

ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ, ОХРАНА ЛАНДШАФТОВ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Научная статья

УДК 504.055

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-3-47-61

ГЕОБОТАНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СВЕТОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ГОРОДСКОМ ООПТ (НА ПРИМЕРЕ ПРИРОДНОГО ЗАКАЗНИКА «ВОРОБЬЁВЫ ГОРЫ» Г. МОСКВЫ)

Лукьянов Л. Е.¹, Красовская Т. М.², Емельянова Л. Г.³

¹ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, Российская Федерация
e-mail: lev.lyukanov@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-5294-3711

² Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, Российская Федерация
e-mail: krasovsktex@yandex.ru; ORCID: 0000-0003-2328-2074

³ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, Российская Федерация
e-mail: biosever@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-5701-0670

Поступила в редакцию 05.08.2024

После доработки 23.08.2024

Принята к публикации 05.09.2024

Аннотация

Цель. Оценка воздействия светового загрязнения на растительный покров в природном заказнике «Воробьёвы горы» (г. Москва).

Процедура и методы. Основными методами исследования стали системный геоэкологический анализ, включающий характеристику природных ландшафтов и антропогенной нагрузки, геоботанические наблюдения (изменение видового состава, его обилие и фазы наземных растений) и инструментальные измерения (определение интенсивности освещённости с помощью люксметра). Для мониторинга трансформации травяного растительного покрова заложено 8 тестовых площадок, фоновых и испытывающих световое загрязнение. Проведены сравнения встречаемости идентичных видов флоры природного заказника на соседних освещаемых и неосвещаемых участках (10×10 м) в рамках фрагментов ландшафтных урочищ.

Результаты. Проведённое исследование показало, что воздействие светового загрязнения на естественный растительный покров влияет на его структуру, обилие видов, а также

© СС ВУ Лукьянов Л. Е., Красовская Т. М., Емельянова Л. Г., 2024.

на ритмику их развития. Геоботаническое изучение видового состава растений этих площадок позволило выделить 21 вид растений разной чувствительности к уровню освещённости их местообитаний. Эти виды могут быть использованы для дальнейшего мониторинга влияния светового загрязнения на растительный покров (*Ficaria verna*, *Campanula sp.*, *Vicia sylvatica*, *Anemone ranunculoides* и др.).

Теоретическая и/или практическая значимость. Предлагаются геоботанические методы мониторинга светового загрязнения.

Ключевые слова: световое загрязнение, наземный растительный покров, экологический мониторинг, городские ООПТ

Благодарности. Авторы выражают глубокую благодарность доценту географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова Е. Г. Сусловой, принимавшей активное участие в полевых исследованиях в рамках настоящей работы.

Original Research Article

GEOBOTANICAL MONITORING OF LIGHT POLLUTION IN URBAN NATURE PROTECTED AREAS (THE CASE STUDY OF THE VOROBYOVY GORY NATURE RESERVE IN MOSCOW)

L. Lukianov¹, T. Krasovskaya², L. Emelyanova³

¹ Lomonosov Moscow State University

Leninskiye Gory 1, Moscow 119991, Russian Federation

e-mail: lev.lykianov@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-5294-3711

² Lomonosov Moscow State University

Leninskiye Gory 1, Moscow 119991, Russian Federation

e-mail: krasovsktex@yandex.ru; ORCID: 0000-0003-2328-2074

³ Lomonosov Moscow State University

Leninskiye Gory 1, Moscow 119991, Russian Federation

e-mail: biosever@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-5701-0670

Received 05.08.2024

Revised 23.08.2024

Accepted 05.09.2024

Abstract

Aim. Assessment of the light pollution impact on the vegetation cover in the Vorobyovy Gory nature reserve.

Methodology. The principle investigation methods were the following: system geoecological analysis (including characteristics of natural landscapes and anthropogenic load), geobotanical observation (changes in species composition, abundance and phenophase of terrestrial plants) and instrumental measurements of the illumination intensity measured by luxmeter. To monitor the transformation of the grass vegetation cover, 8 test sites were laid: background and light pollution testing sites. Comparison of identical species of the nature reserve flora in neighboring illuminated and unlit areas (10×10 m) within the same landscape tract fragments was carried out.

Results. The study showed that the effect of light pollution on the natural vegetation cover affects its structure, species abundance as well as rhythms of their development. Geobotanical

study of plant species composition at these sites allowed us to identify 21 plant species of different sensitivity to the level of illumination of their habitats. These species may be used for further monitoring of light pollution impact on vegetation cover (*Ficaria verna*, *Campanula sp.*, *Vicia sylvatica*, *Anemone ranunculoides*, etc.).

Research implications. Geobotanical methods for light pollution monitoring are proposed.

Keywords: light pollution, terrestrial vegetation cover, ecological monitoring, ground vegetation, urban nature protected areas

Acknowledgments. The authors express their deep gratitude to the Associated Professor of the Faculty of Geography of the Lomonosov Moscow State University, [\[E. G. Suslova\]](#) who took an active part in field research.

Введение

Световое загрязнение как одно из проявлений физического загрязнения окружающей среды представляет собой избыточное искусственное освещение как по интенсивности, так и по продолжительности воздействия. С усилением процессов урбанизации, расширением территорий хозяйственного освоения в XXI в. отмечается ежегодное увеличение площадей, подвергающихся световому загрязнению, на всех континентах, за исключением Антарктиды, в среднем на 1,6–9,6% [9; 12]. Несмотря на это, степень изученности влияния этого вида загрязнения окружающей среды на природу, человека и экономику пока явно недостаточна для обоснования разработки комплекса мер по его ограничению, хотя единичные меры – нормирование освещённости окон жилых зданий в ночное время суток – уже существует в развитых странах мира. Это связано с тем, что наиболее изученным эффект светового загрязнения оказался в отношении нарушения метаболических реакций у человека. Исследования влияния светового загрязнения на поведенческие реакции птиц, некоторых видов морских животных и насекомых появились лишь относительно недавно [4; 10; 11; 15; 16; 17].

