца и работает до полуночи, что при различной продолжительности светового дня и определяет продолжительность поступления добавленной энергии. Каждый прожектор мощностью 163 Вт оснащен трехваттными светодиодами со средним КПД 8 %. Следовательно, светодиод изучает 0,24 Вт в виде света и 2,76 Вт в виде тепла.

Измерения уровня освещенности в заказнике выявили разброс значений от 0,2 лк на фоновых участках до 135–140 лк [5]. Фоновое значение

освещенности для безоблачной и облачной погоды в зависимости от сезона года различается в 5 раз (от 0,2 лк летом в безоблачную погоду до 1,0 лк зимой в облачную погоду).

Добавленная антропогенная энергия светового потока. При исходной мощности и КПД прожектора лишь 13 Вт расходуется на оптическое излучение. За один час ($13 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с}$) 46,8 кДж световой энергии поступает от одного прожектора в окружающую среду, В пересчете на 1 м² кроны это составит 23 Дж/мин. На основании известного времени включения и продолжительности работы освещения в минутах было рассчитано количество добавленной световой энергии для каждого дня в году. Оно составляет от 3,38 кДж/м² в период летнего солнцестояния, когда ландшафтное освещение работает меньше всего, до 10,79 кДж/м² в период зимнего солнцестояния.

Триггерные значения добавленной энергии в сезонной ритмике. Основным аккумулятором и преобразователем поступающих в ландшафты энергии является растительный покров. Коэффициент поглощения фотосинтетически активной радиации (ФАР) с учетом его среднего КПД для данного типа растительности составляет 1,15 % [6–8]. Основное поглощение света происходит в верхних ярусах растительного покрова. Энергия поглощенного света влияет на сезонную ритмику ландшафтных процессов: изменяется период листопада, распускания почек, плодоношения и другое [9, 10].

Известно, что длительность фотопериода и температурный режим оказывают прямое влияние на фенофазы развития древесных пород [11]. Энергия, влияющая на изменение фотопериода, связанного с дополнительным освещением для заказчика, рассчитана нами для весеннего и осеннего периодов. Установлено, что конце апреля (распускание почек) добавленная энергия светового потока с наступлением темноты составляет 20,7 кДж/м², в начале октября (листопад) – 31,1 кДж/м². В конце апреля энергия естественного светового потока, определенного по данным метеостанции, вместе с добавленной энергией возрастает до 342,59 кДж/м², т.е. добавленная энергия дает прирост 6,4 %. В начале октября сумма ФАР равна 91,9 кДж/м², а суммарная энергия составляет 123 кДж/м², т.е. добавленная энергия дает прирост 33,8 %. Можно предположить, что вычисленные значения притока добавленной энергии являются триггерными для ускорения «запуска» рассматриваемых фенологических процессов. Вывод о стимулирующем сезонные фенофазы потоке добавленной энергии подтверждается экспериментальными наблюдениями [9, 11].

Триггерные значения добавленной энергии в суточной ритмике. Для определения аналогичных показателей суточного ритма в качестве примера рассмотрим время вечерних сумерек в конце апреля и начале октября.

Длительность вечерних сумерек в рассматриваемый весенний период составляет 27–28 мин., в осенний — 21–22 мин. В этот «перестроечный» период наиболее выражены изменения ритмов живой природы, которые зависят от освещенности и температуры воздуха, влияющих на метаболизм в клетках живых организмов, поведенческие циклы животных. Необходимо отметить, что суточная ритмичность определяет также процессы перемещения грунта на склонах, микроциркуляция воздуха и т.д. Нами установлено, что добавленная энергия светового потока увеличивает его на 26 % в весенний период и на 68 % в осенний период, что, вероятно, является толчком для запуска циркадных ритмов биоты. Для изучаемой территории сумеречная, сумеречно-ночная и ночная активизация известна для насекомых (поденки, бражники и др.), птиц (ушастая сова, серая неясыть), земноводных (травяная лягушка), млекопитающих (рукокрылые, мышевидные грызуны).

Заключение. Проведенное исследование носит оценочный характер и впервые проводится для городских ООПТ. Хотя оно затрагивает в основном отклик биоты на изменение поступления добавленной энергии искусственного освещения на ее суточные и сезонные ритмы в вегетационный период, полученные данные раскрывают общий механизм воздействия светового загрязнения и на другие внутриландшафтные процессы ландшафтов. Проведенные оценки являются основой для разработки механизмов регулирования светового загрязнения в целях сохранения ООПТ.

Библиографические ссылки

1. Guetté A., Godet L., Juigner M., Robin M. Worldwide increase in artificial light at night around protected areas and within biodiversity hotspots // *Biological Conservation*, 2018. Volume 223. P. 97–103.
2. Longcore T., Rich C. Ecological Light Pollution // *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2004, 2(4). P. 191–198.
3. Ríos-Chelén A. A., Phillips J. N., Patricelli G. L., Dominoni D. M. Editorial: Effects of Artificial Light at Night on Organisms: From Mechanisms to Function. *Front. Ecol. Evol.* 2022, 10:896460.
4. ООПТ Москвы: справочник-путеводитель (по заказу Департамента природопользования и охраны окружающей среды города Москвы). М.: Ториус77, 2013. 178 с.
5. Лукьянов Л. Е., Красовская Т. М. Влияние светового загрязнения на местообитания птиц на территории природного заказника «Воробьевы горы» (г. Москва). *Проблемы региональной экологии*, 2022. № 1. С. 101–107.
6. Бурцев Д. С. Моделирование динамики продукции энергии в лесных культурах ели // *Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства*. 2013. №1. С. 6–10.
7. Осипов А. Ф. Биологическая продуктивность сосняков чернично-сфагновых средней тайги // *Лесной журнал*. 2013. №1. С. 43–51.

8. Дьяконов К. Н., Байбар А. С., Харитонова Т. И. Внутривековая динамика эффективности использования лесами Мещеры фотосинтетически активной радиации // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2017. №5. С. 12–22.

9. Skvarenina J., Tuharska 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 Geographic Reports, 2017, 25(4). P. 282–290.

10. Bennie J., Davies T., Cruse D., Gaston K. Ecological effects of artificial light at night on wild plants // Journal of Ecology, 2016, 104. P. 611–620.

11. Basler D., Körner C. Photoperiod and temperature responses of bud swelling and bud burst in four temperate forest trees // Tree Physiology, 2014. 34(4). P. 377–388.