Воздействие светового загрязнения на естественный растительный покров изучено пока слабо, хотя для сельскохозяйственных культур давно известно влияние режимов и разной интенсивности искусственной подсветки для повышения урожайности¹ [5]. Освещённость растений – важнейшее условие их роста. Растения используют свет как источник энергии для образования биомассы, регулирующий фазы их развития. При этом световое насыщение фотосинтеза различных растений может сильно отличаться: у светолюбивых оно наступает при 50% полного солнечного освещения, у теневыносливых – при 10% [6]. Это проявляется в видовой структуре фитоценозов светлых и затенённых участков. Такая особенность может быть использована для мониторинга влияния светового загрязнения на естественный растительный покров как для изучения изменения структуры фитоценозов, так и физиологических процессов фаз их развития.

В связи с этим целью нашего исследования стал первичный анализ влияния светового загрязнения на расти-

¹ Искусственное освещение растений в культивируемых сооружениях защищённого грунта: [сайт]. URL: <https://ledfarm.by/raschyot-osveshheniya/> (дата обращения: 29.11.2023).

тельный покров природного заказника «Воробьёвы горы» для организации мониторинговых наблюдений.

Природный заказник «Воробьёвы горы» расположен в 6 км к юго-западу от Московского Кремля и тянется узкой полосой (шириной 100–400 м и протяжённостью 4 км) вдоль берега Москвы-реки (рис. 1). Площадь ООПТ – 137,5 га. Заказник расположен на крутом склоне Теплостанской возвышенности, высота – до 67 м. Оползневая активность склонов формирует рельеф территории и образует бугры, рвы растяжения, оползневые цирки и прочие формы рельефа [3].

В заказнике произрастают более 40 видов деревьев: липа сердцевид-

ная (*Tilia cordata*), клён остролистный (*Acer platanoides*), дуб черешчатый (*Quercus robur*), берёза повислая (*Betula pendula*) и др. В Красную книгу внесены более 30 видов растений, в числе которых зверобой волосистый (*Hypericum hirsutum*), фиалка душистая (*Viola odorata*), хохлатка плотная (*Corydalis solida*), горичвет кукушкин (*Silene flos-cuculi*), колокольчик раскидистый (*Campanula patula*), ландыш майский (*Convallaria majalis*), астрагал датский (*Astragalus danicus*) и др.

Воробьёвы горы отличаются большим видовым разнообразием орнитофауны: из более чем 70 видов птиц, встречающихся здесь, около половины занесено в Красную книгу Москвы:

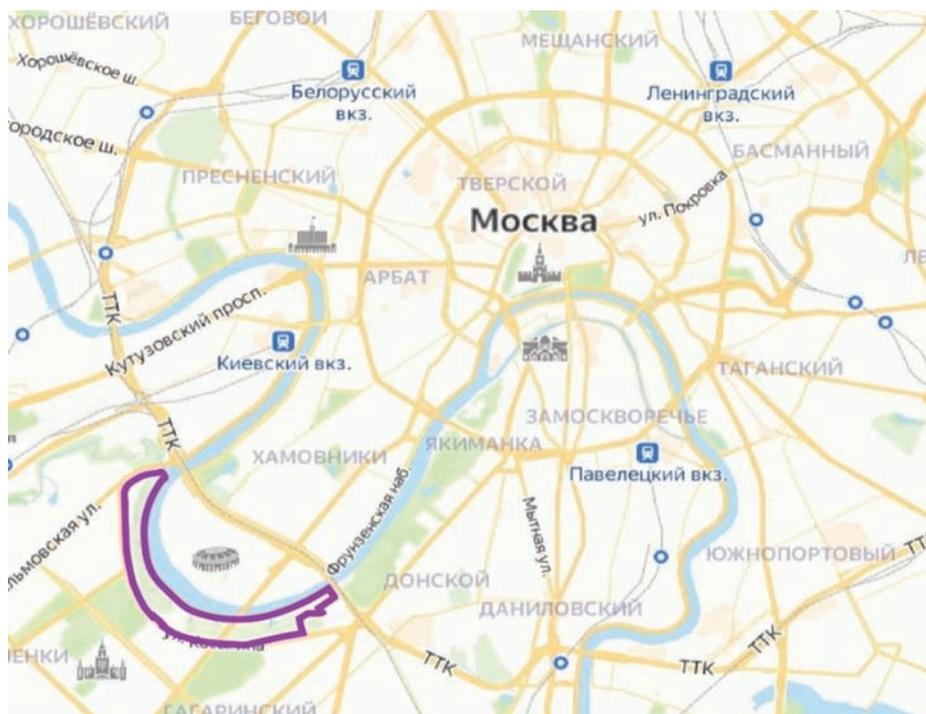


Рис. 1 / Fig. 1. Расположение природного заказника «Воробьёвы горы» в пределах Москвы / Location of the Vorobyovy Gory Nature Reserve within Moscow

Источник: Яндекс Карты [Электронный ресурс]. URL: <https://yandex.ru/maps/213/moscow> (дата обращения: 16.03.2024)

малый пёстрый дятел (*Picoides minor*), обыкновенный дубонос (*Coccothraustes coccothraustes*), обыкновенная пустельга (*Falco tinnunculus*), лесной конёк (*Anthus trivialis*), ястреб-перепелятник (*Accipiter nisus*), ястреб-тетеревятник (*Accipiter gentilis*), хохлатая черныш (*Aythya fuligula*), серая неясыть (*Strix aluco*), сорокопуд-жулан (*Lanius collurio*), ушастая сова (*Asio otus*), и др. В Красную книгу занесены также некоторые виды пресмыкающихся, земноводных и млекопитающих: европейский крот (*Talpa europaea*), европейский ёж (*Erinaceus europaeus*), обыкновенная белка (*Sciurus vulgaris*), ласка (*Mustela nivalis*), обыкновенный уж (*Natrix natrix*), травяная лягушка (*Rana temporaria*), озёрная лягушка (*Pelophylax ridibundus*) [1].

В 2013 г. постановлением Правительства Москвы территория заказника была передана в безвозмездное пользование ЦПКиО «Парк Горького», что изменило характер хозяйственного освоения территории. В настоящее время 38% площади заказника занято сторонними землепользователями, в числе которых – Андреевский монастырь, резиденции ФСО на ул. Косыгина, институты РАН и заново построенный в 2022 г. спортивный комплекс «Воробьёвы горы». Строительство последнего сопровождалось множественными механическими нарушениями почв и грунтов, активизирующей оползневую деятельность, вырубкой растительного покрова, снижением биоразнообразия, разрушением объектов природного и историко-культурного наследия местного значения. Продолжается замусоривание территории, повсеместное возникновение стихийных троп, нарушающих

целостность наземного растительного покрова, усиливается фрагментация ландшафтов заказника, постройками нарушается эстетическая привлекательность ландшафтов. Возросло шумовое загрязнение: уровень шума, по нашим замерам, достиг 60–65 дБ (при фоновых значениях 42–44 дБ).

В 2018 г. в заказнике было установлено 1000 опор ландшафтного освещения по 12 светодиодных прожекторов на каждом. Опоры установлены в 3–5 рядов по нижнему ярусу склона и тянутся вдоль всей набережной. В ходе запрограммированного светового сценария последовательно сменяются красный, жёлтый, зелёный и синий цвета световых лучей (рис. 2). Ландшафтное освещение включается ежедневно через 15 мин. после захода солнца и работает до полуночи, таким образом, время работы освещения варьируется от 2 ч 27 мин. в дни летнего солнцестояния до 7 ч 49 мин. в дни зимнего солнцестояния. Прожектора направлены вверх, в кроны деревьев. Уровень освещения в кронах деревьев вырос с фоновых значений (0,9 лк) до 18,5 тыс. лк [2]. Ранее в заказнике было установлено лишь уличное освещение, уровень освещённости составлял 125–140 лк. Однако уличное освещение приурочено к тропиночно-дорожной сети и направлено вниз.

Мониторинг светового загрязнения

В основу исследования положены полевые геоботанические и ландшафтные исследования, анализ тематических публикаций, появившихся в основном за рубежом в последние годы. Полевые исследования, проведённые в мае 2022 и 2024 гг., позволили осуществить вы-

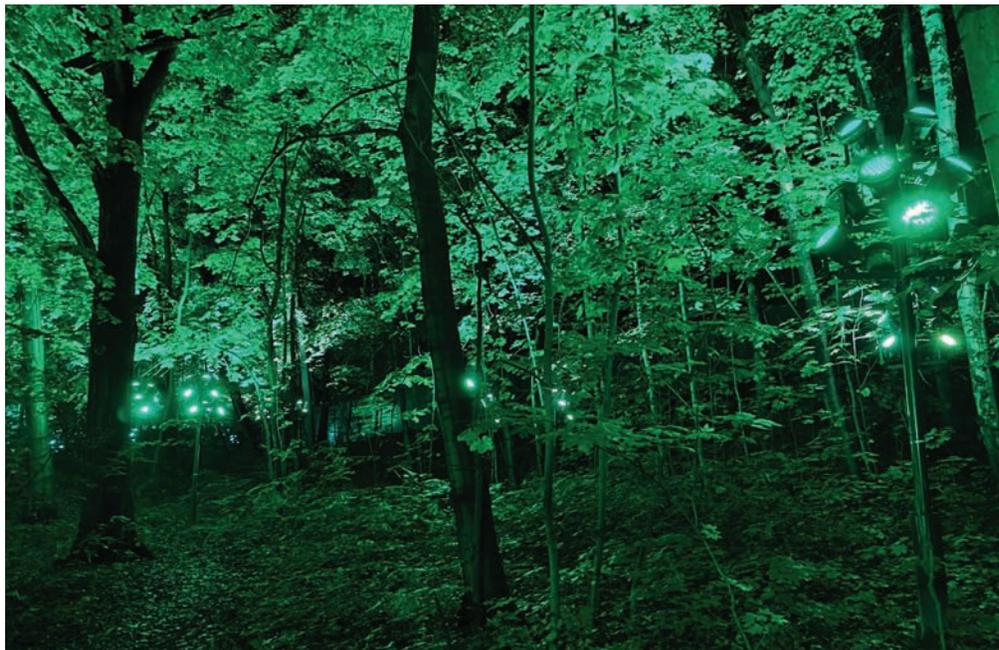


Рис. 2 / Fig. 2. Ландшафтное освещение в природном заказнике «Воробьёвы горы» / Landscape lighting in the Vorobyovy Gory Nature Reserve

Источник: фото Лукьянова Л. Е.

бор тестовых участков с типичными для заказника ландшафтными характеристиками, расположенными в зоне светового загрязнения и вне её, измерить степень светового загрязнения.

В 2021–2023 гг. авторами была составлена карта пространственного распространения светового загрязнения, основой для которой явилась ландшафтная карта масштаба 1:10000 [2]. Эта карта была использована для заложения восьми тестовых мониторинговых площадок для изучения трансформации травяного растительного покрова на соседних фоновых и испытывающих световое загрязнение участках (10×10 м) в рамках фрагментов ландшафтных урочищ. Проведены сравнения встречаемости, обилия и фенофаз идентичных видов флоры природного заказника на освещаемых

и неосвещаемых участках. Попутно проводился учёт видового состава птиц на обследованных участках для последующей комплексной оценки влияния светового загрязнения на геосистемы заказника.

Геоботаническая характеристика тестовых площадок

Тестовые площадки располагались на участке природного заказника между спортивным комплексом «Воробьёвы горы» и Лужнецким мостом (рис. 3). Они располагались в типичных ландшафтных условиях заказника: на надпойменной террасе под берёзовыми разнотравными лесами (фоновая точка 1Ф, загрязнённая 1С), в эрозионно-оползневой ложбине под кленово-липовыми с участием берёзы разнотравными лесами (фоновые

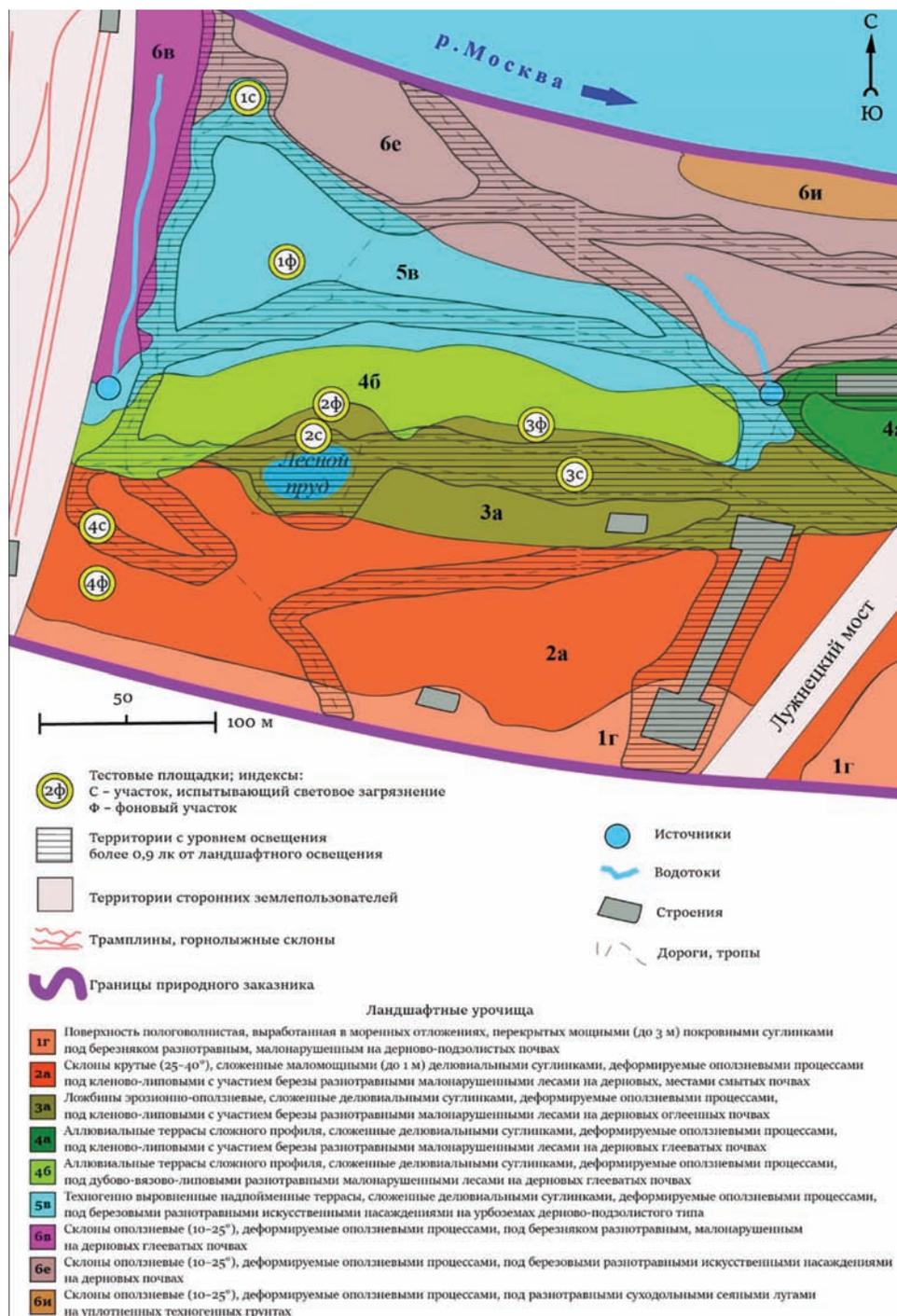


Рис. 3 / Fig. 3. Ландшафтная характеристика исследуемого участка заказника «Воробьевы горы» и расположение тестовых площадок / Landscape characteristics of the research area in the Vorobyovy Gory nature Reserve and the location of test sites

Источник: составлено Лукьяновым Л. Е.

точки 2Ф и 3Ф, загрязнённые точки 2С и 3С), на крутых склонах под кленово-липовыми с участием берёзы разнотравными лесами (фоновая точка 4Ф, загрязнённая точка 4С). Эти ландшафтные урочища суммарно характеризуют 22% ландшафтной структуры природного заказника от его общей площади.

Все участки расположены в наиболее посещаемой части заказника и в той или иной степени испытывают рекреационную нагрузку, что заметно и по количеству посетителей, наличию стихийных троп, мусора и т. п. Поскольку древесный растительный покров заказника был преобразован: разрежен для придания паркового

вида, практически лишён кустарникового подлеска на «прогулочных» территориях, наблюдения за изменениями его структуры под воздействием светового загрязнения были невозможны. Поэтому наше внимание было направлено на исследование видового состава наземного травяного покрова (табл. 1). При этом особое внимание уделялось видам, по-разному реагирующим на световое загрязнение, что отмечается в научных исследованиях [9; 10], а также опыляемым ночными насекомыми, т. к. избыточное освещение в ночное время часто приводит к их гибели [7; 17]. Заметим, что описание проводилось на начальной стадии вегетации.

Таблица 1 / Table 1

Характеристика видового состава травянистых растений тестовых площадок / Characteristics of herbaceous plants of test sites

№ точки	Видовой состав	Освещённость, лк	Виды птиц
1С ¹	Яснотка желтая (<i>Lamium galeobdolon</i>), купена многоцветковая (<i>Polygonatum multiflorum</i>), копытень европейский (<i>Asarum europaeum</i>),	7,2–15,5	Зяблик, серая неясыть
1Ф	Яснотка крапчатая (<i>Lamium maculatum</i>), сныть обыкновенная (<i>Aegopodium podagraria</i>), вербейник монетный (<i>Lysimachia nummularia</i>), чистец лесной (<i>Stachys sylvatica</i>), живучка ползучая (<i>Ajuga reptans</i>), медуница неясная (<i>Pulmonaria obscura</i>) ² , подмаренник промежуточный (<i>Galium intermedium</i>), ветреница лютиковая (<i>Anemone ranunculoides</i>), осока лесная (<i>Carex sylvatica</i>)	0,2	Зяблик, зарянка
2С	Норичник узловатый (<i>Scrophularia nodosa</i>), горошек лесной (<i>Vicia sylvatica</i>), золотарник обыкновенный (<i>Solidago virgaurea</i>), барвинок малый (<i>Vinca minor</i>) ³	9,3–12,5	Дрозд рябинник
2Ф	Яснотка жёлтая и белая (<i>Lamium galeobdolon</i> , <i>Lamium album</i>), подмаренник промежуточный (<i>Galium intermedium</i>), щитовник картузианский (<i>Dryopteris carthusiana</i>), мятлик лесной (<i>Poa nemoralis</i>), ожика волосистая (<i>Luzula pilosa</i>), недотрога мелкоцветковая (<i>Impatiens parviflora</i>) ³ , горошек лесной (<i>Vicia sylvatica</i>) ³ , колокольчик широколистный (<i>Campanula latifolia</i>) ³ , вероника дубравная (<i>Veronica chamaedrys</i>) ³	0,3	Не отмечены

№ точки	Видовой состав	Освещённость, лк	Виды птиц
3С	Чистяк весенний (<i>Ficaria verna</i>), колокольчик (<i>Campanula sp.</i>), ветреница дубравная (<i>Anemone nemorosa</i>) ⁴ , щитовник мужской (<i>Dryopteris filix-mas</i>) ⁴ , кочедыжник (<i>Athyrium</i>) ⁴ , копытень европейский (<i>Asarum europaeum</i>) ⁴	32	Чёрный дрозд, зарянка, дрозд-рябинник, пеночка-трещотка
3Ф	Гравилат городской (<i>Geum urbanum</i>), герань лесная (<i>Geranium sylvaticum</i>), пролесник многолетний (<i>Mercurialis perennis</i>), сныть обыкновенная (<i>Aegopodium podagraria</i>), чесночница черешчатая (<i>Alliaria petiolata</i>)	0,5	Не отмечены
4С	Ветреница лютиковая (<i>Anemone ranunculoides</i>), вероника длиннолистная (<i>Veronica longifolia</i>), герань лесная (<i>Geranium sylvaticum</i>), сныть обыкновенная (<i>Aegopodium podagraria</i>), воронец колосистый (<i>Actaea spicata</i>) ³ , яснотка крапчатая (<i>Lamium maculatum</i>) ³	4–7	Большая синица
4Ф	Воронец колосистый (<i>Actaea spicata</i>), недотрога мелкоцветковая (<i>Impatiens parviflora</i>), пролесник многолетний (<i>Mercurialis perennis</i>), гравилат городской (<i>Geum urbanum</i>), яснотка крапчатая (<i>Lamium maculatum</i>) ³ , ветреница лютиковая (<i>Anemone ranunculoides</i>) ³ .	0,3	Не отмечены

¹ Сильно вытоптана
² Растение Красной книги г. Москвы
³ Предположительно заносной вид
⁴ Площадка, заключённая между двумя освещаемыми экотропами. Присутствие тенелюбивых видов объясняется узостью освещённой полосы между экотропами.

Источник: по данным полевых наблюдений

Антропогенное изменение потоков энергии в фитоценозах при световом загрязнении

Световое загрязнение продуцирует дополнительное поступление световой и тепловой энергии в фитоценозы. Особенности методики изучения этого процесса на территории природного заказника детально изложены в наших публикациях [2]. Установлено, что добавленная антропогенная энергия от ландшафтного освещения на 1 м² территории в минуту составляет 293 Дж, из которых световая энергия составляет 23 Дж, а тепло от радиаторов прожекторов даёт 270 Дж энергии. При этом установлено, что в начале вегетационного периода добавленная энергия светового потока с наступле-

нием темноты увеличивает количество поступающей радиации на 6,4% (до 342,6 кДж/м²), в конце вегетационного периода – на 34,1% (до 123,3 кДж/м²). Можно предположить, что вычисленные значения притока добавленной энергии могут вызвать изменение структуры фитоценозов участков, испытывающих световое загрязнение, а также изменения физиологии и фаз развития растений.

В экспериментах и наблюдениях, проведённых в Великобритании, США (Теннеси, Мичиган), Германии, Индии и других странах установлено, что на участках, испытывающих световое загрязнение, снижается численность насекомых – ночных опылителей, выполняющих существенную роль в обе-

спечении воспроизводства многих растений [7; 14; 15; 16; 18]. Это происходит в результате их прямой гибели у осветительных ламп и прожекторов, поедания хищными птицами, постепенного смещения местообитаний на менее освещённые участки. Энтомологических исследований такого плана на территории заказника пока не проводилось, однако при рекогносцировочных экологических исследованиях ГБОУ «Воробьёвы горы» было отмечено присутствие на территории заказника активной в ночное время голубой ленточницы (*Catocala fraxini*), занесённой в Красную книгу Москвы – виду, которому, к примеру, может угрожать световое загрязнение¹.

Растениям нужен свет как источник энергии для формирования биомассы, но одновременно они нуждаются в темноте для регенерации и роста. В эксперименте, проведённом в Германии, изучалось влияние освещённости различной интенсивности, имитирующей лунный свет и уличное освещение, на представителей злаков (*Bromus hordeaceus*), бобовых (*Trifolium repens*) и разнотравья (*Plantago lanceolata*) и было установлено уменьшение биомассы в момент созревания растений на 33% на участках с уровнем освещённости 30,3 лк по сравнению с контрольными при уровне освещённости, соответствующему лунному свету (0,0014 лк). При этом коэффициент разнообразия Шэннона снизился до 43%, при выровненности (отношения наблюдаемого разнообразия к максимальному) – на 34% [9].

¹ Краснокнижная бабочка замечена на территории Московского дворца пионеров // Воробьёвы горы: [сайт]. URL: <https://vg.mskobr.ru/edu-news/40036> (дата обращения: 22.05.2024).

Световое загрязнение способно влиять на фенологию, изменяя восприятие растениями продолжительности светового дня и нарушая их циркадные ритмы. Проведённые нами наблюдения показали, например, что ветреница лютиковая и воронец колосистый на участке с избыточным освещением зацвели раньше (4С), чем на соседнем фоновом (4Ф). Подобные выводы были сделаны [8] в эксперименте, установившем, что световое загрязнение ускорило начало бутонизации, цветения, плодоношения и созревания семян на 3–6 дней у эльсгользии густоцветковой (*Elsholtzia densa*) на луговых тестовых участках при уровне освещённости $21,15 \pm 0,30$ лк.

Световое загрязнение влияет на сезонную ритмику лесных древесных видов, что подтверждается экспериментальными данными [9; 13; 17]. Наши исследования потоков солнечной энергии и энергии искусственного освещения на территории заказника в период распускания почек деревьев и начала осеннего листопада показали, что вышеперечисленные значения притока добавленной энергии светового потока в конце апреля (распускание почек) и в начале октября (задержка листопада) могут являться триггерными для ускорения «запуска» рассматриваемых фенологических процессов [2].

Для определения аналогичных показателей суточного ритма мы рассмотрели время вечерних сумерек в указанные периоды. В этот «перестроенный» период наиболее выражены изменения ритмов живой природы, которые зависят от освещённости. Было 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 [2].

Выявленные различия тестовых участков различной степени освещённости

Видовой состав травяных растений демонстрирует их предпочтения к местообитаниям различной степени освещённости. Это позволило нам отобрать виды-маркеры (виды, особенно чувствительные к режиму освещённости) для последующего мониторинга, при этом исключив те из них, которые толерантны к уровню освещённости. Заметим, что «идеальные» загрязнённые и фоновые площадки встречаются нечасто, что связано с особенностями ландшафтной дифференциации территории и её интенсивным рекреационным использованием. Для дальнейшего мониторинга отобраны наиболее характерные для заказника виды – маркеры освещённости, которые на площадках, испытывающих световое загрязнение, характеризовались обилием, хорошим развитием вегетатив-

ных органов, более ранним цветением, чем аналогичные виды, если они встречались и на фоновых площадках.

На фоновых площадках наиболее часто фиксировались недотрога мелкоцветковая, подмаренник промежуточный, пролесник многолетний, гравилат городской, живучка ползучая, медуница неясная, мятлик лесной, осока лесная, ожика волосистая и др.

На площадках со световым загрязнением отмечены копытень европейский, чистяк весенний, ветреница дубравная, купена многоцветковая, барвинок малый, щитовник мужской, золотарник обыкновенный и др. (рис. 4).

Продолжение наблюдений позволит уточнить перечень видов-маркеров светового загрязнения.

Заключение

Проведённое исследование показало, что воздействие светового загрязнения на естественный растительный покров влияет на его структуру, физиологические процессы в растениях, а также на ритмику их развития, что связано с поступлением добавленной



Точка 3С



Точка 3Ф

Рис. 4 / Fig. 4. Пример освещённой (слева) и фоновой (справа) точки 3 / Example of an illuminated (on the left) and background (on the right) test site 3.

Источник: фото Льякьянова Л. Е.

энергии светового и теплового потоков от многочисленных источников искусственного освещения. Это может быть связано с установленным нами ранее приростом суммарной световой энергии из-за светового воздействия ландшафтного освещения, когда количество энергии увеличивается на 6,4% в начале вегетационного периода и на 34,1% в конце вегетационного периода.

Реакция растительного покрова на искусственное освещение проявляется в сокращении/исчезновении тенелюбивых травянистых видов, более раннем цветении светолюбивых видов, которые могут быть использованы как маркеры светового загрязнения парковых территорий. При первичной оценке изменения видового состава травянистых растений было обнаружено, что для тестовых площадок в зоне светового загрязнения такими маркерами могут быть *Ficaria verna*, *Campanula sp.*,

Vicia sylvatica, *Anemone ranunculoides* и др., однако перечень должен быть уточнён в ходе регулярных наблюдений.

Высказанное предположение о влиянии триггерных значениях добавленной световой энергии на суточную и сезонную ритмику деревьев в дальнейшем также может быть подтверждено фенологическими мониторинговыми наблюдениями.

Изменение видового состава растительного покрова в результате светового загрязнения на территории ООПТ запускает механизмы других внутриландшафтных изменений, что может привести к утрате территорией природоохранного статуса. Меры противодействия этому процессу требуют новых институциональных, технических и планировочных решений, основанных на результатах комплексных мониторинговых исследований реакции геосистем на световое загрязнение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красная книга города Москвы / под ред. Н. А. Соболева. М., 2022. 848 с.
2. Красовская Т. М., Лукьянов Л. Е. Антропогенные триггеры ритмики ландшафтов // Материалы I Белорусского географического конгресса. Т. 5 / под ред. Е. Г. Кольмаковой. Минск: БГУ, 2024. С. 174–178.
3. Лукашов А. А. Геолого-геоморфологическое строение и морфодинамика Воробьёвых гор (г. Москва) // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2008. № 5. С. 68–73.
4. Лукьянов Л. Е. Методика изучения светового загрязнения в городских ООПТ // Антропогенная трансформация геопространства: меняющийся мир – штрихи к портрету: мат-лы конф. / отв. ред. Е. А. Иванцова. Волгоград: ВГУ, 2024. С. 46–50.
5. Светодиодное освещение при выращивании овощных культур / С. Д. Малахова, М. В. Тютюнькова, З. С. Федорова, Е. В. Демьяненко // Проблемы региональной экологии. 2019. № 5. С. 29–33. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-17029
6. Смашевский Н. Д. Экология фотосинтеза // Астраханский вестник экологического образования. 2014. № 2. С. 165–180.
7. Anderson M., Rotheray E. L., Mathews F. Marvellous moths! pollen deposition rate of bramble (*Rubus futicosus* L. agg.) is greater at night than day // PLoS ONE. 2023. № 18. DOI: 10.1371/journal.pone.0281810
8. Artificial light at night advances reproductive phenology and reduces reproductive capacity of a wild plant / S. Wang, Z. Wang, L. Xiao, H. Zhang, Y. Liu // bioRxiv. 2022. Iss. 280. P. 1–27. DOI: 10.1101/2022.12.11.519667

9. Artificial light at night decreases plant diversity and performance in experimental grassland communities / S. F. Bucher, L. Uhde, A. Weigelt, S. Cesarz, N. Eisenhauer, A. Gebler, C. Kyba, et al. // *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B. Biological sciences*. 2023. № 378. DOI: 10.1098/rstb.2022.0358
10. Bani A. S., Fraser K. C. The influence of different light wavelengths of anthropogenic light at night on nestling development and the timing of post-fledge movements in a migratory songbird // *Frontier in Ecology and Evolution*. 2021. № 9. DOI: 10.3389/fevo.2021.735112
11. Brayley O., How M. J., Wakefield A. The Biological Effects of Light Pollution on Terrestrial and Marine Organisms // *International Journal of Sustainable Lighting*. 2022. № 24. P. 13–38. DOI: 10.26607/ijsl.v24i1.121
12. Citizen scientists report global rapid reductions in the visibility of stars from 2011 to 2022 / C. Kyba, Y. Ö. Altıntaş, C. E. Walker, M. Newhouse // *Science*. 2020. № 379. P. 265–268. DOI: 10.1126/science.abq7781
13. Effects of light pollution on tree phenology in the urban environment / J. Škvareninová, M. Tuhárska, J. Skvarenina, D. Babalova, L. Slobodniková, B. Slobodník, H. Středová, et al. // *Moravian Geographical Reports*. 2017. № 25. P. 282–290. DOI: 10.1515/mgr-2017-0024
14. Light pollution is driver of insect declines / C. S. Avalon, C. Precillia, D. Joanna, F. Bridgette, K. P. Elizabeth, S. Brett // *Biological Conservation*. 2020. № 241. P. 1–9. DOI: 10.2139/ssrn.3378835
15. Pollination by nocturnal Lepidoptera, and the effects of light pollution: a review / C. J. Macgregor, M. J. Pocock, R. Fox, D. Evans // *Ecological Entomology*. 2014. № 40. P. 187–198. DOI: 10.1111/een.12174
16. Padhiyar D. H., Chaudhary D. V., Thakar P. K. Impact of Light Pollution on Insects // *Agriculture & Food: E-Newsletter*. 2023. Vol. 5. Iss. 2. P. 15–17.
17. The Matthew effect: Common species become more common and rare ones become more rare in response to artificial light at night / Y. Liu, B. Speißer, E. Knop, M. van Kleunen // *Global Change Biology*. 2022. № 28. P. 1–9. DOI: 10.1111/gcb.16126
18. Wonderlin N. E., Rumpfelt K., White P. J. T. Associations between nocturnal moths and flowers in urban gardens: evidence from pollen on moths // *Journal of the Lepidopterists' Society*. 2019. № 73. P. 173–176. DOI: 10.18473/lepi.73i3.a6

REFERENCES

1. Sobolev N. A., ed. *Krasnaya kniga goroda Moskvy* [The Red Book of the City of Moscow]. Moscow, 2022. 848 p.
2. Krasovskaya T. M., Lukyanov L. E. [Anthropogenic triggers of landscape rhythms]. In: Kolkakova E. G., ed. *Materialy I Belorusskogo geograficheskogo kongressa. T. 5* [Proceedings of the 1st Belarusian Geographical Congress. Vol. 5] Minsk, BSU Publ., 2024, pp. 174–178.
3. Lukashov A. A. [Geological and geomorphological structure and morphodynamics of the Sparrow Hills (Moscow)]. In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography], 2008, no. 5, pp. 68–73.
4. Lukyanov L. E. [Methodology for studying light pollution in urban protected areas]. In: Ivansova E. A., ed. *Antropogennaya transformatsiya geoprostranstva: menyayushchiysya mir – shtrikhi k portretu* [Anthropogenic transformation of geospace: a changing world – strokes to a portrait]. Volgograd, VSU Publ., 2024, pp. 46–50.
5. Malakhova S. D., Tyutyunkova M. V., Fedorova Z. S., Demyanenko E. V. [LED lighting in growing vegetable crops]. In: [Problems of regional ecology], 2019, no. 5, pp. 29–33. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-17029
6. Smashevsky N. D. [Ecology of photosynthesis]. In: *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya* [Astrakhan Bulletin of Environmental Education], 2014, no. 2, pp. 165–180.

7. Anderson M., Rotheray E. L., Mathews F. Marvellous moths! pollen deposition rate of bramble (*Rubus futicosus* L. agg.) is greater at night than day // *PLoS ONE*. 2023. № 18. DOI: 10.1371/journal.pone.0281810
8. Wang S., Wang Z., Xiao L., Zhang H., Liu Y. Artificial light at night advances reproductive phenology and reduces reproductive capacity of a wild plant. In: *bioRxiv*, 2022, iss. 280, pp. 1–27. DOI: 10.1101/2022.12.11.519667
9. Bucher S. F., Uhde L., Weigelt A., Cesarz S., Eisenhauer N., Gebler A., Kyba C., et al. Artificial light at night decreases plant diversity and performance in experimental grassland communities. In: *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B. Biological sciences*, 2023, no. 378. DOI: 10.1098/rstb.2022.0358
10. Bani A. S., Fraser K. C. The influence of different light wavelengths of anthropogenic light at night on nestling development and the timing of post-fledge movements in a migratory songbird. In: *Frontier in Ecology and Evolution*, 2021, no. 9. DOI: 10.3389/fevo.2021.735112
11. Brayley O., How M. J., Wakefield A. The Biological Effects of Light Pollution on Terrestrial and Marine Organisms. In: *International Journal of Sustainable Lighting*, 2022, no. 24, pp. 13–38. DOI: 10.26607/ijsl.v24i1.121
12. Kyba C., Altıntaş Y. Ö., Walker C. E., Newhouse M. Citizen scientists report global rapid reductions in the visibility of stars from 2011 to 2022. In: *Science*, 2020, no. 379, pp. 265–268. DOI: 10.1126/science.abq7781
13. Škvareninová J., Tuhárska M., Skvarenina J., Babalova D., Slobodniková L., Slobodník B., Středová H., et al. Effects of light pollution on tree phenology in the urban environment. In: *Moravian Geographical Reports*, 2017, no. 25, pp. 282–290. DOI: 10.1515/mgr-2017-0024
14. Avalon C. S., Precillia C., Joanna D., Bridgette F., Elizabeth K. P., Brett S. Light pollution is driver of insect declines. In: *Biological Conservation*, 2020, no. 241, pp. 1–9. DOI: 10.2139/ssrn.3378835
15. Macgregor C. J., Pocock M. J., Fox R., Evans D. Pollination by nocturnal Lepidoptera, and the effects of light pollution: a review. In: *Ecological Entomology*, 2014, no. 40, pp. 187–198. DOI: 10.1111/een.12174
16. Padhiyar D. H., Chaudhary D. V., Thakar P. K. Impact of Light Pollution on Insects. In: *Agriculture & Food: E-Newsletter*, 2023, vol. 5, iss. 2, pp. 15–17.
17. Liu Y., Speißer B., Knop E., Kleunen van M. The Matthew effect: Common species become more common and rare ones become more rare in response to artificial light at night. In: *Global Change Biology*, 2022, no. 28, pp. 1–9. DOI: 10.1111/gcb.16126
18. Wonderlin N. E., Rumpf K., White P. J. T. Associations between nocturnal moths and flowers in urban gardens: evidence from pollen on moths. In: *Journal of the Lepidopterists' Society*, 2019, no. 73, pp. 173–176. DOI: 10.18473/lepi.73i3.a6

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лукьянов Лев Евгеньевич – аспирант кафедры физической географии мира и геоэкологии географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;
e-mail: lev.lykhanov@yandex.ru

Красовская Татьяна Михайловна – доктор географических наук, профессор кафедры физической географии мира и геоэкологии географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;
e-mail: krasovsktex@yandex.ru

Емельянова Людмила Георгиевна – кандидат географических наук, доцент кафедры биогеографии географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;
e-mail: biosever@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lev E. Lukianov – Postgraduate student, Department of World Physical Geography and Geoecology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University;
e-mail: lev.lykianov@yandex.ru

Tatiana M. Krasovskaya – Dr. Sci. (Geography), Prof., Department of World Physical Geography and Geoecology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University;
e-mail: krasovskt@yandex.ru

Lyudmila G. Emelyanova – PhD (Geography), Assoc. Prof., Department of Biogeography, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University;
e-mail: biosever@yandex.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Лукьянов Л. Е., Красовская Т. М., Емельянова Л. Г. Геоботанический мониторинг светового загрязнения в городском ООПТ (на примере природного заказника «Воробьёвы горы» г. Москвы) // Географическая среда и живые системы. 2024. № 3. С. 47–61.
DOI: 10.18384/2712-7621-2024-3-47-61

FOR CITATION

Lukianov L. E., Krasovskaya T. M., Emelyanova L. G. Geobotanical monitoring of light pollution in urban nature protected areas (the case study of the Vorobyovy gory nature reserve in Moscow). In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2024, no. 3, pp. 47–61.
DOI: 10.18384/2712-7621-2024-3-47-61